

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

*Influencia de la modelación de la precipitación  
en el proceso lluvia-escurrimiento*

**JOSÉ ANTONIO LUNA VERA**

**TESIS**

Presentada a la

División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería

de la

Universidad Nacional Autónoma de México

como requisito para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**Dirigida por: Dr. Carlos A. Escalante Sandoval**

*Ciudad Universitaria*

*México, D.F.*

*junio de 1997*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## *DEDICATORIA*

*A DIOS, por su grandeza y el amor que vierte en nosotros al darnos vida...*

*Con el amor de siempre, a Mis Lindos Viejitos*

*Don Antonio Luna Villarroel y Doña Arminda Vera C. de Luna, en su cuarenta aniversario...*

*A KHARUSITA Y TOÑO, mil gracias por todo que han hecho por mi y, que DIOS los bendiga.*

*A Mis Hermanas: Elvira y Zulema,  
con amor y admiración,  
gracias por su cariño y apoyo  
de todos estos años.*

*A mi familia: Con especial cariño, a todos mis tíos y tías, primos y primas,  
amigos de mi la familia, por su apoyo y comprensión, los amo y  
deseo lo mejor para todos uds.*

*A mis amigas y amigos...*

## *DEDICATORIA*

*A DIOS, por su grandeza y el amor que vierte en nosotros al darnos vida...*

*Con el amor de siempre, a Mis Lindos Viejitos*

*Don Antonio Luna Villarroel y Doña Arminda Vera C. de Luna, en su cuarenta aniversario...*

*A KHARUSITA Y TOÑO, mil gracias por todo que han hecho por mi y, que DIOS los bendiga.*

*A Mis Hermanas: Elvira y Zulema,  
con amor y admiración,  
gracias por su cariño y apoyo  
de todos estos años.*

*A mi familia: Con especial cariño, a todos mis tíos y tías, primos y primas,  
amigos de mi la familia, por su apoyo y comprensión, los amo y  
deseo lo mejor para todos uds.*

*A mis amigas y amigos...*

## *Agradecimientos*

*Mi más sincero agradecimiento, sin lugar a duda, a los señores: Dr. Oscar A Fuentes Mariles, Dr. Ramón Domínguez y M. en I. Victor Franco; por el apoyo que me otorgaron en la culminación de mis estudios al haberme admitido en el Plan de Becas del Instituto de Ingeniería. A ellos y a las personas de la institución, mil gracias.*

*Al Dr. Carlos A Escalante Sandoval por la dirección tan acertada de esta tesis, sus enseñanzas, y la hospitalidad que me brindó en la DEPFI, gracias por todo...; amigo !.*

*A los sinodales: Dr. Ramón Domínguez Mora, Dr. Jesús Gracia Sánchez, Dr. Oscar A Fuentes Mariles, Dr. Rolando Springall y Dr. Carlos A Escalante Sandoval, un agradecimiento muy especial por sus apreciables observaciones.*

*A Los Amigos: compañeros y personal de la Coordinación de Hidráulica de quienes siempre recibí su apoyo entusiasmado, a todo el personal del Instituto de Ingeniería, de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería; los camaradas del Instituto: Lalo, Eliseo, Rafael, Israel, Pascual, Toño, Raymundo, Polo, Armando, Abel, Héctor. A mis cuatas de la Coordinación de Ambiental y Bioprocesos, Lucila y Adriana, amigas inseparables; especialmente con cariño, a Doña Jero y a toda la familia Mendoza Sánchez, mil gracias por su amistad. A mis compañeros y profesores del Colegio Don Bosco, La Paz, Bolivia (Azul-Oro de corazón). A los cuates, profesores y técnicos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, D.F., México: Ings. Darío E. Guaycohea G., Dante Alcántara, Rafael Nieva, Abel Gutiérrez, Ruben Véliz; a los Técnicos Barry, Chava, Toño y Polo..., a todos los amigos y amigas ¡ gracias...!, por su fraternidad y los momentos inolvidables, principalmente, por haber forjado una amistad para siempre.*

*Con mucha estima a la Nación Mexicana, por haberme cobijado en los más de diez años, nunca te olvidaré "Mi México".*

## ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>1 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LAS CURVAS I-d-T</b>	6
1.1 <b>TÉCNICAS DE ANÁLISIS</b>	8
1.2 <b>ANÁLISIS DE FRECUENCIA</b>	10
1.2.1 <i>Parámetros estadísticos</i>	11
1.2.2 <i>Distribuciones de probabilidad univariada</i>	13
1.2.3 <i>Distribuciones de probabilidad bivariada</i>	16
1.3 <b>FÓRMULAS EMPÍRICAS</b>	23
1.3.1 <i>Fórmulas de Bell</i>	23
1.3.2 <i>Fórmula de Chen</i>	25
1.3.3 <i>Fórmula de Kothyari y Garde</i>	31
1.4 <b>MÉTODO DE CORRELACIÓN LINEAL MÚLTIPLE</b>	32
<b>2 TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN DE LLUVIAS</b>	34
2.1 <b>MÉTODO DE THIESSEN</b>	36
2.2 <b>MÉTODO DE INTERPOLACIÓN POLINOMIAL</b>	37
2.2.1 <i>Aproximación por mínimos cuadrados</i>	37
2.2.2 <i>Aproximación de Lagrange</i>	42
2.3 <b>MÉTODO DE INTERPOLACIÓN INVERSA</b>	43
2.4 <b>MÉTODO DE INTERPOLACIÓN MULTICUADRÁTICA</b>	44
2.5 <b>MÉTODO DE INTERPOLACIÓN ÓPTIMA</b>	46
<b>ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE CORRELACIÓN ESPACIAL</b>	50
2.6 <b>MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING</b>	52
2.6.1 <i>kriging ordinario y restringido</i>	53
2.6.2 <i>kriging universal</i>	56
<b>ESTIMACIÓN DEL VARIOGRAMA</b>	59
<b>EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN</b>	61
<b>3 MODELOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO</b>	75
3.1 <b>MÉTODOS EMPÍRICOS</b>	76
3.1.1 <i>Método de Creager</i>	76
3.1.2 <i>Método de Lowry</i>	76
3.1.3 <i>Método empírico del U.S. Soil Conservation Service</i>	77
3.1.4 <i>Método Racional</i>	77
3.2 <b>MÉTODOS HIDROLÓGICOS</b>	79
3.2.1 <i>Método del hidrograma unitario (HU)</i>	80
3.2.2 <i>Método de la curva S</i>	81
3.2.3 <i>Método del hidrograma unitario instantáneo (HUI)</i>	82
3.2.4 <i>Método discreto para la determinación del HUI</i>	83
3.2.5 <i>Hidrogramas Unitarios Sintéticos</i>	85
3.2.5.1 <i>Hidrograma Unitario Triangular</i>	85
3.2.5.2 <i>Hidrograma Adimensional del SCS</i>	85
3.3 <b>MÉTODOS HIDRÁULICOS</b>	86

<b>4</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAPALOAPAN</b>	<b>87</b>
4.1	<b>CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS</b>	87
4.2	<b>CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS</b>	88
4.3	<b>CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS</b>	88
4.4	<b>ANÁLISIS DE DATOS</b>	91
4.4.1	<i>Deducción de datos faltantes</i>	91
4.4.2	<i>Regionalización de lluvias</i>	93
4.4.3	<i>Análisis de curvas I-d-T</i>	103
4.4.3.1	<i>Parámetros obtenidos por análisis de frecuencia</i>	103
4.4.3.2	<i>Parámetros obtenidos para fórmulas empíricas</i>	105
4.4.3.3	<i>Parámetros del método de correlación múltiple</i>	109
4.4.4	<i>Aplicación de las técnicas de interpolación</i>	111
<b>5</b>	<b>MODELO PROPUESTO</b>	<b>112</b>
i)	<b>RECOPIACIÓN DE DATOS</b>	112
ii)	<b>REGIONALIZACIÓN DE LA CUENCA</b>	113
iii)	<b>ANÁLISIS DE FRECUENCIA</b>	114
iv)	<b>CÁLCULO DE LA RELACIÓN INTENSIDAD-DURACIÓN- PERÍODO DE RETORNO</b>	114
v)	<b>CÁLCULO DEL GASTO DE DISEÑO</b>	116
vi)	<b>APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN</b>	116
<b>6</b>	<b>APLICACIONES</b>	<b>118</b>
6.1	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS SUBCUENCAS</b>	118
6.2	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>	122
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>141</b>
7.1	<b>RESUMEN DEL TRABAJO</b>	141
7.2	<b>ACERCA DE LOS RESULTADOS Y ALCANCES LOGRADOS</b>	143
7.3	<b>ACERCA DE LOS PROGRAMAS</b>	145
7.4	<b>APORTACIONES</b>	145
7.5	<b>ESTUDIOS POSTERIORES</b>	146
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>148</b>
	<b>ANEXO A</b>	<b>151</b>
	<b>ANEXO B</b>	<b>170</b>
	<b>ANEXO C</b>	<b>182</b>
	<b>ANEXO D</b>	<b>194</b>

## RESUMEN

Un estudio hidrológico, como una parte del diseño de estructuras hidráulicas, inicia en el análisis de los registros históricos en una zona. El cálculo de los gastos de diseño mediante el análisis de lluvias es el enfoque que se desarrolla en este trabajo.

En una parte de éste se exponen las técnicas para la modelación de la relación intensidad de lluvia con la duración y el período de retorno, estas son: análisis de frecuencia empleando modelos con distribución de probabilidad univariada y bivariada, fórmulas empíricas de Bell, Chen y Kothyari-Garde y, el método de correlación múltiple.

También se plantean varios métodos para la interpolación espacial de lluvias, se desarrollaron algoritmos en lenguaje de programación Q-Basic y, además, se presenta un ejemplo didáctico.

El objetivo de la tesis es determinar como influye la modelación de la precipitación regionalizada a través de modelos bivariados en la relación lluvia-escorrimento. Para ello, la aplicación de estudio se realiza en la Cuenca del Río Papaloapan. Se emplean registros de intensidad de lluvia máximas anuales de 39 estaciones para 11 duraciones, se modelan estas con las técnicas intensidad de lluvia-duración-período de retorno.

Con el proceso de regionalización propuesto para la Cuenca del Papaloapan se encontró que existen, realmente, dos tendencias. Para la confirmación de lo anterior se hace un par de aplicaciones, aplicando el procedimiento del capítulo 5, en las regiones meteorológicamente homogéneas delimitadas como zonas A y B.

Se estiman los eventos de diseño "intensidades de lluvias asociadas a períodos de retorno" en un sitio y, se determinan los gastos de diseño empleando el modelo lluvia-escorrimento "hidrograma unitario triangular" en aquellos sitios con información disponible y; cuando se requiere el evento de diseño en lugares sin datos, entonces, se propone emplear las técnicas de interpolación espacial de lluvias.

De la comparación entre modelos de lluvia, se sugiere emplear el análisis de frecuencia bivariada tanto para la modelación de la precipitación como en la determinación de eventos extremos, aún en sitios con información escasa o nula, aplicándose las técnicas de interpolación. Los eventos de diseño estimados con modelos bivariados para períodos de retorno grandes resultan ser razonablemente buenos comparados con los otros métodos.



## *INTRODUCCIÓN*

El agua es la sustancia más abundante en la tierra, pero la abundancia o escasez de agua dulce es uno de los principales factores que determinan las formas de vida; es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que cambia la forma de la superficie de la tierra de modo constante. El hombre se esfuerza para distribuir el agua en forma homogénea en la superficie terrestre por lo que ha dado origen a grandes núcleos de población en sitios que de otra manera estarían escasamente poblados. Cerca del 96.5% del volumen total de agua del planeta están en la tierra, del resto, el 1.7% en manantiales subterráneos y sólo el 0.1% en sistemas de agua superficial y atmosférica. El agua dulce apenas alcanza el 2.5% y, de ésta, dos terceras partes son hielo polar y la mayoría de la restante es agua subterránea.

Como todo ciclo, el hidrológico (**FIGURA 1**) no tiene ni principio ni fin. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae a la tierra en forma de precipitación. El agua interceptada por la vegetación o construcciones, y 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 hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, tales como presas y lagos. Del agua infiltrada, cierta parte la absorben las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la

tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo, para ser almacenadas como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar.

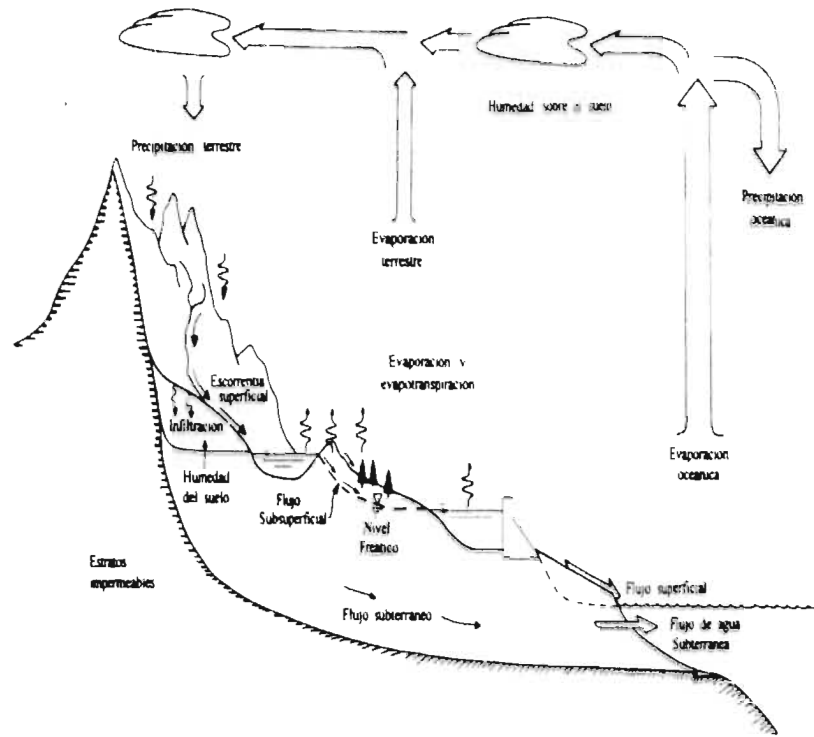


FIG 1. Esquema del Ciclo Hidrológico.

Como resultado de la dependencia en el suministro de agua, el hombre ha encarado dos extremos, las avenidas y sequías.

Debido al inevitable incremento de los daños causados por estos extremos a la población y a sus bienes, cualquier medio que mejore la predicción de estos eventos en hidrología será muy valioso.

La mayoría de los estudios sobre avenidas y sequías se han llevado a cabo mediante distribuciones univariadas y se han realizado grandes esfuerzos para proveer bases físicas y estadísticas para seleccionar el tipo de distribución de probabilidad que mejor ajusta a la muestra de datos analizada, pero estas han causado más controversia que acuerdo entre los hidrologistas.

En el análisis de frecuencias de eventos extremos máximos si el período de retorno  $T$  es grande comparado con la longitud del registro  $N$ , entonces el error en la estimación de un evento para ese período de retorno puede ser muy grande e ineficiente para propósitos de diseño. La gran variabilidad de estos estimados ha propiciado que se exploren modelos de estimación conjunta que usan la información de cuencas vecinas pertenecientes a una misma región meteorológicamente homogénea.

En los trabajos de **Escalante y Raynal (1994)**, **Raynal y Salas (1987)** y **Rueda (1981)** se ha establecido que existe una mejora significativa en las fases de estimación de parámetros y de eventos de diseño cuando se usan distribuciones bivariadas y trivariadas de valores extremos en el análisis de avenidas y sequías.

En este trabajo se analizará la influencia de la modelación bivariada de la precipitación en el proceso lluvia-escurrimiento, tanto para zonas con información o en aquellas (vía técnicas de interpolación) donde no existe.

El principal objetivo del presente trabajo es: *determinar en que medida la modelación regional de la precipitación mediante el uso de distribuciones bivariadas de valores extremos incide en la estimación del escurrimiento en sitios con o sin información.*

En el **capítulo 1** se tratan las diferentes técnicas de análisis de las curvas  $I-d-T$ , mismas que han sido estudiadas en diferentes zonas del territorio mexicano (**Franco y Domínguez, 1982**; **Barrios y Domínguez, 1986**; **Campos, 1990**; **Domínguez y Ríos, 1991**; **Lafragua, 1996**). Se estudia la relación  $I-d-T$  por técnicas como el análisis de frecuencia univariado y bivariado, también por métodos empíricos propuestos por **Bell (1969)**, **Chen (1983)** y **Kothyari-Garde (1992)**; y finalmente método de correlación múltiple.

El **capítulo 3** refiere a las técnicas de interpolación espacial. En este caso se aplican exclusivamente a interpolar eventos extremos de precipitación ( $I-d-T$ ), aunque su aplicación puede ser explotada aplicándola a otros problemas donde ocurren fenómenos hidrológicos. Los

estudios a cerca de la aplicación de las técnicas de interpolación en México son pocos y, se han aplicado al diseño y revisión de redes de medición (Collado, 1988; Toledo y Collado, 1990). En el presente trabajo se desarrollan los métodos de interpolación puntual aplicando técnicas matemáticas como los mínimos cuadrados y de Lagrange, la conocida técnica de interpolación inversa; la multicuadrática, los métodos de interpolación óptima y kriging. Al final del capítulo se presenta un ejemplo didáctico con la aplicación de estas técnicas.

A manera de complementar, en el **capítulo 3** se resume algunas técnicas de la relación lluvia-escorrentamiento. Para la aplicación del procedimiento que se presenta en un capítulo más adelante se emplea un método sintético así como el método del hidrograma unitario triangular. También se detallan algunos aspectos relevantes acerca de los cálculos y datos necesarios para su aplicación.

La descripción y las características de la zona estudiada (**Cuenca del río Papaloapan**) son abordadas en el **capítulo 4**. Se presentan las estaciones consideradas y el análisis de los datos, así como el criterio que se utilizó para subdividir la cuenca en dos zonas; también se dan algunos valores característicos encontrados del análisis de este trabajo para la cuenca y ; en general, contiene resultados del análisis de la modelación de intensidades de lluvia como relaciones *I-d-T*.

En el **capítulo 5** se propone un modelo para la obtención del evento de diseño a partir de eventos extremos de precipitación, para sitios con o sin registros históricos.

Con el modelo propuesto, en el **capítulo 6**, se aplica el análisis a dos subcuencas, La Estrella y Quiotepec, propias de la Cuenca del Río Papaloapan. El cálculo se realiza para dos períodos de retorno, 20 y 50 años.

Finalmente, en el **capítulo 7**, se hacen los comentarios y conclusiones a cerca de lo temas abordados en ésta tesis y de su aplicabilidad en el campo de la ingeniería.

## **CAPÍTULO 1. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LAS CURVAS I-d-T**

La precipitación es la fuente primaria de abastecimiento de agua, sus mediciones son fundamentales en la gran mayoría de los estudios relacionados con su uso y control (Raudkivi, 1979); y se define como el agua, en estado sólido o líquido, que proviene de lo alto de la atmósfera y que alcanza la superficie de la tierra (Fuentes, 1990).

La precipitación varía en el espacio y tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales. Esta precipitación, en forma de lluvia, se explica por medio de tres variables: magnitud, duración y frecuencia. La magnitud de la lluvia es la altura de la precipitación, expresada generalmente en mm, ocurrida en un intervalo de tiempo, cuya duración puede ser en minutos, horas, días, etc. La frecuencia se expresa en función del período de retorno,  $T$ , y este se define como el intervalo de tiempo para el cual el evento de precipitación puede ser igualado o excedido en promedio cada  $T$  años (Chow *et al.*, 1994). El período de retorno con el cual debe diseñarse una estructura se elige de acuerdo con el tipo de obra, su ubicación y el riesgo que se considere aceptable para el caso de falla de esta.

Por otra parte, la probabilidad  $p$  de que un evento con un período de retorno  $T$  ocurra en cualquier año es igual a

$$p = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

En un conjunto de eventos máximos anuales, el período de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Weibull

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad (1.2)$$

donde  $n$  es el número de años de registro y  $m$  es la clasificación del evento de acuerdo con su ordenamiento de mayor a menor magnitud.

Para cada tormenta la altura de lluvia promedio máxima varía con la duración, existiendo una relación entre la lluvia puntual y su respectiva duración; llamándose a esta relación como altura-duración. Por otro lado, cuando la duración considerada aumenta, la intensidad de lluvia disminuye, independientemente del valor del período de retorno; y cuando ésta última decrece, la intensidad de lluvia aumenta para cualquier duración; en consecuencia, también se relaciona la intensidad de lluvia con el período de retorno. A la combinación de éstas relaciones, intensidad-duración con intensidad-período de retorno, se le conoce como relación intensidad-duración-período de retorno.

En este trabajo se usará la notación  $I-d-T$ , para expresar una relación intensidad-duración-período de retorno, siendo  $I$  la intensidad de lluvia, en mm/h;  $d$  la duración, en min; y  $T$  el período de retorno, en años.

La forma tradicional de representar las tres variables es como se muestra en la **FIGURA 1.1** cada curva representa la probabilidad de que cierta intensidad de lluvia máxima sea excedida para un duración dada. También, si se establece el período de retorno, la curva seleccionada puede transformarse en un hietograma, mismo que puede usarse como tormenta de diseño para alimentar algún modelo de la relación lluvia-escorrimento (**Aparicio, 1996**).

El empleo de estas curvas son importantes para la elaboración de los proyectos que el ingeniero desarrolla, por ejemplo, para el diseño de puentes, presas, alcantarillas, estructuras para el control de avenidas; sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras, aeropistas, incluyendo el drenaje agrícola y en sistemas de abastecimiento de agua.

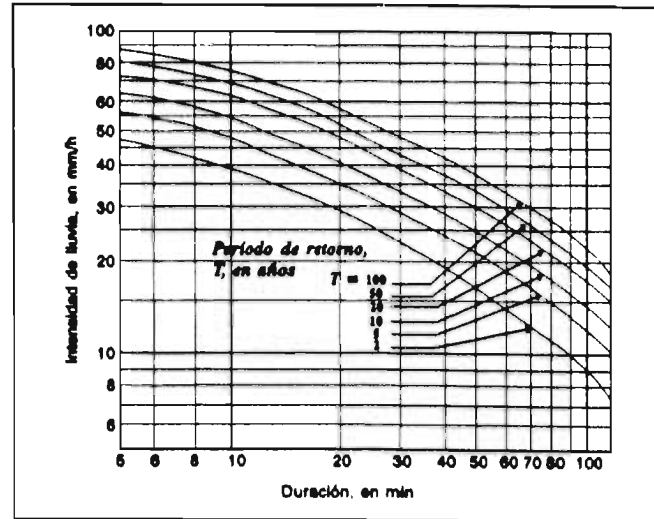


FIG 1.1 Curvas Intensidad-Duración-Período de retorno.

### 1.1 TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Básicamente, existen dos formas de análisis de la relación entre las variables  $I$ ,  $d$  y  $T$ . La primera, que consiste en hacer un análisis de frecuencia, tales como el empleo de funciones de distribución de probabilidad univariada, pero también este mismo análisis se puede lograr con funciones de distribución de probabilidad multivariada. Otra forma de analizar estas variables es haciendo uso de fórmulas empíricas.

Según **Froehlich (1995)**, las cuatro formas básicas de ecuación para describir la relación intensidad de lluvia-duración son las que se muestran en la **TABLA 1.1**. Todas ellas son ecuaciones empíricas y describen el decrecimiento de la intensidad de lluvia con la duración para un período de retorno dado. Los parámetros pueden ser obtenidos aplicando el método de los mínimos cuadrados.

En el pasado se han empleado muchas ecuaciones para representar la intensidad como una función de la duración; **Lafragua (1996)**, en su tesis "Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno para la Vertiente del Golfo de México", hace un estudio en detalle acerca de las

diferentes técnicas empleadas en México para el análisis de curvas *I-d-T*. El objetivo fue proponer una metodología empírica y compararla con técnicas que dieran buenos resultados y, además, verificar la aplicabilidad de las fórmulas de Bell y Chen en México.

**TABLA 1.1 Tipos de ecuaciones de la relación intensidad de lluvia-duración**

TIPO	ECUACIÓN	PARÁMETROS DE LA ECUACIÓN
I	$i = a_1 / (d + b_1)$	$a_1, b_1$
II	$i = a_2 / d^{c_2}$	$a_2, c_2$
III	$i = a_3 / (d + b_3)^{c_3}$	$a_3, b_3, c_3$
IV	$i = a_4 / (d^{c_4} + b_4)$	$a_4, b_4, c_4$

En general, las fórmulas de la **TABLA 1.1** son sólo aplicables al área de estudio, y rara vez se transfieren a otras zonas. Las lluvias de corto período, no obstante, parecen ser casi independientes de la geografía. Los valores extremos de lluvias de corta duración están asociados con la lluvia convectiva local, la cual tiene propiedades físicas similares en una gran parte del mundo. En lluvias de corta de duración, la frecuencia de ocurrencia de lluvias de alta intensidad forman una parte importante de la información requerida para muchos proyectos, pero los registros de lluvia de corta duración son generalmente escasos, porque su colección requiere del registro continuo en las estaciones de medición. El requisito general es ya sea estimar la altura de lluvia, cuando se tienen como datos a la duración y al período de retorno, o para estimar el período de retorno, cuando los datos son la duración y la altura de lluvia.

**Campos (1990)** recomienda el uso de la fórmula de Bell para aplicarla en los Estados Unidos Mexicanos, su empleo se limita a duraciones cortas y períodos de retorno entre 2 y 10 años y, para períodos de retorno mayores o iguales a 10 años la fórmula de Chen, empleando series de excedentes anuales.



## 1.2 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Cuando se cuenta con información de lluvia puntual se pueden construir las curvas *I-d-T* utilizando el análisis de frecuencia, donde se puede emplear distribuciones de probabilidad como la Normal, Log-normal, Gamma, Exponencial, Gumbel, etc.

Un análisis de frecuencia consiste en desarrollar el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar el tiempo de duración de la lluvia. Para cuencas pequeñas (menores de 250 km<sup>2</sup>), la duración correspondiente al gasto máximo debe igualarse con el tiempo de concentración.
2. Para cada año del registro se escoge la máxima altura de precipitación correspondiendo a la duración seleccionada.
3. Probar la independencia de la muestra en el tiempo. Esto se logra calculando el correlograma de la serie y se verifica que éste no exceda los límites de confianza (Salas et al., 1980). Si resultan más del 10% de los coeficientes de correlación fuera de los límites entonces la muestra es dependiente y no se aplica el análisis de frecuencia.
4. Se ajusta una distribución de frecuencia apropiada que proporciona el mínimo valor del error estándar de ajuste (Kite, 1988).
5. Del ajuste realizado en el paso anterior se obtiene la intensidad o altura de lluvia para diferentes períodos de retorno, estos dependen, como ya se mencionó, del riesgo esperado durante su vida útil.
6. Se repiten los pasos 2 a 5 para diferentes duraciones.

La elección de una distribución de probabilidad para el análisis de frecuencia es fundamental en el proceso de diseño. En la práctica es común el empleo de funciones de distribuciones de probabilidad univariada y, en la actualidad estas tienden a ser sustituidas o mejoradas por otras funciones o por una combinación de las mismas; un ejemplo de estas son las funciones de distribución de probabilidad multivariadas. La diferencia está en que las distribuciones univariadas no toman en cuenta el suceso en otros sitios, ya que están basadas en

los registros de una estación; en cambio las multivariadas consideran la información que otra u otras estaciones pudieran proporcionar con lo cual es posible mejorar la estimación de los eventos de diseño.

### 1.2.1 Parámetros estadísticos

Para emplear los modelos con distribuciones de probabilidad es requisito calcular los parámetros estadísticos. A continuación se presentan los seis parámetros más importantes en un análisis estadístico

#### 1) Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1.3)$$

#### 2) Varianza

##### a) Sesgada:

$$S_s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1.4)$$

##### b) Insesgada:

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (1.5)$$

o

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - 2\bar{X} \sum_{i=1}^n X_i + n\bar{X}^2 \right]$$

#### 3) Desviación estándar

Este parámetro es función de la varianza y, será sesgado si se calcula  $S$  con la ec 1.4 e insesgado con la ec 1.5

$$S = \sqrt{S^2} \quad (1.6)$$

4) **Coefficiente de variación**  $CV = \frac{S}{\bar{X}}$  (1.7)

5) **Coefficiente de asimetría**

a) Sesgada:

$$g_s = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \right]}{(S_s^2)^{3/2}}$$

o (1.8)

$$g_s = \frac{1}{n} \frac{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^3 - 3\bar{X} \sum_{i=1}^n X_i^2 + 3\bar{X}^2 \sum_{i=1}^n X_i - n\bar{X}^3 \right]}{(S_s^2)^{3/2}}$$

b) Insesgada:

$$g_i = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} g_s$$
 (1.9)

6) **Curtosis**

a) Sesgada:

$$k_s = \frac{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \right]}{(S_s^2)^2}$$

o (1.10)

$$k_s = \frac{1}{n} \frac{\left[ \sum_{i=1}^n X_i^4 - 4\bar{X} \sum_{i=1}^n X_i^3 + 6\bar{X}^2 \sum_{i=1}^n X_i^2 - 4\bar{X}^3 \sum_{i=1}^n X_i + n\bar{X}^4 \right]}{(S_s^2)^2}$$

b) Insesgada:

$$k_i = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} k_s$$
 (1.11)

### 1.2.2 Distribuciones de probabilidad univariadas

El análisis de la relación intensidad de lluvia-duración-período de retorno, aplicando funciones de distribución univariada, es conocido también como método intensidad de lluvia-período de retorno. Este método relaciona la intensidad de lluvia con el período de retorno para cada una de las duraciones consideradas; se hace un ajuste de los valores máximos anuales, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad empleadas en hidrología.

A continuación se presentan las funciones de distribución de probabilidad univariadas de mayor empleo en hidrología.

#### a) Distribución normal

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (1.12)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} ; -\infty < x < \infty \quad (1.13)$$

donde

$\mu$  = media (parámetro de ubicación),  $\sigma$  = desviación estándar (parámetro de escala); coeficiente de asimetría ( $g = 0$ ) y curtosis ( $k = 3$ ).

#### b) Distribución exponencial

$$F(x) = 1 - \beta e^{-\beta x} \quad (1.14)$$

$$f(x) = \beta e^{-\beta x} ; x > 0 \quad (1.15)$$

$$f(x) = 0 ; x < 0 \quad (1.16)$$

donde  $\beta$  es el parámetro de escala

c) **Distribución lognormal**

**De 2 parámetros**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} x \sigma_y} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} ; x > 0 \quad (1.17)$$

donde

$\mu_y$  ,  $\sigma_y$  parámetros de ubicación y escala, respectivamente; el coeficiente de asimetría  $g > 0$ .

**De 3 parámetros**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} (x - x_0) \sigma_y} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2} ; x > x_0 \quad (1.18)$$

donde

$x_0$  ,  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  son parámetros de ubicación, de forma y de escala, respectivamente; el coeficiente de asimetría  $g > 0$ .

d) **Distribución gamma**

**De 2 parámetros**

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} dx ; \alpha > 0, \hat{\gamma} > 0 \quad (1.19)$$

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-x/\alpha}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \quad (1.20)$$

donde

$\alpha$  = parámetro de escala ( $\alpha > 0$ );  $\beta$  = parámetro de forma;  $g$  = coeficiente de asimetría muestral ( $0 < g < 2$ ) y  $\hat{\gamma}$  es el coeficiente de asimetría poblacional.

De 3 parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} ; \alpha > 0, \beta > 0, x_0 \leq x < \infty \quad (1.21)$$

donde

$x_0$  ,  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros de ubicación, de escala y de forma

e) **Distribución de valores extremos TIPO I (GUMBEL) "VE-I"**

$$F(x) = e^{-e^{-(x-u)/\alpha}} ; \alpha > 0, x > 0 \quad (1.22)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} [-e^{-(x-u)/\alpha}] e^{-e^{-(x-u)/\alpha}} ; -\infty < x < \infty \quad (1.23)$$

donde

$u$  y  $\alpha$  parámetros de ubicación y de escala

f) **Distribución general de valores extremos "GVE"**

$$F(x) = e^{-(1-[(x-u)/\alpha]^\beta)^{1/\beta}} ; \alpha > 0, x > 0 \quad (1.24)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{x-u}{\alpha} \right)^\beta \right] e^{-\left( 1 - \left[ \frac{x-u}{\alpha} \right]^\beta \right)^{1/\beta}} ; \alpha > 0, x > 0 \quad (1.25)$$

donde

$u$  ,  $\alpha$  y  $\beta$  parámetros de ubicación, de escala y de forma

TIPO I	Gumbel:	$\beta > 0$ , $-\infty < x < \infty$ y coeficiente de asimetría $\gamma_x = 1.14$
TIPO II	Frechet:	$\beta < 0$ , $u + \alpha/\beta < x < \infty$ y coeficiente de asimetría $\gamma_x > 1.14$
TIPO III	Weibull:	$\beta > 0$ , $-\infty < x < u + \alpha/\beta$ y coeficiente de asimetría $\gamma_x < 1.14$

**g) Distribución Gumbel Mixta**

$$F(x) = p e^{-e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)}} + (1-p) e^{-e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)}} \quad (1.26)$$

$$f(x) = \frac{p}{\alpha_1} e^{-e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)}} e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)} + \left(\frac{1-p}{\alpha_2}\right) e^{-e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)}} e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)} \quad (1.27)$$

para  $\alpha_1 > 0, x > 0, 0 < p < 1$

donde

$u_1$  parámetro de ubicación de la primera población

$\alpha_1$  parámetro de escala de la primera población

$u_2$  parámetro de ubicación de la segunda población

$\alpha_2$  parámetro de escala de la segunda población

$p$  parámetro de asociación. Relaciona el tamaño de la primera población con el total

de la muestra  $\left( p = \frac{N_1}{N} \right)$

### ***1.2.3 Distribuciones de probabilidad bivariada***

En el apartado anterior se introdujo las principales funciones de distribución univariada que se emplean en hidrología, pero sus aplicaciones están restringidas a una variable, como el análisis de distribución de frecuencia puntual.

En particular, las bases y fundamentos teóricos de las distribuciones bivariadas de valores extremos fueron estudiadas en principio por **Finkelstein en 1953, Gumbel en 1958 y Tiago de Oliveira en 1958.**

Según Escalante (1991), una distribución asintótica bivariada se caracteriza por las cuatro propiedades siguientes:

- a) Las distribuciones marginales son asintóticas extremas.
- b) Siguen el postulado de estabilidad.
- c) Posee una función de densidad explícita, y
- d) Se elimina el caso trivial donde la distribución multivariada es el producto de las distribuciones marginales extremas.

Si  $X$  e  $Y$  son dos variables aleatorias definidas conjuntamente, esto es,  $X$  e  $Y$  pueden tener un distribución de probabilidad conjunta con la función de distribución acumulada conjunta

$$F^n(X, Y) \equiv P\{X \leq x, Y \leq y\} \quad (1.28)$$

puesto que  $X$  es una variable aleatoria continua e independiente, es posible hallar transformaciones lineales de la forma

$$X_n = a_n X_{m\acute{a}x} + b_n \quad (1.29)$$

tal que  $X_n$  tenga una distribución límite (para  $n \rightarrow \infty$ ) que sea algún tipo de distribución de probabilidad, por ejemplo la general de valores extremos. De igual forma, habrá una transformación con propiedades similares

$$Y_n = c_n Y_{m\acute{a}x} + d_n \quad (1.30)$$

por lo tanto, la función de distribución conjunta para los máximos valores  $X_{m\acute{a}x}$  y  $Y_{m\acute{a}x}$  es

$$F^n(x, y) \equiv P, \{M\acute{A}X X_i \leq x, M\acute{A}X Y_i \leq y\} \quad (1.31)$$

la función de distribución acumulada bivariada será cuando  $n \rightarrow \infty$ , esto es

$$F^n(x, y) = \lim_{n \rightarrow \infty} \{a_n x + b_n; c_n y + d_n\} \quad (1.32)$$

Existen dos tipos de distribución de probabilidad bivariada, unos son aquellos que cuentan con una función de densidad que son llamados modelos diferenciables y, los segundos son los modelos no diferenciables. Dentro de los modelos del segundo tipo se pueden citar: el modelo biextremo, el modelo Gumbel y el modelo natural.



En tanto, los modelos diferenciables tales como el logístico y el mezclado, en los que en el primero, la diferencia de las variables reducidas (con marginales Gumbel) tiene una distribución logística estándar y, en el modelo mezclado, éste tiene una función de dependencia que parte de una mezcla de las marginales, cuando se trata de distribuciones Gumbel.

En el presente trabajo la aplicación será con modelos logísticos y, además su empleo en hidrología, dentro del análisis de frecuencias, tiene gran aplicación ya que se aceptan rangos amplios de coeficientes de correlación (Escalante, 1991).

El modelo logístico tiene la siguiente forma general

$$F(x, y, z, \dots, \theta) = \exp\left\{-\left[(-\ln F(x))^m + (-\ln F(y))^m + (-\ln F(z))^m + \dots\right]^{1/m}\right\} \quad (1.33)$$

$$m \geq 1, \quad 0 \leq \rho \leq 1$$

donde  $F(x)$ ,  $F(y)$  y  $F(z)$  son las funciones de distribución marginal de  $x$ ,  $y$  y  $z$ , respectivamente; y  $m$  es el parámetro de asociación. Si  $m = 1$ , entonces la distribución bivariada es

$$F(x, y, \theta) = F(x) F(y) \quad (1.34)$$

es decir, que es igual al producto de sus marginales, y significa que hay independencia entre  $x$  e  $y$ .

Las restricciones de un modelo logístico se satisfacen con las desigualdades siguientes:

$$F(x_1) \cdots F(x_n) \leq F(x_1, \dots, x_n) \leq \text{MIN} [F(x_1), \dots, F(x_n)] \quad (1.35)$$

$$\left\{ \prod_{i \neq j} F(x_i, x_j) \right\}^{\frac{1}{2(n-1)}} \leq F(x_1, \dots, x_n) \leq \frac{\left\{ \prod_{i, j} F(x_i, x_j) \right\}^{1/2}}{\left\{ \prod_{i \neq j} F(x_i) \right\}^{n-2}} \quad (1.36)$$

Las marginales en la ec 1.33 pueden ser

- Gumbel

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (1.37)$$

- General de Valores Extremos (GVE)

$$F(x) = e^{-\left[1 - \left(\frac{x-u}{\alpha}\right)^\beta\right]^{1/\beta}} \quad (1.38)$$

- Gumbel Mixta

$$F(x) = p e^{-e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)}} + (1-p) e^{-e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)}} \quad (1.39)$$

Si el número 1 es utilizado para identificar a la distribución Gumbel, el 2 a la GVE y el 3 a la Gumbel Mixta, entonces se pueden plantear los siguientes modelos bivariados dependiendo de las distribuciones marginales VEB11, VEB12, VEB22, VEB33

- Distribución VEB11

$$F(x,y,u_1,\alpha_1,u_2,\alpha_2,m) = e^{-\left[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} \cdot e^{-m(y-u_2)/\alpha_2}\right]^{1/m}} \quad (1.40)$$

cuya función de densidad es

$$\begin{aligned} f(x,y,u_1,\alpha_1,u_2,\alpha_2,m) &= \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} e^{-m(y-u_2)/\alpha_2} \cdot \\ &\cdot e^{-\left[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} \cdot e^{-m(y-u_2)/\alpha_2}\right]^{1/m}} \cdot \left[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} + e^{-m(y-u_2)/\alpha_2}\right]^{1/m-2} \cdot \\ &\cdot \left\{ (m-1) + \left[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} + e^{-m(y-u_2)/\alpha_2}\right]^{1/m} \right\} \end{aligned} \quad (1.41)$$

- Distribución VEB12

$$F(x,y,u_1,\alpha_1,u_2,\alpha_2,\beta_2,m) = e^{-\left[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} \cdot (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2}\right]^{1/m}} \quad (1.42)$$

la función de densidad para esta distribución es la siguiente:

$$\begin{aligned}
f(x,y,u_1,\alpha_1,u_2,\alpha_2,\beta_2,m) &= \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2-1} \cdot \\
&\cdot e^{-[e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} \cdot (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2}]^{1/m}} \left[ e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m-2} \cdot \\
&\cdot \left\{ (m-1) + \left[ e^{-m(x-u_1)/\alpha_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m} \right\}
\end{aligned} \tag{1.43}$$

**- Distribución VEB22**

$$F(x,y,u_1,\alpha_1,\beta_1,u_2,\alpha_2,\beta_2,m) = e^{-\left[ (1-\beta_1(x-u_1)/\alpha_1)^{m/\beta_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m}} \tag{1.44}$$

la función de densidad correspondiente para esta distribución es

$$\begin{aligned}
f(x,y,u_1,\alpha_1,\beta_1,u_2,\alpha_2,\beta_2,m) &= \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} (1-\beta_1(x-u_1)/\alpha_1)^{m/\beta_1-1} \cdot \\
&\cdot (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2-1} \cdot \\
&\cdot e^{-\left[ (1-\beta_1(x-u_1)/\alpha_1)^{m/\beta_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m}} \cdot \\
&\cdot \left[ (1-\beta_1(x-u_1)/\alpha_1)^{m/\beta_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m-2} \cdot \\
&\cdot \left\{ (m-1) + \left[ (1-\beta_1(x-u_1)/\alpha_1)^{m/\beta_1} + (1-\beta_2(y-u_2)/\alpha_2)^{m/\beta_2} \right]^{1/m} \right\}
\end{aligned} \tag{1.45}$$

**- Distribución VEB33**

$$\begin{aligned}
F(x,y,u_{1x},\alpha_{1x},u_{2x},\alpha_{2x},p_x,u_{1y},\alpha_{1y},u_{2y},\alpha_{2y},p_y,m) &= \\
\exp \left\{ - \left[ \left( -\text{Ln} \left\{ p_x e^{-e^{-\frac{x-u_{1x}}{\alpha_{1x}}}} + (1-p_x) e^{-e^{-\frac{x-u_{2x}}{\alpha_{2x}}}} \right\} \right)^m + \left( -\text{Ln} \left\{ p_y e^{-e^{-\frac{y-u_{1y}}{\alpha_{1y}}}} + (1-p_y) e^{-e^{-\frac{y-u_{2y}}{\alpha_{2y}}}} \right\} \right)^m \right]^{1/m} \right\}
\end{aligned} \tag{1.46}$$

la función de densidad correspondiente para esta distribución es

$$f(x,y,\theta) = \frac{\partial^2 F(x,y,\theta)}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} F(x,y,u_{1x},\alpha_{1x},u_{2x},\alpha_{2x},p_x,u_{1y},\alpha_{1y},u_{2y},\alpha_{2y},p_y,m) \tag{1.47}$$

### Estimación de parámetros

La estimación de parámetros de las funciones de distribución se estiman a partir de datos muestrales, que según Escalante (1991) los parámetros deben tener las cuatro propiedades que son: sesgo nulo, consistencia, eficiencia y suficiencia.

Existen varios métodos para la estimación de estos parámetros, el más eficiente es el Método de Máxima Verosimilitud. La función de verosimilitud de  $n$  variables aleatorias está definida como la densidad conjunta de esas  $n$  variables  $y$ , es una función de sus parámetros.

