

01162



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRA  
EN LA ESTIMACION DE LA RELACION DE  
LLUVIA DE 1 A 24 HORAS”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERIA HIDRAULICA**

Presenta

**ARNULFO ORTIZ GOMEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL**



MEXICO, D. F.

2004.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

## RESUMEN:

Siendo el agua vital para la vida en el planeta, es necesario su estudio en cuanto a su distribución y ocurrencia sobre la superficie terrestre; es la Hidrología la ciencia encargada.

El proceso lluvia escurrimiento es fundamental para el Ciclo Hidrológico: la respuesta a una tormenta depende de la geografía de la cuenca. Y de fundamental importancia en el diseño de las obras hidráulicas. Existen diferentes métodos para determinar esta respuesta y dentro del proceso, la construcción de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr), éste permite estimar la ocurrencia de una tormenta en el tiempo, y es función directa del tamaño de la muestra.

Los registros de lluvias son de 24 horas y la distribución de la lluvia es temporal, por lo que es necesario conocer la relación de la lluvia de una hora con la de 24 horas. Uno de los métodos para determinar las curvas (i-d-Tr) se basa en esta relación.

El trabajo consiste en determinar cual es la influencia del tamaño de la muestra en la relación de la lluvia de una hora a la de 24. encontrando que es de suma importancia en la determinación de la respuesta a una tormenta. Y se demuestra en la aplicación del método para una zona en particular, en donde se contó con una muestra de 32 años de registros, la cual se dividió en muestra de distintos tamaños, comparando los resultados de cada tamaño de muestra con los aforos del cauce en la salida de la cuenca

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

NOMBRE: Arnulfo Ortiz

Gómez

FECHA: 31/05/04

FIRMA: [Firma manuscrita]

# “INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE MUESTRA EN LA ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN DE LLUVIA DE 1 A 24 HORAS”

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN.

### 1. ANTECEDENTES.

1.1 La Hidrología como una Ciencia.	4
1.1.1 Historia de la Hidrología.	5
1.1.2 El ciclo Hidrológico.	7
1.1.3 Tipos de Precipitación.	8
<i>Precipitación Convectiva.</i>	8
<i>Precipitación Ciclónica.</i>	8
<i>Precipitación Orográfica.</i>	9
1.1.4 Medición de la Precipitación.	9
<i>Pluviómetro.</i>	10
<i>Pluviógrafo.</i>	10
1.1.5 Medición de la Precipitación con Radar.	12
1.1.6 Estimación de la Precipitación con Satélite.	15
1.1.7 Tipos de Registros.	15
1.1.8 Tipos de Error.	16
1.1.9 Red de Pluviómetros.	18
1.2 Relación Intensidad-Duración Periodo de Retorno.	20
1.2.1 Los Registros Pluviográficos.	21
1.2.2 Curvas intensidad-duración-periodo de retorno.	22
1.2.3 Relaciones Regionalizadas i-d-Tr.	23
<i>Métodos de Obtención en México.</i>	23
<i>Los Primeros Estudios.</i>	24
<i>Estudios Realizados en México.</i>	27

### 2. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO.

2.1 Métodos de Obtención de las Curvas i-d-Tr.	33
2.1.1 Obtención de las Curvas i-d-Tr. a través de Formulas Empíricas.	33
2.1.2 Métodos de Obtención de las Curvas i-d-Tr a través de Registros Pluviográficos.	35
<i>Serie de Excedentes Anuales.</i>	38
<i>Serie Anual de Máximos.</i>	39
<i>Criterio de Interpolación para las curva i-d-Tr.</i>	39
<i>Criterio de Extrapolación para las curvas i-d-Tr.</i>	39
<i>Obtención del Valor Representativo de hp.</i>	40

	<i>Relación de la lluvia de una hora con lluvias de distintas duraciones</i>	44
2.3	Cociente entre la lluvia de una hora y 24 horas ambas de periodo de retorno 2 años	49
2.4	Hietograma de una Tormenta.	52
3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS.	
3.1	Estimación de parámetros para funciones de distribución particulares.	55
3.2	Distribuciones de Probabilidad de Variable Aleatoria Discreta.	57
3.3	Distribuciones de Probabilidad de Variable Aleatoria Continua	82
4.	GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA.	
4.1	Cuenca Hidrológica.	61
4.2	Parteaguas.	62
4.3	Área de la Cuenca.	62
4.4	Forma de la Cuenca.	63
4.5	Coeficiente de Compacidad.	63
4.6	Relación de Elongación.	63
4.7	Curva Hipsométrica de la Cuenca.	64
	<i>Utilidad.</i>	64
	<i>Construcción.</i>	64
	<i>Rectángulo Equivalente.</i>	64
4.8	Elevación Media de la Cuenca.	65
4.9	Cauce Principal.	65
4.10	Orden Corrientes.	65
4.11	Pendiente de la Cuenca.	68
4.12	Longitud, Perfil, y Pendiente del Cauce Principal.	68
4.13	Características de la Red de Drenaje.	71
4.14	Modelos de Drenaje y Endorreismo	72
4.15	relación de Bifurcación y leyes de Horton.	72
4.16	Densidad de Drenaje.	73
4.17	Frecuencia de Corrientes.	73
4.18	Geología, Suelos y Cobertura Vegetal de la Cuenca.	74
4.19	Modelos del Cauce.	75
4.20	Modelos Lluvia Escurrimiento.	76
	<i>Formula Racional.</i>	76
	<i>Hidrográma Unitario Instantáneo Geomorfológico.</i>	77
	<i>Ley de los Números de corrientes.</i>	77

5.	APLICACIONES	
5.1	Generalidades.	79
5.2	Morfología de la Cuenca.	81
5.3	Análisis Estadístico.	82
5.4	Presentación de los Resultados.	87
6.	CONCLUSIONES.	95
	ANEXO	97
	REFERENCIAS	161

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por recibirme en su seno como una segunda casa, donde he pasado los mejores años de mi vida, pues para mí es como el alma del país.

A la Facultad de Ingeniería por haberme formado profesionalmente como Ingeniero y por permitirme continuar con mi desarrollo profesional en la vida académica de esta escuela.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería por permitirme ser parte de ella y por brindarme los conocimientos que de ella emanan.

Al Dr. Carlos Escalante Sandoval, por su atinada dirección en la elaboración de este trabajo y por los consejos vertidos en mi persona.

A la Dr. Lilia Reyes por su contribución tan valiosa que me permitió, a través de sus comentarios y sugerencias alcanzar esta meta.

A los profesores de la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería por ser amigos y excelentes compañeros de trabajo, a los Ingenieros: Rodolfo Solís, Jaime Martínez, Raúl Escalante Lourdes Martínez, etc., etc., etc.

Es mi deseo agradecer a mis padres (†), Lauro y Doña "Leovi."; a ella por el coraje heredado para enfrentar las cosas y enmendar los errores cometidos, y a Lauro por dejar en mí la paciencia para aceptar aquellas cosas que no se pueden cambiar. En donde quiera que estén se que sus bendiciones son para mí.

A Mama "Chiviss", por su comprensión, amistad y cariño, por todos sus consejos, apoyo y aliento que me brinda. Que Dios lo permita y continúes con nosotros por mucho tiempo más.

A Papa "Chiviss", por soportar mi carácter y mal genio, por esa palmada de aliento que me impulsa a continuar y por ese gran apoyo que me ha permitido llegar hasta aquí.

A mi hermana Mayola Ortiz y a sus hijos (Fernando, Andres y Vicky), por su gran cariño y amistad invaluable.

Al Güero por el cariño de hermano que existe entre nosotros, por esas charlas de bohemia que compartimos cada vez que existe la oportunidad.

Existe una persona que debo de incluir en estas líneas y que merece todo mi respeto y admiración, por su cariño y amistad tan grande que existe entre nosotros. Paula Gómez.

A mis queridos hijos Lauro, Uriel, y Celia Ortiz, por ser la bendición que Dios puso en la unión con mi querida y amada esposa. Amanda Salyano.

Sobre todo agradezco a Dios por permitirme disfrutar de las personas y cosas que ocupan mi vida. Gracias Señor.



## INTRODUCCIÓN.

La escasez de registros de precipitación y escurrimiento en un sitio de interés, situación sumamente común en nuestro país, no permite determinar los parámetros necesarios para el diseño o revisión de obras hidráulicas de manera inmediata. Las curvas intensidad-duración-periodo de retorno son uno de estos parámetros, las cuales son una herramienta fundamental para este tipo de actividades, por lo que el ingeniero proyectista tiene que recurrir a distintas fuentes para estimarlos. En donde, además se tiene la falta de una serie de datos confiable y sobre todo de un número apreciable de los mismos; ya que para poder aplicar una serie de ajustes estadísticos se debe de contar con una muestra de datos considerable. Es por eso que el presente trabajo pretende determinar un número de tamaño de muestra que sea confiable para aplicar cualquier método estadístico, en la determinación de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno. Por ello, existen varios métodos que permiten determinar el escurrimiento de una cuenca mediante las características de la misma y la precipitación que se pudiera presentar dentro de la cuenca.

En capítulo II se presenta una descripción detallada de los tipos de precipitación, métodos utilizados para medir la misma. y las formas en que se presenta la información.

La relación entre la precipitación y el escurrimiento es compleja: depende por una parte de las características de la cuenca y por otra de la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo.

Debido a lo complejo del fenómeno, y a que la cantidad y calidad de la información disponible varía de un problema a otro se han desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento. Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente detallados basados en principios de la Física.

El problema de control de inundaciones en áreas de cultivo y sobre todo en cuencas urbanas y suburbanas, se ha enfocado generalmente a las prácticas de drenaje, por lo que el estudio de las precipitaciones con fines de diseño se ha concentrado en la información relativa a áreas y duraciones pequeñas y se ha analizado poco la influencia, que desde el punto de vista de diseño, tiene el tamaño de la cuenca.

En términos generales, los métodos tradicionales para determinar tormentas de diseño, luego de la construcción de la curva intensidad-duración periodo de retorno, tiene dos desventajas importantes. La primera deriva de que el análisis se basa en la información de una sola estación, generalmente la más cercana al sitio de estudio, y no aprovecha toda la información existente en la zona; esta situación conduce con cierta frecuencia a diseños inconsistentes en una misma región. Esto es más grave cuando se requiere precipitaciones asociadas a duraciones menores de una hora. Ya que la disponibilidad de datos pluviográficos es generalmente escasa y de poca calidad, al menos en México. La segunda se refiere a la falta de criterios de diseño para colectores que drenan cuencas relativamente grandes o estructuras de regularización cuyo diseño depende más del volumen de la avenidas que de su gasto pico.

Este trabajo relaciona la información existente dentro y fuera de la cuenca con fines de poder estimar mejor las curvas mencionadas y con ello presentar una mejor alternativa en el diseño de estructuras hidráulicas.

Debido a esas limitaciones, se han desarrollado enfoques basados generalmente en estudios regionales, como el realizado por Franco y Domínguez para el Distrito Federal en el año de 1982. En donde utilizando información de varias estaciones pluviográficas de la zona se definieron factores de ajuste, para conocer, alturas de precipitación de diseño para una cierta duración, periodo de retorno y área de la cuenca.

El instituto Mexicano de tecnología del Agua (IMTA) elaboró una base de datos ERIC que permite la extracción de información de lluvias, temperaturas y escurrimientos que facilitan la labor del hidrólogo.

Por otra parte el Servicio Meteorológico Nacional elaboró la base de datos CLICOM basado en las especificaciones propuestas por la Organización Meteorológica Mundial, que permite obtener fácilmente con métodos computacionales la información de lluvia diaria de más de 70 estaciones climatológicas ubicadas en el Valle de México.

Por lo anterior utilizando la cantidad y calidad de la información disponible se realizó un estudio regional cuyos resultados permitirán estimar, para el Valle de México, precipitaciones de diseño asociados a cualquier área de cuenca, duraciones entre 5 minutos y 24 horas y periodos de retorno entre 2 y 500 años.

En general este tipo de trabajos buscan obtener la precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno en cualquier sitio en México mediante análisis regionales de información.

A continuación se hace una breve descripción de los contenidos de los capítulos que conforman éste trabajo.

Luego de la introducción, en el capítulo II se presenta a la hidrología como la ciencia encargada del estudio del agua que se encuentra en la superficie terrestre en sus diferentes formas, los primeros estudios hidrológicos, tipos de precipitación y las diferentes formas de medir ésta. Una recapitulación de los trabajos previos sobre las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr) que se han realizado, así como los estudios hechos por investigadores como Bell en 1969 y los de Chen 1983, y sobre todo las investigaciones realizadas en México, con una comparación de los resultados.

En el capítulo III se presentan los métodos para determinar las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr); estos cálculos que requieren de más investigación e información para la formulación de las mismas. Así como los métodos que utilizan de información pluviográfica, pluviométrica e hidrométrica.

En el capítulo IV se presenta el análisis estadístico, que permite estimar la mejor curva de ajuste a las series de registros históricos de una estación; ya sea serie anual o serie de

excedentes anuales, para posteriormente hacer la regresión probabilística adecuada y determinar las curvas intensidad-duración-periodo de retorno.

Posteriormente en el capítulo V se muestran las características fisiográfica de una cuenca hidrológica y la forma de determinar cada una de estas; se consideran como parte fundamental en la respuesta de una cuenca a una precipitación sobre la misma.

Finalmente en el capítulo VI se tiene una aplicación práctica de los métodos presentados para una zona de la cuenca del Río Grande en la región hidrológica No.4 en el estado de Oaxaca. Además se presentan los resultados obtenidos para la zona en estudio, las conclusiones y recomendaciones que arrojó éste trabajo.

# 1. ANTECEDENTES.

## 1.1 LA HIDROLOGÍA COMO UNA CIENCIA.

El objetivo primordial de éste capítulo es destacar la importancia de la Hidrología superficial, como base en el diseño de los proyectos de control y aprovechamiento de los recursos hidráulicos. Indicando sus definiciones, divisiones, historia, enfoques de trabajo y limitaciones de los análisis hidrológicos, así como una descripción del ciclo hidrológico.

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, agricultura, usos recreativos, para transformar la energía y para los procesos de manufactura. Como consecuencia del crecimiento de la población mundial y el mejoramiento de sus condiciones de vida, se ha originado un aumento extraordinario en la demanda de agua. Por desgracia, no siempre es posible satisfacer las necesidades humanas y con frecuencia su escasez no permite disponer de la cantidad necesaria y otras veces, su exceso produce inundaciones originando graves daños materiales y a veces pérdida de vidas humanas.

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

Lo anterior destaca la necesidad de contar con especialistas generalizados con problemas hidrológicos que deberán estar calificados para resolver los problemas que plantean el diseño, construcción y operación de las obras hidráulicas.

Siendo el agua un recurso vital para la vida en el planeta, requiere de especial atención el estudio de la misma. Son muchas las ciencias que se han abocado al conocimiento del agua, ahora la que distrae nuestra atención es la hidrología, ciencia que se encarga del entendimiento del ciclo hidrológico.

En el transcurso de su desarrollo histórico, la hidrología ha sido definida de diversas formas, además de la ya mencionada, una de ellas quizá la más sencilla y rudimentaria es la que se basa en la interpretación de su nombre, esto es, Hidrología es una palabra de origen griego compuesta de dos partes: "hidros" que significa agua y "logos" que se traduce como por tratado o ciencia. Por lo anterior, la hidrología es ciencia del agua.

El nivel actual de desarrollo de las actividades humanas y de las ciencias en general no se puede satisfacer con la definición anterior, demasiado simplista o incompleta y por ello se recurre a la definición propuesta por U. S. Federal Council for Science and Technology (1962), cuando se requiere describir a la Hidrología como una ciencia, tal definición es la siguiente:

“Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos”.

La Organización Meteorológica Mundial presenta una definición donde se destaca la importancia de dicha ciencia en relación con los recursos hidráulicos de la tierra y su aprovechamiento, dicha definición es la que sigue:

“Hidrología es la ciencia que trata de los procesos que rigen el agotamiento y recuperación de los recursos de agua en las áreas continentales de la tierra y en las diversas fases del ciclo hidrológico”.

### **1.1.1 HISTORIA DE LA HIDROLOGÍA.**

-Platón y Aristóteles hablaron del ciclo del agua pero incurrieron en el error de decir que las aguas que corren son mayores que las que se precipitan en forma de lluvia.

-En 1500, Leonardo Da Vinci habla por primera vez del ciclo hidrológico inclusive se dice que determinó la velocidad del agua en un cauce.

-En 1650, Perreault efectuó medidas en el río Sena y estableció que existe una relación entre caudal y precipitación.

-En 1700, Edmund Halley (astrónomo) estableció que la evaporación daba para alimentar el caudal de todos los ríos conocidos. Es decir, estableció una relación entre evaporación, precipitación y caudal.

En 1930 comienza el desarrollo cuantitativo de la hidrología.

### **El bosquejo histórico más completo es el presentado por O. E. Meinzer (1942):**

1.- Periodo de especulación (antigüedad a 1400):

Durante este periodo el concepto del ciclo hidrológico fue especulado por muchos filósofos, como Homero, Tales, Platón y Aristóteles en Grecia; Séneca y Plinio en Roma. La mayoría de tales conceptos eran, con la excepción del propuesto por Marco Vitruvio, quien estableció que el agua subterránea provenía de la infiltración de la lluvia y de la nieve.

Aparecen las grandes construcciones hidráulicas de la antigüedad las cuales requirieron un conocimiento hidrológico práctico; entre ellas: los pozos de Arabia, los Kanats de Persia, los acueductos de Roma, los canales y sistemas de irrigación y obras de control de inundaciones en China, las zonas de riego de Egipto, Mesopotámica e India.

## 2.- Periodo de observación (1400 a 1600):

En el periodo conocido como renacimiento, se tuvo un cambio gradual de los conceptos filosóficos puros de la hidrología. Se dice que Leonardo da Vinci y Bernard Palissy lograron una correcta comprensión del ciclo hidrológico, especialmente en lo relativo a la infiltración de la lluvia y retorno del agua a través de los manantiales.

## 3.- Periodo de medida (1600 a 1700):

El inicio de la ciencia moderna de la hidrología puede ser considerado en el siglo XVII, con las mediciones por ejemplo: las de Pierre Perrault y Deme Mariotte en el río Sena de París y Edmónd Halley en el mar Mediterráneo, los cuales llegaron a conclusiones correctas del fenómeno hidrológico estudiado. A este periodo corresponde también los primeros estudios de los pozos artesianos.

## 4.- Periodo de experimentación (1700 a 1800):

Durante el siglo XVIII, los estudios experimentales hidráulicos tuvieron gran auge y como resultado de ello muchos principios hidráulicos fueron obtenidos, por ejemplo: el teorema y pizómetro de Bernulli, la Formula de Chézy y el principio D' Alambert, los tubos de Pitot y Borda. Los desarrollos anteriores aceleraron el inicio de los trabajos hidrológicos de base cuantitativa.

## 5.- Periodo de Modernización (1800 a 1900):

En el siglo XIX fue una gran era en la hidrología experimental que tuvo su inicio en el periodo precedente y que marcó más firmemente el comienzo de la hidrología como ciencia. Sin embargo la mayoría de las contribuciones se tuvieron en la Geohidrología y medición de las aguas superficiales (Hidrometría). Por ejemplo:

1802. En el campo de la evaporación; la ley de Dalton.

1840. La ecuación de Hagen-Poiseuille de flujo capilar.

1849. En el campo de la precipitación Miller correlacionó la lluvia con la altitud.

1855. La Fórmula de Francis para descarga de vertedores.

1856. La ley de Darcy.

1863. La fórmula del pozo de Dupuit-Thiem.

1869. Determinan el coeficiente de Chézy y Kutter y

1889. El principio de Ghyben-Herzberg.

1889. Por Manning Coeficientes de rugosidad.

## 6.- Periodo de empirismo (1900 a 1930):

Aunque muchos trabajos de hidrología moderna fueron iniciados en el siglo XIX, el desarrollo en la hidrología cuantitativa fue todavía inmaduro y por lo tanto empírica, debido a que la base física para varias determinaciones hidrológicas no estaba bien conocida, o bien porque se disponía de mucha información cuantitativa experimental para ser usada. Durante la parte final del siglo XIX y los siguientes 30 años, el empirismo hidrológico fue evidente, por ejemplo: cientos de fórmulas empíricas, seleccionando sus coeficientes y parámetros en base al juicio y experiencia.

## 7.- Periodo de racionalización (1930 a 1950):

En este periodo se inician los grandes hidrólogos que utilizan el análisis racional para resolver los problemas hidrológicos planteados, así por ejemplo se tienen:

- 1930. Hazen promueve el uso de la estadística en la hidrología.
- 1932. Sherman con el concepto de hidrográma unitario.
- 1935. Theis introduce el concepto de neoequilibrio en la hidráulica de pozos
- 1941. Gumbel propone la distribución de probabilidades de valores extremos
- 1944. Bernard, quien discute el papel de la meteorología, marca el inicio de la Hidrometeorología.
- 1950. Introduce el análisis teórico en los estudios de sedimentación. Aparecen, también, muchos laboratorios hidráulicos e hidrológicos en el mundo.
- 1953. Horton hace su contribución con la teoría de la infiltración de la lluvia.

#### 8.- Periodo de teorización (1950 a la fecha):

Alrededor de 1950, las aproximaciones teóricas tienen uso extensivo en los problemas hidrológicos, ya que muchos principios racionales propuestos anteriormente, pueden ser sujetos a un verdadero análisis matemático. Los instrumentos sofisticados y las computadoras de alta velocidad empiezan su desarrollo y entonces se pueden tomar medidas delicadas del fenómeno hidrológico y resolver ecuaciones matemáticas complicadas involucradas en la aplicación de las modernas teorías hidrológicas. Son ejemplos de los estudios hidrológicos teóricos, el análisis lineal y no lineal de sistemas hidrológicos, la adopción de los conceptos estadísticos y transitorios en la hidrodinámica del agua subterránea, la aplicación de las teorías del análisis de masa y calor al análisis de evaporaciones, el estudio energético y dinámico de la humedad del suelo, la generación secuencial de datos hidrológicos y el uso de la investigación de operaciones en el diseño de sistemas de recursos hidráulicos.

### 1.1.2 EL CICLO HIDROLÓGICO.

El agua que se encuentra en la superficie terrestre, o muy cerca de esta; se evapora por efecto de la radiación solar. El vapor de agua que así se forma, sube a la atmósfera y se transporta por ella en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayectoria hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede evaporarse, ser interceptada por plantas o las construcciones, fluir por la superficie hasta las corrientes o bien infiltrarse. El agua interceptada, una parte de la infiltrada y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente, de la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega a los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos para iniciar nuevamente el ciclo con la evaporación.

Una parte fundamental del ciclo hidrológico es la precipitación, y se denomina así al agua que llega a la superficie terrestre, en forma de lluvia, nieve o granizo; proveniente de la atmósfera. La magnitud de la precipitación depende de la acción del viento, la temperatura y la presión atmosférica. En la figura 1.1 se observa la descripción física del fenómeno

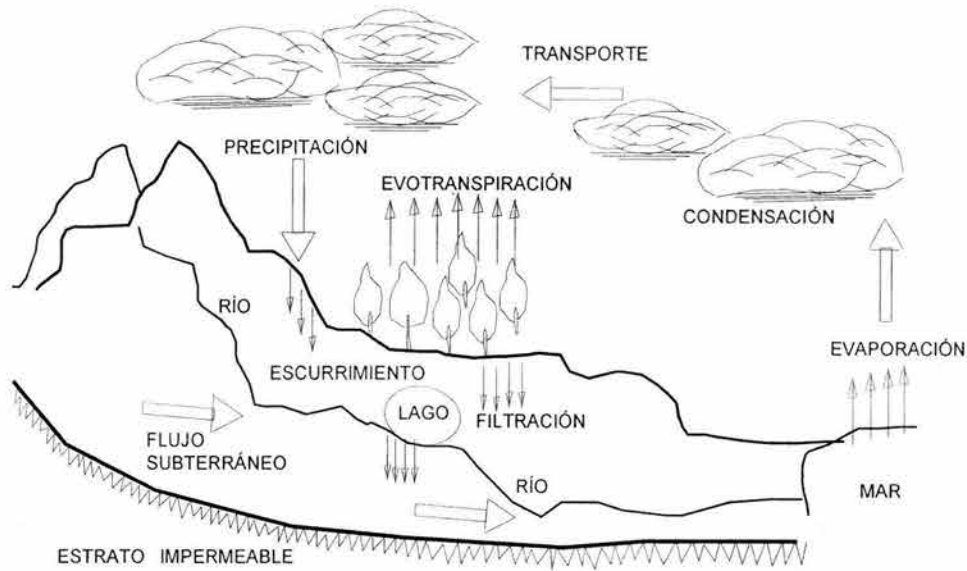


Figura 1.1 El Ciclo Hidrológico.

### 1.1.3 TIPOS DE PRECIPITACIÓN:

Según la forma en que se levanta la columna de aire, que la origina, la precipitación puede ser Convectiva, Ciclónica u Orográfica.

#### ***precipitación convectiva.***

Se origina por el calentamiento del suelo, que provoca corrientes ascendentes de aire húmedo. La precipitación asociada a este tipo de fenómenos afecta áreas reducidas, del orden de 25 a 50 km<sup>2</sup>. Su intensidad varía entre aguaceros y lluvias ligeras, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad; son comunes de las regiones tropicales.

#### ***precipitación de tipo ciclónica.***

Esta asociada al paso de ciclones, resulta del levantamiento del aire por convergencia, de la masa de aire en una zona de baja presión y en general este tipo de precipitación afecta a zonas muy extensas.



### **Se subdividen en dos tipos:**

- a) Frontal: Esta se origina por el levantamiento de aire caliente sobre el frío y puede ocurrir cuando el aire caliente se mueve hacia el frío o viceversa. Si ocurre lo primero se dice que se tiene una precipitación producida por un frente caliente; y si ocurre lo segundo se dice que se tiene una precipitación producida por un frente frío. La precipitación producida por un frente frío, es intensa y de corta duración; la precipitación de frente caliente, se distribuye por un área bastante grande y varía entre ligera y moderada.
- b) Precipitación por convergencia: Es causada por la tendencia del aire húmedo a converger hacia el centro del ciclón, el aire al no poder concentrarse en un área menor; tiende a elevarse, por lo cual se enfría provocando la precipitación.

### ***precipitación orográfica.***

Es consecuencia del ascenso de aire producido por las barreas montañosas; su distribución en el espacio esta relacionada con las pendientes del terreno.

#### **1.1.4 MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.**

Al estudiar el comportamiento de cualquier fenómeno físico, se necesita conocer sus características por medio de mediciones, para inferir de ellas la información que será utilizada para el desarrollo, planeación y diseño de estudios posteriores.

La precipitación es quizás el primer elemento meteorológico medido por el hombre, por lo que se han desarrollado una gran cantidad de instrumentos para obtener la información respectiva.

La observación de la lluvia es esencial para la descripción del fenómeno. Actualmente se puede contar con datos que proporcionan los satélites y radares, estos aparatos aportan una gran ayuda con la información que nos disponen. Sin embargo los puntos obtenidos por los instrumentos que miden la precipitación sobre la superficie terrestre, son los datos más reales para la cuantificar la cantidad de la lluvia pero se debe considerar que los tiempos de las escalas son relativamente cortos (horas y días).

La precipitación se mide en altura de lamina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos más usuales para medir la precipitación son el **pluviómetro** y el **pluviógrafo**.

En hidrología e hidrometeorología la mayoría de las veces se carece de datos que permitan el diagnostico y análisis de las series de tiempo, para una zona de estudio, pero para propósitos de operación, se reemplazan con valores estimados por otros métodos.

### ***pluviómetro.***

Es un recipiente el cual se expone a la intemperie, abierto en la parte superior. Consta fundamentalmente de tres partes: un área de captación, en la parte superior, que se comunica a un recipiente cilíndrico de un área menor, mediante un embudo. La relación entre las dos áreas es generalmente igual a 10, de tal manera que al introducir una escala graduada en centímetros en el recipiente menor se lee la precipitación real en milímetros.

Este tipo de aparatos únicamente proporciona la altura de precipitación total en intervalos de tiempo, generalmente de 24 hrs. Medidos a partir de las 8 de la mañana de cada día.

### ***pluviógrafo.***

Es similar al pluviómetro, solo que adicionalmente tiene un sistema mecánico para registrar la variación de la precipitación en el tiempo. El equipo adicional consta de un mecanismo de relojería y un detector de volumen de agua dentro del recipiente.

Existen tres tipos de Pluviógrafo:

a) Pluviógrafo de flotador con sifón:

Su sistema esta integrados por un embudo, un recipiente temporal, un sifón y un recipiente recolector. La figura 1.2 muestra un esquema de éste tipo de aparatos.

El agua cae sobre el embudo, luego pasa al recipiente temporal, donde permanece asta alcanzar el nivel máximo dentro de él y automáticamente se hace funcionar el sifón y el agua captada pasa al recipiente recolector.

El sistema de transmisión es mediante brazos que transmiten el movimiento del flotador a una plumilla la cual lleva el registro sobre el papel que esta montado sobre un tambor, con movimiento continuo provocado por un mecanismo de relojería.

b) Pluviógrafo de resorte:

Es semejante al Pluviógrafo de flotador, la diferencia estriba de que en lugar de un flotador emplea un resorte que es deformado por el peso del agua captada.

c) Pluviógrafo de balancín:

Su sistema de captación esta formado por un embudo y dos recipientes temporales colocados en un balancín; cuando un recipiente se llena desequilibra la balanza, la que gira y se vacía el recipiente quedando el otro en posición de ser llenado y se repite el ciclo.

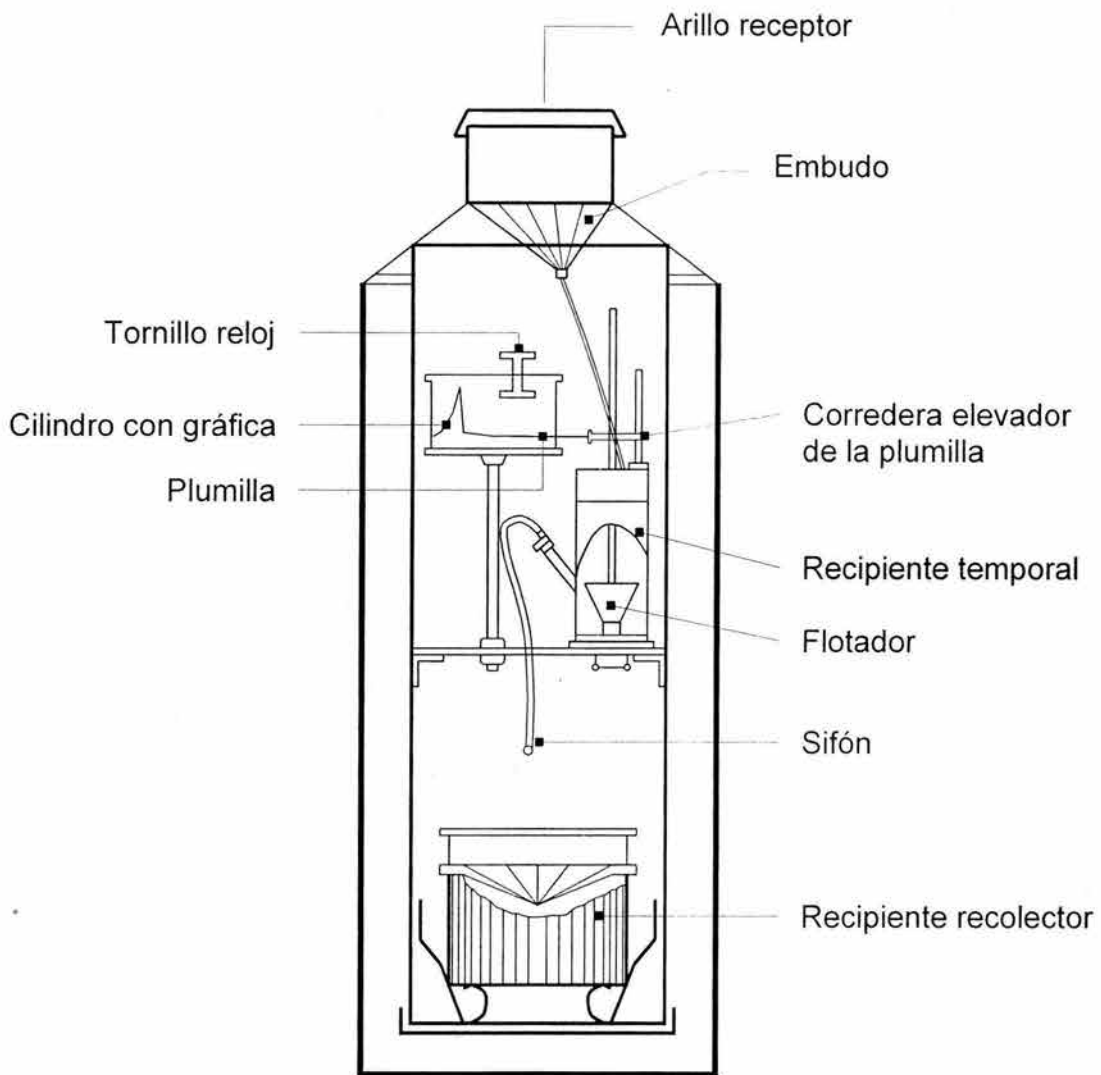


Figura 1.2 Pluviógrafo de flotador con sifón.

d) Pluviógrafo de resorte:

Es semejante al Pluviógrafo de flotador, la diferencia estriba de que en lugar de un flotador emplea un resorte que es deformado por el peso del agua captada.

e) Pluviógrafo de balancín:

Su sistema de captación está formado por un embudo y dos recipientes temporales colocados en un balancín; cuando un recipiente se llena desequilibra la balanza, la que gira y se vacía el recipiente quedando el otro en posición de ser llenado y se repite el ciclo.

El volumen necesario para que se provoque el giro de la balanza representa generalmente una altura de precipitación de 25 milímetros.

Las mediciones se logran a través de un impulso eléctrico, al girar la balanza se acciona un contacto. El sistema de registro puede ser con papel impreso, papel perforado o con cinta magnética. Además de que el agua atrapada se vacía al exterior. En figura 1.3 se puede apreciar el esquema tridimensional de un pluviógrafo de balancín.

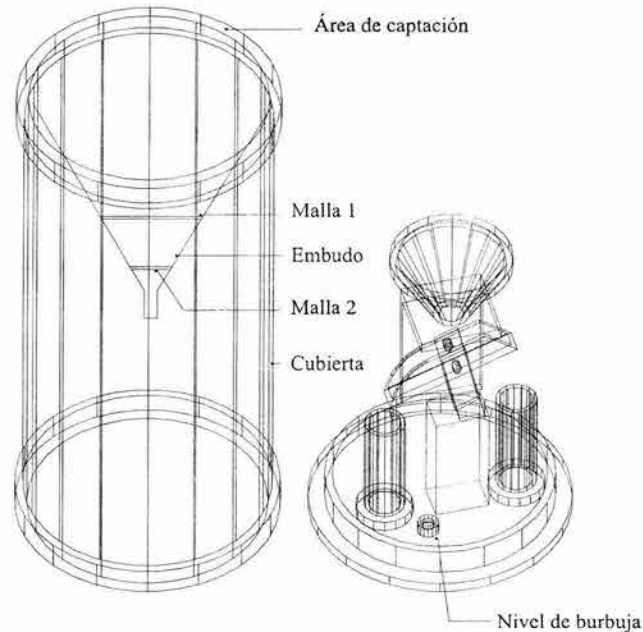


Figura 1.3 Pluviógrafo de balancín

### 1.1.5 MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN UTILIZANDO RADAR.

Un radar produce un impulso de energía electromagnética como un rayo en una dirección predeterminada por una antena móvil. El ancho y forma del rayo se determinan por el tamaño y la configuración de la antena. La onda irradiada, que viaja a la velocidad de la luz, se refleja parcialmente por las nubes y por las partículas de la precipitación y regresa al radar, donde es recibida por la misma antena.

La energía retornada al radar se llama “señal del blanco”, la cantidad se denomina “potencia de retorno” y su aparición en la pantalla del radar se llama “eco”. El brillo de un eco o la intensidad de éste, es una indicación de la magnitud de la potencia de retorno, que a su vez es una medida de la reflectividad del radar de los hidrometeoros. La reflectividad de un grupo de hidrometeoros depende de factores tales como (1) la distribución y tamaño de las gotas, (2) el número de las partículas por unidad de volumen, (3) el estado físico, es decir sólido o líquido, (4) la forma de los elementos individuales, y (5) el aspecto asimétrico de los elementos con respecto al radar. Por lo general, mientras más intensa sea la precipitación, mayor será la reflectividad.

El intervalo del tiempo entre la emisión del pulso y su aparición en la pantalla del radar es una medida de la distancia, o rango, del blanco desde el radar. La dirección del blanco desde el radar se determina por la orientación de la antena en el momento en que se registra la señal del primero. Tanto el rango como la dirección se muestran en sus propias perspectivas mediante la localización de los ecos en las pantallas del radar. La extensión espacial de la tormenta se puede obtener mediante la rotación de la antena. Moviendo la antena en un plano vertical, se obtiene información tanto de la estructura como de la altura de la precipitación.

La pérdida de energía del radar, debido a su paso a través de la precipitación, se llama "atenuación". Parte de esta pérdida resulta por la difracción y parte por absorción. Mientras mayor sea la relación entre el diámetro de la lluvia o la nieve y la longitud de onda, mayor será la atenuación. Para una partícula de un diámetro determinado, mientras menor sea la longitud de onda mayor será la atenuación. Por lo tanto, para longitudes de onda corta, la energía total puede verse grandemente disminuida, o disipada en su totalidad, por una penetración relativamente corta en una tormenta. Aún la más mínima precipitación atenuara mucho la energía del radar para longitudes de onda menores a un centímetro. Se considera que las longitudes de onda menores a 5 cm no son utilizables para medir la precipitación. Sin embargo, estas longitudes de onda, tan cortas, son de mucha utilidad para definir lluvias muy ligeras en distancias cortas, lloviznas y formaciones de nubes. En general se recomiendan longitudes de onda de 10 cm o más para mediciones de precipitación.

La "potencia promedio de retorno",  $Pr$  es una medida de la reflectividad de radar, de todas las partículas de un rango  $r$  que interceptan el rayo emitido.

$$Pr = \frac{C}{r^2} d^6 \quad 1.1$$

Donde  $C$  depende de la longitud de onda, forma y ancho del rayo, longitud del pulso, potencia transmitida, ganancia en la antena y de los índices de reflectividad del blanco;  $d$  es el diámetro de las partículas individuales.

Se han hecho numerosos estudios para relacionar la distribución del tamaño de las gotas de lluvia con la intensidad de la misma; la medición de la precipitación con radar está basada en relaciones empíricas entre  $d^6$ , que se representa generalmente por  $Z$ , y la tasa de precipitación  $R$  en la forma:

$$Z = aRb \quad 1.2$$

Los valores de  $a$  y  $b$  se pueden obtener mediante mediciones directas de la distribución y el tamaño de las gotas, o la comparación de las mediciones con radar y con pluviómetros.

El obstáculo más grande para una determinación exacta de la relación  $Z-R$  se produce debido al hecho de que el radar mide la precipitación en la atmósfera, mientras que los pluviómetros la miden en la tierra. Para evitar interferencias de las colinas, árboles, edificios, etc. el rayo del radar se dirige hacia arriba en un ángulo de 0.5 a 1 grado por encima de la horizontal, aumentando así la altura del rayo con la distancia, la magnitud de las discrepancias entre las mediciones con pluviómetro y radar varía con el ángulo del rayo, el ancho del mismo y el rango. Otro factor que produce error es la evaporación de la precipitación antes de llegar a la tierra, y sucede con bastante frecuencia en regiones áridas. También los vientos fuertes pueden arrastrar la precipitación alejándola de la parte inferior de la nube que produjo la lluvia. Las formas de precipitación sólida también afectan la reflectividad del radar, especialmente si están cubiertas de agua líquida, lo mismo que las discontinuidades de la distribución vertical de la precipitación y por lo tanto también fuentes de error.

Si  $Z$  está en  $(\text{mm})^6/\text{m}^3$  y  $R$  en  $\text{mm}/\text{h}$  se ha encontrado que los valores de  $a$  y  $b$  varían entre 15 y 1,100 y entre 1.2 y 3.2, respectivamente, para lluvia. Si bien los errores en la determinación de la relación son sin duda responsables de esta gran variación entre los valores de  $a$  y  $b$ , las diferencias en el clima y los tipos de tormenta son también factores aparentemente importantes. Se han llevado a cabo algunas pruebas con precipitación en la nube, más que con precipitación en la tierra. Por lo general se cree que unos valores de 200 y 1.6 para  $a$  y  $b$  respectivamente, producen, en promedio, los resultados más confiables, y una relación  $Z-R$  que utilice estos valores se toma usualmente como estándar. También es conocida como "la relación de Miami", que utiliza valores de  $a$  y  $b$  de 300 y 1.4, respectivamente. Se han realizado muy pocos estudios de la relación  $Z-R$  para precipitación sólida pero parece que valores de 2,000 y 2.0 para  $a$  y  $b$  respectivamente son aplicables para los copos de nieve.

Los hidrólogos, a menudo, están más interesados en el volumen de precipitación que en las tasas instantáneas, y se han dedicado con gran esfuerzo al desarrollo de procedimientos para integrar intensidades indicadas por el radar con respecto al tiempo y al área. El primer método desarrollado, utilizaba una cámara para tomar una exposición continua de la pantalla del radar durante un período específico. Con un medidor de densidad de fotografía, se registraba la intensidad de la imagen del eco, o densidad del filme de la película a partir de los negativos. La densidad se relacionaba con mediciones de pluviómetros y se dibujaban curvas mostrando la relación entre la cantidad de lluvia, la densidad de la película y el rango. La relación permite una estimación cruda de las cantidades sobre las áreas sin mediciones. Este método fotográfico, sin embargo, es lento y difícil de estandarizar y esta volviéndose obsoleto.

En un método desarrollado en la mitad de la década de los 60's un equipo especial midió automáticamente y electrónicamente la potencia de retorno para áreas incrementales dentro del rayo y las convierte en tasas equivalentes de lluvia, que a su vez se integran con respecto al tiempo. Los totales para cualquier duración se muestran en una malla producida por computadora, en la cual se pueden dibujar las isoyetas, o líneas de igual precipitación, basado en las mediciones de radar y a los pluviómetros.

Debido a diferentes factores que afectan la potencia de retorno, la exactitud de la medición de precipitación por medio del radar varía con la duración, área, tipo de tormenta y rango. Un gran número de comparaciones sugiere que las mediciones de lluvia con radar están dentro de 0.5 a 2 veces las mediciones con pluviómetro en un rango de 110 Km., con desviaciones mayores para distancias más grandes. La extensión espacial de la precipitación se puede definir confiablemente con el radar para rangos de hasta aproximadamente 230 Km. Puesto que, como resultado de un muestreo inadecuado; las mediciones con redes ordinarias de pluviómetros pueden dar un error apreciable, y puesto que el radar puede detectar y estimar la precipitación entre pluviómetros en una red de densidad ordinaria, el uso conjunto del radar y la red de pluviómetros debe suministrar mediciones más exactas que las que se pueden obtener usando uno de los dos métodos únicamente.

### **1.1.6 ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN UTILIZANDO SATÉLITES.**

Los estudios de balance hídrico en una escala global requieren de información sobre precipitación en áreas donde las redes de pluviómetros son inadecuadas o inexistentes. Como por ejemplo los océanos. Se ha sugerido que la información obtenida de satélites meteorológicos puede ser utilizada para estimar cantidades de lluvia para períodos de un mes o mayores. El problema principal es que los satélites no pueden medir las lluvias directamente y su cuantificación requiere la evaluación de un coeficiente de precipitación basado en la cantidad y tipo de nubosidad, la probabilidad de lluvia y la probabilidad de intensidad de lluvia asociada con cada tipo de nube. Estos factores están basados necesariamente en datos tomados sobre la superficie de la tierra y la aceptabilidad de este enfoque como tal para procesos de precipitación sobre el mar depende que aquellos se parezcan a los datos de la tierra.

Se han realizado diferentes esfuerzos para estimar la precipitación para duraciones tanto cortas como largas, relacionando o calibrando las fotografías de los satélites con mediciones de radar, de tal modo que la relación o calibración se pueda aplicar posteriormente a las fotografías de satélites en regiones remotas para estimar la intensidad de la precipitación, su frecuencia y su cobertura. Se puede decir en general que tales esfuerzos han sido infructuosos hasta 1974. Uno de los problemas mayores, es que las fotografías de satélites a menudo no revelan las nubes que producen precipitación, debido a que éstas están cubiertas por otras capas de nubes. Los desarrollos futuros en la instrumentación y las técnicas, pueden llevar eventualmente a obtener resultados razonables de precipitación utilizando los satélites, que se pueden utilizar para calcular el contenido de agua líquida de las nubes, puede ser una respuesta a la medición de la precipitación desde el espacio.

### **1.1.7 TIPOS DE REGISTRO.**

El tipo de registro que se utiliza para recabar información, depende de tres condiciones: Del tipo de aparato, localización, y sitio donde se encuentre ubicado.

En este método, el registro dibujado en el papel es el más usual, y en el caso de sitios no habitados o poco accesibles, se puede gravar la información en cintas magnéticas.

En algunas ocasiones la selección del tipo de registro, se hace en función de cómo se va a utilizar la información; por ejemplo si se utiliza para la prevención de avenidas, los registros de información deben ser procesados lo más rápidamente posible, para lo cual conviene manejar los datos en la estación central, empleando registros en cintas magnéticas.

Registro Continuo. En este caso el registro de datos se hace continuamente sin interrumpir el proceso. Se presenta continuamente en papel dibujado.

Registro discontinuo. Se denomina así por que la lectura o impresión de datos se hace a intervalos de tiempo prefijados de acuerdo con el uso que se le dé a la información. El registro puede hacerse en papel impreso, cinta perforada o cinta magnética.

### **1.1.8 TIPOS DE ERROR.**

Los errores comunes que se presentan en la medición de la precipitación son:

Errores Sistemáticos. Son los errores de los aparatos de medición y que se deben de minimizar mediante una calibración detallada, tratando de ajustar los niveles máximo y mínimo lo más cerca posible a la marca correspondiente a la gráfica.

Errores de tipo Aleatorio. Son los errores inherentes a los aparatos y que no se logran evitar, ya que la mayor parte de las veces son por fallas a los mismos aparatos. Por ejemplo, en los pluviógrafos con sifón, la cantidad de precipitación vertida en cada ciclo no siempre es igual; los efectos de fricción en los mecanismos de la plumilla de registro o entre el flotador y el recipiente temporal, pueden en ocasiones producir registros inexactos.

Errores de Observación. De este tipo son los que más comúnmente se presentan, al utilizar un pluviómetro. Es conveniente realizar visitas de supervisión frecuentes y que la persona encargada de hacer la medición no sea cambiada continuamente.

De todos los errores, el más serio es el producido por el viento. La aceleración vertical del aire, al ser forzada hacia arriba sobre el pluviómetro, le transmite una aceleración hacia arriba a las gotas que están por entrar al pluviómetro y se produce una captación diferente. La diferencia es mayor para gotas de mayor tamaño que para las gotas más pequeñas, y por lo tanto es mayor para lluvia ligera que para la fuerte. Esta deficiencia es aún mayor para la nieve y aún más grande para la nieve "seca" que para la nieve "húmeda"; de aquí que esté relacionada inversamente con la temperatura. Es difícil una evaluación confiable de los errores producidos por el viento debido a los problemas que conlleva determinar la verdadera cantidad de precipitación que llega al suelo. Los intentos para evaluar los errores debidos al viento han consistido en comparar las mediciones del pluviómetro con cambios en peso detectados en lisímetros cercanos; o con cambios en el



nivel de los lagos; o simplemente comparando las mediciones con pluviómetros sin proteger y protegidos.

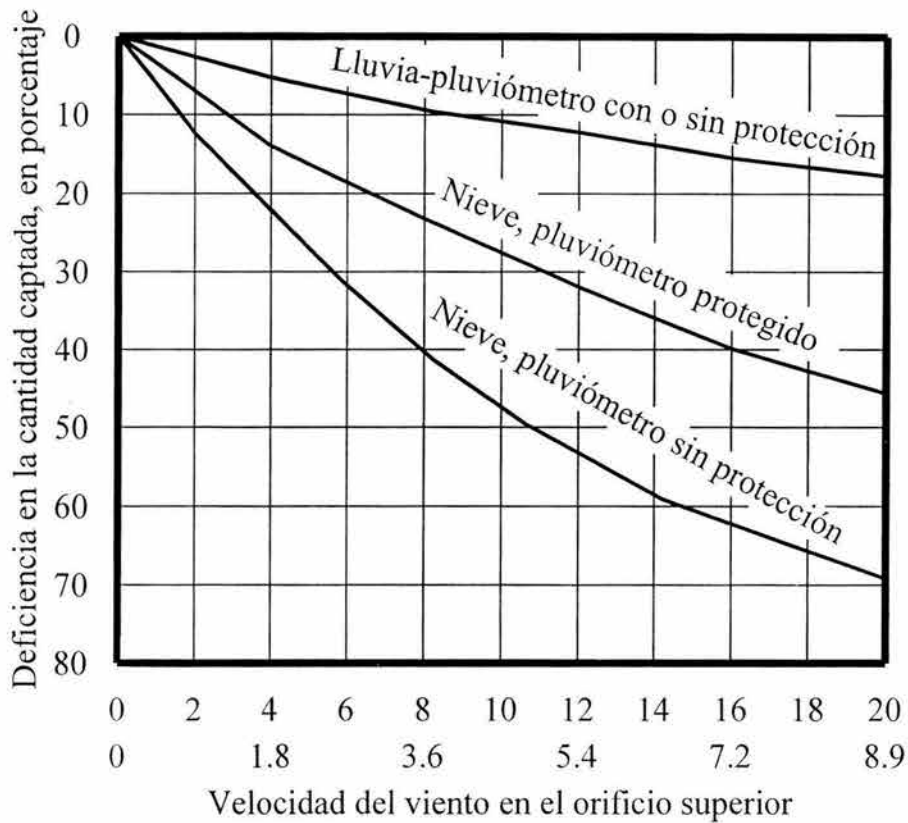


Figura 1.4 de Pluviómetros protegidos y sin proteger

La curva de la figura 1.4 muestra como para una lluvia, es en realidad un promedio de curvas separadas para pluviómetros sin proteger y protegidos, que presentaron apenas una dispersión del 3 % a 4.5 m/s y de 5% a 9.8 m/s y en las cuales la mayor deficiencia se presentó en el pluviómetro sin protección.

Se han utilizado diferentes tipos de protección, pero el "Parabrisas de Alter" se ha adoptado como estándar en los Estados Unidos. Por su construcción abierta existe menos oportunidad que en los de tipo compacto de ser obstruidos por la nieve, y su diseño flexible permite que el viento ayude a mantener el parabrisas libre de depósitos de nieve. Los parabrisas artificiales no pueden corregir los efectos inherentes a una deficiente colocación en los pluviómetros. También a mayor altura sobre el piso mayor es el error por el viento. Se deben evitar las instalaciones en los tejados y laderas con mucho viento, el mejor lugar es aquel donde haya una superficie a nivel horizontal rodeada de arbustos o árboles que sirvan de protección contra el viento, siempre y cuando éstos no estén tan cerca al pluviómetro y lo obstruya. Los árboles u otros obstáculos que se utilicen, deberán subtender ángulos entre 20 y 30 grados desde el orificio del pluviómetro, sin sobrepasar,

en caso alguno, los 45 grados y deberán rodear al pluviómetro de tal modo que ofrezcan protección desde todas las direcciones. Un sitio ideal sería un claro en un bosque de coníferas.

Se han realizado diferentes esfuerzos para estimar la verdadera precipitación a partir de mediciones con pluviómetro. Uno de ellos está basado en la premisa de que existe una relación entre la razón de lo captado por un pluviómetro sin protección (*PSP*) y la precipitación real *PR* y la razón de lo captado por un pluviómetro sin protección, a lo captado por un pluviómetro protegido (*PCR*).

$$\ln \left[ \frac{PSP}{PR} \right] = b \ln \left[ \frac{PSP}{PCR} \right] \quad 1.3$$

donde: *b* es un coeficiente de calibración que depende del tipo de pluviómetro. El modelo es presumiblemente independiente del viento y del tipo de precipitación.

Cuando la lluvia cae verticalmente, un pluviómetro inclinado 10 grados de la vertical recibirá un 1.5 % menos de lo que debiera. Si un pluviómetro, localizado sobre una superficie a nivel, se inclina ligeramente en la dirección del viento, captará más que la cantidad verdadera. Algunos investigadores creen que los pluviómetros se deben colocar perpendicularmente a las laderas. Sin embargo, el área de una cuenca es su proyección en el plano horizontal y las mediciones de los pluviómetros inclinados deberán reducirse, multiplicándolas por el coseno del ángulo de inclinación. Si se considera la variabilidad que hay en la pendiente y la dirección del viento, es virtualmente imposible instalar una red de pluviómetros inclinados para propósitos generales. Prácticamente hablando, no se han diseñado pluviómetros que den resultados confiables en pendientes fuertes con grandes vientos, y en general se deben evitar tales sitios.

### 1.1.9 RED DE PLUVIÓMETROS

Los usos para los cuales se presume se puede utilizar la información sobre la precipitación, deberían determinar la densidad de la red. Una red de estaciones relativamente dispersas debería bastar para el estudio de grandes tormentas, o para determinar promedios de grandes áreas planas. Se necesita una red bastante densa para determinar el patrón de lluvia de un aguacero. La probabilidad de que el centro de una tormenta quede registrado por un pluviómetro varía con la densidad de la red. Las redes deben ser planeadas de tal manera que se tenga un cuadro representativo de la distribución espacial de la precipitación. No debe haber concentración de pluviómetros en las áreas de mucha lluvia a costa de una densidad baja en áreas relativamente secas o viceversa. Desafortunadamente, el costo de instalación y mantenimiento de una red y la accesibilidad al sitio del pluviómetro son siempre consideraciones importantes. La red de servicio meteorológico de los Estados Unidos consiste de aproximadamente 3,500 pluviógrafos y 11,000 pluviómetros de diferentes tipos, al rededor de 13,000 estaciones, o sea una estación por cada 60 km<sup>2</sup>.

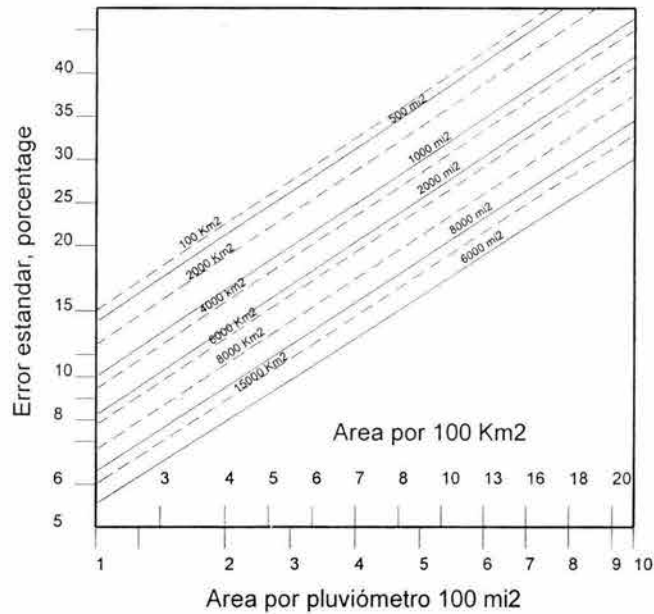


Figura 1.5 Densidad de la red pluviográfica.

Se ha investigado el error cometido al estimar los promedios de lluvia tomados de diferentes densidades de redes. La Fig. 1.5, basada en un análisis de una tormenta en la cuenca de Muskingum en Ohio, muestra el error estándar entre los promedios de lluvia como una función de densidad de la red y del área. En general, los errores de muestreo, en función de la profundidad pluviométrica, tienden a aumentar cuando se incrementa la precipitación media en el área y a disminuir cuando aumenta la densidad de la red, la duración de la precipitación y el tamaño del área. Por lo tanto, una red en particular produciría errores promedio mucho más grandes para tormentas que para precipitaciones mensuales o estacionales. Los errores promedio también tienden a ser mayores en el verano que en el invierno debido a una variación espacial de las lluvias de verano. Si se desea mantener grados de exactitud equivalentes, las tormentas de verano pueden requerir de una red cuya densidad sea de dos a tres veces la necesaria para las tormentas de invierno.

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

- a) Para regiones planas en zonas tropicales, mediterráneas o templadas, de 600 a 900 km<sup>2</sup> por estación.
- b) Para regiones montañosas en zonas tropicales mediterráneas o templadas, de 100 a 250 km<sup>2</sup> por estación.
- c) Para islas montañosas pequeñas con precipitación irregular, 25 km<sup>2</sup> por estación.

d) Para zonas áridas y zonas polares, 1500 a 10,000 km<sup>2</sup> por estación.

La información sobre la diferencia entre la precipitación calculada y la verdadera es de interés climatológico, pero no responde a la siguiente pregunta hidrológica. ¿Qué error resulta de la estimación de caudales debido a la medición imperfecta de la precipitación?

La respuesta depende de las características climáticas, de la precipitación en el área (entre las cuales se incluyen los efectos de la topografía de la cuenca), las características hidrológicas de la cuenca, las características del caudal estimado y posiblemente el método para estimar el escurrimiento.

Si se utiliza una sola estación de medición como índice de la precipitación en la cuenca los patrones de la tormenta están distribuidos aleatoriamente sobre la misma, la precipitación observada tendrá una varianza mayor que la precipitación verdadera; es decir, el pluviómetro en algunas ocasiones puede registrar cantidades mucho mayores o mucho menores que el promedio de la cuenca. El escurrimiento estimado a partir de éste índice mostrará una varianza mayor que el caudal observado. Por otro lado, en un período de tiempo suficientemente grande, el pluviómetro debe indicar una precipitación promedio que sea cercana a la de la cuenca y por lo tanto el caudal medio estimado debe ser razonablemente exacto.

## **1.2 RELACIÓN INTENSIDAD DE LLUVIA-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO (i-d-Tr).**

Una ecuación de intensidad de lluvia-duración-período de retorno (i-d-Tr) es necesaria para la planeación y diseño de proyectos de recursos hidráulicos. La estimación de intensidades de lluvia de diferentes duraciones y periodos de retorno son también útiles en la estimación de escurrimientos (Kothyari y Garde, 1992).

El daño y destrucción de proyectos hidráulicos por lluvias externas y los costos ocasionados por estructuras sobre diseñadas pueden reducirse a través de una adecuada estimación de relaciones i-d-Tr.

Una ecuación i-d-Tr integra las relaciones intensidad de lluvia-duración e intensidad de lluvia-periodo de retorno. Bell (1969) demostró que la primera relación es independiente del periodo de retorno y la segunda, independiente de la duración.

El periodo de retorno se define como la frecuencia de incidencia de una tormenta en un tiempo determinado.

Una definición del periodo de retorno (Tr) se presenta en la referencia 4. (Fundamentos de Hidrología de Superficie de Aparicio Mijarez).

En estudios previos, Bell (1969), Chen (1983), Kothyari y Garde (1983), cada autor elige a su criterio las alturas de lluvia que mejor representa el patrón geográfico de la lluvia. Tal es el caso de la relación propuesta por Bell (1969) que utiliza una altura de lluvia,

correspondiente 10 años y 1 hora  $R_1^{10}$ ; o como la relación de Chen (1983) que utiliza tres alturas de lluvia  $R_1^{10}, R_{24}^{10}, R_1^{100}$ . La diferencia entre ambas formulas son las consideraciones hechas en las relaciones altura-duración y altura-periodo de retorno.

En México se obtienen curvas i-d-Tr con los dos métodos: Método intensidad-periodo de retorno y el método de correlación lineal (Aparicio, 1992). Ambos métodos requieren información de pluviógrafo; sin embargo la red pluviográfica es escasa y hay regiones del país en donde prácticamente no existe. Mientras mayor sea la cantidad de información de que se disponga, para el diseño de las obras hidráulicas, la precisión en las estimaciones será mayor. Cuando no se dispone de información pluviográfica se usa la formula de Bell.

En la República Mexicana se cuenta con 2 682 estaciones pluviométricas y 345 pluviógrafos, es decir, sólo el 13 % de las estaciones climatológicas cuenta con pluviógrafo, de manera que se puede tener una relativa facilidad para disponer de una cuenca pequeña en sus cercanías, de uno o varios registros de lluvias máximas diarias y obtener a partir de ellos las curvas i-d-Tr, básicas para el análisis hidrológico de avenidas máximas por métodos empíricos o hidrológicos.

Las lluvias máximas diarias tienen gran densidad y longitudes de registro aceptables, por lo cual la lluvia con una duración de una hora y un periodo de retorno de dos años ( o cualquier otro), se podrá evaluar con una relación a la de 24 horas con igual periodo de retorno, denominado cociente R.

### 1.2.1 LOS REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS

Tomando en cuenta, que los pluviógrafos registran en forma continua la variación de la altura o lamina de lluvia con respecto al tiempo, sus registros (banda pluviográfica) son los que permiten realizar el análisis más completo de las tormentas de la zona o región, representando por las curvas i-d-Tr. La banda pluviográfica constituye la gráfica sobre la cual la pluma del pluviógrafo registra la lluvia acumulada. De acuerdo con el mecanismo de relojería del pluviógrafo, el reemplazo de la banda podrá ser diario o semanal, según las necesidades de precisión y lo accesible de la estación pluviográfica (Campos 1987) dicha banda presenta una seria de limitación para su uso, pues su amplitud de registro es de 10 milímetros de lluvia acumulada, que corresponde al punto de vaciado del volumen retenido de lluvia para una tormenta real. Debido a esto para que la banda sea útil se debe transformar en la llamada curva masa de la tormenta, que es una gráfica de lluvia acumulada en milímetros contra el tiempo, desde el inicio de la tormenta, este último acotado en el eje de las abscisas. A partir de la curva masa se puede obtener las curvas i-d-Tr. En el capítulo III, inciso III.4 se presenta una descripción mas detallada del desarrollo para la construcción del hietograma de una tormenta.

Dentro de los objetivos del presente trabajo se encuentra el desarrollo y aplicación de una metodología que empezó a estudiar Campos Aranda (1990), la cual permite la obtención de las curvas i-d-Tr a partir de los registros pluviográficos, a partir de los cocientes R que es la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas.

## 1.2.2 CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO (i-d-Tr).

La lluvia se define mediante tres variables: magnitud o lamina, duración y frecuencia.

La magnitud de la lluvia es la precipitación total ocurrida (en milímetros) en la duración de la tormenta; la frecuencia se expresa por medio del periodo de retorno de la lluvia o su intervalo de ocurrencia, que es el tiempo promedio en años en el cual el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Campos 1987). El número de años en que en promedio, se presenta una vez un evento mayor o igual al predeterminado, se le llama periodo de retorno  $T_r$ . (Fundamentos de Hidrología de Superficie de Aparicio Mijarez).

Las curvas precipitación-duración-periodo de retorno (i-d-Tr), forman una gráfica en la que se concentran las características de las tormentas de la zona o región en estudio, con respecto a las variables mencionadas.

En cada lluvia en particular la altura de lluvia promedio máxima varía con la duración; por lo tanto, al analizar la altura de lluvia en un punto debe tomarse en cuenta tanto la cantidad de lluvia que cae como la duración de la correspondiente. A este análisis se le conoce como altura-duración.

Si en lugar de la altura de lluvia usamos la intensidad (altura de lluvia por unidad de tiempo, mm/h) se obtiene la relación intensidad-duración. Por otro lado cuando la duración considerada crece la intensidad de lluvia decrece para cualquier frecuencia de ocurrencia dada y cuando la frecuencia de ocurrencia decrece, la intensidad de lluvia crece para cualquier duración dada; por lo tanto también es importante relacionar la intensidad de lluvia con su frecuencia de ocurrencia. A esta relación se le conoce como intensidad-frecuencia.

Al combinar las relaciones anteriores; intensidad-duración e intensidad-frecuencia se obtienen las relaciones intensidad-duración-frecuencia.

Al concentrar las tres variables mencionadas en una gráfica; la duración  $D$  en el eje horizontal; la intensidad de lluvia  $I$  en el eje vertical; y la frecuencia o periodo de retorno  $T_r$  como parámetro de la curva, obtenemos las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-Tr). Estas curvas representan la probabilidad de que una cierta intensidad de lluvia promedio sea superada dada una duración (Bedient y Huber, 1988).

Estos tipos de curvas (i-d-Tr) se utilizan en el diseño de sistemas de drenaje, incluyendo drenaje agrícola y en el diseño de estructuras hidráulicas como presas, alcantarillas, puentes, etc.

### 1.2.3 RELACIONES REGIONALIZADAS Y MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LAS CURVAS *i-d-Tr*.

El desarrollo de estas relaciones se inicia con los estudios de Hershfield y Wilson, y son continuadas por Reich y Bell (Hall, 1984). Estos estudios consideran que los eventos de lluvia extrema con duración menor o igual a 2 h (120 min) provienen de tormentas similares, generalmente de lluvias convectivas, las cuales tienen propiedades similares en muchas partes del mundo.

#### ***Métodos de obtención en México.***

En México las curvas *i-d-Tr* se obtienen por dos métodos: a) método de intensidad de lluvia-periodo de retorno; en donde el análisis se realiza para valores correspondientes a una sola duración, y b) método de correlación lineal múltiple; en donde se hace un ajuste simultáneo de los valores de tres variables (Franco y Domínguez, 1981).

En el método de intensidad de lluvia-periodo de retorno el análisis se realiza para cada duración, ajustando a los valores máximos anuales una función de distribución de probabilidad, generalmente una de tipo Gumbel. El proceso de cálculo es similar al descrito en el análisis de frecuencia.

En el método de correlación lineal múltiple la curva *i-d-Tr* se obtiene ajustando una función a los valores de intensidades máximas anuales correspondientes a todas las duraciones de interés.

Estos valores de intensidad de lluvia pueden ser tomados de:

- \_ Registros pluviométricos. A través de series de excedentes o máximos anuales.
- \_ Registros pluviográficos. A través de máximos anuales.
- \_ Registros hidrométricos. Con escurrimientos máximos anuales.
- \_ Por último a través de un método geomorfológico; donde hace uso de la geomorfología de la cuenca.

Cada uno de los métodos expuestos anteriormente, serán desarrollados en el tema 4 de aplicaciones donde se hace las diligencias para determinar las curvas *i-d-Tr* para un sitio.

La ecuación que generalmente se utiliza es la siguiente.

$$I = \frac{kT_r^m}{d^n} \qquad 1.4$$

Donde:

$I$  es la intensidad de la lluvia, en mm/h;  $T_r$  periodo de retorno, en años;  $d$  la duración de la intensidad, en h;  $k$ ,  $m$  y  $n$  son parámetros que se obtienen al hacer el ajuste de la ecuación.

### Los primeros estudios.

Bell (1969) analizó lluvias con duraciones menores o iguales a 2 h e indicó que los valores extremos de estas lluvias están asociadas con lluvias de tipo convectivo local.

En el estudio de Bell se menciona que el United States Weather Bureau recomienda valores constantes de la relación altura de lluvia de duración  $d$ , en min; a la lluvia de duración de 60 min (1h), para el mismo periodo de retorno ( $R_d^T / R_1^T$ ). Esto es, lluvias de 5, 10, 15 y 30 min tienen relaciones de 0.29, 0.45, 0.57 y 0.79, respectivamente, a la lluvia de 60 min. Bell demostró que las relaciones altura-duración y altura-frecuencia encontradas en Estados Unidos de América pueden aplicarse en otras partes del mundo, por lo que propone relaciones constantes.

Por el momento, únicamente se presenta la ecuación altura-duración, válida para  $5 \leq d \leq 120$  min., y los valores de las relaciones mencionadas para una duración de una h y periodo de retorno de dos años se presentan en las tablas 1.1 y 1.2

La ecuación altura-duración propuesta por Bell es:

$$\frac{R_d^T}{R_1^T} = 0.54 d^{0.25} - 0.50 \quad 1.5$$

Donde:

$R_d^T$  es la altura de lluvia de  $T$  años y  $d$  min,  $R_1^T$  es la altura de  $T$  años y 1 h de lluvia.

Tabla 1.1 Relación altura-duración.

d, mm	5	10	15	30	60	120
Relación	0.29	0.45	0.57	0.79	1.00	1.25*

\* valor propuesto por Bell.

Tabla 1.2 Relaciones altura-periodo de retorno.

T, años	2	5	10	25	50	100
Relación	1.0	1.35	1.60	1.87	2.10	2.32



Hardgreaves (1981) indica que la altura de lluvia varía aproximadamente con la potencia 1/4 de la duración,  $d$ , y con la potencia 1/6 del periodo de retorno,  $T_r$ . La altura de lluvia de 24 h y 10 años periodo de retorno fue utilizada para encontrar estos valores.

Finalmente la ecuación que propone para estimar otras duraciones y otros periodos de retorno es la siguiente.

$$R = KT_r^{1/6} d^{1/4} \quad 1.6$$

Donde:

$R$ ; es la altura de lluvia en mm,  $T_r$  el periodo de retorno en años,  $d$  la duración en min y  $K$ ; es una constante para cada región o localidad. La ecuación es valida para  $5 \leq T_r \leq 100$  años y  $30 \leq d \leq 4$  días.

Chen (1993) ajusta una transformación logarítmica de la ecuación tipo III a datos de lluvia para duraciones entre 5 min y 24 h y presenta una relación gráfica entre los parámetros de la ecuación y la relación de altura de lluvia de 1 h a la altura de lluvia de 24 h. Chen propone la siguiente ecuación para obtener relaciones I-D-Tr utilizando series máximas anuales.

$$I_d^T = \frac{a_1 I_1^{10} \log \left\{ 10^{2-x} \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^{-(x-1)} \right\}}{(d + b_1)^{c_1}} \quad 1.7$$

Donde  $I_d^T$  es la intensidad de lluvia para  $T$  años y  $d$  min, en min/h;  $I_1^{10}$  la intensidad de lluvia para 10 años y 1 h;  $x$  es la relación  $(R_d^T/R_1^T)$  (altura de lluvia para 10 años y una hora entre altura de lluvia para 10 años y una hora);  $a_1, b_1, c_1$  son parámetros de tormenta estándar obtenidos por mínimos cuadrados.

La ecuación es valida para  $T_r \geq 1$  año y para  $5 \text{ min} \leq d \leq 24$  horas.

Froehlich (1992) analizó cada una de las cuatro ecuaciones empíricas de intensidad-duración, mencionadas anteriormente. Utilizó alturas de lluvia con duración menor a una hora, obtenidos de los mapas isopluviales publicados por el National Weather Service para cuatro regiones de EUA incluyendo Alaska y Hawaii. En su estudio trabajó cada ecuación en forma adimensional, dividiendo entre la intensidad de lluvia de duración de una hora,  $I_1$ .

Por ejemplo, la forma adimensional de la ecuación tipo I es:

$$I^* = \frac{a_1^*}{d + b_1} \quad \text{donde} \quad I^* = \frac{I}{I_1} \quad \text{y} \quad a_1^* = \frac{a_1}{I_1} \quad 1.8$$

Los parámetros para cada una de las relaciones adimensionales se determinan minimizando el error cuadrático. Froehlich propuso para cada región analizada, la ecuación que resultara con el mínimo error de la suma de los cuadrados, estimado como:

$$E = \sum (I_j^* - I_j^*)^2 \quad 1.9$$

Donde  $I_j^*$  es el valor estimado de la cantidad de lluvia adimensional con las ecuaciones empíricas I y II,  $I_j^*$  es la intensidad de lluvia adimensional obtenida utilizando los mapas del National Weather Service de los U.S.A. en un número de observaciones.

Por ejemplo, para la región oeste de los U.S.A. y Alaska se obtuvo los siguientes valores:

Ecuación	Parámetros	Error cuadrático
I	$a_1^* = 71.2; \quad b_1 = 15.8$	0.0120
II	$a_2^* = 7.41; \quad b_2 = 0.45$	0.0536
III	$a_3^* = 23.1; \quad b_3 = 23.1; \quad c_3 = 0.74$	0.0013
IV	$a_4^* = 36.4; \quad b_4 = 6.72; \quad c_4 = 0.83$	0.0008

Por lo tanto para encontrar alturas de lluvia con periodo de retorno de 100 años para las regiones mencionadas se aplica la ecuación de tipo IV con sus respectivos parámetros.

$$I = \frac{36.4 I_1}{d^{0.83} + 6.72} \quad 1.10$$

Kothyari y Garde además de incluir el periodo de retorno en la ecuación intensidad-duración tipo II, incluye la altura de lluvia con periodo de retorno de 2 años y duración de 24 h,  $R_{24}^2$ , y la ecuación que propone es:

$$I_d^T = C \frac{T^b}{d^a} (R_{24}^2)^e \quad 1.11$$

Donde  $I_d^T$  es la intensidad de la lluvia de  $T$  años y  $d$  min.,  $C, a, b, e$  son constantes obtenidas de la correlación lineal múltiple.

Ferreri y Ferro (1990) analizan varias lluvias de corta duración, menores a una hora, para verificar la aplicabilidad de la relación altura-duración sugerida por Bell, ecuación 2.6, y para determinar si las características de las lluvias de corta duración son realmente independientes de factores geográficos.

Para tal efecto con información de 191 estaciones localizadas en Sicilia, Italia, calculan los valores de las relaciones  $R_d/R_1$ , para cada una de las estaciones, donde  $R_d$  es la altura de lluvia con duración  $d$  minutos y  $R_1$  es la altura de lluvia con duración de una hora. Se comprobó que esta relación es independiente del periodo de retorno (Bell, 1969). Los autores proponen una relación altura-duración del tipo:

$$Y = ad^b \quad 1.12$$

En donde,  $Y$  es la relación media  $R_d/R_1$ ,  $a, b$  son constantes obtenidas con ajustes de mínimos cuadrados. Al obtener las constantes  $a = 0.208$  y  $b = 0.386$ , comparan sus resultados con la ecuación sugerida por Bell y encuentran valores similares en el rango  $30 \leq d \leq 60$  min. Con estos resultados confirman la independencia de las lluvias de corta duración de factores geográficos en Sicilia, Italia.

Goswami (1972) elaboró mapas de curvas altura-duración-periodo de retorno para la India, basándose en relaciones propuestas para U.S.A. Su análisis trata con datos de lluvia puntual y duraciones menores o iguales a dos horas (120 min).

Con el valor de la relación  $R_1^2 / R_{24}^2 = 0.435$  y conocida la altura de lluvia de 24 h y periodo de retorno 2 años, estima la altura de lluvia de duración 1 h y periodo de retorno 2 años; con este valor y las relaciones propuestas en el estudio de Bell, mencionadas anteriormente, se elaboraron planos de isoyetas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 30, 50 y 100 años y duraciones de 5, 10, 15, 30, 60, y 120 min.

### ***Estudios realizados en México.***

Franco y Domínguez (1982) proponen un método de regionalización para determinar la lluvia de diseño empleando factores de ajuste por duración, periodo de retorno y área. La regionalización se aplicó en la cuenca del Valle de México.

Para la regionalización se sugieren emplear dos planos de isoyetas; uno para  $d = 30$  min. y el otro para  $d = 24$  h, ambos planos con un periodo de retorno de 5 años. Al elegir la primera duración se toma en cuenta el hecho de que en las zonas urbanas las lluvias que provocan los gastos máximos generalmente tienen una duración menor de 2 h, y la segunda para utilizar la información de los pluviómetros ubicados en la región.

Para elaborar el primer plano proponen ajustar los datos de cada estación a una ecuación de tipo I, para el segundo ajustar diferentes funciones de distribución de probabilidad (Gumbel, Exponencial, Gamma, etc.) y escoger la función que mejor ajuste los datos. Posteriormente se calcula la precipitación correspondiente al periodo de retorno de 5 años, utilizando la función de distribución seleccionada.

Para utilizar los planos de isoyetas anteriores en análisis con periodo de retorno y duraciones diferentes a las que se usaron para construirlos, determinaron factores de ajuste por duración, periodos de retorno y área. De tal manera que conocida la altura de lluvia con periodo de retorno de 5 años y 30 min y con los factores indicados en las tablas 1.3 y 1.4, se puede obtener la lluvia de diseño para las duraciones y los periodos de retorno deseados.

Tabla 1.3 Factores de ajuste por duración para la cuenca del Valle de México.

d, min	5	10	15	20	30	60	80	100	120
Factor	0.34	0.60	0.75	0.87	1.00	1.20	1.27	1.30	1.33

Tabla 1.4 Factores de ajuste por periodo de retorno para la cuenca del Valle de México.

T, años	1	2	5	10	50	100	200
Factor	0.60	0.74	1.00	1.18	1.60	1.78	1.94

Campos (1984) sugiere utilizar la fórmula generalizada de Bell, que toma como base la altura de lluvia de dos años y una hora ( $R_1^2$ ) para obtener curvas i-d-Tr. Propone determinar la altura de lluvia  $R_1^2$  con la relación  $R_1^2/R_{24}^2 = 0.47$  (con valores extremos de 0.28 y 0.60). posteriormente, en 1990, analiza información de 33 estaciones pluviográficas distribuidas en el territorio nacional, y encontró valores de la relación  $R_1^2/R_{24}^2 = K$  para cada estación. También presenta y aplica las formulas de Bell y Chen utilizando series de excedentes anuales. Finalmente recomienda un valor promedio de  $K = 0.479$ ; con valores extremos de 0.204 y 0.646; para periodos de retorno entre 2 y 10 años y duraciones pequeñas, sobre todo de 5 min., se recomienda la formula de Bell y para periodos de retorno de 10 años, la fórmula de Chen (ecuación para series de excedentes anuales).

Barrios y Domínguez (1986) proponen una regionalización de las precipitaciones máximas en cuencas donde predominan las tormentas de tipo convectivo. La regionalización la aplicaron en 17 estaciones con información pluviográfica y pluviométrica de la cuenca alta del río Lerma.

El análisis consistió en ajustar a cada una de las 17 estaciones pluviográficas y para duraciones de 15, 20, 30, 60, 80, 100, 120, 180 y 240 min., las funciones Gumbel, Normal, Lognormal y Exponencial. La distribución adoptada como representativa de todas las estaciones de la cuenca fue Gumbel.

Estos autores elaboraron un plano base de alturas de lluvia de 30 min. y periodo de retorno de 10 años, para pasar a otra precipitación y a otro periodo de retorno multiplicando solo por un factor. Los factores encontrados para la cuenca alta del río Lerma son los mostrados en las tablas 1.5 y 1.6.

Tabla 1.5 Factores de ajuste por duración para la cuenca alta del río Lerma.

d, min	15	20	30	60	80	100	120	180	240
Factor	0.73	0.84	1.00	1.23	1.30	1.35	1.38	1.45	1.52

Tabla 1.6 Factores de ajuste por periodo de retorno para la cuenca alta del río Lerma.

T, años	1	2	5	10	50	100	200
Factor	0.60	0.66	0.85	1.00	1.34	1.48	1.65

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) en 1990 publicó isoyetas de intensidad-duración-frecuencia para toda la Republica Mexicana para duraciones de 10, 20, 30, 60, 120 y 240 y periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

En este trabajo, con información de 382 estaciones con registros mayores o iguales a ocho años, se realiza un análisis estadístico y probabilístico utilizando diez distribuciones de probabilidad; Gumbel, Log Gumbel, Gumbel 1, Log Gumbel 1, Pearson, Normal, Log Normal, Log Normal tres parámetros, Doble Normal y Gamma. Según la S.C.T.; 235 estaciones se ajustaron mejor a la distribución Gumbel, 67 a la distribución Normal y el resto a las diferentes distribuciones.

Con lo anterior se representa las isoyetas con valores de intensidad máximas calculadas con las distribuciones de probabilidad que presentaron el error mínimo para cada una de las estaciones. Las isoyetas se presentan por estado.

Domínguez y Ríos (1991) proponen una metodología para proporcionar intensidades máxima, en función de la precipitación con duración de 120 min. y un periodo de retorno de 10 años, en la cuenca del río Papaloapan.

Estos autores obtienen un plano de isoyetas medias anuales, utilizando 167 estaciones pluviométricas distribuidas en la región con registros mayores de 10 años. Con la información pluviográfica, se calcularon las intensidades máximas que se pueden presentar en cada una de las estaciones, para diferentes estaciones y periodos de retorno distintos, ajustando las funciones de distribución de probabilidad más comúnmente utilizadas; Normal, Log Normal, Gumbel y Exponencial. Para obtener la bondad de ajuste en cada una de estas funciones, estimaron la suma del error cuadrático como:

$$E = \sum_{i=1}^N (T'_j - T_j)^2 \quad 1.13$$

Donde:

$T'_j$  es el periodo de retorno obtenido con las funciones de distribución de probabilidad y  $T_j$  son los periodos de retorno de los  $N$  valores medidos. La función exponencial presentó la suma del error cuadrático más pequeño y con ellas se calcularon las intensidades máximas. Posteriormente encontraron la relación entre la lluvia media anual en cada estación y las intensidades máximas anuales que se pueden presentar para un periodo de retorno de 10 años y duración 120 min ( $P_{Anual}/I_{120}^{10}$ ). Al graficar  $I_{120}^{10}$  contra  $P_{Anual}$ , se observaron que los puntos se alineaban en torno a dos curvas, identificándose dos zonas en la cuenca:

Zona I: Zona de alta pendiente, expuesta a la entrada de humedad proveniente del Golfo de México. Se presentaron lluvias que sin ser muy intensas incrementan el total de precipitación anual.

Zona II: Zona plana o protegida por los vientos. En esta zona la lluvia tiene menor influencia en el total anual.

Al ajustar con mínimos cuadrados los puntos de la gráfica mencionada anteriormente, obtuvieron dos curvas que se aproximan a los datos de la región estudiada, resultando:

$$\text{Curva I } I = 0.213(\ln(0.4P_{Anual}I))^3 - 22.92 \quad 1.14$$

$$\text{Curva II } I = 0.20(\ln(0.4P_{Anual}))^3 - 0.697 \quad 1.15$$

Con estas ecuaciones se obtiene la intensidad máxima con una duración de 120 min. y periodo de retorno de 10 años en función de  $P_{Anual}$  y para calcular las intensidades asociadas a duraciones y periodos de retorno diferentes, los autores determinaron factores de ajuste por duración y periodo de retorno.

Los factores por periodo de retorno se obtuvieron dividiendo, para cada estación, la intensidad máxima pronosticada para cada uno de los periodos de retorno ( 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años) entre la intensidad máxima pronosticada para el periodo de retorno de 10 años se excluyeron diez estaciones por alejarse de la media y por que presentaron la suma del error cuadrático más grande. Los factores encontrados son los mostrados en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Factores por periodo de retorno para la cuenca del Papaloapan

T, años	2	5	10	20	50	100
Factor	0.65	0.86	1.00	1.14	1.33	1.48

Los factores por duración se obtuvieron dividiendo las intensidades máximas pronosticadas para las distintas duraciones (10, 15, 20, 30, 45, 60, 80, 100 y 120 min.) entre la intensidad máxima pronosticada para la duración de 120 min. También se excluyeron algunas estaciones, cuyo factor se encontraba alejado de la media. Los factores son los mostrados en la tabla 1.8

Tabla 1.8 Factores por duración para la cuenca del Papaloapan

d, min.	10	15	20	30	45	60	80	100	120
Factor	3.93	3.45	3.06	2.48	2.09	1.67	1.36	1.15	1.00

Finalmente la metodología propuesta se resume en los siguientes pasos:

- Localizar el punto de interés en el plano de isoyetas medias anuales, en donde se delimitan las zonas de correspondientes a las curvas I y II.
- Obtener la  $P_{\text{anual}}$  del plano de isoyetas medias anuales.
- Conocida la zona y la precipitación media anual, se calcula la intensidad máxima que se puede presentar para una duración de tormenta de 120 min., y un periodo de retorno de 10 años, con las ecuaciones 1.14 y 1.15.
- Para conocer la intensidad que se pueda presentar con una duración d (diferente a 120 min.) y periodo de retorno  $T_r$  (diferente a 10 años) se multiplica la intensidad determinada en el paso anterior por los factores de las tablas 1.7 y 1.8

Los estudios previos que se realizados tanto en México como en otros países, exploran la utilidad de algunas relaciones universales y/o proponen metodologías para estimar intensidades de lluvia con un mínimo de datos.

En general, para las propuestas metodológicas cada autor elige una altura de lluvia estándar

Con periodo de retorno  $T_r$  y duración  $d$ , pero no existen bases teóricas para la elección. Dado que es difícil obtener registros de alturas o intensidades de lluvia para periodos de tiempo cortos, se trabaja con periodos de retorno de 2, 5 ó 10 años y duraciones de 24 h, una hora o 30 min. posteriormente se usa la altura de lluvia estándar para desarrollar una ecuación o encontrar relaciones que permitan estimar intensidades de lluvia con otras duraciones y periodos de retorno.

En zonas en desarrollo, donde los datos de intensidad de lluvia son inadecuados o no existen, con las metodologías descritas anteriormente se pueden estimar valores que pueden ser útiles para la planeación y diseño de proyectos.



## 2. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO.

El límite superior de una cuenca pequeña puede ubicarse en los 250 Km<sup>2</sup> debido a lo cual, disponer en nuestro país de información hidrométrica en cuencas pequeñas, no será posible, ya que en la gran mayoría de los casos las estaciones de aforo tienen áreas drenadas de varios cientos o miles de Km<sup>2</sup>.

Por lo anterior el cálculo hidrológico de la avenida de diseño en estructuras cuya cuenca es pequeña, como son: presas de almacenamiento, derivación o control de avenidas, alcantarillas o puentes pequeños, obras de drenaje agrícola, urbano y de aeropuertos, se deberá basar en el análisis de la información disponible sobre lluvias máximas de la zona y en las características físicas de la cuenca.

Por otra parte, en la República Mexicana se cuenta con 2,682 estaciones pluviométricas y 345 pluviógrafos, es decir, que sólo el 13% de las estaciones climatológicas tienen pluviógrafo, de manera que se tendrá una relativa facilidad para disponer en una cuenca pequeña o en sus cercanías de uno o varios registros de lluvia máximas diarias y a partir de ellos las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno, básicas en todo análisis hidrológico de estimación de avenidas por métodos empíricos e hidrológicos.

### 2.1 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LAS CURVAS i-d-Tr

Así, como se mencionó anteriormente, las curvas i-d-Tr se pueden obtener de diferentes maneras aplicando una serie de metodologías que se enlistan enseguida:

#### 2.1.1 OBTENCIÓN DE LAS CURVAS i-d-Tr, A TRAVÉS DE FÓRMULAS EMPÍRICAS.

En general, las fórmulas para determinar las relaciones i-d-Tr se basan en ecuaciones empíricas intensidad de lluvia-duración. Existen cuatro formulas básicas, conocidas como ecuaciones de tipo I, II, III, y IV. Sin embargo, no hay bases teóricas para estas ecuaciones; lo que se sabe es que la intensidad de la lluvia es una función decreciente de la duración (Froehlich, 1993).

Las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{I} \quad I = \frac{a_1}{d + b_1} \quad a_1, b_1$$

$$\text{II} \quad I = \frac{a_2}{d^{c_2}} \quad a_2, c_2$$

$$\text{III} \quad I = \frac{a_3}{(d + b_3)^{c_3}} \quad a_3, b_3, c_3$$

$$\text{IV} \quad I = \frac{a_4}{d^{c_4} + b_4} \quad a_4, b_4, c_4$$

En las cuales  $I$  es la intensidad de la lluvia en mm/h,  $d$  es la duración en horas o minutos,  $a_i, b_i, c_i$  son coeficientes que se obtienen gráficamente por mínimos cuadrados. Estos coeficientes varían dependiendo de la zona o región en estudio.

Wisler y Brater (1949) proponen la ecuación intensidad duración tipo III. Chow (1964), Viessman (1977) y Bendient y Huber (1988), proponen la ecuación tipo I para estimar la intensidad en función de la duración.

Hargreaves (1981) y, Kothiyari y Garde (1992) utilizan un estudio con una ecuación tipo II. Chow (1988) y Vijay (1992) usan las relaciones intensidad duración tipo IV.

Para adaptar las fórmulas  $i$ - $d$ - $T_r$ , a las ecuaciones anteriores (tipo I, II, III, y IV) se les incluye el periodo de retorno  $T_r$ . En la ecuación tipo I Viesman (1977) incluye el periodo de retorno en los coeficientes  $a$  y  $b$ . Raudkivi (1979) lo incluye en la intensidad-duración de la siguiente manera.

$$I = \frac{aT_r^m}{(a + b)^c} \quad 2.1$$

Donde  $I$  es la intensidad de la lluvia en mm/h,  $d$  es la duración en horas o minutos,  $T_r$  es el periodo de retorno en años; y  $a, b, c, m$  son constantes.

Hall (1984), incluye el periodo de retorno de la misma manera que Raudkivi. Chow (1988) y Vijay (1992) lo incluyen en la ecuación intensidad-duración de la forma siguiente.

$$I = \frac{aT_r^m}{d^c + b} \quad 2.2$$

Donde las variables son las mismas que las de la ecuación 3.1.

## 2.1.2 MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LAS CURVAS $i-d-T_r$ A TRAVÉS DE REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS.

El procesamiento de los registros disponibles de lluvias máximas diarias, tendrá como objetivo verificar las lluvias máximas en 24 horas de diversos periodos de retorno. Los periodos de retorno se determinan de manera que cubran las necesidades de diseño de las estructuras hidráulicas, en las cuales se utilizarán las lluvias máximas en 24 horas, a través de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno.

Los periodos de retorno deberán ser determinados con base a los lineamientos que se presentan en las tablas 2.1

Tablas 2.1  $T_r$ ; en base al tipo de obra.

2.1 a) Propuesta en 1977 por W. Viesman, J. W. Knapp, G. L. Lewis y T. E. Harbaugh.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS ( $T_r$ )
DRENAJE EN CARRETERAS EN LAS QUE CIRCULAN:	
0 a 400 Vehículos por día	10
400 a 1700 Vehículos por día	10 a 25
1700 a 5000 Vehículos por día	25
Más de 5000 Vehículos por día	50
Drenajes de Aeropuertos	5
Drenajes pluviales	2 a 10
Diques	2 a 50
Zanjas de drenaje	5 a 50

2.1 b) Propuesta en 1980 por V. Yevjevich y J. D. Salas.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS ( $T_r$ )
Grandes Puentes	100
Puentes Pequeños	50
Alcantarillas	25

2.1 c) Propuesta en 1977 por E. Mosonyi y W. Buck.

TIPO DE ÁREA A PROTEGER	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (Tr)
Zonas urbanas, importantes redes de transporte	100
Regiones Agrícola-Industriales	50
Zonas Agrícolas	7 a 20
Áreas forestales y planicies de inundación	< 10

TIPO DE EMBALSE	MÍNIMO PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (Tr)
GRANDES EMBALSES CUYA FALLA CAUSARÍA LA PERDIDA DE VIDAS HUMANAS.	
1. Cortinas de Tierra	1000
2. Cortina de concreto o mampostería	500
EMBALSES QUE AL FALLAR NO CAUSARÍAN LA PERDIDA DE VIDAS HUMANAS.	
1. Embalses costosos	500
2. Embalses moderadamente costosos	100
3. Embalses pequeños	20

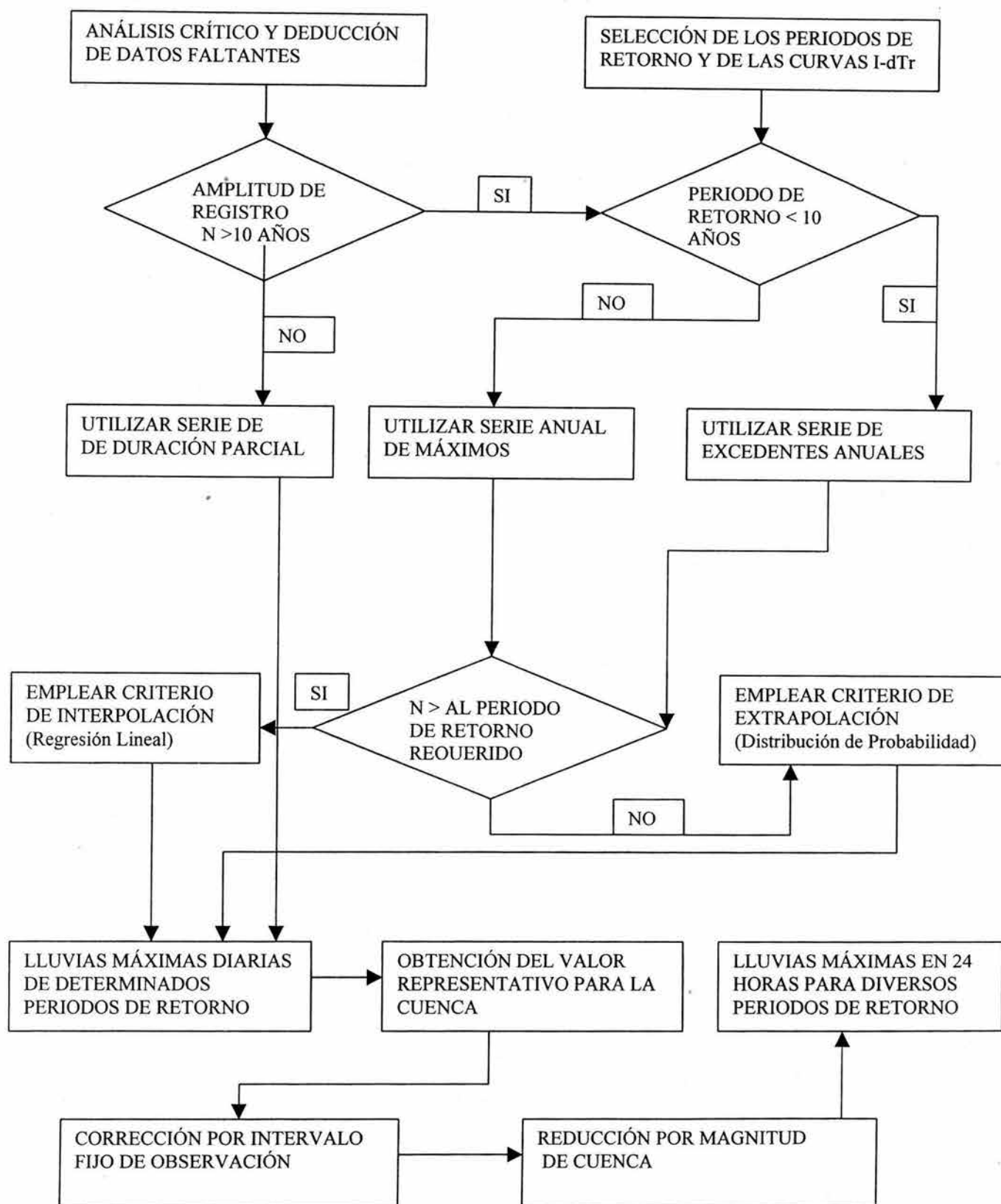
Para llevar acabo el procesamiento estadístico de los registros de lluvias máximas diarias, se sigue la secuencia ilustrada en la figura 2.1; cuyo desarrollo se describe en los próximos incisos.

Primeramente se seleccionan las estaciones pluviométricas a utilizar y se recopilan sus registros de lluvias máximas diarias, la información recabada se somete a un análisis crítico, que consistirá en detectar si existen valores erróneos o dudosos. Para el caso de valores dudosos se podrá confirmar su existencia por medio de una comparación con las magnitudes, que para tal fecha fueron registrados en las estaciones cercanas, con lo cual se confirman, corrigen, o bien, eliminan tales valores.

Cuando se requiera deducir uno o más datos faltantes de un registro, se recomienda utilizar los métodos del U. S. National Weather Service, de la relación normalizada y de la regresión lineal.

En el método de la regresión, se correlaciona el registro de la estación incompleta con el de las otras cercanas y se selecciona, para obtener el valor o valores faltantes, la estación que reportó la mas alta correlación.

Figura 2.1 Secuencia del procesamiento estadístico de lluvias máximas diarias.



### **Método de obtención de las curvas i-d-Tr. a través de la Serie de Excedentes Anuales.**

Sí en el sitio de estudio se cuenta con información que proviene de pluviómetros, la obtención de las curvas i-d-Tr es a través del análisis de frecuencias de la serie de excedentes anuales.

Dentro de la serie de duración parcial, comúnmente se trabaja con dos tipos de series, una de ellas, la de excedentes anuales formada por datos cuya magnitud es mayor que un cierto valor base, el cual se determina de manera que el número de eventos de la serie integrada sea igual al número de años de registro.

Al formar la serie de excedentes anuales, se debe tener cuidado de cumplir con la condición de independencia entre los eventos, para fines prácticos se acepta en el caso de lluvias máximas, en que las condiciones meteorológicas que generan una lluvia importante son independientes de otras después de un tiempo de 15 días.

La serie de excedentes anuales sí toma en cuenta los eventos secundarios de un año y para periodos de retorno menores de 10 años siempre conduce a valores más grandes al ser procesada estadísticamente y para periodos de retorno mayores de 10 años carece de importancia la distinción entre las series anual y de excedentes anuales; como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Periodos de retorno en años equivalentes entre serie de excedentes anuales y series anuales (W. B. Langbein, 1949).

SERIE DE EXCEDENCIA ANUAL	SERIE ANUAL	SERIE DE EXCEDNECIA ANUAL	SERIE ANUAL
0.50	1.16	5.00	5.52
1.00	1.58	10.00	10.50
1.45	2.00	50.00	50.50
2.00	2.54	100.00	100.50

En el caso de la serie de excedentes anuales sus periodos de retorno se evalúan con la ecuación siguiente:

$$Te = \frac{n}{m} \quad 2.3$$

Donde  $n$  es el número total de eventos en la serie de excedentes, igual al número de años de registro,  $m$  es el número de orden del evento, arreglados en forma decreciente, es decir, uno para el mayor y  $n$  para el menor.

### **Método obtención de las curvas *i-d-Tr* a través de la Serie Anual de Máximos.**

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

Cabe señalar que para la integración de ésta serie anual se tiene que contar con información de registros pluviográficos; para saber como esta la distribución de la lluvia máxima en el espacio y en el tiempo. Esto se logra a través de la construcción de la curva masa de la lluvia, que se encuentra distribuida en la banda pluviográfica con alturas máximas de 10 mm.

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 toma en cuenta los eventos secundarios en magnitud de todos los años y por ello, un evento de cierta magnitud tendrá un periodo de retorno diferente en cada una de las series.

En la serie anual el periodo de retorno  $T_r$  será estimado de acuerdo a la ecuación 2.4 utilizando la fórmula de weibul para evaluar la probabilidad, entonces se tiene:

$$T_r = \frac{n+1}{m} \quad 2.4$$

Donde:  $T_r$  es el periodo de retorno,  $n$  y  $m$  son las mismas de la ecuación 2.3.

Durante la fase de integración de estas dos series anuales se tienen que tomar en cuenta dos criterios que permiten la determinación de los datos que pudieran faltar.

### **Criterio de interpolación y extrapolación para la obtención de las curvas *i-d-Tr* a través de los métodos estadísticos.**

Este criterio se debe emplear cuando el número de años es mayor o igual a los periodo de retorno para los que se requieren las estimaciones de lluvia máxima en 24 horas. En este caso los valores buscados de lluvia se deducen a partir de una ecuación de regresión lineal entre las magnitudes de los eventos de la serie utilizada y los logaritmos decimales de sus correspondientes periodos de retorno, esto es:(Ref. 3 Procesos del Ciclo hidrológico D .F. Campos Aranda).

$$PTr = A + B (\log Tr) \quad 2.5$$

$$PTr = A + B (\log Te) \quad 2.6$$

Donde:

$P_{Tr}$ ,  $P_{Te}$ ; es la lluvia máxima diaria del periodo de retorno  $T_r$ ,  $T_e$ , en mm  
 $A$ ,  $B$ ; son parámetros de ajuste de la regresión lineal.  
 $T_r$ ,  $T_e$ ; son los periodos de retorno, de la serie anual de máximos o de la serie de excedentes anuales.

Si  $P_{Tr} = y$ ,  $\log T_r = x$ ,  $A = b$  y  $B = m$  las ecuaciones 2.5 y 2.6; se transforman en una ecuación de forma lineal ( $y = mx + b$ ); en donde los parámetros  $m$  y  $b$  se evalúan de acuerdo a los estadísticos de la serie.

Con relación al coeficiente de correlación, en estos tipos de análisis estadísticos se deben obtener valores bastante altos, por lo común mayores de 0.98 y aún de 0.99

Cuando la amplitud del registro en años es menor que los periodos de retorno que tendrán las lluvias máximas en 24 horas, pero el más grande de ellos ( $T_r$ ) no es mayor de cinco veces el número de datos de registro, se ajusta a los datos una distribución de probabilidades, para estimar a partir de ella los valores de lluvia máxima diaria para los periodos de retorno requeridos. (Ref. 3 Procesos del Ciclo hidrológico D .F. Campos Aranda).