Si  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$  es una muestra aleatoria de una densidad bivariada, la correspondiente función de verosimilitud es

$$L(x, y, \theta) = \prod_{i=1}^N f(x_i, y_i, \theta) \quad (1.48)$$

donde

$f(\cdot)$  es la función de densidad bivariada

$\theta$  es el conjunto de parámetros

El desarrollo de la función de verosimilitud, ec 1.48, es

$$L(x, y, \theta) = \left[ \prod_{i=1}^{n_1} f(p_i, \theta_1) \right]^{I_1} \cdot \left[ \prod_{i=1}^{n_2} f(p_i, q_i, \theta_2) \right]^{I_2} \cdot \left[ \prod_{i=1}^{n_3} f(x, y, \theta_3) \right]^{I_3} \cdot \left[ \prod_{i=1}^{n_4} f(r_i, s_i, \theta_4) \right]^{I_4} \cdot \left[ \prod_{i=1}^{n_5} f(r_i, \theta_5) \right]^{I_5} \quad (1.49)$$

donde

$L(\cdot)$  es la función de verosimilitud de  $(\cdot)$

$n_1$  es la longitud del registro univariado antes del período común  $n_3$

$n_2$  es la longitud del registro con relación bivariada antes del período común  $n_3$

$n_3$  es la longitud del registro durante el período común en las dos estaciones

$n_4$  es la longitud del registro con relación bivariada después del período común  $n_3$

- $n_5$  longitud del registro univariado después del período común  $n_j$   
 $p$  es la variable del registro univariado antes del registro común  
 $(p, q)$  son las variables relacionadas en forma bivariada antes del registro común  
 $(x, y)$  variables relacionadas en forma bivariada durante el período común de registro  
 $r$  es la variable del registro univariado después del registro común  
 $(r, s)$  variables relacionadas en forma bivariada después del registro común  
 $I_i$  es un número indicador con valor ( $I_i = 1$  si  $n_i > 0$  ó  $I_i = 0$  si  $n_i = 0$ )  
 $\theta_i$  vector de parámetros

Se empleará la versión logarítmica de la función de verosimilitud. Aplicándolo a la ec 1.49 se obtiene la siguiente

$$\begin{aligned}
 LL(x, y, \theta) = & I_1 \left[ \sum_{i=1}^{n_1} Lf(p_i, \theta_1) \right] + I_2 \left[ \sum_{i=1}^{n_2} Lf(p_i, q_i, \theta_2) \right] + \\
 & + I_3 \left[ \sum_{i=1}^{n_3} Lf(x, y, \theta_3) \right] + I_4 \left[ \sum_{i=1}^{n_4} Lf(r_i, s_i, \theta_4) \right] + I_5 \left[ \sum_{i=1}^{n_5} Lf(r_i, \theta_5) \right]
 \end{aligned} \tag{1.50}$$

Los estimadores de máxima verosimilitud de los parámetros de distribuciones bivariadas de valores extremos son aquellos para los cuales la ec 1.50 es maximizada. Para obtener dichos estimadores se emplea un procedimiento de optimización tal como el algoritmo de optimización no lineal multivariado restringido de Rosenbrock (Kuester, 1973).

### 1.3 FÓRMULAS EMPÍRICAS

#### 1.3.1 Fórmulas de Bell

**Bell (1969)** estudió los datos de lluvia de series excedentes anuales de Estados Unidos, Hawaii, Alaska y Puerto Rico; la comparó con los de Australia, sur y norte de Africa. Las duraciones de las lluvias analizadas fueron menores o iguales a 2 horas y confirmó que estas lluvias de corta duración, se asocian con lluvias de tipo convectivo local. El U.S. Weather Bureau (USWB) recomienda una relación empírica derivada de lluvias de corta duración, de acuerdo con la cual la altura de lluvia con duración de  $d$  minutos tiene una relación constante a la altura de lluvia de duración igual a 60 minutos para el mismo periodo de retorno ( $P_d^T / P_{60}^T$ ). Estas relaciones son 0.29, 0.45, 0.57 y 0.79, para duraciones de 5, 10, 15 y 30 minutos, respectivamente.

**Bell (1969)** propuso una relación empírica basada en relaciones altura de lluvia-duración, en la que utilizó datos de 157 estaciones en los Estados Unidos y 7 estaciones en Australia. Los valores que Bell emplea para describir la relación se transcriben en la **TABLA 1.2**.

**TABLA 1.2** Relaciones altura de lluvia-duración medias, ( $P_d^T / P_{60}^T$ ).

ÁREA DE ESTUDIO	DURACIÓN, en min			
	5	15	30	120
EUA: (Promedio)	0.29	0.57	0.79	1.25
AUSTRALIA:				
T = 2 años	0.30	0.57	0.77	1.24
T = 10 años	0.31	0.58	0.78	1.25
T = 25 años	0.30	0.58	0.79	1.23
(Promedio)	0.30	0.57	0.78	1.24

Estas relaciones  $P_d^T / P_{60}^T$  tienden a ajustarse a una línea recta en papel Gumbel y, la

ecuación que la describe es

$$\frac{P_d^T}{P_{60}^T} = 0.54 d^{0.25} - 0.50 \quad (1.51)$$

$$5 \leq d \leq 120 \text{ min}$$

de igual forma, Bell obtuvo relaciones altura de lluvia-período de retorno. En estas relaciones utiliza la altura de lluvia con duración de 60 minutos para un período de retorno  $T$  cualquiera y, las alturas de lluvia con duración de 60 minutos para un período de retorno básico de 2 ó 10 años. Los valores de las relaciones  $P_d^T / P_{60}^{10}$  son las que aparecen en la **TABLA 1.3** y la ecuación propuesta por Bell es

$$\frac{P_d^T}{P_d^{10}} = 0.21 \ln T + 0.52 \quad , \quad (1.52)$$

$$2 \leq T \leq 100 \text{ años}$$

de la combinación de las ecuaciones **1.51** y **1.52** resulta

$$P_d^T = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 d^{0.25} - 0.50) P_{60}^{10} \quad (1.53)$$

**TABLA 1.3** Relaciones altura de lluvia-período de retorno,  $(P_d^T / P_{60}^{10})$

T (años)	ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	AUSTRALIA
1	0.54	0.52
2	0.63	0.65
5	0.85	0.85
25	1.17	1.18
50	1.31	1.33
100	1.46	1.50

si la **ec 1.52** se plantea para una altura de lluvia correspondiente a un período de retorno igual a 2 años  $(P_{60}^2)$ , y luego combinandola con la **ec 1.51** se obtiene

$$P_d^T = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 d^{0.25} - 0.50) P_{60}^2 \quad (1.54)$$

dado que las ecs 1.53 y 1.54 son combinaciones de las ecuaciones básicas 1.51 y 1.52, éstas también son válidas para  $5 \leq d \leq 120$  min y  $2 \leq T \leq 100$  años.

### 1.3.2 Fórmula de Chen

Como ya se ha mencionado, las ecuaciones mostradas en la TABLA 1.1 son del tipo empíricas y, su empleo está limitado a la zona de estudio. Por otro lado, Chen (1983) utiliza una ecuación empírica Tipo III, inicialmente propuesta por Sherman (1931). En sus estudios plantea el uso de tres alturas de lluvias, con las que desarrolló una fórmula con base en el promedio de la relación altura de lluvia-período de retorno de 1.48. La fórmula requiere las alturas de lluvia con duración de 60 min (1 h) y 10 años de período de retorno ( $P_{60}^{10}$ ), 1440 min (24 h) y 10 años ( $P_{1440}^{10}$ ), y 60 min (1 h) y 100 años ( $P_{60}^{100}$ ) con el objeto de conocer la variación de la lluvia, de acuerdo con la geografía de la zona, en términos de las relaciones "altura de lluvia-duración" y "altura de lluvia-período de retorno", para cualquier período de retorno y duración, respectivamente.

Estas relaciones son clave en la construcción de la fórmula para determinar las curvas intensidad de lluvia-duración-período de retorno. Al igual que Bell (1969), la forma de relación propuesta por Chen (1983), son similares con las diferencias en la consideración hecha para las relaciones altura de lluvia-duración y altura de lluvia-período de retorno. Aparte de que resultó otra diferencia mayor en la variación de la lluvia con la geografía, Chen (1983) consideró exclusivamente este efecto por medio de las tres alturas de lluvia ( $P_{60}^{10}$ ,  $P_{1440}^{10}$  y  $P_{60}^{100}$ ) en vez de una altura ( $P_{60}^{10}$ ) considerada por Bell.



En la **TABLA 1.4** se presentan las relaciones  $(P_{60}^T / P_{1440}^T)$  y  $(P_d^{100} / P_d^{10})$  encontradas en diferentes estudios.

**TABLA 1.4** Relaciones altura de lluvia-duración  $(P_{60}^T / P_{1440}^T)$  y altura de lluvia-período de retorno  $(P_d^{100} / P_d^{10})$

ÁREA DE ESTUDIO	$P_{60}^T / P_{1440}^T$		$P_d^{100} / P_d^{10}$	
	RANGO	PROMEDIO	RANGO	PROMEDIO
EUA: CHEN, 1983	0.10 - 0.6	0.40	1.33 - 163	1.48
MÉXICO: CAMPOS, 1990	0.20 - 0.72	0.479	---	---
LAFRAGUA, 1996	0.24 - 0.72	0.493	1.28 - 157	1.43
ZONA DE ESTUDIO <sup>1</sup>	0.206-0.721	0.462	1.292-1.608	1.492
ZONA A	0.206-0.721	0.478	1.466-1.608	1.527
ZONA B	0.236-0.616	0.438	1.292-1.604	1.442

#### Ecuación intensidad de lluvia-duración

Chen (1983) aplicó la siguiente ecuación empírica para relacionar la intensidad de lluvia con la duración

$$I = \frac{a}{(d + b)^c} \quad (1.55)$$

donde

$I$  es la intensidad de lluvia, en mm/h

$d$  es el tiempo de duración de la lluvia, en min; y

$a, b$  y  $c$  son los parámetros de la tormenta que varían con las condiciones meteorológicas de la zona en estudio

<sup>1</sup> Relaciones calculadas para la Cuenca del Río Papaloapan

Según **Chen (1983)**, la relación intensidad de lluvia-duración, la cual es independiente del período de retorno, se puede expresar como

$$\frac{I_d^T}{I_{60}^T} = \frac{a_1}{(d + b_1)^{c_1}} \quad (1.56)$$

donde

$I_d^T$  es la intensidad de lluvia para un período de retorno de  $T$  años y una duración de  $d$  minutos, en mm/h

$I_{60}^T$  es la intensidad de lluvia para  $T$  años y 60 min (1 h), en mm/h; y

$a_1$ ,  $b_1$  y  $c_1$  son los parámetros de tormenta estándar

despejando  $I_d^T$  de la anterior ecuación, se tiene

$$I_d^T = \frac{a_1 I_{60}^T}{(d + b_1)^{c_1}} \quad (1.57)$$

comparando la **ec 1.55** con la **ec 1.57**, se deduce que

$$a = a_1 I_{60}^T \quad ; \quad b = b_1 \quad ; \quad c = c_1$$

expresando la **ec 1.55** en forma logarítmica

$$\log I = \log a - c \log (d + b) \quad (1.58)$$

esta ecuación es básica para poder determinar los parámetros estándar. Su determinación puede ser efectuada de una manera sistemática por medio del método de los mínimos cuadrados y una técnica de optimización. Dado los valores de los datos de lluvia medidos ( $I_i$ ,  $d_i$ ) para  $i = 1, \dots, n$ . La formulación del problema de optimización es análogo a encontrar los valores  $a$ ,  $b$  y  $c$  por minimización de

$$F(a, b, c) = \sum_{i=1}^n [\log I_i - \log a + c \log (d_i + b)]^2 \quad (1.59)$$

## Ecuación intensidad de lluvia-período de retorno

Según **Chen (1983)**, la ecuación empírica desarrollada por **Chow en 1953**, es de la forma

$$P_d^T = \alpha \log T_p + \beta \quad (1.60)$$

donde

$P_d^T$  es la altura de lluvia para  $d$  min y  $T$  años, en mm

$T_p$  es el período de retorno para las series de duración parcial, en años

$\alpha$  y  $\beta$  son parámetros que se determinan con los datos de lluvia

Si se seleccionan arbitrariamente dos períodos de retorno, 10 y 100 años, y se obtienen las alturas correspondientes de lluvia con la ec 1.60 ; la sustitución de los valores  $P_d^{10}$  y  $P_d^{100}$  junto con los dos valores de  $T$  en la ec 1.60, dan como resultado el sistema de ecuaciones siguiente

$$P_d^{10} = \alpha \log 10 + \beta \quad (1.61)$$

$$P_d^{100} = \alpha \log 100 + \beta$$

cuya solución es

$$\alpha = P_d^{10} \left( \frac{P_d^{100}}{P_d^{10}} - 1 \right) \quad (1.62)$$

y

$$\beta = P_d^{10} \left( 2 - \frac{P_d^{100}}{P_d^{10}} \right) \quad (1.63)$$

si  $x = P_d^{100} / P_d^{10}$ , entonces las ecs 1.62 y 1.63 expresadas en términos de esta sustitución serán

$$\alpha = P_d^{10} (x - 1) \quad (1.64)$$

$$\beta = P_d^{10} (2 - x) \quad (1.65)$$

Los parámetros encontrados se sustituyen en la ec 1.60 dando como resultado

$$\frac{P_d^T}{P_d^{10}} = \log \left[ 10^{2-x} T_p^{x-1} \right] \quad (1.66)$$

Las igualdades  $P_d^{100}/P_d^{10} = I_d^{100}/I_d^{10}$  y  $P_d^T/P_d^{10} = I_d^T/I_d^{10}$  son válidas para una misma duración  $d$ , entonces es cierto que

$$\frac{I_d^T}{I_d^{10}} = \log \left( 10^{2-x} T_p^{x-1} \right) \quad (1.67)$$

**Chow et al. (1988)** presentan una relación teórica entre el período de retorno de una altura de lluvia obtenida de una serie de duración parcial y el período de retorno de una lluvia de la misma magnitud basada en un análisis de series de excedentes anuales, esta es

$$\frac{1}{T_p} = \ln \left[ \frac{T_a}{T_a - 1} \right] \quad (1.68)$$

donde

$T_p$  es el período de retorno para las series de duración parcial; y

$T_a$  es el período de retorno para las series de excedentes anuales.

Por consiguiente, la identidad 1.67 expresada en función de  $T_a$  es la fórmula generalizada de intensidad de lluvia-duración-período de retorno siguiente:

$$\frac{I_d^T}{I_d^{10}} = \log \left[ 10^{2-x} \ln^{1-x} \left( \frac{T_a}{T_a - 1} \right) \right] \quad (1.69)$$

Para asociar las dos igualdades deducidas, ecs 1.57 y 1.69, se establece en la última para una duración de 60 min (1 h)

$$\frac{I_{60}^T}{I_{60}^{10}} = \log \left[ 10^{2-x} \ln^{1-x} \left( \frac{T_a}{T_a - 1} \right) \right] \quad (1.70)$$

que sustituida en la ec 1.57 da

$$I_d^T = \frac{a_1 I_{60}^{10} \log \left[ 10^{2-x} \ln^{(1-x)} \left( \frac{T_a}{T_a - 1} \right) \right]}{(d + b_1)^{c_1}} \quad (1.71)$$

$$T_p > 1 \text{ año} ; T_a > 1.582 \text{ años} ; 5 \text{ min} \leq d \leq 1440 \text{ min}$$

Esta es la expresión general de la relación intensidad de lluvia-duración-período de retorno propuesta por **Chen**. Su empleo sólo requiere los datos de altura de lluvia  $P_{60}^{10}$ ,  $P_{1440}^{10}$  y  $P_{60}^{100}$  los cuales son dos más que la propuesta por la  $P_{60}^{10}$  de **Bell**.

La **ec 1.71** puede ser expresada alternativamente en términos de la altura de lluvia; multiplicando el lado derecho de dicha ecuación por  $d/60$ , esto es

$$P_d^T = \frac{a_1 I_{60}^{10} \log \left[ 10^{2-x} \ln^{(1-x)} \left( \frac{T_a}{T_a - 1} \right) \right]}{(d + b_1)^{c_1}} \left( \frac{d}{60} \right) \quad (1.72)$$

donde

$$x = \frac{P_{60}^{100}}{P_{60}^{10}} \quad \text{adimensional}$$

$P_d^T$  altura de precipitación de duración  $d$  min y  $T$  años de período de retorno, en mm

$d$  duración, en min

$T_a$  período de retorno, en años

Los rangos de validez son idénticos a los de la **ec 1.71**; además, deben determinarse los parámetros estándar de tormenta  $a_1$ ,  $b_1$  y  $c_1$  a partir de la **ec 1.57** con la relación  $P_{60}^T / P_{1440}^T$ .

### 1.3.3 Fórmula de Kothyari y Garde

En el año de 1992, Kothyari y Garde estudiaron la aplicación de diferentes fórmulas de las relaciones *I-d-T* en la India. Emplearon la ecuación propuesta por Bernard en 1932

$$I_d^T = \frac{a_0 T^{a_1}}{d^{a_2}} \quad (1.73)$$

Después de haber realizado un estudio comparativo de relaciones *I-d-T*, para tormentas de corta duración, afirman que los exponentes de *T* y *d* no varían mucho de un sitio a otro, para los valores de *T* están entre 0.18 y 0.26 y para *d* entre 0.70 y 0.85. En el estudio se emplearon intensidades de lluvia con duración no mayores de 24 horas. Se analizaron datos de 80 estaciones en 5 regiones geográficas de la India.

La principal característica del estudio es que los autores verificaron la fórmula de Chen, para lo cual emplearon 20 estaciones con registros de períodos amplios. Las intensidades pronosticadas con dicha ecuación comparadas con las intensidades observadas, dieron hasta un 50% de error. Este es un claro ejemplo de que para aplicar fórmulas empíricas es necesario realizar un estudio en la zona donde se la requiera.

Según Kothyari y Garde, la lluvia observada durante las diferentes duraciones no son eventos independientes, puesto que la observación por consecutivas horas están altamente correlacionadas. Para considerar el efecto de las intensidades de lluvia de corta duración se analizaron cuatro propiedades de estas (la lluvia media anual *P*, la media de la máxima lluvia mensual *P<sub>mdx</sub>*, la relación (*P / P<sub>mdx</sub>*) y la lluvia con duración de 1440 min (24 h) y 2 años de período de retorno *P<sub>1440</sub><sup>2</sup>*). La fórmula propuesta por estos autores es de tipo semi-empírica, con esta se obtuvo una correlación alta, la ecuación es

$$I_d^T = k \frac{T^a}{d^c} (P_{1440}^2)^b \quad (1.74)$$

donde

- $I_d^T$  intensidad de lluvia para una duración  $d$  y un período de retorno  $T$ , en mm/h
- $P_{1440}^2$  precipitación con duración de 1440 min y 2 años de período de retorno, en mm
- $T$  período de retorno, en años
- $d$  duración ( $0 < d < 24$ ), en h
- $k$  constante que depende del sitio geográfico
- $a, b, c$  constantes que se determina por un análisis de regresión múltiple

El empleo de diferentes valores de  $k$  en la ec 1.74, esto es, para diferentes regiones geográficas de la zona considerada, producen menores errores en la estimación de intensidades de lluvia para el diseño.

#### 1.4 MÉTODO DE CORRELACIÓN LINEAL MÚLTIPLE

El empleo de éste método en los Estados Unidos Mexicanos, se ha convertido en un procedimiento tradicional para la determinación de las curvas  $I-d-T$ . El método relaciona simultáneamente, en un ajuste por regresión múltiple, a las tres variables de interés (intensidad, duración y período de retorno). La familia de curvas, como el de la FIGURA 1.1, pueden ser descritas por una ecuación como la siguiente.

$$I = \frac{k T^m}{(d + c)^n} \quad (1.75)$$

donde

- $I$  es la intensidad de la lluvia, en mm/h
- $T$  es el período de retorno, en años
- $d$  es la duración de la intensidad, en min; y
- $k, m, n$  y  $c$  son parámetros que se calculan al hacer la correlación lineal múltiple.

A pesar de la simplicidad y del gran uso que se le ha dado en el medio, su aplicación en la actualidad esta más limitada. El principal motivo de ello está en que con los eventos máximos

modelados empleando la **ec 1.75**, para períodos de retorno largos ( $T > 10$  años), las variaciones son considerables. **Lafragua (1996)**, verificó que los errores fueron de hasta un 40% en el rango de las muestras históricas.

Al expresar la **ec 1.75** en términos de logaritmos, esto es, las variables son normalizadas al emplear los valores de sus respectivos logaritmos, se obtiene

$$\ln I = \ln k + m \ln T - n \ln (d + c) \quad (1.76)$$

esta ecuación es semejante a la ecuación de la forma

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (1.77)$$

donde

$$\begin{aligned} y &= \ln I & x_1 &= \ln T & x_2 &= \ln (d + c) \\ a_0 &= \ln k & a_1 &= m & a_2 &= -n \end{aligned}$$

La **ec 1.77** es una familia de líneas rectas de pendiente  $a_2$ , ordenada al origen  $a_0$  y espaciamiento  $a_1$ . A veces, las líneas rectas resultan ligeramente curvas, lo que se corrige sumando una constante  $c$  a las duraciones. Al contrario, si los datos tienden a agruparse en torno a líneas rectas, se puede considerar  $c = 0$ , (**Aparicio, 1996**).

Los parámetros  $a_0$ ,  $a_1$  y  $a_2$  se calculan mediante un ajuste de correlación lineal múltiple, usando el método de los mínimos cuadrados.

Estos parámetros se obtienen al resolver el siguiente sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} a_0 N + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 &= \sum y \\ a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 &= \sum x_1 y \\ a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 &= \sum x_2 y \end{aligned} \quad (1.78)$$

donde  $N$  es el número total de tercias de datos ( $I, d, T$ ).



## ***CAPÍTULO 2. TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN DE LLUVIAS***

La estimación de la precipitación media en un cierto punto o área de interés es útil para un sinnúmero de aplicaciones. Así pues, el diseño de las obras hidráulicas siempre requiere información hidrológica.

En ocasiones el hidrólogo puede contar con registros de lluvia u otra variable, sin embargo, en la mayoría de los proyectos esta información no se encuentra disponible. Por esta razón el diseñador de obras hidráulicas debe hacer uso de modelos matemáticos que ayuden a pronosticar el fenómeno requerido (**Escalante-Raynal, 1990**).

Se han desarrollado varias técnicas de interpolación de lluvia puntual (modelos matemáticos) y, también los métodos de interpolación espacial. Son muchos los factores que afectan la distribución espacial de la precipitación sobre un área. Por lo tanto, su estimación adecuada depende del número y distribución de las estaciones de medición en el área, así como el método que se emplee para la estimación (**Collado, 1988; Toledo-Collado, 1990**).

En este capítulo se detallan las técnicas de interpolación espacial, se incluyen el comúnmente usado método de Thiessen, la clásica interpolación polinomial por mínimos cuadrados o empleando la técnica de Lagrange, el método de la distancia inversa, el de

interpolación multicuadrática; el método de interpolación óptima y la técnica kriging.

Las técnicas mencionadas tienen aplicaciones tales en los estudios hidrológicos como deducción de datos faltantes, pronóstico de avenidas vía relación del proceso lluvia-escorrentamiento, diseño de estaciones hidrometeorológicas y, en general, es aplicable a problemas geofísicos. Pero, algunos de ellos tienen ciertas limitaciones por el error significativo de su estimación. Los métodos que han dado muy buenos resultados son: la interpolación óptima y el método kriging; y el método de interpolación multicuadrática es tan bueno como los dos anteriores. El lector puede obtener mayor información en la bibliografía del presente trabajo, fundamentalmente en los artículos acerca de las técnicas de interpolación espacial.

Ahora, para iniciar la descripción y desglose de cada una de las técnicas se harán algunas definiciones.

Sean  $X_j$  y  $Y_j$  las coordenadas de un punto  $j$  en un espacio bidimensional y,  $P_j$ , una función de las coordenadas  $X_j$  y  $Y_j$ , la que denota el proceso observado en  $n$  estaciones de medición,  $j$  es el subíndice e indica el sitio al cual refiere el proceso medido,  $j = 1, 2, \dots, n$ .  $P_e$  es una estimación del proceso en un punto con coordenadas  $X_e, Y_e$ . La estimación puntual se hace de datos medidos en las  $n$  estaciones y, esta puede ser representada por una combinación lineal pesada de aquellos valores medidos, es decir

$$P_e = \sum_{j=1}^n W_j P_j \quad (2.1)$$

donde  $W_j =$  peso o factor de peso del punto de muestreo  $j$ .

Esta ecuación es una forma general de la función de interpolación llamada Condición de Linealidad. La condición de sesgo nulo implica que  $E(P_e) = E(P)$ .

El factor de peso se empleará para las diferentes técnicas de interpolación, con la única diferencia de la forma de evaluación de los valores  $W_j$ .

## 2.1 MÉTODO DE THIESSEN

En Hidrología ha sido tradición calcular la precipitación media en un área con base en los polígonos de Thiessen, que en otras áreas del conocimiento se denominan Mosaicos de Dirichlet, Dominios de Voronoi o Regiones de Wigner-Seitz. De acuerdo con este método, a cada estación hidrológica de una cuenca se le asocia un polígono de Thiessen, que define un área donde cada uno de sus puntos está más cerca de esa estación que de cualquier otra. El cociente que resulta de dividir el área de cada polígono entre el área total define un conjunto de pesos, y, conforme a los cuales la precipitación media puede ser calculada como un promedio pesado (Collado, 1988). El error de estimación con el método de Thiessen, es proporcional a la distancia del punto de estimación respecto a la estación más cercana. En una cuenca con una densa red de medición y, por lo cual, el cálculo con este método mejoran los resultados.

La estimación del proceso  $P_e$  en el punto de interés  $e$ , es igual al valor observado de la estación de muestreo más cercana en el área. Esta estimación puede representarse como  $P_e = P_j$ ; para  $j$  cuya distancia sea la menor de las  $n$  estaciones, es decir, si  $d_{ej}$  es la distancia entre el punto de interés  $e$  y la estación  $j$

$$d_{ej} = \sqrt{(X_e - X_j)^2 + (Y_e - Y_j)^2} \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.2)$$

donde

$d_{ei} = \text{Mín}(d_{e1}, \dots, d_{en})$  es la mínima distancia entre el punto  $e$  y alguna estación; el subíndice  $i$  es el que ubica el sitio de dicha estación, por lo que el factor de peso será

$$W_j = 0 \quad \text{para} \quad j \neq i$$

y

$$W_j = 1 \quad \text{para} \quad j = i$$

## 2.2 MÉTODO DE INTERPOLACIÓN POLINOMIAL

Este método consiste en ajustar una ecuación global para el área de interés de estudio; esta es función de las coordenadas del sitio a interpolar, empleando una función algebraica o una polinomial, siendo la forma general de la función polinomial la siguiente

$$P_e = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k (X_e, Y_e) \quad (2.3)$$

donde  $P_e$  es el valor interpolado en cualquier punto  $(X_e, Y_e)$

$a_k$  es el  $k$ -ésimo coeficiente polinomial

$\phi_k (X_e, Y_e)$  es el  $k$ -ésimo monomio en términos de las coordenadas  $X_e$  y  $Y_e$

$m$  es el número total de monomios, este se determina del grado de la función polinomial ajustada en la ec 2.3

Los monomios algebraicos en términos de las coordenadas  $X$  y  $Y$  se encuentran en la **TABLA 2.1**. Como la función de interpolación, ec 2.1, está en términos de los pesos es conveniente expresar la ecuación polinomial 2.3 en forma de la ec 2.1. Para lograr lo anterior se disponen de dos métodos aproximados, uno es el de mínimos cuadrados y el otro es la aproximación de Lagrange.

### 2.2.1 Aproximación por Mínimos Cuadrados

Este método provee una estimación de  $P_e$  teniendo una tendencia superficial característica. El requerimiento primordial de esta aproximación es que el número de estaciones de medición  $n$  sea mayor al número de monomios  $m$ .

Si  $P_j$  es la medición del proceso analizado, en este caso la precipitación u otro cualesquiera, medido en las estaciones  $j = 1, 2, \dots, n$  y  $\hat{P}_j$  es el valor estimado del mismo proceso basado en un modelo como la ec 2.3, entonces

$$\hat{P}_j = \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(X_j, Y_j) \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

donde  $a_k$  es el k-ésimo coeficiente polinomial  
 $\phi_k(X_j, Y_j)$  es el k-ésimo monomio en términos de las coordenadas  $X_j$  y  $Y_j$  de la estación  $j$ .

**TABLA 2.1** Monomios algebraicos en términos de las coordenadas  $X$  e  $Y$  para una función polinomial hasta de grado 6.

Grado	$k$	$\phi_k(X, Y)$	$m$
0	1	1	1
1	2-3	$X \quad Y$	3
2	4-6	$X^2 \quad XY \quad Y^2$	6
3	7-10	$X^3 \quad X^2Y \quad XY^2 \quad Y^3$	10
4	11-15	$X^4 \quad X^3Y \quad X^2Y^2 \quad XY^3 \quad Y^4$	15
5	16-21	$X^5 \quad X^4Y \quad X^3Y^2 \quad X^2Y^3 \quad XY^4 \quad Y^5$	21
6	22-28	$X^6 \quad X^5Y \quad X^4Y^2 \quad X^3Y^3 \quad X^2Y^4 \quad XY^5 \quad Y^6$	28

Se desea estimar el arreglo de parámetros  $a_k$ ,  $k = 1, \dots, m$  por medio de la minimización de la suma del cuadrado de los errores, el cual está dado por

$$f = \sum_{j=1}^n [P_j - \hat{P}_j]^2 \quad (2.5)$$

Derivando la función  $f$  con respecto a los coeficientes  $a_k$ ,  $k = 1, \dots, m$  e igualando la ecuación a cero y ordenando se obtiene

$$\sum_{i=1}^m a_i \sum_{j=1}^n \phi_k(X_j, Y_j) \phi_i(X_j, Y_j) = \sum_{j=1}^n P_j \phi_k(X_j, Y_j) \quad ; \quad (2.6)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

Note que el segundo término sumatorio del lado izquierdo de la ec 2.6 es únicamente función de las coordenadas de los puntos de las estaciones, los cuales están en forma de función polinomial en la ec 2.3, por lo tanto, los coeficientes polinomiales,  $a_k$  se obtienen como sigue

$$a_k = \sum_{j=1}^n \alpha_{kj} P_j \quad ; \quad k = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

donde

$$\alpha_{kj} = \sum_{i=1}^m \psi_{ki} \phi_i (X_j, Y_j) \quad ; \quad k = 1, \dots, m \quad ; \quad i = 1, \dots, m$$

$\psi_{ki}$  elemento del renglón  $k$ -ésimo y de la  $i$ -ésima columna de la matriz inversa de  $[m \times m]$  cuyos elementos son

$$\theta_{ki} = \sum_{j=1}^n \phi_k (X_j, Y_j) \phi_i (X_j, Y_j) \quad k = 1, \dots, m \text{ renglones, e } i = 1, \dots, m \text{ columnas}$$

sustituyendo la ec 2.7 en la ec 2.4 se obtiene

$$P_e = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \phi_k (X_e, Y_e) \right] P_j \quad (2.8)$$

si se comparan las ecs 2.8 y 2.1 es claro que el factor de peso queda expresado como

$$W_j = \sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \phi_k (X_e, Y_e)$$

Por consiguiente, en la interpolación sobre un área, la matriz con coeficientes  $\alpha_{kj}$  se evalúa sólo una vez, puesto que éste es solamente función de las coordenadas de los puntos de las estaciones. Los factores de pesos son determinados a partir de los monomios  $\phi_k (X_e, Y_e)$  en término de las coordenadas del sitio a ser interpolado,  $(X_e, Y_e)$ .

Para un conjunto de valores  $P$  observados, pertenecientes a la estación de medición  $j$  con coordenadas  $(X_j, Y_j)$ , puede expresarse un polinomio de 2º grado, por ejemplo, éste tiene 6 coeficientes y 6 monomios algebraicos y se representa como sigue

$$P = a_1 + a_2 X + a_3 Y + a_4 X^2 + a_5 X Y + a_6 Y^2 \quad (2.9)$$

Polinomio en el cual los coeficientes  $a_k$  se obtuvieron con un mínimo error a partir de la ec 2.7. Una vez calculados dichos coeficientes, la ecuación resultante se emplea para calcular la precipitación en cualquier punto  $X_e, Y_e$ .

$$P_e = a_1 + a_2 X_e + a_3 Y_e + a_4 X_e^2 + a_5 X_e Y_e + a_6 Y_e^2$$

Por ejemplo, sean 4 estaciones con coordenadas  $(X_j, Y_j)$ , las precipitaciones correspondientes  $(P_j)$  y un punto de interés  $(X_e, Y_e)$ . En forma matricial se plantean las siguientes

$$[XY]_{ij} = \begin{bmatrix} X_1, Y_1 \\ X_2, Y_2 \\ X_3, Y_3 \\ X_4, Y_4 \end{bmatrix} ; [XY]_e = [X_e, Y_e] ; [P_j] = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix}$$

para un polinomio de 2º grado, de la ec 2.7, se tiene que

$$a_k = \sum_{j=1}^n P_j \left[ \sum_{i=1}^m \psi_{ki} \phi_i (X_j, Y_j) \right] ; \text{ y además, los términos } \theta_{ki}, \text{ obtenidos al evaluar la función}$$

polinomial dada en la TABLA 2.1, se calculan de la siguiente manera

$$\theta_{11} = [\phi_1 (X_1, Y_1) \phi_1 (X_1, Y_1) + \phi_1 (X_2, Y_2) \phi_1 (X_2, Y_2) + \phi_1 (X_3, Y_3) \phi_1 (X_3, Y_3) + \phi_1 (X_4, Y_4) \phi_1 (X_4, Y_4)] ;$$

$$\theta_{12} = [\phi_1 (X_1, Y_1) \phi_2 (X_1, Y_1) + \phi_1 (X_2, Y_2) \phi_2 (X_2, Y_2) + \phi_1 (X_3, Y_3) \phi_2 (X_3, Y_3) + \phi_1 (X_4, Y_4) \phi_2 (X_4, Y_4)]$$

de igual forma se calculan los demás términos  $\theta_{13}, \theta_{14}, \theta_{15}, \theta_{16}, \theta_{21}, \theta_{31}, \theta_{41}, \dots, \theta_{66}$ ; obteniéndose así las matrices de coeficientes

$$[\theta_{ki}] = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} & \theta_{15} & \theta_{16} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & & & & \\ \theta_{31} & & \theta_{33} & & & \\ \theta_{41} & & & \theta_{44} & & \\ \theta_{51} & & & & \theta_{55} & \\ \theta_{61} & & & & & \theta_{66} \end{bmatrix} \quad [\psi_{ki}] = \begin{bmatrix} \psi_{11} & \psi_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \psi_{16} \\ \psi_{21} & \psi_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \psi_{26} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \psi_{61} & \psi_{62} & \cdot & \cdot & \cdot & \psi_{66} \end{bmatrix}$$

donde los términos  $\psi_{ki}$  representan los elementos de la matriz inversa del cuadro anterior, matricialmente se tiene  $[\theta_{ki}]^{-1} = [\psi_{ki}]$ . Luego, los elementos  $\alpha_{kj}$  de la ec 2.7 resultan de multiplicar las matrices cuyos elementos son  $\psi_{ki}$  y  $\phi_i(X_j, Y_j)$ ; a continuación se obtienen algunos de estos

$$\alpha_{11} = [\psi_{11} \phi_1(X_1, Y_1) + \psi_{12} \phi_2(X_1, Y_1) + \dots + \psi_{16} \phi_6(X_1, Y_1)]$$

$$\alpha_{21} = [\psi_{21} \phi_1(X_1, Y_1) + \psi_{22} \phi_2(X_1, Y_1) + \dots + \psi_{26} \phi_6(X_1, Y_1)]$$

$$\alpha_{31} \quad \dots \quad \alpha_{41} \quad \dots \quad \alpha_{51} \quad \dots$$

$$\alpha_{61} = [\psi_{61} \phi_1(X_1, Y_1) + \psi_{62} \phi_2(X_1, Y_1) + \dots + \psi_{66} \phi_6(X_1, Y_1)]$$

$$\alpha_{12} \quad \dots \quad \alpha_{13} \quad \dots \quad \alpha_{14} \quad \dots \quad \alpha_{1n}$$

para  $n = 4$ , el último elemento es

$$\alpha_{1n} = \alpha_{14} = [\psi_{11} \phi_1(X_4, Y_4) + \dots + \psi_{16} \phi_6(X_4, Y_4)]$$

por consiguiente, los elementos calculados forman la siguiente matriz

$$[\alpha_{kj}] = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{14} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{24} & \dots & \alpha_{2n} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} & \alpha_{34} & \dots & \alpha_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \alpha_{61} & \alpha_{62} & \alpha_{63} & \alpha_{64} & \dots & \alpha_{6n} \end{bmatrix}$$

$$[m \times n]$$



finalmente, el valor interpolado en el punto  $e$  se obtiene aplicando la ec 2.8. También se puede calcular los coeficientes polinomiales  $a_k$  a partir de la ec 2.7 y por último emplear la ec 2.9.

### 2.2.2 Aproximación de Lagrange

Esta aproximación es referida algunas veces como "Interpolación de Lagrange" y, es una técnica de interpolación confiable (Brodie, 1980); fue descubierto por el gran matemático francés Joseph Lagrange (1736-1813). Para la aplicación de esta técnica, los coeficientes  $a_k$  son evaluados de modo que el proceso  $P$  pudiera pasar a través de los valores observados en las estaciones. Por lo tanto, esta aproximación requiere que el número de monomios sea igual al número de estaciones, es decir que  $m = n$ . La ec 2.4 puede reescribirse como

$$P_j = \sum_{k=1}^n a_k \phi_k(X_j, Y_j) \quad ; \quad j = 1, \dots, n$$

y los coeficientes  $a_k$  se estiman como sigue

$$a_k = \sum_{j=1}^n \beta_{kj} P_j \quad ; \quad k = 1, \dots, n$$

donde  $\beta_{kj}$  elementos de la matriz inversa, de  $n \times n$ , con elementos  $\phi_k(X_j, Y_j)$  para  $k = 1, \dots, n$  monomios (filas) y  $j = 1, \dots, n$  estaciones (columnas).

así, sustituyendo los valores obtenidos de  $a_k$ , la expresión resultante para estimar  $P_e$  es

$$P_e = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^n \beta_{kj} \phi_k(X_e, Y_e) \right] P_j \quad (2.10)$$

y la expresión entre corchetes son los factores de peso

$$W_j = \sum_{k=1}^n \beta_{kj} \phi_k(X_e, Y_e)$$

### 2.3 MÉTODO DE LA INTERPOLACIÓN INVERSA

La técnica de Interpolación Inversa es un esquema que pertenece a una familia de métodos de distancias pesadas (Tabios y Salas, 1985). La influencia de la lluvia en una estación para el cálculo de la misma en cualquier otro punto es inversamente proporcional a la distancia entre los dos puntos. El método da mayor peso a la estación más cercana y se reduce conforme la distancia es mayor, dependiendo del exponente  $\beta$ , (Abtew *et al.*, 1993). Los pesos de la función de interpolación, ec 2.1, son solamente una función de la distancia entre el punto de interés  $(X_i, Y_i)$  y los puntos de medición  $(X_j, Y_j)$  para  $j = 1, \dots, n$ .

Considerando la distancia  $d_{ij}$  como se expresó en la ec 2.2, el peso correspondiente al punto  $(X_j, Y_j)$  está dado en general por

$$W_j = \frac{F(d_{ij})}{\sum_{i=1}^n F(d_{ei})} \quad (2.11)$$

donde  $F(d_{ij})$  representa una función dada de la distancia  $d_{ij}$ .

Una forma comúnmente usada de la función  $F(*)$  es  $F(d_{ij}) = \left[ \frac{1}{d_{ij}} \right]^\beta$

donde  $\beta$  es una constante apropiada. De acuerdo con lo anterior, sustituyendo la función  $F(*)$  en la ec 2.11 se obtiene

$$W_j = \frac{\left[ \frac{1}{d_{ij}} \right]^\beta}{\sum_{j=1}^n \left[ \frac{1}{d_{ej}} \right]^\beta} \quad (2.12)$$

Es importante notar que el factor de peso  $W_j$  tiende a cero cuando hay incremento en la distancia  $d_{ij}$  y/o el parámetro  $\beta$ . Cuando la potencia  $\beta$  toma valores de 1 ó 2, la técnica es

llamada como interpolación de la distancia inversa o interpolación del cuadrado de la distancia inversa, respectivamente. Según **Abtew, et al., (1993)**, este método es mejor que los métodos de Thiessen y el de Interpolación Polinomial de primer grado.

#### 2.4 MÉTODO DE INTERPOLACIÓN MULTICUADRÁTICA

En la Interpolación Multicuadrática, la influencia de cada estación de medición es representada por superficies cuadradas de conos como función de sus coordenadas (**Hardy, 1971**) (**FIGURA 2.1**). La estimación para un punto dado  $(X_e, Y_e)$  se obtiene por la suma de las contribuciones de todas las superficies. Esto se expresa matemáticamente como

$$P_e = \sum_{i=1}^n C_i d_{ei} \quad (2.13)$$

donde  $C_i$  es el coeficiente multicuadrático del punto  $(X_i, Y_i)$   
 $d_{ei}$  distancia entre los puntos  $(X_e, Y_e)$  y  $(X_i, Y_i)$ .

Para estimar los coeficientes  $C_i$  y expresar la ec 2.13 en términos de los factores de pesos, se usará esta ecuación para cada punto  $(X_j, Y_j)$  como

$$P_j = \sum_{i=1}^n C_i d_{ij} \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

y los coeficientes  $C_i$  se determinan como sigue

$$C_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} P_j \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.14)$$

donde  $\delta_{ij}$  es un elemento de la matriz inversa de  $n \times n$ , cuyos elementos son las distancias  $d_{ij}$  entre las  $n$  estaciones. Sustituyendo la ec 2.14 en la ec 2.13 tenemos

$$P_e = \sum_{i=1}^n d_{ei} \sum_{j=1}^n \delta_{ij} P_j$$

o

$$P_e = \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{i=1}^n \delta_{ij} d_{ei} \right] P_j \quad (2.15)$$

y nuevamente los factores de peso para cada estación son

$$W_j = \sum_{i=1}^n \delta_{ij} d_{ei} \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Por ejemplo, para 4 estaciones  $i = 1, 2, \dots, 4$  y  $j = 1, 2, \dots, 4$ , la matriz de distancias para las estas estaciones  $[d_{ij}]$  es

$$[d_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & d_{12} & d_{13} & d_{14} \\ d_{21} & 0 & d_{23} & d_{24} \\ d_{31} & d_{32} & 0 & d_{34} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

$$[n \times n] = [4 \times 4]$$

$$[\delta_{ij}] = [D_{ij}]^{-1} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \delta_{14} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \delta_{24} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \delta_{34} \\ \delta_{41} & \delta_{42} & \delta_{43} & \delta_{44} \end{bmatrix}$$

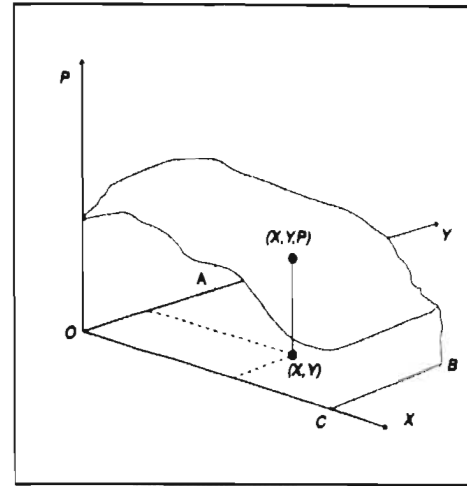


FIG 2.1 Esquema de superficie en la interpolación multicuadrática.

y empleando la **ec 2.14** se obtienen los coeficientes multicuadráticos, es decir

$$C_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} P_j = \begin{bmatrix} \delta_{11} P_1 + \delta_{12} P_2 + \delta_{13} P_3 + \delta_{14} P_4 \\ \delta_{21} P_1 + \delta_{22} P_2 + \delta_{23} P_3 + \delta_{24} P_4 \\ \delta_{31} P_1 + \delta_{32} P_2 + \delta_{33} P_3 + \delta_{34} P_4 \\ \delta_{41} P_1 + \delta_{42} P_2 + \delta_{43} P_3 + \delta_{44} P_4 \end{bmatrix}$$

$$W_j = \sum_{i=1}^n \delta_{ij} d_{ei} = \begin{bmatrix} \delta_{11} d_{e1} + \delta_{12} d_{e2} + \delta_{13} d_{e3} + \delta_{14} d_{e4} \\ \delta_{21} d_{e1} + \delta_{22} d_{e2} + \delta_{23} d_{e3} + \delta_{24} d_{e4} \\ \delta_{31} d_{e1} + \delta_{32} d_{e2} + \delta_{33} d_{e3} + \delta_{34} d_{e4} \\ \delta_{41} d_{e1} + \delta_{42} d_{e2} + \delta_{43} d_{e3} + \delta_{44} d_{e4} \end{bmatrix}$$

$$P_e = \sum_{j=1}^n W_j P_j = \begin{bmatrix} (\delta_{11} d_{e1} + \delta_{12} d_{e2} + \delta_{13} d_{e3} + \delta_{14} d_{e4}) P_1 \\ (\delta_{21} d_{e1} + \delta_{22} d_{e2} + \delta_{23} d_{e3} + \delta_{24} d_{e4}) P_2 \\ (\delta_{31} d_{e1} + \delta_{32} d_{e2} + \delta_{33} d_{e3} + \delta_{34} d_{e4}) P_3 \\ (\delta_{41} d_{e1} + \delta_{42} d_{e2} + \delta_{43} d_{e3} + \delta_{44} d_{e4}) P_4 \end{bmatrix}$$

## 2.5 MÉTODO DE INTERPOLACIÓN ÓPTIMA

Este método consiste en minimizar la varianza del error medio de interpolación, para así entonces determinar los factores de peso de cada estación. La varianza del error medio está expresada en términos de los pesos  $W_j$  y de la correlación espacial.