Las distribuciones de probabilidad más adecuada a los registros de lluvia máxima diaria, son básicamente tres: la distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, la distribución log-Pearson tipo III y la denominada Gamma incompleta. Si embargo en el Capítulo IV se da la descripción de un total de 22 distribuciones de probabilidad de ajuste para la series de lluvias máximas.

### ***obtención del valor representativo de la altura de precipitación ( $h_p$ ).***

En caso de haber utilizado una sola estación pluviométrica cercana o dentro de la cuenca en estudio, los valores obtenidos de lluvia máxima diaria para los periodos de retorno necesarios, serán considerados como representativos para la cuenca. Pero cuando más de dos estaciones pluviométricas cercanas fueran empleadas, los valores calculados con cada una de ellas, para la lluvia máxima diaria de algún periodo de retorno, deberán ser ponderados o pesados para obtener el valor representativo para la cuenca. Lo anterior se recomienda llevarlo a cabo por medio de los polígonos de Thiessen o a través del método del National Weather Service.

Por último, se deberán de realizar dos correcciones al valor representativo de la lluvia máxima diaria de determinado periodo de retorno adoptado para la cuenca, y así adecuarlo lo más posible al valor verdadero; tales correcciones son:

- I. Corrección por intervalo fijo de observación.**
- II. Reducción por magnitud de cuenca.**



## **I. Corrección por intervalo de observación.**

L. L. Weiss (1970) en base a un estudio de miles de estaciones-año de datos de lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas de un intervalo fijo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas al ser incrementadas en un 13% conducirán a magnitudes mas aproximadas a las obtenidas en lluvias máximas verdaderas.

De acuerdo a lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenca deberá ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias, se toman de 8 AM de un día a 8 AM del día siguiente y con tal corrección la lluvia representativa se convierte en la lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Conviene aclarar que los llamados registros de lluvias de 24 horas que proporciona la Oficina Climatología de la Subdirección de Hidrología de la S.A.R.H. tiene una designación errónea, pues en realidad son los registros de lluvias máximas diarias (como se han venido designando) ya que tales tormentas no tienen una duración real de 24 horas, sino que únicamente tienen un intervalo de 24 horas.

## **II. Reducción por magnitud de cuenca.**

Se presentan tres gráficas para corregir el valor estimado de la lluvia máxima de 24 horas y adecuarlo a la magnitud de cuenca en estudio, pues se considera que los valores puntuales obtenidos con la estación pluviométrica son representativos de sólo 25 Km<sup>2</sup> y al abarcar un área de cuenca mayor deben ser reducidos, de acuerdo a las graficas siguientes: Fig. 2.2, Fig. 2.3 y Fig. 2.4 (Ref. 3 Procesos del ciclo hidrológico D .F. Campos Aranda).

### **2.1.3 OBTENCIÓN DE LAS CURVAS i-d Tr A TRAVÉS DE REGISTROS HIDROMÉTRICOS.**

Por otro lado, si la cuenca en estudio cuenta con registros históricos de una estación hidrométrica, las curvas intensidad-duración-periodo de retorno también se pueden construir, con la ayuda de la Fórmula de Kirpich (Ref. 4 Hidrología Aplicada Ven Te Chow) y a través del análisis estadístico de frecuencias de la serie histórica de los escurrimientos máximos diarios. Para lo cual, de la misma manera que para las lluvias máximas diarias de 24 horas, se construye la serie histórica de los escurrimientos máximos anuales, separando el gasto base del gasto pico, determinando también los datos faltantes, y ajustando la distribución de probabilidad más adecuada a la serie histórica.

AJUSTE A LA CURVA PUNTUAL POR AREA  
( U.S. Wether Bureau )

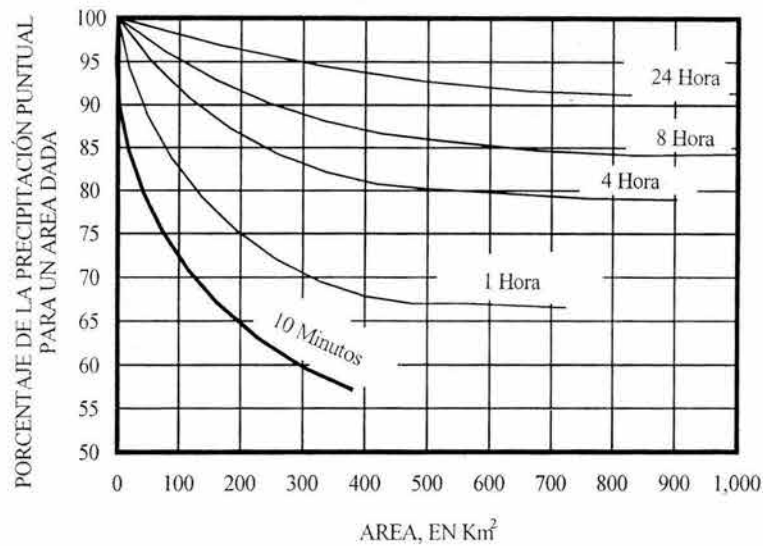


Figura 2.2 Gráfica elaborada por el U.S. Weather Bureau en base a datos de 20 redes Pluviométricas de varias regiones de U.S.A., y es recomendada para adecuar los valores de lluvia máxima en 24 horas en cuencas pequeñas

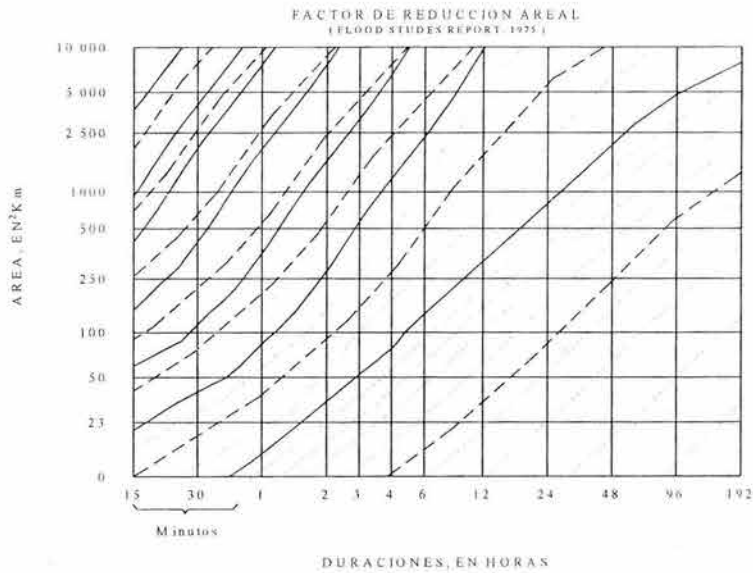


Figura 2.3 Gráfica Propuesta por el National Evioronmet Council de Inglaterra para ser empleada en los análisis de estimación de avenidas.

AJUSTE A LA LLUVIA PUNTUAL POR AREA  
(GRÁFICA BASADA EN TORMENTAS DE DURACIÓN 24 HORAS O MAYOR)

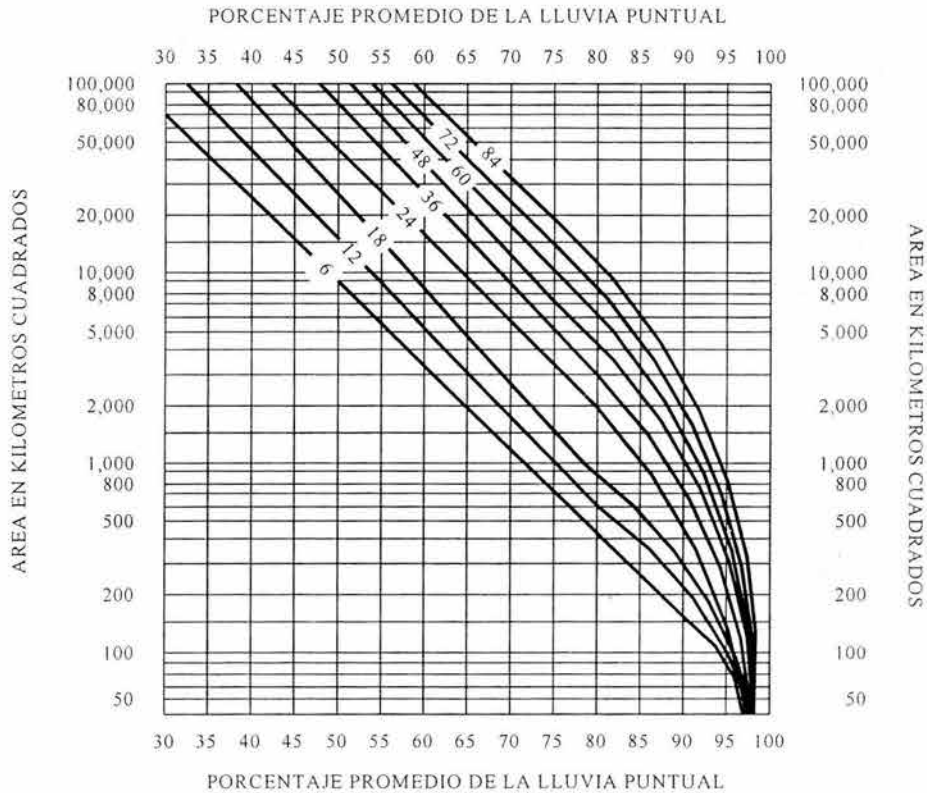


Figura 2.4 Gráfica construida en base al estudio de 70 grandes tormentas ocurridas en Canadá. Permite estimar la lluvia puntual por tamaño de la cuenca.

### 2.1.4 A TRAVÉS DE LA GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA.

Si por alguna razón para la cuenca en estudio no se cuenta con información hidrológica de ningún tipo, el problema puede resolverse aplicando una metodología denominada geomorfología de la cuenca, en la cual se determinan todas las características fisiográficas de la cuenca: área, pendiente, ancho de la cuenca, longitud del cauce principal, altitud, etc. Las cuales se hacen intervenir en una ecuación que permite determinar que parámetros son característicos, para la construcción de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno.

Esta metodología se desarrolla en el Capítulo 5 en los Modelos Lluvia-Escurrecimiento.

### 2.2 RELACIÓN DE LA LLUVIA DE UNA HORA CON LA DE 24 HORAS.

Por otra parte también se pueden obtener la curvas i-d-Tr a partir de los registros pluviográficos, haciendo la relación de alturas de precipitación de una hora a la de 24 horas. De los primeros que fijaron su atención en éste tipo de estudios fue Bell en 1969 y continuando con ellos Campos Aranda; teniendo su justificación en el siguiente desarrollo.

La lluvia esta definida por tres variables: magnitud o lamina, duración y frecuencia. La magnitud de la lluvia es la lamina total ocurrida (en milímetros) en la duración de la tormenta. La frecuencia de la lluvia es expresada por su periodo de retorno o intervalo de ocurrencia, que es el tiempo promedio en el cual, el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez.

Las curvas intensidad-duración-periodo de retorno son una gráfica en la cual se concentran las características de las tormentas de la zona o región con respecto a sus variables: magnitud, duración y frecuencia.

Debido a la escasez de registros de lluvias de cortas duraciones, ha surgido la necesidad de utilizar las relaciones promedio entre lluvias encontradas en otros países. Así diversos investigadores han demostrado que las relaciones duración-lluvia encontradas en U.S.A. pueden ser aplicadas en otras partes del mundo, por ejemplo Sur de África, Hawai, Puerto Rico, Norte de África y Australia.

Como se observa, las localizaciones geográficas y por lo tanto, los climas de los lugares citados son muy variados lo cual da confiabilidad a la aplicación de tales relaciones en la Republica Mexicana.

#### ***Relaciones de la lluvia de una hora con lluvias de distintas duraciones.***

Yarnell (1935) realizó uno de los primeros trabajos de recuperación de lluvias puntuales en U.S.A. y estableció unas relaciones generales. G. A. Hathaway utilizó los datos recabados por Yarnell para establecer una relación gráfica general entre la intensidad, la duración y la frecuencia usando la intensidad de una hora como índice.

La similitud entre las curvas intensidad-duración de las diversas localidades analizadas, puede ser explicada por el hecho de que las altas intensidades provienen de tormentas de tipo convectivo y las leyes físicas que gobiernan las características de tal lluvia son las mismas en cualquier lugar. Las curvas obtenidas por Hathaway se denominan curvas estándar intensidad-duración y se muestran en la figura 2.5

RELACION ENTRE LA INTENSIDAD EN UNA HORA Y  
 LAS INTENSIDADES DE 5, 15, 30, 120 Y 240 MINUTOS  
 ( G. A. Hathaway, 1945 )

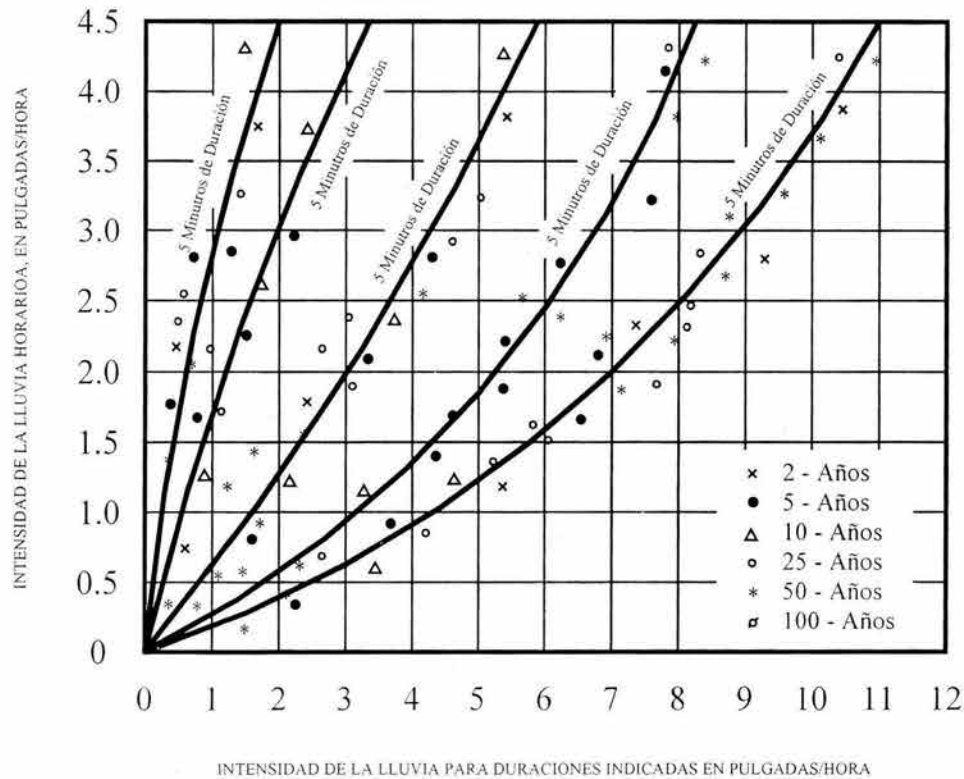
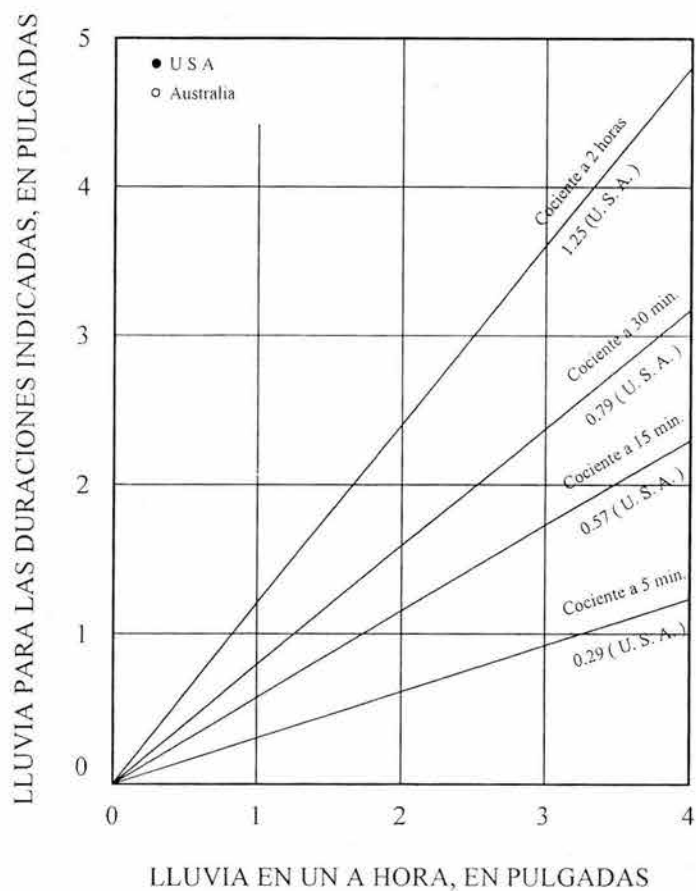


Fig. 2.5 Curva Estándar Intensidad-Duración

Posteriormente, el U.S. Weather Bureau recomendó una relación empírica, resultado de un gran número de estudios, ésta es: la lluvia de  $t$  minutos de duración tiene un cociente consistente con la lluvia de una hora e igual periodo de retorno.

F. C. Bell (1969) reporta las relaciones de la tabla 2.3 para U.S.A., Australia, y la U.R.S.S., indicando que tales cocientes son independientes del periodo de retorno y tienen un error promedio que varía del 5% al 8% , es decir, del mismo orden del error debido a las diferencias de muestreo. En la Fig. 2.6 se muestran las relaciones encontradas en U.S.A. y Australia.



RELACIÓN DURACIÓN-LLUVIA PARA USA Y AUSTRALIA  
(F C Bell, 1969)

Figura 2.6 Relaciones encontradas en U.S.A. y Australia

Tabla 2.3 Relaciones promedio a la lluvia de una hora de duración.(F.C. Bell 1969)

PAIS	VALOR	DURACIÓN EN MINUTOS				
		5	15	30	60	120
U.S.A.	Mínimo	0.26	0.53	0.75	--	1.17
U.S.A.	Máximo	0.32	0.61	0.83	--	1.31
U.S.A.	Promedio	0.29	0.57	0.79	1.0	1.24
AUSTRALIA	Promedio	0.3	0.57	0.78	1.0	1.25
U.R.S.S.	Mínimo	0.26	0.49	0.71	--	1.2
U.R.S.S.	Máximo	0.37	0.61	0.87	--	1.4

Adicionalmente, Bell ha encontrado cocientes estables entre la lluvia de una hora y periodo de retorno de 10 Años y la lluvia de igual duración pero diferentes periodos de retorno, tales relaciones frecuencia-lluvia se ilustran en la Fig. 2.7 y se han concentrado en la tabla 2.4 para U.S.A. y Australia.

Tabla 2.4 Cocientes Frecuencia-Lluvia para USA y Australia.(F.C. Bell 1969)

Tr	U.S.A.		AUSTRALIA.		
	En años	Cociente	Desviación Típica	Cociente	Desviación típica
1		0.54	0.05	0.52	0.05
2		0.63	0.05	0.65	0.05
5		0.85	0.03	0.85	0.05
10		1.0		1.0	
25		1.17	0.05	1.18	0.03
50		1.31	0.06	1.33	0.06
100		1.46	0.07	1.50	0.08

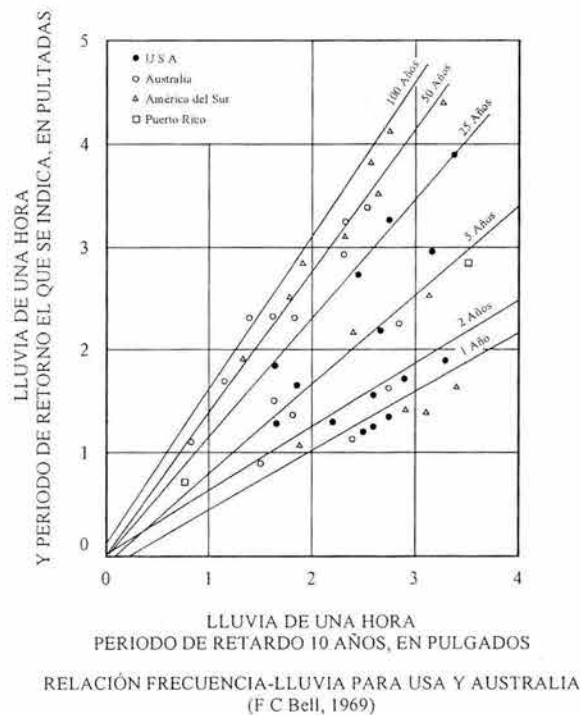


Figura 2.7 Relaciones Frecuencia-Lluvia

Por último Bell combinó las relaciones duración-lluvia y los cociente frecuencia-lluvia, para obtener una relación general de precipitación-duración-periodo de retorno que se ilustra en la Fig. 2.8 que puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54 t^{0.25} - 0.50)P_{10}^{60} \quad 2.7$$

siendo:

$P_T^t$ ; es la precipitación en mm, de duración  $t$  minutos y periodo de retorno  $T$ , en años.

$P_{60}^{10}$ ; es la precipitación en mm, de duración 60 minutos (una hora) y periodo de retorno 10 años.

RELACIONES GENERALIZADAS PRECIPITACIÓN - DURACIÓN - PERIODO DE RETORNO  
(F. C. Bell, 1969)

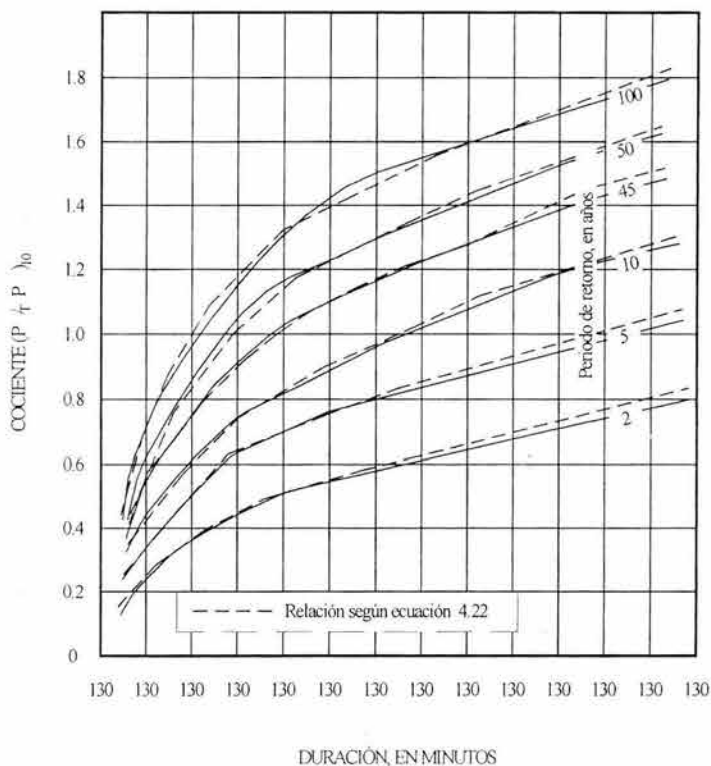


Figura 2.8 Relación General de Precipitación-Duración- Periodo de Retorno

Finalmente, tomando en cuenta que se han realizado un gran número de investigaciones para obtener la lluvia de duración de una hora y periodo de retorno 2 años  $P_2^{60}$ , Bell presenta la ecuación 2.8 en función de dicha lluvia, como se muestra en la Fig. 2.9, la ecuación es:

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76)(0.564 t^{0.25} - 0.50)P_2^{60} \quad 2.8$$



siendo:

$P_T^t$ ; es la precipitación de duración  $t$  minutos y periodo de retorno  $T$  en años, en milímetros.

RELACIONES GENERALIZADAS PRECIPITACIÓN - DURACIÓN - PERIODO DE RETORNO  
(F. C. Bell, 1969)

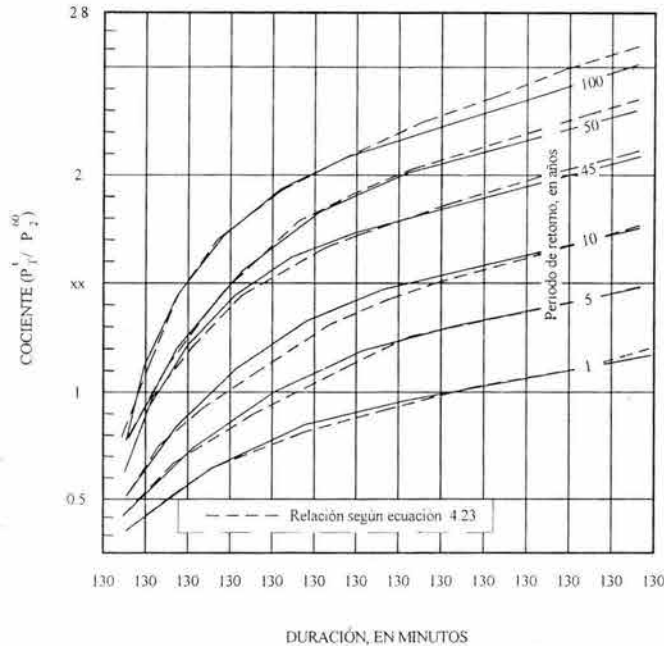


Figura 2.9 Relación General de Precipitación-Duración-Periodo de Retorno

### 2.3 COCIENTE ENTRE LA LLUVIA DE UNA HORA Y 24 HORAS AMBAS DE PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS.

En general los registros de lluvia de cortas duraciones (por ejemplo, de una hora) son bastante escasos en países en desarrollo y México no es la excepción. Sin embargo, los registros de lluvias máximas diarias tienen gran densidad y longitudes de registro aceptables, por lo cual, la lluvia de duración de una hora y un periodo de retorno 2 años (o de cualquiera) podrá ser evaluada con relación o cociente a la de 24 horas con igual periodo de retorno.

La idea anterior no es nueva y varios investigadores han desarrollado métodos o criterios para estimar el citado cociente, en base al número medio de días con tormenta por año. Por ejemplo, J. A. Murry reporta que tal relación está comprendida entre 0.35 y 0.45 para la India, con un rango de días con lluvia de 10 a 80.

Como apoyo a lo anterior, cabe citar el estudio hecho de la relación, para 75 estaciones de los Estados Unidos, encontrando un cociente medio 0.435 con desviación típica de 0.105 y una desviación oblicua de 0.272.

Un estudio similar en África del Sur reportó un valor medio de 0.50; D.M. Hershfield (1962) indica que el cociente entre la lluvia de una hora y la de 24 horas ambas de un periodo de retorno 2 años, varia para U.S.A de 0.10 a 0.60, con valor medio de 0.40, citando además donde se presentan los cocientes bajos y donde los altos; tales comentarios se resumen a continuación como guías para la selección del citado cociente:

El cociente es bajo en: (<0.40)

- la incidencia de tormentas convectivas o aguaceros es baja y las grandes lluvias proceden de donde tormentas no convectivas.
- En el lado del barlovento de las montañas, donde las lluvias comienzan primero y terminan después que en los valles y en los lados de sotavento de las montañas.
- Donde los procesos orográficos son la causa principal de las fuertes lluvias de invierno.

El cociente es alto en: (>0.40)

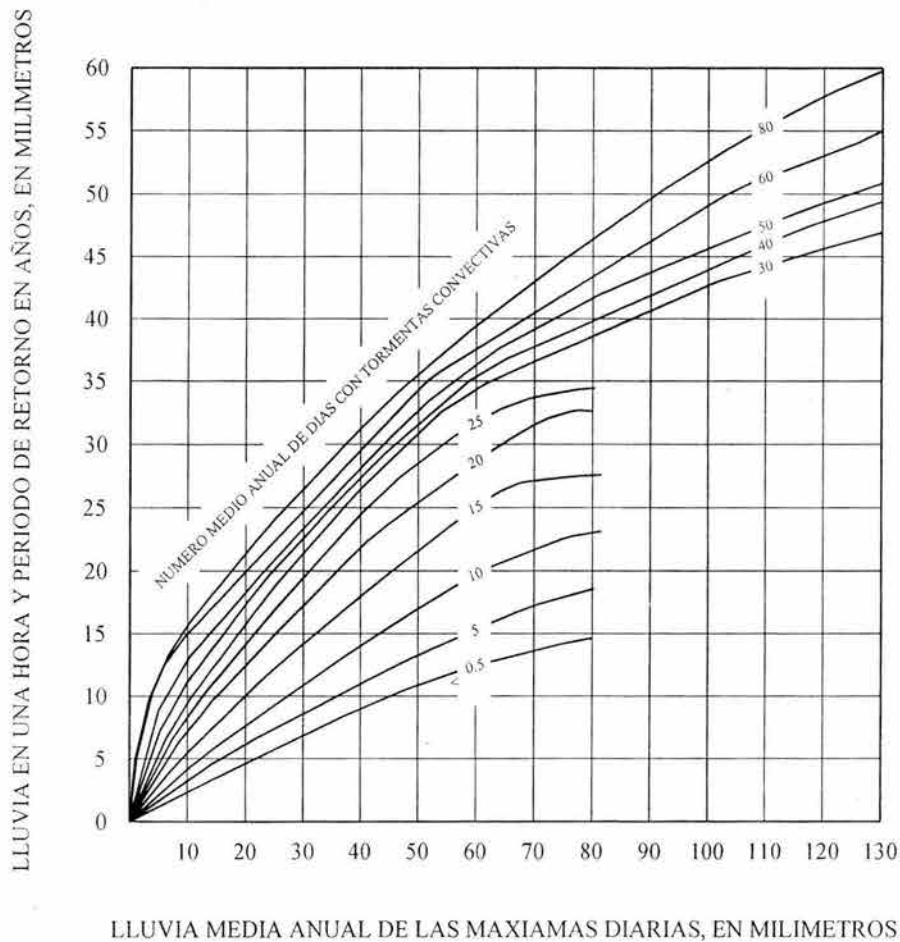
- En regiones de baja lluvia anual, donde el número de días con lluvia es pequeño.
- En donde es bastante probable que la lluvia máxima anual en 24 horas provenga de una tormenta Convectiva de verano de duración sustancialmente menor a 24 horas.
- En regiones de alta incidencia de fuertes aguaceros, donde tanto la lluvia máxima anual en una hora como la de 24 horas generalmente provienen de la misma tormenta.

Por otra parte la Organización Meteorológica Mundial indica que el cociente entre la lluvia en una hora de periodo de retorno de dos años y la de 24 horas e igual frecuencia, se ha relacionado con la ocurrencia de tormentas, mediante estudios que incluyeron un amplio rango de climas del mundo, las relaciones encontradas se tienen en la tabla siguiente (tabla 2.5).

Tabla 2.5 Días con lluvia mayor o igual a 1 mm.

Número medio de días con lluvia al año	1	8	16	24
$\left[ \frac{h_p^{1h}}{h_p^{24h}} \right]_{T=2 \text{ Años}}$	0.2	0.3	0.4	0.5

Por último un criterio más completo para la determinación de la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años, es el propuesto por el U.S. Weather Bureau y ampliado por B.M. Reich; el cual se presenta en la Fig. 2.10



RELACIÓN EMPÍRICA PARA ESTIMAR LA LLUVIA DE UNA HORA Y PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS, EN AUSENCIA DE REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS

Figura 2.10 Gráfica para determinar la lluvia de 1 hora y periodo de retorno 2 años (U.S. Weather Bureau)

Las relaciones de lluvia o cocientes a la lluvia de 24 horas, se emplean para duraciones de varias horas, hasta algunos días. Con objeto de tener una idea del orden de magnitud de tales cocientes se presentan en la tabla 2.6 por Campos Aranda. (Ref.3 Procesos de Ciclo Hidrológico D. F. Campos Aranda).

Tabla 2.6 Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración de 24 horas (Campos 1978)

DURACIONES EN HORAS										DURACIONES EN DÍAS					
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	2	3	4	5	6	7
0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.0	1.32	1.63	1.85	2.05	2.22	2.38

Como complemento a las estimaciones de lluvia basadas en los cocientes de la tabla 2.6, se presenta el método del U.S. Soil Conservation Service, el cual consiste en dibujar en papel logarítmico las cantidades de lluvia estimada para duraciones de una y dos horas con la ecuación 2.8 y la correspondiente a 24 horas, trazando a continuación por los puntos definidos una línea recta que se prolonga a duraciones mayores (varios días).

En las figuras 2.11 a) y b) se muestran las graficas i-d-Tr dibujadas en escala logarítmica y escala aritmética, respectivamente.

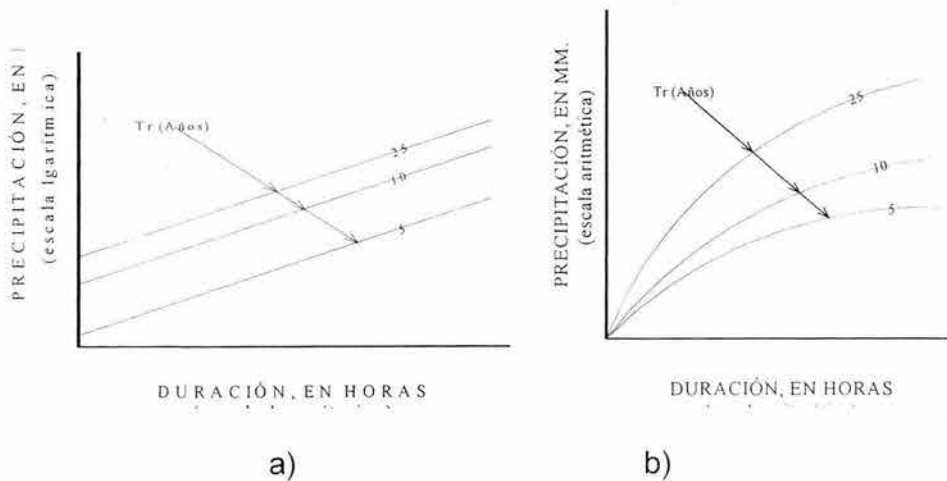


Fig. III.11 Esquematzación de las curvas I-d-Tr

## 2.4 HIETOGRÁMA DE UNA TORMENTA.

Se define como HietogrÁma de una tormenta, la grÁfica que representa la distribuci3n de la precipitaci3n o su intensidad en el tiempo, durante dicha tormenta.

El HietogrÁma de una tormenta es por lo tanto, un transformaci3n de la curva masa, en la que esta es dividida en intervalos iguales y se dibujan los incrementos de precipitaci3n (o intensidad) de tales intervalos.

El Hietograma de precipitación de incrementos constantes, es especialmente útil en las estimaciones hidrológicas de avenidas máximas por la técnica de hidrogramas unitarios; en este caso el Hietograma de la tormenta de diseño tendrá intervalos de duración igual a la del hidrograma unitario utilizado, generalmente del orden del 10 al 30% del tiempo de retraso de la cuenca, definido éste, como el tiempo transcurrido entre el centro de masa de la precipitación y el centro de masa del escurrimiento, o entre el primero y el escurrimiento máximo.

Adicionalmente, el Hietograma de intensidades de incrementos constantes, es particularmente útil en las estimaciones de lluvia en exceso por el método de la curva de capacidad de infiltración.

Por otra parte, el Hietograma de una tormenta cuya curva masa no se conoce, puede ser estimado a partir de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno, si se conoce la duración de la tormenta, para realizar lo anterior, se divide en 6 intervalos constantes la duración total del hietograma (duración de la tormenta) y se evalúa para cada intervalo la lluvia total ocurrida, sobre la base de la curva precipitación-duración-periodo de retorno de diseño de la tormenta. En seguida, se obtiene la lluvia correspondiente a cada intervalo, esto es, el incremento de lluvia. Debido al proceso de cálculo descrito el hietograma tendrá una variación lineal, siendo la lluvia máxima al inicio y mínima al final.

Para adecuar a la realidad los cálculos anteriores, el U. S. Bureau of Reclamation propone la siguiente secuencia para los incrementos de lluvia calculados:

1) Seleccionar los periodos de retorno que tendrán las curvas, en base a los criterios expuestos.

2) Calcular los valores representativos para la cuenca en estudio, de la lluvia máxima en 24 horas para los periodos de retorno de las curvas y para el de dos años.

3) Determinar, de ser posible, la lluvia de una hora y periodo de retorno de dos años, o bien seleccionar el cociente y la de 24 horas, también de dos años periodo de retorno.

4) Si las curvas Precipitación-Duración-Periodo de retorno serán construidas para duraciones menores a dos horas, se utilizará la ecuación 2.7, para determinar las lluvias necesarias y definir las curvas buscadas.

5) Cuando las curvas Precipitación-Duración-Periodo de retorno deban incluir duraciones mayores a una hora y menores a 24 horas, o inclusive mayores, de uno o varios días, se determinan las lluvias de duraciones 1 y 2 horas con la ecuación 2.8 y la de 24 horas, todas las de los periodos de retorno que tendrán las curvas se grafican en papel logarítmico y se trazan rectas por los puntos definidos, para cada periodo de retorno. Las rectas dibujadas son las curvas buscadas.

6) Finalmente se dibujan las curvas Precipitación-Duración-Periodo de retorno en el papel natural o en papel logarítmico, presentando en cada caso la forma que se esquematiza en la Fig. 2.11.

### 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS HIDROLÓGICOS.

El diseño y la planeación de las obras hidráulicas están siempre relacionados con eventos hidrológicos futuros; por ejemplo, la avenida de diseño para el vertedor de una presa es un evento que tal vez no se ha presentado jamás, o al menos no en el periodo de datos disponible, pero que es necesario conocer para determinar las dimensiones de la obra la complejidad de los procesos físicos que tienen lugar en la definición de esta avenida hace, en la mayoría de los casos, imposible una estimación confiable de la misma por métodos basados en las leyes de la mecánica o la física, sea por que estos métodos son insuficientes, sea por que el modelo matemático sea exageradamente grande, complicado y difícil de manejar.

Por ello, como sucede en la mayoría de las ciencias, con mucha frecuencia el estadístico es el camino obligado en la solución de los problemas. En particular la probabilidad y la estadística juegan un papel de primer orden en el análisis hidrológico.

El análisis de frecuencias es un procedimiento para estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. De este modo la representación gráfica de la probabilidad con o sin suposiciones de funciones de probabilidad, es un método de análisis de frecuencias.

El análisis de frecuencias de datos hidrológicos requiere que los datos sean homogéneos e independientes. La restricción de homogeneidad asegura que todas las observaciones provengan de la misma población (por ejemplo que la estación hidrométrica en un río no se haya movido, que la cuenca no se haya urbanizado, o que no se hayan colocado estructuras hidráulicas sobre el cauce principal o en sus más importantes tributarios). La restricción de independencia asegura que un evento hidrológico, tal como una gran tormenta aislada, no entre al conjunto de datos más de una vez. Por ejemplo, un sistema de tormenta aislado puede producir dos o más picos de avenida y solo uno de ellos (el más grande) deberá entrar al conjunto de datos, adicionalmente para la predicción de eventos futuros, la restricción de homogeneidad requiere que los datos (series de máximos anuales y series de excedentes anuales) sean representativos de eventos futuros.

Los análisis de frecuencias pueden ser llevados a cabo planteando o no, suposición alguna de distribuciones de probabilidad. El procedimiento que debe ser seguido en cualquier caso es casi el mismo. Si no se hacen suposiciones de distribuciones probabilísticas, el investigador tan solo grafica los datos observados sobre cualquier clase de papel (no necesariamente logarítmico) y usa su mejor criterio para determinar la magnitud de eventos futuros para varios periodos de retorno. Si se hacen suposiciones de distribuciones probabilísticas, la magnitud de los eventos para varios periodos de retorno se seleccionan de la línea de mejor ajuste, de acuerdo con la distribución supuesta. Si se utiliza una técnica analítica, se recomienda que los datos sean también graficados, de tal manera que se pueda tener una idea de que también los datos se ajustan a la forma analítica supuesta, y para caer en la cuenta de problemas potenciales.

Chow (1951) demostró que muchos análisis de frecuencias pueden ser reducidos a la forma:

$$X_T = \bar{X}(1 + C_v K_T) \quad 3.1$$

Donde  $X_T$  es la magnitud del evento que tiene un periodo de retorno  $T$  y  $K_T$  es un factor de frecuencia. Esta relación puede transformarse escribiendo cualquier valor de  $X$  como:

$$X = \bar{X} + \Delta X \quad 3.2$$

y estableciendo que  $\Delta X$ , la desviación alrededor de la media, es un producto de la desviación estándar  $S$  y un factor de frecuencia  $K$

$$X = \bar{X} + SK \quad 3.3$$

El coeficiente de variación  $C_v = S/\bar{X}$ , la ecuación 3.3 toma la forma de la ecuación 3.1. Chow (1951, 1964) presentó los factores de frecuencia para diferentes tipos de distribución de frecuencias.

La ecuación 3.1 puede también ser usada para construir la escala de probabilidad sobre papel logarítmico, de tal manera que la distribución correspondiente a  $K_T$  grafique como una línea recta.

### 3.1 ESTIMACIONES DE PARÁMETROS PARA FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN PARTICULARES.

#### *Presentación y análisis de datos*

En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica de medidas, es indispensable resumir esta multitud de cifras en elementos sintéticos que caractericen la estación desde el punto de vista considerado.

Se busca definir una serie de  $n$  observaciones de valores individuales  $X_i$  con  $i \leq n$ , desde los siguientes puntos de vista:

#### **a. Valor central o dominante de la serie**

##### 1) Media

La media aritmética se define como:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 3.4$$

## 2) Mediana

Se define como el valor que divide las frecuencias de una distribución de probabilidades en partes iguales o, en otras palabras, es el valor que ocurre en una probabilidad del 50%. El mismo concepto es aplicable a una tabla de frecuencias de una serie de datos agrupados en clases y categorías.

La mediana, en problemas hidrológicos, es muchas veces la medida más conveniente de la tendencia central porque no se ve afectada por los valores extremos.

## 3) Moda

Es el valor que ocurre con mayor frecuencia en una distribución de probabilidades, o en una tabla de frecuencia de una serie de datos agrupados en clases o categorías.

### b. *Dispersión o fluctuación de diversas observaciones alrededor del valor central*

#### 1) Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad 3.5$$

#### 2) Varianza:

$$\text{var} = S^2 \quad 3.6$$

Rango: Diferencia entre los valores mayor y menor de la serie.

#### 3) Coeficiente de variación:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad 3.7$$

### c. *Características de forma*

Se define por el coeficiente de oblicuidad. Este coeficiente da idea de la simetría de la distribución

$$C_s = \frac{a}{S^3} \quad 3.8$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3 \quad 3.9$$



- Cs =0.5 Distribución simétrica.
- Cs >0.5 Distribución oblicua hacia la derecha.
- Cs <0.5 Distribución oblicua hacia la izquierda.

Variable aleatoria: Se define como variable aleatoria una cantidad variable  $x$  por medio de la cual sea posible definir una función  $P(x_i)$  que, para cada valor real de  $x$  que la variable aleatoria pueda tomar, mida la probabilidad de que se verifique los valores de  $x$  menores o al menos iguales a  $x$ .

$$P(X \leq x_i) = P(x_i) \quad 3.10$$

En general y para no crear confusión,  $P(x) = P(X_i)$ , en donde  $P(x)$  es el valor tomado por la función de la distribución acumulativa o de repartición de la variable aleatoria, en correspondencia a un valor específico  $x$ .

### 3.2 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VARIABLE ALEATORIA DISCRETA.

Cuando se asignan probabilidades a varios resultados en una muestra, estos, a su vez, determinan las probabilidades asociadas con los valores de cualquier variable  $X$  en particular. La distribución de probabilidad de  $X$  dice cómo es que la probabilidad total de uno está distribuida entre todos los valores posibles de  $X$ .

Por ejemplo. Seis Gastos máximos mensuales en la sección de un río:

Mes	1	2	3	4	5	6
Q en (m <sup>3</sup> /s)	300	280	450	140	220	400

De estos gastos se pueden determinar las probabilidades que puede tomar  $X$ . Así la probabilidad de  $X = 220$  es de  $1/6$ ; es decir cuando  $X$  puede tomar un número de valores finito se llama variable aleatoria discreta.

#### a) *Función de probabilidad de masa discreta con parámetro $n$*

**Parámetro  $n$ :** suponiendo que  $p(X)$  depende de una cantidad que se puede asignar a un número cualquiera de varios valores posibles, con cada valor diferente determinado una distribución de probabilidad diferente. Tal cantidad se llama **parámetro** de la distribución. El conjunto de todas las distribuciones de probabilidad para diferentes valores del parámetro se llama familia de distribuciones de probabilidad.

$$f(x) = P_r(X = k) = P(A_k) = \frac{1}{n}; \text{ para } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad 3.11$$

$$f(x) = 0; \text{ para otros valores de } X$$

b) ***Función de probabilidad de masa hipergeométrica.***

$$f(r) = P_r(X = r) = \frac{\binom{m}{r} \binom{n-m}{k-r}}{\binom{n}{k}} \quad 3.12$$

$$0 \leq m \leq n \quad \text{y} \quad 1 \leq k \leq n$$

para  $r = 0, 1, 2, \dots, k$

$f(r) = 0$  para los de más valores de  $r$ .  $m, n$  y  $k$  son parámetros.

c) ***Función de probabilidad de masa binomial con parámetros  $n$  y  $p$***

$$f(k) = P_r(X = r) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad 3.13$$

( $n \geq 1$ ;  $0 \leq p \leq 1$ ); para  $k = 0, 1, 2, \dots, n$

$f(x) = 0$ ; para los de mas valores de  $X$ .

d) ***Función de probabilidad de masa geométrica con parámetro  $p$ .***

$$f(k) = pq^{(k-1)}; \text{ para } k = 1, 2, \dots, n; \quad 0 \leq p \leq n \quad 3.14$$

$f(x) = 0$ ; si  $X$  no es entero positivo.

e) ***Función de probabilidad de masa binomial negativo, con parámetros  $r$  y  $p$ .***

$$f(k) = \binom{k-1}{r-1} p^r q^{(n-r)} \quad 3.15$$

para  $k = r; k = r+1$ ; la geométrica es un caso especial cuando  $r = 1$

f) ***Función de probabilidad de masa de Poisson, con parámetro  $\beta > 0$***

$$f(k) = P_r(K = k) = \frac{\beta^k e^{-\beta}}{K!}; \text{ para } k = 0, 1, 2, \dots, n \quad 3.16$$

$f(x) = 0$ ; para los de más valores de  $X$

### IV.3 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD DE VARIABLE ALEATORIA CONTINUA

Definamos una función de densidad univariada para una función realmente valuada, la cual esta definida en el eje real  $\mathbb{R}(-\infty, \infty)$  y que satisface la función:

$$F(x) \geq 0 \quad \text{para} \quad -\infty < x < \infty$$

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad 3.17$$

una variable aleatoria  $X$  es absolutamente continua, si y solo si, existe una función de densidad  $f$  para la cual:

$$P_r(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad ; \quad \text{para toda } a < b \quad 3.18$$

Si  $X$  es una variable absolutamente continua entonces se puede remplazar:

$$a < X \leq b \begin{cases} a \leq X \leq b \\ a \leq X < b \\ a < X < b \end{cases}$$

$$f(x) = \frac{1}{|\beta - \alpha|} \quad 3.19$$

$$f(x) = \frac{1}{|J|} \quad 4.20$$

$$\alpha \leq X \leq \beta; \quad J = \text{al Núm. de intervalos}; \quad f(x) = 1; \quad 0 \leq X < 1$$

De la misma manera que las distribuciones de variable aleatoria discreta, las distribuciones de variable aleatoria continua se definen para diferentes parámetros, lo que contribuye a que se tenga un total de 22 distribuciones, éstas se en listan en la tabla 5.2 del capítulo 5 junto con los resultados obtenidos al aplicarlas en la muestra trabajada.

En las referencias 23 a la 31, se pueden encontrar perfectamente definidas las funciones de distribución cada uno de los parámetros, así como las restricciones de aplicación el la serie histórica.

## 4. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA.

La morfología comprende el estudio de las formas superficiales y pretende cuantificar determinados rasgos propios de la superficie terrestre.

En realidad resulta fácil establecer la acción de diferentes factores físicos de la cuenca sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento, pues ello se puede establecer en forma intuitiva, la dificultad estriba en expresar estas influencias por parámetros que represente exactamente esa forma de acción. A la fecha se ha comprobado la influencia que determinados índices tienen en las respuestas hidrológicas de una cuenca y por ello son punto de partida de los análisis y determinaciones cuantitativas, entre tales parámetros cabe citar el área o tamaño de la cuenca, su forma, pendiente y elevación media, las características de su red de drenaje y las del cauce o colector principal.

Conviene aclarar que además, recíprocamente, el carácter hidrológico de una cuenca tiende a formar sus características físicas. Aceptando tal interrelación, se podría pensar en predecir la respuesta hidrológica de una cuenca, a partir de ciertos parámetros físicos fácilmente determinables, esto último contribuye una de las aplicaciones más importantes de la geomorfología.

Por otra parte, aunque sean desarrollado ciertas relaciones útiles, a la fecha los resultados son más bien cualitativos que cuantitativos, debido a un gran número de factores, los cuales se pueden resumir en los tres siguientes:

1°. La determinación precisa de los parámetros físicos de una cuenca está gobernada por la disponibilidad cartográfica, en cuanto a sus escalas y calidad. A este respecto, las cartas topográficas de DETENAL de escalas 1: 50 000 y 1: 250 000, ofrece un apoyo de excelente calidad y precisión, las primeras para el análisis de cuencas menores a 1500 km<sup>2</sup> y las segundas para los mayores.

2°. Para determinados parámetros, sus definiciones son todavía arbitrarias, existiendo la posibilidad de que aun no se hayan logrado o los términos más convenientes.

3°. Las relaciones, entre las características físicas de la cuenca, que son prácticamente estáticas y sus respuestas hidrológicas, que son altamente aleatorias, y muy complejas.

El objetivo de éste capítulo es exponer la terminología e índices con los cuales el hidrólogo define y analiza a una cuenca hidrológica, para describir sus principales características físicas, que condicionan su comportamiento hidrológico; desarrollando los diversos métodos de cálculo y presentación de resultados.

## 4.1 CUENCA HIDROLÓGICA.

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre tal que (si fuera impermeable) todas las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por un sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial, asociada a esta, existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante, aunque no igual, a la de la cuenca superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas; en las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago. En las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar (Fig. 4.1).