Considere que  $P_e$  es el proceso a determinarse y, además se emplee la ec 2.1 para estimar  $P_e$ . Sea  $\hat{P}_e$  el valor estimado de  $P_e$ , por medio de dicha ecuación, entonces la minimización de la varianza del error de interpolación  $\sigma_e^2$ , la cual está dada por

$$\sigma_e^2 = \text{VAR} [P_e - \hat{P}_e] = \text{VAR} \left[ P_e - \sum_{j=1}^n W_j P_j \right] \quad (2.16)$$

donde  $\text{VAR} [^*]$  se entiende por varianza del error

expandiendo la ec 2.16 se obtiene

$$\sigma_e^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n W_j \text{COV} (P_e, P_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j \text{COV} (P_i, P_j) \quad (2.17)$$

donde  $\sigma^2$  es la varianza del proceso  $P_e$ , y  $\text{COV} (P_i, P_j)$  representa la covarianza entre  $P_i$  y  $P_j$ ,

minimizando la ecuación precedente con respecto a los pesos  $W_j$ ; para  $j = 1, \dots, n$  estaciones e igualando cada una de ellas a cero, el resultado es

$$\sum_{i=1}^n w_i COV (P_i P_j) = COV (P_e P_j) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.18)$$

si consideramos que la varianza es homogénea los términos de la covarianza de la ec 2.18 pueden ser reemplazados por

$$COV (P_i P_j) = \sigma_i \sigma_j \rho (P_i P_j) = \sigma^2 \rho (P_i P_j) \quad (2.19)$$

y

$$COV (P_e P_j) = \sigma^2 \rho (P_e P_j) \quad (2.20)$$

donde  $\rho (P_i P_j)$  y  $\rho (P_e P_j)$  son los coeficientes de correlación espacial.

Para estimar estos coeficientes de correlación es necesario definir una función de correlación espacial. Esta expresa continuidad espacial, puesto que se trata de una variable aleatoria  $P$ . Para ello, se considera que la estructura de correlación espacial es homogénea e isotrópica.

Así  $\rho (P_i P_j)$  puede escribirse como una función de la distancia, por lo tanto,  $\rho (P_i P_j)$  viene a ser  $\rho (d_{ij})$  en la que  $d_{ij}$  es la distancia entre los puntos  $(X_i, Y_i)$  y  $(X_j, Y_j)$ .

En consecuencia, la ec 2.18 se reescribe como

$$\sum_{i=1}^n w_i \rho (d_{ij}) = \rho (d_{ej}) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.21)$$

y los factores de peso se obtienen por resolución del sistema de ecuaciones lineales, ec 2.21.

En la anterior, los valores de la función de correlación espacial para los puntos  $ij$  y para el punto  $e$ , los factores de peso expresados en forma matricial son

$$[\rho(d_{ij})] = \begin{bmatrix} \rho(d_{11}) & \rho(d_{12}) & \dots & \rho(d_{1n}) \\ \rho(d_{21}) & \rho(d_{22}) & \dots & \rho(d_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho(d_{n1}) & \rho(d_{n2}) & \dots & \rho(d_{nn}) \end{bmatrix} \quad [\rho(d_{ej})] = \begin{bmatrix} \rho(d_{e1}) \\ \rho(d_{e2}) \\ \vdots \\ \rho(d_{en}) \end{bmatrix} \quad [W] = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

$[n \times n]$ 
 $[n \times 1]$ 
 $[n \times 1]$

por lo tanto la solución es

$$[W] = [\rho(d_{ij})]^{-1} [\rho(d_{ej})] = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \rho(d_{e1}) \\ \rho(d_{e2}) \\ \vdots \\ \rho(d_{en}) \end{bmatrix}$$

$[n \times n]$ 
 $[n \times 1]$

donde  $R_{ij}$  son los elementos de la matriz inversa de la matriz  $[\rho(d_{ij})]$

La varianza del error para la interpolación óptima en el punto  $(X_e, Y_e)$  puede obtenerse por sustitución de las ecs 2.18 a la 2.21 en la ec 2.17, es decir

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n W_j \sigma^2 \rho(P_e P_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j \sigma^2 \rho(P_i P_j)$$

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 - 2 \sigma^2 \sum_{j=1}^n W_j \rho(d_{ej}) + \sigma^2 \sum_{j=1}^n W_j \rho(d_{ej})$$

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 - \sigma^2 \sum_{j=1}^n W_j \rho(d_{ej})$$

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 \left[ 1 - \sum_{j=1}^n W_j \rho(d_{ej}) \right]$$

Para que el estimador  $\hat{P}_e$  sea insesgado debe satisfacerse que la suma de los factores de

peso sea igual a la unidad, esto es

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad (2.22)$$

Combinando las ecs 2.17 y 2.22, se añade un término a la expresión con la que es posible hallar una nueva serie de valores de los pesos  $W_j$ , y se obtienen al minimizar la expresión resultante

$$\sigma_e^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n W_j COV(P_e, P_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j COV(P_i, P_j) + 2 \lambda \left[ \sum_{j=1}^n W_j - 1 \right] \quad (2.23)$$

donde  $\lambda$  es un multiplicador de Lagrange

minimizando esta función con respecto a los factores de peso se obtiene que

$$\sum_{i=1}^n W_i COV(P_i, P_j) + \lambda = COV(P_e, P_j) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.24)$$

esta expresión puede escribirse en términos de la correlación isotrópica

$$\sum_{i=1}^n W_i \rho(d_{ij}) + \lambda = \rho(d_{ej}) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.25a)$$

y la condición

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2.25b)$$

El sistema lineal de ecuaciones 2.25 puede resolverse simultáneamente para obtener los factores de peso  $W_j$ , donde los términos matriciales son

$$[W_j] = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \\ \lambda \end{bmatrix} ; [ \rho(d_{ej}) ] = \begin{bmatrix} \rho(d_{e1}) \\ \rho(d_{e2}) \\ \vdots \\ \rho(d_{en}) \\ 1 \end{bmatrix} ; [ \rho(d_{ij}) ] = \begin{bmatrix} \rho(d_{11}) & \rho(d_{12}) & \dots & \rho(d_{1n}) & 1 \\ \rho(d_{21}) & \rho(d_{22}) & \dots & \rho(d_{2n}) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & 1 \\ \rho(d_{n1}) & \rho(d_{n2}) & \dots & \rho(d_{nn}) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



con los cuales se forma el sistema de ecuaciones siguiente

$$\begin{array}{l}
 j = 1 ; \quad W_1 \rho_{11} + W_2 \rho_{21} + \dots + W_n \rho_{n1} + \lambda = \rho_{e1} \\
 j = 2 ; \quad W_1 \rho_{12} + W_2 \rho_{22} + \dots + W_n \rho_{n2} + \lambda = \rho_{e2} \\
 \vdots \\
 j = n ; \quad W_1 \rho_{1n} + W_2 \rho_{2n} + \dots + W_n \rho_{nn} + \lambda = \rho_{en}
 \end{array}$$

igualmente, la varianza del error de la interpolación óptima real se obtiene con la siguiente expresión

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 \left[ 1 - \sum_{j=1}^n W_j \rho(d_{ej}) \right] - \lambda$$

### **ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE CORRELACIÓN ESPACIAL**

La función de correlación espacial,  $\rho(d_{ij})$ , se obtiene de observaciones entre  $n(n-1)/2$  pares de estaciones y la distancia entre ellas. Asumiendo que en el área de estudio (Cuenca del Río Papaloapan) el comportamiento de la variable aleatoria  $P$  es homogéneo e isotrópico, la función de correlación puede ser representada por alguno de los siguientes modelos propuestos por Yevjevich y Karplus en 1973, (Tabios y Salas, 1985).

- a) Modelo inverso:  $\rho(d_{ij}) = \frac{1}{1 + d_{ij}/c}$
- b) Modelo de potencia inversa:  $\rho(d_{ij}) = \frac{1}{(1 + d_{ij}/c)^a}$
- c) Modelo exponencial:  $\rho(d_{ij}) = e^{-d_{ij}/c}$

donde  $d_{ij}$  es la distancia entre el par de estaciones  
 $a$  y  $c$  son coeficientes ( $c$  es conocido como radio característico)

La estimación de la función de correlación puede efectuarse, por ejemplo, mediante regresión con mínimos cuadrados, por el criterio de máxima verosimilitud o por métodos iterativos.

Para hacer el ajuste de las funciones de correlación, en primer lugar, se estiman las correlaciones entre estaciones, así para las estaciones  $i$  y  $j$ , el coeficiente de correlación muestral está dado por

$$\hat{\rho}(d_{ij}) = \frac{1}{N-1} \frac{\sum_{t=1}^N [P'_i - \hat{m}_i] [P'_j - \hat{m}_j]}{\hat{S}_i \hat{S}_j} \quad (2.26)$$

donde

$P'_i$  son las observaciones de las series de tiempo del proceso  $P$  en la estación  $i$

$P'_j$  son las observaciones de las series de tiempo del proceso  $P$  en la estación  $j$

$\hat{m}_i$  es la media de las observaciones en la estación  $i$

$\hat{m}_j$  es la media de las observaciones en la estación  $j$

$\hat{S}_i$  es la desviación estándar insesgada de las observaciones en la estación  $i$

$\hat{S}_j$  es la desviación estándar insesgada de las observaciones en la estación  $j$

$N$  es el número total de datos históricos en común entre el par de estaciones

La distancia  $d_{ij}$  entre las estaciones se calcula con la ec 2.2. Entonces, para  $n$  estaciones, hay  $n(n-1)/2$  pares de estaciones las cuales son usadas en el ajuste de las funciones de correlación espacial (TABLA 4.4).

## 2.6 MÉTODO DE INTERPOLACIÓN KRIGING

La palabra kriging procede del nombre de un geólogo sudafricano, D.G. Krige y se le ha considerado el precursor del método. Puesto que tuvo mayor difusión en la Escuela de Minas de París, se emplea el término francés "krigeage" y, debido a la gran difusión de la literatura anglosajona es de uso común la palabra "kriging"; también se ha optado por el término "krigeado" (Samper y Carrera, 1990).

En cuanto a la técnica, se han propuesto y desarrollado varias formas y se han aplicado a estudios hidrológicos. Este método es similar a la interpolación óptima, excepto que la función de correlación espacial se reemplaza por el semivariograma. Como en la interpolación óptima, la interpolación kriging requiere que el proceso observado sea estacionario de segundo orden. Esencialmente, este supone homogeneidad en las medias, varianzas y covarianzas. Como consecuencia de lo anterior se asume una estructura de covarianza espacial isotrópica. Por consiguiente: la varianza en un punto se representa por  $VAR(P_i) = \sigma^2$  ;  $i = 1, \dots, n$  estaciones y; la covarianza entre las estaciones  $i$  y  $j$ , se representa por  $COV(P_i, P_j) = COV(d_{ij})$  , (Tabios y Salas, 1985).

El semivariograma isotrópico y homogéneo está definido como

$$\gamma(d_{ij}) = \frac{1}{2} VAR[P_i - P_j]$$

o

$$\gamma(d_{ij}) = \sigma^2 - COV(d_{ij}) \quad ; \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.27)$$

donde  $\gamma(d_{ij})$  es el semivariograma como una función de la distancia  $d_{ij}$  entre los puntos  $i$  y  $j$ . Es una aproximación del semivariograma y representa una función de dependencia espacial e indica qué tan parecidas son las muestras que están separadas una distancia  $d_{ij}$  (Pérez Brito, 1992).

sustituyendo la ec 2.27 por  $COV(P_i, P_j) = COV(d_{ij})$ , la ec 2.17 se reescribe como

$$\sigma_e^2 = \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n W_j [\sigma^2 - \gamma(d_{ej})] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j [\sigma^2 - \gamma(d_{ij})] \quad (2.28)$$

### 2.6.1 Kriging ordinario y restringido

Minimizando la ec 2.28 respecto a los factores de peso, esto es igualar a cero la derivada de dicha ecuación, da como resultado

$$\sum_{i=1}^n W_i [\gamma(d_{ij}) - \sigma^2] = \gamma(d_{ej}) - \sigma^2 \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.29)$$

este sistema es lineal y siempre tiene solución única ya que el determinante de la matriz del sistema es no nulo, por ser dicha matriz de coeficientes definida positiva y puede resolverse simultáneamente para estimar los factores de peso  $W_i$ . Note que esta matriz no depende de  $d_{ej}$  por lo que es fácil calcular los coeficientes  $W_i$  para distintos valores  $d_{ej}$ , simplemente cambiando el término independiente.

Como en el método de interpolación óptima, la varianza del error de interpolación  $\hat{\sigma}_e^2$  puede ser obtenido combinando las ecs 2.28 y 2.29, de modo que

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sigma^2 \left[ 1 - \sum_{j=1}^n W_j \right] + \sum_{j=1}^n W_j \gamma(d_{ej})$$

además, el valor estimado  $\hat{P}_e$  será insesgado si se adiciona al sistema la ec 2.22. Por lo tanto, en este caso, la ecuación también puede resolverse a partir de

$$\sum_{i=1}^n W_i \gamma(d_{ij}) + \lambda = \gamma(d_{ej}) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \quad (2.30a)$$

y

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2.30b)$$

sistema lineal de  $n+1$  ecuaciones con  $n+1$  incógnitas, el cual puede ser resuelto simultáneamente para obtener los factores de peso. En este caso, la varianza del error de interpolación es

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sum_{j=1}^n W_j \gamma(d_{ej}) + \lambda$$

La solución en forma matricial se puede representar con los términos siguientes

$$[W] = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}; \quad [\gamma(d_{ij})] = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nn} \end{bmatrix}; \quad [\gamma(d_{ej})] = \begin{bmatrix} \gamma_{e1} \\ \gamma_{e2} \\ \gamma_{e3} \\ \gamma_{e4} \end{bmatrix}$$

para la ec 2.29 el sistema de ecuaciones lineales a resolver es

$$\begin{aligned} j=1; & \quad W_1[\gamma_{11} - \sigma^2] + W_2[\gamma_{21} - \sigma^2] + \dots + W_n[\gamma_{n1} - \sigma^2] = \gamma_{e1} - \sigma^2 \\ & \quad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ & \quad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \qquad \qquad \qquad \vdots \\ j=n; & \quad W_1[\gamma_{1n} - \sigma^2] + W_2[\gamma_{2n} - \sigma^2] + \dots + W_n[\gamma_{nn} - \sigma^2] = \gamma_{en} - \sigma^2 \end{aligned}$$

y que su solución esta dada por

$$\begin{aligned} [\gamma(d_{ij})] [W_i] &= [\gamma(d_{ej})] \\ [W_i] &= [\gamma(d_{ij})]^{-1} [\gamma(d_{ej})] \end{aligned}$$

para las ecs (2.30a) y (2.30b)

$$[W] = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \\ \lambda \end{bmatrix}; [Y(d_{ij})] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} & 1 \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}; [Y(d_{ej})] = \begin{bmatrix} Y_{e1} \\ Y_{e2} \\ \vdots \\ Y_{en} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} j=1; & W_1 Y_{11} + W_2 Y_{21} + \dots + W_n Y_{n1} + \lambda = Y_{e1} \\ & \vdots \\ & \vdots \\ j=n; & W_1 Y_{1n} + W_2 Y_{2n} + \dots + W_n Y_{nn} + \lambda = Y_{en} \\ & W_1 + W_2 + \dots + W_n + 0 = 1 \end{aligned}$$

matricialmente, se tiene que el esquema kriging ordinario restringido es

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{21} & \dots & Y_{n1} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Y_{1n} & Y_{2n} & \dots & Y_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ W_n \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{e1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_{en} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$[G] \qquad [W] \qquad [F]$

$$[W] = [G]^{-1} [F]$$

### 2.6.2 Kriging universal

Otro esquema de la interpolación kriging fue propuesta por **Delfiner y Delhome (1975)**, éste intenta incluir la no homogeneidad en la media del proceso, la técnica propuesta se llamó **kriging universal**. En este método la media  $m_e$  en el punto  $(X_e, Y_e)$  se representa por una combinación lineal de las medias de las estaciones  $m_j$ , como en la ec 2.1, tal como

$$m_e = \sum_{j=1}^n W_j m_j \quad (2.31)$$

donde

$W_j$  es el factor de peso de la estación  $j$  para  $j = 1, \dots, n$

como quiera que las medias son desconocidas, estas pueden ser representadas por una tendencia polinomial como la ec 2.3. Reescribiendo la ec 2.31 en términos de la tendencia polinomial resulta (**Tabios y Salas, 1985**)

$$\sum_{k=1}^m a_k \phi_k(X_e, Y_e) = \sum_{j=1}^n W_j \left[ \sum_{k=1}^m a_k \phi_k(X_j, Y_j) \right]$$

o como alternativa

$$\sum_{k=1}^m a_k \phi_k(X_e, Y_e) = \sum_{k=1}^m a_k \left[ \sum_{j=1}^n W_j \phi_k(X_j, Y_j) \right]$$

por consiguiente, el  $k$ -ésimo monomio en el punto  $(X_e, Y_e)$  es

$$\phi_k(X_e, Y_e) = \sum_{j=1}^n W_j \phi_k(X_j, Y_j) \quad ; \quad k = 1, \dots, m \quad (2.32)$$

imponiendo la anterior ecuación a que satisfaga la ec 2.28, la función resultante es

$$\begin{aligned} \sigma_e^2 = & \sigma^2 - 2 \sum_{j=1}^n W_j [\sigma^2 - \gamma(d_{ej})] + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n W_i W_j [\sigma^2 - \gamma(d_{ij})] \\ & - 2 \sum_{k=1}^m \lambda_k \left[ \sum_{j=1}^n W_j \phi_k(X_j, Y_j) - \phi_k(X_e, Y_e) \right] \end{aligned} \quad (2.33)$$

la cual es una ecuación a ser minimizada, por tanto, derivándola con respecto a los factores de peso y a los multiplicadores de Lagrange, los pesos y los multiplicadores se calculan por la resolución de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n W_i \gamma(d_{ij}) + \sum_{k=1}^m \lambda_k \phi_k(X_j, Y_j) &= \gamma(d_{ej}) \quad ; \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n W_j &= 1 \\ \sum_{i=1}^n W_i \phi_k(X_i, Y_i) &= \phi_k(X_e, Y_e) \quad ; \quad k = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.34)$$

donde

$n$  es el número de estaciones en estudio, y  $m$  es el número de monomios.

Además, la varianza del error de interpolación se obtiene con la siguiente ecuación

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sum_{j=1}^n W_j \left[ \gamma(d_{ej}) + \sum_{k=1}^m \lambda_k \phi_k(X_j, Y_j) \right]$$

Las investigaciones realizadas acerca del grado polinomial de la función que representa la media (Volpi-Gambolati, 1978 y Gambolati-Volpi, 1979), al seleccionar un grado polinomial arbitrario, pueden inducir a una evaluación inapropiada del semivariograma. De hecho, al incrementar el grado polinomial se comete un error en la interpolación. En cambio, ellos proponen la asignación *a priori* de la media  $m_j, j = 0, 1, \dots, n$  ajeno al marco de la técnica kriging. Algunas veces es recomendable una media constante.

Entonces, considerando la ec 2.31 como restricción en la ec 2.28, además de obligar que la suma de los factores de pesos debe sea igual a uno, el sistema lineal de ecuaciones resultantes a resolver es



$$\sum_{i=1}^n W_i \gamma(d_{ij}) + \lambda_0 + \lambda_1 m_j = \gamma(d_{ej}) \quad ; \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n W_i m_i = m_0$$
(2.35)

La varianza del error de interpolación está dada correspondientemente por

$$\hat{\sigma}_e^2 = \sum_{j=1}^n W_j [\gamma(d_{ej}) + \lambda_1 m_j] + \lambda_0$$

En notación matricial la ec 2.34 que se deberá resolver, "esquema kriging universal", es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma_{12} & \gamma_{13} & \dots & \gamma_{1n} & \phi_{11} & \phi_{21} & \dots & \phi_{m1} \\ \gamma_{21} & 0 & \gamma_{23} & \dots & \gamma_{2n} & \phi_{12} & \phi_{22} & \dots & \phi_{m2} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & 0 & \dots & \gamma_{3n} & \phi_{13} & \phi_{23} & \dots & \phi_{m3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \gamma_{n3} & \dots & 0 & \phi_{1n} & \phi_{2n} & \dots & \phi_{mn} \\ \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \dots & \phi_{1n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \dots & \phi_{2n} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{m1} & \phi_{m2} & \phi_{m3} & \dots & \phi_{mn} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \vdots \\ W_n \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{e1} \\ \gamma_{e2} \\ \gamma_{e3} \\ \vdots \\ \gamma_{en} \\ \phi_{1e} \\ \phi_{2e} \\ \vdots \\ \phi_{me} \end{bmatrix}$$

Dada la complejidad de la evaluación de la función que representa la media  $m_i$ , en el presente trabajo se desarrollan únicamente los esquemas de la técnica kriging ordinario restringido y universal, con polinomios de primer y segundo grado; ya que con estos se obtienen resultados confiables.

## ESTIMACIÓN DEL VARIOGRAMA

Suponiendo que para cualquier punto, en un campo de lluvia, el proceso de precipitación es homogéneo e isotrópico, de igual forma se obtendrán características a cerca de dicho proceso para la intensidad de lluvia registrada en estaciones dentro la Cuenca del Río Papaloapan (TABLA 4.4). Tal es el caso del variograma que se considera en este trabajo. Siendo que en la literatura se han propuesto modelos de variogramas llamados semivariogramas, algunos de estos modelos son:

- a) **Modelo lineal:** Este es el modelo más simple y se escribe como sigue

$$\gamma (d_{ij}) = a d_{ij}$$

- b) **Modelo monómico:** Estos modelos se usan para representar fenómenos no estacionarios, son de la forma siguiente

$$\gamma (d_{ij}) = a d_{ij}^b$$

donde  $b$  ha de pertenecer al intervalo  $(0, 2)$  sin tomar sus valores extremos.

- c) **Modelo exponencial:** viene dado por

$$\gamma (d_{ij}) = a [1 - \exp (- c d_{ij})] \quad ; \quad c > 0$$

esta función alcanza el valor asintótico

$$\lim_{d_{ij} \rightarrow \infty} \{ a [1 - \exp (- c d_{ij})] \} = a$$

se considera  $a'$  como alcance efectivo y para fines prácticos  $\gamma (d_{ij}) = 0.95 a$ , que es aproximadamente igual a identidad  $a' = 3 c$

- d) **Modelo gaussiano:** la expresión representativa de este modelo es

$$\gamma(d_{ij}) = a \left[ 1 - \exp(-c d_{ij}^2) \right] ; \quad c > 0$$

y también alcanza el valor asintótico

$$\lim_{d_{ij} \rightarrow \infty} \gamma(d_{ij}) = \lim_{d_{ij} \rightarrow \infty} a \left[ 1 - \exp(-c d_{ij}^2) \right] = a$$

para efectos prácticos se emplea el alcance  $a' = \sqrt{3c}$ , valor para el cual el variograma es igual a  $0.95 a$

e) **Modelo esférico:** su ecuación viene dada por

$$\gamma(d_{ij}) = \frac{1}{2} a \left[ 3 \frac{d_{ij}}{c} - \left( \frac{d_{ij}}{c} \right)^3 \right] , \quad d_{ij} \leq c$$

$$\gamma(d_{ij}) = a , \quad d_{ij} > c$$

sus características son el alcance  $c$  y el valor asintótico  $a$ . En general,  $a$  y  $c$  son constantes apropiadas del modelo específico y  $d_{ij}$  es la distancia entre dos puntos.

El semivariograma entre las estaciones  $i$  y  $j$  se calcula como

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = \frac{1}{2N} \sum_{i,j}^N \left\{ [P_i^t - \hat{m}_i] - [P_j^t - \hat{m}_j] \right\}^2 \quad (2.36)$$

donde

$P_k^t$  representa las observaciones de la serie de tiempo en la estación  $k$

$\hat{m}_k$  es la estación  $k$

$N$  es el número total de observaciones en común entre el par de estaciones

La distancia  $d_{ij}$ , como ya se ha mencionado antes, se calcula con la ec 2.2. Por consiguiente, para un total de  $n$  estaciones hay  $n(n-1)/2$  pares de puntos, con los que se ajustarán los modelos del variograma.

## EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN

En esta parte se ejemplifica el uso de las técnicas de interpolación, la obtención de parámetros de ajuste de la función de correlación espacial y el variograma. Para este ejemplo, se propone una distribución de cinco estaciones dentro de una cuenca como la que se muestra en la FIGURA 2.2. En la TABLA 2.2 se presenta los valores históricos para las cinco estaciones (eventos extremos de intensidad de lluvia), las coordenadas respectivas de dichas estaciones están en la

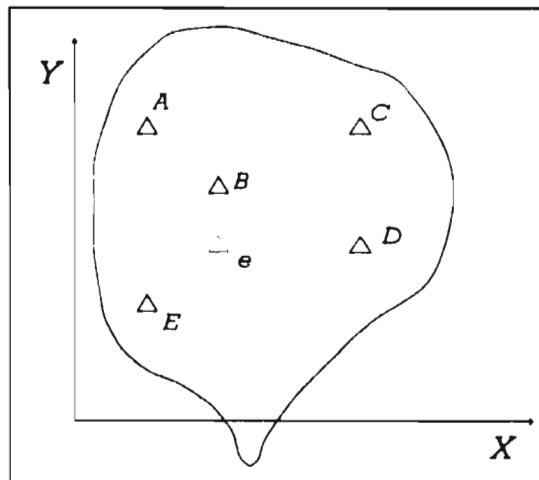


FIG 2.2

TABLA 2.3. En este caso, se prefirió interpolar el evento máximo correspondiente al último año de los registros en el punto  $e$  cuyas coordenadas son (4,6), en km.

TABLA 2.2 Registro histórico y sus estadísticos para el ejemplo de interpolación.

$t$ años	Intensidad de lluvia, $I_j$ , en mm/h				
	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
1960	52	36	21	95	45
1961	45	12	10	13	85
1962	69	3	63	91	25
1963	80	67	92	65	71
1964	32	32	68	43	43
1965	80	43	5	56	34
1966	47	36	76	3	26
1967	84	11	30	76	40
1968	60	80	110	130	90
Media	61.000	35.550	52.770	63.550	51.000
Desv. Est.	18.337	25.618	37.632	40.336	24.718

Para conocer el evento en un punto  $e$ , mismo sitio donde se pretende ubicar una estructura, normalmente suele recurrirse a métodos como el de la precipitación media por

promedio aritmético, polígonos de Thiessen o el trazo de isoyetas; en este último el evento que corresponde al punto de interés se calcula interpolando linealmente entre dos isolíneas consecutivas.

En una mayoría de los casos, con las metodologías anteriores resultan ser una estimación aproximada, ya que con el primer y segundo métodos tiende a sobreestimarse los eventos de diseño; con el tercero no se tiene precisión al hacer una interpolación lineal. Por ejemplo, si se quiere calcular un gasto de diseño  $Q_d$ , para cierta estructura en determinado lugar  $e$  dentro de una cuenca, con el Método Racional, una diferencia en la intensidad de lluvia  $I_d^T$  de tan solo 10 mm (1 cm) se transforma en un error importante en la estimación del gasto al multiplicar dicha intensidad por el área de la cuenca.

**TABLA 2.3 Datos para el ejemplo de interpolación.**

Estación $j$	Coordenadas, en km		Intensidad $I$ en mm/h	
	$X_j$	$Y_j$		
1	A	2.0	10.0	60
2	B	4.0	8.0	80
3	C	8.0	10.0	110
4	D	8.0	6.0	130
5	E	2.0	4.0	90
Sitio $e$		4.0	6.0	?

A continuación se realizan los cálculos de interpolación de intensidad de lluvia para el punto  $e$  haciendo uso de los métodos vistos en este capítulo.

***Método de Thiessen.***

Según este método el proceso estimado en el punto  $e$  es igual al valor observado en la estación más próxima dentro la cuenca. Las distancias entre las estaciones y este sitio se calcularon con la ec 2.2, estas son:

Estación, $j$	1	2	3	4	5
Distancia, $d_{e,j}$ , en km	4.472	2.000	5.657	4.000	2.828

por lo tanto, la estación más cercana es  $d_{e,2} = 2$  km, y la Intensidad de lluvia correspondiente a la estación 2 es  $I_e = 80$  mm/h.

### **Método de Interpolación Polinomial**

#### **a) Aproximación por mínimos cuadrados**

Para un polinomio de 1er. grado,  $m = 3$ , los monomios  $\phi_k(X_j, Y_j)$  y  $\phi_k(X_e, Y_e)$  (TABLA 2.1) son los que aparecen en seguida

$\backslash$ Estación	1	2	3	4	5	Punto $e$
$k$	$\phi_k(X_1, Y_1)$	$\phi_k(X_2, Y_2)$	$\phi_k(X_3, Y_3)$	$\phi_k(X_4, Y_4)$	$\phi_k(X_5, Y_5)$	$\phi_k(X_e, Y_e)$
1	1	1	1	1	1	1
2	2	4	8	8	2	4
3	10	8	10	6	4	6

los términos  $\phi_k(X_j, Y_j)$  forman una matriz de  $m$  renglones y columnas igual al número de estaciones  $n$ ; y los términos  $\phi_k(X_e, Y_e)$  forman un vector con  $m$  renglones.

Se obtiene la matriz con elementos están dados por  $\theta_{ki} = \sum_{j=1}^n \phi_k(X_j, Y_j) \phi_i(X_j, Y_j)$ ,

que no es mas que la multiplicación de la matriz  $[\theta_{ki}]$  por su transpuesta  $[\theta_{ki}]^t$ , obteniéndose una matriz cuadrada de  $m$  filas por  $m$  columnas; la inversa de esta matriz es

Luego se procede a calcular los factores  $W_j$  a partir de la ecuación

$$[\Psi_{ki}] = [\theta_{ki}]^{-1} = \begin{bmatrix} 5 & 24 & 38 \\ 24 & 152 & 188 \\ 38 & 188 & 316 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 2.617 & -0.091 & -0.261 \\ -0.091 & 0.028 & -0.006 \\ -0.261 & -0.006 & 0.038 \end{bmatrix}$$

$$W_j = \sum_{k=1}^m \alpha_{kj} \phi_k(X_e, Y_e)$$

donde  $\alpha_{kj}$ , que esta involucrada en la ec 2.7 o en la anterior, se calcula en forma matricial de la siguiente forma

$$[\alpha_{kj}] = [\Psi_{ki}] [\phi_{kj}]$$

$$[\alpha_{kj}] = \begin{bmatrix} 2.617 & -0.091 & -0.261 \\ -0.091 & 0.028 & -0.006 \\ -0.261 & -0.006 & 0.038 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 8 & 2 \\ 10 & 8 & 10 & 6 & 4 \end{bmatrix}$$

$$[\alpha_{kj}] = \begin{bmatrix} -0.172 & 0.168 & -0.716 & 0.327 & 1.393 \\ -0.092 & -0.025 & 0.076 & 0.099 & -0.058 \\ 0.107 & 0.020 & 0.073 & -0.079 & -0.120 \end{bmatrix}$$

por lo tanto, los factores de peso serán

$$[W_j] = [\alpha_{kj}]^t [\phi_k(X_e, Y_e)]$$

$$[W_j] = \begin{bmatrix} -0.172 & -0.092 & 0.107 \\ 0.168 & -0.025 & 0.020 \\ -0.716 & 0.076 & 0.073 \\ -0.327 & 0.099 & -0.079 \\ 1.393 & -0.058 & -0.120 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \\ 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1023 \\ 0.1881 \\ 0.0231 \\ 0.2475 \\ 0.4389 \end{bmatrix} ; \sum_{j=1}^n W_j = 1$$

por último, empleando la ec 2.1 se calcula el valor de la intensidad de lluvia en el punto  $e$ , esto es en términos de  $I$  se tiene que

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = 0.1023(60) + 0.1881(80) + 0.0231(110) + 0.2475(130) + 0.4389(90)$$

$$I_e = 95.42 \frac{mm}{h}$$

Note que pudo emplearse la ec 2.3 calculando los coeficientes  $a_k$  del polinomio, ec 2.9, con los que se obtiene el mismo resultado.

Al emplear los factores de peso,  $W_j$ , se verifica que la suma de estos sea igual a la unidad, con lo que se comprueba el cálculo y aun más importante el hecho de que el ajuste con un polinomio de primer grado ( $m = 3$ ) se logre mejores resultados.

Si el polinomio elegido fuera de segundo grado ( $m = 6$ ) el procedimiento a seguir es similar, sólo que el cálculo se hace más laborioso. Para este ejemplo se obtiene un valor de la intensidad de lluvia muy diferente al anterior, además que la suma de los factores de peso no es igual a uno como se comprueba en el caso del polinomio de primer grado. Esto se debe a que el ajuste del último es mejor que un polinomio de segundo o de mayor grado.

#### b) Aproximación de Lagrange

En este método se emplea la ec (2.10). La diferencia con la aproximación con mínimos cuadrados es que la técnica Lagrange requiere que el número de monomios sea igual al número de estaciones ( $m = n$ ), por lo cual deben calcularse los cinco primeros monomios. De la TABLA 2.1 se obtiene la matriz siguiente

$$[\Phi_k(X_j, Y_j)] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 8 & 2 \\ 10 & 8 & 10 & 6 & 4 \\ 4 & 16 & 64 & 64 & 4 \\ 20 & 32 & 80 & 48 & 8 \end{bmatrix}$$



según la ec 2.10 la matriz  $[\beta_{kj}]$  resulta ser la inversa de  $[\phi_k(X_j, Y_j)]$ , esta es

$$[\beta_{kj}] = \begin{bmatrix} 6.40 \times 10^{-12} & -0.444 & 0.222 & 5.555 \times 10^{-2} & -2.777 \times 10^{-2} \\ -2.00 & 1.250 & 1.437 \times 10^{-12} & -0.1250 & 7.09 \times 10^{-14} \\ 0.8333 & -0.4583 & -8.333 \times 10^{-2} & 2.0833 \times 10^{-2} & 4.167 \times 10^{-2} \\ -0.500 & 0.2083 & 8.333 \times 10^{-2} & 2.0833 \times 10^{-2} & -4.167 \times 10^{-2} \\ 2.667 & -0.5555 & -0.2222 & 2.7777 \times 10^{-2} & 2.777 \times 10^{-2} \end{bmatrix}$$

$$[W_j] = [\beta_{kj}] [\phi_k(X_e, Y_e)] = \begin{bmatrix} -0.2222 \\ 1.0000 \\ -0.1667 \\ 0.1667 \\ 0.2222 \end{bmatrix} ; \sum_{j=1}^n W_j = 1$$

finalmente, empleando la ec 2.1 se calcula el valor de la intensidad de lluvia en el punto e

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = -0.2222(60) + 1.0(80) - 0.1667(110) + 0.1667(130) + 0.2222(90)$$

$$I_e = 90.00 \frac{mm}{h}$$

### Interpolación Inversa

La solución por medio de esta técnica se muestra en forma tabular. En primer lugar se emplea un exponente  $\beta$  igual a la unidad (TABLA 2.4) y luego con  $\beta = 2$  (TABLA 2.5)

**TABLA 2.4 Método de Interpolación Inversa. Solución con  $\beta = 1$ .**

Est.	j	$d_{ij}$	$1/d_{ij}$	$W_j$	$I_j$	$W_j I_j$
A	1	4.472	0.2236	0.149	60	8.922
B	2	2.000	0.5000	0.333	80	26.600
C	3	5.657	0.1767	0.117	110	12.925
D	4	4.000	0.2500	0.166	130	21.606
E	5	2.828	0.3536	0.235	90	21.159
Suma			1.5039	1.000		91.212

como podrá observarse, en este método la suma de los factores de peso siempre será igual a uno, independientemente del exponente. Para este caso, la intensidad vale

$$I_e = 91.212 \frac{mm}{h}$$

**TABLA 2.5 Método de Interpolación Inversa. Solución con  $\beta = 2$ .**

Est.	$j$	$d_{ej}$	$(1/d_{ej})^2$	$W_j$	$I_j$	$W_j I_j$
A	1	4.472	0.0500	0.0965	60	5.790
B	2	2.000	0.2500	0.4819	80	38.552
C	3	5.657	0.0312	0.0601	110	6.611
D	4	4.000	0.0625	0.1205	130	15.665
E	5	2.828	0.1250	0.2410	90	21.690
Suma			0.5188	1.000		88.308

entonces, la intensidad es

$$I_e = 88.308 \frac{mm}{h}$$

### *Interpolación Multicuadrática*

Este método es fácil de aplicar, pues sólo requiere contar con una matriz de distancias entre las estaciones como la que sigue

$$[D_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.000 & 2.828 & 6.000 & 7.211 & 6.000 \\ 2.828 & 0.000 & 4.472 & 4.472 & 4.472 \\ 6.000 & 4.472 & 0.000 & 4.000 & 8.485 \\ 7.211 & 4.472 & 4.000 & 0.000 & 6.324 \\ 6.000 & 4.472 & 8.485 & 6.324 & 0.000 \end{bmatrix} ; [D_{ej}] = \begin{bmatrix} 4.472 \\ 2.000 \\ 5.657 \\ 4.000 \\ 2.828 \end{bmatrix}$$

se calcula la matriz inversa de la anterior

$$[\delta_{ij}] = [D_{ij}]^{-1} = \begin{bmatrix} -0.1717 & 0.1312 & 0.0662 & -0.0187 & 0.0611 \\ 0.1312 & -0.3197 & 0.0384 & 0.0500 & 0.0521 \\ 0.0662 & 0.0384 & -0.1548 & 0.1177 & -0.0047 \\ -0.0187 & 0.0500 & 0.1177 & -0.1755 & 0.0696 \\ 0.0611 & 0.0521 & -0.0047 & 0.0696 & -0.1035 \end{bmatrix}$$

y luego se obtienen los factores de peso según lo visto en el **Apartado 2.4**

$$W_j = \sum_{i=1}^n \delta_{ij} d_{ei} \quad ; \quad [W_j] = [\delta_{ij}] [d_{ei}] = \begin{bmatrix} -0.0329 \\ 0.5124 \\ -0.0454 \\ 0.1771 \\ 0.3364 \end{bmatrix} \quad ; \quad \sum_{j=1}^n W_j = 0.9475$$

finalmente se calcula la intensidad en el sitio  $e$

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = -0.0329(60) + 0.5124(80) - 0.0454(110) + 0.1771(130) + 0.3364(90)$$

$$I_e = 87.32 \frac{mm}{h}$$

### ***Interpolación óptima***

En la aplicación de esta técnica es necesario contar con registros históricos de la variable que se va a modelar (**TABLA 2.2**). A partir de estos valores se estima la matriz de correlación espacial, **ec 2.26**, entre las  $n(n-1)/2$  parejas de estaciones. Ajustar el modelo de correlación que proporcione menor error y además seleccionar la función representativa de los datos, es decir que tenga una tendencia marcada.