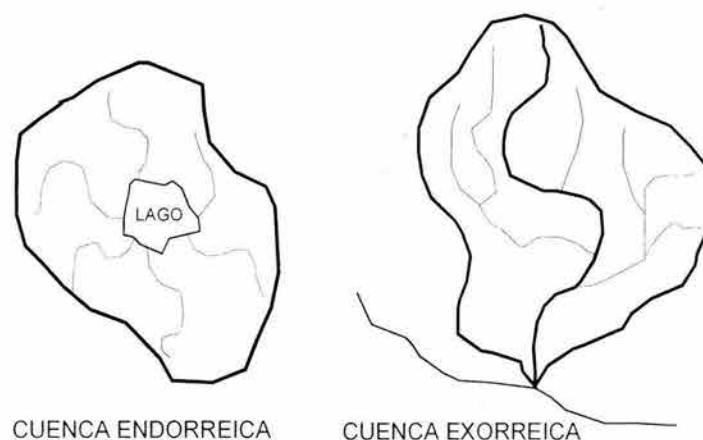


Figura. 4.1 Ejemplifica los tipos de cuenca que se pueden encontrar en la naturaleza de la superficie terrestre.

Conviene señalar además, que la cuenca topográfica podrá ser menos extensa que la cuenca de aguas subterráneas, si su cauce es alimentado por circulaciones subterráneas procedentes de cuencas vecinas (terrenos kársticos, regiones llanas que tiene un fuerte espesor de sedimentos permeables que descansan sobre un lecho rocoso de topografía diferente a la de la superficie), y en sentido inverso, la cuenca topográfica podrá contener cuencas elementales cerradas, en las que los escurrimientos terminan en lagos y sumideros que no están unidos a la red de cauces, aunque las capas freáticas correspondientes estén a veces en comunicación. Salvo en los casos citados, por lo general, las divisorias topográfica y freática coinciden sensiblemente.

## 4.2 PARTEAGUAS.

Línea imaginaria del contorno de una cuenca hidrográfica, que la separa de las adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en el sistema de cauces que fluye hacia la salida de tal cuenca.

Parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las vecinas. El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

## 4.3 ÁREA O MAGNITUD DE LA CUENCA.

El área de una cuenca (A) es el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria. Usualmente el área es determinada con un planímetro y se reporta en  $\text{km}^2$ , excepto para las cuencas pequeñas las cuales se presentan en hectáreas.

Las investigaciones hidrológicas han puesto en manifiesto que existe una diferencia significativa entre una cuenca pequeña y una grande. En una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura, sobre las cuales el hombre tiene algún control. En cambio para grandes cuencas el efecto del almacenamiento en el cauce llega a ser pronunciado y habrá que darle mas atención a la hidrología de la corriente principal.

Estrictamente hablando es difícil distinguir entre una cuenca pequeña y una grande, basándose únicamente en su tamaño, pues frecuentemente dos cuencas del mismo tamaño pueden comportarse de manera muy diferente desde el punto de vista de su respuesta hidrológica. Según V. Te Chow, una cuenca pequeña puede ser definida como aquella que es sensible a lluvias de alta intensidad y corta duración, en la cual predominan las características físicas del suelo con respecto a las del cauce. Por esta definición, el tamaño de una cuenca pequeña puede variar desde  $4 \text{ km}^2$  hasta  $130 \text{ km}^2$ .

Sin embargo otros autores entre ellos I. Pai Wu y R. Springall G., han elevado el límite superior de una cuenca pequeña a los  $250 \text{ km}^2$ . Con fines prácticos se propone la clasificación de cuencas indicada en la tabla 4.1, en base a su magnitud.

Tabla 4.1 clasificación de las cuencas según su tamaño.

TAMAÑO DE LA CUENCA EN $\text{Km}^2$	DESCRIPCIÓN
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2,500	Intermedia-Grande
2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy Grande

#### 4.4 FORMA DE LA CUENCA.

La forma de la cuenca definitivamente afecta las características de la descarga de la corriente, principalmente en los eventos de flujo máximo. En general los escurrimientos de una cuenca de forma casi circular serán diferentes a los de otra, estrecha y alargada, de la misma área.

#### 4.5 COEFICIENTE DE COMPACIDAD.

H. Gravelius definió el llamado coeficiente de compacidad ( $C_c$ ), como el coeficiente adimensional entre el perímetro de la cuenca ( $P$ ) y la circunferencia ( $P_c$ ) de un círculo con área ( $A$ ) igual al tamaño de la cuenca en  $\text{km}^2$ , es decir:

$$C_c = \frac{P}{P_c} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad 4.1$$

El coeficiente de compacidad tendrá como límite inferior la unidad, indicando que la cuenca es circular y con forme su tamaño crece indicará una mayor distorsión en su forma, es decir, se vuelve alargada ó asimétrica.

#### 4.6 RELACIÓN DE ELONGACION.

S.A. Schumm propuso la denominada relación de elongación ( $R_e$ ), definida como el cociente adimensional entre el diámetro ( $D$ ) de un círculo que tiene área ( $A$ ) igual que la de la cuenca y la longitud ( $L_c$ ) de la misma. La longitud  $L_c$  se define como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta la divisoria, paralela al cauce principal. Entonces:

$$R_e = \frac{D}{L_c} = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L_c} \quad 4.2$$

El coeficiente anterior varia entre 0.60 y 1.00 para una amplia variedad de climas y geologías. Además, parece estar fuertemente relacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde  $R_e$  varia de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

## 4.7 CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA.

### ***Utilidad.***

La topografía o relieve de una cuenca puede tener mas influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma de la misma. Por otra parte, es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de su llamada "curva hipsométrica", la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. De lo anterior se deduce la utilidad de la curva hipsométrica, además, de permitir calcular la elevación media de la cuenca.

Con propósitos de comparación entre cuencas, es conveniente utilizar el porcentaje del área total en lugar de su magnitud y la altura relativa.

### ***Construcción.***

La curva hipsométrica o curva de área-elevación se construye determinando con un planímetro el área entre curvas de nivel y representando en una grafica el área acumulada por encima o por debajo de una elevación.

La curva hipsométrica también puede calcularse con suficiente aproximación, utilizando una malla de cuadrados sobre la cuenca, de manera que del orden de cien intercepciones, queden comprendidas en ella; entonces, el número de intercepciones que caen dentro de varios rangos de elevaciones, dan una distribución de frecuencias de elevaciones.

Al aplicar éste criterio, se acepta que la elevación correspondiente a cada intercepción de la malla es representativa de un área igual a un cuadro de ella, por lo cual la frecuencia en porcentaje se podrá relacionar directamente con el área de la cuenca. Si se calcula la frecuencia acumulada de altitudes menores o mayores, se podrá indicar el porcentaje del área de cuenca con una elevación mayor o igual que un cierto valor.

### ***Rectángulo Equivalente.***

M. Roche introdujo el concepto de rectángulo equivalente para poder comparar fácilmente las cuencas hidrológicas, desde el punto de vista de la influencia de sus características sobre el escurrimiento. Roche supone que el escurrimiento de una cuenca dada es aproximadamente el mismo, en condiciones climatológicas idénticas, que sobre un rectángulo de igual área igual coeficiente de compacidad y misma repartición hipsométrica, suponiendo además que la distribución de suelo, vegetación y densidad de drenaje son respetadas en las diferentes áreas comprendidas entre curvas de nivel.



## **4.8 ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA**

### ***Generalidades.***

La altura media de la cuenca tiene influencia fundamental en el régimen hidrológico, puesto que la tiene sobre las precipitaciones que alimentan el ciclo hidrológico de la cuenca; generalmente se encuentra una buena correlación entre este parámetro y otros índices de las cuencas de una región o área específica.

### ***Estimación.***

Quizás el criterio más simple para estimar la elevación media de la cuenca, consiste en utilizar una malla de cuadrados, de manera que del orden de cien intercepciones queden comprendidas dentro de la cuenca, la elevación media se calcula como el promedio aritmético de la elevaciones de todas las intercepciones que estén dentro de la cuenca.

A partir de la curva hipsométrica, se puede determinar fácilmente la denominada "elevación mediana" de la cuenca, la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área de cuenca.

Otra estimación de la elevación media de la cuenca, también basada en la curva hipsométrica, consisten en cuantificar el volumen bajo está y dividirlo entre la magnitud de la cuenca.

## **4.9 CAUCE PRINCIPAL**

La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma. Nótese que esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca exorreica se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación; toda cuenca tiene una y solo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias o a puntos de la salida de la cuenca se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación. Por ello, se han propuesto un cierto número de indicadores de dicho grado de bifurcación. Algunos de ellos son los siguientes:

## **4.10 ORDEN DE CORRIENTES**

El orden de corrientes se determina como se detalla enseguida. Una corriente de orden uno tiene solo un tributario sin ramificaciones; una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc.

Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero, por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman una de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida; así por ejemplo, el orden de la cuenca de la Fig. 4.2 es 4. Debe hacerse notar que el orden de una cuenca depende en mucho de la escala del plano utilizado para su determinación, por lo que las comparaciones entre una cuenca y otra en, este sentido, deben hacerse con cuidado especialmente cuando los planos correspondientes no están a la misma escala o están editados por diferentes organismos.

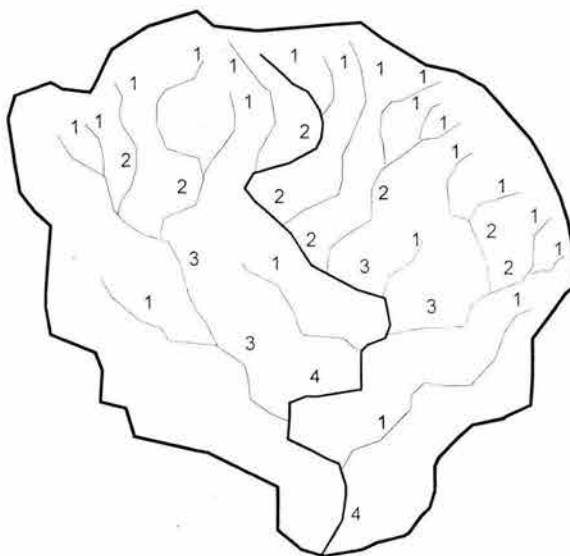


Figura 4.2 Cuenca de orden 4

Otros indicadores del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes  $D_s$ , definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje  $D_d$ , definida como la longitud de corrientes por unidad de área:

$$D_s = \frac{N_s}{A} \tag{4.3}$$

$$D_d = \frac{L_s}{A} \tag{4.4}$$

donde:

$N_s$ ; es el número de corrientes perennes e intermitentes

$L_s$ ; es la longitud total de las corrientes

$A$ ; es la área de la cuenca.

Un orden de corrientes alto o una densidad elevada refleja una cuenca altamente disectada, que responde rápidamente a una tormenta. Las densidades u orden de corrientes pequeños se observan donde los suelos son muy resistentes a la erosión o muy

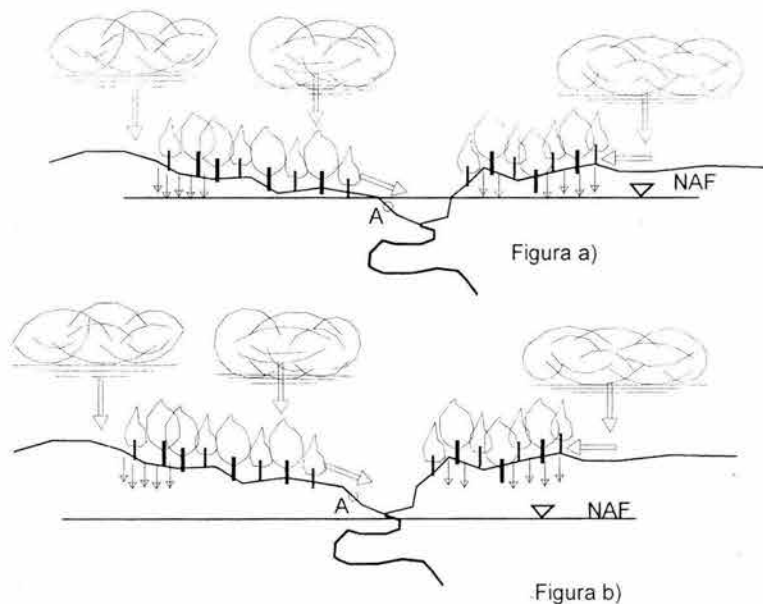
permeables y, donde estos indicadores son elevados, generalmente los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa.

Las corrientes se pueden clasificar de muchas maneras diferentes. Las más interesantes en la ingeniería hidrológica son tal vez las siguientes:

a) Por el tiempo en que transportan agua. Según esta clasificación, las corrientes pueden ser perennes, intermitentes o efímeras.

En una corriente perenne, el punto más bajo del cauce se encuentra siempre abajo del nivel de aguas freáticas. Estas corrientes transportan agua durante todo el año y siempre están alimentadas, totalmente o en parte, por el agua subterránea, es decir, son efluentes.

Una corriente intermitente transporta agua solamente durante la época de lluvias de cada año, cuando el nivel freático asciende hasta quedar por encima del punto A (Fig. 4.3.a). En época de secas, el nivel freático queda por abajo de dicho punto y la corriente no transporta agua, salvo cuando se presenta alguna tormenta. En el caso de las corrientes efímeras o influentes, el nivel freático está siempre abajo del punto A (Fig. 4.3.b) y transportan agua sólo inmediatamente después de una tormenta, y, en este caso, alimentan a los almacenamientos de agua subterránea.



Figuras 4.3 Tipos de cauces.

b) Por su posición topográfica o edad geológica. De acuerdo con esta clasificación, los ríos pueden ser de montaña o juveniles, de transición o maduros o bien de planicie o viejos.

En un mismo cauce se pueden encontrar los tres tipos de ríos. Los ríos de montaña, característicos de cotas elevadas sobre el nivel del mar, tienen grandes pendientes y pocas curvas y, debido a las altas velocidades que alcanza el agua, sus cauces están generalmente formados por boleos con un poco de grava y casi nada de finos. Los ríos de planicie, por el contrario, presentan numerosos meandros debido a las bajas velocidades del agua, y su cauce más bien se forma por arenas y finos. Estos ríos se encuentran normalmente en cotas cercanas al nivel del mar. Los ríos de transición están en una situación intermedia entre los dos anteriores: presentan algunas curvas, con velocidades del agua moderadas y con sus cauces formados básicamente por grava, con algo de boleos y arena.

#### **4.11 PENDIENTE DE LA CUENCA.**

##### ***Introducción.***

La pendiente de la cuenca tiene un importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

Para la estimulación de la pendiente de la cuenca, se presentan tres criterios que son ampliamente utilizados.

- a) La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.
- b) La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas debajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce, arriba y debajo de dicha línea.
- c) Taylor y Schwarz, proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tuviera la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión.

#### **4.12 LONGITUD, PERFIL Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL.**

##### ***Longitud del cauce principal.***

La longitud o desarrollo longitudinal ( $L$ ) del cauce o colector principal es también una magnitud característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que en un río corto los efectos de la precipitación en la cuenca se hacen sentir más rápidamente que en un río largo.

El parámetro  $L_{ca}$  se define como la longitud a lo largo del colector principal hasta un punto que es el más cercano al centro de gravedad de la cuenca.

### **Perfil del cauce principal.**

El perfil de un río se obtiene llevando a una grafica los valores de sus recorridos horizontales (abscisas) contra sus cambios de elevaciones respectivas (ordenadas).

### **Evaluación de la pendiente del cauce principal.**

La pendiente del colector principal se relaciona con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos. Con fines prácticos la pendiente del colector principal se puede estimar con alguno de los siguientes tres criterios:

#### **Criterios simplificados:**

1) El primer criterio consiste en dividir el desnivel del río entre su longitud, esto es:

$$S = \frac{H}{L} \quad 4.5$$

De acuerdo al valor anterior de la pendiente, se puede clasificar el relieve o topografía del terreno.

2) El segundo criterio consisten en dividir el desnivel del cauce entre sus puntos a 10 y 85% de su longitud total a partir de la salida o punto de interés, entre el recorrido del río dentro de tales puntos. Entonces, el 15% del tramo de río con fuerte pendiente y el 10% de su parte plana, son exclusivos.

3) Pendiente de la recta equivalente.

En esté criterio, la pendiente promedio del cauce principal se obtiene por la pendiente de una línea recta que se apoya en el inicio o salida de la cuenca y tiene igual área arriba y abajo, respecto al perfil del colector principal, es decir, el área triangular total bajo la recta es igual al área bajo el perfil del cauce. Entonces la formula de este criterio será:

$$S = \frac{H}{L} \quad 4.6$$

### **Formulas de A. B. Taylor y H. E. Schwarz.**

Estos autores desarrollaron una fórmula que permite obtener la pendiente promedio del cauce principal, como la pendiente de un canal uniforme que tiene igual longitud y tiempo de viaje, que el colector principal de la cuenca. A continuación se deduce la ecuación de los dos autores (Ref.3 V. T Chow Hidrología Aplicada).

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{l}{\sqrt{S_1}} + \frac{l}{\sqrt{S_2}} + \frac{l}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{l}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad 4.7$$

en la cual:

$S_i$ ; es la pendiente media del colector principal, adimensional.

$n$ ; es el número de tramos iguales, en los cuales se divide el cauce principal.

$S_i$ ; es la pendiente de cada tramo ( $i$ , varía de uno a " $n$ "), igual a  $h_i / l$ .

**Criterio de J. W. Alvord.**

$$S_c = \frac{D}{A(l_1 + l_2 + \dots + l_n)} = D \frac{L}{A} \quad 4.8$$

La pendiente de la cuenca es igual a la longitud total de curvas de nivel dentro de ella, multiplica por el desnivel constante entre éstas y dividida entre el tamaño de la cuenca.

Con el objeto de obtener resultados confiables y a la vez evitar el desarrollo tedioso del criterio, se recomienda utilizar intervalos entre curvas de nivel de 30 a 150 metros en el caso de cuencas pequeñas o de topografía plana (Ref.3 de este capítulo V.T Chow Hidrología Aplicada).

**Criterio de R. E. Horton.**

El primer paso de este criterio es el establecimiento de una malla de cuadrados sobre el plano de la cuenca, la cual conviene orientar en le sentido del cauce principal. Si la cuenca es de 250 Km<sup>2</sup> o menor, se requiere por lo menos cuatro cuadrados por lado, aumentando su número según crezca el tamaño de la cuenca. En seguida se mide la longitud de cada línea de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel. La pendiente de la cuenca en cada dirección se evalúa con las ecuaciones siguientes:

$$S_x = \frac{n_x D}{L_x} \quad 4.9$$

En la cual:

$S_x$ ; es la pendiente adimensional de la cuenca en cada una de las dirección de la malla de cuadrados.

$n_x$ ; es el número total de intersección y tangencias de las líneas de la malla en la dirección  $x$ ; con las curvas de nivel, respectivamente.

$L_x$ , es la longitud total de las líneas de la malla en la dirección  $x$ , dentro de la cuenca, en Km.

$D$  es el desnivel constante entre las curvas de nivel de la cuenca, en Km. Debiéndose respetar las recomendaciones citadas a este respecto en el criterio de Alvord, anteriormente descrito.

Con fines prácticos, la pendiente de la cuenca  $S_c$ , puede ser estimada como el promedio aritmético o geométrico de las pendientes  $S_x$ .

### ***Índice de pendiente de M. Roche.***

M. Roche también ha propuesto el índice de pendiente ( $I_p$ ), que es el valor medio de las pendientes, se deduce del rectángulo equivalente y tiene la expresión siguiente:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^n \sqrt{\beta_i - \beta - 1} \quad 4.10$$

en la cual:

$I_p$ ; es el índice de pendiente adimensional

$L$ ; es la longitud de lado mayor del rectángulo equivalente, en metros o kilómetros.

$n$ ; es el número de curvas de nivel existentes en el rectángulo equivalente, incluidas las extremas (lados menores).

$\beta_i$ ; es la fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas  $a_i$  y  $a_{i-1}$ .

$a_i$  son cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas,  $a_0$  en la elevación de la salida de la cuenca y  $a_n$  será la cota de su punto más alto, en metros o kilómetros.

## **4.13 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE.**

### ***Generalidades.***

Se llama red de drenaje de una cuenca, al sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de

drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además de proporcionar indicios sobre las condiciones físicas del suelo y de la superficie de la cuenca.

Las principales características de la red de drenaje son: tipos de corrientes, modelos de drenaje, orden de corrientes; relación de bifurcación, densidad de drenaje y frecuencia de corrientes.

#### 4.14 MODELOS DE DRENAJE Y ENDORREÍSMO.

La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca topográfica originan un modelo erosional el cual es caracterizado por la red de cauces. El patrón o modelo que forman los cauces, es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en la resistencia de las rocas.

La referencia 3 Procesos del Ciclo hidrológico; presenta una descripción detallada de diversos modelos de drenaje indicando su utilidad para describir e interpretar su evolución geológica así como su ilustración gráfica.

Una cuenca hidrográfica en la que los escurrimientos no fluyen a un cauce principal, sino que se concentran en su parte baja, se denomina: cuenca endorreica y son características de las zonas áridas y semiáridas. En general se distinguen dos tipos de endorreísmo:

- a) Endorreísmo con escurrimientos, cuando las aguas concentradas en las depresiones de la cuenca, pueden fluir hacia otras cuencas vecinas por escurrimiento subterráneo.
- b) Endorreísmo total, cuando el escurrimiento subterráneo hacia otras cuencas es prácticamente nulo y el agua concentrada en forma de lago en la parte baja de la cuenca, se pierde por evapotranspiración.

#### 4.15 RELACIÓN DE BIFURCACIÓN Y LEYES DE HORTON.

R. E. Horton también introdujo el concepto de relación de bifurcación ( $R_b$ ) para definir el cociente entre el número de cauces de cualquier orden y el número de corrientes del siguiente orden superior, es decir:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \tag{4.11}$$

Las relaciones de bifurcación varían entre 3.0 y 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. El valor mínimo teóricamente posible de 2.0 difícilmente se alcanza condiciones naturales y en general el valor promedio es del orden de 3.50. D. R. Coates encontró que la relación de bifurcación de corrientes de primero a segundo orden varia de 4.0 a 5.1 y de las de segundo a tercer orden fluctúa de 2.8 a 4.9.



A. N. Strahler propuso un criterio numérico para la obtención del valor de la relación de bifurcación.

#### 4.16 DENSIDAD DE DRENAJE.

La densidad del drenaje ( $D_d$ ) se define como la longitud total ( $\sum L$ ) de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje ( $A$ ). Es un concepto también debido a R. E. Horton, dimensionalmente se reduce a una  $L^{-1}$ , y matemáticamente es igual a:

$$D_d = \frac{\sum_1^k \sum_1^k L_u}{A} = \frac{\sum L}{A} \quad 4.12$$

Por lo común, se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio, se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o de suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso. Como ejemplo de lo anterior se tiene la siguiente figura.

En la figura 4.4 se presentan distintas densidades de drenaje y las diferentes formas en que se pueden presentar sobre la superficie de la tierra.

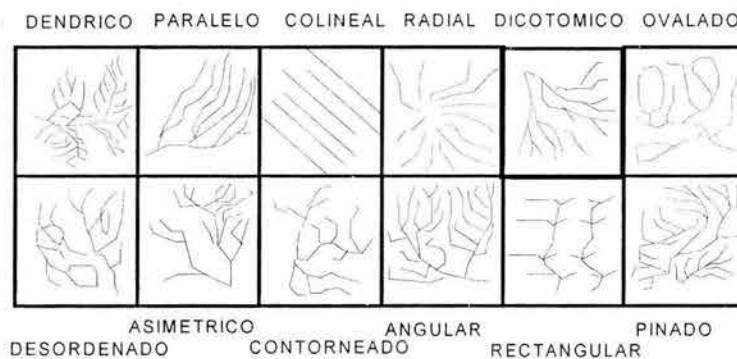


Fig. 4.4 Densidades de drenaje.

En la referencia recomendada A, se presentan los resultados de una investigación sobre las relaciones entre la densidad de drenaje y ciertas características hidrológicas de las cuencas, sugiriéndose su consulta.

#### 4.17 FRECUENCIA DE CORRIENTES.

R. E. Horton introdujo el concepto de frecuencia de corrientes ( $F$ ) definida como el número de segmentos de corrientes por unidad de área, o sea:

$$F = \frac{\sum_1^k N_u}{A_k} \quad 4.13$$

La frecuencia de corrientes tiene por unidades  $L^{-2}$ . M. A. Melton analizó en detalle la relación entre la densidad del drenaje ( $Dd$ ) y la frecuencia de corrientes ( $F$ ) y encontró que ambas son medidas de la magnitud de la red de drenaje, pero cada una trata aspectos diferentes; adicionalmente, para 156 cuencas obtuvo la relación:

$$F = 0.694 D_d^2 \quad 4.14$$

La ecuación anterior es dimensionalmente correcta y  $F/(Dd)^2$  es un número adimensional que tiende a un valor constante del orden de 0.70 .

#### **4.18 GEOLOGÍA, SUELOS Y COBERTURA VEGETAL DE LA CUENCA.**

El estudio de la geología (rocas) y suelos de la cuenca debe de estar encaminado a clasificar en términos generales su mayor o menor permeabilidad y en ciertos casos (regiones áridas, zonas kársticas o volcánicas), debe ser mucho mas detallado, indicando la localización de las aguas subterráneas, sus áreas de recarga y resurgencia o descarga.

El suelo influye especialmente sobre el régimen hidrológico de la corriente y su transporte de material sólido, ya que sus características físicas determinan la naturaleza y desarrollo de la vegetación y por lo tanto, la evapotranspiración y la erosión y arrastre de sólidos son función del tipo de suelos de la cuenca. Concretamente en relación a los suelos será conveniente estimar su capacidad de infiltración, su capacidad de retención (texturas) y la magnitud de las perdidas iniciales de una tormenta.

##### ***Cobertura vegetal.***

En particular, los bosques y los cultivos añaden su influencia a la naturaleza geológica de la cuenca, para condicionar la retención, la evaporación y el escurrimiento, ya que la vegetación controla la acción y el movimiento del agua: intercepción, infiltración, almacenamiento, evapotranspiración y erosión.

En general, será conveniente obtener los porcentajes de área de cuenca cubierta por cada tipo de suelo y vegetación, para su uso posterior.

#### 4.19 MODELOS DEL CAUCE.

##### *Generalidades.*

Se usó modelos de drenaje, para referirse al arreglo de los cauces dentro de la red de drenaje de la cuenca, ahora se entiende por modelos del cauce a la forma o desarrollo que adopta individualmente un cauce, en especial el colector principal de dicha cuenca.

De acuerdo a la forma de su alineamiento en planta, se distinguen tres modelos para los cauces naturales:

1°. CAUCES TRENZADOS, cuando el canal se divide en varios canales interconectados (brazos) y separados por islas. Los cauces trenzados son muy anchos y poco profundos, con material grueso y bien graduado en su fondo.

2°. CAUCES CON MEANDROS, cuando el canal serpenteal, es decir, el cauce fluye formando ondulaciones o lazos mas o menos regulares. Un río se dice que tiene meandros si la distancia desde un punto A, a lo largo del cauce, a un punto B medida a lo largo del valle. Al cociente de la distancia a lo largo del cauce entre la longitud del valle, se conoce como sinuosidad del cauce.

Con respecto a los parámetros de los meandros, se pueden citar sus tres dimensiones generales: la longitud de onda ( $\lambda$ ) varía entre 7 y 11 veces el ancho del cauce ( $w$ ), el radio de curvatura ( $r_m$ ) que varía entre 2 y 3 veces  $w$  y la amplitud de las curvas ( $A$ ) que fluctúa considerablemente y parece estar controlada principalmente por el tipo de material de las orillas del río, fluctuando entre 10 y 20 veces  $w$ .

3°. CAUCES RECTOS, estrictamente hablando un cauce es recto si su sinuosidad es menor de 1.10, o bien, inferior a 1.25; pero además la longitud del tramo debe ser mayor de 10 veces el ancho del cauce.

En la practica, se han observado que la sinuosidad de los cauces fluctúa entre 1.0 (recto) y 1.50 (meandro), pudiéndose agregar una cuarta categoría para los modelos de cauce que caen entre los dos valores anteriores, usando el termino de cauces sinuosos.

Para el hidrólogo, es muy importante saber el porque un cauce natural adopta alguno de los modelos descritos anteriormente. Así por ejemplo se sabe que los cauces trenzados se encuentran en lugares donde las orillas son fácilmente erosionables (materiales arenosos sin protección de la vegetación).

En general pendiente de estos cauces es mayor que la de los tramos de río vecinos que no son trenzados y la longitud total de los brazos puede variar entre 1.5 y 2.0 veces la longitud del cauce sin divisiones, siendo entonces la profundidad del escurrimiento menor. Entonces, el trenzado es una forma de disipar energía, evitando los aumentos de velocidad que producirían erosión.

Igualmente los meandros sirven también para disipar energía, aumentando las pérdidas de carga, en parte debida al mayor desarrollo como también a la presencia de las curvas. Los meandros ocurren en donde los materiales son finos y las orillas algo más cohesivas, de manera que se establece un patrón sucesivo de erosión en el lado cóncavo de las curvas y de depósito en el lado convexo, inmediatamente aguas abajo, de forma que parecen avanzar continuamente en tal dirección.

#### 4.20 MODELOS LLUVIA ESCURRIMIENTO.

Los modelos lluvia escurrimiento permiten obtener, como su nombre lo indica, el escurrimiento que provoca una lluvia en la salida de una cuenca; tomando en cuenta las características físicas del lugar en donde precipitó la lluvia. Uno de los modelos más antiguos es la Fórmula Racional, y pasando por los Hidrográmas Unitarios Sintéticos se llega al modelo del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico.

##### ***Fórmula Racional:***

Como se mencionó es de las más antiguas (1889), y probablemente una de las más utilizadas. Considerando que el máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La ecuación que define a la Fórmula Racional es:

$$Q = CiA \quad 4.15$$

Donde:

- Q; es el gasto de salida de la cuenca a través del cauce principal, en m<sup>3</sup>/s.
- C; es un coeficiente de escurrimiento que depende de las características superficiales de la cuenca.
- A; es el área de la cuenca en estudio, en Km<sup>2</sup>.

Y para estimar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de Kirpich.

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad 4.16$$

donde:

- t<sub>c</sub>; es el tiempo de concentración, en h.
- L; es la longitud del cauce principal, en m.
- S; es la pendiente del cauce principal.

En este método se incorporan las características medias de la lluvia y, a través del coeficiente de escurrimiento y del tiempo de concentración, algunas características de la cuenca además de su área.

### **Hidrográma unitario instantáneo geomorfológico.**

Los hidrólogos han intentado siempre relacionar las características de una cuenca con su respuesta hidrológica, debido a la escasez de información histórica de gastos máximos. Varios investigadores han derivado las ecuaciones generales del Hidrográma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG) el cual, parametrizado en variables geomorfológicas, permite estimar el hidrográma unitario instantáneo de la cuenca.

Rodríguez-Iturbe y Valdés fueron los primeros en introducir el concepto del Hidrográma Unitario instantáneo Geomorfológico, que llevó a la renovación de la investigación en la hidrogeomorfología. El concepto fue apoyado por Gupta (1980) el cual demostró que el HUIG de una cuenca es igual a la función de densidad del tiempo de viaje a la salida de la cuenca, de una gota de agua que cae en la cuenca aleatoriamente con distribución espacialmente uniforme.

El análisis de Rodríguez-Iturbe y Valdés se concentro en el viaje de una gota de agua. A través de una cuenca. El viaje de la gota a través de la cuenca va teniendo transiciones, de las corrientes de orden más bajo a las de orden más alto. Una transición se define como un cambio de estado, donde el estado es el orden de la corriente donde la gota esta viajando.

El viaje de la gota esta gobernado por las siguientes reglas:

- 1) Para una gota que cae en una ladera, su estado correspondiente  $i$ , que es el orden de la corriente asociada.
- 2) Del estado  $i$ , donde la gota cayo, necesariamente se pasa a otro estado  $j$ .
- 3) Del estado  $j$ , se puede pasar a otro estado  $k$ , si  $k > j$ .
- 4) Necesariamente se pasa por  $I$  y de ahí, con la probabilidad de  $I+1$  que es la salida de la cuenca.

El conjunto anterior de reglas permite estimar un conjunto de finito de trayectorias que puede seguir una gota hasta alcanzar la salida de la cuenca.

Bajo estas condiciones se puede estimar la función de distribución de probabilidades del tiempo de escurrimiento de una gota hasta alcanzar la salida de la cuenca, y con la ayuda de las Leyes de Horton es factible la estimación de los parámetros siguientes:

#### **Ley de los números de corrientes:**

$$R_B = \frac{N_{w-1}}{N_w} \quad \text{donde } N_w \text{ es el número de corrientes de orden } w$$

una gráfica de del logaritmo de  $N_w$  contra  $w$  produce aproximadamente una línea recta con pendiente negativa. La magnitud de esa pendiente es el logaritmo de  $R_B$ . La cual es una constante para la red dada y se denomina como grado de bifurcación.

*Ley de la longitud de corrientes.*

$$R_L = \frac{\bar{L}_w}{\bar{L}_{w-1}} \quad \text{donde } \bar{L}_w \text{ es la media de las corrientes de orden } w.$$

**Ley de áreas de las corrientes**

$$R_A = \frac{\bar{A}_w}{\bar{A}_{w-1}} \quad \text{donde } \bar{A}_w \text{ es la media de las áreas de las cuencas de orden } w.$$

Para las cuencas naturales los valores son los siguientes:

- $R_A$     de 3 a 6
- $R_B$     de 3 a 5
- $R_L$     de 1.5 a 3

Los cuales determinan si es factible la aplicación del método del HUIG. A través de un programa de computadora que permite la obtención del hidrográma.

En el Capitulo 5 se presenta el desarrollo para la obtención de los parámetros anteriores determinando las áreas, longitudes y pendientes de las cuencas de orden  $w$  y la aplicación del programa se puede consultar en las referencias señaladas.

## 5. APLICACIONES

Durante desarrollo de éste capítulo se pretende encontrar cual es el tamaño ideal, en la determinación de la lluvia de diseño, que pudiera tener la muestra en cuanto a datos registrados de lluvia, dependiendo de que tipo de aparatos se cuente en la estación hidrométrica o pluviográfica y del sitio geográfico donde se pretende realizar la investigación. El número de registros con que cuente la estación es fundamental en la determinación de las curvas  $i-d-Tr$ , para la construcción de éstas últimas es necesario contar con el cociente "R"; que es la relación de la lluvia de 24 horas con una lluvia de duración  $d < 24$  horas. El cual se determina a partir de los registros pluviográficos construyendo la curva masa tomando duraciones de 10 min. y encontrando la lluvia acumulada en 24 horas.

El cociente "R" permite determinar cual es la relación entre la lluvia de una hora a la de 24 horas, por ejemplo. Esta relación es fundamental para determinar la lluvia de diseño en drenajes, alcantarillas, etc, es decir obras en las cuales es necesario conocer cual es la lluvia que se ha presentado en los registros con duraciones menores de 24 horas y que deben ser desalojadas de la zona en cuestión.

El objetivo del trabajo es demostrar la influencia que tiene el tamaño de la muestra en la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas. Durante la obtención de los resultados se observa como se llega a un número de registros (tamaño de muestra) para el cual el gasto que se obtiene en la salida de la cuenca es similar al que se obtiene por los diferentes métodos que se utilizaron y que se describieron en los capítulos anteriores.

Para este tema, utilizando la información disponible de la Cuenca del Papaloapan, se hace una aplicación de las diferentes técnicas tratadas en este trabajo, donde se busca demostrar que son aplicables en la determinación de la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas fundamental en la construcción de las curvas intensidad duración periodo de retorno.

### 5.1 GENERALIDADES.

Se conoce con el nombre de la "Cuenca del Papaloapan" a la zona hidrográfica de la República Mexicana que descarga sus aguas en la Laguna de Alvarado. Geográficamente queda localizada entre los  $17^\circ$  y  $19^\circ$  de latitud Norte y entre los meridianos  $95^\circ$  y  $97^\circ$ ,  $40'$  de longitud Oeste de Greenwich. Se encuentra ubicada en la vertiente del Golfo de México aproximadamente en la parte media del arco que forma el litoral mexicano; colinda al Norte con las cuencas cerradas Oriental y la del Río Atoyac de Veracruz, al sur con la cuenca de los ríos Atoyac de Oaxaca y Tehuantepec, al Este con el Río Coatzacoalcos, y al Oeste con el Río Balsas. Cuenta con una superficie de  $46\ 517\ \text{Km}^2$ . En la Fig. 5.1 se presenta la ubicación geográfica del sitio de interés.

Con la información de lluvias de las estaciones Magdalena Jicotlan, San Antonio Abad, San Francisco Teopan, Tlacoatepec Plumas y Tepelmeme; fue posible la construcción de la

serie anual de máximos. De la estación Tepelmeme se obtuvieron también los datos hidrométricos con los cuales se estableció la comparación de los resultados.



En la figura 5.1 se observa la localización geográfica de la región en estudio.

Dadas las características de ubicación, es necesario para su estudio, desde el punto de vista climático, dividir la región en tres grandes zonas; que nos permitan identificar y caracterizar mejor el sitio de estudio:

### **ZONA DE LA PLANICIE COSTERA.**

Tiene un clima tropical lluvioso, una temperatura media de todos los meses del año es superior a los 18° C, siendo la máxima registrada de 46° C y la mínima de 5° C. Es necesario dividir a esta región en dos sub-zonas ya que presentan características diferentes; una región tiene un clima que se aproxima al de selva y la otra muy parecido al de sabana.

Su precipitación media anual fluctúa entre los 1000 y 2000 mm de lluvia.

### **ZONA DE LA SIERRA MADRE DE OAXACA, VERTIENTE NORTE.**

Su clima es tropical lluvioso de bosque y selva, le llueve casi durante todos los meses del año, por lo que su precipitación media anual fluctúa entre 2000 y 8000 mm de lluvia. Su



temperatura media mensual es de 22° C, aunque ha llegado a registrar temperaturas superiores a los 45° C.

## **ZONA DE LA DEPRESIÓN POBLANO-OAXAQUEÑA.**

Tiene un clima de estepa, llueve durante todo el verano, la vegetación predominante es xerófila, pues tiene una precipitación anual que fluctúa entre los 220 y los 800 mm; debido a la orografía la parte baja encañonada es caliente habiéndose registrado máximas de 46° C, mientras que la parte alta es fría contando con rica cobertura de coníferas, especialmente en Cuajimoloyas y Ayutla, en tanto la zona adyacente a Tepelmeme esta totalmente deforestada.

Dentro de esta última zona se encuentra la cuenca del Río Tepelmeme y uno de los afluentes principales del río es el Río Grande; en lo sucesivo se identificara como "Cuenca del Río Grande".

Su ubicación es la siguiente: se encuentra entre los 17° 44" y los 17° 52" de latitud Norte y los paralelos 97° 25" y 97° 33" al Este de Greenwich, tiene un área total de 150.6 Km<sup>2</sup>.

En cuanto a la vegetación, la flora es la características de la zona, rescatando que debido a la deforestación del lugar, al cambiar el suelo a agrícola, la precipitación media es de 60 mm anuales.

Es la Cuenca del Río Grande donde se aplican los conceptos vertidos en los capítulos anteriores para encontrar el tamaño de muestra necesario para la determinación de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno y con ellas los eventos de diseño de las obras hidráulicas.

### **VI.2 MORFOLOGÍA DE LA CUENCA.**

Con ayuda de las cartas de DETENAL Tepelmeme E14D15 escala 1:50 000 se definió la cuenca en estudio y todas las características de la zona geográfica en particular; de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 4, como: la obtención del cauce principal, definición y trazo del parteaguas, perímetro, área, etc.

En el anexo A, Figura A.1 se presenta el trazo de la cuenca, cauce principal y el parteaguas que define el área de la cuenca.

Con la ayuda de la carta de DETENAL se estableció el tipo de región en estudio, es decir la actividad agrícola de la zona y a partir de la misma determinar el coeficiente de escurrimiento. Un primer parámetro se obtuvo a partir de la lluvia y del escurrimiento que produjo, registrados en el Boletín No 23 de la Comisión del Papaloapan.

Como se mencionó en el Capítulo 4, el coeficiente de escurrimiento es fundamental para poder aplicar la Fórmula Racional y determinar el escurrimiento provocado por una lluvia sobre un área en particular.

Las características geomorfológicas de la zona son un factor determinante en la obtención del coeficiente de escurrimiento y sobre todo de la actividad agrícola que se practica en el lugar, por lo que el parámetro varía notablemente de un sitio a otro.

El mismo coeficiente de escurrimiento se comparó con diferentes tablas como la presentada en la página 510 del texto Hidrología Aplicada de Ven T. Chow, y A.I.4 Perdidas del Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E.

En la tabla 5.1 se presentan las características geomorfológicas del sitio en estudio, las cuales se determinaron aplicando cada uno de los criterios que se mencionan en el Capítulo V. Es necesario conocer estos parámetros ya que a partir de ellos se determina la respuesta que tiene la cuenca a una tormenta.

Con ayuda de los datos de la tabla 5.1, se pudieron precisar los parámetros  $R_A$ ,  $R_B$ , y  $R_L$  necesarios para poder estimar los Hidrográmas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos, aplicando el método sintético del mismo nombre. Las tablas VI.2 presentan el resumen de los datos que permiten estimar los coeficientes, así como los rangos que deben de satisfacer para poder aplicar el programa de cómputo y construir así los HUIG.

Durante la aplicación de este método se obtuvieron las áreas y longitudes parciales de los cauces para las subcuencas de orden uno, de orden dos y así sucesivamente, concluyendo con el área total de la cuenca y la longitud del cauce principal, encontrando que la cuenca es de orden cuatro. Enseguida se ordenaron para establecer las sumatorias y promedios, y así con ellos determinar los coeficientes  $R_A$ ,  $R_B$ , y  $R_L$ .

En las tablas A.1, A.2 y A.3, del anexo A se presentan los datos de dichas cuencas según el orden de las mismas. A.4 es la tabla 5.2 de la página 85 que contiene los valores de  $R_A$ ,  $R_B$ , y  $R_L$ .

### **5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.**

Para la zona en estudio se contó con cinco estaciones climatológicas que reportan datos de precipitación diaria, con los que se determinaron las series, mismas que permiten disponer de una columna de datos de lluvias de 24 horas, suficiente para poder aplicar los métodos estadísticos, y así determinar la curva que mejor ajusta a la serie histórica.

En la tabla 5.3 se presentan los datos de lluvias máximas anuales, obtenidas a partir del ERIC, de las estaciones que se ubican en la región señalada.

Dado que se cuenta con cinco series de datos pluviométricos se procedió a la obtención de una serie representativa de la cuenca. Así que aplicando polígonos de Thiessen se pudo determinar la lluvia media sobre la cuenca por año. Es necesario aclarar que para la

determinación de la muestra fue necesario estimar los datos faltantes y corregir algunos de los registros de las estaciones, ya que presentaron alguna deficiencias. Las correcciones se realizaron de acuerdo a las recomendaciones del tema 1.1.8. del Capítulo 1.

En el anexo A, se presentan las figuras A.1 y A.5 las cuales muestran la cuenca, la ubicación de las estaciones pluviométricas, y el trazo de los polígonos de Thiessen.

Durante la aplicación del análisis estadístico de cada una de las distribuciones mencionadas en el Capítulo 3, se encontró que no es factible la aplicación de todas las funciones ya que algunas de ellas no cumplen con las restricciones mencionadas.

A continuación se presenta la relación del tamaño de muestra con la distribución:

TAMAÑO DE MUESTRA	FUNCIÓN
10 AÑOS	Exponencial 2P, Log-Pearson, Gumbel Mixta
15 AÑOS	Exponencial, Gumbel Mixta y Log-Pearson 3 P
20 AÑOS	Log-Pearson 3 y Gumbel Mixta.
25 AÑOS	Gamma 2 M; Gamma 3 y Máx. Verosimilitud.

Para la muestra de 32 años se aplicaron un total de 16 distribuciones de probabilidad, de estas distribuciones la que menos ajustó, de acuerdo al Error Estándar, es la Log-Normal de 3 parámetros con un EE = 41.1 .

Para la muestra de 32 años se presentan las funciones y su Error Estándar.

FUNCIÓN	ERROR ESTÁNDAR
Log-Normal 2 P Momentos	14.7
Gamma 2 P Momentos	16.4
Gamma 2 P Máxima Verosimilitud	16.3
Gamma 2 P Momentos	16.7
Gamma 3 P Momentos M	16.0
Gamma 3 P Momentos Promedios Pesados	14.5
Gumbel por Momentos	16.5

Siendo la distribución Gumbel la que mejor ajusto para todos para todos los tamaños de muestra.

En el análisis estadístico de tormentas de una zona en estudio, se desarrolla un procedimiento idéntico al anterior para las lluvias máximas diarias considerando que:

Siempre se trabaja con series de excedentes anuales, y

Se manejan dos variables para la lluvia, su altura o lamina y su duración.

Lo anterior implica que una de las variables (lamina o duración) se deberá considerar constante para definir estadísticamente la otra.

Tabla 5.1 Resumen de las características morfológicas de la cuenca del Río Grande.

TABLA RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO GRANDE.			
	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD	UNIDAD
	CONCEPTO		
1	ÁREA DE LA CUENCA	150.6	Km <sup>2</sup>
2	PERÍMETRO DE LA CUENCA	56	Km
3	LONGITUD DE LA CUENCA	18.3	Km
4	ANCHO MÁXIMO DE LA CUENCA	11.3	Km
5	ANCHO MEDIO DE LA CUENCA	10.2	Km
6	COEFICIENTE DE ASIMETRÍA	0.623	{-2<a<2}
7	COEFICIENTE DE DESARROLLO	1.22	
8	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA		
	Método de Alvrod	0.0824	
	Método de Horton	0.0801	
9	ELEVACIÓN MEDIA DE LA CUENCA		
	Método de las curvas de nivel	2212.2	m.s.n.m.
	Método de la malla	2219.2	m.s.n.m.
10	RED DE DRENAJE		
	Orden de la cuenca	4	
	Longitud del cauce principal	21.84	Km
	Longitud de tributarios	130.63	Km
	Densidad de drenaje	0.5711	
	Densidad de corrientes	0.8677	
	Coeficiente de Sinuosidad	13.94	
	Coeficiente de compacidad	0.129	
	Relación de elongación	0.2473	
	Longitud de tributarios + longitud del cauce principal	152.47	Km
Coeficiente de escurrimiento	0.435	Ce = 0.435	
11	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL		
	Método simple	0.03	
	Método de compensación de áreas	0.0198	
	Método de Taylor-Schwarz	0.216	
12	COORDENADAS DEL CENTRÓIDE DE LA CUENCA	17°46' 38" Latitud Norte	97° 27' 38" Longitud Oeste
13	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	50.1	mm/año

Tabla 5.2 Parámetros RA, RB y RL del Hidrográma Unitario Geomorfológico, determinados a partir de la geomorfología de la cuenca.

ORDEN 4				
Orden w	No. de Corriente Nw	Longitud media Lw	Área media Aw	Pendiente media Sw
1	86	1.5189	1.0438	0.09
2	19	4.2408	5.3081	0.07
3	4	8.7742	17.8573	0.04
4	1	21.8423	150.5713	0.023

ORDEN 3				
Orden w	No. de Corriente Nw	Longitud media Lw	Área media Aw	Pendiente media Sw
1	19	4.2408	5.3081	0.07
2	4	8.7742	17.8573	0.04
3	1	21.8423	150.5713	0.023

ORDEN 2				
Orden w	No. de Corriente Nw	Longitud media Lw	Área media Aw	Pendiente media Sw
1	4	8.7742	17.8573	0.04
2	1	21.8423	150.5713	0.023

Parámetros del Hidrográma Unitario Geomorfológico

ORDEN 4				
Orden w	Log. Nw	Log. Lw	Log. Aw	Pendiente media Sw
1	1.9345	0.0641	0.0186	0.09
2	1.2788	0.6274	0.7249	0.07
3	0.6021	0.9432	1.2518	0.04
4	0	1.3393	2.1778	0.023

	ORDEN 2	ORDEN 3	ORDEN 4	
RB	4.526	4.750	4.000	
RL	2.792	2.069	2.489	
RA	4.790	3.364	8.432	

Como primer paso del análisis estadístico de tormentas, se tiene la integración de las series de excedentes anuales de las lluvias para determinadas duraciones.

Esta muestra permitió la determinación de las series de datos necesarias para la obtención de los hietogramas de diseño aplicados en el método del bloque alterno

Enseguida se presentan las distribuciones de probabilidad, aplicadas a la serie histórica, con su respectivo Error Estándar

#### CUENCA DEL RIO GRANDE ( TEPELMEME)

DISTRIBUCIÓN	PERIODOS DE RETORNO. Tr					ERROR
	2 Años	5 Años	10 Años	20 Años	50 Años	ESTÁNDAR
Normal Momentos	154.7	211.9	241.8	266.5	294.3	20.7
Normal Momentos L	154.7	210.7	240.1	264.3	291.5	21.0
*Log-Normal 2 P-Momentos	141.3	205.1	249.4	293	351.2	*14.7
Log-Normal 3 P-Momentos	144.7	203.6	241.2	276.5	321.2	17.9
Log-Normal 3-P Máx. Verosimilitud	143.1	203.3	243.1	281.2	330.6	17.1
Gamma 2 P-Momentos	144.9	206.9	245.4	280.5	323.9	16.4
Gamma 2-P Máx. Verosimilitud	145.8	204.8	241.3	274.4	315.2	17.8
Gamma 2 P-Momentos L	144.8	207.1	245.8	281.2	324.9	16.3
Gamma 3-P Momentos	143.3	205.6	245.4	282.4	328.6	16.0
Gamma 3-P Momentos Prom. P	143.2	207.1	247.9	285.5	332.6	19.7
*Log-Pearson 3 P-Momentos D	135.3	167.7	201.2	244.5	321.2	*16.0
Log- Pearson 3P-Momentos I	139.1	204	251.6	300.6	369.2	41.1
Exponencial Momentos	107.2	248.9	356.1	463.3	605.1	63.5
*Gumbel-Momentos	143.5	203.6	243.3	281.5	330.8	*14.5
Gumbel-Máx. Verosimilitud	143.6	202.6	241.7	279.2	327.7	16.5
Gumbel-Momentos L	143.2	204.7	245.4	284.5	335	17.0
*Gumbel-Máx. Entropía	143.7	202.9	242	279.6	328.3	*15.8
General de Valores Extremos-M	144.1	204.6	244	281.3	328.8	16.9
General de Valores extremos M V	143.6	202.6	241.7	279.3	327.9	17.5
*General de Valores Extremos M L	143.3	204.8	245.4	284.3	334.6	*16.2
General de Valores Extremos Mix.	147.5	213.4	237.3	262.2	301.3	22.3

\*\_ Funciones que ofrecen el mejor ajuste de acuerdo al error estándar.