Aplicando la ec 2.26 se calculan los valores  $\rho(d_{ij})$ , mismos que se dan a continuación

$$[\hat{\rho}(d_{ij})] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0902 & -0.0830 & 0.3875 & -0.0968 \\ 0.0902 & 1.0000 & 0.5961 & 0.3621 & 0.5065 \\ -0.0830 & 0.5961 & 1.0000 & 0.3015 & 0.2482 \\ 0.3875 & 0.3621 & 0.3015 & 1.0000 & 0.2092 \\ -0.0968 & 0.5065 & 0.2482 & 0.2092 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

de estos valores se consideran las diferentes combinaciones entre estaciones, sin repetirlas, y se forma el par  $\{d_{ij}, |\rho(d_{ij})|\}$  que se quiere ajustar. En la TABLA 2.6 se dan los valores que se utilizaron para hacer el ajuste de los modelos vistos en el Apartado 2.5

**TABLA 2.6 Valores para ajustar un modelo de correlación.**

<i>k</i>	$d_{ij}$ (km)	$d_{ij}$ (km)	$ \rho(d_{ij}) $
1	$d_{11}$	0.000	1.0000
2	$d_{21}$	2.828	0.0902
3	$d_{33}$	4.000	0.3015
4	$d_{42}$	4.472	0.3621
5	$d_{52}$	4.472	0.5065
6	$d_{32}$	4.472	0.5961
7	$d_{31}$	6.000	0.0830
8	$d_{51}$	6.000	0.0968
9	$d_{54}$	6.324	0.2092
10	$d_{41}$	7.211	0.3875
11	$d_{33}$	8.485	0.2482

De los tres modelos propuestos, el de menor error estándar de ajuste y con una tendencia representativa resulto ser el modelo inverso

$$\rho(d_{ij}) = \frac{1}{(1 + d_{ij}/1.3538)}$$

por consiguiente, la matriz de correlación espacial para la zona se halla evaluando los coeficientes dados por la ecuación anterior, esto es

$$[\hat{\rho}(d_{i,j})] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.3237 & 0.1841 & 0.1581 & 0.1841 \\ 0.3237 & 1.0000 & 0.2324 & 0.2324 & 0.2324 \\ 0.1841 & 0.2324 & 1.0000 & 0.2529 & 0.1376 \\ 0.1581 & 0.2324 & 0.2529 & 1.0000 & 0.1763 \\ 0.1841 & 0.2324 & 0.1376 & 0.1763 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

puesto que el sitio de interés se encuentra dentro la zona, de igual forma, se tendrá para este

$$[\hat{\rho}(d_{e,j})] = \begin{bmatrix} 0.2324 \\ 0.4037 \\ 0.1931 \\ 0.2529 \\ 0.3237 \end{bmatrix}$$

Los factores de peso se obtienen resolviendo el sistema de ecuaciones 2.21, es decir

$$[W_j] = [\hat{\rho}(d_{i,j})]^{-1} [\hat{\rho}(d_{e,j})] = \begin{bmatrix} 1.1501 & -0.3057 & -0.1090 & -0.0630 & -0.1146 \\ -0.3057 & 1.2148 & -0.1609 & -0.1624 & -0.1753 \\ -0.1090 & -0.1609 & 1.1207 & -0.2186 & -0.0582 \\ -0.0630 & -0.1624 & -0.2186 & 1.1239 & -0.1187 \\ -0.1146 & -0.1753 & -0.0582 & -0.1187 & 1.0908 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.2324 \\ 0.4037 \\ 0.1931 \\ 0.2529 \\ 0.3237 \end{bmatrix}$$

$$[W_j] = \begin{bmatrix} 0.0698 \\ 0.2905 \\ 0.0520 \\ 0.1234 \\ 0.2144 \end{bmatrix} ; \quad \sum_{j=1}^n W_j = 0.7501 \neq 1$$

y la intensidad calculada empleando este método es

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = +0.0698(60) + 0.2905(80) + 0.0520(110) + 0.1234(130) + 0.2144(90)$$

$$I_e = 68.486 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

como la suma de los factores  $W_j$  es diferente de lo esperado es necesario considerar esta condición y replantear las ecuaciones. A continuación se tiene la matriz de coeficientes de correlación espacial usando multiplicadores de Lagrange, ecs 2.25.

$$[\hat{\rho}(d_{ij})] = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.3237 & 0.1841 & 0.1581 & 0.1841 & 1 \\ 0.3237 & 1.0000 & 0.2324 & 0.2324 & 0.2324 & 1 \\ 0.1841 & 0.2324 & 1.0000 & 0.2529 & 0.1376 & 1 \\ 0.1581 & 0.2324 & 0.2529 & 1.0000 & 0.1763 & 1 \\ 0.1841 & 0.2324 & 0.1376 & 0.1763 & 1.0000 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

el vector solución será

$$[W_j] = [\hat{\rho}(d_{ij})]^{-1} [\hat{\rho}(d_{ij})]$$

$$[W_j] = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.0360 & -0.3896 & -0.2264 & -0.1788 & -0.2422 & 0.2045 \\ -0.3896 & 1.1530 & -0.2473 & -0.2469 & -0.2692 & 0.1505 \\ -0.2264 & -0.2473 & 0.9999 & -0.3367 & -0.1896 & 0.2105 \\ -0.1788 & -0.2469 & -0.3367 & 1.0084 & -0.2471 & 0.2057 \\ -0.2422 & -0.2692 & -0.1896 & -0.2471 & 0.9480 & 0.2288 \\ 0.2045 & 0.1505 & 0.2105 & 0.2057 & 0.2288 & -0.3666 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.2324 \\ 0.2437 \\ 0.1931 \\ 0.2529 \\ 0.3237 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$[W_j] = \begin{bmatrix} 0.1209 \\ 0.3281 \\ 0.1046 \\ 0.1748 \\ 0.2716 \\ -0.0916 \end{bmatrix} ; \quad \sum_{j=1}^n W_j = 1 \quad ; \quad \lambda = -0.0916$$

en tanto que la intensidad calculada empleando multiplicadores de Lagrange es

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = 0.1209(60) + 0.3281(80) + 0.1046(110) + 0.1748(130) + 0.2716(90)$$

$$I_e = 92.176 \frac{mm}{h}$$

### **Interpolación kriging**

Esta técnica tiene muchas formas de poder resolver un problema de interpolación, en el presente trabajo se analizan específicamente las que tienen que ver con la estimación del proceso en forma puntual. Las formas de la técnica kriging que se presentan en el **Apartado 2.6** son el clásico kriging ordinario **ec 2.29** y restringido **ecs 2.30** (empleando multiplicadores de Lagrange) y kriging universal **ecs 2.34** (con ajustes de tipo polinomial). Para este ejemplo se emplea la última forma de las mencionadas y se ajusta un polinomio de primer grado.

Al igual que el método de Interpolación óptima, en este se requiere calcular el variograma empleando la **ec 2.36** y, de los cinco modelos de variograma presentados en el **Apartado 2.6** el que se ajustó con el menor error fue el modelo exponencial

$$\hat{\gamma}(d_{ij}) = 755.5512 [1 - \exp(-0.2875 d_{ij})]$$

los valores de la matriz del variograma estimados con esta ecuación son

$$[\hat{\gamma}(d_{ij})] = \begin{bmatrix} 0 & 420.50 & 620.93 & 660.52 & 620.93 \\ 420.50 & 0 & 546.68 & 546.68 & 546.68 \\ 620.93 & 546.68 & 0 & 516.32 & 689.66 \\ 660.52 & 546.68 & 516.32 & 0 & 632.93 \\ 620.93 & 546.68 & 689.66 & 632.93 & 0 \end{bmatrix}$$

aplicando las **ecs 2.34**, se tiene el siguiente sistema de ecuaciones lineales

$$\begin{bmatrix}
 0.0 & 420.50 & 620.93 & 660.52 & 620.93 & 1 & 2 & 10 \\
 420.50 & 0.0 & 546.68 & 546.68 & 546.68 & 1 & 4 & 8 \\
 620.93 & 546.68 & 0.0 & 516.32 & 689.66 & 1 & 8 & 10 \\
 660.52 & 546.68 & 516.32 & 0.0 & 632.93 & 1 & 8 & 6 \\
 620.93 & 546.68 & 689.66 & 632.93 & 0.0 & 1 & 2 & 4 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 2 & 4 & 8 & 8 & 2 & 0 & 0 & 0 \\
 10 & 8 & 10 & 6 & 4 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 W_1 \\
 W_2 \\
 W_3 \\
 W_4 \\
 W_5 \\
 \lambda_1 \\
 \lambda_2 \\
 \lambda_3
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 546.68 \\
 330.40 \\
 606.97 \\
 516.32 \\
 420.50 \\
 1 \\
 4 \\
 6
 \end{bmatrix}$$

cuya solución es

$$\begin{bmatrix}
 W_1 \\
 W_2 \\
 W_3 \\
 W_4 \\
 W_5 \\
 \lambda_1 \\
 \lambda_2 \\
 \lambda_3
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 -0.0109 \\
 0.4415 \\
 -0.0182 \\
 0.2044 \\
 0.3832 \\
 114.5447 \\
 0.5246 \\
 -11.6205
 \end{bmatrix}
 ; \quad \sum_{j=1}^n W_j = 1$$

y por último la intensidad de lluvia justo en el punto  $e$  resulta ser

$$I_e = \sum_{j=1}^n W_j I_j = -0.0109(60) + 0.4415(80) - 0.0182(110) + 0.2044(130) + 0.3832(90)$$

$$I_e = 93.72 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

Aplicando la técnica de interpolación kriging restringido, esto es, usando multiplicadores de Lagrange, se obtiene un valor de **91.754 mm/h**; mientras que si se plantean las ecuaciones



de kriging universal, tomando en cuenta un polinomio de segundo grado, el sistema de ecuaciones a resolver se vuelve mal condicionado y no hay solución. En algunos casos el total de la suma de los factores de peso no resulta ser igual a la unidad, esto quiere decir que el método no es aplicable al tipo de datos que se está analizando.

En la **TABLA 2.7** se presentan los valores calculados con todas las técnicas aplicadas en el ejemplo. Se puede apreciar que el promedio de todos es **87.84 mm/h**, pero aquí se tomaron en cuenta los resultados en los que la suma de factores de peso no es igual a la unidad. Una aproximación confiable del valor interpolado pudiera ser el promedio de aquellos donde se haya cumplido dicha condición, resultando finalmente,  $I_e = 91.80 \text{ mm/h}$ .

**TABLA 2.7 Resumen de valores calculados aplicando las técnicas de interpolación.**

Método de interpolación		$I_e$ (mm/h)	Condición $\Sigma W_j = 1$
1	Thiessen	80.00	no
2	Polinomial por mínimos cuadrados (1er grado)	95.42	si
3	Polinomial por Lagrange	90.00	si
4	Inversa ( $\beta = 1$ )	91.21	si
5	Inversa ( $\beta = 2$ )	88.30	si
6	Multicuadrática	87.32	no
7	Óptima	68.48	no
8	Óptima restringida	92.17	si
9	Kriging ordinario restringido	93.72	si
10	Kriging universal (polinomio de 1er grado)	91.75	si
Promedio		87.84	

### **CAPÍTULO 3.    MODELOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO**

Para conocer el gasto de diseño de operación de las obras hidráulicas se requieren datos de escurrimiento en el lugar donde ellas estén localizadas. En ocasiones no se cuenta con esta información o bien por cambios en las condiciones de drenaje de la cuenca como es por ejemplo, la deforestación, la urbanización, etc., pueden hacer que los datos de gastos registrados antes de estos cambios no sean útiles. Por otra parte debido a que es más complicado obtener en campo los datos para los gastos de las corrientes que los de la precipitación, se cuenta con mayor cantidad de información de esta última. Por estas razones se han propuesto procedimientos para determinar escurrimientos a partir de la precipitación que los origina. A estos procedimientos se les conoce como modelos de Lluvia-Escurrecimiento (**Fuentes, 1990**).

Según la información que se disponga, los modelos serán empíricos cuando se incluyan las características fisiográficas de la cuenca y las precipitaciones ocurridas en ella y, podrá contarse con un hidrograma unitario sintético cuando se cuente con registros simultáneos del escurrimiento y de la lluvia que lo produce. Por último, los modelos que simulan el escurrimiento en toda la cuenca requieren conocer las características detalladas y los registros hidrológicos simultáneos en toda ella.

Los modelos lluvia-escurrimiento aplicados a una cuenca se clasifican en (**Domínguez, 1981**) : Empíricos, Hidrológicos e Hidráulicos.

### 3.1 MÉTODOS EMPÍRICOS

Los métodos empíricos emplean fórmulas del mismo tipo con características típicas de las tormentas, de las cuencas y de los hidrogramas. La aplicación de la fórmulas empíricas permite conocer de una manera rápida la magnitud de una avenida, sin tener que recurrir a los registros históricos. Aunque en la actualidad su uso tiende a ser sustituido por otros procedimientos que utilizan mayor información. No debe omitirse su aplicación, pues los resultados obtenidos con estos modelos sirven para acotar los eventos de diseño y cuando no se dispone de información hidrológica.

Los métodos más utilizados en el medio son: Los métodos de fórmulas empíricas (envolventes de Creager y Lowry); el método del U.S. Soil Conservation Service, y el método de la Fórmula Racional.

#### 3.1.1 Método de Creager

Este método fue desarrollado por Creager, quien asoció los gastos más grandes observados en el mundo respecto al área de la cuenca donde se presentaron. La envolvente de gastos máximos es representada por la expresión siguiente

$$Q = 1.303 C_C (0.386 A)^{0.936/A^{0.044}} \quad (3.1)$$

donde:  $Q$  es el gasto máximo, en  $m^3/s$ ;  $A$  área de la cuenca, en  $km^2$ ;  $C_C$  constante empírica y son los valores de la envolvente. El valor mundial de  $C_C$  es igual a 100.

#### 3.1.2 Método de Lowry

La fórmula propuesta por Lowry es

$$Q = \frac{C_L A}{(A + 259)^{0.85}} \quad (3.2)$$

donde:  $Q$  es el gasto máximo, en  $m^3/s$ ;  $A$  es el área de la cuenca, en  $km^2$ , y  $C_L$  es una constante empírica. El valor mundial del coeficiente  $C_L$  se considera igual a 3500.

La SARH ha evaluado los coeficientes  $C_C$  y  $C_L$  para cada una de las regiones hidrológicas en que está dividido el territorio mexicano (Fuentes, 1990).

### 3.1.3 Método empírico del U.S. Soil Conservation Service

El Soil Conservation Service (USSCS) de los E.U.A. propone calcular la lluvia en exceso con base en el número de la curva de escurrimiento,  $N$ . La parte esencial del método es el emplear valores propuestos por el USSCS, como un resultado de los estudios llevados a cabo en el norte de Africa. El lector puede consultar con mayor detalle los valores de  $N$  en SARH, 1982; Fuentes, 1990; Aparicio, 1996, así como sus limitaciones y el procedimiento de la aplicación de este método. En los Estados Unidos Mexicanos es común calcular la altura de la precipitación efectiva con la siguiente expresión

$$P_e = \frac{\left[ P_t - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P_t + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (3.3)$$

donde  $P_e$  = altura de la precipitación efectiva, en cm, y  $P_t$  = altura de precipitación total, en cm.

### 3.1.4 Método Racional

El concepto básico del método asume que el máximo porcentaje del escurrimiento en una cuenca pequeña ocurre cuando toda esta contribuye a dicho escurrimiento, y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a otro de la intensidad promedio de lluvia. Esto se expresa con la ecuación siguiente:

$$Q_p = 0.278 C i A_c \quad (3.4)$$

donde  $Q_p$  es el gasto pico, en  $m^3/s$   
 $C$  coeficiente de escurrimiento, adimensional  
 $i$  intensidad de lluvia para una duración  $d$ , en mm/h  
 $A_c$  área de la cuenca, en  $km^2$

El valor del coeficiente de escurrimiento  $C$ , representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa, depende del tipo de área de drenaje, el uso de suelo, etc., y se obtienen de tablas, (Aparicio, 1996, p182 ; Fuentes, 1990, p26). Según la experiencia, se considera que la fórmula racional es válida su aplicación en cuencas hasta de 100 km<sup>2</sup>.

La intensidad de lluvia se obtiene de alguna relación de las expuestas en el **capítulo 1 (curvas Intensidad de lluvia-duración-período de retorno)**. Su selección es función del período de retorno y de la duración la cual es igual, generalmente, al tiempo de concentración,  $t_c$ . El tiempo de concentración se define como el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. El tiempo de concentración depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere la misma. Existen varias expresiones para calcular  $t_c$ , la más empleada en el medio es la fórmula de Kirpich, esta es

$$t_c = 0.0003245 \times L^{0.770} \times S^{-0.385} \quad (3.5)$$

donde  $t_c$  esta en h;  $L$  es la longitud del cauce principal, en m;  $S$  es la pendiente del cauce principal, esta se debe calcular con alguno de los siguientes métodos:

- $S = H/L$ , donde  $H$  es el desnivel entre la parte más alta de la cuenca y el punto de salida.
- $S$  calculada por compensación de áreas.
- $S$  como la pendiente de la ecuación de una recta calculada por mínimos cuadrados
- $S$  calculada según Taylor-Schwarz

$$S = \left( \frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{S_n}}} \right)^2 \quad (3.6)$$

donde  $n$  es el número de tramos en que se divide el cauce principal (para  $n > 5$ );  $L$  es la longitud total del cauce principal, en m o km;  $L_i$  es la longitud del tramo  $i$ , m o km, y  $S_i$  es la pendiente de cada tramo, adimensional.

El motivo por el cual debe elegirse alguna de las pendientes anteriores es para considerar las variaciones del perfil del cauce, por ejemplo, si se tiene un cauce con dos pendientes o más, no es lo mismo considerar la pendiente promedio calculada con la expresión de Taylor-Schwarz que con la relación H/L, por lo que es recomendable asumir una pendiente que compense ese efecto.

### **3.2 MÉTODOS HIDROLÓGICOS**

Los métodos hidrológicos pretenden de alguna manera reproducir matemáticamente el fenómeno de la avenida. A diferencia de los métodos empíricos, estos requieren de registros pluviométricos (lluvias) e hidrométricos (gastos) en forma simultánea.

Dentro de estos modelos se tienen a los del concepto de hidrograma unitario y aquellos que consideran el fenómeno físico empleando simplificaciones importantes en las leyes de conservación de la masa y de la energía que gobiernan dicho fenómeno (Domínguez, 1981).

Aunque en los Estados Unidos Mexicanos la mayoría de los registros aún faltan procesarse, es requisito fundamental disponer de la mayor cantidad de información posible y calibrarlos para predecir los escurrimientos y aplicarlos en estudios importantes.

#### ***Definición de Hidrograma Unitario***

Un hidrograma unitario es el hidrograma de escurrimiento directo el cual es producido por una lluvia efectiva o en exceso cuyo espesor de lámina es igual a 1 mm, considerando que dicha lluvia se precipita uniformemente en la cuenca durante un tiempo conocido como duración en exceso.

Las hipótesis en las que se basa este método son (Aparicio, 1996):

- a) **Tiempo base constante:** La duración total del escurrimiento directo o tiempo base es igual para cualquier tormenta con una misma duración de lluvia efectiva.

- b) **Proporcionalidad:** Las ordenadas del hidrograma son proporcionales al volumen de escurrimiento directo (**FIGURA 3.1**).
- c) **Superposición causa-efecto:** El hidrograma para una lluvia dada puede superponerse a otros hidrogramas resultantes de períodos lluviosos precedentes.

Existen varios tipos de hidrograma unitario, la diferencia entre estos es la forma de aplicación y los datos con los que se hace el análisis.

El método del hidrograma unitario se ha aplicado, entre otras, a las cuencas del río Papaloapan y del

Papagayo (**Domínguez, 1981**), haciendo calibraciones para varias tormentas. Se observa que el método proporciona resultados confiables cuando se tiene buena información pluviográfica e hidrométrica.

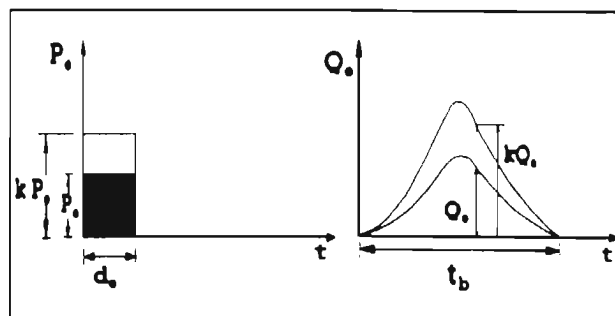


FIG 3.1 Esquema de proporcionalidad.

### 3.2.1 Método del hidrograma unitario (HU)

De acuerdo con las hipótesis arriba mencionadas, este método supone que las precipitaciones con una misma duración y distribución espacial producen hidrogramas unitarios semejantes, así las ordenadas del hidrograma son proporcionales al volumen de escurrimiento directo. Por lo tanto, el área bajo la curva del HU es su volumen de escurrimiento, el cual es igual al área de la cuenca por 1 mm de lluvia efectiva.

Las principales desventajas de este método son: que no toma en cuenta la variación de la intensidad de lluvia con respecto al tiempo, para lo cual es recomendable el uso de intervalos cortos de duración. Otra desventaja es que sólo es aplicable a hidrogramas de lluvia efectiva con igual duración en exceso, en este caso se recurre al método de la curva S.

### ***Procedimiento para calcular el HU***

- i) Obtener el hidrograma de escurrimiento directo y calcular su volumen,  $V_{ED}$ .
- ii) Calcular la lluvia efectiva  $P_e = V_{ED}/A_c$  y determinar su duración.
- iii) Las ordenadas del HU se obtienen dividiendo las del hidrograma de escurrimiento directo entre la precipitación efectiva,  $P_e$ .

### **3.2.2 Método de la curva S**

Por medio de este método es posible obtener el HU con duración en exceso  $d_e$ , partiendo de un HU con duración  $d_b$ .

La curva S es un hidrograma de escurrimiento directo formado por la superposición de un número de hidrogramas unitarios suficiente como para llegar al gasto de equilibrio.

### ***Procedimiento para obtener la curva S***

- i) Desplazar el HU  $d_e$  horas repetidas veces.
- ii) Sumar las ordenadas de los HU desplazados hasta obtener el gasto de equilibrio,  $Q_e$ .

$$Q_e = i A_c = \left( \frac{1 \text{ mm}}{d_e} \right) A_c \quad (3.7)$$

el tiempo en el que se alcanza este gasto es

$$t_c = t_b - d_e \quad (3.8)$$

el hidrograma obtenido se conoce como curva S (**FIGURA 3.2**).

- iii) Cuando la curva S presenta oscilaciones antes de alcanzar el gasto de equilibrio, conviene fijar el gasto  $Q_e$ , ec 3.7.

Una vez que se tiene la curva S puede determinarse el HU para una duración  $d_e$ , como se indica a continuación:

- Desplazar la curva S una duración  $d_e$  (**FIGURA 3.2**).



- Restar las ordenadas de las dos curvas S.
- Obtener ordenadas del HU con duración  $d_1$ , multiplicando los valores del paso anterior por el cociente  $d_1/d_0$ .

Es importante recordar que el HU obtenido por cualquiera de los métodos presentados y su aplicación a problemas de diseño, pueden ser desarrollados en cuencas pequeñas o grandes. La gran diferencia radica en la estimación de las curvas  $I-d-T$ , y en este trabajo se pretende exponer esa diferencia, como propósito primordial, así pues con los

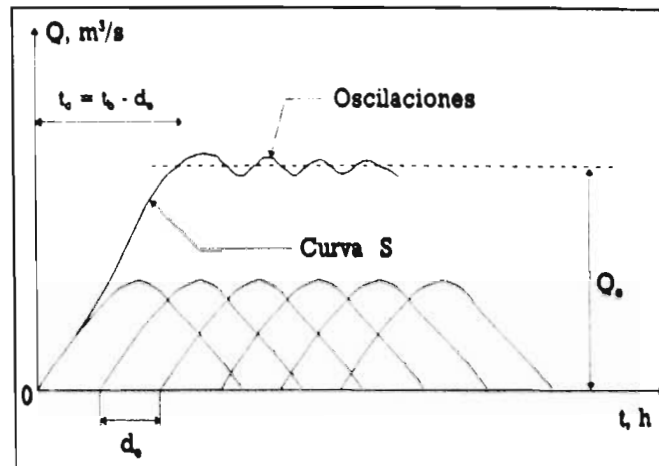


FIG 3.2 Método de la curva S.

métodos presentados en el capítulo 2 puede calcularse la precipitación, vía técnicas de interpolación, en cualquier punto dentro de una cuenca.

### 3.2.3 Método del hidrograma unitario instantáneo (HUI)

Este método toma en cuenta la distribución del tiempo. Se basa en el hecho de que si la lluvia en exceso es una cantidad unitaria y su duración es infinitesimal, considerando al volumen de agua constante, el hidrograma resultante es una función de pulso. Por lo anterior, este hidrograma es independiente de la duración de la lluvia en exceso.

Un modelo empleado para la deducción del HUI pudiera ser el que considera a una cuenca de drenaje a la que está formada por una serie de almacenamientos lineales idénticos (Fuentes, 1990).

El Sistema  $Q(t)$  e  $I(t)$  (funciones salida y entrada, respectivamente) puede tratarse con

una función respuesta  $u(t)$ ; considerando la entrada como una sucesión de entradas instantáneas infinitesimales cuyo volumen es  $I(\tau)d\tau$ , siendo cada una de éstas su contribución  $I(\tau)u(t-\tau)d\tau$  a la razón de salida  $Q(t)$  en el tiempo  $t$ . La respuesta para la función completa de entrada  $I(\tau)$  pueden obtenerse integrando la respuesta a los pulsos, teniéndose que

$$Q(t) = \int_{t_0}^t I(\tau) u(t - \tau) d\tau \quad ; \quad t \leq t_0 \quad (3.9)$$

esta ecuación, conocida como integral de convolución, es fundamental para la solución de sistemas lineales en una escala continua de tiempo (FIGURA 3.3). En este caso la ordenada  $Q(t)$  representa al hidrograma de escurrimiento en el tiempo  $t$ , es decir, cada lluvia efectiva  $I(\tau)$  de duración  $t_0$  se multiplicará por el hidrograma unitario instantáneo  $u(t-\tau)$  para después sumar todos los hidrogramas así producidos y obtener el hidrograma de escurrimiento resultado de la precipitación  $I(\tau)$ .

#### Propiedades del Hidrograma Unitario Instantáneo

- i)  $0 \leq u(t) \leq$  un valor pico positivo, para  $t > 0$
- ii)  $u(t) = 0$  para  $t \leq 0$
- iii)  $u(t) \rightarrow 0$  cuando  $t \rightarrow \infty$
- iv)  $\int_0^{\infty} u(t) dt = 1$
- v)  $\int_0^{\infty} u(t) t dt = t_r$

donde  $t_r$  es el tiempo de retraso del hidrograma unitario instantáneo.

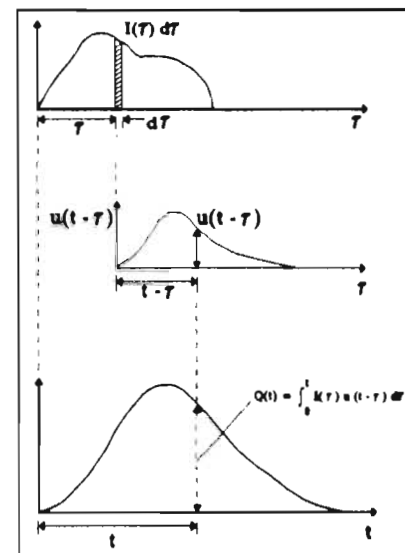


FIG 3.3

#### 3.2.4 Método discreto para la determinación del HUI

Para un hidrograma unitario de duración en exceso pequeña (HUP), de 10 min a 4 h, el escurrimiento directo es (FIGURA 3.4)

$$Q_i = P_1 u_i + P_2 u_{i-1} + P_3 u_{i-2} + \dots + P_i u_1 \quad (3.10)$$

sujeta a

$$P_i = 0 \quad , \text{ para } i > NP$$

$$u_i = 0 \quad , \text{ para } i > NU$$

$$; \quad i = 1, 2, \dots, NQ$$

donde

$Q_i$  ordenada del hidrograma de escurrimiento directo, en  $m^3/s$

$u_i$  ordenada del hidrograma unitario de duración en exceso  $\Delta t$ , en  $m^3/s/mm$

$P_i$  Altura de precipitación efectiva o en exceso, en mm

$NU$  número de ordenadas del HU de duración en exceso  $\Delta t$

$NQ$  número de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo

$NP$  número de precipitaciones efectivas; corresponde al número de barras del hietograma de lluvia efectiva. Siendo  $NU = NQ - NP + 1$

La solución del sistema 3.10 produce algunas ordenadas negativas del HU. Para resolver este problema es necesario emplear alguna técnica de optimización (Aparicio, 1996) o en su caso resolver dicho sistema usando un procedimiento propuesto por Raudkivi (1979) el cual esta basado en aceptar un error pequeño en cada ecuación del sistema (Fuentes, 1990).

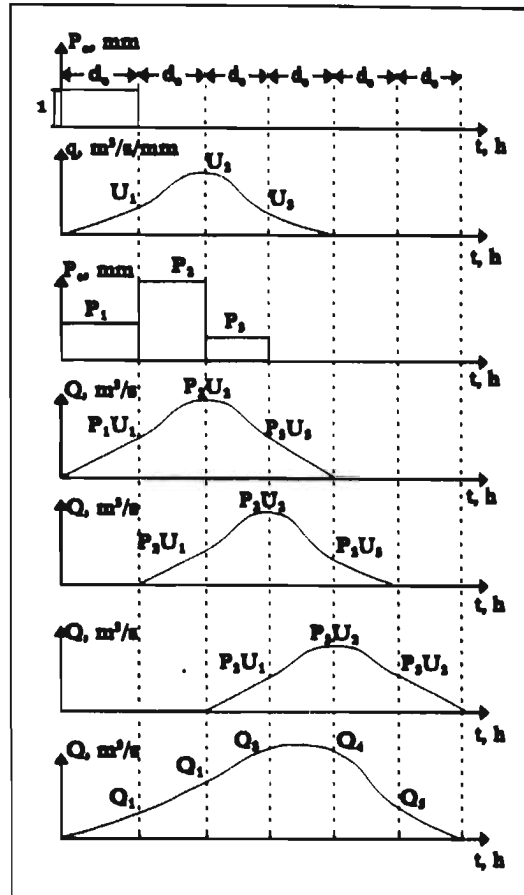


FIG 3.4 Método del HU instantáneo.

### 3.2.5 Hidrogramas Unitarios Sintéticos

#### 3.2.5.1 Hidrograma Unitario Triangular

Este tipo de hidrogramas son útiles cuando no se tienen registros simultáneos de precipitación y escurrimiento. Para su obtención se requieren conocer las características fisiográficas de la cuenca. En cuencas pequeñas (25 a 250 km<sup>2</sup>) tiene forma triangular (Springall, 1970) y su gasto pico (FIGURA 3.5) se calcula con la siguiente ecuación

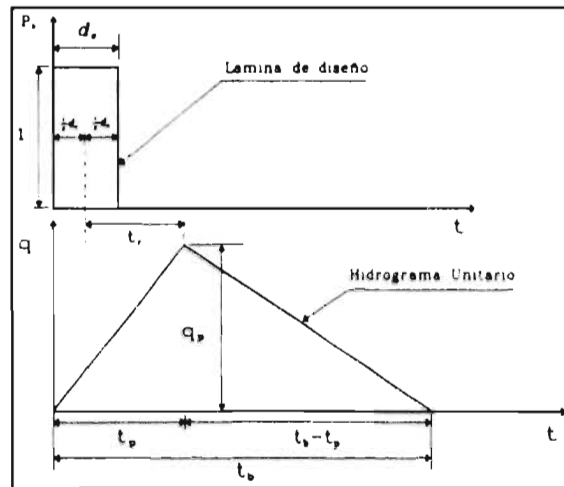


FIG 3.5 Hidrograma Unitario Triangular.

$$q_p = 0.208 \frac{A_c}{t_p} \quad (3.11)$$

donde

$A_c$  área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

$t_p$  tiempo pico, en h

$q_p$  gasto pico, en m<sup>2</sup>/s/mm

$$t_r = 1.67 t_p \quad (3.12)$$

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.60 t_c \quad (3.13)$$

El hidrograma de escurrimiento directo se calcula multiplicando cada una de las ordenadas del HU triangular por la lluvia efectiva,  $hp_t$ , expresada en mm.

#### 3.2.5.2 Hidrograma Adimensional del SCS

En este método se emplea un hidrograma adimensional promedio. El gasto se expresa por la relación del gasto unitario  $q$  con respecto al gasto pico  $q_p$  y el tiempo por la relación del tiempo  $t$  con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario  $t_p$ . Conocidos el gasto y el tiempo pico para la duración de exceso de la precipitación el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca. Fuentes (1990) presenta una figura y una tabla con valores representativos del hidrograma adimensional. El

procedimiento a seguir es: multiplicar cada uno de los valores  $(t/t_p)$  y  $(q/q_p)$  por los valores conocidos  $t_p$  y  $q_p$ , respectivamente; los resultados son la forma del hidrograma unitario,  $t$  vs  $q$ , que al multiplicar los valores de las ordenadas  $q$  por la altura de precipitación efectiva se obtiene las ordenadas del hidrograma de diseño  $Q$ .

Los diferentes métodos encontrados en la bibliografía (SARH, 1982 ; Fuentes, 1990 ; Aparicio, 1996) pueden aplicarse para determinar la relación lluvia-escurrencimiento, así tenemos por ejemplo el método de las isócronas, el de Chow y el método de I-Pai Wu. Otro método que también es considerado como hidrológico, y es muy empleado en Hidrología, es el de **Muskingum**, el que en realidad es una forma simplificada de resolver las ecuaciones planteadas en los métodos hidráulicos.

### 3.3 MÉTODOS HIDRÁULICOS

En muchas ocasiones es posible emplear métodos hidráulicos para conocer el orden de magnitud de algunos eventos. Por medio de estos métodos es posible conocer con suficiente precisión el gasto máximo instantáneo, esto, a partir de datos como la forma de un número suficiente de secciones transversales y los niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados (algunas veces algo remotos).

La forma de resolver el problema es: dividir el tramo del río donde se requiere transitar la avenida, resolver numéricamente para cada tramo las ecuaciones de conservación de masa y cantidad de movimiento con flujo no permanente (Ecuaciones de Saint-Venant). También se requieren como datos, el hidrograma aguas arriba del tramo estudiado y la relación gasto-tirante o velocidad-tirante en el extremo aguas abajo.

**Chaudhry (1979)** presenta las bases teóricas para la aplicación y resolución de las ecuaciones de Saint-Venant y, en el Manual de diseño de Obras Civiles de la CFE, **Berezowsky et al (1983)** presentan un estudio detallado de los métodos hidráulicos así como sus respectivos algoritmos de cómputo.

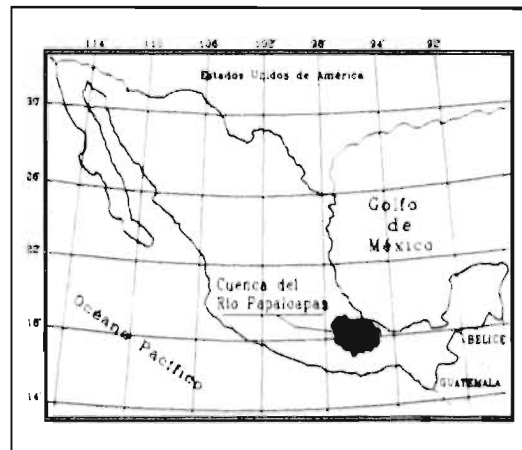
## **CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAPALOAPAN**

La Cuenca del Río Papaloapan es una zona hidrográfica de los Estados Unidos Mexicanos que geográficamente esta localizada entre los 17° y 19° de latitud norte y entre los meridianos 95° y 97° 40' de longitud oeste (**FIGURA 4.1**). Esta zona forma parte de la vertiente del Golfo de México. La cuenca se ubica en los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla. Abarca una superficie de 46,500 km<sup>2</sup>, de los cuales el 51% pertenece al estado de Oaxaca, el 37% a Veracruz y el 12% al de Puebla (**FIGURA 4.2**).

De la superficie total, el 45% corresponde a la planicie costera y el resto a las zonas montañosas.

### **4.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS**

Desde el punto de vista topográfico, la Cuenca del Río Papaloapan se clasifica como



**FIG 4.1** Localización geográfica de la cuenca del Río Papaloapan en los Estados Unidos Mexicanos.

a)	Lagunas, ríos y pantanos	2300 km <sup>2</sup>
b)	Planicies con pendientes menores del 10%	18300 km <sup>2</sup>
c)	Laderas con pendientes menores del 25%	10600 km <sup>2</sup>
d)	Montañas con pendientes mayores del 25%	15300 km <sup>2</sup>

#### 4.2 **CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS**

De acuerdo al clima, la Cuenca del Río Papaloapan se subdivide en tres grandes regiones:

**a)** Planicie Costera, **b)** Sierra Madre de Oaxaca, vertiente del noreste y **c)** Depresión Poblano-Oaxaqueño.

- a)** *Planicie Costera:* Esta región tiene clima tropical lluvioso, la temperatura media anual es superior a los 18 °C. La precipitación media anual varía entre 1,000 y 2,000 mm.
- b)** *Sierra Madre de Oaxaca, vertiente noreste:* Clima Tropical lluvioso de bosque y selva. La precipitación media anual fluctúa entre 2,000 y 8,200 mm; llueve durante casi todos los meses del año.
- c)** *Depresión Poblano-Oaxaqueño:* En general tiene clima de estepa. Lluve durante el verano, la vegetación predominante es xerófila. La precipitación anual varía entre 220 y 800 mm. Debido a su orografía, la parte encañonada es muy cálida (hasta de 46 °C), en tanto la parte alta tiene una rica cobertura de coníferas y además es muy fría, especialmente en Cuajimoloyas y Ayutla; en tanto la zona adyacente a Tepelmeme esta totalmente desforestada.

Durante los meses de noviembre a febrero la cuenca se ve afectada por masas de aire polar (nortes), originando lluvias que aunque no son muy intensas si son persistentes, proporcionando algún beneficio a la agricultura.

#### 4.3 **CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS**

El sistema hidrográfico del río Papaloapan es el de mayor importancia en los Estados

Unidos Mexicanos después del sistema Grijalva-Usumacinta. Su escurrimiento medio anual es aproximadamente de 47,000 millones de m<sup>3</sup>, con mínimos y máximos de 25,000 y 67,000 millones de m<sup>3</sup>, respectivamente.

El río Papaloapan nace en las inmediaciones de Coajimaloyas, en la Sierra de Juárez, y sigue su curso hacia el noroeste, recibe por su margen izquierda el río Tomellín. La corriente gemela se genera en el Valle de Tehuacan y con el nombre de río Salado viene en dirección opuesta, y después de recibir por su margen derecha el río Xiquila se encuentra con el río Tomellín en Quiotepec; a una altitud de 500 msnm cambian de dirección y atraviesan la Sierra Madre de Oaxaca en un estrecho cañón por el que circula el río Santo Domingo.

Al salir del cañón estrecho y profundo recibe por la margen derecha el río Usila y 50 km al este se inserta el río del Valle Nacional, y desde ese momento la corriente toma el nombre de río Papaloapan para continuar con dirección hacia el noroeste. Desde ese punto hacia la desembocadura, el río cruza la planicie costera y recorre 240 km hasta la laguna de Alvarado. Recibe por su margen izquierda el río Tonto, el cual esta regulado por la presa Miguel Alemán y al cruzar la vía del Ferrocarril del Istmo se le une por la derecha el río Obispo que nace en las inmediaciones de Loma Bonita. El río Papaloapan pasa por Cosamaloapan, Tlacotalpan y se le anexa en las cercanías de esta población el río de Playa Vicente que tiene su origen en la Sierra Madre de Oaxaca en el distrito de Villa Alta, pero que al unirse al Papaloapan recibe el nombre de Tesechoacan. Finalmente, ya casi al descargar en la laguna de Alvarado, se le une el río San Juan Evangelista que nace también en Villa Alta y después de un largo recorrido recibe en su curso inferior la descarga de la laguna de Catemaco por medio del río Tuxtla.

A la laguna de Alvarado concurren también los caudales del río Blanco y otras corrientes menores. El río blanco nace en las cumbres de Acultzingo, en las cercanías de la ciudad de Orizaba. Esta corriente pasa por los poblados de Nogales, Río Blanco, Santa Rosa, Cocolapan, posteriormente recibe la afluencia del río Orizaba y el de Tilapan. A unos cuantos kilómetros abajo de Orizaba recibe el río Escamela. Finalmente y después de un recorrido de 150 km descarga en la laguna de Alvarado.





#### **4.4 ANÁLISIS DE DATOS**

Se obtuvieron datos pluviográficos de intensidad de lluvia máxima anual (con duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 120 minutos) publicados en los boletines (1948 a 1977) de la desaparecida Comisión del Papaloapan (SARH). Se consideraron las estaciones con 5 o más años de registro. Los datos de intensidad máxima de lluvia diaria se obtuvieron del Informe RH/03/96 del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cisneros y Domínguez, 1996).

En la **TABLA 4.1** se presentan las características más importantes de las 39 estaciones consideradas en este trabajo, además se proporcionan las coordenadas cartesianas de cada una de ellas, referidas a la latitud y longitud.

##### **4.4.1 Dedución de datos faltantes**

Algunas estaciones (Calapilla, Salinas de Barranca y Xiquila) sólo cuentan con datos de intensidades de lluvia para duraciones de 30, 60, 90, 120, 240 y 1440 min. Las demás estaciones disponen de la mayor cantidad de datos (duraciones de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 min) exceptuando las estaciones Cantón, Cuatotolapan, Cuichapa y Temascal, las que tienen mediciones de intensidades de lluvia con duración de 45 min; en el análisis se consideraron a éstos datos como lluvias con duración de 40 min. Para la lluvia diaria (duración igual a 1440 min) se obtuvo datos para 34 estaciones, excepto para las estaciones Alotepec, Coixtlahuaca, Cuesta Blanca, Palmar de Bravo y San Juan Evangelista.

En las estaciones: Ayutla, Azueta, Cantón, El Carmen, Jayacatlan, La Estrella, San Miguel Tulancingo, San Pedro Nolasco, Temascal y Villa Alta se encontró uno o más datos faltantes, por lo que hubo necesidad de determinarlos. En el **ANEXO A** se presentan tablas con los valores de intensidad de lluvia que se estudiaron y, en las mismas, también se presentan los valores correlacionados faltantes (en negrita). Estos fueron obtenidos de acuerdo al criterio siguiente: si faltaron valores sólo en un año, entonces este espacio se ocupó con la media muestral (con esta modificación se preserva la media); y en el caso de registros con más de un

**TABLA 4.1 Estaciones representativas propias de la Cuenca del Río Papaloapan y algunas de sus características.**

	Estación	Edo.	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Coordenada <sup>1</sup> en km		Periodo de registro
						X	Y	
1	Acayucan	Ver.	101	17°56'	94°54'	331.3	111.2	1948-1977
2	Alotepec	Oax.	1200	17°06'	95°52'	225.1	21.7	1957-1961
3	Apazco	Oax.	2000	17°38'	97°07'	100.0	81.2	1957-1965
4	Astiatla	Oax.	2200	17°58'	97°24'	63.7	117.1	1968-1977
5	Ayutla	Oax.	2060	17°01'	96°04'	208.7	12.0	1957-1977
6	Azueta	Ver.	20	18°05'	95°43'	241.3	131.3	1948-1977
7	Calapilla	Oax.	751	18°06'	97°08'	91.2	135.0	1955-1969
8	Caltepec	Pue.	1800	18°11'	97°28'	57.3	144.3	1957-1977
9	Cantón	Oax.	42	18°01'	96°16'	181.3	121.0	1948-1977
10	Cd. Aleman	Ver.	29	18°11'	96°05'	202.8	146.0	1956-1977
11	Coixtlahuaca	Oax.	2080	17°42'	97°19'	76.0	87.3	1968-1977
12	Cuatotolapan	Ver.	14	18°09'	95°18'	290.0	138.7	1948-1977
13	Cuesta Blanca	Pue.	2275	18°51'	97°27'	58.8	215.9	1971-1977
14	Cuichapa	Ver.	648	18°46'	96°51'	119.3	208.3	1949-1970
15	El Carmen	Pue.	1700	18°32'	97°29'	54.3	181.7	1962-1977
16	Fortín	Ver.	1006	18°53'	96°59'	108.3	220.7	1969-1977
17	Huautla	Oax.	1714	18°07'	96°50'	123.3	135.1	1957-1977
18	Jacatepec	Oax.	42	17°52'	96°12'	193.4	107.7	1959-1977
19	Jayacatlan	Oax.	1150	17°25'	96°49'	127.3	56.7	1957-1977
20	La Estrella	Oax.	120	17°55'	96°26'	170.0	114.3	1957-1977
21	Magdalena Jicotlan	Oax.	2210	17°47'	97°28'	55.3	100.7	1968-1977
22	Monte Rosa	Oax.	51	17°48'	95°56'	220.7	102.3	1956-1973
23	Palmar de Bravo	Pue.	2235	18°49'	97°32'	50.2	211.8	1971-1977
24	Papaloapan	Oax.	22	18°10'	96°05'	204.0	138.0	1948-1977
25	Quiotepec	Oax.	545	17°54'	96°59'	109.7	108.7	1948-1977
26	Salinas de Barranca	Pue.	1460	18°21'	97°28'	56.7	156.7	1955-1966
27	Sn Juan Evangelista	Ver.	29	17°53'	95°08'	305.7	111.3	1971-1977
28	Sn Lorenzo Teopilco	Pue.	1650	18°29'	97°26'	60.6	174.7	1967-1977
29	Sn Miguel Tulancingo	Oax.	2180	17°44'	97°27'	59.7	92.3	1968-1977
30	San Pedro Nolasco	Oax.	1800	17°18'	96°25'	169.3	40.7	1958-1977
31	Santiago Apoala	Oax.	1900	17°39'	97°07'	107.3	97.0	1967-1977
32	Santiago Teotongo	Oax.	2000	17°43'	97°33'	48.2	90.0	1968-1977
33	Suchixtlahuaca	Oax.	1875	17°44'	97°21'	70.0	93.5	1968-1977
34	Teipatlan	Pue.	2460	18°30'	97°09'	91.7	172.7	1956-1970
35	Temascal	Oax.	80	18°14'	96°25'	169.7	152.3	1953-1977
36	Tepelmeme	Oax.	2060	17°53'	97°22'	64.7	108.3	1956-1977
37	Tepeuxila	Oax.	1650	17°44'	96°51'	121.3	93.7	1957-1977
38	Villa Alta	Oax.	1140	17°21'	96°09'	198.0	46.0	1957-1977
39	Xiquila	Oax.	730	18°02'	97°09'	93.3	126.0	1955-1976

<sup>1</sup> Coordenadas X y Y medidas a partir de la Longitud 98° hacia el este y, de la Latitud 16°56' hacia el norte, respectivamente.

valor faltante se correlacionó las muestras de las estaciones cercanas (dentro de un radio de 80 km) y, se completaron los espacios por regresión lineal entre las parejas con el mayor coeficiente de correlación. En las **TABLAS 4.2 y 4.3** se presentan los coeficientes de correlación entre muestras de estaciones próximas para la intensidad de lluvia con duración de 60 y 1440 min, respectivamente. Debe aclararse que la correlación entre registros de estaciones de igual duración es aceptable cuando estas conforman una región meteorológicamente homogénea. Para la zona estudiada sólo se consideró las dos duraciones mencionadas, pero, rigurosamente la correlación se debe hacer para todas las duraciones en cuestión. Los resultados de completar los datos faltantes en todos los registros de las estaciones mencionadas fueron considerados buenos ya que se preservaron las características estadísticas de las muestras.

#### **4.4.2 Regionalización de lluvias**

Es posible generalizar los eventos extremos de diseño siempre y cuando se traten fenómenos hidrometeorológicos similares y tengan relación con las características fisiográficas de la zona donde ellos ocurran. Resulta razonable ejecutar el análisis de eventos máximos históricos en forma puntual y por algún medio llegar a modelos que nos permitan conocer el evento de diseño, pero, éstos fenómenos no ocurren en un sitio a la vez, sino que tienen relación uno con otro, por lo tanto, aquellos lugares donde la ocurrencia de lluvia tengan características similares requerirán alguna consideración para tratarlas como un conjunto.

La cuenca del río Papaloapan ha sido estudiada en varias ocasiones, un reciente estudio a cerca de la regionalización de lluvias en esa zona fue desarrollado por **Cisneros y Domínguez (1996)**. Ellos proponen una regionalización de la Cuenca del Río Papaloapan en tres zonas: alta, media y baja. La zona baja consta de toda la planicie y la región costera hacia el Golfo de México, la zona alta consiste en toda la región montañosa de una parte de la Sierra Madre del Sur y el resto de la región hacia el Pacífico. Desde Luego, la zona media es en realidad una zona de transición, y está formada por una parte de la zona montañosa y otra por la planicie, es decir, que está comprendida entre las dos anteriores (**FIGURA 4.3**).

**TABLA 4.2**

**Coefficientes de correlación entre los registros intensidades de lluvia de las estaciones cercanas (dentro de un radio de 80 km), para una duración de 60 minutos (1 h).**

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
1 Acaya	1																																							
2 Alote		2																																						
3 Apazc			3																																					
4 Anac				4																																				
5 Ayatl					5																																			
6 Azact						6																																		
7 Calapi							7																																	
8 Calte								8																																
9 Cantón									9																															
10 CdAlic										10																														
11 Coxta											11																													
12 Cumo												12																												
13 Cuern													13																											
14 Cuch														14																										
15 ElCar															15																									
16 Fortín																16																								
17 Humut																	17																							
18 Jacate																		18																						
19 Jaya:																			19																					
20 Lalas																				20																				
21 Magda																					21																			
22 Monte																						22																		
23 Palma																							23																	
24 Papal																								24																
25 Qurote																									25															
26 Saitu																										26														
27 SñJuan																											27													
28 SñLor																												28												
29 SñMig																													29											
30 SñPed																														30										
31 SñraA																															31									
32 SñraT																																32								
33 Suchi																																	33							
34 Telpa																																		34						
35 Termas																																								
36 Tepet																																								
37 Tepeu																																								
38 Villa																																								
39 Xiqui																																								

**TABLA 4.3**

**Coefficientes de correlación entre los registros intensidades de lluvia de las estaciones cercanas (dentro de un radio de 80 km), para una duración de 1440 minutos (24 h).**

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
1 Acayu																																									
2 Aiole																																									
3 Apaac																																									
4 Astau																																									
5 Ayull																																									
6 Azact																																									
7 Calapi																																									
8 Calte																																									
9 Carón																																									
10 CdAle																																									
11 Coari																																									
12 Cuzco																																									
13 Cuzco																																									
14 Cuzco																																									
15 ElCar																																									
16 Fortín																																									
17 Huam																																									
18 Jacare																																									
19 Jaya																																									
20 Lafia																																									
21 Magda																																									
22 Moose																																									
23 Palma																																									
24 Papal																																									
25 Quoto																																									
26 Salto																																									
27 Srujan																																									
28 Sruar																																									
29 SruMag																																									
30 SruPed																																									
31 SruA																																									
32 SruT																																									
33 SruC																																									
34 Telpa																																									
35 Ternan																																									
36 Tepel																																									
37 Tepes																																									
38 Villa																																									
39 Xiqui																																									

En este análisis se tomó como primera aproximación la delimitación de estas tres zonas. Para considerarlas en el estudio se examinaron las características estadísticas y fisiográficas de las mismas y se llegó a la conclusión de emplear dos zonas, la alta y la baja. Ya que el número de estaciones dentro la zona media no es representativo en un análisis espacial, se prefirió reubicarlas de acuerdo con la similitud en la función de correlación espacial y esencialmente en el variograma (capítulo 2), ambas aplicadas al conjunto de estaciones de cada zona.

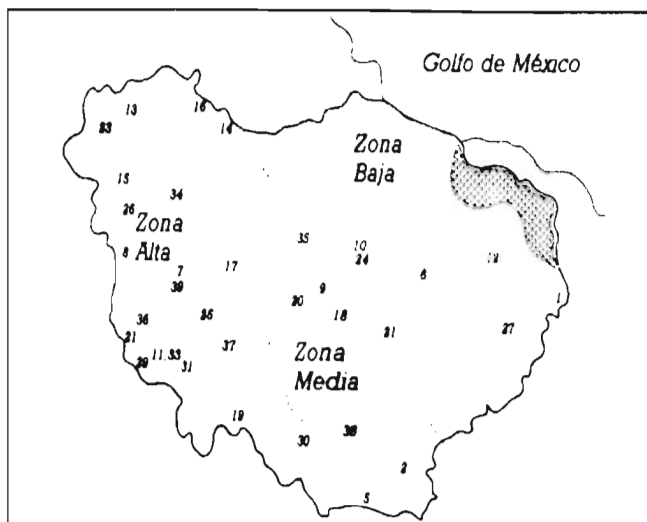


FIG 4.3 Límites de la regionalización de la Cuenca del Río Papaloapan propuesta por Cisneros y Domínguez (1996).

Para cada zona y para todas las duraciones de intensidad de lluvia se calcularon los coeficientes de correlación espacial y los variogramas (apartados 2.5 y 2.6). Se hicieron los ajustes respectivos con los modelos presentados en el mismo capítulo y en la TABLA 4.4 se presentan el tipo de modelo y sus parámetros. En esta se observa que, para casi todas las duraciones, los modelos ajustados para cada zona resultaron semejantes (mismos tipos de ecuación y tendencia).

Se ajustaron los parámetros de los modelos de correlación y variograma para las dos regiones, las ecuaciones de ajuste se muestran en la TABLA 4.4 y están en función de la duración, en min. Observe que, para la zona A, los parámetros ajustados casi no cambian con la duración, por lo tanto, en estos se consideró un promedio.

**TABLA 4.4** Parámetros de los modelos de correlación y semivariograma ajustados para diferentes duraciones analizadas en las zonas A y B dentro la Cuenca del Río Papaloapan.

ZONA	Duración $d$ , en min	Modelo de Correlación Espacial en función de la distancia $d_{ij}$ , en km	Parámetros para la duración $d$		Modelo de Semivariograma en función de la distancia $d_{ij}$ , en km	Parámetros para la duración $d$	
			$c$	$a$		$a$	$c$
A	5	POTENCIA INVERSA $\rho(d_{ij}) = 1/(1 + d_{ij}/c)^a$  Parámetros ajustados:  $c = 11.123$  $a = 0.710$	11.1220	0.7321	EXPONENCIAL $\gamma(d_{ij}) = a[1 - \exp(-c d_{ij})]$  Parámetros ajustados:  $a = 8492.2 d^{-1.2578}$  $c = -0.337 d^{-0.3557}$	687.800	-0.3000
	10		11.1220	0.7152		350.450	-0.1000
	15		11.1220	0.7045		258.660	-0.1125
	20		11.1220	0.7040		221.540	-0.1031
	30		11.1220	0.7408		158.880	-0.0750
	40		11.1220	0.7174		103.880	-0.1082
	60		11.1220	0.7165		66.730	-0.0750
	80		11.1329	0.7580		38.120	-0.0750
	100		11.1220	0.6851		34.260	-0.3000
	120		11.1220	0.7346		21.150	-0.0750
1440	11.1220	0.5989	0.545	-0.0232			
B	5	POTENCIA INVERSA $\rho(d_{ij}) = 1/(1 + d_{ij}/c)^a$  Parámetros ajustados:  $c = 0.0000165 d + 11.131$  $a = 0.0341 \ln d + 0.6194$	11.1220	0.6306	EXPONENCIAL $\gamma(d_{ij}) = a[1 - \exp(-c d_{ij})]$  Parámetros ajustados:  $a = 9574.2 d^{-1.0177}$  $c = -0.0249 \ln d - 0.1001$	1102.046	-0.1500
	10		11.1329	0.7063		619.847	-0.0750
	15		11.1329	0.7318		482.244	-0.0750
	20		11.1329	0.6912		432.211	-0.1458
	30		11.1329	0.7828		382.192	-0.1974
	40		11.1329	0.7843		303.077	-0.1500
	60		11.1329	0.8036		229.262	-0.3000
	80		11.1329	0.7701		162.211	-0.3000
	100		11.1329	0.7542		124.178	-0.3000
	120		11.1329	0.7139		100.556	-0.3000
1444	11.1547	0.8700	2.575	-0.1500			



Las estaciones que intervinieron en el cálculo de la función de correlación espacial y el variograma, resultado de seleccionar las **Zonas A y B**, se dan en la **TABLA 4.5**, y en la **FIGURA 4.4** la ubicación de las estaciones y la delimitación de estas zonas. En las **FIGURAS 4.5 a 4.7** se presentan los coeficientes de correlación espacial y el variograma de estas, para las intensidades de lluvia con duraciones de 30, 60 y 1440 min, también se observa la curva del ajuste con el tipo de modelo representativo y los respectivos intervalos de confianza al 95%.

**TABLA 4.5 Estaciones representativas para las Zonas A y B, dentro la Cuenca del Río Papaloapan.**

Nº	ZONA A	Nº	ZONA B
3	Apazco	1	Acayucan
4	Astatla	2	Alotepec
5	Ayutla	6	Azueta
7	Calapilla	9	Cantón
8	Caltepec	10	Cd. Alemán
11	Coixtlahuaca	12	Cuatotolapan
13	Cuesta Blanca	14	Cuichapa
15	El Carmen	16	Fortín
19	Jayacatlan	17	Huautla
21	Magdalena Jicotlan	18	Jacatepec
23	Palmar de Bravo	20	La Estrella
25	Quiotepec	22	Monte Rosa
26	Salinas de Barranca	24	Papaloapan
28	San Lorenzo Teopilco	27	San Juan Evangelista
29	San Miguel Tulancingo	35	Temascal
30	San Pedro Nolasco	38	Villa Alta
31	Santiago Apoala		
32	Santiago Teotongo		
33	Suchixtlahuaca		
34	Telpatlan		
36	Tepelmeme		
37	Tepeuxila		
39	Xiquila		
Total Zona A: 23 estaciones		Total Zona B: 16 estaciones	

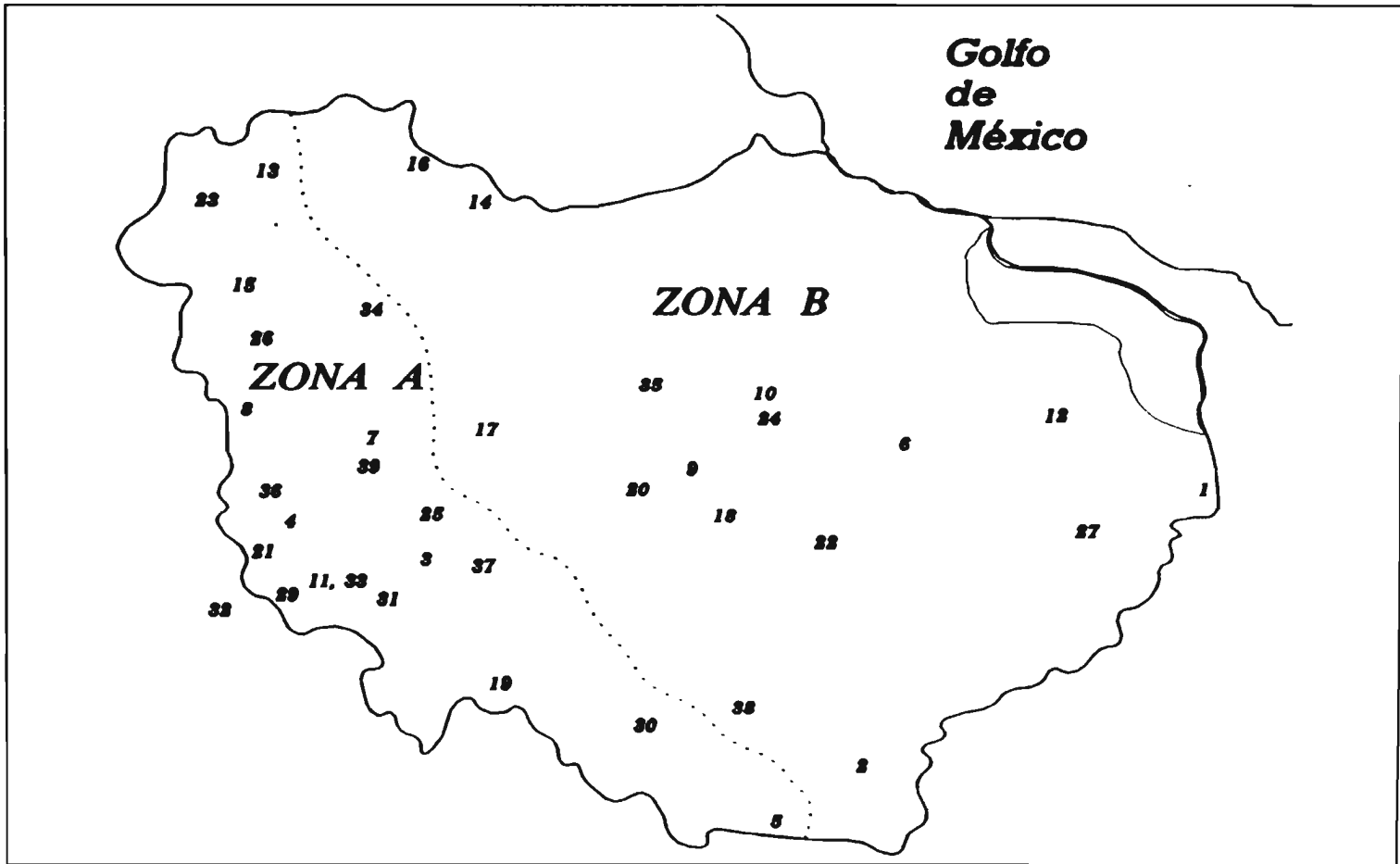
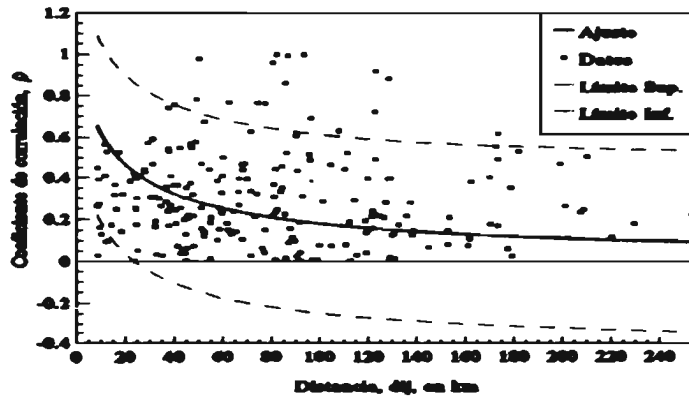
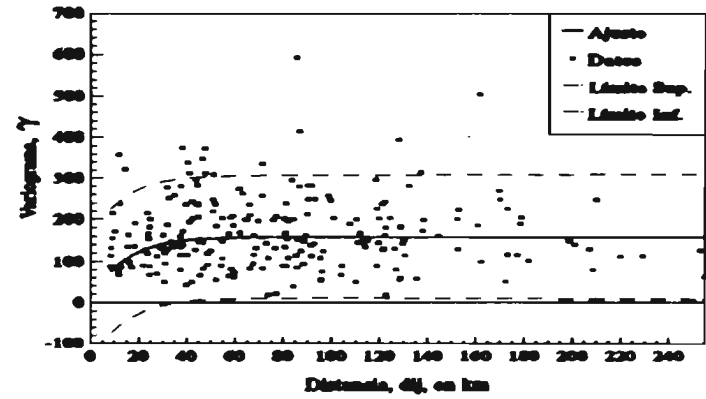


FIG 4.4 Límites de la regionalización propuesta (Zonas A y B) para la Cuenca del Río Papaloapan.

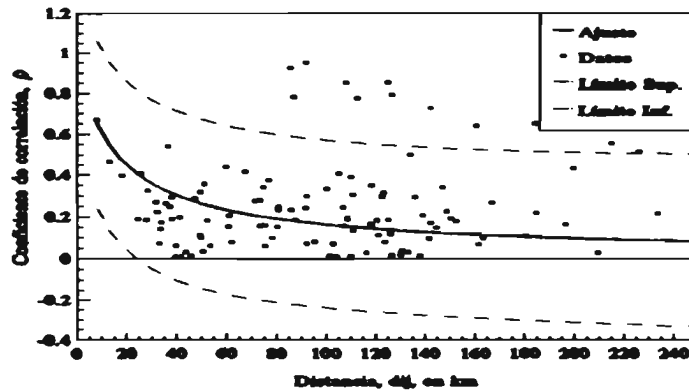
Coefficiente de correlación (Zona A, d = 30 min)



Variograma (Zona A, d = 30 min)



Coefficiente de correlación (Zona B, d = 30 min)



Variograma (Zona B, d = 30 min)

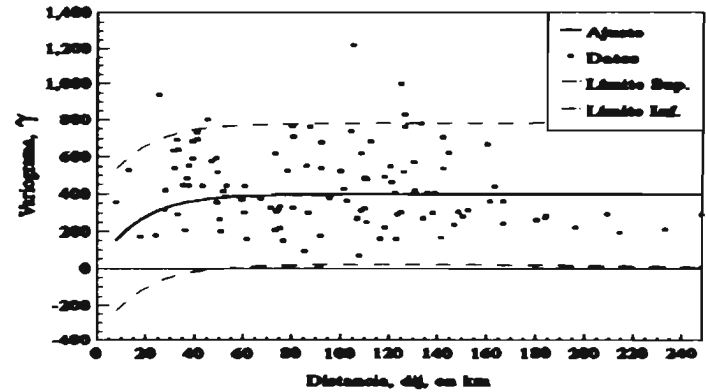
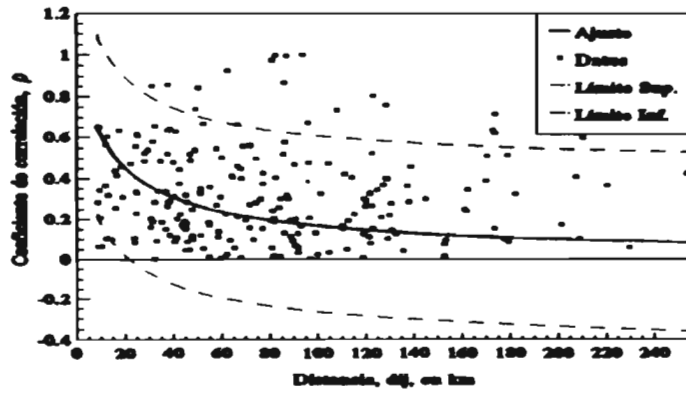
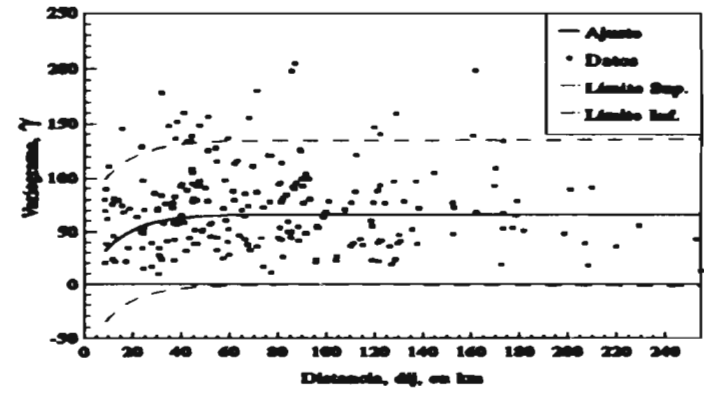


FIG 4.5 Coeficiente de correlación y variograma de las intensidades de lluvia, duración de 30 min (0.5 h). Zonas A y B.

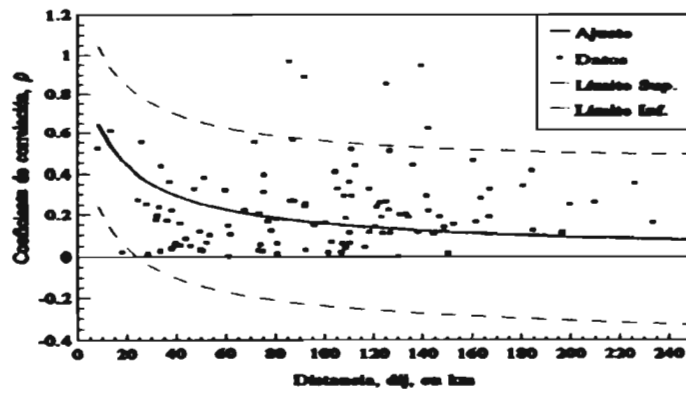
Coefficiente de correlación (Zona A, d = 60 min)



Variograma (Zona A, d = 60 min)



Coefficiente de correlación (Zona B, d = 60 min)



Variograma (Zona B, d = 60 min)

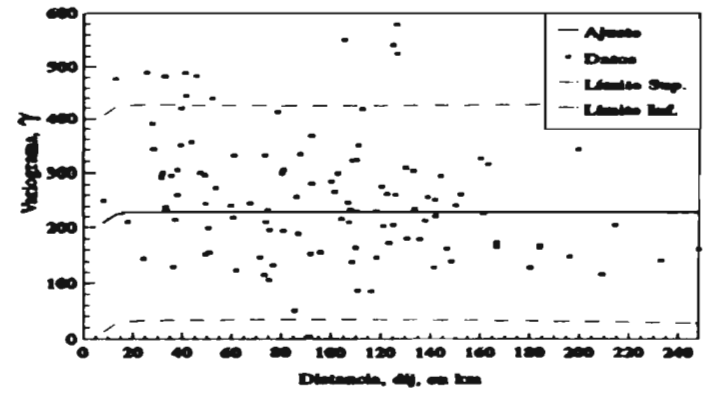
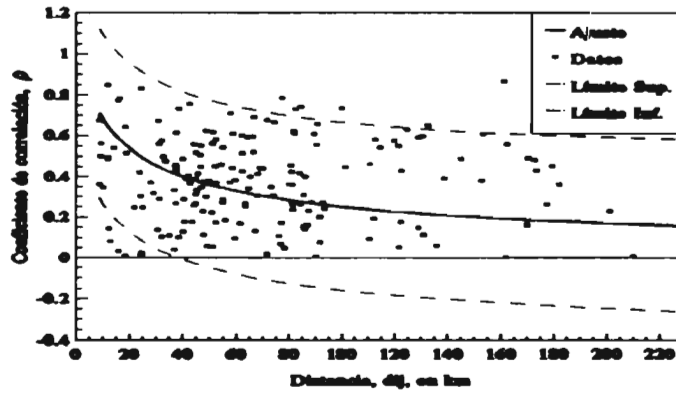
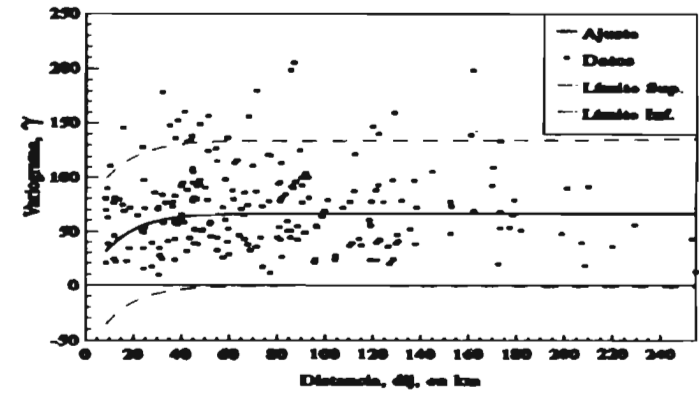


FIG 4.6 Coeficiente de correlación y variograma de las intensidades de lluvia, duración de 60 min. Zonas A y B.

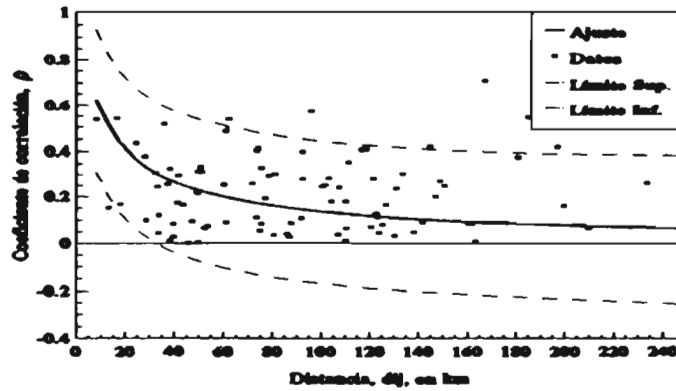
Coefficiente de correlación (Zona A,  $d = 1440$  min)



Variograma (Zona A,  $d = 1440$  min)



Coefficiente de correlación (Zona B,  $d = 1440$  min)



Variograma (Zona B,  $d = 1440$  min)

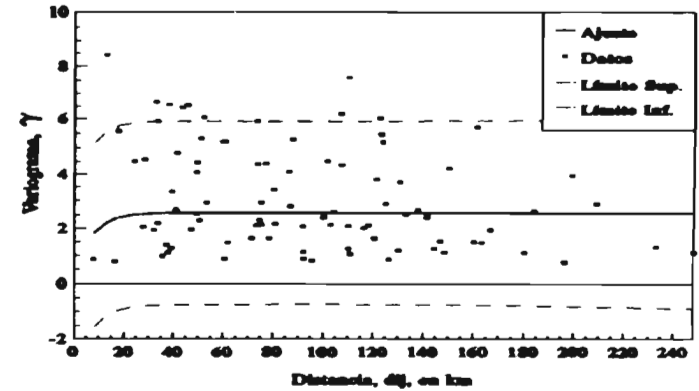


FIG 4.7 Coeficiente de correlación y variograma de las intensidades de lluvia, duración de 24 h. Zonas A y B.

#### **4.4.3 Análisis de curvas I-d-T**

El proceso para la obtención de las curvas *I-d-T* para una zona (cuenca) fue presentado en el **capítulo 1**, esta labor es básica en casi todos los análisis hidrológicos y tiene como finalidad, estimar las avenidas máximas en una cuenca. Las técnicas de construcción de estas curvas tienen diferentes parámetros a estimar; y desde luego se presentan los resultados de la aplicación de dichas técnicas.

##### **4.4.3.1 Parámetros obtenidos por análisis de frecuencia**

###### **a) Distribución de probabilidad univariada**

Para la aplicación de éste método se usó la función de distribución de probabilidad de valores extremos tipo I Gumbel "VE-I" (ec 1.22), que para ello se siguieron los pasos del procedimiento de un análisis de frecuencia (**Apartado 1.2**). Finalmente, en el **ANEXO B** de este trabajo, se presentan los parámetros ajustados para dicho modelo de frecuencia, se dan los errores de estimación y los eventos de diseño para períodos de retorno asignados.

###### **b) Distribución de probabilidad bivariada**

La aplicación de modelos de distribución de probabilidad bivariada (**apartado 1.2.3**) a las intensidades de lluvia en la Cuenca del Río Papaloapan presentaron, en general, buenos resultados. La base fundamental para lograr buenos ajustes con modelos bivariados es regionalizar la zona que se quiera estudiar, así en la Cuenca del Papaloapan se aplicaron los modelos de ajuste a los dos grupos de estaciones en que se dividió esta (**Zonas A y B**). Los errores de estimación en forma bivariada disminuyeron respecto a los univariados, pero en algunos casos los últimos si resultaron ser mejor que los primeros; esta diferencia se dio en aquellas estaciones con longitud de registro pequeña.

Debido a que la mayoría de los registros de intensidades de lluvia, en la Cuenca

del Río Papaloapan, se ajustan mejor a distribuciones univariadas Gumbel, se empleó la combinación de marginales Gumbel "VEB11" bivariada (ec 1.40).

Una de las características notables de estos modelos es que su comportamiento a períodos de retorno grandes son considerados buenos, ya que estos no tienden a sobreestimar los eventos así como lo harían otros modelos.

Los resultados del análisis con estos modelos se presentan en el **ANEXO C**. Del mismo modo que los univariados, el procedimiento de análisis de frecuencia fue el mismo, con la única diferencia de que ahora se emplearon los registros de dos estaciones y siguiendo los pasos del método (**Apartado 1.2.3**).

**c) *Distribución de la lluvia en el tiempo***

Cuando se requiera estimar la cantidad de lluvia para duraciones distintas a las consideradas en el análisis, esencialmente en el rango de 60 a 1440 min (1 a 24 h), el Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América sugiere dibujar una recta en papel logarítmico uniendo dos puntos con los siguientes valores: duración de 60 min en el eje de las abscisas y su respectiva intensidad de lluvia, para cierto período de retorno, en el eje de las ordenadas, en mm/h; y el otro punto correspondiente a la duración de 1440 min en el eje horizontal y su correspondiente intensidad de lluvia en el eje vertical, en mm/h, de igual manera para un período de retorno asignado. La recta trazada en el papel logarítmico permite leer valores de intensidad de lluvia para diferentes duraciones dentro del rango de duraciones establecido interpolando entre los dos puntos trazados o extrapolando (máximo hasta 7 días). En lugar de dibujar la recta se puede determinar una ecuación del tipo  $I = a d^b$ ; donde  $d$  e  $I$  son la intensidad de lluvia y la duración, respectivamente;  $a$  y  $b$  son constantes que se determinan a partir de las intensidades de lluvia y sus duraciones.

4.4.3.2 *Parámetros obtenidos para fórmulas empíricas*

a) *Fórmula de Bell*

Bell (1969) propone usar la ec 1.53, o su variante la ec 1.54, mismas que requieren únicamente de un dato para la obtención de la relación *I-d-T*. La altura de lluvia  $P_{60}^{10}$ , implica un análisis de frecuencia ya que se debe estimar el evento para un período de retorno de 10 años y duración de 60 min. En este método se emplea la ec 1.53 y la altura de lluvia, para las estaciones de las Zonas A y B, se obtiene de los datos del análisis bivariado asentados en las tablas del ANEXO C. En la siguiente tabla se presentan las alturas de lluvia para las relaciones *I-d-T* propuestas por Bell.

**TABLA 4.6 Intensidades de lluvia, en mm/h, para la aplicación de la fórmula que relaciona la intensidad-duración-período de retorno propuestas por Bell.**

Nº	ZONA A	$I_{60}^2$	$I_{60}^{10}$	Nº	ZONA B	$I_{60}^2$	$I_{60}^{10}$
3	Apazco	17.86	31.38	1	Acayucan	38.96	63.08
4	Astatla	26.51	43.93	2	Alotepec	44.77	70.50
5	Ayutla	19.88	34.73	6	Azueta	41.94	71.74
7	Calapilla	25.94	50.59	9	Cantón	72.85	100.92
8	Caltepec	20.77	34.95	10	Cd. Alemán	60.48	99.49
11	Coixtlahuaca	18.63	29.75	12	Cuatotolapan	39.47	68.13
13	Cuesta Blanca	18.64	33.99	14	Cuichapa	59.73	83.65
15	El Carmen	22.94	36.98	16	Fortín	38.56	62.31
19	Jayacatlan	26.74	44.04	17	Huautla	34.15	53.95
21	Magdalena Jic.	15.81	25.54	18	Jacatepec	74.24	96.94
23	Palmar de Bravo	15.56	26.24	20	La Estrella	73.61	105.96
25	Quiotepec	22.63	41.79	22	Monte Rosa	56.52	92.27
26	Salinas de Bar.	30.74	56.01	24	Papaloapan	55.05	92.07
28	Sn Lorenzo Teo.	18.14	31.22	27	Sn Juan Ev.	41.57	80.63
29	Sn Miguel Tula.	16.01	27.52	35	Temascal	69.71	93.45
30	Sn Pedro Nolas.	16.45	29.22	38	Villa Alta	28.35	41.45
31	Santiago Apoala	11.44	20.61				
32	Santiago Teotó.	12.31	21.85				
33	Suchixtlahuaca	19.06	35.05				
34	Telpatlan	19.93	35.23				
36	Tepelmeme	21.81	38.99				
37	Tepeuxila	22.70	36.31				
39	Xiquila	19.86	34.21				
Total Zona A: 23 estaciones				Total Zona B: 16 estaciones			



**b) Fórmula de Chen**

La fórmula que propone **Chen (1983)**, **ec 1.71**, requiere de tres datos (alturas de precipitación) que se obtienen de un análisis de frecuencia y de tres parámetros que dependen de la relación intensidad de lluvia-duración. Las alturas de precipitación,  $P_{60}^{10}$ ,  $P_{1440}^{10}$  y  $P_{60}^{100}$ , se obtuvo del análisis de frecuencia bivariado (**ANEXO C**) y; los parámetros de tormenta  $a_1$ ,  $b_1$  y  $c_1$ , se calcularon de acuerdo al procedimiento explicado en el análisis de la relación intensidad de lluvia-duración (**Apartado 1.3.2**) condicionado al problema de minimización del la **ec 1.59**.

Las relaciones  $I_d^T / I_{60}^T$  encontradas en este análisis fueron agrupadas en 5 intervalos, de 0.23 a 0.70. Los valores promedio de cada intervalo asociados a la duración (5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 y 1440 min) son los que se muestran en la **TABLA 4.7**.

**TABLA 4.7 Relaciones altura de precipitación-duración promedio para diferentes duraciones. Cuenca del Río Papaloapan.**

<b>Relación altura de precipitación-duración</b>					
<b>Duración en (min)</b>	$P_{60}^{10} / P_{1440}^{10}$				
	<b>0.282</b>	<b>0.359</b>	<b>0.449</b>	<b>0.522</b>	<b>0.621</b>
5	4.174	3.284	3.220	3.207	3.024
10	3.014	2.314	2.283	2.385	2.302
15	2.475	1.947	1.918	2.026	2.007
20	2.102	1.739	1.756	1.837	1.794
30	1.668	1.509	1.457	1.496	1.435
40	1.374	1.261	1.250	1.263	1.231
60	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
80	0.808	0.817	0.806	0.818	0.817
100	0.721	0.702	0.730	0.685	0.703
120	0.628	0.619	0.623	0.586	0.587
1440	0.150	0.116	0.091	0.076	0.065

Los parámetros de tormenta calculados para los datos de la **TABLA 4.7** se muestran en la **TABLA 4.8**. Las **ecs 4.1** representan los parámetros hallados y el menor coeficiente de determinación resulto ser para  $b_1$  ( $R^2 = 0.9886$ ).

$$a_1 = 274.38 x^2 - 112.82 x + 23.416$$

$$b_1 = -46.67 x^2 - 98.727 x - 22.482 \quad (4.1)$$

$$c_1 = -0.2128 x^2 + 1.1151 x + 0.3255$$

donde  $x = P_{60}^{10} / P_{1440}^{10}$  = relación altura-duración, válida para  $0.26 < x < 0.66$ .

**TABLA 4.8** Parámetros de tormenta para la relación  $I-d-T$  de la fórmula de Chen, aplicables en la Cuenca del Río Papaloapan.

Parámetro	Relación altura de precipitación-duración				
	$P_{60}^{10} / P_{1440}^{10}$				
	0.282	0.359	0.449	0.522	0.621
$a_1$	13.633	17.688	28.585	39.176	59.233
$b_1$	1.223	7.571	12.985	15.126	21.293
$c_1$	0.627	0.690	0.784	0.855	0.934

**Lafragua (1996)** presenta un gráfico en el que pueden obtenerse los valores de las constantes  $a_1$ ,  $b_1$  y  $c_1$ , los comparó con valores de **Chen (1983)**, y obtuvo valores diferentes, al igual que sucedió con los calculados en este trabajo. Por tanto, dichos parámetros difieren con la relación intensidad de lluvia-duración, y es necesario obtener esta relación para la zona que se desee analizar.

En la **TABLA 4.9** se proporcionan los datos obtenidos del análisis de frecuencia bivariada para el empleo de la fórmula de Chen.

**TABLA 4.9** Alturas de precipitación para aplicar la fórmula de Chen en la Cuenca del Río Papaloapan, en mm.

Nº	ZONA A	$P_{60}^{10}$	$P_{60}^{100}$	$P_{1440}^{10}$	Nº	ZONA B	$P_{60}^{10}$	$P_{60}^{100}$	$P_{1440}^{10}$
3	Apazc	31.38	48.25	61.06	1	Acayu	63.08	93.17	150.58
4	Astat	43.93	65.65	63.86	2	Alote	70.50	102.60	191.23
5	Ayutl	34.73	53.26	108.56	6	Azuet	71.74	108.91	147.01
7	Calap	50.59	81.34	75.78	9	Cantó	100.92	135.93	261.69
8	Calte	34.95	52.65	65.77	10	CdAle	99.49	148.16	183.53
11	Coixt	29.75	43.63	78.73	12	Cuato	68.13	103.88	169.75
13	Cuest	33.99	53.14	77.21	14	Cuich	83.65	113.48	171.67
15	ElCar	36.98	54.49	69.70	16	Fortí	62.31	91.93	123.33
19	Jayac	44.04	65.63	78.65	17	Huaut	53.95	78.65	233.60
21	Magda	25.54	37.68	71.71	18	Jacat	96.94	125.24	268.21
23	Palma	26.24	39.55	80.94	20	LaEst	105.96	146.30	314.33
25	Quiot	41.79	65.69	79.17	22	Monte	92.27	136.86	179.28
26	Salin	56.01	87.53	81.23	24	Papal	92.07	138.25	163.71
28	SnLor	31.22	47.54	64.95	27	SnJua	80.63	129.36	190.41
29	SnMig	27.52	41.88	73.89	35	Temas	93.45	123.06	204.85
30	SnPed	29.22	45.15	95.47	38	Villa	41.45	57.78	132.25
31	SntiA	20.61	32.05	97.05					
32	SntiT	21.85	33.75	69.38					
33	Suchi	35.05	55.00	84.06					
34	Telpa	35.23	54.31	111.83					
36	Tepel	38.99	60.42	69.59					
37	Tepeu	36.31	53.27	96.26					
39	Xiqui	34.21	52.11	66.58					

**c) Fórmula de Kothyari y Garde**

La aplicación de éste método no difiere de la técnica de correlación múltiple. Así también para períodos de retorno mayores al tamaño de la muestra se tienen eventos más grandes que los que se obtienen con las otras técnicas. En la **TABLA 4.10** se exponen los parámetros para la aplicación de la fórmula. De esta tabla se observa que los valores de los parámetros de ajuste, para cada zona, tienden a agruparse en un determinado rango de valores. Por ejemplo, en la **Zona A** el parámetro  $k$  está entre 1 y 6, descartando los extremos y, para la **Zona B** varía de 5 a 10; lo que confirma la regionalización hecha por los autores en la India.

**TABLA 4.10** Parámetros de ajuste en el método de Kothyari y Garde aplicados a las estaciones representativas de la Cuenca del Río Papaloapan.

ESTACIÓN	$P_{1440}^2$ en mm	$k$	$a$	$b$	$c$
Apazco	39.84	4.5162	0.5773	0.1931	0.6953
Astatla	44.38	5.7759	0.4089	0.2501	0.7230
Ayutla	72.04	4.1178	0.4616	0.2464	0.5743
Calapilla	46.92	4.1588	0.6161	0.2733	0.7517
Caltepec	43.15	2.6162	0.4280	0.4250	0.7234
Coixt	50.50	2.3509	0.4678	0.4258	0.6540
Cuesta	53.77	1.5758	0.7203	0.4388	0.6273
ElCarmen	47.09	1.6718	0.3888	0.5512	0.6829
Jayac	49.05	2.0362	0.4207	0.5126	0.6724
Magdalena J	45.60	2.5030	0.4210	0.3827	0.6776
Palmar de B	52.82	1.9052	0.5271	0.4077	0.6536
Quiotepec	50.91	2.3509	0.5433	0.4072	0.6498
Salinas de B	51.04	3.3029	0.5836	0.4041	0.8009
Sn Lorenzo	46.14	4.9675	0.4783	0.1937	0.6497
Sn Miguel	48.88	2.1133	0.5068	0.3881	0.6405
Sn Pedro N	60.98	1.2694	0.5415	0.4968	0.6170
Santiago A	47.04	2.1881	0.6760	0.2765	0.5996
Snatiago T	47.17	1.6854	0.5880	0.3772	0.6268
Suchixtla	54.29	10.9662	0.6030	-0.037	0.6204
Tepatlán	65.14	7.2554	0.5516	0.1132	0.6344
Tepelmeme	44.22	1.2180	0.4716	0.6266	0.7214
Tepeuxila	63.99	1.2513	0.4320	0.5877	0.6490
Xiquila	42.72	3.1234	0.4348	0.3645	0.7284
Acayucan	102.84	6.6184	0.3569	0.2859	0.6057
Alotepec	131.50	4.0829	0.4725	0.3962	0.5462
Azueta	99.17	7.6106	0.4099	0.2652	0.6343
Cantón	181.39	9.7512	0.2420	0.3148	0.5425
Cd. Aleman	126.59	8.0760	0.3756	0.3061	0.6143
Cuatotolapan	99.95	9.4084	0.4250	0.1974	0.6244
Cuichapa	122.33	11.6186	0.2629	0.2509	0.5986
Fortín	85.74	5.1730	0.3932	0.3291	0.6419
Huautla	156.62	5.5510	0.3180	0.2982	0.5034
Jacatepec	187.93	6.0924	0.1942	0.4109	0.5604
La Estrella	219.49	0.6252	0.2712	0.8067	0.5102
Monte Rosa	128.49	2.5076	0.3311	0.5416	0.6066
Papaloapan	126.53	7.0569	0.3519	0.3237	0.5890
Sn Juan Evan.	130.78	2.8726	0.6822	0.3907	0.5902
Temascal	140.57	10.4156	0.2236	0.3103	0.5991
Villa Alta	86.99	5.1043	0.3040	0.3141	0.6105

**4.4.3.2** *Parámetros para el método de correlación múltiple*

El método de correlación múltiple es uno de los más empleados para la obtención de las curvas *I-d-T*, pero a la vez se ha demostrado que es el que proporciona mayor

error en la estimación de eventos con periodos de retorno grandes. Los parámetros calculados para la región del papaloapan son los que aparecen en la siguiente tabla:

**TABLA 4.11** Parámetros de ajuste en el método de correlación lineal múltiple para las estaciones representativas de la Cuenca del Papaloapan.