La tabla 5.4 contiene la serie histórica de máximos anuales y sus estadísticos.

Una vez precisada la función a utilizar se realizó el análisis de la misma, el cual consistió en dividir la serie original en muestras pequeñas de tamaños distintos, (10, 15, 20, y 25

años); para las muestras de 10 años empezamos tomando del dato uno al dato diez, según el orden  $m$  de la serie. Estableciendo de esta manera la muestra 1-10.

Para la muestra 2-10 tomé del dato dos al dato once y así sucesivamente hasta obtener un total de 23 muestras de tamaño 10 (la muestra 10-23).

De la misma manera se trabajaron las muestras de 15, 20 y 25 años. En las tablas A.5, A.6, A.7 y A.8 del anexo A se presentan dichas muestras.

Una vez determinado los tamaños de las muestras, para cada una de ellas se les aplicó la función Gumbel por momentos.

Con ayuda de ERIC se estableció el número de días con lluvia apreciable por año para las estaciones en cuestión, con esta información se determinó la Tabla 5.5, en donde obteniendo los promedios horizontales para cada año, se logró establecer la muestra de días con lluvia apreciable por año.

Con estos datos, procediendo de la misma forma que para la serie de máximos anuales se encontraron las muestras para los diferentes tamaños (10, 15, 20 y 25 años) Tablas A.9, A.10, A.11 y A.12 del anexo A.

En la Figura A.6 del anexo A se presentan las curvas  $i-d-Tr$  para las series de los tamaños mencionados, cabe aclarar que estas curvas se determinaron para los valores máximo y mínimo de altura de precipitación de cada tamaño de muestra correspondiente.

#### **5.4 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

Con la ayuda de las tablas A.13, A.14, A.15 y A.16 del Anexo A, se construyeron las curvas  $i-d-Tr$  para las diferencias máximas y mínimas correspondientes a los tamaños de las muestras; la parte sombreada debajo de la tabla indica que con esa tabla se construyó la curva  $i-d-Tr$ .

En la Figura A.6 del anexo A se presentan las curvas  $i-d-Tr$  para las series de los tamaños mencionados, cabe aclarar que estas curvas se determinaron para los valores máximo y mínimo de altura de precipitación de cada tamaño de muestra correspondiente.

En la Figura A.7 se presentan los Hidrográmas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos.

En las tablas A.17 y A.18 se puede observar la construcción de los hietogramas de diseño, elaborados aplicando el "Método del Bloque Alterno" (Ref. 3, Ven Te Chow; Hidrología Aplicada), el cual permite determinar el tiempo de concentración necesario para poder estimar el escurrimiento en un sitio. Este parámetro se utilizó para determinar los hidrográmas unitarios sintéticos, que al ser multiplicados por la lluvia en exceso permitió estimar el escurrimiento en el sitio

En la tabla 5.6 se muestran los tiempos de concentración encontrados a partir de los hietogramas de diseño. Los cuales fueron determinados por el Método del Bloque Alterno,, en donde se puede observar que muchos de esos tiempos se repiten; por lo que aplicación del programa de computadora, para la obtención del Hidrográma Unitario Instantáneo Geomorfológico, solamente se llevó acabo para los diez diferentes tiempos. De acuerdo a lo anterior, solo se determinaron diez Hidrográmas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos; mismos que se presentan en el Anexo A

Finalmente, se aplica el método del Hidrográma Unitario Instantáneo Geomorfológico para obtener el hidrográma de escurrimiento directo de una tormenta, para posteriormente compararlo con los registros publicados en el boletín hidrométrico No 23 de la Cuenca del Río Papaloapan, en donde se puede observar que los gastos que pasan por el sitio de estudio tiende a ser el mismo cuando la muestra se aproxima a los 25 años de registro.

Es de suma importancia resaltar que todo el análisis expuesto se realizó para 60 estaciones pluviográficas distribuidas en la Republica Mexicana, estableciendo una relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas, que será de suma importancia para estudios preliminares y de diseño de obras hidráulicas a realizar cerca de esos puntos. En las Tablas A.19 se presentan las estaciones así como su ubicación geográfica en el país.

Con la información indicada se construyó tabla 5.7 en la que se listan los diferentes métodos empleados para determinar el escurrimiento en un sitio en estudio: utilizando la Formula Racional y con la ayuda de las gráficas i-d-Tr ,para cada una de las muestras se obtuvo un gasto máximo y un mínimo en la salida de la cuenca, lo mismo que con el Método Geomorfológico y aplicando el Método Estadístico (Función Gumbel) estableciendo una comparación con el gasto medido por la estación Hidrométrica Tepelmeme.

La tabla 5.7 También muestra como es la tendencia hacia un gasto, en la salida de la cuenca, conforme el tamaño de la muestra va en aumento en el número de años ( $240 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Con todo esto se confirma que el tamaño ideal de la muestra, que debe tener algún sitio en estudio, tendría que ser de por lo menos 25 años de registros, ya que con este tamaño de muestra se garantiza la veracidad de los resultados, al encontrar la avenida de diseño, necesaria para determinar el tamaño de nuestra obra hidráulica.

De la misma manera se puede observar la enorme influencia que tiene el tamaño de la muestra para determinar la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas, denominado como cociente R, y como se puede apreciar en las curvas I-d-Tr, estas se pueden extrapolar para duraciones menores de una hora o duraciones mayores de 24 horas.



La figura 5.2 presenta la gráfica de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno, las cuales se construyeron con el tamaño máximo de la muestra (32 años). Fueron elaboradas aplicando la función Gumbel por momentos, la relación de la lluvia de una hora con la lluvia de 24 horas y de acuerdo al número de días con lluvia apreciable por año.

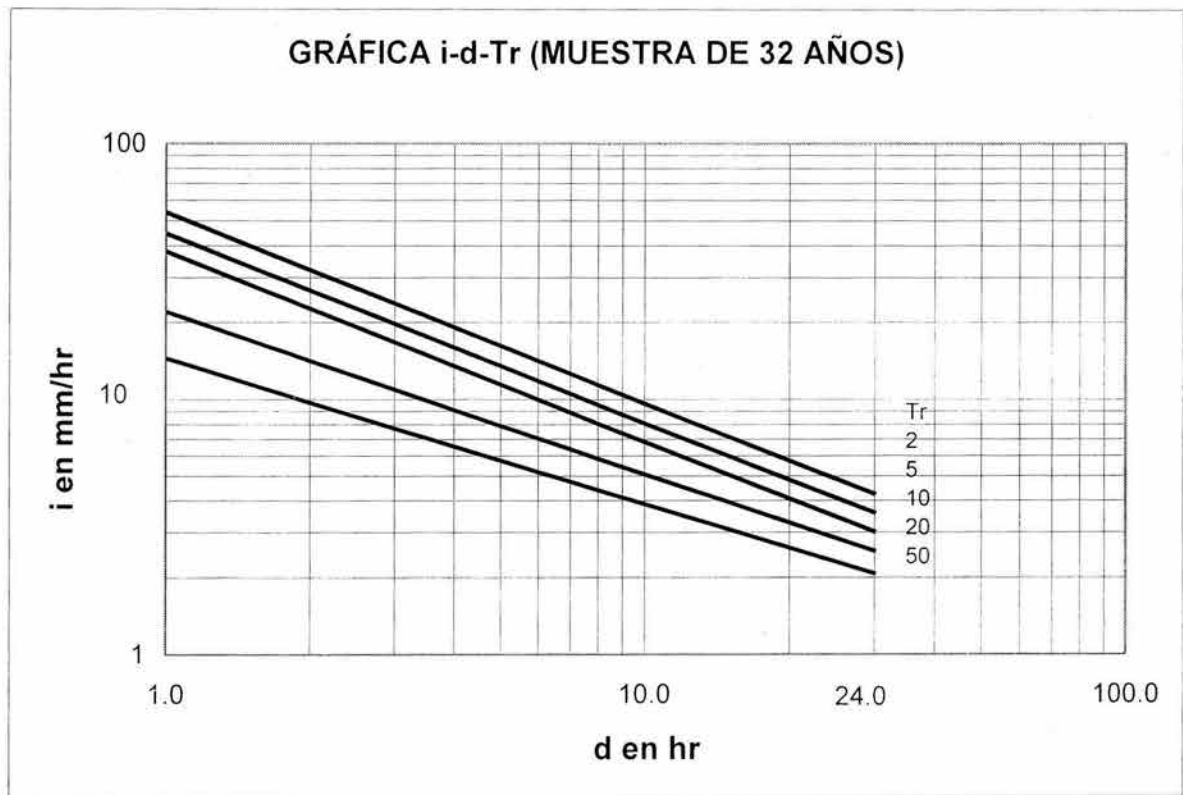


Figura 5.2 Gráficas de las curvas i-d-Tr para la serie de máximos anuales, tamaño de la muestra 32 años.

Tabla 5.3 Obtención de la serie histórica, aplicando el método de los polígonos de Thiessen.

No	AÑO	Area= 32.4 Km2		Area= 21.6 Km2		Area= 34.3 Km2		Area= 24.9 Km2		Area= 37.4 Km2		Hp media
		ESTACIÓN 1		ESTACIÓN 2		ESTACIÓN 3		ESTACIÓN 4		ESTACIÓN 5		
		M. JICOTLAN		SN. FCO. TEOPAN		TLACOTEPEC PLUMAS		SN. ANTONIO ABAD		TEPELMEME		
1	1954	21	5	20	3	19	4	20	3	20	5	20
2	1955	63	14	46	7	45	10	54	9	21	5	45
3	1956	76	16	40	6	42	10	32	5	19	5	42
4	1957	35	8	28	4	29	7	28	5	21	5	28
5	1958	68	15	45	6	40	9	48	8	19	5	43
6	1959	78	17	48	7	45	10	47	8	19	5	46
7	1960	38	8	29	4	30	7	30	5	19	5	29
8	1961	92	20	50	7	45	10	46	8	19	5	50
9	1962	41	9	40	6	35	8	30	5	16	4	31
10	1963	48	10	35	5	30	7	29	5	26	6	33
11	1964	36	8	32	5	31	7	31	5	16	4	28
12	1965	28	6	28	4	25	6	26	4	19	5	25
13	1966	43	9	30	4	30	7	35	6	16	4	30
14	1967	53	11	26	4	32	7	30	5	16	4	31
15	1968	28	6	25	4	28	6	26	4	17	4	25
16	1969	37	8	40	6	32	7	60	10	20	5	36
17	1970	45	10	47	7	40	9	36	6	18	4	36
18	1971	39	8	39	6	44	10	39	6	16	4	34
19	1972	35	8	42	6	27	6	28	5	19	5	29
20	1973	44	9	28	4	45	10	12	2	18	4	30
21	1974	47	10	65	9	53	12	53	9	22	5	46
22	1975	46	10	43	6	30	7	60	10	15	4	37
23	1976	46	10	39	6	46	10	63	10	18	4	41
24	1977	43	9	43	6	44	10	44	7	22	5	38
25	1978	46	10	81	12	63	14	34	6	21	5	47
26	1979	40	9	37	5	3	1	47	8	21	5	28
27	1980	85	18	27	4	54	12	28	5	18	4	44
28	1981	43	9	30	4	30	7	28	5	20	5	30
29	1982	37	8	25	4	32	7	25	4	20	5	28
30	1983	45	10	27	4	35	8	32	5	21	5	32
31	1984	35	8	28	4	32	7	30	5	18	4	28
32	1985	40	9	25	4	30	7	29	5	20	5	29
		1501	323	1188	170.557	1146	261	1160	192	610	152	1097
		47	10	37	5	36	8	36	6	19	5	34
												244
												48.8

Lluvia anual promedio en la región (mm/año)

Tabla 5.4 Análisis estadístico de la muestra.

**Función Gumbel por momentos.**

Tamaño de muestra 32 años

No. m	Año	hp (mm/h)	(hp)*(1.13) (mm/h)	hp ordenado (mm/h)	T	f(x)	hp (estimado) (mm/h)	media de días con lluvia apreciable
1	1954	20.0	22.6	56.0	33.0	1.0	57.3	36
2	1955	44.5	50.3	52.8	16.5	0.9	52.6	68
3	1956	41.6	47.1	52.4	11.0	0.9	49.7	44
4	1957	28.0	31.6	51.7	8.3	0.9	47.7	45
5	1958	42.8	48.4	50.3	6.6	0.8	46.1	69
6	1959	46.4	52.4	49.2	5.5	0.8	44.7	69
7	1960	28.8	32.6	48.4	4.7	0.8	43.6	49
8	1961	49.5	56.0	47.1	4.1	0.8	42.6	54
9	1962	31.5	35.5	46.2	3.7	0.7	41.6	54
10	1963	33.4	37.8	43.1	3.3	0.7	40.8	65
11	1964	28.5	32.2	41.3	3.0	0.7	40.0	58
12	1965	24.7	28.0	40.6	2.8	0.6	39.3	48
13	1966	30.1	34.1	40.5	2.5	0.6	38.6	64
14	1967	31.3	35.4	38.9	2.4	0.6	38.0	67
15	1968	24.5	27.7	37.8	2.2	0.5	37.3	63
16	1969	35.9	40.5	36.2	2.1	0.5	36.7	51
17	1970	35.9	40.6	35.5	1.9	0.5	36.1	41
18	1971	34.4	38.9	35.4	1.8	0.5	35.6	57
19	1972	29.0	32.8	34.1	1.7	0.4	35.0	48
20	1973	30.2	34.1	34.1	1.7	0.4	34.4	65
21	1974	45.7	51.7	33.9	1.6	0.4	33.9	67
22	1975	36.5	41.3	32.8	1.5	0.3	33.3	60
23	1976	40.8	46.2	32.6	1.4	0.3	32.8	67
24	1977	38.2	43.1	32.5	1.4	0.3	32.2	52
25	1978	46.7	52.8	32.2	1.3	0.2	31.6	48
26	1979	27.6	31.2	31.9	1.3	0.2	31.0	71
27	1980	43.5	49.2	31.6	1.2	0.2	30.4	39
28	1981	30.0	33.9	31.6	1.2	0.2	29.7	66
29	1982	27.9	31.6	31.2	1.1	0.1	29.0	36
30	1983	32.0	36.2	28.0	1.1	0.1	28.1	38
31	1984	28.3	31.9	27.7	1.1	0.1	27.1	63
32	1985	28.8	32.5	22.6	1.0	0.03	25.6	54

X= 37.8                      a= 0.149                      media= 55 (mm/h)  
 SD= 8.6                      b= 33.968

a; es el parámetro alfa.  
 b; es el parámetro beta.

X; es la media de la muestra  
 SD; es la desviación estandar

Tabla 5.5 No. de días con lluvia aprciable por estación.

		ESTACIÓN TEPELMEME	ESTACIÓN MAGDALENA JICOTLAN	ESTACIÓN SAN ANTONIO ABAD	ESTACIÓN TLACOT. PLUMAS	ESTACIÓN SAN FCO. TEOPAN	Media del No. de días
No.	Año	No. de días	No. de días	No. de días	No. de días	No. de días	
1	1950	61	56	58	58	58	58
2	1951	61	56	58	58	58	58
3	1952	56	56	56	56	56	56
4	1953	36	56	46	46	46	46
5	1954	66	6	36	36	36	36
6	1955	64	58	82	68	68	68
7	1956	49	30	52	44	44	44
8	1957	55	19	62	45	45	45
9	1958	79	40	88	69	69	69
10	1959	82	46	79	69	69	69
11	1960	64	33	49	49	49	49
12	1961	49	58	54	54	54	54
13	1962	51	57	54	54	54	54
14	1963	59	71	65	65	65	65
15	1964	47	69	58	58	58	58
16	1965	46	50	48	48	48	48
17	1966	60	68	64	64	64	64
18	1967	62	71	67	67	67	67
19	1968	65	60	63	63	63	63
20	1969	56	53	69	41	37	51
21	1970	55	63	54	40	48	41
22	1971	55	60	48	54	69	57
23	1972	43	44	41	41	71	48
24	1973	66	79	18	79	85	65
25	1974	48	77	62	77	69	67
26	1975	45	72	65	56	62	60
27	1976	60	74	66	72	64	67
28	1977	58	55	53	57	39	52
29	1978	51	57	49	49	32	48
30	1979	87	78	67	72	52	71
31	1980	69	76	12	19	19	39
32	1981	70	88	79	27	66	66
33	1982	28	37	33	47	36	36
34	1983	31	44	38	38	38	38
35	1984	69	56	63	63	63	63
36	1985	52	56	54	54	54	54
<b>Media anual</b>		<b>57</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>55</b>

Tabla 5.6 Tiempos de concentración determinados a partir de los hietogramas de diseño encontrados por el método del bloque alterno.

HIETOGRAMA	T.Conc. (horas)	HIETOGRAMA	T.Conc. (horas)
AR-01	1.73*	AR-27	1.73
AR-02	1.08*	AR-28	1.73
AR-03	1.73	AR-29	1.3
AR-04	1.73	AR-30	1.95*
AR-05	2.16*	AR-31	1.95
AR-06	1.95*	AR-32	1.73
AR-07	1.3*	AR-33	1.52
AR-08	1.73	AR-34	1.73
AR-09	0.87*	AR-35	1.3
AR-10	0.87	AR-36	1.08
AR-11	2.16*	AR-37	1.95
AR-12	1.52*	AR-38	1.95
AR-13	1.73	AR-39	1.08
AR-14	1.73	AR-40	0.8
AR-15	1.3	AR-41	1.08
AR-16	1.73	AR-42	1.95
AR-17	1.3	AR-43	1.52
AR-18	0.87	AR-44	1.13
AR-19	1.08	AR-45	1.52
AR-20	0.43*	AR-46	0.87
AR-21	1.08	AR-47	0.87
AR-22	0.43	AR-48	1.3
AR-23	1.08	AR-49	1.08
AR-24	1.3	AR-50	0.87
AR-25	1.73	AR-51	1.73
AR-26	1.08	AR-52	1.52

\* Tiempo de concentración en horas, con el cual se definió el Hietograma.

Tabla 5.7 Diferencias estimadas en la aplicación de las diferentes técnicas, para la determinación del gasto de diseño.

TAMAÑO DE LA MUESTRA 10 AÑOS.						
1	2	3	4	5	6	7
		F. RACIONAL	DIFERENCIA	HIDROMÉTRICA	GEOMORFOLÓGICO	Qc (Gumbel)
N = 10 AÑOS		Q (m3/s)	Q (m3/s)	(Registrado)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
	i en (mm/h)			Q (m3/s)		Tr = 10 años
MÁXIMO	42	214.9	<b>56.3</b>	<b>237.0</b>	278.1	<b>176.4</b>
MÍNIMO	31	158.6			164.9	
MEDIA	36.5	<b>186.8</b>			<b>221.5</b>	
TAMAÑO DE LA MUESTRA 15 AÑOS.						
		F. RACIONAL	DIFERENCIA	HIDROMÉTRICA	GEOMORFOLÓGICO	Qc (Gumbel)
N = 15 AÑOS		Q (m3/s)	Q (m3/s)	(Registrado)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
	i en (mm/h)			Q (m3/s)		Tr = 15 años
MÁXIMO	40	204.7	<b>25.6</b>	<b>237.0</b>	235.4	<b>186.5</b>
MÍNIMO	35	179.1			207.9	
MEDIA	37.5	<b>191.9</b>			<b>221.5</b>	
TAMAÑO DE LA MUESTRA 20 AÑOS.						
		F. RACIONAL	DIFERENCIA	HIDROMÉTRICA	GEOMORFOLÓGICO	Qc (Gumbel)
N = 20 AÑOS		Q (m3/s)	Q (m3/s)	(Registrado)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
	i en (mm/h)			Q (m3/s)		Tr = 20 años
MÁXIMO	40	204.7	<b>15.4</b>	<b>237</b>	256.8	<b>199.2</b>
MÍNIMO	37	189.3			256.8	
MEDIA	38.5	<b>197.0</b>			<b>256.8</b>	
TAMAÑO DE LA MUESTRA 25 AÑOS.						
		F. RACIONAL	DIFERENCIA	HIDROMÉTRICA	GEOMORFOLÓGICO	Qc (Gumbel)
N = 25 AÑOS		Q (m3/s)	Q (m3/s)	(Registrado)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
	i en (mm/h)			Q (m3/s)		Tr = 25 años
MÁXIMO	40	204.7	<b>5.1</b>	<b>237</b>	213.92	<b>216.7</b>
MÍNIMO	39	199.6			179	
MEDIA	39.5	<b>202.1</b>			<b>196</b>	
TAMAÑO DE LA MUESTRA 32 AÑOS.						
		F. RACIONAL	DIFERENCIA	HIDROMÉTRICA	GEOMORFOLÓGICO	Qc (Gumbel)
N = 32 AÑOS		Q (m3/s)	Q (m3/s)	(Registrado)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
	i en (mm/h)			Q (m3/s)		Tr = 30 años
MÁXIMO	40.46	207.0	<b>2.4</b>	<b>237</b>	243	<b>245.7</b>
MÍNIMO	40	204.7			234.68	
MEDIA	40.23	<b>205.9</b>			<b>239</b>	
					<b>Q medio (m3/s)</b>	<b>162.9</b>

La hidrométrica presenta un gasto único para 30 años de registro.

## 6. CONCLUSIONES.

Tratando de encontrar cual es la influencia del tamaño de la muestra en la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas, necesaria para la construcción de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno, se presentaron las Tablas 5.1 a 5.7; se presentan como se fueron construyendo los resultados:

Las características geomorfológicas, presentadas en la tabla 5.1, permiten caracterizar a la zona en estudio, identificando que las mismas son muy particulares y que no definen a ninguna otra cuenca.

Los procedimientos empleados en la estimación de las características geomorfológicas, es un camino laborioso y requiere de un tiempo. Sin embargo son los pasos a seguir en la determinación de las mismas y los resultados encontrados permiten la demostración de estas teorías.

La Tabla 5.2 fue construida a partir de la Tabla 5.1, ya que es necesario conocer las pendientes de los tributarios y las áreas que drenan cada uno de ellos e identificando la zona en estudio, se pudieron estimar los parámetros  $R_A$ ,  $R_B$  y  $R_L$  útiles en la estimación de los Hidrogramas Unitarios Instantáneos Geomorfológicos.

La cuenca cuenta con cuatro estaciones que miden la precipitación del lugar y una más (Tepelmeme) que mide la precipitación y los escurrimientos en la salida de la cuenca, con los datos de lluvia obtenidos, se estableció que, para poder determinar la precipitación media anual en el lugar, el camino a seguir es a través de los Polígonos de Thiessen, ya que es uno de los métodos de más utilizados por su facilidad de aplicación y los resultados que se encuentran son bastante aceptables.

La serie que se obtuvo fue multiplicada por un factor de 1.13, ya que se recomienda hacer este ajuste cuando se aplica el método de interpolación de Thiessen. La Tabla 5.3 contiene los datos de altura de precipitación para cada estación y las áreas parciales correspondientes según el método de interpolación de Thiessen.

Con la precipitación media anual, encontrada en la Tabla 5.3, se trabajó en la construcción de la Tabla 5.4, de donde, aplicando los métodos estadísticos, se obtiene como resultado que no todas las funciones de probabilidad cumplen con los requisitos de aplicación, sin embargo es un recomendable la aplicación de las 22 funciones de probabilidad, y determinar cuales son las que mejor se ajustan a los distintos tamaños de muestra. La función Log-Normal por momentos, Gamma por momentos, Gumbel Máxima Verosimilitud y Gumbel por Momentos, fueron las cuatro funciones de probabilidad que mejor ajuste presentaron y se seleccionó a la función Gumbel por Momentos para su aplicación.

Luego de determinar la curvas intensidad-duración-periodo de retorno, con los parámetros de la función Gumbel, para los diferentes tamaños de las muestras, se identificaron las intensidades máximas y mínimas de las lluvias de 24 horas para los distintos periodos de

retorno, con esta información se construyeron los hietogramas a través del método del bloque alterno; determinando primero la relación que existe entre la lluvia de una hora y la de 24 horas con ayuda de la tabla de la Ref. 3 (Fig. 4.32, pp. 4-58. Procesos de Ciclo Hidrológico), aclarando que dicha tabla requiere de el número de días con lluvia apreciable por año (Tabla 5.5).

Con la ayuda de los hietogramas fue posible la obtención del tiempo de concentración, Tabla 5.6 y con este último la construcción de los hidrogramas unitarios geomorfológicos instantáneos y que al multiplicarlos por la lluvia en exceso, determinaron el gasto que producen.

En la tabla 5.7 se encuentran concentrados los gastos obtenidos para la salida de la cuenca, mismos que fueron estimados a través de los distintos métodos: la columna uno señala el tamaño de la muestra, el máximo, el mínimo y la media. La columna dos contiene las intensidades máximas, mínimas y el promedio de estas, encontradas a través de el método estadístico. En la columna tres se encuentran los gastos estimados por la Fórmula Racional Americana. La columna cuatro es la diferencia de los gastos, entre el máximo y el mínimo calculados, de la columna tres. La columna cinco contiene los gastos medidos por la estación hidrométrica Tepelmeme. La columna seis muestra los gastos estimados por el método Geomorfológico y finalmente la columna siete muestra los gastos obtenidos al aplicar el método estadístico, calculados al a partir de la serie de gastos máximos anuales.

Finalmente es posible observar cual es la tendencia de los gastos calculados por los distintos métodos, conforme el tamaño de la muestra va aumentando. Por los resultados expuestos se comprueba cual es la influencia del tamaño de la muestra en la relación de la lluvia de una hora a la de 24 horas (influencia del cociente R) en la construcción de las curvas-intensidad-duración-periodo de retorno, ya que los valores reflejados en cada una de las tablas del capítulo 5, de las tablas y gráficas del Anexo A, muestran que es de gran importancia tener a la mano una serie de registros históricos de por lo menos 25 años, pues se demuestra en este trabajo que para tamaños de muestras menores, los eventos de diseño tienen cierta incertidumbre y para evitar la misma es necesario completar la serie histórica con datos de estaciones aledañas al sitio de interés.

Por último, espero que éste trabajo, cumpla con el cometido de servir de apoyo para posteriores investigaciones sobre el tema y tal vez para el desarrollo de proyectos de Hidrología.



## ANEXO A

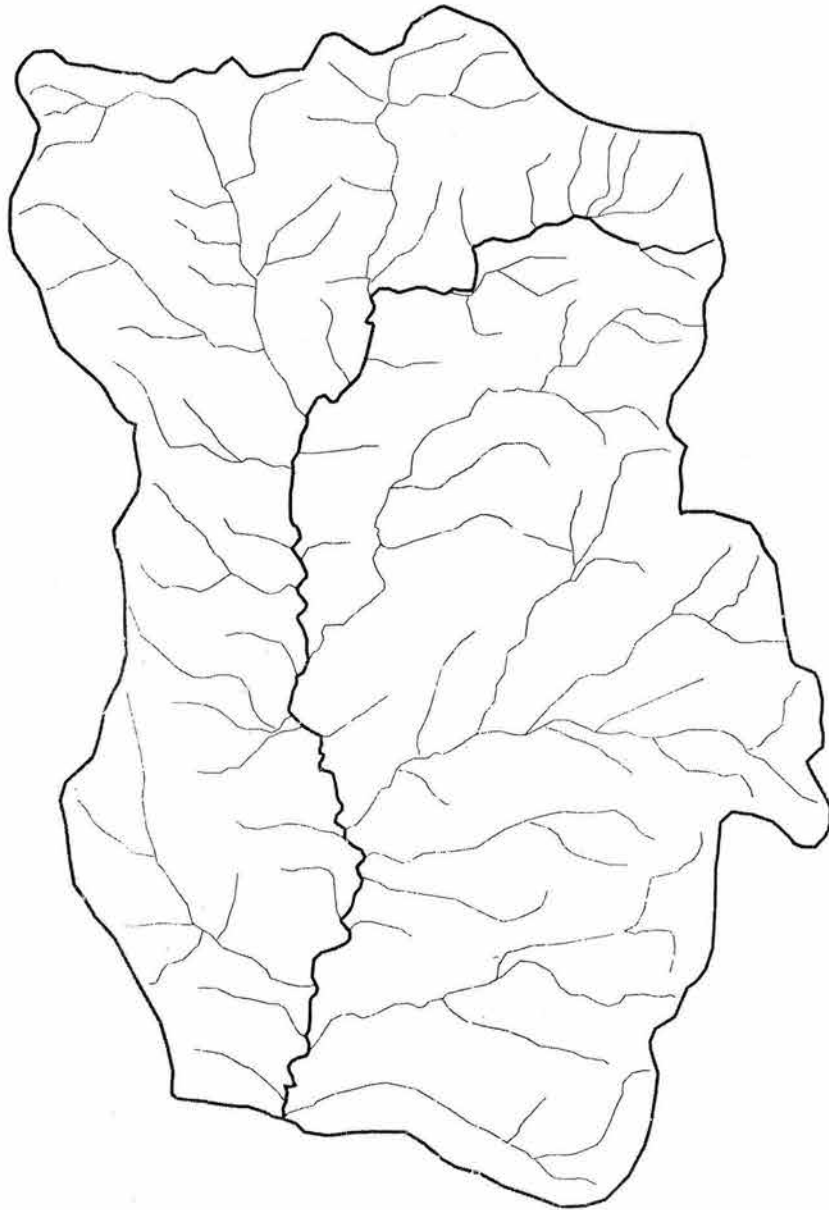


FIG. A.1 TRAZO DE LA CUENCA Y CAUCE PRINCIPAL.

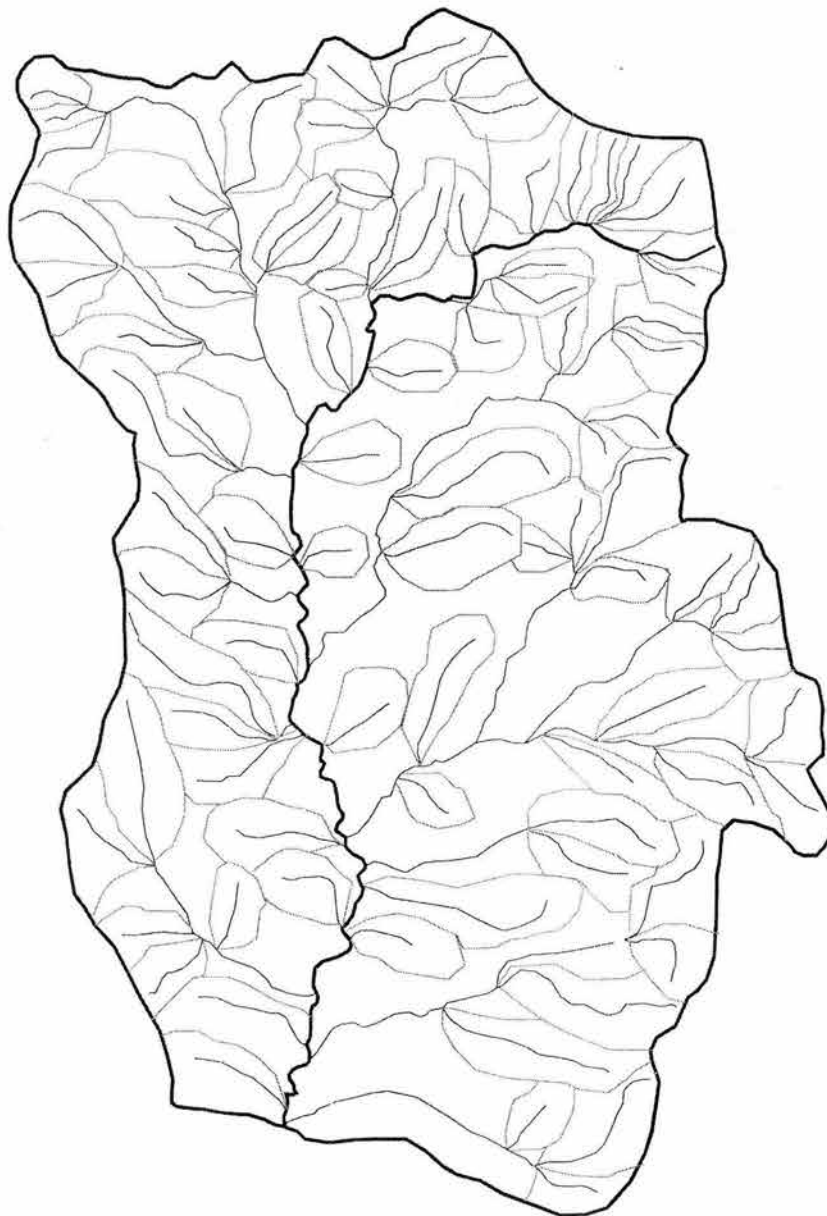


FIG. A.2 SUBCUENCAS DE ORDEN UNO.

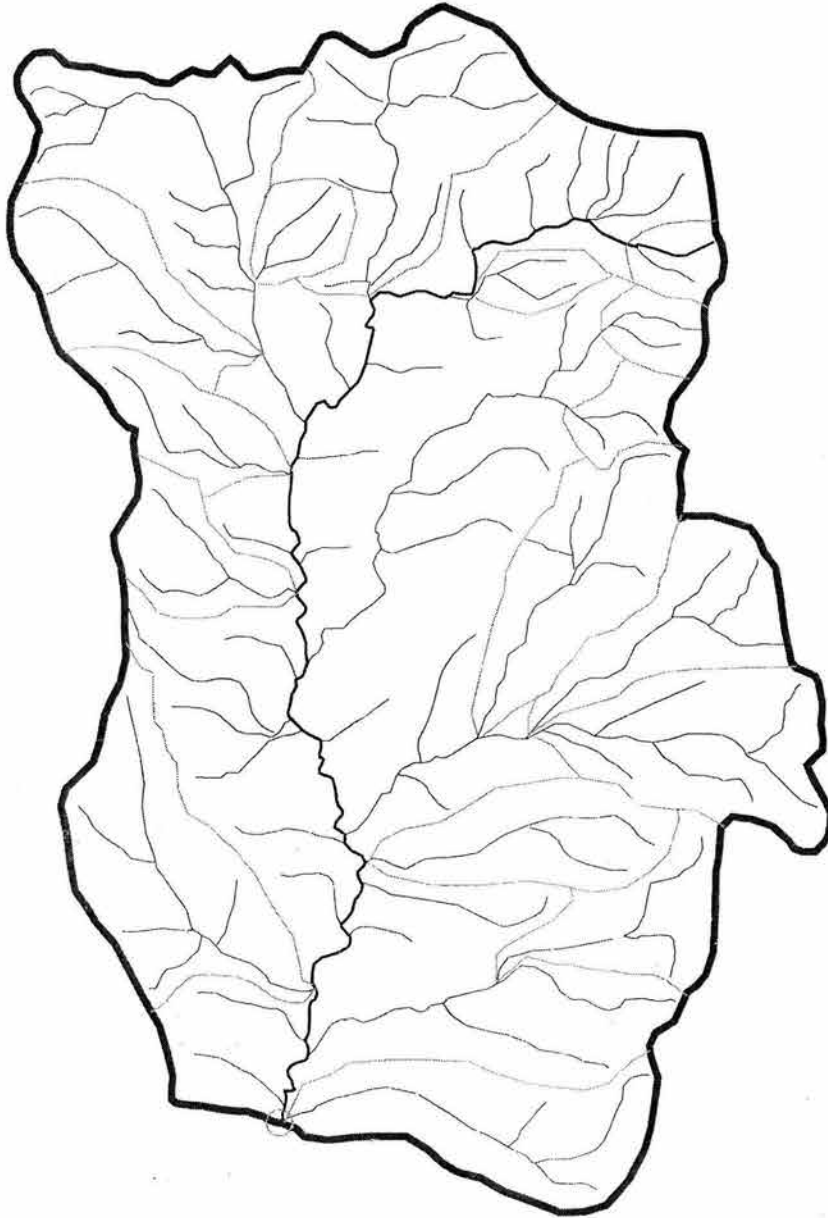


FIG. A.3 SUBCUENCAS DE ORDEN DOS.

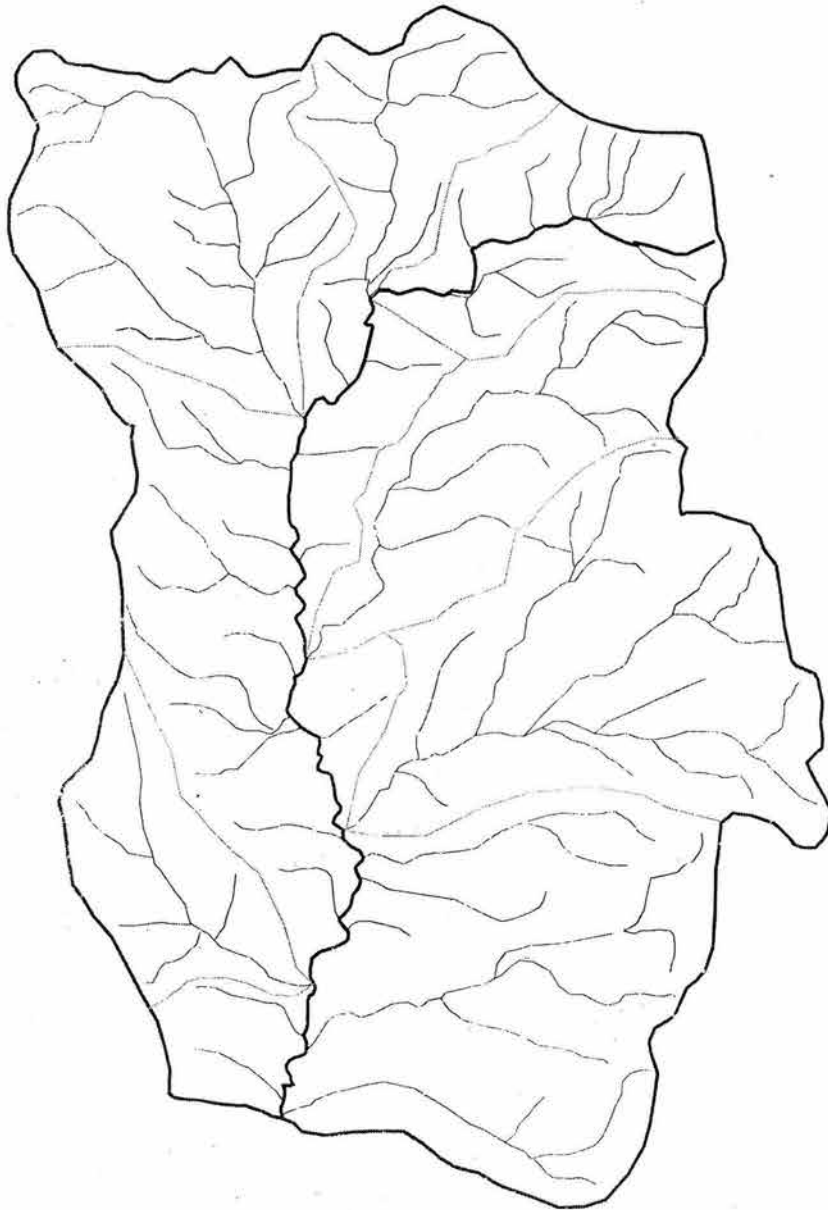


FIG. A.4 SUBCUENCAS DE ORDEN TRES.

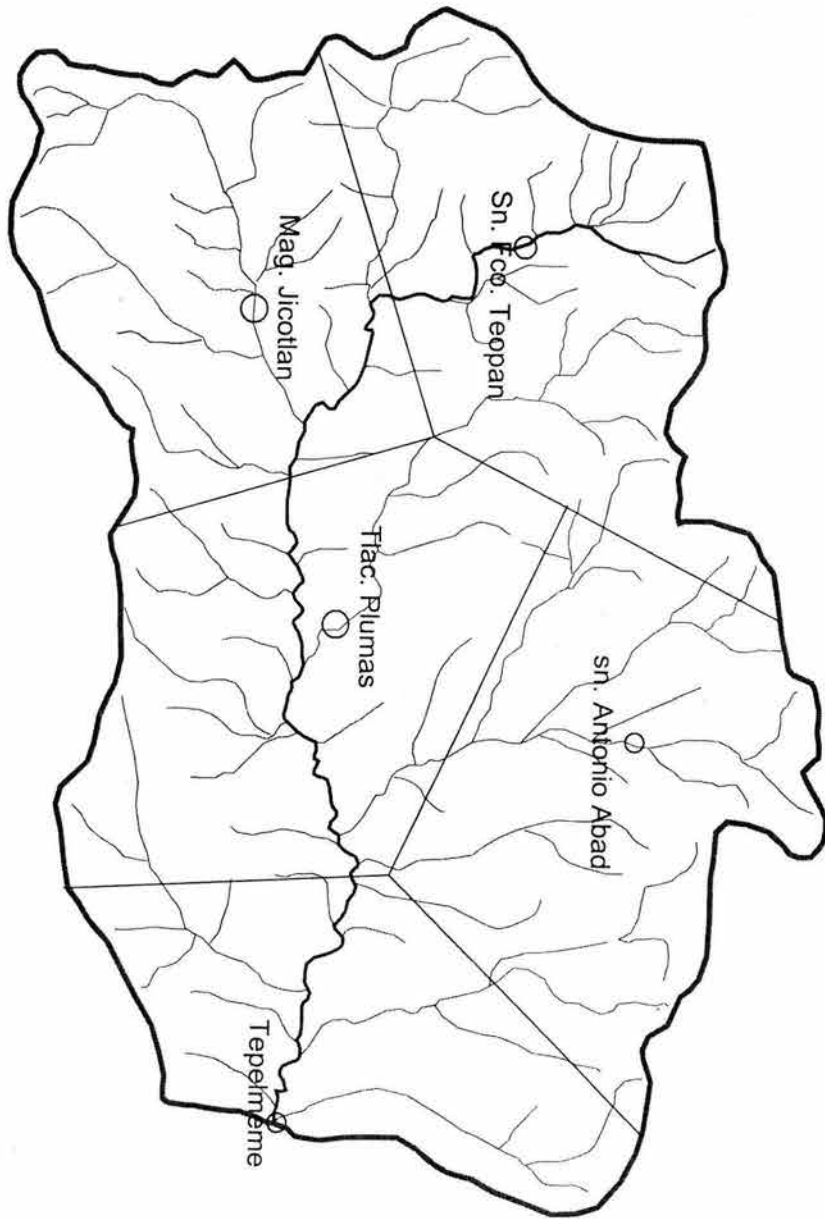


FIG. A.5 TRAZO DE LOS POLIGONOS DE THIESSEN SOBRE LA CUENCA DEL RÍO TEPELMEME.

Tabla A.1 Longitud, pendiente y áreas de las cuencas de orden 1

No	No. y Orden	Longitud	Cot. Inicial	Cot. Final	Pendiente	Área
		Km.	m	m		Km2
1	I-1	1.631	2050	2150	0.06	1.7735
2	I-2	1.9028	2040	2150	0.06	1.5323
3	I-3	1.2218	2090	2190	0.08	1.7137
4	I-4	1.08	2100	2160	0.06	1.1947
5	I-5	1.0419	2080	2150	0.07	1.0169
6	I-6	1.4912	2120	2180	0.04	1.363
7	I-7	2.4541	2120	2200	0.03	2.2452
8	I-8	1.4847	2060	2150	0.06	0.9446
9	I-9	1.7316	2060	2160	0.06	1.5187
10	I-10	1.8409	2080	2170	0.05	1.2728
11	I-11	1.8409	2080	2180	0.05	1.0025
12	I-12	3.1831	2080	2210	0.04	2.1217
13	I-13	1.3937	2080	2140	0.04	1.0625
14	I-14	1.6065	2120	2220	0.06	1.0625
15	I-15	1.7902	2120	2200	0.04	1.5661
16	I-16	1.1763	2100	2180	0.07	0.7527
17	I-17	2.7359	2160	2300	0.05	1.8825
18	I-18	1.2877	2140	2200	0.05	0.678
19	I-19	1.3202	2140	2260	0.09	0.9533
20	I-20	1.6563	2200	2340	0.08	1.7202
21	I-21	1.1653	2200	2400	0.17	1.3269
22	I-22	1.1117	2140	2220	0.07	0.7309
23	I-23	1.439	2120	2220	0.07	0.7743
24	I-24	0.6283	2140	2200	0.10	0.3322
25	I-25	1.4769	2160	2200	0.03	0.7319
26	I-26	1.1635	2160	2240	0.07	0.5769
27	I-27	1.8217	2160	2240	0.04	0.8114
28	I-28	1.0528	2160	2260	0.09	0.6195
29	I-29	1.2737	2240	2360	0.09	0.7954
30	I-30	0.7078	2260	2280	0.03	0.2256
31	I-31	1.000	2250	2360	0.11	0.6014
32	I-32	2.0585	2180	2340	0.08	0.4331
33	I-33	0.8231	2160	2380	0.27	0.5208
34	I-34	1.0169	2200	2320	0.12	0.7296
35	I-35	1.0649	2200	2240	0.04	0.8441
36	I-36	1.7802	2200	2400	0.11	1.0848
37	I-37	1.1706	2260	2500	0.21	0.6499
38	I-38	1.4413	2260	2500	0.17	1.1937
39	I-39	1.9179	2120	2240	0.06	0.9139
40	I-40	0.9058	2160	2240	0.09	0.56
41	I-41	1.3375	2200	2340	0.10	1.1406
42	I-42	1.4014	2240	2480	0.17	0.5978
43	I-43	1.4645	2260	2500	0.16	0.4805
44	I-44	1.3736	2260	2500	0.17	0.5824
45	I-45	1.7714	2260	2500	0.14	0.2971
46	I-46	1.1021	2280	2560	0.25	0.5811
47	I-47	1.0103	2280	2440	0.16	0.5706
48	I-48	1.4912	2240	2540	0.20	0.6795

Tabla A.1 Longitud, pendiente y áreas de las cuencas de orden 1  
(continuación)

No	No. y Orden	Longitud	Cot. Inicial	Cot. Final	Pendiente	Área
		Km.	m	m		Km2
49	I-49	1.1519	2240	2440	0.17	0.788
50	I-50	1.502	2180	2280	0.07	0.6970
51	I-51	1.0958	2180	2280	0.09	0.5486
52	I-52	1.0813	2200	2240	0.04	0.5018
53	I-53	0.9614	2180	2220	0.04	0.8906
54	I-54	1.2982	2220	2500	0.22	0.8406
55	I-55	0.5476	2220	2320	0.18	0.3204
56	I-56	2.778	2160	2540	0.14	1.7895
57	I-57	1.3469	2140	2320	0.13	1.3890
58	I-58	1.7853	2180	2300	0.07	0.7694
59	I-59	1.154	2180	2360	0.16	0.4135
60	I-60	1.368	2160	2400	0.18	1.0706
61	I-61	1.3557	2200	2380	0.13	0.8046
62	I-62	1.1921	2240	2340	0.08	0.9285
63	I-63	2.7794	2120	2400	0.10	2.0625
64	I-64	2.1268	2100	2300	0.09	1.6396
65	I-65	1.1881	2120	2220	0.08	0.8586
66	I-66	1.2286	2100	2160	0.05	0.8434
67	I-67	0.8512	2080	2180	0.12	0.4746
68	I-68	1.178	2080	2140	0.05	1.2877
69	I-69	2.1506	2100	2160	0.03	1.6972
70	I-70	0.962	2100	2120	0.02	0.6101
71	I-71	1.4008	2160	2300	0.10	1.0214
72	I-72	1.4122	2160	2260	0.07	1.1562
73	I-73	1.9179	2140	2220	0.04	1.5743
74	I-74	1.8622	2100	2180	0.04	1.3188
75	I-75	1.5487	2100	2180	0.05	0.7998
76	I-76	1.7025	2120	2180	0.04	1.0782
77	I-77	2.1101	2100	2200	0.05	1.2059
78	I-78	2.0885	2240	2400	0.08	1.5329
79	I-79	1.3634	2120	2200	0.06	1.1296
80	I-80	3.122	2100	2360	0.08	2.2153
81	I-81	1.0823	2120	2180	0.06	0.7431
82	I-82	2.2922	2120	2260	0.06	1.8361
83	I-83	0.8942	2120	2200	0.09	0.8833
84	I-84	2.7556	2080	2200	0.04	2.1942
85	I-85	3.0891	2060	2220	0.05	2.4968
86	I-86	1.0622	2060	2120	0.06	0.5931
<b>Sumas</b>		130.6295			7.73	89.7681
<b>Promedio.</b>		<b>1.5189</b>			<b>0.09</b>	<b>1.0438</b>



Tabla A.2 Longitud, pendiente y áreas de las cuencas de orden 2

No	No. y Orden	Longitud Km.	Cot. Inicial m	Cot. Final m	Pendiente	Area Km2
1	II-1	5.751	2040	2200	0.03	8.9913
2	II-2	3.4021	2100	2200	0.03	3.1279
3	II-3	2.9239	2100	2220	0.04	3.3938
4	II-4	3.5366	2100	2400	0.08	3.6516
5	II-5	4.5544	2220	2360	0.03	5.5532
6	II-6	4.1565	2140	2380	0.06	8.5712
7	II-7	1.8217	2140	2240	0.05	1.6423
8	II-8	5.6904	2140	2400	0.05	9.8540
9	II-9	1.7714	2220	2540	0.18	1.9424
10	II-10	2.19	2140	2500	0.16	1.8475
11	II-11	3.125	2280	2520	0.08	3.2643
12	II-12	2.2732	2160	2380	0.10	1.5908
13	II-13	1.7982	2180	2500	0.18	1.7195
14	II-14	5.3498	2100	2540	0.08	7.0063
15	II-15	4.792	2100	2320	0.05	5.5920
16	II-16	8.7044	2100	2260	0.02	7.5557
17	II-17	4.7325	2080	2200	0.03	5.9892
18	II-18	7.3885	2060	2300	0.03	11.7059
19	II-19	6.6142	2040	2180	0.02	7.8556

Sumas 80.5758 1.29 100.8545  
 Promedios 4.24 0.07 5.308

Tabla A.3 Longitud, pendiente y áreas de las cuencas de orden 3

No	No. y Orden	Longitud Km.	Cot. Inicial m	Cot. Final m	Pendiente	Area Km2
1	III-1	9.2339	2100	2400	0.03	19.1372
2	III-2	6.3771	2180	2500	0.05	11.4162
3	III-3	10.3032	2100	2520	0.04	14.0150
4	III-4	9.1658	2080	2260	0.02	26.8606

Sumas 35.08 0.14 71.429  
 Promedio 8.77 0.04 17.857

Tablas A.5 Análisis estadístico de las muestras de tamaño 10 anos, tomados los primeros 10 años luego los segundos 10 años.