	Estación	$k$	$m$	$n$
1	Acayucan	296.60	0.3569	0.6051
2	Alotepec	264.16	0.4725	0.5462
3	Apazco	159.12	0.5773	0.6962
4	Astatla	293.59	0.4089	0.7278
5	Ayutla	123.94	0.4616	0.5741
6	Azueta	344.90	0.4099	0.6337
7	Calapilla	262.22	0.6161	0.7545
8	Caltepec	250.83	0.4280	0.7236
9	Cantón	461.16	0.2420	0.5419
10	Cd. Aleman	440.93	0.3756	0.6150
11	Coixtlahuaca	181.70	0.4678	0.6540
12	Cuatotolapan	300.47	0.4250	0.6239
13	Cuesta Blanca	118.11	0.7203	0.6273
14	Cuichapa	451.67	0.2629	0.5995
15	El Carmen	231.05	0.3888	0.6853
16	Fortín	319.44	0.3932	0.6489
17	Huautla	197.48	0.3180	0.5043
18	Jacatepec	523.00	0.1942	0.5621
19	Jayacatlan	235.10	0.4207	0.6727
20	La Estrella	392.25	0.2712	0.5109
21	Magdalena Jicotlan	176.65	0.4210	0.6825
22	Monte Rosa	418.46	0.3311	0.6077
23	Palmar de Bravo	139.51	0.5271	0.6536
24	Papaloapan	376.12	0.3519	0.5884
25	Quiotepec	166.37	0.5433	0.6495
26	Salinas de Barranca	438.86	0.5836	0.8048
27	Sn Juan Evangelista	216.08	0.6822	0.5902
28	Sn Lorenzo Teopilco	150.78	0.4783	0.6525
29	Sn Miguel Tulancingo	134.07	0.5068	0.6447
30	San Pedro Nolasco	122.21	0.5415	0.6168
31	Santiago Apoala	73.89	0.6760	0.5996
32	Santiago Teotongo	93.75	0.5880	0.6264
33	Suchixtlahuaca	118.73	0.6105	0.6193
34	Telpatlan	157.11	0.5516	0.6357
35	Temascal	562.36	0.2236	0.5993
36	Tepelmeme	251.29	0.4716	0.7220
37	Tepeuxila	205.85	0.4320	0.6492
38	Villa Alta	253.68	0.3040	0.6116
39	Xiquila	242.22	0.4348	0.7284

#### **4.4.4 Aplicación de las técnicas de Interpolación**

Se aplicaron las técnicas de interpolación, presentadas en el **capítulo 2**, para calcular los eventos de las intensidades de lluvia diaria ( $d = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min}$ ) en estaciones donde no se tienen mediciones (Las estaciones son: Para la **Zona A**, Coixtlahuaca, Cuesta Blanca y Palmar de Bravo; para la **Zona B**, Alotepec y San Juan Evangelista). Los períodos de retorno  $T$  considerados son: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años; todos estimados a partir de datos calculados por análisis de frecuencia bivariada en las estaciones vecinas (**ANEXO C**). El método de interpolación empleado fue el kriging. Los valores interpolados se emplearon en el análisis de las relaciones **altura de precipitación-duración**, **altura de precipitación-período de retorno**, en el cálculo de parámetros de ajuste de las fórmulas empíricas y finalmente en la parte de aplicación del presente trabajo.

Para propósitos de comparación, también se interpolaron eventos con los mismos períodos de retorno, lluvia diaria y en las estaciones mencionadas, pero con información del análisis univariado. Estos resultados pueden ser detectados en las hojas de reporte correspondientes a la duración de 24 horas (**ANEXO B**).

## ***CAPÍTULO 5. MODELO PROPUESTO***

En este capítulo se presenta el procedimiento para el cálculo de la avenida de diseño de obras hidráulicas a partir de registros de lluvia. Se exponen alternativas de análisis de lluvias: registros de lluvia de 24 horas (1440 min) y los correspondientes a duraciones menores o igual que 2 horas (120 min). El análisis de lluvia consiste en modelar esta variable, curvas ***I-d-T***, tal y como se desarrolló en el **capítulo 1**.

Se propone un modelo de lluvia-escorrentía simple (Hidrograma Unitario Triangular), con la opción del uso de otro modelo adecuado para este análisis (**capítulo 3**). Por último, se propone emplear las técnicas de interpolación espacial presentadas en el **capítulo 2**, para la determinación de los eventos de diseño en sitios donde no se tienen mediciones.

A continuación se desarrollan los pasos a seguir en el cálculo de la avenida de diseño en cuencas donde se tengan registros de lluvias:

### ***i) RECOPIACIÓN DE DATOS***

Antes del procesamiento de los datos es recomendable un análisis crítico de todos los registros existentes en las estaciones involucradas en el estudio. Se deben identificar los datos

faltantes así como el número de años de registro, desechando aquellas estaciones que contengan menos de 5 años. Detectar datos dudosos o erróneos consiste en verificar si los valores, muy grandes o muy pequeños, son los que se registraron realmente en estaciones cercanas donde ocurrieron fenómenos similares. Con ello se harán las correcciones necesarias, es decir, confirmarlas o descartarlas.

Determinar el coeficiente de correlación y el variograma entre todos los registros en común de las estaciones.

Dibujar para cada pareja el coeficiente de correlación en el eje de las ordenadas y, su distancia entre ellas en el eje de las abscisas. Los valores de los coeficientes de correlación más altos son las parejas que deben correlacionarse para completar los registros faltantes. No deben completarse más de 5 registros faltantes, y en caso de requerirlo se debe recurrir a las técnicas para la Extensión de Registros (**Kite, 1988**).

## **ii) REGIONALIZACIÓN DE LA CUENCA**

La regionalización del fenómeno de la lluvia en una zona ha sido estudiada en pocas ocasiones. Su empleo en los estudios hidrológicos debe ser parte del análisis general, por ello es recomendable llevar a cabo un proceso de regionalización de lluvias empleando los métodos que se encuentren disponibles y, además, que puedan aplicarse a la zona de estudio.

Aquí se propone un método de regionalización semi-empírico por aproximaciones, en el siguiente párrafo se explica de manera breve este procedimiento.

El semivariograma (**capítulo 2**) indica la variación de los datos de una estación respecto a los de otra con la distancia entre ellas. Los valores más bajos forman un grupo de estaciones las que pueden considerarse en el espacio como meteorológicamente homogéneas. Si se distinguen dos o más tendencias marcadas implicarán dos zonas y, luego se subdivide la cuenca, esto es, se regionaliza según los procesos de homogeneidad de la cuenca; se traza una línea



imaginaria que incluya a las estaciones dentro la cuenca, por lo general suele ser un parteaguas o una frontera que denote físicamente el cambio del fenómeno meteorológico, y luego se calculan nuevamente los coeficientes de correlación y variograma para cada región; en el caso de presentar una sola tendencia se considera a toda la zona como una región homogénea y se continúa en el siguiente paso.

### **iii) ANÁLISIS DE FRECUENCIA**

El análisis de frecuencia es fundamental para la estimación de eventos hidrológicos asociados a un período de retorno. Esto se logra ajustando un modelo con distribución de probabilidad como los que se presentan en el **capítulo 1**. Se elige la distribución que proporcione el mínimo valor del error estándar de ajuste.

Cuando se emplee la modelación multivariada debe tomarse en cuenta la regionalización hecha en el paso anterior, esto significa que el análisis bivariado o trivariado se harán entre los registros de estaciones dentro de cada región. Un detalle típico de la regionalización es que los parámetros de los modelos ajustados tienden a variar en un rango característico y en consecuencia, también de esta forma, puede validarse la regionalización propuesta.

Es aconsejable usar modelos multivariados ya que con estos se logra disminuir el error de estimación de un evento, así por ejemplo, para un período de retorno grande, comparado con el tamaño de la muestra, la extrapolación de eventos extraordinarios resultan ser buenos y suficientes como para los propósitos de diseño y, aún más cuando en el sitio no se disponen de registros históricos para su análisis.

### **iv) CÁLCULO DE LA RELACIÓN INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO**

Cuando si se disponen de registros de lluvia con duraciones de 24, 2 y 1 h, e inclusive duraciones menores que esta última, se propone usar las relaciones ***I-d-T*** siguientes:

**a) Para duraciones efectivas de lluvia menores o igual que 2 h (120 min)**

Emplear las fórmulas de **Chen** y **Bell**. Para estimar los parámetros que requieren las fórmulas que proponen estos autores debe hacerse el análisis de frecuencia multivariada con los datos de lluvia, con todas las duraciones disponibles menores e igual que 2 horas.

**b) Para duraciones efectivas de lluvia entre 1 y 24 h (60 y 1440 min)**

Emplear la fórmula de **Chen** o el **Análisis de Frecuencia**. Los parámetros de la fórmula de **Chen** se deben estimar con datos del análisis de frecuencia multivariada. En el método de **Análisis de Frecuencia**, cuando se requieran estimar eventos con duraciones de lluvia menores que 24 h, pero mayores que 1 h, se empleará el método del **U.S. Conservation Service** (**Apartado 4.4.3.1c**).

**c) Para duraciones efectivas de lluvia mayores que 24 h (1440 min)**

Emplear el **Análisis de Frecuencia** usando **Modelos Multivariados**. En este método, cuando se requieran estimar eventos con duraciones de lluvia mayores que 24 h se empleará el método del **U.S. Conservation Service** (**apartado 4.4.3.1c**). Aplicando éste procedimiento es posible extrapolar los eventos de diseño con una duración hasta de 7 días.

**d) Para duraciones efectivas de lluvia mayores que 1 h (60 min)**

Cuando no se disponen de registros de lluvia con duraciones de 1 h, pero si de 24 h, entonces se propone usar las relaciones empíricas propuestas por **Campos (1984)**. Este autor propone usar una relación media de la precipitación de 60 min a la de 1440 min,  $P_{60}^2 / P_{1440}^2$ , igual a **0.47** y luego aplicar la fórmula de **Chen**. Para otra zona deberá realizarse un estudio y determinar el valor de esta relación empírica.

Las curvas **I-d-T** se obtendrán para cualquier duración empleando el método del **U.S.**

Conservation Service, como ya se indicó en apartado *iv) inciso b)*.

**v) CÁLCULO DEL GASTO DE DISEÑO**

En esta parte del cálculo se implican a los modelos lluvia-escorrentamiento. Una vez que se han calculado las intensidades de lluvia (o precipitaciones) de diseño, para tomar en cuenta la influencia de estaciones cercanas, se calcula la precipitación promedio en el área por el método de los polígonos de Thiessen. Para obtener el gasto de diseño se recomienda usar el método del Hidrograma Unitario Triangular (**capítulo 3**), ya que por su simplicidad y amplio margen de aplicabilidad proporciona resultados razonables. Se recuerda que para aplicar este método debe determinarse el número de la curva de escurrimiento  $N$  de la cuenca en estudio y luego calcularse la precipitación efectiva usando la **ec 3.9**.

**vi) APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN**

Cuando se quiere diseñar una estructura en un sitio donde no se disponen de registros de lluvia, además de ejecutar los pasos *i) a iv)* antes mencionados, se propone lo siguiente:

**a) Cálculo de intensidades de lluvia en estaciones vecinas**

- a1)** Determinar la duración efectiva para la cual se va a diseñar la estructura en todas las estaciones de la región.
- a2)** A partir de los resultados del análisis previo, calcular el evento de diseño en todas las estaciones, para la duración y período de retorno elegidos.
- a3)** Interpolarse el evento de diseño en el sitio de interés a partir de los eventos estimados en todas las estaciones de la región, para una misma duración y período de retorno. Se aplicarán las técnicas de interpolación expuestas en el **capítulo 2** de esta tesis. En la aplicación de los métodos de interpolación óptima y kriging deben calcularse, para los puntos que intervienen en el proceso de interpolación, los coeficientes de correlación y variograma, respectivamente.

- a4) Cuando exista influencia de estaciones vecinas, trazar los polígonos de Thiessen para tomar en cuenta la influencia de estas.
- a5) Calcular la precipitación promedio en el área por el método de Thiessen. En el caso de que no exista influencia por parte de otras estaciones se asume el 100% a los eventos de la estación inferida.

**b) *Cálculo de los gastos de diseño***

- b1) Determinar el número de la curva de escurrimiento de la cuenca  $N$ .
- b2) Calcular la precipitación efectiva. Antes de proseguir con el siguiente paso se recomienda hacer una calibración del número de escurrimiento, esto es, suprimir los datos de la estación más cercana e inferirlos por medio de las técnicas de interpolación, calcular nuevamente la precipitación efectiva; modificar  $N$  cuantas veces sea necesario hasta obtener un resultado similar con los datos reales de la estación suprimida. Puesto que el cálculo de la precipitación efectiva depende en gran parte del número  $N$ , se ha comprobado que un ligero incremento de esta variable refleja una gran variación en la estimación del gasto.
- b3) Calcular el gasto de diseño.

El siguiente capítulo completa las ideas expuestas del modelo propuesto, pues se hace una aplicación real a dos Subcuencas dentro la Cuenca del Papaloapan, donde cada una de ellas está ubicada dentro las dos regiones consideradas como meteorológicamente homogéneas.

## ***CAPÍTULO 6. APLICACIONES***

En éste capítulo se resuelve un problema aplicando el procedimiento propuesto en el capítulo anterior. Para validar la estimación de los eventos se usará el método del punto ficticio. Éste, consiste en suprimir la información de una estación e inferirla empleando las técnicas de interpolación con base en la información proporcionada por estaciones vecinas. Para ello se estimarán los gastos de diseño en el sitio de interés por medio de la relación lluvia-escorrentamiento establecida y se hará la comparación con los gastos de diseño obtenidos de un análisis de frecuencia univariada, a partir de los gastos registrados en esa estación.

A continuación se hace una breve descripción de las estaciones que se van a suprimir y los respectivos datos de las subcuencas.

### ***6.1. DESCRIPCIÓN DE LAS SUBCUENCAS***

Las subcuencas analizadas son las estaciones Quiotepec y La Estrella (**FIGURA 6.1**). La primera forma parte de las estaciones que están en la **Zona A**, está situada a 2 km del poblado de Quiotepec, Oax. El recorrido total desde Cd. Alemán hasta la estación es de 349 km, para el aforo se utiliza la estructura del Puente del Ferrocarril México-Oaxaca, mismo que tiene una longitud de 106.2 m. En esta estación se empezaron a registrar los gastos máximos desde junio de 1948 y, se tiene registros hasta el año de 1977. El área de la subcuenca hasta el

sitio de medición es de 4831.8 km<sup>2</sup>. La segunda estación forma parte de la **Zona B**, está próxima al poblado de Santa Rosa, Oax. Se tienen registros de la misma variable desde marzo de 1953 hasta el año de 1977, estos se exponen en la **TABLA 6.1**. El área de la subcuenca para esta estación, hasta el sitio de medición, es de 773.7 km<sup>2</sup>.



FIG 6.1 Ubicación de las Subcuencas 1 y 2 dentro la Cuenca del Río Papaloapan.

El ajuste de los gastos registrados en las dos estaciones se hizo con funciones de distribución de probabilidad univariada. Para los registros de La Estrella se ajustó con un menor error la distribución Gumbel y para los de la estación Quiotepec resultó la distribución Doble Gumbel (**FIGURAS 6.2 Y 6.3**). Los parámetros de ajuste de estas distribuciones son:

Estación

<b>La Estrella</b>	Parámetro de ubicación = 1194.6407	Parámetro de escala = 416.67
<b>Quiotepec</b>	Parámetro de ubicación 1 = 310.5685	Parámetro de escala 1 = 144.93

Parámetro de ubicación 2 = 1034.6981    Parámetro de escala 2 = 208.33

Parámetro de asociación = 0.8090

**TABLA 6.1 Gastos máximos históricos registrados en las estaciones La Estrella y Quiotepec.**

AÑO	Gasto máximo, en m <sup>3</sup> /s	
	Estación: La Estrella	Estación: Quiotepec
1949		208
1950		611
1951		390
1952		637
1953	1620	657
1954	1402	492
1955	1679	765
1956	1113	328
1957	889	103
1958	2305	1415
1959	1370	260
1960	1652	739
1961	1418	491
1962	1366	221
1963	1075	410
1964	999	152
1965	1673	338
1966	815	357
1967	1234	320
1968	1194	305
1969	1707	815
1970	1262	457
1971	920	339
1972	1910	362
1973	2000	1008
1974	1572	1430
1975	3050	1104
1976	1071	431
1977	534	93.5

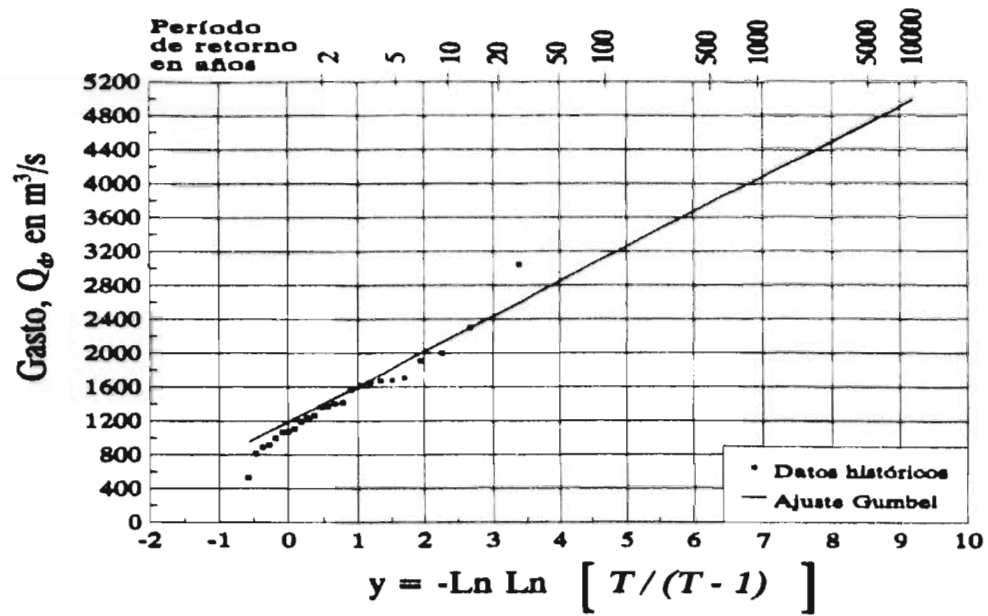


FIG 6.2 Ajuste de los gastos registrados en la estación La Estrella con la distribución Gumbel.

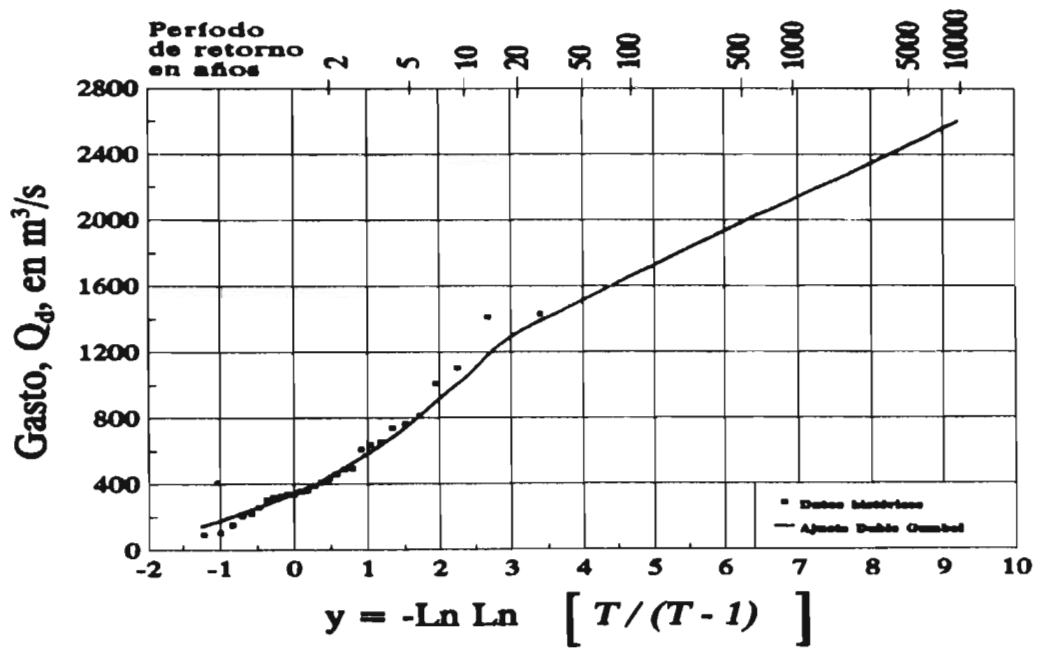


FIG 6.3 Ajuste de gastos registrados en la estación Quiotepec con la distribución Doble Gumbel.



## 6.2 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Con la regionalización de la Cuenca del Río Papaloapan, presentada en el **capítulo 4**, se llegó a la conclusión de dividirla en dos zonas, las que se consideran meteorológicamente homogéneas. Esta regionalización propuesta fue verificada por el rango de valores de los parámetros ajustados en las distribuciones de probabilidad univariadas y bivariadas (**ANEXOS B y C**).

La regionalización del fenómeno de la lluvia debe ser parte del análisis general, por ello es recomendable llevar a cabo un proceso de regionalización de lluvias empleando los métodos que se encuentren disponibles para tal fin.

### a) ANÁLISIS DE FRECUENCIA

En el **capítulo 4** se presentaron los resultados del análisis de frecuencia para todas las estaciones involucradas dentro las **Zonas A y B**. En éste se tienen disponibles los parámetros para aplicar alguno de los métodos que relacione las curvas ***I-d-T*** expuestos en el **capítulo 1**. En esta aplicación sólo se refieren a los parámetros de las distribuciones bivariadas y en la parte de interpolación se hacen las comparaciones con las distribuciones univariadas y los otros métodos.

### b) CÁLCULO DE LA RELACIÓN INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO

Como primer paso se requiere conocer el tiempo de duración efectiva de la tormenta, para ello se considera ésta duración igual al tiempo de concentración  $t_c$ . En el **capítulo 3** se presenta la fórmula de Kirpicht, **ec 3.5**, así como las diferentes formas de calcular la pendiente promedio de la cuenca. En la **TABLA 6.2** se proporcionan los valores de pendiente calculadas para las subcuencas 1 y 2, aplicando dicha ecuación se calculan los tiempos de concentración. Los diferentes valores calculados de tiempos de concentración en esta tabla hace que la elección del valor más adecuado sea de mucho cuidado. Si se dibujan el perfil del cauce y las pendientes

calculadas se aprecia que la mejor opción será la que compense en gran parte los cambios abruptos del perfil del cauce. De lo anterior se deduce que las pendientes para las subcuencas 1 y 2 serán **0.015019** y **0.011050**; con tiempos de concentración **7.27 h** y **18.33 h**, Zonas B y A, respectivamente. Puesto que la duración efectiva o en exceso es igual al tiempo de concentración, y éste tiene los valores citados, entonces la secuencia de cálculo será la que se expone en el apartado iv), inciso b) del capítulo 5, es decir, para duraciones efectivas entre 1 y 24 h (60 y 1440 min).

**TABLA 6.2 Cálculo del tiempo de concentración en las subcuencas 1 y 2 para diferentes pendientes.**

Subcuenca	S	Método de cálculo de la pendiente	Tiempo de concentración ec 3.5 $t_c$ , en h
1	0.006215	Taylor-Schwarz	10.21
	0.042394	Desnivel/Longitud	4.88
	0.030936	Mínimos cuadrados	5.51
	0.015019	Áreas compensadas	7.27
2	0.004474	Taylor-Schwarz	25.97
	0.016699	Desnivel/Longitud	15.64
	0.011050	Mínimos cuadrados	18.33
	0.007126	Áreas compensadas	21.71

Se asume un período de retorno para luego estimar las intensidades de lluvia, empleando la fórmula de **Chen** o el **Análisis de Frecuencia Bivariada**. Los parámetros de la fórmula de **Chen (TABLA 4.9)** se estimaron con resultados del análisis de frecuencia bivariada (**ANEXO B**). Además, con el propósito de comparar los métodos de estimación de intensidades de lluvia se hacen los cálculos con los métodos de Bell, Kothiyari y Garde, Correlación múltiple y Análisis de Frecuencia Univariada. Recuérdese que en el método de **Análisis de Frecuencia**, según el modelo propuesto, si se requieren estimar eventos con duraciones de lluvia menores que 24 h, pero mayores que 1 h, se empleará el método del **U.S. Soil Conservation Service (Apartado 4.4.3.1c)**.

Se eligieron los períodos de retorno,  $T$ , igual 20 y 50 años; el primero con la intención de verificar las técnicas de interpolación en el rango de la longitud de las muestras y el segundo para enfatizar el evento extrapolado con las relaciones  $I-d-T$ . Así, para la subcuenca 1, los eventos estimados para el período de retorno de 50 años, según el método de análisis de frecuencia bivariada son los que se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 6.3** Intensidades de lluvia obtenidas del análisis de frecuencia bivariada, para las estaciones de la Zona B, con duraciones de 60 y 1440 min (ANEXOS C.7 y C.11); y su respectivo cálculo para la duración efectiva ( $t_c$ ), por el método del U.S. Soil Conservation Service.

ESTACIÓN (Zona B)	$I_{60}^{20}$	$I_{1440}^{20}$	Parámetros de la ec. $I = a d^b$		$t_c = 7.27$ h ( $d = 436$ min)
			$a$	$b$	$I_{436}^{20}$ (mm/h)
Acayucan	72.300	7.034	72.300	-0.733	16.881
Alotepec	80.335	8.919	80.335	-0.692	20.369
Azueta	83.124	6.887	83.124	-0.784	17.556
Cantón	111.646	12.182	111.646	-0.697	28.003
Cd. Alemán	114.401	8.553	114.401	-0.816	22.662
Cuatotolapan	79.084	8.184	79.084	-0.714	19.191
Cuichapa	92.786	7.938	92.786	-0.774	19.994
Fortín	71.384	5.737	71.384	-0.793	14.794
Huautla	61.518	10.959	61.518	-0.543	20.954
Jacatepec	105.607	12.453	105.607	-0.673	27.804
La Estrella	118.317	14.607	118.317	-0.658	32.055
Monte Rosa	105.930	8.279	105.930	-0.802	21.572
Papaloapan	106.218	7.413	106.218	-0.838	20.156
San Juan Evangelista	95.560	8.883	95.560	-0.748	21.686
Temascal	102.521	9.559	102.521	-0.747	23.310
Villa Alta	46.450	6.231	46.450	-0.632	13.254
Quiotepec (Zona A)	49.111	3.749	49.111	-0.810	9.855

El trazo de los polígonos de Thiessen en las subcuencas 1 y 2 involucran, en la primera a dos estaciones (Quiotepec y La Estrella); en la segunda a siete (San Pedro Nolasco, Jayacatlan, Santiago Apoala, Coixtlahuaca, Tepelmeme, Quiotepec y La Estrella). En la FIGURA 6.4 se ilustran los polígonos trazados en estas dos zonas. Notase que estas subcuencas fueron elegidas exactamente en la frontera de las Zonas A y B.

Una vez obtenidas las intensidades de lluvia se procede a calcular la intensidad promedio, y para ello se emplea el Método de los polígonos de Thiessen. El porcentaje de influencia de las estaciones La Estrella y Quiotepec son 92.7 y 7.3%, respectivamente. Por consiguiente, la intensidad promedio es

$$I_{d=7.27h}^{T=20\text{ años}} = \frac{92.7 \times 32.055 + 7.3 \times 9.855}{100} = 30.434 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

y la precipitación total debida a esta intensidad es

$$P_{d=7.27h}^{T=20\text{ años}} = 30.434 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times 7.27\text{h} = 221.26 \text{ mm}$$

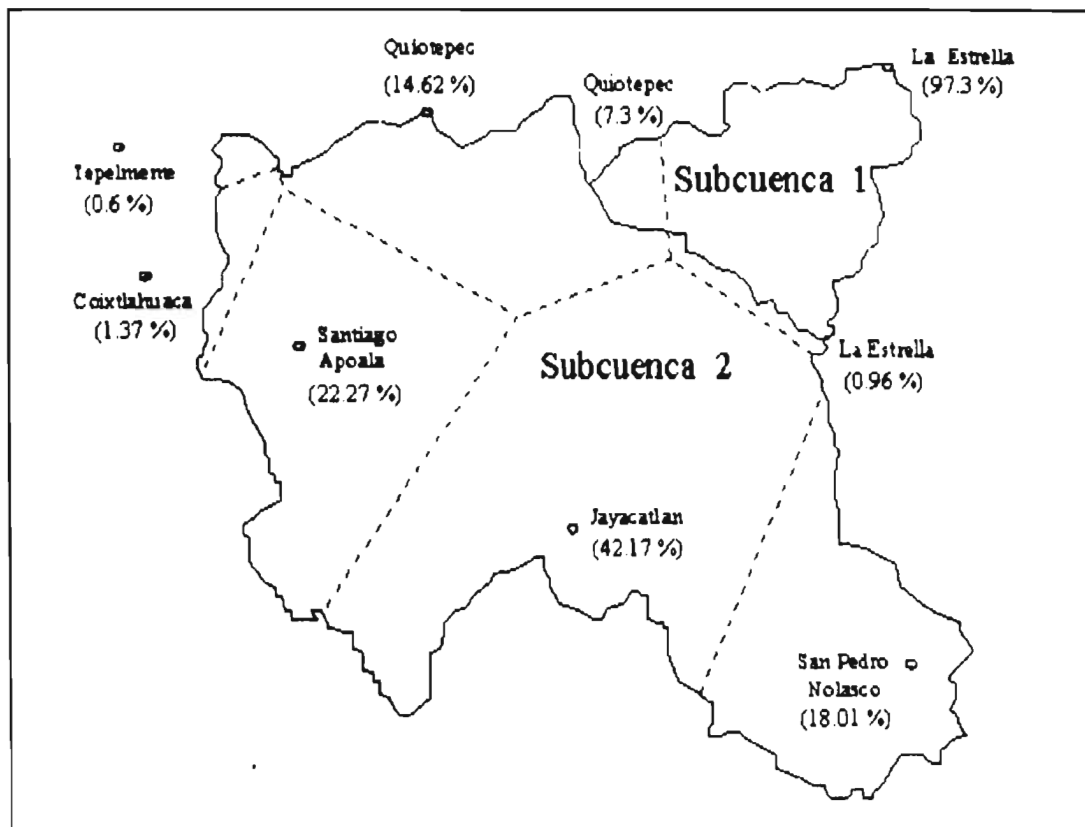


FIG 6.4 Polígonos de Thiessen trazados para las Subcuencas 1 y 2 (Zonas B y A), propias de la Cuenca del Río Papaloapan.

c) **CÁLCULO DEL GASTO DE DISEÑO**

Como se mencionó antes, aquí se empleará el modelo lluvia-escorrentamiento del Hidrograma Unitario Triangular. Por lo que el cálculo del número de la curva de escorrentamiento de las subcuencas es de acuerdo al tipo y uso de suelo que se tenga en estas zonas. Con la ayuda de las cartas de cobertura vegetal y edafológicas de la zona estudiada, publicadas por el INEGI (Carta E15-14, escala 1:250,000), se determinó el valor de  $N$ , como un promedio ponderado, para cada una de las subcuencas (TABLA 6.4). Los valores de esta variable se extrajeron de la TABLA A-14 del Manual para la estimación de avenidas máximas en cuencas y presas pequeñas, editado por la extinta SARH. Según la clasificación de suelos y cobertura vegetal de esta tabla, el símbolo P significa una condición hidrología pobre de la vegetación: los símbolos BA corresponden a grupo intermedio entre los tipos de suelo hidrológico A y B, respectivamente, y BC a los grupos hidrológicos B y C.

**TABLA 6.4 Cálculo del número de la curva de escorrentamiento para las subcuencas 1 y 2, Zonas A y B, respectivamente.**

SUBCUENCA 1 (ZONA A) ESTACIÓN SUPRIMIDA: QUIOTEPEC			SUBCUENCA 2 (ZONA B) ESTACIÓN SUPRIMIDA: LA ESTRELLA		
TIPO DE SUELO	PORCENTAJE DE ÁREA	$N$	TIPO DE SUELO	PORCENTAJE DE ÁREA	$N$
I Bosque, BC	65	68	VI Pradera, P, AB	15	55
II Bosque, B	5	60	VII Pradera, B	4	58
III Pastizal, BC	8	75	VIII Bosque, P, AB	44	56
IV Bosque, P y B	12	65	IX Pastizal, P, AB	20	54
V Bosque, P, BC	10	75	X Bosque, P y B	17	65
Suma	= 100 %		Suma	= 100 %	
Promedio ponderado	= 68.50		Promedio ponderado	= 57.06	

aplicando la ec 3.3 se calcula la precipitación efectiva, esto es, con  $N = 68.5$  y sustituyendo este valor en esa, se tiene

$$P_e = \frac{\left(22.126 - \frac{508}{68.5} + 5.08\right)^2}{22.126 + \frac{2032}{68.5} - 20.32} = 12.445 \text{ cm} = 124.45 \text{ mm}$$

El tiempo pico se calcula con la ec (3.13), obteniéndose

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6 t_c = \sqrt{7.27} + 0.6 \times 7.27 = 7.06 \text{ h}$$

La expresión para calcular el gasto pico es la ec (3.11), y este resulta ser

$$q_p = 0.208 \frac{A_c}{t_p} = 0.208 \times \frac{773.7}{7.06} = 22.795 \frac{\text{m}^3}{\text{s} \times \text{mm}}$$

este valor debe multiplicarse por la precipitación efectiva para obtener el Gasto pico de diseño correspondiente al período de retorno empleado, 50 años.

$$Q_p = q_p P_e = 22.795 \times 124.45 = 2836.7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

#### d) **APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN**

En el **capítulo 5** se propuso el procedimiento del **apartado vi)**, **incisos a) y b)** para diseñar una estructura en un sitio donde no se disponen de registros de lluvia. El procedimiento es similar al que se empleó en el anterior ejemplo, pues se determinan las intensidades de lluvia para todas las estaciones, dentro de la zona regionalizada, y luego se aplican las técnicas de interpolación.

Hasta aquí sólo se estimó el evento de diseño debido a la modelación de lluvias. A continuación se expondrán los eventos obtenidos a través de métodos de interpolación de lluvias.

Las estaciones suprimidas serán La Estrella en la **Zona B** y Quiotepec en la **Zona A**. Por lo tanto, se verifica el evento interpolado por dos caminos: el primero será comparar con el valor real (suprimido) y segundo, suponiendo que éste sitio no tiene registro histórico de lluvias, pero sí de gastos; entonces se procederá a determinar el gasto pico de diseño por medio de la relación lluvia-escorrimento propuesta y se compara con el interpolado.

El procedimiento es algo tedioso ya que deben obtenerse datos como las coordenadas de los sitios (estaciones), los eventos a interpolar y las coordenadas de los sitios donde se desean interpolar dichos eventos y además de emplear los métodos matriciales del **capítulo 2**. En esta parte del ejemplo se emplean los programas asentados en el **ANEXO D** de este trabajo, al igual que el formato de archivo de datos utilizado en cada uno de esos algoritmos.

En las **TABLAS 6.5 a 6.8** se presenta un resumen de los cálculos desarrollados como resultado del proceso de obtención del gasto de diseño en un sitio donde no se cuenta con registros.

Las **TABLAS 6.5 y 6.6** presentan los gastos de diseño con un período de retorno de 20 años para las subcuencas 1 y 2, respectivamente.

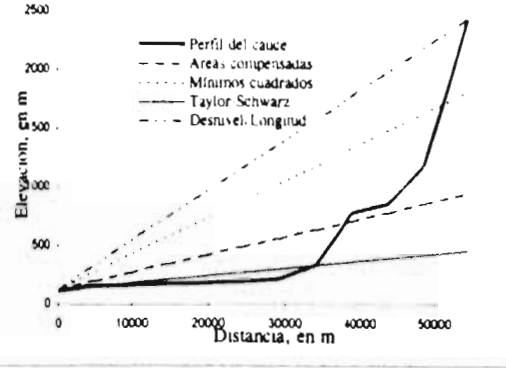
Las **TABLAS 6.7 y 6.8** presentan los gastos de diseño con un período de retorno de 50 años para las subcuencas 1 y 2, respectivamente.

**TABLA 6.5 Cálculos para la subcuenca 1 (Zona B). Período de retorno de 20 años.**

*Cuenca 1: T = 20 años*  
**ESTACIÓN SUPRIMIDA: LA ESTRELLA**

**CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA**

Área	$A_c$	=	773.7 km <sup>2</sup>
Longitud	$L$	=	54.725 km
Elev. mayor	$E_{max}$	=	2440 m
Elev. menor	$E_{min}$	=	120 m
Desnivel	$H$	=	2320 m
Pendiente	$S_{TS}$	=	0.006215 (Taylor-Schwarz)
Pendiente	$S_{MQL}$	=	0.042194 ( $S = H/L$ )
Pendiente	$S_{MCM}$	=	0.030936 (Mínimos cuadrados)
Pendiente	$S_{AC}$	=	0.015019 (Áreas compensadas)
Tiempo de concentración	$t_c$	=	7.27 h
Tiempo pico	$t_p$	=	7.06 h
Tiempo de retraso	$t_r$	=	11.79 h
Nº de escurrimiento	$N$	=	68.5
Gasto pico unitario	$q_p$	=	22.80 m <sup>3</sup> /s/mm
Gasto de diseño (T=20 años)	$Q_d$	=	2422.75 m <sup>3</sup> /s (F. Gumbel, max. verosimilitud)



<b>Método de Thiessen</b>										
% Área de influencia		7.3	92.7	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p / Q_d$	N = 68.5	
Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva	(m <sup>3</sup> /s)			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)				
Bivariada	32.05	9.86	28.003	26.68	194.00	101.30	2309.2	0.953		
Univariada	32.08	9.76	27.956	26.63	193.63	100.99	2302.1	0.950		
Bell	32.95	13.00	31.384	30.04	218.46	122.04	2781.9	1.148		
Chen	32.37	10.83	28.647	27.35	198.86	105.37	2401.9	0.991		
Kothyan	39.63	16.34	35.275	33.89	246.47	146.44	3338.1	1.378		
MCM	39.60	16.34	35.334	33.95	246.87	146.79	3346.2	1.381		

<b>Método polinomial (grado 1)</b>										
% Área de influencia		7.3	92.7	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p / Q_d$	N = 68.5	
Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva	(m <sup>3</sup> /s)			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)				
Bivariada	32.05	9.86	20.886	20.08	146.03	62.84	1432.3	0.591		
Univariada	32.08	9.76	20.705	19.91	144.75	61.86	1410.2	0.582		
Bell	32.95	13.00	23.732	22.95	166.88	79.12	1803.6	0.744		
Chen	32.37	10.83	22.057	21.24	154.44	69.31	1580.0	0.652		
Kothyan	39.63	16.34	27.872	27.03	196.56	103.44	2358.0	0.973		
MCM	39.60	16.34	27.825	26.99	196.25	103.18	2352.0	0.971		

<b>Método polinomial (grado 2)</b>										
% Área de influencia		7.3	92.7	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p / Q_d$	N = 68.5	
Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva	(m <sup>3</sup> /s)			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)				
Bivariada	32.05	9.86	23.181	22.21	161.50	74.85	1706.2	0.704		
Univariada	32.08	9.76	23.089	22.12	160.82	74.32	1694.0	0.699		
Bell	32.95	13.00	24.894	24.03	174.71	85.43	1947.3	0.804		
Chen	32.37	10.83	24.570	23.57	171.38	82.73	1885.9	0.778		
Kothyan	39.63	16.34	27.667	26.84	195.18	102.28	2331.5	0.962		
MCM	39.60	16.34	27.644	26.82	195.03	102.16	2328.7	0.961		

<b>Método de la Distancia Inversa</b>										
% Área de influencia		7.3	92.7	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p / Q_d$	N = 68.5	
Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva	(m <sup>3</sup> /s)			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)				
Bivariada	32.05	9.86	23.125	22.16	161.12	74.55	1699.4	0.701		
Univariada	32.08	9.76	22.948	21.99	159.88	73.57	1677.0	0.692		
Bell	32.95	13.00	26.980	25.96	188.77	96.95	2210.0	0.912		
Chen	32.37	10.83	24.281	23.30	169.43	81.16	1850.1	0.764		
Kothyan	39.63	16.34	30.093	29.09	211.53	116.10	2646.6	1.092		
MCM	39.60	16.34	30.076	29.07	211.42	116.01	2644.5	1.092		



**TABLA 6.5 Continuación...**

<i>Método de Interpolación Multicuadrática</i>									
% Área de influencia	Estación	7 3	92 7	$I_0^T$	$P_2^T$	$P_1$	$Q_0$	$Q_0 / Q_4$	
	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva		
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	32 05	9 86	26 508	25 29	183 93	92 95	2118 8	0 875	
Univariada	32 08	9 76	26 494	25 27	183 78	92 83	2116 0	0 873	
Bell	32 95	13 00	27 925	26 83	195 14	102 25	2330 9	0 962	
Chen	32 37	10 83	27 122	25 93	188 58	96 79	2206 3	0 911	
Kothyan	39 63	16 34	31 586	30 47	221 60	124 74	2843 5	1 174	
MCM	39 60	16 34	31 596	30 48	221 67	124 80	2844 8	1 174	

<i>Método de Interpolación Óptima</i>									
% Área de influencia	Estación	7 3	92 7	$I_0^T$	$P_2^T$	$P_1$	$Q_0$	$Q_0 / Q_4$	
	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva		
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	32 05	9 86	24 102	23 06	167 70	79 78	1818 6	0 751	
Univariada	32 08	9 76	23 982	22 94	166 85	79 10	1803 0	0 744	
Bell	32 95	13 00	27 015	25 99	189 01	97 15	2214 5	0 914	
Chen	32 37	10 83	25 055	24 02	174 65	85 37	1946 1	0 803	
Kothyan	39 63	16 34	30 509	29 47	214 34	118 50	2701 3	1 115	
MCM	39 60	16 34	30 501	29 47	214 28	118 45	2700 2	1 115	

<i>Método kriging Ordinario</i>									
% Área de influencia	Estación	7 3	92 7	$I_0^T$	$P_2^T$	$P_1$	$Q_0$	$Q_0 / Q_4$	
	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva		
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	32 05	9 86	20 813	20 01	145 54	62 46	1423 8	0 588	
Univariada	32 08	9 76	20 603	19 81	144 06	61 34	1398 3	0 577	
Bell	32 95	13 00	24 448	23 61	171 71	83 00	1891 9	0 781	
Chen	32 37	10 83	22 069	21 25	154 52	69 37	1581 4	0 653	
Kothyan	39 63	16 34	28 719	27 82	202 27	108 24	2467 4	1 018	
MCM	39 60	16 34	28 693	27 79	202 10	108 10	2464 1	1 017	

<i>Método kriging Universal pol. 1er grado</i>									
% Área de influencia	Estación	7 3	92 7	$I_0^T$	$P_2^T$	$P_1$	$Q_0$	$Q_0 / Q_4$	
	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva		
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	32 05	9 86	21 142	20 32	147 75	64 15	1462 4	0 604	
Univariada	32 08	9 76	20 969	20 15	146 53	63 22	1441 1	0 595	
Bell	32 95	13 00	23 939	23 14	168 28	80 24	1829 1	0 755	
Chen	32 37	10 83	22 282	21 45	155 95	70 49	1606 9	0 663	
Kothyan	39 63	16 34	28 093	27 23	198 05	104 69	2386 4	0 985	
MCM	39 60	16 34	28 049	27 19	197 76	104 44	2380 8	0 983	

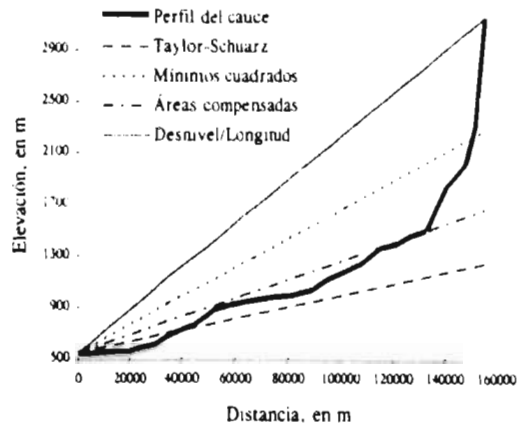
<i>Método kriging Universal pol. 2o grado</i>									
% Área de influencia	Estación	7 3	92 7	$I_0^T$	$P_2^T$	$P_1$	$Q_0$	$Q_0 / Q_4$	
	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	promedio	promedio	efectiva		
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Interpolado	(mm/h)	(mm)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	32 05	9 86	23 339	22 35	162 56	75 69	1725 3	0 712	
Univariada	32 08	9 76	23 254	22 27	161 94	75 20	1714 1	0 707	
Bell	32 95	13 00	25 007	24 13	175 47	86 04	1961 4	0 810	
Chen	32 37	10 83	24 685	23 67	172 15	83 36	1900 2	0 784	
Kothyan	39 63	16 34	27 812	26 97	196 15	103 10	2350 2	0 970	
MCM	39 60	16 34	27 792	26 96	196 03	102 99	2347 8	0 969	

**TABLA 6.6 Cálculos para la subcuenca 2 (Zona A). Período de retorno de 20 años.**

**Cuenca 2: T = 20 años**  
**ESTACIÓN SUPRIMIDA: QUIOTEPEC**

**CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA**

Área	$A_c = 4831.8 \text{ km}^2$
Longitud	$L = 156 \text{ km}$
Elev. mayor	$E_{\text{max}} = 3150 \text{ m}$
Elev. menor	$E_{\text{min}} = 545 \text{ m}$
Desnivel	$H = 2605 \text{ m}$
Pendiente	$S_{TS} = 0.006215$ (Taylor-Schwarz)
Pendiente	$S_{H/L} = 0.016699$ ( $S = H/L$ )
Pendiente	$S_{mc} = 0.011050$ (Mínimos cuadrados)
Pendiente	$S_{ac} = 0.007126$ (Áreas compensadas)
Tiempo de concentración:	$t_c = 18.33 \text{ h}$
Tiempo pico:	$t_p = 15.28 \text{ h}$
Tiempo de retraso:	$t_r = 25.52 \text{ h}$
Gasto pico unitario:	$q_p = 65.76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{mm}$
N° de escurrimiento:	$N = 57$
Gasto de diseño (T = 20 años)	$Q_d = 1286.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (F D P Doble Gumbel)



Método de Thiessen												N = 57.00		
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTLA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol.	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	4.66	5.37	4.67	5.55	4.50	4.13	5.55	17.44	17.44	5.24	96.03	13.36	878.34	0.68
Univariada	4.65	5.37	4.67	5.65	4.48	4.14	5.65	17.44	17.44	5.27	96.71	13.64	896.73	0.70
Bell	6.84	4.78	7.20	3.37	4.87	6.38	3.37	17.33	17.33	5.41	99.26	14.70	966.91	0.75
Chen	5.01	5.45	4.85	6.00	4.57	4.36	6.00	17.39	17.39	5.50	100.80	15.36	1010.19	0.79
Kothyari	8.96	8.23	7.47	8.41	7.57	6.59	8.41	24.73	24.73	8.11	148.74	40.37	2654.71	2.06
MCM	8.96	8.24	7.46	8.40	7.57	6.57	8.40	24.69	24.69	8.11	148.66	40.32	2651.51	2.06

Método polinomial (grado 1)												N = 57.00		
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTLA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol.	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	4.66	5.37	4.67	5.55	4.50	4.13	4.95	17.44	17.44	5.15	94.44	12.71	836.04	0.65
Univariada	4.65	5.37	4.67	5.65	4.48	4.14	4.96	17.44	17.44	5.17	94.87	12.89	847.37	0.66
Bell	6.84	4.78	7.20	3.37	4.87	6.38	5.74	17.33	17.33	5.76	105.62	17.49	1150.35	0.89
Chen	5.01	5.45	4.85	6.00	4.57	4.36	5.08	17.39	17.39	5.36	98.33	14.31	941.14	0.73
Kothyari	8.96	8.23	7.47	8.41	7.57	6.59	8.06	24.73	24.73	8.06	147.81	39.81	2618.31	2.03
MCM	8.96	8.24	7.46	8.40	7.57	6.57	8.05	24.69	24.69	8.06	147.71	39.75	2614.08	2.03

Método polinomial (grado 2)												N = 57.00		
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTLA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol.	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	4.66	5.37	4.67	5.55	4.50	4.13	5.13	17.44	17.44	5.18	94.92	12.90	848.64	0.66
Univariada	4.65	5.37	4.67	5.65	4.48	4.14	5.15	17.44	17.44	5.20	95.37	13.09	860.58	0.67
Bell	6.84	4.78	7.20	3.37	4.87	6.38	6.23	17.33	17.33	5.83	106.91	18.08	1188.98	0.92
Chen	5.01	5.45	4.85	6.00	4.57	4.36	5.28	17.39	17.39	5.39	98.87	14.54	956.04	0.74
Kothyari	8.96	8.23	7.47	8.41	7.57	6.59	7.76	24.73	24.73	8.02	147.01	39.34	2587.07	2.01
MCM	8.96	8.24	7.46	8.40	7.57	6.57	7.74	24.69	24.69	8.01	146.88	39.26	2581.84	2.01

Método de la Distancia Inversa												N = 57.00		
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTLA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$I_d^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol.	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	4.66	5.37	4.67	5.55	4.50	4.13	4.66	17.44	17.44	5.11	93.66	12.40	815.45	0.63
Univariada	4.65	5.37	4.67	5.65	4.48	4.14	4.68	17.44	17.44	5.13	94.11	12.58	827.31	0.64
Bell	6.84	4.78	7.20	3.37	4.87	6.38	5.44	17.33	17.33	5.72	104.81	17.13	1126.19	0.88
Chen	5.01	5.45	4.85	6.00	4.57	4.36	4.84	17.39	17.39	5.33	97.69	14.04	923.37	0.72
Kothyari	8.96	8.23	7.47	8.41	7.57	6.59	7.52	24.73	24.73	7.98	146.38	38.96	2562.29	1.99
MCM	8.96	8.24	7.46	8.40	7.57	6.57	7.51	24.69	24.69	7.98	146.27	38.90	2558.27	1.99

**TABLA 6.6 Continuación...**

<i>Método de Interpolación Multicuadrática</i>												
% Área de influencia	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$I_a^T$	$P_a^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_a$
Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva		
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
Bivanada	4 66	5 37	4 67	5 55	4 50	4 13	5 27	17 44	5 20	95 30	13 06	858 89 0 67
Univanada	4 65	5 37	4 67	5 65	4 48	4 14	5 33	17 44	5 23	95 85	13 28	873 56 0 68
Bell	6 84	4 78	7 20	3 37	4 87	6 38	4 55	17 33	5 59	102 41	16 06	1056 29 0 82
Chen	5 01	5 45	4 85	6 00	4 57	4 36	5 60	17 39	5 44	99 71	14 90	979 54 0 76
Kohtyan	8 96	8 23	7 47	8 41	7 57	6 59	7 76	24 73	8 02	147 01	39 34	2580 97 2 01
MCM	8 96	8 24	7 46	8 40	7 57	6 57	7 76	24 69	8 01	146 94	39 30	2584 27 2 01

<i>Método de Interpolación Óptima</i>												
% Área de influencia	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$I_a^T$	$P_a^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_a$
Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva		
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
Bivanada	4 66	5 37	4 67	5 55	4 50	4 13	5 01	17 44	5 16	94 59	12 77	840 01 0 65
Univanada	4 65	5 37	4 67	5 65	4 48	4 14	5 04	17 44	5 19	95 10	12 98	853 36 0 66
Bell	6 84	4 78	7 20	3 37	4 87	6 38	5 00	17 33	5 65	103 63	16 60	1091 81 0 85
Chen	5 01	5 45	4 85	6 00	4 57	4 36	5 26	17 39	5 39	98 82	14 52	954 66 0 74
Kohtyan	8 96	8 23	7 47	8 41	7 57	6 59	7 72	24 73	8 01	146 92	39 28	2583 36 2 01
MCM	8 96	8 24	7 46	8 40	7 57	6 57	7 72	24 69	8 01	146 83	39 23	2579 94 2 01

<i>Método kriging Ordinario</i>												
% Área de influencia	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$I_a^T$	$P_a^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_a$
Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva		
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
Bivanada	4 66	5 37	4 67	5 55	4 50	4 13	5 17	17 44	5 18	95 03	12 95	851 64 0 66
Univanada	4 65	5 37	4 67	5 65	4 48	4 14	5 22	17 44	5 21	95 57	13 17	866 00 0 67
Bell	6 84	4 78	7 20	3 37	4 87	6 38	4 60	17 33	5 59	102 55	16 12	1060 31 0 82
Chen	5 01	5 45	4 85	6 00	4 57	4 36	5 48	17 39	5 42	99 41	14 77	970 98 0 75
Kohtyan	8 96	8 23	7 47	8 41	7 57	6 59	7 71	24 73	8 01	146 88	39 26	2581 70 2 01
MCM	8 96	8 24	7 46	8 40	7 57	6 57	7 71	24 69	8 01	146 80	39 21	2578 83 2 00

<i>Método kriging Universal (polinomio de 1er grado)</i>												
% Área de influencia	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$I_a^T$	$P_a^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_a$
Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva		
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
Bivanada	4 66	5 37	4 67	5 55	4 50	4 13	5 28	17 44	5 20	95 33	13 07	859 65 0 67
Univanada	4 65	5 37	4 67	5 65	4 48	4 14	5 33	17 44	5 23	95 87	13 29	874 12 0 68
Bell	6 84	4 78	7 20	3 37	4 87	6 38	4 65	17 33	5 60	102 68	16 18	1064 00 0 83
Chen	5 01	5 45	4 85	6 00	4 57	4 36	5 59	17 39	5 44	99 69	14 89	979 09 0 76
Kohtyan	8 96	8 23	7 47	8 41	7 57	6 59	7 93	24 73	8 04	147 48	39 61	2605 11 2 02
MCM	8 96	8 24	7 46	8 40	7 57	6 57	7 93	24 69	8 04	147 40	39 57	2602 27 2 02

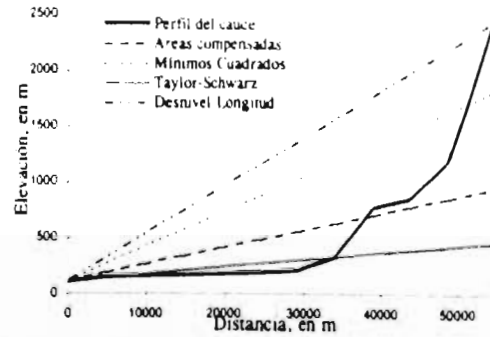
<i>Método kriging Universal (polinomio de 2do grado)</i>												
% Área de influencia	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$I_a^T$	$P_a^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_a$
Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva		
Método calc. I-d-T	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	V. Real	interpol	V. Real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)
Bivanada	4 66	5 37	4 67	5 55	4 50	4 13	5 40	17 44	5 22	95 65	13 20	868 11 0 67
Univanada	4 65	5 37	4 67	5 65	4 48	4 14	5 45	17 44	5 25	96 19	13 42	882 70 0 69
Bell	6 84	4 78	7 20	3 37	4 87	6 38	4 67	17 33	5 60	102 73	16 20	1065 63 0 83
Chen	5 01	5 45	4 85	6 00	4 57	4 36	5 70	17 39	5 45	99 99	15 02	987 52 0 77
Kohtyan	8 96	8 23	7 47	8 41	7 57	6 59	7 90	24 73	8 04	147 38	39 55	2601 18 2 02
MCM	8 96	8 24	7 46	8 40	7 57	6 57	7 89	24 69	8 03	147 30	39 51	2598 08 2 02

**TABLA 6.7 Cálculos para la subcuenca 1 (Zona B). Periodo de retorno de 50 años.**

**Cuenca 1: T = 50 años**  
**ESTACIÓN SUPRIMIDA: LA ESTRELLA**

**CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA**

Área	$A_c$	=	773.7 km <sup>2</sup>
Longitud	L	=	54.725 km
Elev. mayor	$E_{max}$	=	2440 m
Elev. menor	$E_{min}$	=	120 m
Desnivel	H	=	2320 m
Pendiente	$S_{TS}$	=	0.006215 (Taylor-Schwarz)
Pendiente	$S_{H/L}$	=	0.042394 (S = H · L)
Pendiente	$S_{MC}$	=	0.030936 (Mínimos Cuadrados)
Pendiente	$S_{pc}$	=	0.015019 (Áreas compensadas)
Tiempo de concentración	$t_c$	=	7.27 h
Tiempo pico	$t_p$	=	7.06 h
Tiempo de retraso	$t_r$	=	11.79 h
Nº de escurrimiento	N	=	68.5
Gasto pico unitario	$q_p$	=	22.80 m <sup>3</sup> /s/mm
Gasto de diseño (T=50 años)	$Q_d$	=	2808 m <sup>3</sup> /s (F. Gumbel, máx. verosimilitud)



<b>Método de Thiessen</b>									
		7.3		92.7		N = 68.5			
% Área de influencia	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	$I_a^T$ promedio	$P_a^T$ promedio	$P_e$ efectiva	$Q_p$	$Q_p / Q_d$
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real		Interpolado					
Bivariada		36.36	11.52	31.685	30.21	219.71	123.11	2806.4	0.999
Univariada		38.71	11.43	40.511	38.39	279.16	175.61	4003.0	1.426
Bell		38.47	15.17	36.640	35.07	255.05	154.03	3511.2	1.250
Chen		36.86	12.98	32.300	30.89	224.63	127.36	2903.1	1.034
Kothyari		50.81	26.88	44.033	42.78	311.10	204.66	4665.3	1.661
MCM		50.77	26.89	44.106	42.85	311.60	205.12	4675.6	1.665

<b>Método polinomial (grado 1)</b>									
		7.3		92.7		N = 68.5			
% Área de influencia	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	$I_a^T$ promedio	$P_a^T$ promedio	$P_e$ efectiva	$Q_p$	$Q_p / Q_d$
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real		Interpolado					
Bivariada		36.36	11.52	23.748	22.86	166.21	78.59	1791.4	0.638
Univariada		38.71	11.43	28.279	27.05	196.70	103.56	2360.6	0.841
Bell		38.47	15.17	27.706	26.79	194.82	101.99	2324.8	0.828
Chen		36.86	12.98	25.271	24.37	177.24	87.48	1994.1	0.710
Kothyari		50.81	26.88	37.354	36.59	266.08	163.86	3735.2	1.330
MCM		50.77	26.89	37.291	36.53	265.66	163.49	3726.7	1.327

<b>Método polinomial (grado 2)</b>									
		7.3		92.7		N = 68.5			
% Área de influencia	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	$I_a^T$ promedio	$P_a^T$ promedio	$P_e$ efectiva	$Q_p$	$Q_p / Q_d$
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real		Interpolado					
Bivariada		36.36	11.52	26.322	25.24	183.56	92.64	2111.8	0.752
Univariada		38.71	11.43	31.305	29.85	217.10	120.87	2755.2	0.981
Bell		38.47	15.17	29.063	28.05	203.97	109.68	2500.2	0.890
Chen		36.86	12.98	28.042	26.94	195.92	102.91	2345.8	0.835
Kothyari		50.81	26.88	35.055	34.46	250.58	150.07	3420.9	1.218
MCM		50.77	26.89	35.028	34.43	250.40	149.92	3417.4	1.217

<b>Método de la Distancia Inversa</b>									
		7.3		92.7		N = 68.5			
% Área de influencia	Estación	LAEST	QUIOT	LAEST	$I_a^T$ promedio	$P_a^T$ promedio	$P_e$ efectiva	$Q_p$	$Q_p / Q_d$
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real		Interpolado					
Bivariada		36.36	11.52	26.277	25.20	183.26	92.40	2106.2	0.750
Univariada		38.71	11.43	32.009	30.51	221.84	124.95	2848.3	1.014
Bell		38.47	15.17	31.498	30.31	220.39	123.69	2819.6	1.004
Chen		36.86	12.98	27.767	26.69	194.07	101.35	2310.4	0.823
Kothyari		50.81	26.88	39.971	39.02	283.72	179.72	4096.9	1.459
MCM		50.77	26.89	39.949	39.00	283.58	179.60	4094.0	1.458

**TABLA 6.7 Continuación...**

<i>Método de Interpolación Multicuadrática</i>										
% Área de influencia	Estación	7 3		92 7		$I_a^T$ promedio (mm/h)	$P_a^T$ promedio (mm)	$P_e$ efectiva (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p / Q_a$
		LAEST	QUIOT	LAEST	LAEST					
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real								
	Bivariada	36.36	11.52	29.998	28.65	208.34	113.38	2584.6	0.920	
	Univariada	38.71	11.43	37.266	35.38	257.28	156.02	3556.4	1.267	
	Bell	38.47	15.17	32.601	31.33	227.82	130.13	2966.2	1.056	
	Chen	36.86	12.98	30.478	29.20	212.34	116.80	2662.4	0.948	
	Kothvari	50.81	26.88	38.878	38.00	276.35	173.08	3945.3	1.405	
	MCM	50.77	26.89	38.889	38.01	276.43	173.15	3947.0	1.406	

<i>Método de Interpolación Óptima</i>										
% Área de influencia	Estación	7 3		92 7		$I_a^T$ promedio (mm/h)	$P_a^T$ promedio (mm)	$P_e$ efectiva (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p / Q_a$
		LAEST	QUIOT	LAEST	LAEST					
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real								
	Bivariada	36.36	11.52	27.349	26.19	190.48	98.37	2242.3	0.799	
	Univariada	38.71	11.43	33.554	31.94	232.26	133.98	3054.2	1.088	
	Bell	38.47	15.17	31.539	30.34	220.66	123.93	2825.1	1.006	
	Chen	36.86	12.98	28.463	27.33	198.76	105.29	2400.1	0.855	
	Kothvari	50.81	26.88	39.572	38.65	281.03	177.30	4041.5	1.439	
	MCM	50.77	26.89	39.560	38.64	280.95	177.23	4040.0	1.439	

<i>Método kriging Ordinario</i>										
% Área de influencia	Estación	7 3		92 7		$I_a^T$ promedio (mm/h)	$P_a^T$ promedio (mm)	$P_e$ efectiva (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p / Q_a$
		LAEST	QUIOT	LAEST	LAEST					
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real								
	Bivariada	36.36	11.52	23.779	22.88	166.41	78.75	1795.1	0.639	
	Univariada	38.71	11.43	28.756	27.49	199.91	106.26	2422.1	0.863	
	Bell	38.47	15.17	28.542	27.57	200.46	106.72	2432.6	0.866	
	Chen	36.86	12.98	25.510	24.60	178.86	88.80	2024.1	0.721	
	Kothvari	50.81	26.88	40.446	39.46	286.92	182.62	4162.9	1.483	
	MCM	50.77	26.89	40.411	39.42	286.68	182.41	4158.1	1.481	

<i>Método kriging Universal pol. 1er grado</i>										
% Área de influencia	Estación	7 3		92 7		$I_a^T$ promedio (mm/h)	$P_a^T$ promedio (mm)	$P_e$ efectiva (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p / Q_a$
		LAEST	QUIOT	LAEST	LAEST					
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real								
	Bivariada	36.36	11.52	24.033	23.12	168.13	80.12	1826.4	0.650	
	Univariada	38.71	11.43	28.718	27.46	199.66	106.04	2417.2	0.861	
	Bell	38.47	15.17	27.948	27.02	196.45	103.35	2355.9	0.839	
	Chen	36.86	12.98	25.900	24.59	178.79	88.74	2022.8	0.720	
	Kothvari	50.81	26.88	37.505	36.73	267.09	164.77	3756.0	1.338	
	MCM	50.77	26.89	37.446	36.68	266.70	164.42	3748.0	1.335	

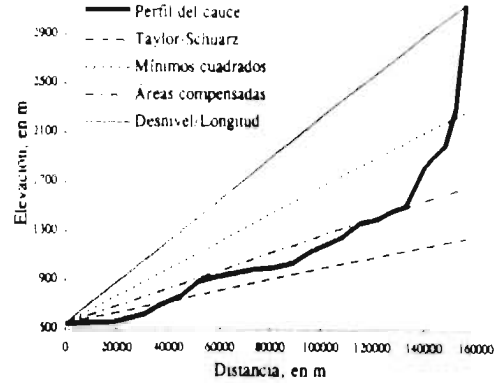
  

<i>Método kriging Universal pol. 2o grado</i>										
% Área de influencia	Estación	7 3		92 7		$I_a^T$ promedio (mm/h)	$P_a^T$ promedio (mm)	$P_e$ efectiva (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_p / Q_a$
		LAEST	QUIOT	LAEST	Inerpolado					
<b>Método calc. rel. I-d-T</b>		Valor real		Valor real						
	Bivariada	36.36	11.52	26.497	25.40	184.74	93.62	2134.0	0.760	
	Univariada	38.71	11.43	31.622	30.15	219.24	122.70	2797.1	0.996	
	Bell	38.47	15.17	29.195	28.17	204.86	110.43	2517.3	0.896	
	Chen	36.86	12.98	28.148	27.04	196.64	103.51	2359.5	0.840	
	Kothvari	50.81	26.88	35.136	34.53	251.12	150.55	3431.9	1.222	
	MCM	50.77	26.89	35.113	34.51	250.97	150.42	3428.8	1.221	

**TABLA 6.8 Cálculos para la subcuenca 2 (Zona A). Período de retorno de 50 años.**

**Cuenca 2: T = 50 años**  
**ESTACIÓN SUPRIMIDA: QIOTEPEC**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA**

Área  $A_c = 4831.8 \text{ km}^2$   
 Longitud  $L = 156 \text{ km}$   
 Elev. mayor  $E_{\text{máx}} = 3150 \text{ m}$   
 Elev. menor  $E_{\text{mín}} = 545 \text{ m}$   
 Desnivel  $H = 2605 \text{ m}$   
 Pendiente  $S_{TS} = 0.006215$  (Taylor-Schwarz)  
 Pendiente  $S_{H/L} = 0.016699$  ( $S = H/L$ )  
 Pendiente:  $S_{\text{máx}} = 0.011050$  (Mínimos cuadrados)  
 Pendiente:  $S_{\text{máx}} = 0.007126$  (Áreas compensadas)  
 Tiempo de concentración  $t_c = 18.33 \text{ h}$   
 Tiempo pico  $t_p = 15.28 \text{ h}$   
 Tiempo de retraso  $t_r = 25.52 \text{ h}$   
 Gasto pico unitario  $q_p = 65.76 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$   
 N° de escurrimiento  $N = 57$   
 Gasto de diseño (T=50 años)  $Q_d = 1493.93 \text{ m}^3/\text{s}$  (F.D.P. Doble Gumbel)



		Método de Thiessen							N = 57.00					
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$L_t^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	promedio	efectiva			
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	7.27	19.78	6.26	114.81	21.82	1435.06	0.96	
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.65	21.65	6.16	113.03	20.96	1378.19	0.92	
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	2.44	20.23	6.10	111.88	20.40	1341.76	0.90	
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	7.82	19.81	6.60	121.06	24.95	1641.01	1.10	
Kohyari	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	17.18	31.70	13.58	248.96	110.30	7253.44	4.86	
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	17.17	31.66	13.57	248.82	110.19	7246.34	4.85	

		Método polinomial (grado 1)							N = 57.00					
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$L_t^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	promedio	efectiva			
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.42	19.78	6.14	112.53	20.72	1362.27	0.91	
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.47	21.65	6.14	112.55	20.73	1362.94	0.91	
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	4.31	20.23	6.38	116.89	22.85	1502.53	1.01	
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	6.78	19.81	6.45	118.26	23.53	1547.63	1.04	
Kohyari	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	14.58	31.70	13.20	241.99	104.94	6901.19	4.62	
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	14.56	31.66	13.19	241.83	104.82	6893.18	4.61	

		Método polinomial (grado 2)							N = 57.00					
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$L_t^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	promedio	efectiva			
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.76	19.78	6.19	113.46	21.16	1391.66	0.93	
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.58	21.65	6.15	112.84	20.86	1372.08	0.92	
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	4.61	20.23	6.42	117.68	23.24	1528.39	1.02	
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	7.07	19.81	6.49	119.06	23.93	1574.00	1.05	
Kohyari	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	14.00	31.70	13.11	240.44	103.75	6823.11	4.57	
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	13.97	31.66	13.10	240.23	103.59	6812.52	4.56	

		Método de la Distancia Inversa							N = 57.00					
% Área de influencia	Estación	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	$L_t^T$	$P_d^T$	$P_e$	$Q_p$	$Q_p/Q_d$
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	promedio	efectiva			
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.08	19.78	6.09	111.62	20.28	1333.67	0.89	
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	5.96	21.65	6.06	111.17	20.07	1319.54	0.88	
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	4.10	20.23	6.34	116.32	22.56	1483.79	0.99	
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	6.45	19.81	6.40	117.39	23.10	1518.99	1.02	
Kohyari	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	13.76	31.70	13.08	239.78	103.25	6789.99	4.55	
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	13.75	31.66	13.07	239.64	103.15	6783.10	4.54	

TABLA 6.8 Continuación...

<i>Método de Interpolación Multicuadrática</i>													
% Área de influencia	Estación	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$L_0^T$	$P_0^T$	$P_e$	$Q_0$	$Q_0 / Q_e$
	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.89	19.78	6.21	113.78	21.32	1402.02	0.94
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.53	21.65	6.15	112.71	20.80	1367.87	0.92
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	3.43	20.23	6.25	114.53	21.68	1426.00	0.95
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	7.35	19.81	6.53	119.80	24.31	1598.57	1.07
Kohtyan	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	14.68	31.70	13.21	242.26	105.15	6914.81	4.63
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	14.69	31.66	13.21	242.16	105.07	6909.61	4.63

<i>Método de Interpolación Óptima</i>													
% Área de influencia	Estación	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$L_0^T$	$P_0^T$	$P_e$	$Q_0$	$Q_0 / Q_e$
	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.54	19.78	6.15	112.85	20.87	1372.36	0.92
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.29	21.65	6.11	112.07	20.50	1347.86	0.90
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	3.77	20.23	6.30	115.44	22.13	1455.37	0.97
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	6.96	19.81	6.48	118.75	23.78	1563.76	1.05
Kohtyan	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	14.41	31.70	13.17	241.53	104.58	6877.70	4.60
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	14.40	31.66	13.17	241.40	104.49	6871.21	4.60

<i>Método kriging Ordinario</i>													
% Área de influencia	Estación	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$L_0^T$	$P_0^T$	$P_e$	$Q_0$	$Q_0 / Q_e$
	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.75	19.78	6.19	113.42	21.14	1390.45	0.93
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.42	21.65	6.13	112.43	20.67	1359.06	0.91
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	3.48	20.23	6.25	114.65	21.74	1429.75	0.96
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	7.21	19.81	6.51	119.42	24.12	1586.00	1.06
Kohtyan	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	14.54	31.70	13.19	241.89	104.86	6895.86	4.62
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	14.54	31.66	13.19	241.78	104.78	6890.33	4.61

<i>Método kriging Universal (polinomio de 1er grado)</i>													
% Área de influencia	Estación	18 01	42 17	22 27	1 37	0 6	14 62	0 96	$L_0^T$	$P_0^T$	$P_e$	$Q_0$	$Q_0 / Q_e$
	QUIOT	SNPED	JAYAC	SNTIA	COIXT	TEPEL	QUIOT	LAEST	promedio	efectiva			
Método calc. rel. I-d-T	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	Valor real	interpol	Valor real	(mm/h)	(mm)	(mm)	(m <sup>3</sup> /s)	
Bivariada	5.40	6.23	5.44	6.71	5.20	4.79	6.89	19.78	6.21	113.79	21.32	1402.19	0.94
Univariada	5.41	6.43	5.66	6.03	5.01	4.92	6.58	21.65	6.15	112.83	20.86	1371.88	0.92
Bell	7.98	5.58	8.41	3.94	5.68	7.45	3.50	20.23	6.26	114.71	21.77	1431.75	0.96
Chen	6.00	6.49	5.70	7.16	5.33	5.20	7.35	19.81	6.53	119.80	24.31	1598.68	1.07
Kohtyan	14.74	13.52	10.98	15.62	11.62	10.16	15.03	31.70	13.26	243.19	105.86	6961.58	4.66
MCM	14.75	13.53	10.97	15.61	11.62	10.13	15.03	31.66	13.26	243.08	105.78	6956.09	4.66

Para el período de retorno  $T = 20$  años ; en la **TABLA 6.5** puede analizarse lo siguiente: primeramente se dan las características de la subcuenca 1 (La Estrella); se proporcionan los datos básicos como el área, longitud del cauce principal, elevaciones máxima y mínima, desnivel entre esas dos elevaciones, valores de pendiente calculados por cuatro métodos, el tiempo de concentración elegido, los tiempos pico y de retraso, el número de la curva de escurrimiento, el gasto pico por el método del hidrograma unitario triangular y el gasto de diseño obtenido de un análisis de frecuencia a partir de un registro de gastos máximos medidos en la estación La Estrella. Los resultados del cálculo de las intensidades de lluvia (columnas 2 y 3), con base en los métodos presentados en el primer capítulo (Relaciones  $I-d-T$ ), estos son los eventos reales estimados para las estaciones que influyen en la subcuenca 1 y 2, respectivamente. La columna 4 es el evento inferido a través de las técnicas de interpolación y, en cada cuadro se dan los resultados de aplicar estos métodos. El promedio de la intensidad de lluvia en la subcuenca (aplicando el método de los polígonos de Thiessen y el valor interpolado), son los asentados en la columna 5,  $I_d^T$ . En seguida, columna 6, la precipitación  $I_d^T$  con duración efectiva  $t_e$ , luego, en la columna 7 se dan los valores de la precipitación efectiva  $P_e$  y a continuación se tiene el gasto de diseño  $Q_p$  obtenido de la relación lluvia-escorrimento (Hidrograma Unitario Triangular). Finalmente, la columna 9 contiene valores del cociente entre el gasto de diseño  $Q_p$ , calculado en la columna 8, y el gasto de diseño  $Q_d$ , obtenido de un análisis de frecuencia univariada con base en los registros históricos de gastos máximos en la estación en cuestión (La Estrella) para el período de retorno asignado ( $Q_{d(20 \text{ años})} = 2422.75 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

De igual manera se pueden analizar los resultados para la subcuenca 1 y un período de retorno de **50 años** en la **TABLA 6.7**. Para la subcuenca 2, **TABLAS 6.6 y 6.8**, se tiene el caso de la influencia de 7 estaciones; se suprime la estación Quiotepec. Las variables son las mismas que se expusieron en el párrafo anterior y el procedimiento de cálculo es el mismo.

Con la información de éstos cálculos es posible hacer una comparación de valores estimados de intensidad de lluvia. A continuación se tiene una relación de porcentajes de error de los valores calculados con los métodos de análisis de curvas  $I-d-T$  y las técnicas de interpolación empleadas en esta aplicación.



**TABLA 6.9 Porcentajes de error en la estimación de intensidad de lluvia por análisis de curvas *I*d*T* y por interpolación.**

Método de cálculo	Error en la estimación de la intensidad de lluvia, en %								Error respecto a $Q_d$			
	La Estrella: (T=20 años)				Quiotepec: (T=20 años)				La Estrella(T=20años) $Q_d = 2422.75 \text{ m}^3/\text{s}$		Quiotepec (T=20años) $Q_d = 1286.7 \text{ m}^3/\text{s}$	
	(1) <i>I</i> real mm/h	(2) <i>I</i> Interp. mm/h	(3) Error de Interpol	(4) Error relación <i>I</i> d <i>T</i> respecto Bivariada (A1)	(5) <i>I</i> real mm/h	(6) <i>I</i> Interp. mm/h	(7) Error de Interpol	(8) Error relación <i>I</i> d <i>T</i> respecto Bivariada (A5)	(9) $Q_d$ Calculado col 8 de la Tabla 6.5	(10) Error respecto $Q_d$	(11) $Q_d$ Calc. col 13 de Tabla 6.6	(12) Error respecto $Q_d$
<b>- THIESEN -</b>												
A) D.P. Bivariada	32.05	28.003	12.6	0.0	4.66	5.55	19.1	0.00	2309.2	4.68	878.34	31.7
B) D.P. Univariada	32.08	27.956	12.8	0.1	4.65	5.65	21.5	0.21	2302.1	4.98	896.73	30.3
C) Chen	32.37	28.647	11.5	1.0	5.01	6.00	19.7	7.51	2401.9	0.86	1010.19	21.5
D) Bell	32.95	31.384	4.75	2.8	6.84	3.37	50.7	46.8	2781.9	14.8	966.91	24.8
E) Kothyari-Garde	39.63	35.275	10.9	23.6	8.95	8.41	6.03	92.1	3338.1	37.8	2654.71	106.3
F) Correlación M.	39.60	35.334	10.7	23.5	8.96	8.40	6.25	92.2	3346.2	38.1	2651.51	106.0
<b>- ÓPTIMA -</b>												
A) D.P. Bivariada	32.05	24.102	24.8	0.0	4.66	5.01	7.51	0.00	1818.6	24.9	840.01	34.7
B) D.P. Univariada	32.08	23.982	25.2	0.1	4.65	5.04	8.38	0.21	1803.0	25.6	853.36	33.6
C) Chen	32.37	25.055	22.6	1.0	5.01	5.26	4.99	7.51	1946.1	19.7	954.66	25.8
D) Bell	32.95	27.015	18.0	2.8	6.84	5.00	26.9	46.8	2214.5	8.59	1091.81	15.1
E) Kothyari-Garde	39.63	30.509	23.0	23.6	8.95	7.72	13.7	92.1	2701.3	11.5	2583.36	100.8
F) Correlación M.	39.60	30.501	23.0	23.5	8.96	7.72	13.8	92.2	2700.2	11.4	2579.94	100.5
<b>- KRIGING 1° g -</b>												
A) D.P. Bivariada	32.05	21.142	34.0	0.0	4.66	5.28	13.3	0.00	1462.4	39.6	859.65	33.2
B) D.P. Univariada	32.08	20.969	34.6	0.1	4.65	5.33	14.6	0.21	1441.1	40.5	874.12	32.1
C) Chen	32.37	22.282	31.2	1.0	5.01	5.59	11.6	7.51	1606.9	33.7	979.09	23.9
D) Bell	32.95	23.939	27.3	2.8	6.84	4.65	32.0	46.8	1829.1	24.5	1064.00	17.3
E) Kothyari-Garde	39.63	28.093	29.1	23.6	8.95	7.93	11.4	92.1	2386.4	1.50	2605.11	102.4
F) Correlación M.	39.60	28.049	29.2	23.5	8.96	7.93	11.5	92.2	2380.8	1.73	2602.27	102.2

**TABLA 6.10 Porcentajes de error en la estimación de intensidad de lluvia por análisis de curvas *I*d*T* y por interpolación.**

Método de cálculo	Error en la estimación de la intensidad de lluvia, en %								Error respecto a $Q_d$			
	La Estrella: (T=50 años)				Quiotepec: (T= 50 años)				La Estrella(T=50años) $Q_d = 2808 \text{ m}^3/\text{s}$		Quiotepec (T=50años) $Q_d = 1494 \text{ m}^3/\text{s}$	
	(1) <i>I</i> real mm/h	(2) <i>I</i> Interp. mm/h	(3) Error de Interpol	(4) Error relación <i>I</i> d <i>T</i> respecto Bivariada (A1)	(5) <i>I</i> real mm/h	(6) <i>I</i> Interp. mm/h	(7) Error de Interpol	(8) Error relación <i>I</i> d <i>T</i> respecto Bivariada (A5)	(9) $Q_d$ Calculado col 8 de la Tabla 6.7	(10) Error respecto $Q_d$	(11) $Q_d$ Calc. col 13 de Tabla 6.8	(12) Error respecto $Q_d$
<b>- THIESEN -</b>												
A) D.P. Bivariada	36.36	31.685	12.8	0.00	5.40	7.27	34.6	0.00	2771.5	1.10	1435.06	3.94
B) D.P. Univariada	38.71	40.511	4.65	6.46	5.41	6.65	22.9	0.18	3962.8	41.1	1378.19	7.74
C) Chen	36.86	32.300	12.4	1.37	6.00	7.28	21.3	11.1	2867.7	2.12	1641.01	9.84
D) Bell	38.47	36.640	4.75	5.80	7.98	2.44	69.4	47.7	3473.0	23.7	1341.76	10.2
E) Kothyari-Garde	50.81	44.033	13.3	39.7	14.74	17.2	16.7	172.9	4622.7	64.6	7253.44	385.5
F) Correlación M.	50.77	44.106	13.1	39.6	14.75	17.1	15.9	173.1	4633.0	65.0	7246.34	385.0
<b>- ÓPTIMA -</b>												
A) D.P. Bivariada	36.36	27.349	24.8	0.00	5.40	6.54	21.1	0.00	2210.7	21.3	1372.36	8.13
B) D.P. Univariada	38.71	33.554	13.3	6.46	5.41	6.29	16.3	0.18	3018.1	7.48	1347.86	9.77
C) Chen	36.86	28.463	22.8	1.37	6.00	6.96	16.0	11.1	2367.5	15.7	1563.76	4.67
D) Bell	38.47	31.539	18.0	5.80	7.98	3.77	52.7	47.7	2790.1	0.64	1455.37	2.58
E) Kothyari-Garde	50.81	39.572	22.1	39.7	14.74	14.41	2.23	172.9	4001.1	42.5	6877.70	360.4
F) Correlación M.	50.77	39.560	22.0	39.6	14.75	14.40	2.37	173.1	3999.6	42.4	6871.21	359.9
<b>- KRIGING 1° g -</b>												
A) D.P. Bivariada	36.36	24.033	33.9	0.00	5.40	6.89	27.6	0.00	1797.6	35.9	1402.19	6.14
B) D.P. Univariada	38.71	28.718	25.8	6.46	5.41	6.58	21.6	0.18	2384.6	15.1	1371.88	8.17
C) Chen	36.86	25.500	30.8	1.37	6.00	7.35	22.5	11.1	1992.7	29.0	1598.68	7.01
D) Bell	38.47	27.948	27.3	5.80	7.98	3.50	56.1	47.7	2323.6	17.2	1431.75	4.16
E) Kothyari-Garde	50.81	37.505	26.2	39.7	14.74	15.03	1.96	172.9	3716.7	32.4	6961.58	365.9
F) Correlación M.	50.77	37.446	26.2	39.6	14.75	15.03	1.89	173.1	3708.8	32.0	6956.09	365.6

El objetivo de la tesis es demostrar que la modelación de la precipitación, o intensidad de lluvia, a través de modelos con distribución de probabilidad multivariada son bastante buenos al analizar eventos extremos; y que al conjuntar la relación intensidad-duración-período de retorno con algún modelo de lluvia-escorrentía, entonces, se logra la estimación de eventos de diseño razonablemente buenos, sobre todo para períodos de retorno grandes.

En principio, se considera que las intensidades de lluvia de diseño estimados con períodos de retorno asignados en todas las estaciones, son las obtenidas con el análisis de frecuencia bivariada (**ANEXO C**); de ahí que los errores de estimación con los otros métodos de cálculo se comparen con éste, obteniéndose los errores indicados en las **columnas 4 y 8** de las **TABLAS 6.9 y 6.10**. Como era de esperarse, la diferencia con el método de análisis de frecuencia univariada es que éstos son mayores para períodos de retorno grandes. También se obtuvieron porcentajes aceptables con los métodos de Chen y Bell, mas no así con los de Kothyari y Garde y el de Correlación Múltiple. Respecto a los demás porcentajes obtenidos en las mismas tablas, se observa en general que: los errores de interpolación de la intensidad de lluvia con período de retorno de 20 años (**columnas 3 y 7**) son aceptables para la subcuenca 2 (Quiotepec); siendo mejor las estimaciones cuando se emplean las técnicas de interpolación óptima y kriging. Estos porcentajes de error mejoran en la estación Quiotepec para el período de retorno de 50 años, mientras que para la estación La Estrella (Subcuenca 1) se obtuvieron errores muy similares a los obtenidos con el período de retorno de 20 años, pero un poco menores.

Al comparar los gastos inferidos  $Q_p$  a partir de la lluvia interpolada en las estaciones suprimidas con los gastos de diseño,  $Q_d$ , obtenidos con una función de distribución de probabilidad se tiene que: para períodos de retorno dentro del rango del tamaño de las muestras, se obtuvo valores bajos, esto es, entre un 20 a 30% menores que  $Q_d$  y; para períodos de retorno grandes, en general, los gastos  $Q_p$  se parecen más al de diseño, ya que la mayoría de los errores varían entre 1 y 10%, teniendo algunos extremos de 20 a 30%. Es importante notar que los menores errores se presentaron para la subcuenca 2 (Estación Quiotepec), lo que no ocurrió con los otros resultados, quizá pudiera ser por la influencia de las demás estaciones o por la ocurrencia de fenómenos locales extremos en la estación La Estrella.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El diseño de estructuras hidráulicas siempre requiere de datos hidrológicos. Los más empleados en los Estados Unidos Mexicanos según su importancia, son: a) Los registros de gastos y la lluvia que los originó, para una tormenta específica; b) Registros históricos de gastos máximos (aunque en algunos proyectos de gran importancia se han realizado estudios con base en los gastos mínimos, lo que implicaría un análisis de sequías); y c) Análisis de lluvias cuando no se tienen registros de gastos.

El cálculo del gasto de diseño por medio del análisis de lluvias es el enfoque que se ha presentado en este trabajo.

### **7.1. RESUMEN DEL TRABAJO**

En el **capítulo 1** se desarrollaron las diferentes técnicas para el modelado de la relación intensidad-duración-período de retorno (curvas ***I-d-T***). Mediante estas técnicas es posible obtener un evento extraordinario en el lugar donde se presentó el fenómeno. Se verificaron en la Cuenca del Papaloapan la independencia de las relaciones ***I-d*** e ***I-T***, con el período de retorno y la duración, respectivamente. Luego, mediante alguno de los modelos lluvia-escorrentía, presentados en el **capítulo 3**, se calculó el gasto de diseño para ese evento.

La respuesta de la cuenca a un evento como el calculado, es ese gasto de diseño. Una

parte importante en el proceso de cálculo está en la deducción de las pérdidas ya que

$$\text{Esguerrimiento superficial } (Q) = \text{Precipitación } (P) - \text{Pérdidas } (L) \quad (7.1)$$

Se han estudiado, por separado, los procesos de la precipitación y de las pérdidas (infiltración, evaporación,...) y se tienen muchos métodos para la estimación de ambos procesos. Con el propósito de comparar los resultados obtenidos con los métodos que se proponen se optó por emplear el criterio del U.S. Soil Conservation Service para estimar las pérdidas, esto es, a partir de tablas de usos y características de suelos se obtiene el número de esguerrimiento  $N$  y en consecuencia la altura de precipitación efectiva.

En ciertos proyectos es común encontrarse con registros incompletos o datos faltantes. En este trabajo se hace gran énfasis a la parte del análisis datos y, se debe proceder a completarlos correlacionándolos con información de estaciones vecinas.

Cuando se tiene necesidad de proyectar una estructura en algún sitio de la región donde las mediciones existentes son escasas o definitivamente no se dispone de datos, normalmente se recurre al trazo de isoyetas de diseño con información de estaciones vecinas, y luego se obtienen los eventos con una simple interpolación lineal en un trazo hecho prácticamente a mano. Aquí, en **capítulo 2**, se presentan varias técnicas de interpolación espacial de lluvias. Estas son de gran utilidad en la estimación de un evento como el caso mencionado, además proporcionan valores con bastante precisión, ya que se calculan en forma matemática.