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-1						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1954	23	56	11.00	0.91	55.07
2	1955	50	52	5.50	0.82	48.75
3	1956	47	50	3.67	0.73	44.82
4	1957	32	48	2.75	0.64	41.85
5	1958	48	47	2.20	0.55	39.36
6	1959	52	38	1.83	0.45	37.12
7	1960	33	36	1.57	0.36	35.01
8	1961	56	33	1.38	0.27	32.88
9	1962	36	32	1.22	0.18	30.58
10	1963	38	23	1.10	0.09	27.68

X= 40.009      a= 0.1177  
SD= 10.895      b= 35.106

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-2						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1955	50	56	11.00	0.91	54.40
2	1956	47	52	5.50	0.82	48.96
3	1957	32	50	3.67	0.73	45.59
4	1958	48	48	2.75	0.64	43.04
5	1959	52	47	2.20	0.55	40.89
6	1960	33	38	1.83	0.45	38.97
7	1961	56	36	1.57	0.36	37.15
8	1962	36	33	1.38	0.27	35.33
9	1963	38	32	1.22	0.18	33.34
10	1964	32	32	1.10	0.09	30.85

X= 41.452      a= 0.137  
SD= 9.3657      b= 37.237

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-3						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1956	47	56	11.00	0.91	52.79
2	1957	32	52	5.50	0.82	47.04
3	1958	48	48	3.67	0.73	43.47
4	1959	52	47	2.75	0.64	40.76
5	1960	33	38	2.20	0.55	38.49
6	1961	56	36	1.83	0.45	36.46
7	1962	36	33	1.57	0.36	34.54
8	1963	38	32	1.38	0.27	32.60
9	1964	32	32	1.22	0.18	30.50
10	1965	28	28	1.10	0.09	27.87

X= 39.087      a= 0.1294  
SD= 9.914      b= 34.626

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-4						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1957	32	56	11.00	0.91	51.33
2	1958	48	52	5.50	0.82	45.67
3	1959	52	48	3.67	0.73	42.16
4	1960	33	38	2.75	0.64	39.49
5	1961	56	36	2.20	0.55	37.26
6	1962	36	34	1.83	0.45	35.26
7	1963	38	33	1.57	0.36	33.36
8	1964	32	32	1.38	0.27	31.46
9	1965	28	32	1.22	0.18	29.39
10	1966	34	28	1.10	0.09	26.80

X= 37.843      a= 0.1314  
SD= 9.7589      b= 33.452

Tabla A.5 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-5						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1958	48	56	11.00	0.91	51.43
2	1959	52	52	5.50	0.82	45.91
3	1960	33	48	3.67	0.73	42.48
4	1961	56	38	2.75	0.64	39.88
5	1962	36	36	2.20	0.55	37.70
6	1963	38	35	1.83	0.45	35.75
7	1964	32	34	1.57	0.36	33.90
8	1965	28	33	1.38	0.27	32.05
9	1966	34	32	1.22	0.18	30.03
10	1967	35	28	1.10	0.09	27.50

X= 38.273      a= 0.1348  
SD= 9.518      b= 33.99

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-6						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1959	41	53	11.00	0.91	50.82
2	1960	41	52	5.50	0.82	47.01
3	1961	39	46	3.67	0.73	44.64
4	1962	33	43	2.75	0.64	42.85
5	1963	34	41	2.20	0.55	41.35
6	1964	52	41	1.83	0.45	40.00
7	1965	41	41	1.57	0.36	38.73
8	1966	46	39	1.38	0.27	37.44
9	1967	43	34	1.22	0.18	36.05
10	1968	53	33	1.10	0.09	34.31

X= 41.741      a= 0.1953  
SD= 6.5683      b= 38.785

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-7						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1960	33	56	11.00	0.91	46.43
2	1961	56	41	5.50	0.82	41.75
3	1962	36	38	3.67	0.73	38.84
4	1963	38	36	2.75	0.64	36.64
5	1964	32	35	2.20	0.55	34.79
6	1965	28	34	1.83	0.45	33.14
7	1966	34	33	1.57	0.36	31.57
8	1967	35	32	1.38	0.27	30.00
9	1968	28	28	1.22	0.18	28.29
10	1969	41	28	1.10	0.09	26.14

X= 35.275      a= 0.159  
SD= 8.0687      b= 31.644

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-8						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1961	33	56	11.00	0.91	46.43
2	1962	56	41	5.50	0.82	41.75
3	1963	36	38	3.67	0.73	38.84
4	1964	38	36	2.75	0.64	36.64
5	1965	32	35	2.20	0.55	34.79
6	1966	28	34	1.83	0.45	33.14
7	1967	34	33	1.57	0.36	31.57
8	1968	35	32	1.38	0.27	30.00
9	1969	28	28	1.22	0.18	28.29
10	1970	41	28	1.10	0.09	26.14

X= 35.275      a= 0.159  
SD= 8.0687      b= 31.644

Tabla A.5 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-9						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1962	36	41	11.00	0.91	41.24
2	1963	38	41	5.50	0.82	38.53
3	1964	32	39	3.67	0.73	36.84
4	1965	28	38	2.75	0.64	35.56
5	1966	34	36	2.20	0.55	34.49
6	1967	35	35	1.83	0.45	33.53
7	1968	28	34	1.57	0.36	32.62
8	1969	41	32	1.38	0.27	31.71
9	1970	41	28	1.22	0.18	30.72
10	1971	39	28	1.10	0.09	29.48

X= 34.773      a= 0.2741  
SD= 4.6801      b= 32.667

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-10						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1963	38	41	11.00	0.91	41.03
2	1964	32	41	5.50	0.82	38.29
3	1965	28	39	3.67	0.73	36.59
4	1966	34	38	2.75	0.64	35.30
5	1967	35	35	2.20	0.55	34.21
6	1968	28	34	1.83	0.45	33.25
7	1969	41	33	1.57	0.36	32.33
8	1970	41	32	1.38	0.27	31.40
9	1971	39	28	1.22	0.18	30.40
10	1972	33	28	1.10	0.09	29.15

X= 34.497      a= 0.2713  
SD= 4.7281      b= 32.369

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-11						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1964	32	41	11.00	0.91	40.52
2	1965	28	41	5.50	0.82	37.85
3	1966	34	39	3.67	0.73	36.18
4	1967	35	35	2.75	0.64	34.93
5	1968	28	34	2.20	0.55	33.87
6	1969	41	34	1.83	0.45	32.92
7	1970	41	33	1.57	0.36	32.03
8	1971	39	32	1.38	0.27	31.13
9	1972	33	28	1.22	0.18	30.15
10	1973	34	28	1.10	0.09	28.93

X= 34.146      a= 0.2781  
SD= 4.6125      b= 32.07

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-12						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1965	28	52	11.00	0.91	45.53
2	1966	34	41	5.50	0.82	41.44
3	1967	35	41	3.67	0.73	38.91
4	1968	28	39	2.75	0.64	36.99
5	1969	41	35	2.20	0.55	35.38
6	1970	41	34	1.83	0.45	33.94
7	1971	39	34	1.57	0.36	32.57
8	1972	33	33	1.38	0.27	31.20
9	1973	34	28	1.22	0.18	29.71
10	1974	52	28	1.10	0.09	27.84

X= 35.8      a= 0.1823  
SD= 7.0375      b= 32.633

Tabla A.5 (continuación).

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-13</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1966	34	52	11.00	0.91	46.22
2	1967	35	41	5.50	0.82	42.44
3	1968	28	41	3.67	0.73	40.10
4	1969	41	41	2.75	0.64	38.32
5	1970	41	39	2.20	0.55	36.83
6	1971	39	35	1.83	0.45	35.50
7	1972	33	34	1.57	0.36	34.23
8	1973	34	34	1.38	0.27	32.96
9	1974	52	33	1.22	0.18	31.59
10	1975	41	28	1.10	0.09	29.85

$X= 37.222$        $a= 0.1971$   
 $SD= 6.5093$        $b= 34.293$

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-14</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1967	35.416	51.668	11	0.9091	47.866
2	1968	27.688	46.151	5.5	0.8182	43.88
3	1969	40.529	41.282	3.6667	0.7273	41.407
4	1970	40.62	40.62	2.75	0.6364	39.532
5	1971	38.892	40.529	2.2	0.5455	37.96
6	1972	32.825	38.892	1.8333	0.4545	36.552
7	1973	34.098	35.416	1.5714	0.3636	35.218
8	1974	51.668	34.098	1.375	0.2727	33.877
9	1975	41.282	32.825	1.2222	0.1818	32.423
10	1976	46.151	27.688	1.1	0.0909	30.596

$X= 38.37$        $a= 0.1867$   
 $SD= 6.8692$        $b= 35.279$

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-15</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1968	28	52	11.00	0.91	48.63
2	1969	41	46	5.50	0.82	44.64
3	1970	41	43	3.67	0.73	42.17
4	1971	39	41	2.75	0.64	40.29
5	1972	33	41	2.20	0.55	38.72
6	1973	34	41	1.83	0.45	37.32
7	1974	52	39	1.57	0.36	35.98
8	1975	41	34	1.38	0.27	34.64
9	1976	46	33	1.22	0.18	33.19
10	1977	43	28	1.10	0.09	31.36

$X= 39.134$        $a= 0.1868$   
 $SD= 6.8656$        $b= 36.045$

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-16</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1969	40.529	52.763	11	0.9091	50.821
2	1970	40.62	51.668	5.5	0.8182	47.009
3	1971	38.892	46.151	3.6667	0.7273	44.644
4	1972	32.825	43.132	2.75	0.6364	42.851
5	1973	34.098	41.282	2.2	0.5455	41.348
6	1974	51.668	40.62	1.8333	0.4545	40.002
7	1975	41.282	40.529	1.5714	0.3636	38.726
8	1976	46.151	38.892	1.375	0.2727	37.444
9	1977	43.132	34.098	1.2222	0.1818	36.054
10	1978	52.763	32.825	1.1	0.0909	34.307

$X= 41.741$        $a= 0.1953$   
 $SD= 6.5683$        $b= 38.785$

Tabla A.5 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-17						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1970	41	53	11.00	0.91	50.95
2	1971	39	52	5.50	0.82	46.63
3	1972	33	46	3.67	0.73	43.95
4	1973	34	43	2.75	0.64	41.92
5	1974	52	41	2.20	0.55	40.21
6	1975	41	41	1.83	0.45	38.69
7	1976	46	39	1.57	0.36	37.24
8	1977	43	34	1.38	0.27	35.79
9	1978	53	33	1.22	0.18	34.22
10	1979	31	31	1.10	0.09	32.24

X= 40.659      a= 0.1724  
SD= 7.4415      b= 37.31

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-18						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1971	39	53	11.00	0.91	52.29
2	1972	33	52	5.50	0.82	47.73
3	1973	34	49	3.67	0.73	44.91
4	1974	52	46	2.75	0.64	42.77
5	1975	41	43	2.20	0.55	40.98
6	1976	46	41	1.83	0.45	39.37
7	1977	43	39	1.57	0.36	37.85
8	1978	53	34	1.38	0.27	36.31
9	1979	31	33	1.22	0.18	34.65
10	1980	49	31	1.10	0.09	32.57

X= 41.445      a= 0.1636  
SD= 7.8428      b= 37.916

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-19						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1972	33	53	11.00	0.91	52.24
2	1973	34	52	5.50	0.82	47.47
3	1974	52	49	3.67	0.73	44.51
4	1975	41	46	2.75	0.64	42.27
5	1976	46	43	2.20	0.55	40.38
6	1977	43	41	1.83	0.45	38.70
7	1978	53	34	1.57	0.36	37.10
8	1979	31	34	1.38	0.27	35.50
9	1980	49	33	1.22	0.18	33.76
10	1981	34	31	1.10	0.09	31.57

X= 40.876      a= 0.156  
SD= 8.2235      b= 37.176

Función Gumbel por momentos. Tamaño de muestra 10-20						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1973	34	53	11.00	0.91	52.30
2	1974	52	52	5.50	0.82	47.44
3	1975	41	49	3.67	0.73	44.42
4	1976	46	46	2.75	0.64	42.13
5	1977	43	43	2.20	0.55	40.22
6	1978	53	41	1.83	0.45	38.50
7	1979	31	34	1.57	0.36	36.87
8	1980	49	34	1.38	0.27	35.23
9	1981	34	32	1.22	0.18	33.46
10	1982	32	31	1.10	0.09	31.23

X= 40.716      a= 0.153  
SD= 8.382      b= 36.944

Tabla A.5 (continuación).

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-21</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1974	52	53	11.00	0.91	52.30
2	1975	41	52	5.50	0.82	47.54
3	1976	46	49	3.67	0.73	44.58
4	1977	43	46	2.75	0.64	42.34
5	1978	53	43	2.20	0.55	40.47
6	1979	31	41	1.83	0.45	38.79
7	1980	49	36	1.57	0.36	37.19
8	1981	34	34	1.38	0.27	35.59
9	1982	32	32	1.22	0.18	33.86
10	1983	36	31	1.10	0.09	31.68

X= 40.958      a= 0.1564  
SD= 8.2016      b= 37.268

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-22</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1975	41	53	11.00	0.91	49.96
2	1976	46	49	5.50	0.82	45.37
3	1977	43	46	3.67	0.73	42.53
4	1978	53	43	2.75	0.64	40.37
5	1979	31	41	2.20	0.55	38.56
6	1980	49	36	1.83	0.45	36.94
7	1981	34	34	1.57	0.36	35.41
8	1982	32	32	1.38	0.27	33.86
9	1983	36	32	1.22	0.18	32.19
10	1984	32	31	1.10	0.09	30.09

X= 39.034      a= 0.1623  
SD= 7.9051      b= 35.477

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Tamaño de muestra 10-23</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	
m			orden			
1	1976	46.151	52.763	11	0.9091	49.441
2	1977	43.132	49.195	5.5	0.8182	44.685
3	1978	52.763	46.151	3.6667	0.7273	41.735
4	1979	31.167	43.132	2.75	0.6364	39.499
5	1980	49.195	36.186	2.2	0.5455	37.624
6	1981	33.873	33.873	1.8333	0.4545	35.945
7	1982	31.559	32.52	1.5714	0.3636	34.353
8	1983	36.186	31.932	1.375	0.2727	32.754
9	1984	31.932	31.559	1.2222	0.1818	31.02
10	1985	32.52	31.167	1.1	0.0909	28.841

X= 38.114      a= 0.1566  
SD= 8.1935      b= 34.427

Tablas A.6 Análisis estadístico de las muestras de tamaño 15 años, tomados los primeros 15 años y luego los segundos 15 años.

Función Gumbel por momentos. Muestra 1 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1954	23	56	16.00	0.94	54.02
2	1955	50	52	8.00	0.88	48.26
3	1956	47	50	5.33	0.81	44.75
4	1957	32	48	4.00	0.75	42.17
5	1958	48	47	3.20	0.69	40.07
6	1959	52	38	2.67	0.63	38.28
7	1960	33	36	2.29	0.56	36.67
8	1961	56	35	2.00	0.50	35.20
9	1962	36	34	1.78	0.44	33.80
10	1963	38	33	1.60	0.38	32.44
11	1964	32	32	1.45	0.31	31.09
12	1965	28	32	1.33	0.25	29.70
13	1966	34	28	1.23	0.19	28.20
14	1967	35	28	1.14	0.13	26.48
15	1968	28	23	1.07	0.06	24.20

**X= 36.8672      a= 0.12611**  
**SD= 10.1724      b= 32.2896**

Función Gumbel por momentos. Muestra 2 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1955	50	56	16.00	0.94	53.89
2	1956	47	52	8.00	0.88	48.66
3	1957	32	50	5.33	0.81	45.49
4	1958	48	48	4.00	0.75	43.14
5	1959	52	47	3.20	0.69	41.24
6	1960	33	41	2.67	0.63	39.61
7	1961	56	38	2.29	0.56	38.16
8	1962	36	36	2.00	0.50	36.82
9	1963	38	35	1.78	0.44	35.55
10	1964	32	34	1.60	0.38	34.32
11	1965	28	33	1.45	0.31	33.09
12	1966	34	32	1.33	0.25	31.83
13	1967	35	32	1.23	0.19	30.47
14	1968	28	28	1.14	0.13	28.91
15	1969	41	28	1.07	0.06	26.84

**X= 38.3326      a= 0.13901**  
**SD= 9.22809      b= 34.18**



Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 3 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1956	47	56	16.00	0.94	52.51
2	1957	32	52	8.00	0.88	47.56
3	1958	48	48	5.33	0.81	44.56
4	1959	52	47	4.00	0.75	42.34
5	1960	33	41	3.20	0.69	40.54
6	1961	56	41	2.67	0.63	39.00
7	1962	36	38	2.29	0.56	37.62
8	1963	38	36	2.00	0.50	36.36
9	1964	32	35	1.78	0.44	35.16
10	1965	28	34	1.60	0.38	33.99
11	1966	34	33	1.45	0.31	32.83
12	1967	35	32	1.33	0.25	31.64
13	1968	28	32	1.23	0.19	30.36
14	1969	41	28	1.14	0.13	28.88
15	1970	41	28	1.07	0.06	26.92

X= 37.7893      a= 0.14699  
SD= 8.7272      b= 33.8621

Función Gumbel por momentos. Muestra 4 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1957	32	56	16.00	0.94	51.50
2	1958	48	52	8.00	0.88	46.73
3	1959	52	48	5.33	0.81	43.84
4	1960	33	41	4.00	0.75	41.70
5	1961	56	41	3.20	0.69	39.96
6	1962	36	39	2.67	0.63	38.48
7	1963	38	38	2.29	0.56	37.15
8	1964	32	36	2.00	0.50	35.93
9	1965	28	35	1.78	0.44	34.77
10	1966	34	34	1.60	0.38	33.65
11	1967	35	33	1.45	0.31	32.53
12	1968	28	32	1.33	0.25	31.38
13	1969	41	32	1.23	0.19	30.15
14	1970	41	28	1.14	0.13	28.72
15	1971	39	28	1.07	0.06	26.84

X= 37.312      a= 0.15245  
SD= 8.41452      b= 33.5255

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 5 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1958	48	56	16.00	0.94	51.49
2	1959	52	52	8.00	0.88	46.76
3	1960	33	48	5.33	0.81	43.88
4	1961	56	41	4.00	0.75	41.76
5	1962	36	41	3.20	0.69	40.04
6	1963	38	39	2.67	0.63	38.56
7	1964	32	38	2.29	0.56	37.24
8	1965	28	36	2.00	0.50	36.03
9	1966	34	35	1.78	0.44	34.88
10	1967	35	34	1.60	0.38	33.77
11	1968	28	33	1.45	0.31	32.66
12	1969	41	33	1.33	0.25	31.52
13	1970	41	32	1.23	0.19	30.29
14	1971	39	28	1.14	0.13	28.88
15	1972	33	28	1.07	0.06	27.00

X= 37.4044      a= 0.15355  
SD= 8.35422      b= 33.645

Función Gumbel por momentos. Muestra 6 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1959	52	56	16.00	0.94	49.88
2	1960	33	52	8.00	0.88	45.40
3	1961	56	41	5.33	0.81	42.67
4	1962	36	41	4.00	0.75	40.66
5	1963	38	39	3.20	0.69	39.03
6	1964	32	38	2.67	0.63	37.64
7	1965	28	36	2.29	0.56	36.39
8	1966	34	35	2.00	0.50	35.24
9	1967	35	34	1.78	0.44	34.16
10	1968	28	34	1.60	0.38	33.10
11	1969	41	33	1.45	0.31	32.05
12	1970	41	33	1.33	0.25	30.97
13	1971	39	32	1.23	0.19	29.80
14	1972	33	28	1.14	0.13	28.47
15	1973	34	28	1.07	0.06	26.69

X= 36.5409      a= 0.16218  
SD= 7.90984      b= 32.9815

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 7 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1960	33	56	16.00	0.94	49.67
2	1961	56	52	8.00	0.88	45.25
3	1962	36	41	5.33	0.81	42.56
4	1963	38	41	4.00	0.75	40.58
5	1964	32	39	3.20	0.69	38.97
6	1965	28	38	2.67	0.63	37.59
7	1966	34	36	2.29	0.56	36.36
8	1967	35	35	2.00	0.50	35.22
9	1968	28	34	1.78	0.44	34.15
10	1969	41	34	1.60	0.38	33.11
11	1970	41	33	1.45	0.31	32.07
12	1971	39	33	1.33	0.25	31.00
13	1972	33	32	1.23	0.19	29.86
14	1973	34	28	1.14	0.13	28.54
15	1974	52	28	1.07	0.06	26.78

X= 36.5059      a= 0.16428  
SD= 7.80881      b= 32.9919

Función Gumbel por momentos. Muestra 8 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1961	56	56	16.000	0.938	50.181
2	1962	36	52	8.000	0.875	45.780
3	1963	38	41	5.333	0.813	43.107
4	1964	32	41	4.000	0.750	41.134
5	1965	28	41	3.200	0.688	39.534
6	1966	34	39	2.667	0.625	38.162
7	1967	35	38	2.286	0.563	36.938
8	1968	28	36	2.000	0.500	35.810
9	1969	41	35	1.778	0.438	34.744
10	1970	41	34	1.600	0.375	33.709
11	1971	39	34	1.455	0.313	32.676
12	1972	33	33	1.333	0.250	31.614
13	1973	34	32	1.231	0.188	30.472
14	1974	52	28	1.143	0.125	29.159
15	1975	41	28	1.067	0.063	27.418

X= 37.0859      a= 0.16519  
SD= 7.76563      b= 33.5913

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 9 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1962	36	52	16.00	0.94	47.44
2	1963	38	46	8.00	0.88	43.80
3	1964	32	41	5.33	0.81	41.59
4	1965	28	41	4.00	0.75	39.96
5	1966	34	41	3.20	0.69	38.64
6	1967	35	39	2.67	0.63	37.50
7	1968	28	38	2.29	0.56	36.49
8	1969	41	36	2.00	0.50	35.56
9	1970	41	35	1.78	0.44	34.68
10	1971	39	34	1.60	0.38	33.82
11	1972	33	34	1.45	0.31	32.97
12	1973	34	33	1.33	0.25	32.09
13	1974	52	32	1.23	0.19	31.14
14	1975	41	28	1.14	0.13	30.06
15	1976	46	28	1.07	0.06	28.62

X= 36.6126      a= 0.19976  
SD= 6.42175      b= 33.7229

Función Gumbel por momentos. Muestra 10 con tamaño de 15 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1963	38	52	16.00	0.94	48.19
2	1964	32	46	8.00	0.88	44.46
3	1965	28	43	5.33	0.81	42.19
4	1966	34	41	4.00	0.75	40.52
5	1967	35	41	3.20	0.69	39.16
6	1968	28	41	2.67	0.63	38.00
7	1969	41	39	2.29	0.56	36.96
8	1970	41	38	2.00	0.50	36.01
9	1971	39	35	1.78	0.44	35.10
10	1972	33	34	1.60	0.38	34.22
11	1973	34	34	1.45	0.31	33.35
12	1974	52	33	1.33	0.25	32.45
13	1975	41	32	1.23	0.19	31.48
14	1976	46	28	1.14	0.13	30.37
15	1977	43.1323	27.6885	1.07	0.06	28.89

X= 37.0879      a= 0.19477  
SD= 6.5861      b= 34.1242

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 11 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1964	32	53	16.00	0.94	50.84
2	1965	28	52	8.00	0.88	46.50
3	1966	34	46	5.33	0.81	43.86
4	1967	35	43	4.00	0.75	41.92
5	1968	28	41	3.20	0.69	40.34
6	1969	41	41	2.67	0.63	38.99
7	1970	41	41	2.29	0.56	37.78
8	1971	39	39	2.00	0.50	36.67
9	1972	33	35	1.78	0.44	35.61
10	1973	34	34	1.60	0.38	34.59
11	1974	52	34	1.45	0.31	33.57
12	1975	41	33	1.33	0.25	32.53
13	1976	46	32	1.23	0.19	31.40
14	1977	43	28	1.14	0.13	30.10
15	1978	53	28	1.07	0.06	28.39

X= 37.9237      a= 0.16745  
SD= 7.66062      b= 34.4764

Función Gumbel por momentos. Muestra 12 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	
m			orden			
1	1965	28	53	16.00	0.94	50.87
2	1966	34	52	8.00	0.88	46.49
3	1967	35	46	5.33	0.81	43.83
4	1968	28	43	4.00	0.75	41.87
5	1969	41	41	3.20	0.69	40.28
6	1970	41	41	2.67	0.63	38.91
7	1971	39	41	2.29	0.56	37.69
8	1972	33	39	2.00	0.50	36.57
9	1973	34	35	1.78	0.44	35.51
10	1974	52	34	1.60	0.38	34.48
11	1975	41	34	1.45	0.31	33.45
12	1976	46	33	1.33	0.25	32.40
13	1977	43	31	1.23	0.19	31.26
14	1978	53	28	1.14	0.13	29.96
15	1979	31	28	1.07	0.06	28.22

X= 37.842      a= 0.16603  
SD= 7.72627      b= 34.3652

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 13 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1966	34	53	16.00	0.94	52.10
2	1967	35	52	8.00	0.88	47.79
3	1968	28	49	5.33	0.81	45.18
4	1969	41	46	4.00	0.75	43.25
5	1970	41	43	3.20	0.69	41.69
6	1971	39	41	2.67	0.63	40.35
7	1972	33	41	2.29	0.56	39.15
8	1973	34	41	2.00	0.50	38.05
9	1974	52	39	1.78	0.44	37.00
10	1975	41	35	1.60	0.38	35.99
11	1976	46	34	1.45	0.31	34.98
12	1977	43	34	1.33	0.25	33.94
13	1978	53	33	1.23	0.19	32.83
14	1979	31	31	1.14	0.13	31.54
15	1980	49	28	1.07	0.06	29.84

X= 39.2941      a= 0.16896  
SD= 7.59216      b= 35.8776

Función Gumbel por momentos. Muestra 14 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1967	35	53	16.00	0.94	52.10
2	1968	28	52	8.00	0.88	47.79
3	1969	41	49	5.33	0.81	45.17
4	1970	41	46	4.00	0.75	43.24
5	1971	39	43	3.20	0.69	41.68
6	1972	33	41	2.67	0.63	40.33
7	1973	34	41	2.29	0.56	39.13
8	1974	52	41	2.00	0.50	38.03
9	1975	41	39	1.78	0.44	36.99
10	1976	46	35	1.60	0.38	35.97
11	1977	43	34	1.45	0.31	34.96
12	1978	53	34	1.33	0.25	33.92
13	1979	31	33	1.23	0.19	32.81
14	1980	49	31	1.14	0.13	31.52
15	1981	34	28	1.07	0.06	29.82

X= 39.28      a= 0.16873  
SD= 7.60249      b= 35.8589

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 15 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1968	28	53	16.00	0.94	52.18
2	1969	41	52	8.00	0.88	47.74
3	1970	41	49	5.33	0.81	45.05
4	1971	39	46	4.00	0.75	43.06
5	1972	33	43	3.20	0.69	41.45
6	1973	34	41	2.67	0.63	40.06
7	1974	52	41	2.29	0.56	38.83
8	1975	41	41	2.00	0.50	37.69
9	1976	46	39	1.78	0.44	36.62
10	1977	43	34	1.60	0.38	35.57
11	1978	53	34	1.45	0.31	34.53
12	1979	31	33	1.33	0.25	33.46
13	1980	49	32	1.23	0.19	32.31
14	1981	34	31	1.14	0.13	30.99
15	1982	32	28	1.07	0.06	29.23

X= 38.9791      a= 0.16386  
SD= 7.82879      b= 35.4562

Función Gumbel por momentos. Muestra 16 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1969	41	53	16.00	0.94	51.79
2	1970	41	52	8.00	0.88	47.72
3	1971	39	49	5.33	0.81	45.25
4	1972	33	46	4.00	0.75	43.42
5	1973	34	43	3.20	0.69	41.94
6	1974	52	41	2.67	0.63	40.68
7	1975	41	41	2.29	0.56	39.54
8	1976	46	41	2.00	0.50	38.50
9	1977	43	39	1.78	0.44	37.52
10	1978	53	36	1.60	0.38	36.56
11	1979	31	34	1.45	0.31	35.61
12	1980	49	34	1.33	0.25	34.62
13	1981	34	33	1.23	0.19	33.57
14	1982	32	32	1.14	0.13	32.35
15	1983	36	31	1.07	0.06	30.74

X= 39.6809      a= 0.17871  
SD= 7.17825      b= 36.4507

Tabla A.6 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 17 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1970	41	53	16.00	0.94	51.69
2	1971	39	52	8.00	0.88	47.44
3	1972	33	49	5.33	0.81	44.86
4	1973	34	46	4.00	0.75	42.96
5	1974	52	43	3.20	0.69	41.42
6	1975	41	41	2.67	0.63	40.09
7	1976	46	41	2.29	0.56	38.91
8	1977	43	39	2.00	0.50	37.82
9	1978	53	36	1.78	0.44	36.80
10	1979	31	34	1.60	0.38	35.80
11	1980	49	34	1.45	0.31	34.80
12	1981	34	33	1.33	0.25	33.78
13	1982	32	32	1.23	0.19	32.67
14	1983	36	32	1.14	0.13	31.41
15	1984	32	31	1.07	0.06	29.73

X= 39.0552      a= 0.17123  
SD= 7.49185      b= 35.6839

Función Gumbel por momentos. Muestra 18 con tamaño de 15 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1971	39	53	16.00	0.94	51.48
2	1972	33	52	8.00	0.88	47.11
3	1973	34	49	5.33	0.81	44.46
4	1974	52	46	4.00	0.75	42.50
5	1975	41	43	3.20	0.69	40.91
6	1976	46	41	2.67	0.63	39.55
7	1977	43	39	2.29	0.56	38.33
8	1978	53	36	2.00	0.50	37.21
9	1979	31	34	1.78	0.44	36.16
10	1980	49	34	1.60	0.38	35.13
11	1981	34	33	1.45	0.31	34.10
12	1982	32	33	1.33	0.25	33.05
13	1983	36	32	1.23	0.19	31.92
14	1984	32	32	1.14	0.13	30.61
15	1985	33	31	1.07	0.06	28.88

X= 38.4804      a= 0.16641  
SD= 7.70875      b= 35.0115



Tablas A.7 Análisis estadístico de las muestras de tamaño 20 años, tomadas los primeros 20 años y luego los segundos 20 años.

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Muestra 1 con tamaño de 20 años</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1954	23	56	21.00	0.95	53.91
2	1955	50	52	10.50	0.90	48.92
3	1956	47	50	7.00	0.86	45.93
4	1957	32	48	5.25	0.81	43.74
5	1958	48	47	4.20	0.76	41.99
6	1959	52	41	3.50	0.71	40.51
7	1960	33	41	3.00	0.67	39.22
8	1961	56	39	2.63	0.62	38.05
9	1962	36	38	2.33	0.57	36.98
10	1963	38	36	2.10	0.52	35.98
11	1964	32	35	1.91	0.48	35.03
12	1965	28	34	1.75	0.43	34.11
13	1966	34	34	1.62	0.38	33.20
14	1967	35	33	1.50	0.33	32.30
15	1968	28	33	1.40	0.29	31.39
16	1969	41	32	1.31	0.24	30.45
17	1970	41	32	1.24	0.19	29.45
18	1971	39	28	1.17	0.14	28.34
19	1972	33	28	1.11	0.10	27.02
20	1973	34	23	1.05	0.05	25.23

**X= 36.961      a= 0.1441**  
**SD= 8.8995      b= 32.956**

Tabla A.7 (continuación).

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Muestra 2 con tamaño de 20 años</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1955	50	56	21.00	0.95	54.96
2	1956	47	52	10.50	0.90	50.13
3	1957	32	52	7.00	0.86	47.22
4	1958	48	50	5.25	0.81	45.10
5	1959	52	48	4.20	0.76	43.40
6	1960	33	47	3.50	0.71	41.97
7	1961	56	41	3.00	0.67	40.71
8	1962	36	41	2.63	0.62	39.58
9	1963	38	39	2.33	0.57	38.54
10	1964	32	38	2.10	0.52	37.57
11	1965	28	36	1.91	0.48	36.65
12	1966	34	35	1.75	0.43	35.75
13	1967	35	34	1.62	0.38	34.88
14	1968	28	34	1.50	0.33	34.00
15	1969	41	33	1.40	0.29	33.12
16	1970	41	33	1.31	0.24	32.21
17	1971	39	32	1.24	0.19	31.23
18	1972	33	32	1.17	0.14	30.16
19	1973	34	28	1.11	0.10	28.88
20	1974	52	28	1.05	0.05	27.15

**X= 38.522      a= 0.1486**  
**SD= 8.6327      b= 34.638**

<b>Función Gumbel por momentos.</b>						
<b>Muestra 3 con tamaño de 20 años</b>						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1956	47	56	21.00	0.95	53.87
2	1957	32	52	10.50	0.90	49.24
3	1958	48	52	7.00	0.86	46.46
4	1959	52	48	5.25	0.81	44.43
5	1960	33	47	4.20	0.76	42.81
6	1961	56	41	3.50	0.71	41.44
7	1962	36	41	3.00	0.67	40.24
8	1963	38	41	2.63	0.62	39.16
9	1964	32	39	2.33	0.57	38.16
10	1965	28	38	2.10	0.52	37.23
11	1966	34	36	1.91	0.48	36.35
12	1967	35	35	1.75	0.43	35.49
13	1968	28	34	1.62	0.38	34.66
14	1969	41	34	1.50	0.33	33.82
15	1970	41	33	1.40	0.29	32.98
16	1971	39	33	1.31	0.24	32.10
17	1972	33	32	1.24	0.19	31.17
18	1973	34	32	1.17	0.14	30.14
19	1974	52	28	1.11	0.10	28.92
20	1975	41	28	1.05	0.05	27.26

**X= 38.143      a= 0.1553**  
**SD= 8.2584      b= 34.427**

Tabla A.7 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 4 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1957	32	56	21.00	0.95	53.75
2	1958	48	52	10.50	0.90	49.15
3	1959	52	52	7.00	0.86	46.38
4	1960	33	48	5.25	0.81	44.36
5	1961	56	46	4.20	0.76	42.75
6	1962	36	41	3.50	0.71	41.38
7	1963	38	41	3.00	0.67	40.19
8	1964	32	41	2.63	0.62	39.11
9	1965	28	39	2.33	0.57	38.13
10	1966	34	38	2.10	0.52	37.20
11	1967	35	36	1.91	0.48	36.32
12	1968	28	35	1.75	0.43	35.47
13	1969	41	34	1.62	0.38	34.64
14	1970	41	34	1.50	0.33	33.81
15	1971	39	33	1.40	0.29	32.97
16	1972	33	33	1.31	0.24	32.10
17	1973	34	32	1.24	0.19	31.17
18	1974	52	32	1.17	0.14	30.15
19	1975	41	28	1.11	0.10	28.94
20	1976	46	28	1.05	0.05	27.28

X= 38.106      a= 0.1562  
SD= 8.2136      b= 34.41

Función Gumbel por momentos. Muestra 5 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1958	48	56	21.00	0.95	54.09
2	1959	52	52	10.50	0.90	49.56
3	1960	33	52	7.00	0.86	46.84
4	1961	56	48	5.25	0.81	44.86
5	1962	36	46	4.20	0.76	43.27
6	1963	38	43	3.50	0.71	41.93
7	1964	32	41	3.00	0.67	40.75
8	1965	28	41	2.63	0.62	39.69
9	1966	34	41	2.33	0.57	38.72
10	1967	35	39	2.10	0.52	37.81
11	1968	28	38	1.91	0.48	36.95
12	1969	41	36	1.75	0.43	36.11
13	1970	41	35	1.62	0.38	35.29
14	1971	39	34	1.50	0.33	34.47
15	1972	33	34	1.40	0.29	33.65
16	1973	34	33	1.31	0.24	32.79
17	1974	52	33	1.24	0.19	31.88
18	1975	41	32	1.17	0.14	30.87
19	1976	46	28	1.11	0.10	29.68
20	1977	43	28	1.05	0.05	28.05

X= 38.701      a= 0.1588  
SD= 8.0805      b= 35.065

Tabla A.7 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 6 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1959	52	56	21.00	0.95	54.84
2	1960	33	53	10.50	0.90	50.14
3	1961	56	52	7.00	0.86	47.32
4	1962	36	52	5.25	0.81	45.26
5	1963	38	46	4.20	0.76	43.61
6	1964	32	43	3.50	0.71	42.22
7	1965	28	41	3.00	0.67	41.00
8	1966	34	41	2.63	0.62	39.90
9	1967	35	41	2.33	0.57	38.89
10	1968	28	39	2.10	0.52	37.94
11	1969	41	38	1.91	0.48	37.05
12	1970	41	36	1.75	0.43	36.18
13	1971	39	35	1.62	0.38	35.33
14	1972	33	34	1.50	0.33	34.48
15	1973	34	34	1.40	0.29	33.62
16	1974	52	33	1.31	0.24	32.73
17	1975	41	33	1.24	0.19	31.79
18	1976	46	32	1.17	0.14	30.74
19	1977	43	28	1.11	0.10	29.50
20	1978	53	28	1.05	0.05	27.81

X= 38.869      a= 0.1529  
SD= 8.3874      b= 35.094

Función Gumbel por momentos. Muestra 7 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1960	33	56	21.00	0.95	53.16
2	1961	56	53	10.50	0.90	48.66
3	1962	36	52	7.00	0.86	45.96
4	1963	38	46	5.25	0.81	43.99
5	1964	32	43	4.20	0.76	42.41
6	1965	28	41	3.50	0.71	41.07
7	1966	34	41	3.00	0.67	39.91
8	1967	35	41	2.63	0.62	38.86
9	1968	28	39	2.33	0.57	37.89
10	1969	41	38	2.10	0.52	36.99
11	1970	41	36	1.91	0.48	36.13
12	1971	39	35	1.75	0.43	35.30
13	1972	33	34	1.62	0.38	34.48
14	1973	34	34	1.50	0.33	33.67
15	1974	52	33	1.40	0.29	32.85
16	1975	41	33	1.31	0.24	32.00
17	1976	46	32	1.24	0.19	31.09
18	1977	43	31	1.17	0.14	30.09
19	1978	53	28	1.11	0.10	28.91
20	1979	31	28	1.05	0.05	27.29

X= 37.871      a= 0.1598  
SD= 8.0269      b= 34.259

Tabla A.7 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 8 con tamaño de 20 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1961	56	56	21.00	0.95	54.33
2	1962	36	53	10.50	0.90	49.72
3	1963	38	52	7.00	0.86	46.95
4	1964	32	49	5.25	0.81	44.93
5	1965	28	46	4.20	0.76	43.31
6	1966	34	43	3.50	0.71	41.94
7	1967	35	41	3.00	0.67	40.75
8	1968	28	41	2.63	0.62	39.67
9	1969	41	41	2.33	0.57	38.68
10	1970	41	39	2.10	0.52	37.75
11	1971	39	38	1.91	0.48	36.87
12	1972	33	36	1.75	0.43	36.02
13	1973	34	35	1.62	0.38	35.18
14	1974	52	34	1.50	0.33	34.35
15	1975	41	34	1.40	0.29	33.51
16	1976	46	33	1.31	0.24	32.64
17	1977	43	32	1.24	0.19	31.71
18	1978	53	31	1.17	0.14	30.69
19	1979	31	28	1.11	0.10	29.47
20	1980	49	28	1.1	0.0476	27.8

X= 38.659      a= 0.1559  
SD= 8.2271      b= 34.957

Función Gumbel por momentos. Muestra 9 con tamaño de 20 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1962	36	53	21.00	0.95	51.66
2	1963	38	52	10.50	0.90	47.55
3	1964	32	49	7.00	0.86	45.08
4	1965	28	46	5.25	0.81	43.28
5	1966	34	43	4.20	0.76	41.84
6	1967	35	41	3.50	0.71	40.63
7	1968	28	41	3.00	0.67	39.56
8	1969	41	41	2.63	0.62	38.60
9	1970	41	39	2.33	0.57	37.72
10	1971	39	38	2.10	0.52	36.89
11	1972	33	36	1.91	0.48	36.11
12	1973	34	35	1.75	0.43	35.35
13	1974	52	34	1.62	0.38	34.61
14	1975	41	34	1.50	0.33	33.87
15	1976	46	34	1.40	0.29	33.12
16	1977	43	33	1.31	0.24	32.34
17	1978	53	32	1.24	0.19	31.51
18	1979	31	31	1.17	0.14	30.60
19	1980	49	28	1.11	0.10	29.52
20	1981	34	28	1.05	0.05	28.04

X= 37.701      a= 0.1751  
SD= 7.3274      b= 34.404

Tabla A.7 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 10 con tamaño de 20 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1963	38	53	21.00	0.95	51.69
2	1964	32	52	10.50	0.90	47.51
3	1965	28	49	7.00	0.86	44.99
4	1966	34	46	5.25	0.81	43.16
5	1967	35	43	4.20	0.76	41.69
6	1968	28	41	3.50	0.71	40.46
7	1969	41	41	3.00	0.67	39.37
8	1970	41	41	2.63	0.62	38.39
9	1971	39	39	2.33	0.57	37.50
10	1972	33	38	2.10	0.52	36.66
11	1973	34	35	1.91	0.48	35.86
12	1974	52	34	1.75	0.43	35.08
13	1975	41	34	1.62	0.38	34.33
14	1976	46	34	1.50	0.33	33.57
15	1977	43	33	1.40	0.29	32.81
16	1978	53	32	1.31	0.24	32.02
17	1979	31	32	1.24	0.19	31.18
18	1980	49	31	1.17	0.14	30.25
19	1981	34	28	1.11	0.10	29.15
20	1982	32	28	1.05	0.05	27.65

**X= 37.478      a= 0.1719**  
**SD= 7.4605      b= 34.12**

Función Gumbel por momentos. Muestra 11 con tamaño de 20 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1964	32	53	21.00	0.95	51.63
2	1965	28	52	10.50	0.90	47.44
3	1966	34	49	7.00	0.86	44.93
4	1967	35	46	5.25	0.81	43.09
5	1968	28	43	4.20	0.76	41.62
6	1969	41	41	3.50	0.71	40.38
7	1970	41	41	3.00	0.67	39.29
8	1971	39	41	2.63	0.62	38.32
9	1972	33	39	2.33	0.57	37.42
10	1973	34	36	2.10	0.52	36.57
11	1974	52	35	1.91	0.48	35.77
12	1975	41	34	1.75	0.43	35.00
13	1976	46	34	1.62	0.38	34.24
14	1977	43	34	1.50	0.33	33.49
15	1978	53	33	1.40	0.29	32.72
16	1979	31	32	1.31	0.24	31.93
17	1980	49	32	1.24	0.19	31.09
18	1981	34	31	1.17	0.14	30.16
19	1982	32	28	1.11	0.10	29.05
20	1983	36	28	1.05	0.05	27.55

**X= 37.397      a= 0.1717**  
**SD= 7.473      b= 34.034**

Tabla A.7 (continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 12 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1965	28	52	21.0	0.9524	52.3
2	1966	34	52	10.5	0.9048	48.0
3	1967	35	51	7.0	0.8571	45.5
4	1968	28	48	5.3	0.8095	43.6
5	1969	41	44	4.2	0.7619	42.1
6	1970	41	42	3.5	0.7143	40.8
7	1971	39	41	3.0	0.6667	39.7
8	1972	33	41	2.6	0.619	38.7
9	1973	34	40	2.3	0.5714	37.8
10	1974	52	37	2.1	0.5238	36.9
11	1975	41	36	1.9	0.4762	36.1
12	1976	46	35	1.8	0.4286	35.3
13	1977	43	35	1.6	0.381	34.5
14	1978	53	34	1.5	0.3333	33.7
15	1979	31	32	1.4	0.2857	32.9
16	1980	49	32	1.3	0.2381	32.1
17	1981	34	32	1.2	0.1905	31.3
18	1982	32	30	1.2	0.1429	30.3
19	1983	36	28	1.1	0.0952	29.2
20	1984	32	28	1.1	0.0476	27.6

**X= 37.737      a= 0.1674**  
**SD= 7.6641      b= 34.288**

Función Gumbel por momentos. Muestra 13 con tamaño de 20 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1966	34	53	21.0	0.9524	51.4
2	1967	35	52	10.5	0.9048	47.4
3	1968	28	49	7.0	0.8571	44.9
4	1969	41	46	5.3	0.8095	43.2
5	1970	41	43	4.2	0.7619	41.7
6	1971	39	41	3.5	0.7143	40.5
7	1972	33	41	3.0	0.6667	39.5
8	1973	34	41	2.6	0.619	38.6
9	1974	52	39	2.3	0.5714	37.7
10	1975	41	36	2.1	0.5238	36.9
11	1976	46	35	1.9	0.4762	36.1
12	1977	43	34	1.8	0.4286	35.3
13	1978	53	34	1.6	0.381	34.6
14	1979	31	34	1.5	0.3333	33.9
15	1980	49	33	1.4	0.2857	33.1
16	1981	34	33	1.3	0.2381	32.4
17	1982	32	32	1.2	0.1905	31.6
18	1983	36	32	1.2	0.1429	30.7
19	1984	32	31	1.1	0.0952	29.6
20	1985	33	28	1.1	0.0476	28.1

**X= 37.665      a= 0.1775**  
**SD= 7.2258      b= 34.414**

Tabla A.8 Análisis estadístico de las muestras de tamaño 25 años, tomados los primeros 25 años y luego los segundos 25 años.

Función Gumbel por momentos. Muestra 1 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1954	23	56	26.00	0.96	57.38
2	1955	50	53	13.00	0.92	52.39
3	1956	47	52	8.67	0.88	49.40
4	1957	32	52	6.50	0.85	47.23
5	1958	48	50	5.20	0.81	45.51
6	1959	52	48	4.33	0.77	44.07
7	1960	33	47	3.71	0.73	42.82
8	1961	56	46	3.25	0.69	41.71
9	1962	36	43	2.89	0.65	40.70
10	1963	38	41	2.60	0.62	39.76
11	1964	32	41	2.36	0.58	38.89
12	1965	28	41	2.17	0.54	38.06
13	1966	34	39	2.00	0.50	37.27
14	1967	35	38	1.86	0.46	36.50
15	1968	28	36	1.73	0.42	35.76
16	1969	41	35	1.63	0.38	35.02
17	1970	41	34	1.53	0.35	34.29
18	1971	39	34	1.44	0.31	33.55
19	1972	33	33	1.37	0.27	32.80
20	1973	34	33	1.30	0.23	32.02
21	1974	52	32	1.24	0.19	31.20
22	1975	41	32	1.18	0.15	30.31
23	1976	46	28	1.13	0.12	29.31
24	1977	43	28	1.08	0.08	28.10
25	1978	53	23	1.04	0.04	26.43

X= 38.744      a= 0.1428  
SD= 8.9845      b= 34.701

Función Gumbel por momentos. Muestra 2 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1955	50	56	26.00	0.96	56.78
2	1956	47	53	13.00	0.92	52.08
3	1957	32	52	8.67	0.88	49.27
4	1958	48	52	6.50	0.85	47.23
5	1959	52	50	5.20	0.81	45.61
6	1960	33	48	4.33	0.77	44.26
7	1961	56	47	3.71	0.73	43.08
8	1962	36	46	3.25	0.69	42.03
9	1963	38	43	2.89	0.65	41.08
10	1964	32	41	2.60	0.62	40.20
11	1965	28	41	2.36	0.58	39.38
12	1966	34	41	2.17	0.54	38.60
13	1967	35	39	2.00	0.50	37.86
14	1968	28	38	1.86	0.46	37.14
15	1969	41	36	1.73	0.42	36.44
16	1970	41	35	1.63	0.38	35.74
17	1971	39	34	1.53	0.35	35.05
18	1972	33	34	1.44	0.31	34.36
19	1973	34	33	1.37	0.27	33.65
20	1974	52	33	1.30	0.23	32.92
21	1975	41	32	1.24	0.19	32.15
22	1976	46	32	1.18	0.15	31.31
23	1977	43	31	1.13	0.12	30.37
24	1978	53	28	1.08	0.08	29.24
25	1979	31	28	1.04	0.04	27.66

X= 39.247      a= 0.1518  
SD= 8.4498      b= 35.444



Tabla A. 8 (Continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 3 con tamaño de 25 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1956	47	56	26.00	0.96	56.63
2	1957	32	53	13.00	0.92	51.96
3	1958	48	52	8.67	0.88	49.17
4	1959	52	52	6.50	0.85	47.14
5	1960	33	49	5.20	0.81	45.54
6	1961	56	48	4.33	0.77	44.19
7	1962	36	47	3.71	0.73	43.02
8	1963	38	46	3.25	0.69	41.98
9	1964	32	43	2.89	0.65	41.04
10	1965	28	41	2.60	0.62	40.16
11	1966	34	41	2.36	0.58	39.35
12	1967	35	41	2.17	0.54	38.57
13	1968	28	39	2.00	0.50	37.83
14	1969	41	38	1.86	0.46	37.12
15	1970	41	36	1.73	0.42	36.42
16	1971	39	35	1.63	0.38	35.73
17	1972	33	34	1.53	0.35	35.05
18	1973	34	34	1.44	0.31	34.36
19	1974	52	33	1.37	0.27	33.65
20	1975	41	33	1.30	0.23	32.93
21	1976	46	32	1.24	0.19	32.16
22	1977	43	32	1.18	0.15	31.33
23	1978	53	31	1.13	0.12	30.39
24	1979	31	28	1.08	0.08	29.27
25	1980	49	28	1.04	0.04	27.70

**X= 39.211      a= 0.1528**  
**SD= 8.3959      b= 35.433**

Función Gumbel por momentos. Muestra 4 con tamaño de 25 años						
No. m	Año	hp	hp orden	T	f(x)	Xc
1	1957	32	56	26.00	0.96	56.02
2	1958	48	53	13.00	0.92	51.38
3	1959	52	52	8.67	0.88	48.60
4	1960	33	52	6.50	0.85	46.59
5	1961	56	49	5.20	0.81	44.99
6	1962	36	48	4.33	0.77	43.65
7	1963	38	46	3.71	0.73	42.49
8	1964	32	43	3.25	0.69	41.45
9	1965	28	41	2.89	0.65	40.51
10	1966	34	41	2.60	0.62	39.64
11	1967	35	41	2.36	0.58	38.83
12	1968	28	39	2.17	0.54	38.06
13	1969	41	38	2.00	0.50	37.33
14	1970	41	36	1.86	0.46	36.62
15	1971	39	35	1.73	0.42	35.92
16	1972	33	34	1.63	0.38	35.24
17	1973	34	34	1.53	0.35	34.56
18	1974	52	34	1.44	0.31	33.87
19	1975	41	33	1.37	0.27	33.17
20	1976	46	33	1.30	0.23	32.45
21	1977	43	32	1.24	0.19	31.69
22	1978	53	32	1.18	0.15	30.86
23	1979	31	31	1.13	0.12	29.93
24	1980	49	28	1.08	0.08	28.81
25	1981	34	28	1.04	0.04	27.25

**X= 38.699      a= 0.1536**  
**SD= 8.3505      b= 34.941**

Tabla A. 8 (Continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 5 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1958	48	56	26.00	0.96	56.03
2	1959	52	53	13.00	0.92	51.38
3	1960	33	52	8.67	0.88	48.60
4	1961	56	52	6.50	0.85	46.59
5	1962	36	49	5.20	0.81	44.99
6	1963	38	48	4.33	0.77	43.65
7	1964	32	46	3.71	0.73	42.49
8	1965	28	43	3.25	0.69	41.45
9	1966	34	41	2.89	0.65	40.51
10	1967	35	41	2.60	0.62	39.64
11	1968	28	41	2.36	0.58	38.83
12	1969	41	39	2.17	0.54	38.06
13	1970	41	38	2.00	0.50	37.32
14	1971	39	36	1.86	0.46	36.61
15	1972	33	35	1.73	0.42	35.92
16	1973	34	34	1.63	0.38	35.23
17	1974	52	34	1.53	0.35	34.55
18	1975	41	34	1.44	0.31	33.87
19	1976	46	33	1.37	0.27	33.17
20	1977	43	33	1.30	0.23	32.44
21	1978	53	32	1.24	0.19	31.68
22	1979	31	32	1.18	0.15	30.85
23	1980	49	31	1.13	0.12	29.92
24	1981	34	28	1.08	0.08	28.80
25	1982	32	28	1.04	0.04	27.24

**X= 38.695      a= 0.1536**  
**SD= 8.3533      b= 34.936**

Función Gumbel por momentos. Muestra 6 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1959	52	56	26.00	0.96	55.19
2	1960	33	53	13.00	0.92	50.65
3	1961	56	52	8.67	0.88	47.93
4	1962	36	52	6.50	0.85	45.96
5	1963	38	49	5.20	0.81	44.40
6	1964	32	46	4.33	0.77	43.09
7	1965	28	43	3.71	0.73	41.95
8	1966	34	41	3.25	0.69	40.94
9	1967	35	41	2.89	0.65	40.02
10	1968	28	41	2.60	0.62	39.17
11	1969	41	39	2.36	0.58	38.38
12	1970	41	38	2.17	0.54	37.63
13	1971	39	36	2.00	0.50	36.91
14	1972	33	36	1.86	0.46	36.21
15	1973	34	35	1.73	0.42	35.53
16	1974	52	34	1.63	0.38	34.86
17	1975	41	34	1.53	0.35	34.20
18	1976	46	34	1.44	0.31	33.53
19	1977	43	33	1.37	0.27	32.84
20	1978	53	33	1.30	0.23	32.14
21	1979	31	32	1.24	0.19	31.39
22	1980	49	32	1.18	0.15	30.58
23	1981	34	31	1.13	0.12	29.67
24	1982	32	28	1.08	0.08	28.58
25	1983	36	28	1.04	0.04	27.05

**X= 38.248      a= 0.1571**  
**SD= 8.1667      b= 34.573**

Tabla A. 8 (Continuación).

Función Gumbel por momentos. Muestra 7 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1960	32.589	55.955	26	0.9615	53.648
2	1961	55.955	52.763	13	0.9231	49.319
3	1962	35.545	51.668	8.6667	0.8846	46.731
4	1963	37.771	49.195	6.5	0.8462	44.854
5	1964	32.191	46.151	5.2	0.8077	43.363
6	1965	27.966	43.132	4.3333	0.7692	42.114
7	1966	34.056	41.282	3.7143	0.7308	41.03
8	1967	35.416	40.62	3.25	0.6923	40.065
9	1968	27.688	40.529	2.8889	0.6538	39.188
10	1969	40.529	38.892	2.6	0.6154	38.379
11	1970	40.62	37.771	2.3636	0.5769	37.621
12	1971	38.892	36.186	2.1667	0.5385	36.904
13	1972	32.825	35.545	2	0.5	36.218
14	1973	34.098	35.416	1.8571	0.4615	35.555
15	1974	51.668	34.098	1.7333	0.4231	34.907
16	1975	41.282	34.056	1.625	0.3846	34.27
17	1976	46.151	33.873	1.5294	0.3462	33.635
18	1977	43.132	32.825	1.4444	0.3077	32.996
19	1978	52.763	32.589	1.3684	0.2692	32.344
20	1979	31.167	32.191	1.3	0.2308	31.67
21	1980	49.195	31.932	1.2381	0.1923	30.959
22	1981	33.873	31.559	1.1818	0.1538	30.189
23	1982	31.559	31.167	1.1304	0.1154	29.321
24	1983	36.186	27.966	1.0833	0.0769	28.277
25	1984	31.932	27.688	1.04	0.0385	26.825

**X= 37.497 a= 0.1648**  
**SD= 7.7854 b= 33.993**

Función Gumbel por momentos. Muestra 8 con tamaño de 25 años						
No.	Año	hp	hp	T	f(x)	Xc
m			orden			
1	1961	56	56	26.00	0.96	53.72
2	1962	36	53	13.00	0.92	49.37
3	1963	38	52	8.67	0.88	46.78
4	1964	32	49	6.50	0.85	44.89
5	1965	28	46	5.20	0.81	43.39
6	1966	34	43	4.33	0.77	42.14
7	1967	35	41	3.71	0.73	41.05
8	1968	28	41	3.25	0.69	40.08
9	1969	41	41	2.89	0.65	39.20
10	1970	41	39	2.60	0.62	38.39
11	1971	39	38	2.36	0.58	37.63
12	1972	33	36	2.17	0.54	36.91
13	1973	34	36	2.00	0.50	36.22
14	1974	52	35	1.86	0.46	35.55
15	1975	41	34	1.73	0.42	34.90
16	1976	46	34	1.63	0.38	34.26
17	1977	43	34	1.53	0.35	33.63
18	1978	53	33	1.44	0.31	32.99
19	1979	31	33	1.37	0.27	32.33
20	1980	49	32	1.30	0.23	31.66
21	1981	34	32	1.24	0.19	30.94
22	1982	32	32	1.18	0.15	30.17
23	1983	36	31	1.13	0.12	29.30
24	1984	32	28	1.08	0.08	28.25
25	1985	33	28	1.04	0.04	26.79

**X= 37.504 a= 0.1641**  
**SD= 7.8159 b= 33.987**

Tabla A.9 Número de días medio con lluvia aprciable por año, para muestras de 10 años

MEDIAS DE LOS DIAS CON LLUVIA APRECIABLE, PARA MUESTRAS DE 10 AÑOS																					
10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7	10-8	10-9	10-10	10-11	10-12	10-13	10-14	10-15	10-16	10-17	10-18	10-19	10-20	10-21	10-22
36	68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60
68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67
44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52
45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48
69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71
69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39
49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66
54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36
54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38
65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	63
<b>Media</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>60</b>	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>54</b>	<b>54</b>

Tabla A.10 Número de días medio con lluvia aprciable por año, para muestras de 15 años

MEDIAS DE LOS DIAS CON LLUVIA APRECIABLE, PARA MUESTRAS DE 15 AÑOS																		
15-1	15-2	15-3	15-4	15-5	15-6	15-7	15-8	15-9	15-10	15-11	15-12	15-13	15-14	15-15	15-16	15-17	15-18	
36	68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	
68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	
44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	
45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	
69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	
69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	
49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	
54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	
54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	
65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	
58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	
48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	
64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	
67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	63	
63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	63	54	
<b>Media</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>55</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>55</b>

Tabla A.11 Número de días medio con lluvia apreciable por año,  
para muestras de 20 años

MEDIAS DE LOS DÍAS CON LLUVIA APRECIABLE, PARA MUESTRAS DE 20 AÑOS													
20-1	20-2	20-3	20-4	20-5	20-6	20-7	20-8	20-9	20-10	20-11	20-12	20-13	
36	68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	
68	44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	
44	45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	
45	69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	
69	69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	
69	49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	
49	54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	
54	54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	
54	65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	
65	58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	
58	48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	
48	64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	
64	67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	
67	63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	
63	51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	
51	41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	
41	57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	
57	48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	
48	65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	63	
65	67	60	67	52	48	71	39	66	36	38	63	54	
Media	56	57	57	58	58	57	57	57	58	57	55	56	56

Tabla A.12 Número de días medio con lluvia apreciable por año,  
para muestras de 25 años

MEDIAS DE LOS DÍAS CON LLUVIA APRECIABLE, PARA MUESTRAS DE 25 AÑOS								
25-1	25-2	25-3	25-4	25-5	25-6	25-7	25-8	25-9
36	68	44	45	69	69	49	54	54
68	44	45	69	69	49	54	54	54
44	45	69	69	49	54	54	65	65
45	69	69	49	54	54	65	58	58
69	69	49	54	54	65	58	48	48
69	49	54	54	65	58	48	64	64
49	54	54	65	58	48	64	67	67
54	54	65	58	48	64	67	63	63
54	65	58	48	64	67	63	51	51
65	58	48	64	67	63	51	41	41
58	48	64	67	63	51	41	57	57
48	64	67	63	51	41	57	48	48
64	67	63	51	41	57	48	65	65
67	63	51	41	57	48	65	67	67
63	51	41	57	48	65	67	60	60
51	41	57	48	65	67	60	67	67
41	57	48	65	67	60	67	52	52
57	48	65	67	60	67	52	48	48
48	65	67	60	67	52	48	71	71
65	67	60	67	52	48	71	39	39
67	60	67	52	48	71	39	66	66
60	67	52	48	71	39	66	36	36
67	52	48	71	39	66	36	38	38
52	48	71	39	66	36	38	63	63
48	71	39	66	36	38	63	54	54
56	58	57	57	57	56	56	56	56

Tabla A.13 Tablas para la construcción de las curvas i-d-Tr, para muestras de 10 años.  
Se marcan las tablas de donde se obtienen las gráficas i-d-Tr

1 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	23	1.6	23
5	0.8	48	29	2.0	29
10	0.9	54	33	2.3	33
20	0.95	60	36	2.5	36
50	0.98	68	41	2.8	41

2 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	40	25	1.7	25
5	0.8	48	30	2.0	30
10	0.9	54	34	2.2	34
20	0.95	59	37	2.5	37
50	0.98	66	41	2.7	41

3 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.6	24
5	0.8	46	30	1.9	30
10	0.9	52	34	2.2	34
20	0.95	58	37	2.4	37
50	0.98	65	42	2.7	42

4 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	45	30	1.9	30
10	0.9	51	34	2.1	34
20	0.95	56	38	2.3	38
50	0.98	63	42	2.6	42.4

Gráfica i-d-Tr

5 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	51	33	2.1	33
20	0.95	56	37	2.3	37
50	0.98	63	41	2.6	41

6 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	41	27	1.7	27
5	0.8	46	31	1.9	31
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	54	36	2.3	36
50	0.98	59	39	2.4	39

7 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	34	22	1.4	22
5	0.8	41	27	1.7	27
10	0.9	46	30	1.9	30
20	0.95	50	33	2.1	33
50	0.98	56	37	2.3	37

8 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	34	23	1.4	23
5	0.8	41	28	1.7	28
10	0.9	46	31	1.9	31
20	0.95	50	34	2.1	34
50	0.98	56	38	2.3	38

Tabla A.13 (continuación).

9 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	34	23	1.4	23
5	0.8	38	26	1.6	26
10	0.9	41	27	1.7	27
20	0.95	44	29	1.8	29
50	0.98	47	31	2.0	31

10 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	34	22	1.4	22
5	0.8	38	25	1.6	25
10	0.9	41	27	1.7	27
20	0.95	43	29	1.8	29
50	0.98	47	31	1.9	31

Gráfica i-d-Tr

11 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	33	23	1.4	23
5	0.8	37	26	1.6	26
10	0.9	40	28	1.7	28
20	0.95	43	30	1.8	30
50	0.98	46	32	1.9	32

12 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	35	23	1.4	23
5	0.8	41	27	1.7	27
10	0.9	45	30	1.9	30
20	0.95	49	32	2.0	32
50	0.98	54	36	2.3	36

Tabla A.13 (continuación).

13 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	22	1.5	22
5	0.8	42	26	1.7	26
10	0.9	46	28	1.9	28
20	0.95	49	30	2.1	30
50	0.98	54	33	2.3	33

14 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	25	1.6	25
5	0.8	43	29	1.8	29
10	0.9	47	32	2.0	32
20	0.95	51	35	2.1	35
50	0.98	56	38	2.3	38

15 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	25	1.6	25
5	0.8	44	29	1.8	29
10	0.9	48	32	2.0	32
20	0.95	52	34	2.2	34
50	0.98	57	37	2.4	37

16 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	41	26	1.7	26
5	0.8	46	29	1.9	29
10	0.9	50	32	2.1	32
20	0.95	54	34	2.3	34
50	0.98	59	37	2.4	37

17 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	39	25	1.6	25
5	0.8	46	30	1.9	30
10	0.9	50	32	2.1	32
20	0.95	55	35	2.3	35
50	0.98	60	38	2.5	38

18 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	44	26	1.8	26
5	0.8	51	30	2.1	30
10	0.9	55	33	2.3	33
20	0.95	60	35	2.5	35
50	0.98	65	39	2.7	39

19 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	40	27	1.6	27
5	0.8	47	32	1.9	32
10	0.9	52	35	2.2	35
20	0.95	56	38	2.3	38
50	0.98	62	42	2.6	42

20 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	39	26	1.6	26
5	0.8	47	31	1.9	31
10	0.9	52	35	2.2	35
20	0.95	56	38	2.3	38
50	0.98	62	42	2.6	42

21 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	40	25	1.7	25
5	0.8	47	30	2.0	30
10	0.9	52	33	2.2	33
20	0.95	56	35	2.3	35
50	0.98	62	39	2.6	39

22 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	23	1.6	23
5	0.8	45	27	1.9	27
10	0.9	49	30	2.1	30
20	0.95	54	33	2.2	33
50	0.98	60	36	2.5	36

23 de 10 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	22	1.5	22
5	0.8	44	27	1.8	27
10	0.9	49	30	2.0	30
20	0.95	53	33	2.2	33
50	0.98	59	36	2.5	36



Tabla A.14 Tablas para la construcción de las curvas i-d-Tr, para muestras de 15 años.  
Se marcan las tablas de donde se obtienen las gráficas i-d-Tr

1 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	40	23	1.7	23
5	0.8	49	28	2.0	28
10	0.9	55	31	2.3	31
20	0.95	60	35	2.5	35
50	0.98	68	39	2.8	39

Gráfica i-d-Tr

2 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	56	36	2.3	36
50	0.98	62	40	2.6	40

3 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	23	1.5	23
5	0.8	44	28	1.8	28
10	0.9	49	31	2.0	31
20	0.95	54	34	2.3	34
50	0.98	60	38	2.5	38

4 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	22	1.5	22
5	0.8	43	27	1.8	27
10	0.9	47	29	2.0	29
20	0.95	52	32	2.1	32
50	0.98	57	36	2.4	36

5 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	23	1.5	23
5	0.8	43	27	1.8	27
10	0.9	48	30	2.0	30
20	0.95	53	33	2.2	33
50	0.98	59	37	2.5	37

6 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	35	23	1.5	23
5	0.8	42	27	1.8	27
10	0.9	47	30	2.0	30
20	0.95	51	33	2.1	33
50	0.98	57	37	2.4	37

7 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	35	23	1.5	23
5	0.8	42	27	1.8	27
10	0.9	47	30	1.9	30
20	0.95	51	33	2.1	33
50	0.98	57	37	2.4	37

8 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	35	23	1.5	23
5	0.8	42	27	1.7	27
10	0.9	46	30	1.9	30
20	0.95	51	33	2.1	33
50	0.98	56	37	2.3	37

Gráfica i-d-Tr

9 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	23	1.5	23
5	0.8	41	26	1.7	26
10	0.9	45	29	1.9	29
20	0.95	49	31	2.0	31
50	0.98	53	34	2.2	34

10 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	23	1.5	23
5	0.8	42	27	1.7	27
10	0.9	46	29	1.9	29
20	0.95	49	32	2.1	32
50	0.98	54	35	2.3	35

Tabla A.14 (continuación).

11 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	43	28	1.8	28
10	0.9	48	31	2.0	31
20	0.95	52	34	2.2	34
50	0.98	58	38	2.4	38

12 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	43	28	1.8	28
10	0.9	48	31	2.0	31
20	0.95	52	34	2.2	34
50	0.98	58	38	2.4	38

13 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	24	1.6	24
5	0.8	45	28	1.9	28
10	0.9	49	31	2.0	31
20	0.95	53	34	2.2	34
50	0.98	59	37	2.5	37

14 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	24	1.6	24
5	0.8	45	28	1.9	28
10	0.9	49	31	2.0	31
20	0.95	53	34	2.2	34
50	0.98	59	37	2.5	37

15 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	24	1.6	24
5	0.8	45	28	1.9	28
10	0.9	49	31	2.0	31
20	0.95	54	34	2.2	34
50	0.98	59	37	2.5	37

16 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	24	1.6	24
5	0.8	45	28	1.9	28
10	0.9	49	31	2.0	31
20	0.95	53	34	2.2	34
50	0.98	58	37	2.4	37

17 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	23	1.6	23
5	0.8	44	27	1.9	27
10	0.9	49	30	2.0	30
20	0.95	53	32	2.2	32
50	0.98	58	35	2.4	35

18 de 15 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	23	1.6	23
5	0.8	44	27	1.9	27
10	0.9	49	30	2.0	30
20	0.95	53	32	2.2	32
50	0.98	58	35	2.4	35

Tablas A.15 Tablas para la construcción de las curvas i-d-Tr, para muestras de 20 años.  
Se marcan las tablas de donde se obtienen las gráficas i-d-Tr

1 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	22	1.5	22
5	0.8	43	26	1.8	26
10	0.9	49	30	2.0	30
20	0.95	54	33	2.2	33
50	0.98	60	37	2.5	37

Gráfica i-d-Tr

2 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	23	1.5	23
5	0.8	45	28	1.9	28
10	0.9	50	31	2.1	31
20	0.95	55	34	2.3	34
50	0.98	61	38	2.5	38

3 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	23	1.5	23
5	0.8	44	27	1.8	27
10	0.9	49	30	2.0	30
20	0.95	54	33	2.2	33
50	0.98	60	37	2.5	37

4 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	44	29	1.8	29
10	0.9	49	32	2.0	32
20	0.95	53	35	2.2	35
50	0.98	59	39	2.5	39

5 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.6	24
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	49	32	2.1	32
20	0.95	54	35	2.2	35
50	0.98	60	39	2.5	39

6 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.6	24
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	50	32	2.1	32
20	0.95	54	35	2.3	35
50	0.98	61	39	2.5	39

7 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.5	24
5	0.8	44	29	1.8	29
10	0.9	48	32	2.0	32
20	0.95	53	35	2.2	35
50	0.98	59	39	2.4	39

8 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	25	1.6	25
5	0.8	45	30	1.9	30
10	0.9	49	33	2.1	33
20	0.95	54	36	2.2	36
50	0.98	60	40	2.5	40

Gráfica i-d-Tr

9 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	43	29	1.8	29
10	0.9	47	32	2.0	32
20	0.95	51	34	2.1	34
50	0.98	57	38	2.4	38

10 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	43	28	1.8	28
10	0.9	47	31	2.0	31
20	0.95	51	34	2.1	34
50	0.98	57	37	2.4	37

11 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	43	29	1.8	29
10	0.9	47	31	2.0	31
20	0.95	51	34	2.1	34
50	0.98	57	38	2.4	38

12 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	23	1.5	23
5	0.8	43	28	1.8	28
10	0.9	48	31	2.0	31
20	0.95	52	33	2.2	33
50	0.98	58	37	2.4	37

Tabla A.15 (continuación).

13 de 20 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	43	28	1.8	28
10	0.9	47	31	2.0	31
20	0.95	51	33	2.1	33
50	0.98	56	37	2.3	37

Tablas A.16 Tablas para la construcción de las curvas i-d-Tr, para muestras de 25 años.  
Se marcan las tablas de donde se obtienen las gráficas i-d-Tr

1 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	24	1.6	24
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	50	32	2.1	32
20	0.95	55	36	2.3	36
50	0.98	62	40	2.6	40

Gráfica i-d-Tr

2 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	25	1.6	25
5	0.8	45	30	1.9	30
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	55	36	2.3	36
50	0.98	61	40	2.5	40

3 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	38	25	1.6	25
5	0.8	45	30	1.9	30
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	55	36	2.3	36
50	0.98	61	40	2.5	40

4 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	25	1.6	25
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	54	36	2.3	36
50	0.98	60	40	2.5	40

5 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	25	1.6	25
5	0.8	45	29	1.9	29
10	0.9	50	33	2.1	33
20	0.95	54	36	2.3	36
50	0.98	60	40	2.5	40

6 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	37	25	1.5	25
5	0.8	44	30	1.8	30
10	0.9	49	33	2.0	33
20	0.95	53	36	2.2	36
50	0.98	59	40	2.5	40

7 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	24	1.5	24
5	0.8	43	29	1.8	29
10	0.9	48	32	2.0	32
20	0.95	52	35	2.2	35
50	0.98	58	39	2.4	39

8 de 25 años		duración en hrs.		i en mm/hr	
Tr	p	hp 24	hp1	i de 24h	i de 1h
2	0.5	36	25	1.5	25
5	0.8	43	29	1.8	29
10	0.9	48	32	2.0	32
20	0.95	52	35	2.2	35
50	0.98	58	39	2.4	39

Gráfica i-d-Tr

Figura A.6 Curvas i-d-Tr, determinadas por el método estadístico (Gumbel) para la precipitación mínima y máxima determinadas en cada tamaño de muestra.

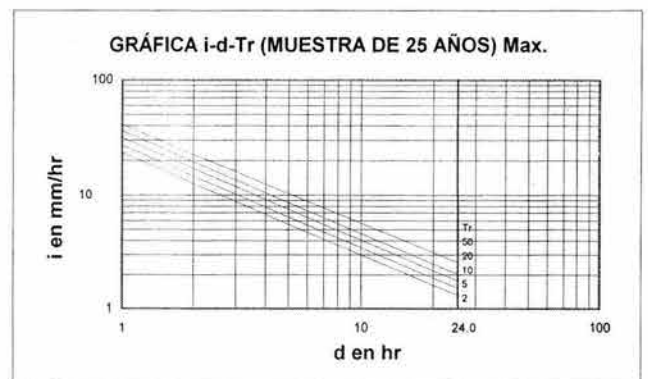
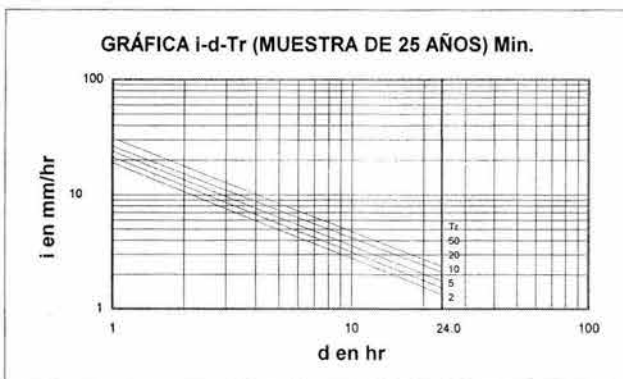
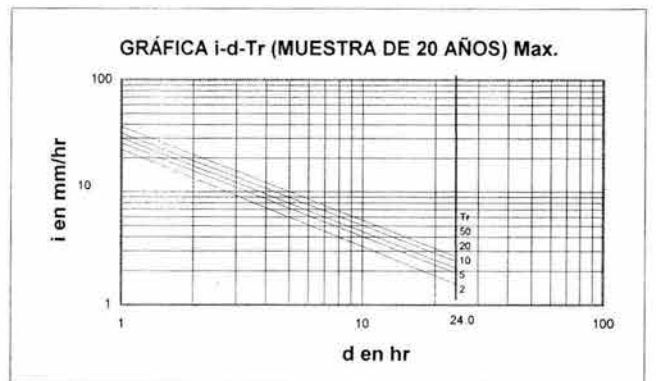
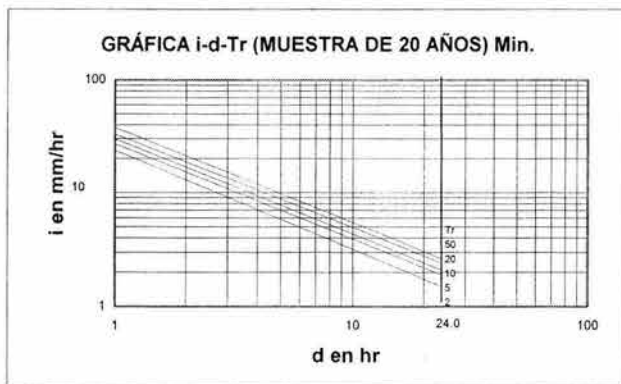
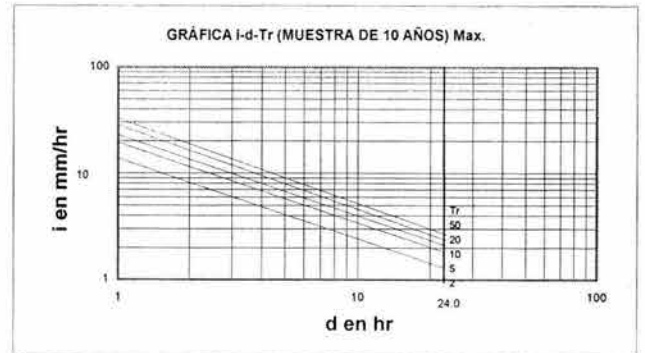
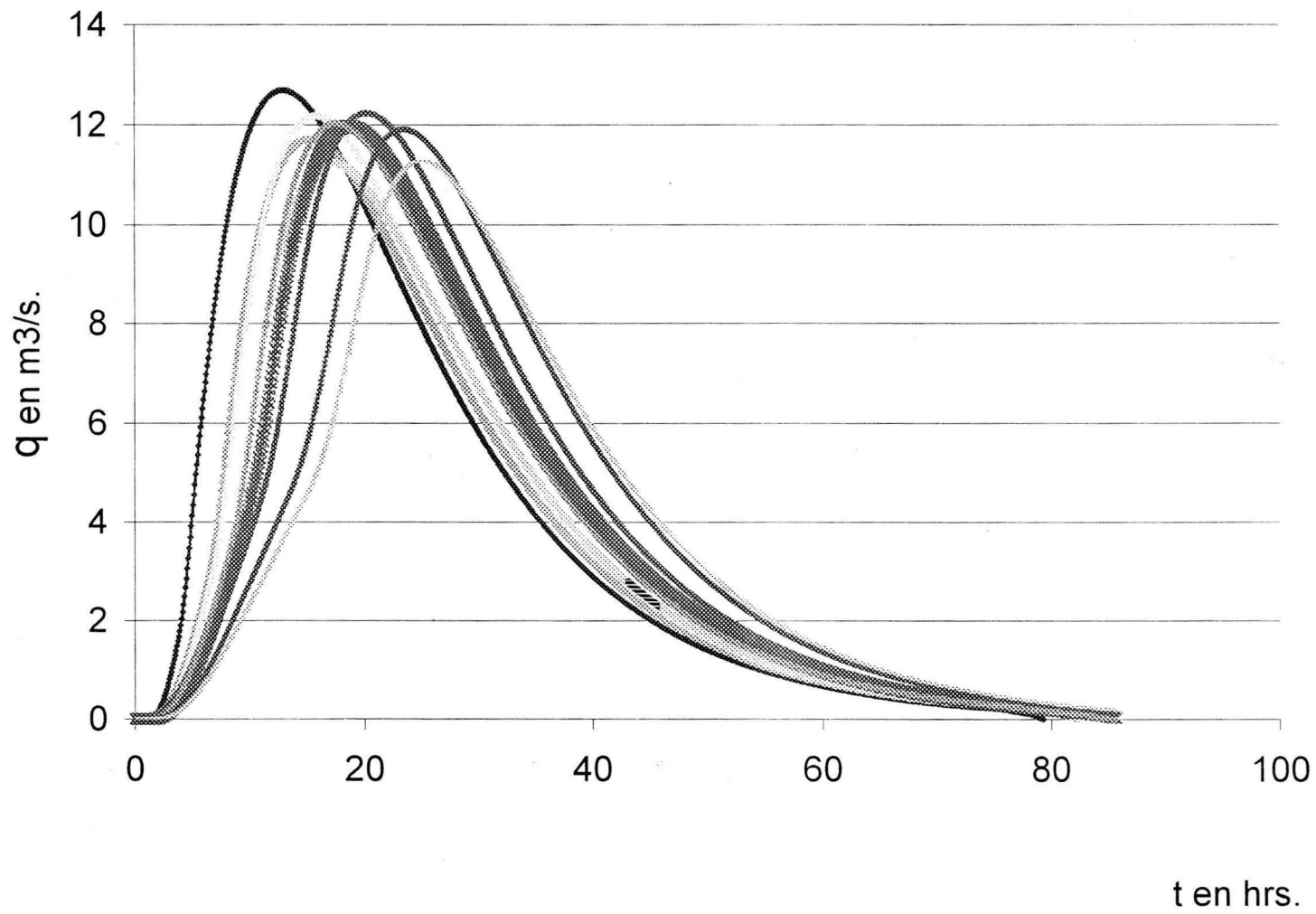


Fig. A.7 Hidrográmas unitarios instantáneos geomorfológicos.



Tablas A.17 Hietogramas para la diferencia Mínima de Lluvia.

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 10 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp*1	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	23	9.96	9.96	9.959	0-26	0.65
52	22	19.05	19.05	9.09	26-52	3.05
78	17	22.10	22.10	3.05	52-78	9.96
104	14	24.26	24.26	2.16	78-104	9.09
130	11.5	24.91	24.91	0.65	104-130	2.16
156	9.8	25.48	25.48	0.57	130-156	0.57
				25.48	Tc=1.73	he=11.08
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	28	12.12	12.12	16	0-26	2.16
52	24	20.78	20.78	8.66	26-52	2.62
78	18	23.40	23.40	2.62	52-78	16.00
104	15	26.00	26.00	2.60	78-104	8.66
130	13	28.16	28.16	2.16	104-130	2.60
156	11	28.60	28.60	0.44	130-156	0.44
				32.48	Tc=0.87	he=14.13
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	40	17.32	17.32	17.32	0-26	3.46
52	25	21.65	21.65	4.33	26-52	4.35
78	20	26.00	26.00	4.35	52-78	17.32
104	17	29.46	29.46	3.46	78-104	5.20
130	16	34.66	34.66	5.20	104-130	4.33
156	13.5	35.10	35.10	0.44	130-156	0.44
				35.10	Tc=1.3	he=15.27
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	56	24.25	24.25	24.25	0-26	3.03
52	32	27.71	27.71	3.46	26-52	3.90
78	23	29.90	29.90	2.19	52-78	24.25
104	19	32.93	32.93	3.03	78-104	4.78
130	17	36.82	36.82	3.90	104-130	3.46
156	16	41.60	41.60	4.78	130-156	2.19
				41.60	Tc=0.87	he=18.1
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	70	30.31	30.31	30.31	0-26	0.43
52	35	30.31	30.31	0.00	26-52	3.48
78	27	35.10	35.10	4.79	52-78	30.31
104	21	36.39	36.39	1.29	78-104	4.79
130	17	36.82	36.82	0.43	104-130	1.29
156	15.5	40.30	40.30	3.48	130-156	0.00
				40.30	Tc=0.87	he=17.53

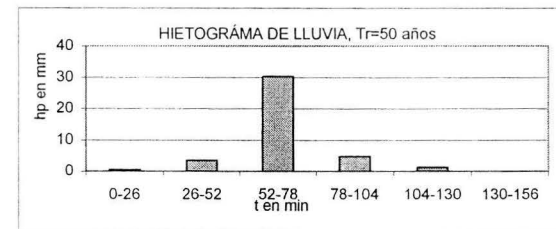
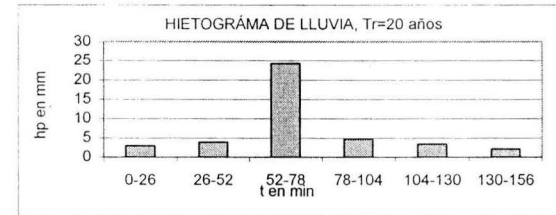
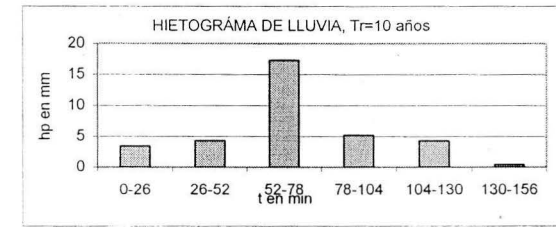
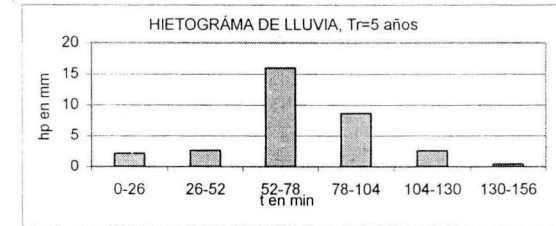
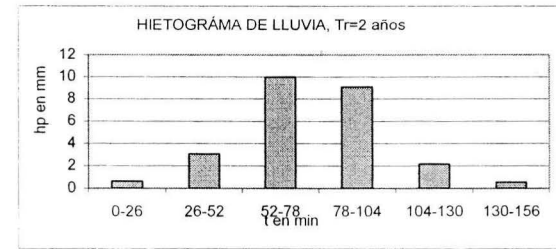




Tabla A.17 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 15 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	35	15.16	15.16	15.16	0-26	0.65
52	24	20.78	20.78	5.63	26-52	2.16
78	17	22.10	22.10	1.32	52-78	15.16
104	14	24.26	24.26	2.16	78-104	5.63
130	11.5	24.91	24.91	0.65	104-130	1.32
156	9.6	24.96	24.96	0.05	130-156	0.05
				24.96	Tc=0.43	he=10.86
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	45	19.49	19.49	19.49	0-26	0.44
52	26	22.52	22.52	3.03	26-52	3.03
78	18.5	24.05	24.05	1.53	52-78	19.49
104	16	27.73	27.73	3.68	78-104	3.68
130	13	28.16	28.16	0.43	104-130	1.53
156	11	28.60	28.60	0.44	130-156	0.43
				28.60	Tc=0.43	he=12.44
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48	20.78	20.78	20.78	0-26	0.65
52	28	24.25	24.25	3.46	26-52	3.46
78	21	27.30	27.30	3.05	52-78	20.78
104	19	32.93	32.93	5.63	78-104	5.63
130	15.5	33.57	33.57	0.65	104-130	3.05
156	13	33.80	33.80	0.23	130-156	0.23
				33.80	Tc=0.43	he=15
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	1.04
52	31.1	26.93	26.93	1.04	26-52	2.16
78	25	32.50	32.50	5.57	52-78	25.89
104	20	34.66	34.66	2.16	78-104	5.57
130	16.5	35.74	35.74	1.08	104-130	1.08
156	14	36.40	36.40	0.66	130-156	0.66
				36.40	Tc=0.43	he=15.83
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	0.45
52	39.5	34.21	34.21	1.95	26-52	1.95
78	28	36.40	36.40	2.19	52-78	32.26
104	22	38.13	38.13	1.73	78-104	2.19
130	17.8	38.55	38.55	0.43	104-130	1.73
156	15	39.00	39.00	0.45	130-156	0.43
				39.00	Tc=0.43	he=16.96

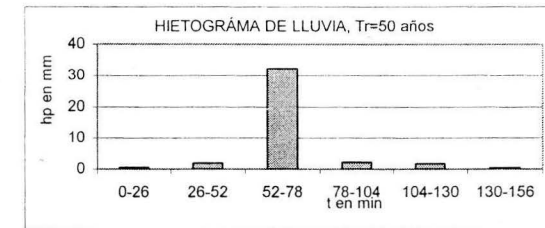
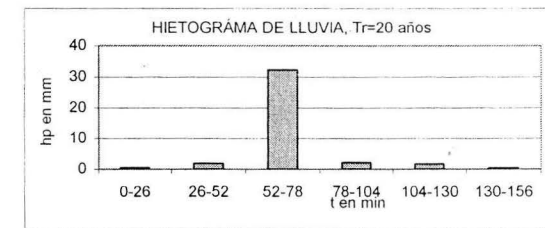
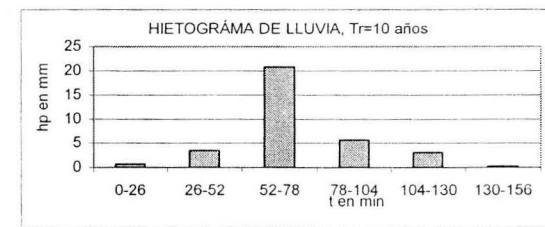
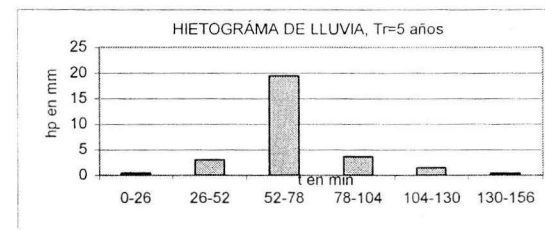
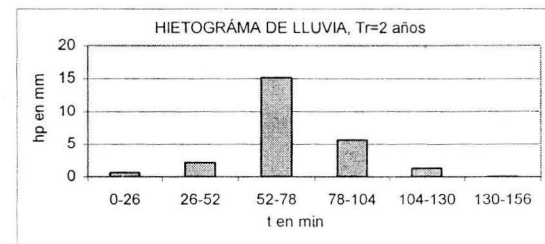


Tabla A.17 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 20 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.87	0-26	0.66
52	22.9	19.83	19.83	9.96	26-52	4.87
78	19	24.70	24.70	4.87	52-78	9.96
104	16.5	28.59	28.59	3.89	78-104	9.8724
130	13.5	29.24	29.24	0.65	104-130	3.89
156	11.5	29.90	29.90	0.66	130-156	0.65
				29.90	Tc=1.73	he=13
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	0.88
52	27.4	23.73	23.73	7.49	26-52	4.98
78	21.5	27.95	27.95	4.22	52-78	16.24
104	19	32.93	32.93	4.98	78-104	7.49
130	15.2	32.92	32.92	0.00	104-130	4.22
156	13	33.80	33.80	0.88	130-156	0.00
				33.80	Tc=1.3	he=14.7
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.6	21.04	21.04	21.04	0-26	2.16
52	30.4	26.33	26.33	5.28	26-52	5.28
78	25	32.50	32.50	6.17	52-78	21.04
104	20	34.66	34.66	2.16	78-104	6.17
130	17	36.82	36.82	2.16	104-130	2.18
156	15	39.00	39.00	2.18	130-156	2.16
				39.00	Tc=0.87	he=16.96
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	2.61
52	33.3	28.84	28.84	2.94	26-52	3.03
78	27	35.10	35.10	6.26	52-78	25.89
104	22	38.13	38.13	3.03	78-104	6.26
130	18	38.99	38.99	0.86	104-130	2.94
156	16	41.60	41.60	2.61	130-156	0.86
				41.60	Tc=0.87	he=18.1
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	1.08
52	38.5	33.34	33.34	1.08	26-52	5.66
78	30	39.00	39.00	5.66	52-78	32.26
104	26	45.06	45.06	6.06	78-104	6.06
130	21	45.49	45.49	0.43	104-130	1.31
156	18	46.80	46.80	1.31	130-156	0.43
				46.80	Tc=0.43	he=20.36

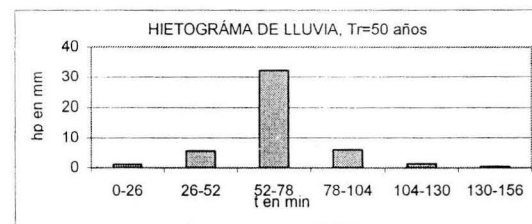
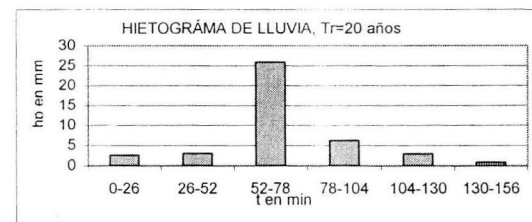
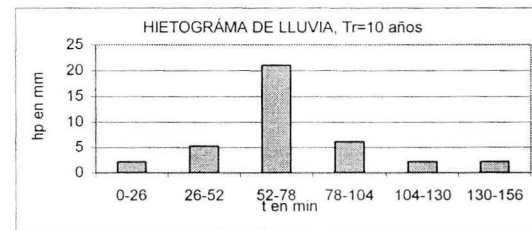
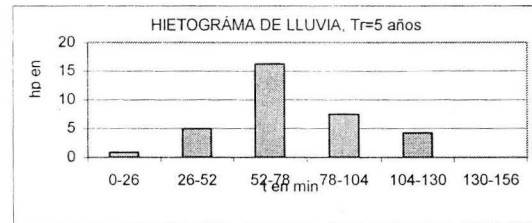
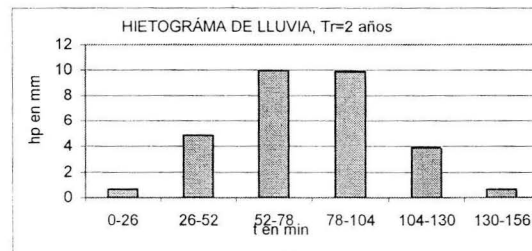


Tabla A.17 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 25 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.87	0-26	0.43
52	22.3	19.31	19.31	9.44	26-52	2.79
78	17	22.10	22.10	2.79	52-78	9.87
104	13	22.53	22.53	0.43	78-104	9.44
130	11.3	24.48	24.48	1.95	104-130	1.95
156	9.5	24.70	24.70	0.22	130-156	0.22
				24.70	Tc=1.30	he=10.74
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	0.71
52	29.2	25.29	25.29	9.05	26-52	1.73
78	20	26.00	26.00	0.71	52-78	16.23
104	16	27.73	27.73	1.73	78-104	9.05
130	13.5	29.24	29.24	1.51	104-130	1.51
156	11.5	29.90	29.90	0.66	130-156	0.66
				29.90	Tc=0.87	he=13
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.5	21.00	21.00	21.00	0-26	1.30
52	32.3	27.97	27.97	6.97	26-52	2.59
78	22	28.60	28.60	0.63	52-78	21.00
104	18	31.19	31.19	2.59	78-104	6.97
130	15	32.49	32.49	1.30	104-130	1.31
156	13	33.80	33.80	1.31	130-156	0.63
				33.80	Tc=0.87	he=14.7
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	0.72
52	35.2	30.48	30.48	4.59	26-52	1.73
78	24	31.20	31.20	0.72	52-78	25.89
104	19	32.93	32.93	1.73	78-104	4.59
130	16	34.66	34.66	1.73	104-130	1.73
156	13.5	35.10	35.10	0.44	130-156	0.44
				35.10	Tc=0.43	he=15.23
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	2.18
52	40	34.64	34.64	2.38	26-52	2.18
78	26.7	34.71	34.71	0.07	52-78	32.26
104	21	36.39	36.39	1.68	78-104	2.38
130	17	36.82	36.82	0.43	104-130	1.68
156	15	39.00	39.00	2.18	130-156	0.07
				39.00	Tc=0.33	he=16.96

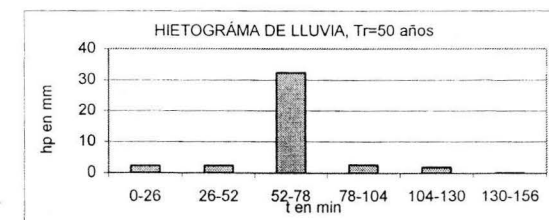
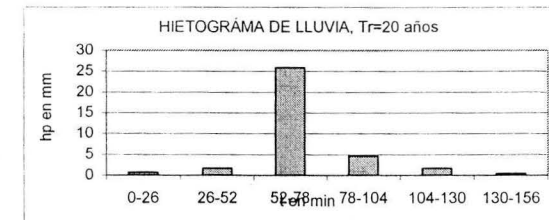
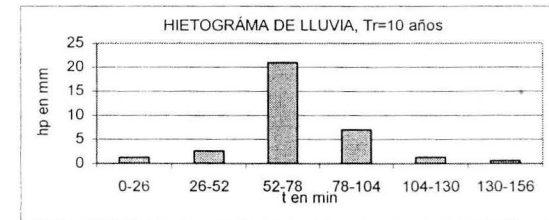
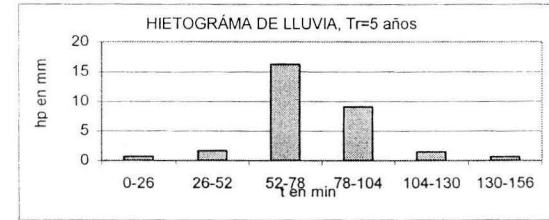
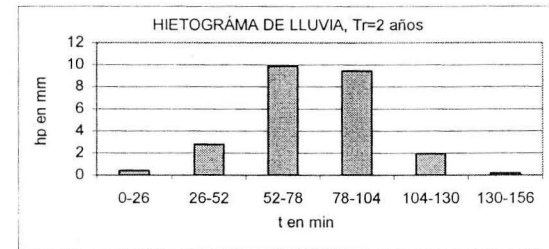
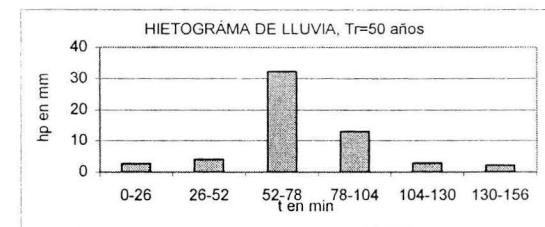
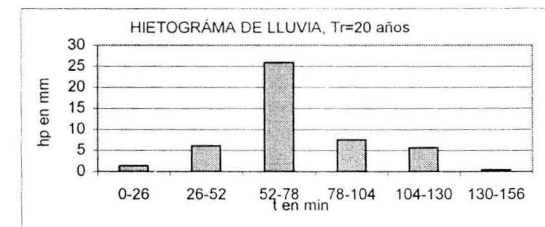
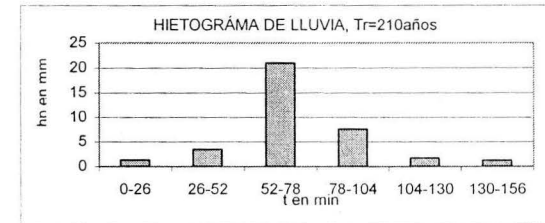
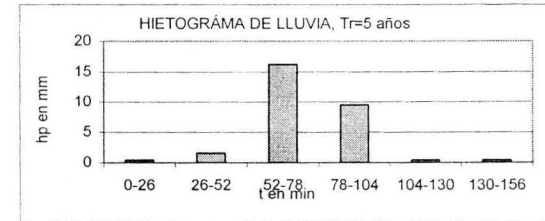
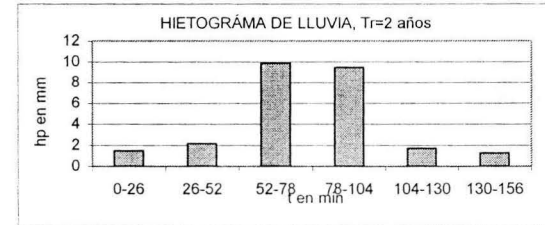


Tabla A.17 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 32 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.87	0-26	1.49
52	22.3	19.31	19.31	9.44	26-52	2.17
78	16	20.80	20.80	1.49	52-78	9.87
104	13	22.53	22.53	1.73	78-104	9.44
130	11	23.83	23.83	1.30	104-130	1.73
156	10	26.00	26.00	2.17	130-156	1.30
				26.00	Tc=1.3	he=11.31
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	0.43
52	29.7	25.72	25.72	9.48	26-52	1.58
78	21	27.30	27.30	1.58	52-78	16.24
104	16	27.73	27.73	0.43	78-104	9.48
130	13	28.16	28.16	0.43	104-130	0.44
156	11	28.60	28.60	0.44	130-156	0.43
				28.60	Tc=0.87	he=12.44
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.5	21.00	21.00	21.00	0-26	1.29
52	33.1	28.66	28.66	7.66	26-52	3.46
78	23	29.90	29.90	1.24	52-78	21.00
104	18	31.19	31.19	1.29	78-104	7.66
130	16	34.66	34.66	3.46	104-130	1.74
156	14	36.40	36.40	1.74	130-156	1.26
				36.40	Tc=0.87	he=15.83
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	1.31
52	36.4	31.52	31.52	5.63	26-52	6.06
78	30	39.00	39.00	7.48	52-78	25.89
104	26	45.06	45.06	6.06	78-104	7.48
130	21	45.49	45.49	0.43	104-130	5.63
156	18	46.80	46.80	1.31	130-156	0.43
				46.80	Tc=1.73	he=20.36
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	2.61
52	40.6	35.16	35.16	2.90	26-52	3.89
78	37	48.10	48.10	12.94	52-78	32.26
104	30	51.99	51.99	3.89	78-104	12.94
130	25	54.15	54.15	2.16	104-130	2.90
156	21	54.60	54.60	2.61	130-156	2.16
				56.76	Tc=1.3	he=24.69



Tablas A.18 Hietogramas para la diferencia Máxima de Lluvia.

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 10 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTENSIDAD	hp LEIDO	Hp*1	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.8724	0-26	0.86
52	22.3	19.31	19.31	9.44	26-52	4.09
78	18	23.40	23.40	4.09	52-78	9.87
104	14.5	25.13	25.13	1.73	78-104	9.44
130	12	25.99	25.99	0.86	104-130	1.73
156	10.2	26.52	26.52	0.53	130-156	0.53
				26.52	Tc=0.87	he=11.54
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTENSIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16	0-26	0.67
52	25.5	22.08	22.08	5.85	26-52	3.25
78	17.5	22.75	22.75	0.67	52-78	16
104	15	26.00	26.00	3.25	78-104	5.85
130	12.5	27.08	27.08	1.08	104-130	1.08
156	10.5	27.30	27.30	0.23	130-156	0.23
				27.06	Tc=0.87	he=11.74
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTENSIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.6	21.04	21.04	21.04	0-26	0.66
52	26.5	22.95	22.95	1.91	26-52	4.33
78	24	31.20	31.20	8.25	52-78	21.04
104	20.5	35.53	35.53	4.33	78-104	8.25
130	16.5	35.74	35.74	0.21	104-130	1.91
156	14	36.40	36.40	0.66	130-156	0.21
				36.40	Tc=1.3	he=15.83
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTENSIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	1.5
52	32	27.71	27.71	1.82	26-52	4.3
78	28	36.40	36.40	8.69	52-78	25.9
104	23.5	40.73	40.73	4.33	78-104	8.7
130	19.5	42.24	42.24	1.51	104-130	1.8
156	16.5	42.90	42.90	0.66	130-156	0.66
				42.90	Tc=1.3	he=18.7
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTENSIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74	32.04	32.04	32.04	0-26	2.6
52	40	34.64	34.64	2.60	26-52	4.4
78	30	39.00	39.00	4.36	52-78	32.0
104	25	43.33	43.33	4.33	78-104	6.5
130	23	49.82	49.82	6.49	104-130	4.3
156	19.5	50.70	50.70	0.88	130-156	1
				50.70	Tc=1.95	he=22.6

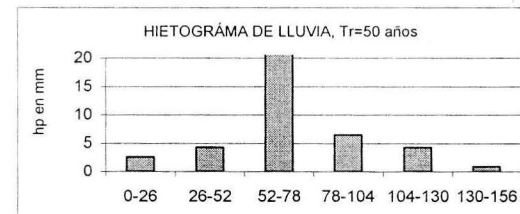
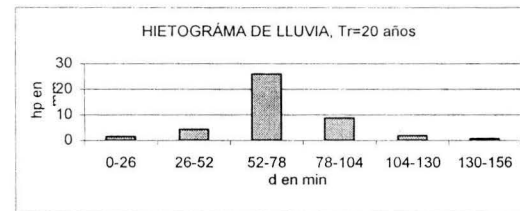
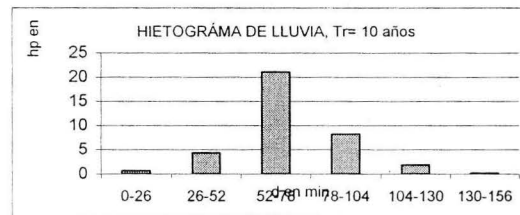
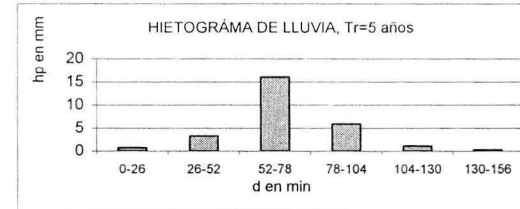
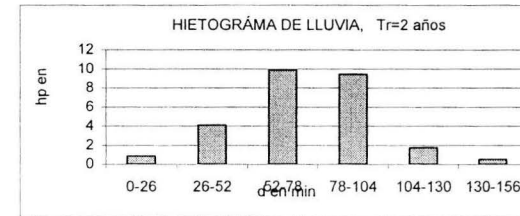


Tabla A.18 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 15 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	20	8.66	8.66	8.66	0-26	0.86
52	21	18.19	18.19	9.53	26-52	4.74
78	18.5	24.05	24.05	5.86	52-78	9.87
104	14.5	25.13	25.13	1.08	78-104	9.44
130	12	25.99	25.99	0.86	104-130	1.08
156	10.2	26.52	26.52	0.53	130-156	0.53
				26.52	Tc=1.73	he=11.54
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	1.73
52	26.4	22.86	22.86	6.62	26-52	3.14
78	20	26.00	26.00	3.14	52-78	16.24
104	16	27.73	27.73	1.73	78-104	6.62
130	14	30.32	30.32	2.60	104-130	2.60
156	12	31.20	31.20	0.88	130-156	0.88
				31.20	Tc=0.43	he=13.6
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.6	21.04	21.04	21.04	0-26	1.29
52	28.8	24.94	24.94	3.90	26-52	3.90
78	25	32.50	32.50	7.56	52-78	21.04
104	19.5	33.79	33.79	1.29	78-104	7.56
130	16	34.66	34.66	0.86	104-130	1.74
156	14	36.40	36.40	1.74	130-156	0.86
				36.40	Tc=1.3	he=15.83
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	55	23.82	23.82	23.82	0-26	1.04
52	29	25.11	25.11	1.30	26-52	1.73
78	28	36.40	36.40	11.29	52-78	25.89
104	22	38.13	38.13	1.73	78-104	9.47
130	18	38.99	38.99	0.86	104-130	1.31
156	15.5	40.30	40.30	1.31	130-156	0.86
				40.30	Tc=1.5	he=17.5
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50.0 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	70	30.31	30.31	30.31	0-26	0.66
52	35	30.31	30.31	0.00	26-52	2.59
78	30	39.00	39.00	8.69	52-78	32.26
104	24	41.59	41.59	2.59	78-104	4.79
130	19.5	42.24	42.24	0.65	104-130	1.95
156	16.5	42.90	42.90	0.66	130-156	0.65
				42.90	Tc=1.08	he=18.7

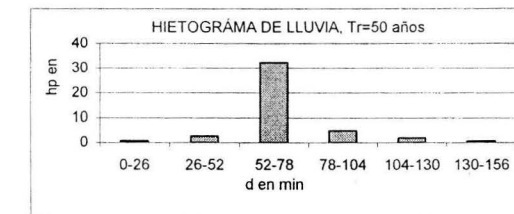
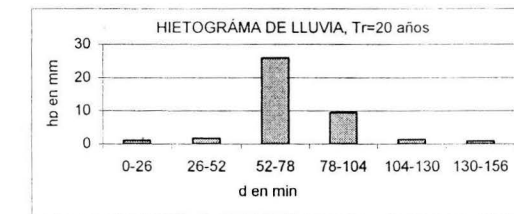
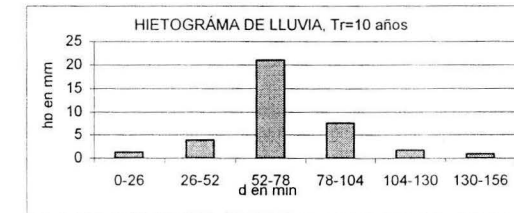
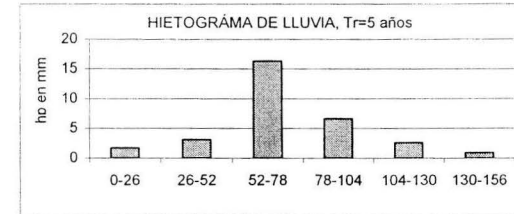
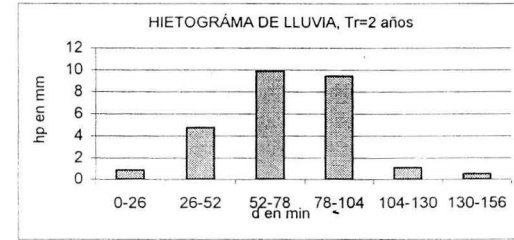


Tabla A.18 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 20 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22	9.53	9.53	9.53	0-26	0.70
52	21	18.19	18.19	8.66	26-52	6.17
78	20	26.00	26.00	7.81	52-78	9.96
104	16	27.73	27.73	1.73	78-104	9.87
130	13	28.16	28.16	0.43	104-130	1.73
156	11.1	28.86	28.86	0.70	130-156	0.43
				28.86	Tc=1.3	he=12.55

<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	34	14.72	14.72	14.72	0-26	0.53
52	25	21.65	21.65	6.93	26-52	6.82
78	23.5	30.55	30.55	8.90	52-78	16.40
104	18.5	32.06	32.06	1.51	78-104	7.49
130	15	32.49	32.49	0.43	104-130	1.51
156	12.7	33.02	33.02	0.53	130-156	0.43
				33.02	Tc=0.43	he=14.4

<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	45	19.49	19.49	19.49	0-26	0.86
52	26	22.52	22.52	3.03	26-52	5.28
78	26	33.80	33.80	11.28	52-78	21.04
104	22	38.13	38.13	4.33	78-104	7.48
130	18	38.99	38.99	0.86	104-130	4.33
156	15.3	39.78	39.78	0.79	130-156	0.79
				39.78	Tc=0.87	he=17.3

<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	50	21.65	21.65	21.65	0-26	2.16
52	29	25.11	25.11	3.46	26-52	8.86
78	29	37.70	37.70	12.59	52-78	25.89
104	23	39.86	39.86	2.16	78-104	28.84
130	19	41.15	41.15	1.29	104-130	2.94
156	16	41.60	41.60	0.45	130-156	0.45
				41.60	Tc=0.87	he=18.1

<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	65	28.15	28.15	28.15	0-26	1.31
52	34	29.44	29.44	1.30	26-52	2.16
78	32	41.60	41.60	12.16	52-78	32.26
104	25	43.33	43.33	1.73	78-104	8.26
130	21	45.49	45.49	2.16	104-130	1.73
156	18	46.80	46.80	1.31	130-156	1.08
				46.80	Tc=1.3	he=20.3

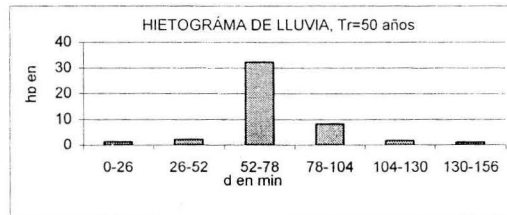
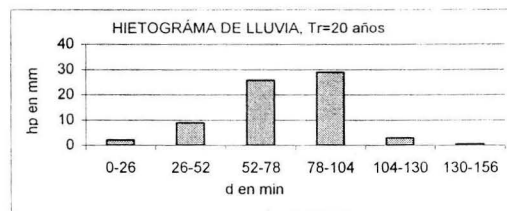
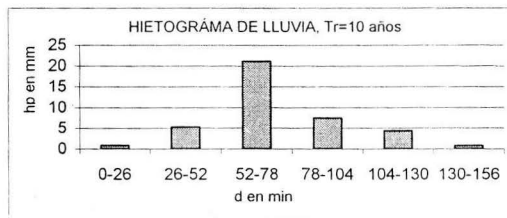
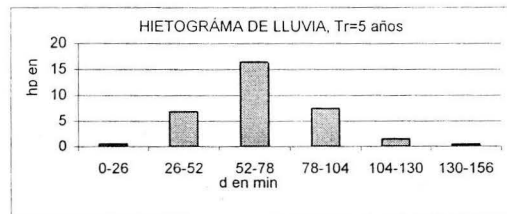
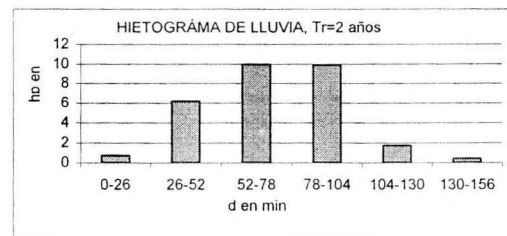


Tabla A.18 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 25 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.87	0-26	1.08
52	22.3	19.31	19.31	9.44	26-52	3.90
78	17	22.10	22.10	2.79	52-78	9.87
104	15	26.00	26.00	3.90	78-104	9.44
130	12.5	27.08	27.08	1.08	104-130	2.79
156	10.7	27.82	27.82	0.75	130-156	0.75
				27.82	Tc=1.92	he=12.1
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	0.77
52	29.2	25.29	25.29	9.05	26-52	2.01
78	21	27.30	27.30	2.01	52-78	16.24
104	16.2	28.07	28.07	0.77	78-104	9.05
130	13.5	29.24	29.24	1.17	104-130	1.17
156	11.5	29.90	29.90	0.66	130-156	0.66
				29.90	Tc=0.43	he=13.6
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.5	21.00	21.00	21.00	0-26	0.86
52	32.3	27.97	27.97	6.97	26-52	0.88
78	22	28.60	28.60	0.63	52-78	21.00
104	17	29.46	29.46	0.86	78-104	6.97
130	14	30.32	30.32	0.86	104-130	0.86
156	12	31.20	31.20	0.88	130-156	0.83
				31.20	Tc=0.43	he=13.6
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	1.37
52	35.2	30.48	30.48	4.59	26-52	1.74
78	24.5	31.85	31.85	1.37	52-78	25.89
104	19	32.93	32.93	1.08	78-104	4.59
130	16	34.66	34.66	1.73	104-130	1.73
156	14	36.40	36.40	1.74	130-156	1.08
				36.40	Tc=2.16	he=15.83
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	0.46
52	40	34.64	34.64	2.38	26-52	2.18
78	27	35.10	35.10	0.46	52-78	32.26
104	21	36.39	36.39	1.29	78-104	2.38
130	17	36.82	36.82	0.43	104-130	1.29
156	15	39.00	39.00	2.18	130-156	0.43
				39.00	Tc=0.43	he=17

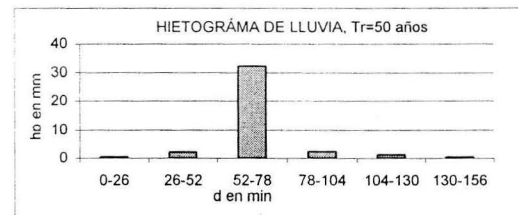
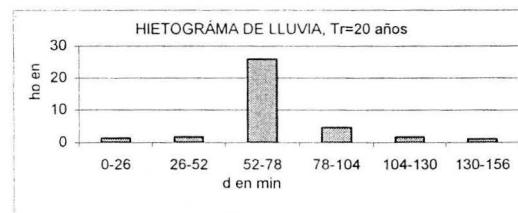
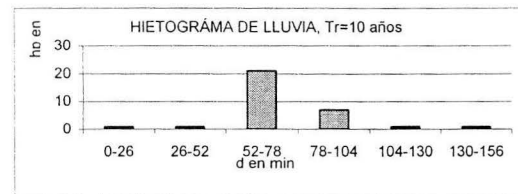
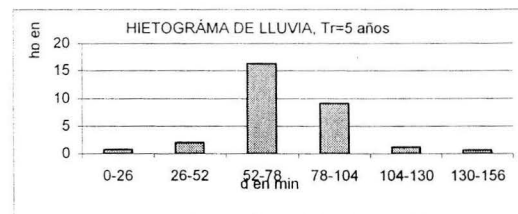
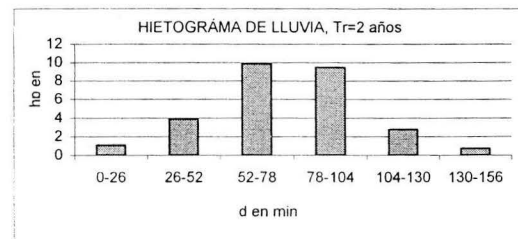
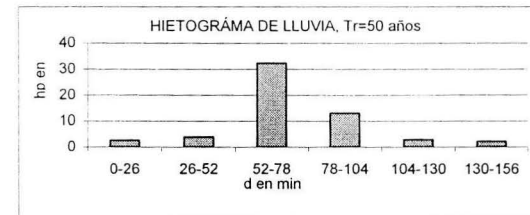
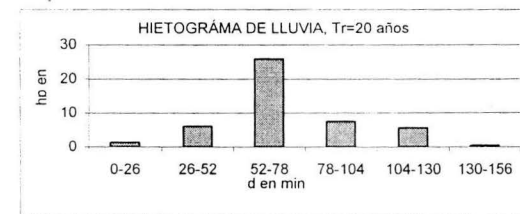
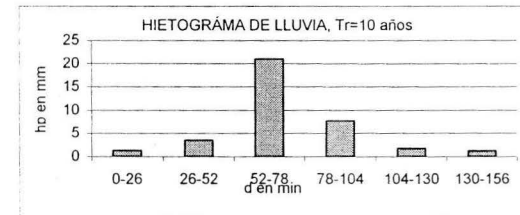
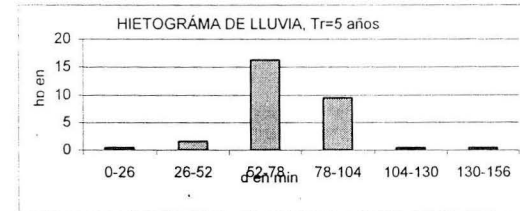
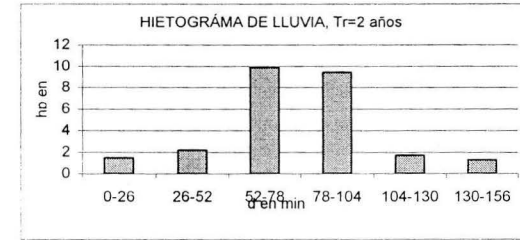




Tabla A.18 (continuación).

<b>Hietogramas de lluvias, para la serie de 32 años</b>						
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 2 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	22.8	9.87	9.87	9.87	0-26	1.49
52	22.3	19.31	19.31	9.44	26-52	2.17
78	16	20.80	20.80	1.49	52-78	9.87
104	13	22.53	22.53	1.73	78-104	9.44
130	11	23.83	23.83	1.30	104-130	1.73
156	10	26.00	26.00	2.17	130-156	1.3
				26.00	Tc=0.87	he=11.3
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 5 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	37.5	16.24	16.24	16.24	0-26	0.43
52	29.7	25.72	25.72	9.48	26-52	1.53
78	21	27.30	27.30	1.58	52-78	16.24
104	16	27.73	27.73	0.43	78-104	9.48
130	13	28.16	28.16	0.43	104-130	0.44
156	11	28.60	28.60	0.44	130-156	0.43
				28.60	Tc=0.87	he=12.43
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 10 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	48.5	21.00	21.00	21.00	0-26	1.29
52	33.1	28.66	28.66	7.66	26-52	3.46
78	23	29.90	29.90	1.24	52-78	21.00
104	18	31.19	31.19	1.29	78-104	7.66
130	16	34.66	34.66	3.46	104-130	1.74
156	14	36.40	36.40	1.74	130-156	1.24
				36.40	Tc=0.87	he=15.8
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 20 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	59.8	25.89	25.89	25.89	0-26	1.31
52	36.4	31.52	31.52	5.63	26-52	6.06
78	30	39.00	39.00	7.48	52-78	25.89
104	26	45.06	45.06	6.06	78-104	7.48
130	21	45.49	45.49	0.43	104-130	5.63
156	18	46.80	46.80	1.31	130-156	0.43
				46.80	Tc=1.52	he=20.3
<b>LLUVIAS DE 2.6 hrs. DE DURACIÓN Y Tr = 50 años</b>						
DURACIÓN	INTESIDAD	hp LEIDO	Hp	Hp ACUMU.	TIEMPO	PRECI.
en min	en mm/h	en mm	en mm	en mm	en horas	en mm
26	74.5	32.26	32.26	32.26	0-26	2.61
52	40.6	35.16	35.16	2.90	26-52	3.89
78	37	48.10	48.10	12.94	52-78	32.26
104	30	51.99	51.99	3.89	78-104	12.94
130	25	54.15	54.15	2.16	104-130	2.90
156	21	54.60	54.60	2.61	130-156	2.16
				56.76	Tc=1.08	he=24.7



Tablas A.19 Relación de la lluvia de una hora y la de 24 horas (cociente "R"), para distintas estaciones localizadas en la República Mexicana

Estación Aguascalientes, A.G.S.				Estación Cd. Constitución, B.C.S.			Estación Loreto, B.C.S.		
Ubicación	Lat. 21° 18'	Lon. 102° 18'		Ubicación	Lat. 25° 39'	Lon. 111° 39'	Ubicación	Lat. 26° 00'	Lon. 110° 81'
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años
1	0.494	0.495	0.507	1	0.463	0.476	1	0.795	0.557
2	0.528	0.509	0.504	2	0.447	0.469	2	0.632	0.556
3	0.532	0.53	0.524	3	0.522	0.49	3	0.6	0.582
4	0.542	0.529	0.51	4	0.464	0.474	4	0.553	0.584
5	0.557	0.536	0.507	5	0.49		5	0.549	
6	0.533	0.54		6	0.492		6	0.531	
7	0.57	0.542		7	0.497		7	0.53	
8	0.553	0.535		8	0.521		8	0.579	
9	0.502	0.482		9	0.491		9	0.543	
10	0.516	0.481		10					
11	0.518								
12	0.471								
13	0.507								
14	0.47								
15	0.45								
Máx.	0.57	0.542	0.524		0.522	0.476		0.795	0.584
Mín.	0.45	0.481	0.504		0.447	0.469		0.53	0.584
Función:	Gumbel por Momentos-L			Gumbel por Momentos			Gamma 3 M.P.P.		
Coef. R.	0.49			0.475			0.644		

Estación Holpechen, Campeche.				Estación San Antinio B.C.S.			Estación Chihuahua, CHI.		
Ubicación	Lat. 20° 00'	Lon. 89° 49'		Ubicación	Lat. 23° 49'	Lon. 110° 03'	Ubicación	Lat. 28° 38'	Lon. 106° 05'
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años
1	0.57	0.562	0.56	1	0.724	0.71	1	0.469	0.531
2	0.587	0.55	0.57	2	0.727	0.735	2	0.531	0.583
3	0.561	0.54	0.545	3	0.72	0.72	3	0.521	0.571
4	0.545	0.524		4	0.704	0.776	4	0.542	
5	0.525	0.508		5	0.721		5	0.579	
6	0.552	0.553		6	0.668		6	0.636	
7	0.53	0.545		7	0.72		7	0.621	
8	0.525	0.579		8	0.694		8	0.649	
9	0.53			9	0.752				
10	0.551								
11	0.527								
12	0.53								
Máx.	0.583	0.579	0.56		0.752	0.776		0.469	0.531
Mín.	0.552	0.552	0.545		0.668	0.71		0.649	0.583
Función:	Gumbel por Momentos-L			Gumbel por Momentos			Gumbel por Momentos-L		
Coef. R.	0.547			0.644			0.54		

Tabla A.19 (continuación)

Estación Torreón, Coahuila.					Estación Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo				
Ubicación	Lat. 25° 32'	Lon. 102° 49'			Ubicación	Lat. 25° 25'	Lon. 101°		
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	
1	0.594	0.59	0.634	0.596	1	0.724	0.633	0.61	
2	0.682	0.619	0.643	625	2	0.68	0.647	0.627	
3	0.67	0.62	0.69	601	3	0.708	0.644	0.622	
4	0.755	0.683	0.651		4	0.669	0.647	0.659	
5	0.753	0.701	0.663		45	0.571	0.594		
6	0.67	0.701	0.637		6	0.554	0.587		
7	0.681	0.687	0.655		7	0.635	0.621		
8	0.67	0.662	0.622		8	0.646	0.622		
9	0.668	0.633			9	0.604	0.644		
10	0.675	0.636			10	0.548			
12	0.663	0.594			11	0.519			
13	0.607	0.592			12	0.594			
14	0.591	0.562			13	0.666			
15	0.568				14	0.621			
16	0.584								
17	0.603								
18	0.631								
19	0.573								
Máx.	0.681	0.701	0.663	0.625		0.724	0.647		
Mín.	0.573	0.562	0.622	0.596		0.519	0.587	0.659	
Función:	Gumbel por Momentos-L					Gamma 3 M.P.P.			
Coef. R.	0.582					0.677			0.622

Estación Tapachula, Chis.					Estación San Jerónimo, Chis.				
Ubicación	Lat. 14° 56'	Lon. 92° 16'			Ubicación	Lat. 15° 03'	Lon. 92° 10'		
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	
1	0.44	0.485	0.469	0.497	1	0.834	0.692	0.581	
2	0.461	0.503	0.493	0.509	2	0.801	0.662	0.653	
3	0.449	0.465	0.492	0.505	3	0.744	0.65	0.641	
4	0.463	0.48	0.499		4	0.721	0.617	0.64	
5	0.453	0.443	0.498		5	0.667	0.606	0.642	
6	0.522	0.502	0.526		6	0.625	0.6		
7	0.571	0.529	0.541		7	0.584	0.584		
8	0.512	0.535	0.537		8	0.558	0.576		
9	0.506	0.525			9	0.522			
10	0.503	0.544			10	0.499			
11	0.518	0.538			11	0.51			
12	0.543	0.539			12	0.513			
13	0.557	0.54			13	0.551			
14	0.558				14	0.572			
15	0.546								
16	0.525								
17	0.528								
18	0.567								
Máx.	0.571	0.544	0.541	0.509		0.834	0.692	0.653	
Mín.	0.44	0.443	0.469	0.497		0.499	0.576	0.64	
Función:	Gamma 3 M.P.P.					Gumbel por Momentos-L			
Coef. R.	0.5					0.663			

Tabla A.19 (continuación)

Estación Tacubaya, D.F.					Estación Pijjiapan, Chis.			
Ubicación	Lat. 19° 24'	Lon. 99° 12'			Ubicación	Lat. 15° 14'	Lon. 94° 11'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	
1	0.676	0.618	0.642	0.65	1	0.688	0.623	
2	0.638	0.627	0.658	0.642	2	0.686	0.618	
3	0.606	0.638	0.653	0.652	3	0.641		
4	0.685	0.656	0.664		4	0.62		
5	0.675	0.633	0.652		5	0.609		
6	0.636	0.67	0.673		6	0.596		
7	0.637	0.694	0.663		7	0.545		
8	0.632	0.676	0.671					
9	0.638	0.678						
10	0.65	0.682						
11	0.648	0.7						
12	0.79	0.734						
13	0.788	0.741						
14	0.724							
15	0.719							
16	0.763							
17	0.737							
18	0.719							
Máx.	0.79	0.618	0.673	0.652		0.688	0.623	
Mín.	0.606	0.741	0.642	0.642		0.545	0.618	
Función:	Gneral de Valores Extremos				Gamma 3 M.P.P.			
Coef. R.	0.655				0.611			
Estación Manzanillo, Colima.					Estación Colima, Colima.			
Ubicación	Lat. 18° 21'	Lon. 114° 44'			Ubicación	Lat. 19° 14'	Lon. 103° 45'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años
1	0.401	0.427	0.429	0.449	1	0.4449	0.434	0.473
2	0.434	0.433	0.458	0.444	2	0.495	0.477	0.505
3	0.487	0.478	0.484	0.473	3	0.431	0.453	
4	0.508	0.465	0.484		4	0.434	0.471	
5	0.446	0.44	0.481		5	0.412	0.469	
6	0.472	0.46	0.478		6	0.52	0.545	
7	0.45	0.477	0.455		7	0.538	0.549	
8	0.508	0.507	0.488		8	0.507		
9	0.472	0.497			9	0.518		
10	0.429	0.486			10	0.532		
11	0.457	0.483			11	0.514		
12	0.482	0.452			12	0.533		
13	0.484	0.466						
14	0.467							
15	0.423							
16	0.488							
17	0.464							
18	0.468							
Máx.	0.523	0.507	0.488	0.473		0.538	0.549	0.505
Mín.	0.401	0.427	0.429	0.444		0.412	0.434	0.473
Función:	Gumbel por Momentos-L				Log-Pearson 3 M.I.			
Coef. R.	0.448				0.477			

Tabla A.19 (continuación)

Estación El Palmito, Durango.			Estación Guanajuato Gto.			Estación Chilpancingo Gro.			
Ubicación	Lat. 25° 31'	Lon. 104° 44'	Ubicación	Lat. 21° 01'	Lon. 101° 15'	Ubicación	Lat. 17° 33'	Lon. 94° 30'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	
1	0.621	0.625	1	0.477	0.527	1	0.577	0.569	
2	0.639	0.614	2	0.494	0.522	2	0.587	0.569	
3	0.618	0.627	3	0.48	0.517	3	0.611	0.574	
4	0.644	0.626	4	0.523	0.523	4	0.635	0.543	
5	0.612	0.607	5	0.544		5	0.556		
6	0.565	0.603	6	0.572		6	0.543		
7	0.544		7	0.554		7	0.547		
8	0.558		8	0.536		8	0.533		
9	0.61		9	0.524		9	0.507		
10	0.611					10	0.537		
11	0.622					11	0.448		
Máx.	0.644	0.641		0.577	0.527		0.635	0.574	
Mín.	0.544	0.603		0.477	0.517		0.488	0.543	
Función:	Gamma 3 M.P.P.		General de Valores Extremos						
Coef. R.	0.643		0.517						
Estación Pachuca, Hidalgo.				Estación Guadalajara, Jal.					
Ubicación	Lat. 20° 09'	Lon. 98° 27'				Ubicación	Lat. 20° 43'	Lon. 103° 23'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años		No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años
1	0.584	0.466	0.477	0.466		1	0.607	0.605	0.58
2	0.472	0.443	0.462	0.463		2	0.602	0.608	0.599
3	0.504	0.459	0.46	0.473		3	0.589	0.7	0.609
4	0.51	0.446	0.481			4	0.591	0.581	0.618
5	0.498	0.494	0.491			5	0.626	0.596	
6	0.428	0.466	0.456			6	0.617	0.581	
7	0.463	0.481	0.481			7	0.616	0.601	
8	0.497	0.844	0.497			8	0.577	0.63	
9	0.429	0.486				9	0.593	0.641	
10	0.504	0.494				10	0.577		
11	0.487	0.482				11	0.552		
12	0.457	0.473				12	0.592		
13	0.419	0.463				13	0.628		
14	0.456					14	0.645		
15	0.488								
16	0.475								
17	0.49								
18	0.483								
Máx.	0.51	0.494	0.497	0.473			0.645	0.641	0.618
Mín.	0.419	0.443	0.456	0.463			0.552	0.57	0.58
Función:	Gamma 2 Por Momentos					Gamma 2 por Momentos-L			
Coef. R.	0.486					0.613			

Tabla A.19 (continuación)

Estación Toluca Edo. de México.					Estación Morelia, Mich.				
Ubicación	Lat. 19° 18'	Lon. 99° 40'				Ubicación	Lat. 19° 42'	Lon. 101° 11'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	
1	0.549	0.564	0.517	0.523	1	0.53	0.572	0.544	
2	0.538	0.496	0.51	0.508	2	0.561	0.595	0.528	
3	0.513	0.497	0.515	0.512	3	0.532	0.565	0.541	
4	0.594	0.542	0.535		4	0.52	0.528	0.508	
5	0.607	0.517	0.519		5	0.582	0.552		
6	0.613	0.529	0.532		6	0.607	0.557		
7	0.532	0.535	0.525		7	0.682	0.562		
8	0.567	0.56	0.544		8	0.656	0.591		
9	0.535	0.526			9	0.649	0.576		
10	0.509	0.514			10	0.606			
11	0.481	0.503			11	0.549			
12	0.48	0.488			12	0.495			
13	0.508	0.506			13	0.539			
14	0.483				14	0.489			
15	0.445								
16	0.466								
17	0.508								
18	0.513								
Máx.	0.613	0.564	0.544	0.523		0.682	0.595	0.544	
Mín.	0.445	0.488	0.51	0.508		0.489	0.528	0.508	
Función:	Gamma 2 por Momentos-L					Gumbel por Momentos-L			
Coef. R.	0.527					0.536			

Estación Linares Nuevo León.					Estación Cuernavaca, Mor.				
Ubicación	Lat. 24° 52'	Lon. 99° 34'				Ubicación	Lat. 18° 55'	Lon. 99° 15'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años		
1	0.669	0.607	0.574	0.531	1	0.8	0.71		
2	0.598	0.56	0.515	0.515	2	0.752	0.708		
3	0.599	0.53	0.483	0.499	3	0.736	0.668		
4	0.57	0.556	0.469	0.511	4	0.667	0.674		
5	0.568	0.558	0.481	0.511	5	0.726	0.712		
6	0.576	0.545	0.497	0.518	6	0.684	0.725		
7	0.581	0.502	0.503		7	0.764			
8	0.538	0.461	0.487		8	0.729			
9	0.559	0.432	0.495		9	0.673			
10	0.496	0.408	0.47		10	0.717			
11	0.463	0.423	0.473		11	0.764			
12	0.373	0.417							
13	0.366	0.437							
14	0.379	0.486							
15	0.387	0.48							
16	0.407	0.484							
17	0.396								
18	0.394								
19	0.483								
20	0.486								
21	0.527								
Máx.	0.669	0.607	0.574	0.531		0.8	0.725		
Mín.	0.366	0.408	0.469	0.499		0.667	0.668		
Función:	Gamma 3 M.P.P.					Gamma 3 M.P.P.			
Coef. R.	0.542					0.729			

Tabla A.19 (continuación)

Estación Tepic Nayarit.					Estación Oaxaca, Oaxaca.				
Ubicación	Lat. 21° 03'	Lon. 105° 18'				Ubicación	Lat. 17° 04'	Lon. 96° 23'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años		No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	
1	0.505	0.564	0.504	0.533		1	0.717	0.646	0.591
2	0.493	0.545	0.515	0.528		2	0.752	0.652	0.605
3	0.495	0.528	0.512	0.528		3	0.702	0.636	0.58
4	0.547	0.533	0.528			4	0.654	0.595	0.562
5	0.568	0.516	0.521			5	0.613	0.577	
6	0.634	0.538	0.564			6	0.632	0.565	
7	0.658	0.573	0.574			7	0.608	0.565	
8	0.59	0.54	0.552			8	0.567	0.524	
9	0.537	0.516				9	0.506	0.497	
10	0.477	0.494				10	0.488		
11	0.5	0.553				11	0.488		
12	0.534	0.546				12	0.49		
13	0.524	0.547				13	0.485		
14	0.502					14	0.488		
15	0.48								
16	0.56								
17	0.546								
18	0.646								
Máx.	0.658	0.573	0.574	0.533			0.752	0.652	0.605
Mín.	0.477	0.494	0.504	0.528			0.485	0.497	0.562
Función:	General de Valores Extremos						Gamma 2 por Momentos-L		
Coef. R.	0.529						0.572		

Estación Puebla, Puebla.					Estación Chetumal, Quintana Roo.				
Ubicación	Lat. 19° 02'	Lon. 98° 12'				Ubicación	Lat. 18° 30'	Lon. 88° 19'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años		No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años
1	0.626	0.676	0.649	0.648		1	0.402	0.388	0.395
2	0.605	0.697	0.687	0.679		2	0.389	0.39	0.384
3	0.674	0.697	0.685			3	0.36	0.365	0.367
4	0.737	0.735	0.672			4	0.363	0.367	
5	0.706	0.681	0.65			5	0.333	0.64	
6	0.696	0.638	0.636			6	0.369	0.385	
7	0.717	0.689	0.673			7	0.383	0.377	
8	0.618	0.631				8	0.361	0.365	
9	0.607	0.583				9	0.37		
10	0.598	0.589				10	0.375		
11	0.621	0.616				11	0.389		
12	0.701	0.67				12	0.379		
13	0.669					13	0.375		
14	0.594								
15	0.563								
16	0.527								
17	0.588								
Máx.	0.737	0.735	0.687	0.679			0.402	0.39	0.395
Mín.	0.527	0.583	0.636	0.648			0.333	0.364	0.367
Función:	General de Valores Extremos por Momentos-L						Log-Normal por Momentos		
Coef. R.	0.665						0.385		

Tabla A.19 (continuación)

Estación Culiacán, Sinaloa.			Estación Río Verde, San Luis Potosí.				Estación San Fernando, Tams.		
Ubicación	Lat. 24° 44'	Lon. 107° 24'					Ubicación	Lat. 24° 05'	Lon. 98° 09'
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años		No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años
1	0.621		1	0.362	0.379	0.343	1	0.525	0.496
2	0.613		2	0.331	0.349	0.362	2	0.526	0.486
3	0.605		3	0.306	0.327	0.369	3	0.482	0.488
4	0.617		4	0.327	0.375	0.387	4	0.493	0.495
5	0.576		5	0.359	0.39	0.391	5	0.521	0.514
			6	0.425	0.407		6	0.443	
			7	0.415	0.414		7	0.425	
			8	0.378	0.423		8	0.443	
			9	0.407	0.412		9	0.491	
			10	0.409	0.41		10	0.486	
			11	0.372					
			12	0.391					
			13	0.432					
			14	0.427					
			15	0.396					
<b>Máx</b>	<b>0.621</b>			<b>0.432</b>	<b>0.423</b>	<b>0.391</b>		<b>0.526</b>	<b>0.514</b>
<b>Min.</b>	<b>0.576</b>			<b>0.306</b>	<b>0.327</b>	<b>0.343</b>		<b>0.425</b>	<b>0.486</b>
<b>Función:</b>	<b>Gamma 2 por Momentos-L</b>			<b>Gamma 3 M.P.P.</b>				<b>Log-Normal por Momentos</b>	
<b>Coef. R.</b>	<b>0.601</b>							<b>0.527</b>	
Estación Cd. Obregón Sonora.			Estación Talxcala, Tlaxcala.						
Ubicación	Lat. 27° 29'	Lon. 109° 56'				Ubicación	Lat. 19° 19'	Lon. 98° 09'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años		No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	Tamaño de la muestra 25 años
1	0.591	0.613	0.586		1	0.667	0.655	0.63	0.677
2	0.648	0.619	0.596		2	0.703	0.672	0.65	0.684
3	0.692	0.662	0.624		3	0.681	0.678	0.652	0.689
4	0.683	0.636			4	0.656	0.633	0.67	
5	0.7	0.607			5	0.668	0.634	0.677	
6	0.717	0.644			6	0.653	0.62	0.68	
7	0.651	0.609			7	0.698	0.659	0.702	
8	0.676	0.617			8	0.697	0.654	0.702	
9	0.657				9	0.644	0.688	0.702	
10	0.594				10	0.622	0.687		
11	0.581				12	0.585	0.68		
12	0.541				13	0.595	0.672		
13	0.546				14	0.622	0.697		
					15	0.68			
					16	0.689			
					17	0.712			
					18	0.702			
					19	0.703			
<b>Máx</b>	<b>0.717</b>	<b>0.662</b>	<b>0.624</b>			<b>0.712</b>	<b>0.697</b>	<b>0.702</b>	<b>0.689</b>
<b>Min.</b>	<b>0.541</b>	<b>0.607</b>	<b>0.586</b>			<b>0.585</b>	<b>0.62</b>	<b>0.63</b>	<b>0.677</b>
<b>Función:</b>	<b>Gamma 2 por Momentos-L</b>					<b>Gamma 2 por Momentos-L</b>			
<b>Coef. R.</b>	<b>0.588</b>					<b>0.689</b>			



Tabla A.19 (continuación)

Estación Tuxpan, Veracruz.			Estación La Bufadora, Zacatecas.		
Ubicación	Lat. 20° 57'	Lon. 97° 57'			
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años
1	0.57	0.554	1	0.511	0.478
2	0.531	0.54	2	0.498	0.455
3	0.531	0.546	3	0.504	0.448
4	0.546	0.58	4	0.486	0.457
5	0.529	0.511	5	0.431	0.44
6	0.496	0.456	6	0.385	
7	0.473		7	0.359	
8	0.505		8	0.406	
9	0.578		9	0.417	
10	0.437		10	0.436	
11	0.4				
Máx	0.578	0.58		0.511	0.478
Mín.	0.4	0.456		0.359	0.44
Función:	Gamma 3 M.P.P.		General de Valores Extremos		
Coef. R.	0.689			0.467	

Estación Villa Hermosa, Tabasco.				Estación Mérida, Yucatan.			
Ubicación	Lat. 17° 59'	Lon. 92° 55'		Ubicación	Lat. 20° 36'	Lon. 90° 00'	
No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años	No. de Muestra	Tamaño de la muestra 10 años	Tamaño de la muestra 15 años	Tamaño de la muestra 20 años
1	0.553	0.578	0.586	1	0.627	0.626	0.605
2	0.528	0.543	0.547	2	0.612	0.603	0.593
3	0.515	0.524	0.547	3	0.589	0.609	0.578
4	0.49	0.544	0.553	4	0.608	0.598	0.569
5	0.527	0.548	0.535	5	0.607	0.575	0.58
6	0.558	0.546		6	0.621	0.593	0.6
7	0.593	0.502		7	0.63	0.607	0.616
8	0.553	0.555		8	0.65	0.594	0.631
9	0.577	0.569		9	0.62	0.573	
10	0.547	0.524		10	0.576	0.582	
11	0.54				0.581	0.594	
12	0.504				0.573	0.596	
13	0.577				0.567	0.624	
14	0.634				0.534		
15	0.559				0.553		
					0.5582		
					0.604		
					0.613		
Máx	0.634	0.578	0.586		0.65	0.626	0.631
Mín.	0.49	0.502	0.535		0.534	0.573	0.569
Función:	Gamma 3 M.P.P.			Gumbel por Momentos-L			
Coef. R.	0.564				0.621		

Tabla A.19 (continuación)

<b>Estación Villa Hermosa, Tabasco.</b>			
<b>Ubicación</b>	<b>Lat. 17° 59'</b>	<b>Lon. 92° 57'</b>	
<b>No. de Muestra</b>	<b>Tamaño de la muestra 10 años</b>	<b>Tamaño de la muestra 15 años</b>	<b>Tamaño de la muestra 20 años</b>
1	0.685	0.64	0.615
2	0.671	0.646	0.633
3	0.681	0.629	
4	0.648	0.637	
5	0.612	0.59	
6	0.624	0.595	
7	0.609	0.602	
8	0.577		
9	0.569		
10	0.537		
11	0.532		
12	0.591		
<b>Máx</b>	<b>0.685</b>	<b>0.646</b>	<b>0.633</b>
<b>Min.</b>	<b>0.537</b>	<b>0.59</b>	<b>0.615</b>
<b>Función:</b>	<b>Gumbel por Momentos-L</b>		
<b>Coef. R.</b>	<b>0.632</b>		

## REFERENCIAS.

1. Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J., Hidrology for Ingenierrs. Second edition, McGraw-Hill Book Co., 1975.
2. D. F. Campos Aranda. Procesos del Ciclo Hidrológico Universidad de San Luis Potosí México 1985.
3. Ven Te Chow., Hidrología Aplicada mc Graw-Hill México 1993.
4. Francisco J Aparicio Mijarez., Fundamentos de Hidrlogía de Superficie LIMUSA, 1987.
5. U.S. Weather Bureau Precipitation Techniques, key meteorol. Rec. Doc. 1958
6. U.S. . Weather Bureau History of weather Bureau Precipitation Measurements. key Meteorol. Rec. Doc. 1963.
7. Battan, L. J., Radar Observation of the Atmosphere, University of Chicago.1973.
8. Springall, R., Hidrología, Primera parte, Publicación D7 Instituto de Ingeniería UNAM. México 1970.
9. Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J., Applied Hydrology, McGraw\_Hill Book Co. New Delhi ,1975.
10. Sánchez, J. Chargoy, E. y Domínguez, R., Aplicación de los sistemas de informática en la previsión de hidrográmas. Instituto de Ingeniería UNAM. México 1976.
11. Chargoy, E. Análisis de Precipitaciones, Hidrometeorología Fac. de Física, Universidad Veracruzana, México 1978.
12. Lucer. O., Diseño de redes y tratamiento de información pluviométrica con fines hidrológicos. Hidrometeorología Fac. de Física, Universidad Veracruzana, Jalapa México 1979.
13. Domínguez, R., Ramírez, G. ,y González, C. Red Hidrometeorológica nacional Instituto de Ingeniería UNAM. México 1976.
14. Gumbel. E. J. The return period of flood flows. Ann. Math Stat. Vol. 12 1941.
15. C: F. E Manual de Diseño de obras Civiles. "HIDROTECNIA": A.I.1, A.I.2, A.I.3, A.I.4, A.I.5, A.I.6 y A.I.7. México 1982.

16. Weisner, C. , Hydrometeorology, Chapman and Hall ILtd, Great Britain. 1970.
17. D. F. Campos Aranda. Procesos del Ciclo Hidrológico Universidad de San Luis Potosí México 1985.
18. U.S. . Weather Bureau History of weather Bureau Precipitation Measurements. key Meteorol. Rec. Doc. 1963.
19. C. F. E. Hidrología y Climatología, de la Cuenca del río Grijalva, México 1973.
20. Wisler, C., and Brater, E., Hidrology, John Wiley and sons Inc., New York, 1963.
21. M. A. Benson, Characteristics of Frecuency Curves Based on a Teorical 1000- Year Record, U. S. Geol. Surv. Water- Supple, 1952.
22. M. A. Benson, Ploting Positions and Economics of Engineering Planning, J. Hdraulic. Div. A. S. C. E., 1962.
23. M. A. Benson, Evolution of Methods for Evaluating the Occurrence of Floods, U. s. Geol. Surv. Water-Sopply, 1962.
24. M. Meletojevich, Estimation Flood Flows using Mathematical Statistics, Int. Assoc. Sci. Hydrology, 1967.
25. W. Weibull A Statistical of the Strength of Materials, Ing.Vetnskapsakad. Handl. Vol. 15, 1939.
26. Methods of Flow Frecuency Analysis, Subcomm. Hidrologic., Inter-Agency Comm. Water Resour., Washinton, 1966.
27. H. A. Thomas, Jr. Frecuency of Minor Floods, J. Boston Soc. Civ Enginieer, Vol 35, 1948.
28. V. T. Chow, A general Formula Hidrologic Frecuency Analysis, Trnas. Am. Geophys. Union, Vol. 32, 1951.
29. F. A. Huff and J. C. Neill, Comparison of Several Methods for Rainfall Frecuency Analysis, Geophys. Res. Vol. 67, 1959.
30. R. D. Markovic, Probability Funtions of Best Fit to Distributions of Annual Precipitation and Runoff, Colo. State Univ. Hydrol., 1965.
31. Miller, I y Freun, J. Probabilidad y Estadística para Ingenieros, Ed. Reverte Mexicana, S. A. México, 1973.
32. Benjamin, J. And Cornell, A., Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers, McGraw-Hill book co, New York, 1970.

33. Yevjevich, V., Stochastic Processes in Hidrology, Water Resources Publications, For Collins, 1972.
34. Domínguez, R., Un modelo de generacion de muestras sintéticas de volúmenes Mensuales en un río, Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1971.
35. González, F., Análisis Estadístico y Probabilístico de Datos Hidrológicos Cap. 8 Apuntes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1975.
36. Fiaco, A. And McCormick, Non Linear Programming, Research Analysis Corporation, John Wiley & Sons, New York, 1969.
37. Gumbel, E., Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York, 1978.
38. Pinedo, F., Pronóstico de Avenidas, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería UNAM, 1979.
39. C: F: E: Manual de Diseño de Obras Civiles, Hidrotecnia A.1.6, Análisis Estadístico, 1982.
40. R. E. Horton, Erosional Development of Streams, Geol. Soc. Am. Bull., vol. 56, New York, 1945.
41. L. B. Leopold, M. G. Wolman, and J. P. Miller, Fluvial Processes in Hydrology,, Freeman, San Francisco, 1964.
42. J. T. Hack, Studies of Longitudinal Stream Profiles in Virginia and Maryland, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 294-B, 1957.
43. R. E. Horton, Drainage Basin Characteristics, Trans. Am. Geophys. Union, vol. 13, 1932.
44. S. A. Schuman, Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey, Bull. Geol. Soc. Am., vol. 67, 1956.
45. R. J. Chorley, D. E. G. malm, and H. A. Pogorzelski, A New Standar for Estimating Drainage Basin Shape, Am. J. Sci., vol. 255, 1957.
46. B. Taylor and H. E. Schwarz, Unit-Hydrograph Lag and Peak Flow Related to Drainage Basin Characteristics, Trans. Am. Geophys. Union, vol. 33, April 1952.
47. L. B. Leopold and T. G. Maddock, The hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 252, 1953.

48. J. B. Stall and Y. S. Fok, Hydraulic Geometry of Illinois Streams, Univ. Ill. Water Resour. Cent. Res. Rep. 15, July 1968.
49. J. F. Friedkin, A Laboratory Study of the Meandering of Alluvial Rivers, U. S. Waterw. Eng. Exp. Stn., 1945.
50. C. T. Yang, Potential Energy and Stream Morphology, Water Resour. Res., vol. 7, April 1971.
51. C. T. Yang, on River Meanders, J. Hydrol., vol. 13; See (2). July 1971.
52. M. Nixon, A Study of the Bankfull Discharges of Rivers in England and Wales, Proc. Inst. Civ. Eng., 1959.
53. BLENCH, T.: "Regime Behaviour of Rivers and Canals," Butterworth's, London, 1957.
54. LELIAVSKI, S.: "Introduction to Fluvial Hydraulics," Constable, London, 1955.
55. LOBECK, A. K.: "Geomorphology: An Introduction to the Study of Landscapes," McGraw-Hill, New York, 1939.
56. NEMEC, J.: "Engineering Hydrology," Mc Graw-Hill, London, 1972
57. STRAHLER, A. N.: Dynamic Basis for Geomorphology, Bull. Geol. Soc. Am., 1952.
58. STRAHLER, A. N.: Quantitative Geomorphology of drainage Basins and Channel Networks, sec. 4-II in V. T. Chow (ed), "Handbook of Applied Hydrology," McGraw-Hill, New York, 1964.
59. González, F., Análisis Estadístico y Probabilístico de Datos Hidrológicos Cap. 8 Apuntes de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México, 1975.
60. Fiaco, A. And McCormick, Non Linear Programming, Research Analysis Corporation, John Wiley & Sons, New York, 1969.
61. Gumbel, E., Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York, 1978.

## TESIS CONSULTADAS:

1. Pinedo, F., Pronóstico de Avenidas, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería UNAM, 1979.
2. Lafragua Contreras Jacqueline Tesis de Maestría, F.I. UNAM. Curvas intensidad-duración-periodo de retorno para la vertiente del Golfo de México. 1996.
3. Héctor Eslava Morales. Tesis de Maestría, F.I. UNAM. Programación y aplicación del Hidrográma Unitario Geomorfológico Instantáneo. 1997.
4. Daniel F. Campos Aranda. Tesis de Maestría, F.I. UNAM Modelado Precipitación Escurrimiento de Eventos. 1987.
5. Carrizosa Elizondo Eliseo Reginalización de Gastos Máximos en la Cuenca de la Vertiente del Pacífico Centro de la República Mexicana. 1197.
6. Luna Vera José Antonio. Tesis de Maestría, F.I. UNAM. Influencia de la Modelación del a Precipitación en el Proceso Lluvia Escurrimiento.
7. Jacobo Villa Macario Antonio. Tesis de Maestría, F.I. UNAM. Operaciones entre Variables Aleatorias en Hidrología. 1996.
8. Víctor Ricardo Toledo Reyes. Tesis de Maestría, F.I. UNAM. Redes Neuronales en el Modelado Hidrológico , Predicción de Avenidas en la Presa Huítes. 1997