En el **capítulo 4** se encontraron las relaciones  $I-d-T$  para las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan, se utilizó el concepto de regionalización para un mejor manejo de los resultados. Se confirmó la división de la cuenca en dos zonas con los parámetros de las relaciones intensidad-duración-período de retorno, observándose dos tendencias muy marcadas; valores bajos en la **Zona A** y altos en la **B**. Con base en los resultados obtenidos se propuso un procedimiento de diseño para el cálculo de eventos extraordinarios de lluvia (**capítulo 5**); y de manera opcional se sugiere usar el modelo del Hidrograma Unitario Triangular (**capítulo 3**) teniendo mucho cuidado en seleccionar el número  $N$  y la pendiente más adecuada.

Finalmente, a manera de ejemplificar el procedimiento propuesto, en el **capítulo 6** se aplican las técnicas de análisis de curvas *I-d-T*, la interpolación de lluvias y el cálculo del gasto de diseño para el sitio de interés. Pueden compararse los valores estimados con relaciones *I-d-T*, además de conocer los errores de interpolación debido a la aplicación de las técnicas expuestas y, por último, confirmar la relación **precipitación-escorrentía** comparando el gasto inferido con el registrado.

## **7.2. ACERCA DE LOS RESULTADOS Y ALCANCES LOGRADOS**

Sobre la regionalización propuesta, es importante mencionar que el hecho de haber limitado la Cuenca en dos regiones homogéneas orientó a definir dos extremos de sucesos presentes en esa zona, pero, entre ellas se tienen algunas estaciones con tendencias diferentes. Como podrá observarse en las estaciones La Estrella, o en Villa Alta y Cuichapa se obtuvieron valores: más altos en el primer sitio y bajos en los segundos comparados con la tendencia de las otras estaciones. Para la situación de la estación La Estrella se debe exclusivamente a la ocurrencia de fenómenos locales y, en las segundas por encontrarse próximas a la frontera de la delimitación de las dos zonas. Podría pensarse que existen estaciones donde ocurre un fenómeno intermedio entre las **Zonas A y B**, pero como se dijo en un principio, no vale la pena delimitar otra región de gran superficie para incluir a sólo cuatro estaciones.

Con respecto a los valores inferidos por medio de las técnicas de interpolación, es interesante notar que: al dibujarlos contra sus respectivos valores de la variable estándar, misma que está en función del período de retorno, éstos tienden a alinearse en una recta. Por lo anterior, se concluye que es posible interpolar los parámetros de ajuste de la función utilizada con base en los obtenidos en las demás estaciones, siempre y cuando en todas ellas se haya empleado la misma función. Si ya se dispone de parámetros para aplicar las fórmulas empíricas en una región, es posible inferir los parámetros de un sitio entre estos a través de los métodos de interpolación.

Los porcentajes de error en la estimación de la precipitación se compararon con los obtenidos mediante el análisis de frecuencia bivariada, suponiendo que los resultados obtenidos

con éste método son los que mejor representan a los datos históricos, de igual forma que los resultados extrapolados. De acuerdo con éstos, se resume lo siguiente:

- i)* Es posible emplear el análisis de frecuencia multivariada en la modelación de variables como la precipitación, pues los errores de ajuste disminuyen, comparados con los obtenidos mediante un análisis de frecuencia univariada.
- ii)* Los valores de intensidad de lluvia extrapolados (eventos para períodos de retorno grandes) son más razonables que los obtenidos con métodos empíricos, sin embargo, cuando éstos se sirven de datos del análisis de frecuencia bivariada, dichos eventos son aún mejores que los últimos. Así se incluyen en este caso a las fórmulas de Bell y Chen.
- iii)* Se limita el uso de las fórmulas de Bell a períodos de retorno y duraciones pequeñas. Para períodos de retorno grandes y duraciones no mayores de 24 horas es recomendable el uso de la fórmula de Chen o el análisis de frecuencia multivariada y, definitivamente, cuando los períodos de retorno son muy grandes y duraciones mayores o iguales que 24 horas se recomienda el uso del análisis de frecuencia multivariada, apoyada del método del U.S. Conservation Service.
- iv)* Se debe evitar el uso del método de Correlación Múltiple. Se ha demostrado que los errores de estimación con esta técnica son muy altos, sobre todo cuando el período de retorno es del orden o mayor que el tamaño de la muestra.

Para finalizar esta parte, respecto a los gastos de diseño, se han obtenido resultados satisfactorios con eventos estimados a través de las técnicas de interpolación. Debe aclararse que un buen análisis de datos, incluyendo la regionalización, proporcionarían buenos resultados en sitios donde no se tienen mediciones. Se esperarían errores alrededor del 10% empleando las técnicas de interpolación kriging, óptima, multicuadrática, distancia inversa y polinomial, siempre y cuando se haga lo siguiente: una calibración del número de escurrimiento  $N$  para el sitio, se emplee la pendiente más adecuada para calcular el tiempo de concentración con la fórmula de Kirpich y en forma primordial se trabaje en una región meteorológicamente homogénea.

En cuanto a los alcances obtenidos en este trabajo, se resumen en dos conceptos: primero, que el modelar las precipitaciones mediante el análisis de frecuencia bivariada no es común en nuestro medio, pero, debido a las mejoras mostradas al analizar las intensidades máximas de lluvia en la Cuenca del Río Papaloapan, para diferentes duraciones, nos proporcionan nuevas alternativas de diseño al conjuntarla con un modelo lluvia-escorrentía. Lo anterior se refleja en el simple hecho de que en los procedimientos más usuales de diseño, con base en datos de lluvia, se limitan a períodos de retorno pequeños. Segundo, los métodos de interpolación se han empleado para estimar un evento de intensidad de lluvia en el sitio de interés, aunque puede estimarse otro tipo de variable aleatoria dentro una zona que tenga una distribución meteorológicamente homogénea.

### **7.3. ACERCA DE LOS PROGRAMAS**

Para el cálculo, análisis y obtención de resultados en la aplicación de las técnicas de interpolación se desarrollaron programas en lenguaje Q-Basic (**ANEXO D**). Éstos tienen suficiente capacidad como para aplicarse a una zona con un gran número de estaciones, y también interpolar varios puntos a la vez en la misma zona y diferentes series de eventos. Los archivos de datos se generan una sola vez y el formato de lectura de datos es igual en todos los programas.

En este trabajo se proporcionan los programas independientes, pero existe la posibilidad de conjuntarlos ya que todos emplean las mismas variables de lectura de datos y de resultados. Así es posible desarrollar un programa principal que administre la función de cada uno de ellos y se registren los resultados en un archivo común.

### **7.4. APORTACIONES**

Las principales aportaciones de este trabajo son: el análisis de frecuencia multivariada aplicada a las intensidades de lluvia máximas dentro la Cuenca del Río Papaloapan, la comparación con el mismo análisis pero en forma univariada, la determinación de los parámetros de tormenta para la aplicación de la fórmula de Chen con base en datos calculados en forma



bivariada. Se propone un procedimiento de regionalización de lluvias apoyándose en herramientas estadísticas y tomando en cuenta los fenómenos meteorológicos de la zona. También, se desarrolló algoritmos de cálculo de las técnicas de interpolación en lenguaje Q-Basic y, además, se logró la aplicación a la estimación de eventos extremos de lluvia en un determinado sitio.

Quizá otra de las contribuciones del presente trabajo sea el procedimiento propuesto para la obtención de eventos de diseño a partir de registros de lluvias, aún disponiendo solamente de datos de lluvia diaria. Una variante de este procedimiento se enfoca a la obtención de los eventos en sitios donde no se tienen registros históricos (vía técnicas de interpolación).

Los resultados obtenidos al modelar la intensidad de lluvia por medio del análisis de frecuencia multivariada, y a la vez el cálculo de la precipitación promedio mediante polígonos de Thiessen para obtener el gasto de diseño, implican a la única relación existente en este fenómeno, la cual es un modelo lluvia-escorrentía. Se empleó el método del Hidrograma Unitario Triangular y, pese a su gran simplicidad, los resultados no solamente dependieron de los datos de lluvia, sino que también tuvieron que ver otros factores como son: la pendiente del cauce principal y el valor del número de la curva de escorrentía. Si se deseara obtener un evento de diseño conservador, se tiene la opción de asumir una pendiente pequeña o menor a la adoptada; o en su caso incrementar o disminuir ligeramente el valor de  $N$ , sólo si se trata de una cuenca grande, con lo cual se obtienen cambios fuertes en el gasto.

### **7.5. ESTUDIOS POSTERIORES**

La disponibilidad de datos pluviográficos en los Estados Unidos Mexicanos no es tan abundante. Son pocas las Regiones Hidrológicas que cuentan con información suficiente como para poder desarrollar las relaciones intensidad-duración-período de retorno propuestas en este trabajo. En la actualidad se ha dedicado mucho esfuerzo para obtener una relación  $I-d-T$  a partir de pocos datos, tal es el caso del estudio realizado por Campos en 1984 propone, para la Cuenca del Papaloapan, utilizar un valor constante de la relación de precipitación ( $T = 2$  años) de 60 min a la de 1440 min igual a 0.47. Con esta, al disponer de registros de lluvia diaria es

posible calcular la precipitación correspondiente a 60 minutos y 2 años de período de retorno y, este autor recomienda el uso de la fórmula de Bell. Respecto a éste punto, la principal desventaja del método es que el empleo de ésta fórmula está restringida a duraciones entre 5 y 120 minutos y períodos de retorno hasta de 100 años. Vale la pena hacer un estudio en diferentes regiones del territorio Mexicano para estimar relaciones similares como las que propone y no sólo empleando la fórmula de Bell, sino también la de Chen que es aún mejor.

Acerca de la modelación con distribuciones multivariadas, aún es posible mejorar las estimaciones logradas en este trabajo, esto es, disminuir los errores empleando el análisis de frecuencia con distribuciones bivariadas e inclusive trivariadas, y usar marginales un poco más complejas como la General de Valores Extremos y la Gumbel Mixta.

Mediante las técnicas de interpolación se expuso que su aplicación podría diversificarse en estudios hidrológicos. Es recomendable usarlas en zonas con fenómenos meteorológicamente homogéneos, aunque faltan considerarse las situaciones en que se analicen variables aleatorias estandarizadas. En la aplicación de este trabajo se comprobó que los eventos interpolados siguen la misma ley que los datos de estaciones vecinas, se concluyó también que pueden interpolarse los parámetros de las funciones, siempre y cuando en todas ellas se hayan utilizado la misma función; pues así como sucede para las lluvias es conveniente hacer un estudio con gastos, es decir, con los parámetros de la función ajustada a los gastos históricos registrados en cada estación.

Finalmente, es importante recordar que las técnicas de interpolación también son empleadas en el diseño y revisión de redes de medición, deducción de datos faltantes, e interpolación de lluvias, principalmente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- \* **Abtew, W, Obeysekera, J y Shih, G (1993)**, "Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida", Water Resources Bulletin, AWRA, vol 29, Num. 2, abril, 179-188.
- \* **Aparicio Mijares, F J (1996)**, Fundamentos de Hidrología de Superficie, Ed. Limusa, México.
- \* **Bastin, G et al**, "Optimal Estimation of The Average Areal Rainfall and Optimal Selection of Rain Gauge Locations", Water Resources Research, vol 20, Num. 4, (abril, 1984), 463-470).
- \* **Bell, F Ch (1969)**, "Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships", Journal of The Hydraulics Division, ASCE, vol 95, Núm. HY 1, enero, 311-327.
- \* **Berezowsky, V M et al (1983)** Manual de Diseño de Obras Civiles. Cap A.1.11, Cap. A.2.16.4, Comisión Federal de Electricidad, México, D.F.
- \* **Bras, R L y Rodríguez-Iturbe, I**, Random Functions and Hydrology, Ed. Adison-Wesley, USA (1985).
- \* **Bronson, R**, Matrix Methods. An Introduction, College of Science and Engineering, Farleigh Dickinson University, Ed. Academic Press, Inc., 2d ed., USA, NJ (1991).
- \* **Chaudhry, M H**, Applied Hydraulic Transients, Van Nostrand Reinhold Company, USA, NY (1979).
- \* **Cisneros Iturbe, H L y Domínguez Mora, R (1996)**, Factores de la Regionalización de Lluvias en la Cuenca del Río Papaloapan, (Coordinación de Investigación. Área de Riesgos Hidrometeorológicos), Centro Nacional de Prevención de Desastres, CVE RH/03/96, México (enero, 1996).
- \* **Collado, J (1988)**, "Estimación Óptima de la Precipitación Media con el Método Kriging", Ingeniería Hidráulica en México, México, sept.-dic., 34-45.
- \* **Chen, C L (1983)**, "Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, vol 109, Núm. 12, diciembre, 1603-1621.
- \* **Chow, V T, Maidment, D R y Mays, L W (1988)**, Applied Hydrology, Ed. McGraw-Hill, USA, NY.
- \* **Deming, H G**, El Agua. Un Recurso Insustituible. Ed. Nuevo Mar, México (1979).

- \* **Domínguez Mora, R (1981)**, "Análisis Estadístico", Manual de Diseño de Obras Civi les. Cap A.1.6, Comisión Federal de Electricidad, México.
- \* **Escalante Sandoval, C A y Raynal Villaseñor, J A**, "Un Modelo de Análisis Regional Hidrológico", Memorias del Congreso Nacional de Hidráulica, México (1990).
- \* **Escalante Sandoval, C A (1991)**, Funciones de distribución de probabilidad Trivariadas de Valores Extremos y sus Aplicaciones en Hidrología, Tesis Doctoral en Ingeniería de Aprovechamientos Hidráulicos, DEPFI, UNAM, México.
- \* **Escalante Sandoval, C A y Raynal Villaseñor, J A (1994)**, "A Trivariate Extreme Value Distribution Applied to Flood Frequency Analysis", Journal of Research of the National Institute of Standars and Technoly, 99: 369-375.
- \* **Franco, V y Domínguez Mora, R**, Manual de Hidráulica Urbana, Dirección General de Construcción de Obras Hidráulicas del DDF, t 1, México, DF (septiembre, 1982).
- \* **Froelich C, D (1995)**, "Intermediate-Duration-Rainfall Intensity Equations", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, vol 121, Núm. 10, Octubre, 751-756.
- \* **Fuentes Mariles, O A y Martínez Austria, P**, Introducción a los Métodos Numéricos Aplicados a la Hidráulica, IMTA, México (1988).
- \* **Fuentes Mariles, O A y Franco, V (1990)**, "Estudio Hidrológico Para Obras de Protección", Manual de Ingeniería de Ríos. Cap 3, Comisión Nacional del Agua, México.
- \* **Gutiérrez López, M A (1995)**, Modelos de Transferencia de Información Hidrológica, Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica, DEPFI, UNAM, México.
- \* **Haan, Ch T (1977)**, Statistical Methods in Hydrology, Iowa State Univesity, USA.
- \* **Holder, L R**, Multiple Regression in Hydrology, Institute of Hydrology, Great Britain, Wallingford, Oxfordshire ((1985).
- \* **Jiménez, E M**, Manual de Operación del programa "AX.EXE" (Ajuste de funciones con distribuciones de probabilidad, (Coordinación de Investigación. Área de Riesgos Hidrometeorológicos), Centro Nacional de Prevención de Desastres, CVE RH/05/92, México, D.F. (1992).
- \* **Kite, W G (1988)**, Frequency and Risk Analysis in Hydrology, Water Resources Pub., USA .
- \* **Lafragua Contreras, J (1996)**, Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno Para la

- Vertiente del Golfo de México, Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica, DEPFI, UNAM, México.
- \* **Levi, E**, El Agua Según la Ciencia, CONACYT, México, DF (1989).
  - \* **Miller, I R, Freund, J E y Johnson, R**, Probabilidad y Estadística Para Ingenieros, Ed. Prentice-Hall, 4a Ed., México (1992).
  - \* **McCuen, R**, Statistical Hydrology, (Microcomputer Applications in), Ed. Prentice-Hall, USA, NJ (1993).
  - \* **Pérez Brito, J**, Predicción Espacial a Través del Método Kriging Ordinario, Tesis de Licenciatura en Actuaría, Facultad de Ciencias, UNAM, México (1992).
  - \* **Raynal, J and Salas, J (1987)**, "Multivariate Extreme Value Distribution in Hydrological Analysis", I.A.H.S Publications, 164: 111-119.
  - \* **Rueda, E (1981)**, Transfer of Information for Flood Related Variables, M.Sc. Thesis, Colorado State University, p.112.
  - \* **Samper Calvete, F J y Carrera Ramírez, J**, Geoestadística. Aplicaciones a la Hidrogeología Subterránea, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (1990).
  - \* **Sherman, C V**, Frequency and Intensity of Excessive Rainfalls at Boston, Massachusetts", Transactions of the ASCE, vol 95, (1931), 951-960.
  - \* **Singh, V P**, Elementary Hydrology, Departament of Civil Engineering of Louisiana State University, Ed. Prentice-Hall, USA, NJ (1992).
  - \* **Springall, G R**, Hidrología, (primera parte), Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, México (1970).
  - \* **Tabios III Q, G y Salas D, J (1985)**, "A Comparative Analysis of Techniques For Spatial Interpolation of Precipitation", Water Resources Bulletin, AWRA, vol 21, Núm. 3, junio, 365-380.
  - \* **Toledo Reyes, V y Collado, J (1990)**, "Mejoramiento de la Configuración de Redes Pluviométricas Utilizando el Método Kriging", Memorias del Congreso Nacional de Hidráulica, México, 28-39.
  - \* **Viessman, W, Lewis, G y Knapp, J**, Introduction to Hydrology, Ed. Harper and Row, USA, NY (1989).

# **ANEXO A**

*" REGISTROS DE INTENSIDADES DE LLUVIA "*

***REGISTROS HISTÓRICOS DE LAS 39 ESTACIONES***

***PROPIAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAPALOAPAN***

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: Acayucan, Ver.											
Duración, en minutos											
Año	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	1440
1948	86.40	60.00	43.60	32.70	34.00	27.90	22.50	16.90	13.50	11.30	
1949	120.00	120.00	90.00	87.00	62.40	46.70	39.00	30.70	27.00	27.00	
1950	120.00	70.80	69.60	58.50	42.00	37.60	30.40	22.80	18.30	15.90	
1951	115.20	102.00	78.00	66.00	48.20	34.30	26.20	21.40	17.60	15.20	2.88
1952	129.60	102.60	82.00	74.40	66.80	65.30	57.80	43.70	36.30	30.30	3.25
1953	136.80	104.40	88.40	71.70	50.20	33.80	28.60	22.40	20.00	18.00	3.04
1954	132.00	108.00	96.80	83.10	74.00	72.40	71.30	50.60	42.40	35.70	5.32
1955	120.00	83.40	72.00	60.00	48.00	36.70	28.60	24.20	20.20	17.30	4.17
1956	192.00	132.00	116.00	99.00	71.00	52.40	40.90	31.20	25.40	21.30	3.67
1957	130.39	100.72	86.80	77.11	62.37	51.26	41.28	33.20	28.00	24.24	5.63
1958	180.00	150.00	108.00	102.00	85.00	63.80	53.30	40.70	32.60	27.20	4.10
1959	206.40	134.40	106.40	84.90	72.60	67.20	59.50	48.80	40.60	34.50	3.58
1960	135.60	120.00	108.00	82.50	72.00	68.50	63.00	54.40	51.20	50.00	4.50
1961	216.00	153.00	141.60	132.60	101.00	73.20	58.40	54.80	49.70	41.50	3.50
1962	151.20	123.60	88.80	72.60	51.80	37.50	29.80	25.50	22.70	19.80	2.40
1963	120.00	81.00	65.60	64.50	62.00	46.60	36.50	30.90	28.10	25.00	4.70
1964	141.60	114.60	84.40	75.00	63.00	47.20	41.50	38.30	32.80	28.20	6.94
1965	114.00	102.00	90.00	82.50	62.80	47.30	39.20	32.30	24.20	20.50	3.60
1966	138.00	94.80	80.40	64.80	54.80	44.00	43.50	35.20	28.80	25.50	3.96
1967	108.00	99.00	98.00	88.00	79.00	61.20	54.50	48.40	42.00	37.30	5.21
1968	116.40	87.00	86.40	69.90	57.40	47.40	33.70	26.40	22.30	18.90	7.00
1969	72.00	63.00	56.00	49.50	41.00	34.50	24.30	22.70	22.70	18.90	5.18
1970	48.00	30.00	30.00	30.00	28.60	24.00	19.30	15.50	12.50	10.60	6.00
1971	124.80	123.00	122.00	121.50	96.80	77.40	54.70	41.90	33.50	28.00	4.82
1972	168.00	120.00	120.00	114.30	81.60	65.00	44.80	33.60	26.90	22.40	3.71
1973	129.60	100.20	88.00	78.00	72.60	68.70	49.60	37.40	30.20	25.30	5.06
1974	120.00	120.00	114.00	112.50	88.00	87.80	61.00	47.60	38.60	33.80	6.42
1975	123.60	90.00	80.00	79.80	70.00	62.30	47.30	35.50	28.40	23.70	2.81
1976	96.00	60.00	46.00	42.00	33.00	26.30	18.40	14.30	11.70	10.00	4.47
1977	120.00	72.00	67.20	57.00	39.20	29.40	19.60	14.70	11.80	9.80	
Media	130.386	100.717	86.800	77.114	62.372	51.255	41.283	33.200	28.000	24.238	4.458
Desv. Est.	35.576	27.878	24.720	24.169	18.615	17.181	14.726	11.965	10.587	9.564	1.258
Coeff. Var.	0.471	-0.381	-0.169	0.265	0.101	0.204	0.146	0.172	0.425	0.648	0.461
Coef. Cor.	0.273	0.277	0.285	0.313	0.298	0.335	0.357	0.360	0.378	0.395	0.282

Estación: Altlape, Oax.											
Duración, en minutos											
Año	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	
1957	240.00	129.00	120.00	102.00	100.40	88.50	69.40	52.10	41.70	34.80	
1958	240.00	135.00	120.00	120.00	96.40	83.90	58.30	44.50	35.70	29.90	
1959	108.00	90.00	72.00	60.00	54.00	46.50	32.50	24.40	19.50	16.40	
1960	120.00	96.00	70.40	64.80	46.20	40.50	29.00	30.10	25.00	22.00	
1961	126.00	84.00	64.00	63.00	59.00	50.30	42.00	37.30	33.30	28.50	
Media	166.80	106.80	89.28	81.96	71.20	61.94	46.24	37.68	31.04	26.32	
Desv. Est.	67.14	23.49	28.20	27.32	25.29	22.48	17.22	11.05	8.80	7.19	
Coeff. Var.	0.57	0.50	0.56	0.83	0.47	0.52	0.52	0.17	0.26	-0.44	
Coef. Cor.	0.40	0.22	0.32	0.33	0.36	0.36	0.37	0.29	0.28	0.27	

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: Apázcotlán, Oax.											
Duración, en minutos											
Año	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	1440
1955											1.96
1956											2.50
1957	90.00	54.00	42.00	33.60	22.60	17.30	14.90	11.30	9.10	8.50	1.32
1958	96.00	64.20	66.00	60.00	49.00	45.00	40.00	30.10	24.10	20.20	1.67
1959	84.00	54.00	48.00	45.00	37.60	30.00	22.00	17.90	16.10	14.60	1.91
1960	150.00	110.40	75.20	57.60	38.80	29.40	20.60	16.20	13.10	10.90	1.35
1961	72.00	51.00	36.80	30.60	24.40	21.30	21.00	16.80	13.60	11.30	1.35
1962	46.80	33.00	27.60	21.30	14.60	11.70	10.50	8.70	7.70	6.50	1.00
1963	50.40	25.20	20.00	15.90	11.00	8.70	6.70	5.10	4.30	3.60	1.10
1964	48.00	42.00	40.00	32.10	23.20	17.60	11.70	8.80	7.00	5.90	1.34
1965	84.00	54.60	46.80	45.60	36.40	28.70	20.30	16.60	13.60	11.40	2.67
1966	80.13	54.27	44.71	37.97	28.62	23.30	18.63	14.61	12.07	10.32	1.65
1967	32.32	24.26	17.30	15.21	12.50	11.19	9.69	7.35	5.92	5.01	0.55
1968	1.19	1.60	0.54	0.14	0.17	0.67	1.27	1.00	0.86	0.76	0.83
1969	0.40	0.45	0.39	0.40	0.44	0.48	0.52	0.50	0.49	0.49	0.33

Estación: Astilla, Oax.											
Duración, en minutos											
Año	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	1440
1954											1.92
1955											1.50
1956											2.50
1957											1.58
1958											1.79
1959											1.13
1960											1.79
1961											1.58
1962											1.98
1963											1.79
1964											1.96
1965											2.21
1966	120.00	114.00	84.00	78.00	60.00	45.00	44.00	33.00	26.50	22.10	2.13
1967	60.00	48.00	46.00	43.50	37.80	31.50	23.50	19.00	15.20	12.70	1.23
1968	102.00	81.00	66.00	60.00	45.00	36.00	25.00	18.90	15.10	12.60	4.04
1969	84.00	58.20	48.00	42.60	37.40	31.10	22.40	17.90	14.70	12.40	1.61
1970	120.00	96.00	93.20	87.00	77.00	58.50	39.00	29.30	23.40	19.50	1.89
1971	85.20	61.20	50.00	49.50	41.80	33.60	31.00	23.30	18.60	15.50	1.42
1972	120.00	84.00	69.20	69.00	49.00	41.30	32.00	25.90	20.70	17.30	2.00
1973	120.00	78.00	68.00	60.00	41.00	30.90	20.60	15.50	12.40	10.30	2.66
1974	72.00	60.00	45.20	42.00	41.40	40.50	30.00	22.70	18.60	15.60	1.67
1975	49.20	31.20	24.40	20.40	15.00	12.00	10.00	9.60	8.00	7.00	
1976	93.24	71.16	59.40	55.20	44.54	36.04	27.75	21.51	17.32	14.50	1.92
1977	27.05	24.23	20.51	19.67	16.03	11.96	9.69	6.84	5.41	4.45	0.61
1978	-0.39	0.16	0.08	-0.03	0.39	-0.16	-0.06	0.04	0.07	0.11	2.15
1979	0.29	0.34	0.35	0.36	0.36	0.33	0.35	0.32	0.31	0.31	0.32



Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Año	Duración, en minutos											
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	1440		
1956												2.83
1957												3.17
1958												2.33
1959												2.58
1960												2.63
1961												2.83
1962	104.40	70.20	65.20	54.90	45.60	37.10	32.00	24.20	19.30	16.10		1.83
1963	55.20	44.40	36.00	28.20	21.80	17.00	13.50	14.30	11.70	12.00		2.49
1964	96.00	72.00	68.00	58.40	64.00	64.20	60.10	48.40	41.60	35.60		3.69
1965	84.00	75.00	66.00	58.50	45.60	35.30	27.00	20.40	18.60	17.00		6.25
1966	42.00	27.00	22.40	17.40	16.00	13.70	10.90	8.50	7.20	6.40		3.54
1967	90.00	57.60	43.20	37.80	31.40	31.20	23.80	19.00	15.40	12.80		2.80
1968	90.00	60.00	48.00	47.70	39.80	35.30	24.70	19.40	15.70	13.90		2.80
1969	48.00	36.00	34.00	27.00	20.40	17.00	15.60	11.80	10.50	10.10		1.88
1970	102.00	51.00	34.00	25.50	18.80	14.70	12.00	9.50	8.10	7.60		2.26
1971	108.00	69.00	65.20	55.50	42.00	37.50	28.20	22.20	18.90	16.20		3.61
1972	60.00	58.80	48.80	41.40	39.60	32.90	25.50	19.70	15.90	13.30		2.13
1973	54.00	45.00	37.60	34.20	30.00	23.10	15.60	11.70	9.50	8.00		3.53
1974	90.00	75.00	73.20	69.90	65.40	51.30	37.00	28.10	22.50	18.90		3.15
1975	72.00	57.00	46.00	42.00	36.40	30.80	25.00	23.00	19.40	17.00		6.33
1976	67.10	46.50	34.50	31.00	24.70	19.30	14.20	11.90	10.50	9.70		
1977	65.40	46.50	35.30	30.70	25.00	19.50	14.40	11.90	10.50	9.60		
1978	65.40	46.00	34.80	29.40	23.40	17.80	13.50	11.40	10.40	9.60		
1979	66.30	45.80	32.80	27.40	23.50	16.40	12.80	11.60	10.30	9.40		
1980	67.10	46.90	34.80	29.20	23.70	18.90	13.80	11.40	10.00	9.20		
1981	32.40	27.00	26.40	26.10	18.20	13.70	9.10	6.80	5.50	4.60		
1982	62.40	39.00	30.00	27.90	21.40	16.50	11.10	8.50	7.10	6.30		
<b>Total</b>	<b>72.462</b>	<b>52.176</b>	<b>43.629</b>	<b>38.576</b>	<b>32.224</b>	<b>26.819</b>	<b>20.943</b>	<b>16.843</b>	<b>14.219</b>	<b>12.538</b>		<b>3.133</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>21.198</b>	<b>14.470</b>	<b>15.150</b>	<b>14.984</b>	<b>14.212</b>	<b>13.415</b>	<b>11.945</b>	<b>9.389</b>	<b>7.905</b>	<b>6.625</b>		<b>1.211</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>0.065</b>	<b>0.054</b>	<b>0.066</b>	<b>0.681</b>	<b>1.135</b>	<b>1.334</b>	<b>1.926</b>	<b>2.014</b>	<b>2.181</b>	<b>2.177</b>		<b>3.856</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>0.293</b>	<b>0.277</b>	<b>0.347</b>	<b>0.388</b>	<b>0.441</b>	<b>0.500</b>	<b>0.570</b>	<b>0.557</b>	<b>0.556</b>	<b>0.528</b>		<b>0.387</b>

Año	Duración, en minutos											
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	1440		
1983	138.00	138.00	106.00	81.40	59.00	39.30	30.00	22.50	22.20	20.00		
1984	120.00	84.00	69.60	60.00	60.00	41.30	36.50	34.00	29.10	24.30		
1985	120.00	65.40	54.40	43.80	35.00	25.40	28.20	23.60	19.90	16.80		
1986	240.00	180.00	160.00	147.00	124.40	86.50	89.00	74.30	63.90	54.50		
1987	216.00	165.60	147.60	146.40	117.60	110.00	87.30	65.90	53.20	44.40		3.94
1988	121.20	120.00	108.00	90.00	80.00	66.90	60.20	60.00	50.40	43.70		6.00
1989	126.00	99.60	82.00	69.90	54.60	41.20	38.40	31.20	25.80	22.10		2.54
1990	120.00	120.00	80.40	60.30	42.40	30.50	29.10	24.50	22.10	19.30		3.71
1991	128.40	120.00	88.00	85.50	67.00	59.90	60.00	54.40	44.80	37.50		2.75
1992	219.60	120.00	80.00	72.00	60.00	46.20	35.40	26.60	30.00	26.80		3.99
1993	229.20	144.00	118.00	91.50	64.80	58.70	40.00	30.00	28.60	25.00		4.76
1994	114.00	84.00	60.00	45.60	31.40	21.40	16.10	12.50	10.00	9.10		3.50
1995	174.00	120.00	120.00	98.10	69.60	47.60	36.00	30.00	28.80	25.40		5.05
1996	168.00	99.00	79.20	63.00	52.20	41.60	31.30	24.50	20.60	17.30		3.59
1997	216.00	156.00	134.00	130.50	119.80	99.60	76.30	58.40	47.60	40.20		4.08
1998	132.00	120.00	98.00	91.50	82.00	66.50	50.70	41.70	33.70	28.40		3.15
1999	120.00	81.00	68.00	60.00	45.00	37.90	33.00	30.00	26.70	25.00		3.42
2000	140.40	122.40	102.80	97.80	86.60	65.00	50.50	37.90	30.30	25.30		2.62
2001	168.00	138.00	120.00	111.00	90.00	70.20	56.00	43.10	36.00	30.00		3.79
2002	<b>153.72</b>	<b>118.92</b>	<b>98.90</b>	<b>84.98</b>	<b>69.96</b>	<b>55.58</b>	<b>45.08</b>	<b>37.04</b>	<b>31.56</b>	<b>27.01</b>		<b>3.98</b>
2003	254.40	190.80	155.20	127.20	120.00	99.90	77.70	64.40	54.00	46.50		6.66
2004	240.00	180.00	146.80	121.50	112.60	88.40	64.10	48.20	38.60	32.20		6.91
2005	120.00	114.00	80.00	70.20	55.40	41.90	30.80	23.50	18.90	16.30		5.29
2006	120.00	60.60	58.00	50.10	40.00	32.00	22.50	19.20	16.00	14.00		4.02
2007	120.00	96.00	82.00	61.50	42.80	33.80	23.00	17.50	14.00	11.70		3.78
2008	144.00	120.00	108.00	90.00	78.00	68.30	49.50	44.30	35.80	30.90		6.10
2009	86.40	48.00	40.00	30.00	26.20	21.20	16.00	16.00	14.10	12.30		8.80
2010	122.40	122.40	114.00	90.00	78.00	58.50	51.00	42.20	33.90	28.40		4.19
2011	120.00	120.00	96.00	88.50	62.80	48.20	32.90	26.30	24.80	21.90		3.20
2012	120.00	120.00	112.00	90.00	72.00	63.80	56.00	47.60	41.30	34.90		
<b>Total</b>	<b>153.724</b>	<b>118.924</b>	<b>98.897</b>	<b>84.976</b>	<b>69.959</b>	<b>55.576</b>	<b>45.076</b>	<b>37.045</b>	<b>31.555</b>	<b>27.007</b>		<b>4.395</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>47.132</b>	<b>34.274</b>	<b>30.671</b>	<b>29.375</b>	<b>27.474</b>	<b>23.643</b>	<b>19.784</b>	<b>16.274</b>	<b>13.183</b>	<b>11.058</b>		<b>1.514</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>0.947</b>	<b>0.123</b>	<b>0.251</b>	<b>0.428</b>	<b>0.584</b>	<b>0.666</b>	<b>0.693</b>	<b>0.633</b>	<b>0.615</b>	<b>0.634</b>		<b>1.353</b>
<b>Coeficiente</b>	<b>0.307</b>	<b>0.288</b>	<b>0.310</b>	<b>0.346</b>	<b>0.393</b>	<b>0.425</b>	<b>0.439</b>	<b>0.439</b>	<b>0.418</b>	<b>0.409</b>		<b>0.345</b>

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Bosque, Ciénaga, Oca						
Duración, en minutos						
Año	30	60	90	120	240	1440
						2.13
						1.59
						1.96
	57.00	54.00	37.20	28.00	14.00	2.56
	30.00	16.00	12.10	9.90	7.30	1.93
	24.40	20.00	14.40	10.90	5.50	1.49
	39.80	20.20	14.10	10.60	6.90	1.84
	62.00	61.50	44.60	33.80	17.60	3.35
	28.80	14.80	10.70	8.40	4.50	2.15
	22.20	13.10	10.40	9.40	5.40	1.55
	38.00	24.30	17.20	13.50	7.10	1.71
	15.40	9.90	7.70	6.30	3.60	1.10
	23.00	14.40	10.10	7.80	4.90	1.23
	19.00	12.00	10.40	8.80	6.30	2.06
	30.00	22.00	19.10	14.50	7.40	1.56
	80.00	56.00	38.90	29.10	15.30	2.68
	60.00	42.20	38.20	29.10	15.50	2.83
	20.00	12.20	8.20	6.10	3.50	1.04
						3.38
						1.06
						1.42
						3.00
						3.42
						3.13
						1.17
	36.640	26.173	19.553	15.080	8.320	2.061
	19.325	17.862	13.047	9.654	4.754	0.783
	1.038	1.149	1.039	1.045	1.011	0.444
	0.527	0.682	0.667	0.640	0.571	0.380

										2.71	
										1.53	
	96.00	75.00	66.00	57.00	45.00	34.80	25.00	19.50	16.10	13.50	1.13
	126.00	75.00	50.00	37.50	28.40	21.80	15.00	11.70	10.80	9.30	2.33
	180.00	109.20	90.80	69.60	48.80	40.50	28.20	21.90	18.20	15.50	1.54
	120.00	84.00	68.00	55.50	40.00	30.90	23.00	18.00	15.00	13.50	2.29
	74.40	54.00	39.60	30.60	21.80	16.50	11.90	9.80	8.20	7.70	1.04
	60.00	36.00	26.00	21.00	19.40	15.50	11.00	10.80	10.20	9.00	1.71
	144.00	114.00	82.00	64.50	44.00	33.00	22.30	17.30	14.30	12.50	1.30
	120.00	120.00	104.00	87.00	73.00	68.60	46.70	37.60	30.30	26.30	2.95
	96.00	69.00	56.40	46.80	35.20	28.20	19.30	14.90	12.70	10.70	1.91
	110.40	66.00	64.00	57.00	44.40	35.10	23.40	17.60	14.00	11.70	1.98
	111.60	87.00	78.00	60.00	46.00	37.50	29.90	23.40	18.80	15.70	1.56
	102.00	72.00	64.00	52.50	39.00	30.90	21.50	17.30	15.00	13.60	1.36
	98.40	69.00	62.00	55.50	41.40	32.00	23.20	18.80	15.50	13.10	2.08
	66.00	49.20	46.80	38.10	27.00	20.90	15.20	11.90	9.70	8.20	2.67
	72.00	48.00	40.00	33.00	27.20	22.50	18.30	14.00	11.20	9.40	1.25
	108.00	78.00	62.00	51.00	39.00	31.10	21.60	16.40	13.20	11.00	2.31
	78.00	72.00	60.00	52.50	52.00	45.00	32.30	30.00	24.00	20.00	2.32
	96.00	81.60	78.40	69.30	58.00	52.10	39.30	32.00	26.20	22.20	1.88
	60.00	42.00	37.20	28.50	24.60	23.00	17.30	13.40	10.70	8.90	1.16
	100.80	50.40	40.00	30.00	20.00	17.30	15.20	11.40	9.10	7.60	1.61
	61.20	49.20	36.80	27.60	18.40	13.80	9.20	6.90	5.50	4.60	
	99.086	71.457	59.619	48.786	37.743	31.000	22.324	17.838	14.700	12.571	1.846
	29.951	23.040	19.856	16.964	14.102	13.207	9.218	7.694	6.115	5.209	0.555
	0.839	0.598	0.392	0.249	0.579	1.180	1.048	1.158	1.115	1.152	0.358
	0.302	0.322	0.333	0.348	0.374	0.426	0.413	0.431	0.416	0.414	0.301

Inintensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Alto	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	45	60	90	100	120	1440
159.60	120.00	92.00	85.50	71.00	56.30	48.60	41.50	35.00	29.30		
132.00	111.00	100.00	99.00	92.00	76.00	60.60	52.50	48.00	44.30		
240.00	180.00	134.40	123.60	95.80	81.40	80.90	69.50	56.90	55.00		
247.20	166.20	160.00	138.00	114.00	87.20	76.50	60.00	57.30	53.00	6.07	
244.40	160.80	142.40	139.50	132.20	106.00	91.60	75.20	64.10	56.10	6.14	
102.00	88.90	72.40	69.60	65.60	65.20	51.70	42.80	35.30	30.00	6.31	
180.00	144.60	124.00	114.00	95.00	72.50	54.80	39.80	34.20	30.50	6.38	
200.40	132.00	124.00	123.00	109.00	110.40	107.50	97.50	96.50	76.80	7.79	
240.00	159.00	138.00	128.00	121.00	81.50	77.00	71.30	70.00	67.00	17.88	
216.00	150.00	144.00	120.00	100.00	75.80	65.50	50.20	45.50	39.50	4.59	
228.00	177.00	160.00	144.00	105.60	80.30	63.50	51.20	48.50	41.70	5.53	
138.00	105.00	98.00	87.00	71.00	57.30	52.50	39.60	33.70	32.70	8.01	
132.00	122.40	122.40	118.50	101.40	74.50	62.00	48.80	41.50	35.50	7.50	
264.00	183.00	140.00	120.00	120.00	97.10	83.00	75.80	66.50	60.50	7.61	
156.00	135.00	128.00	123.00	102.00	69.80	56.50	44.70	42.30	38.30	6.79	
<b>189.09</b>	<b>146.11</b>	<b>129.12</b>	<b>119.83</b>	<b>104.50</b>	<b>86.70</b>	<b>75.64</b>	<b>63.56</b>	<b>55.74</b>	<b>50.50</b>	<b>8.20</b>	
192.00	138.00	120.00	120.00	96.80	79.80	76.40	68.50	57.20	55.90	13.11	
141.60	141.00	118.00	109.50	93.00	67.30	52.50	43.90	43.70	39.50	6.18	
232.80	174.60	155.20	137.40	117.60	95.00	87.30	75.80	63.70	58.20	8.35	
156.00	138.00	136.00	128.10	101.00	93.10	84.50	75.40	70.20	63.50	8.01	
228.00	180.00	160.00	150.00	142.00	118.40	100.00	79.70	64.20	53.50	6.63	
156.00	153.00	148.00	132.00	100.00	79.00	66.00	63.40	59.40	57.10	5.38	
240.00	180.00	160.00	150.00	144.00	115.00	90.50	68.60	55.80	48.30	7.54	
144.00	132.00	132.00	132.00	132.00	115.70	96.50	77.30	65.80	56.00	8.16	
176.40	120.00	120.00	120.00	99.00	79.80	68.60	52.50	42.60	35.00	6.12	
198.00	171.00	134.00	124.80	120.00	113.70	104.50	85.50	70.50	68.80	12.46	
240.00	180.00	140.00	138.00	120.00	111.10	104.00	95.30	90.00	90.00	13.96	
122.40	114.00	100.00	85.50	81.00	79.00	69.70	54.20	44.60	41.60	6.69	
136.80	118.80	108.80	98.10	88.80	87.10	81.50	76.10	58.00	53.80	7.26	
240.00	162.00	132.80	117.00	99.60	89.10	79.50	67.60	61.40	53.10		
<b>189.090</b>	<b>146.110</b>	<b>129.117</b>	<b>119.831</b>	<b>104.497</b>	<b>86.703</b>	<b>75.645</b>	<b>63.559</b>	<b>55.738</b>	<b>50.500</b>	<b>8.048</b>	
46.782	26.282	21.772	19.710	19.440	17.554	17.142	15.972	14.775	14.405	3.017	
-0.098	0.244	-0.620	-0.795	0.093	0.346	0.209	0.258	0.513	-0.619	1.978	
0.247	0.180	0.169	0.164	0.186	0.202	0.227	0.251	0.265	0.285	0.375	

Duración, en minutos										
15	20	30	45	60	90	100	120	1440		
										6.83
										5.27
										4.21
										3.88
										7.40
240.00	153.00	120.00	94.50	68.00	60.00	51.00	46.50	39.50	33.30	5.42
192.00	130.80	91.20	93.90	66.60	70.50	51.00	48.40	39.20	32.90	5.29
186.00	123.00	107.00	88.50	78.00	79.80	71.20	58.90	54.00	47.00	5.65
180.00	150.00	120.00	120.00	120.00	119.70	118.00	106.50	105.00	96.00	10.40
174.00	120.00	115.20	116.40	91.40	72.00	57.50	50.30	49.50	42.10	6.43
240.00	171.00	120.00	120.00	114.00	96.70	80.70	61.40	49.10	41.10	4.27
120.00	120.00	120.00	110.70	81.80	58.00	43.80	33.50	27.60	23.10	4.31
180.00	180.00	160.00	150.00	120.00	79.80	60.00	45.00	36.00	30.00	4.71
114.00	107.40	81.60	69.30	61.70	57.90	54.60	51.80	47.40	39.70	3.77
240.00	180.00	160.00	151.50	139.20	109.00	109.00	97.20	77.80	64.80	7.73
240.00	210.00	204.80	204.60	196.60	144.00	110.30	86.10	70.60	59.70	5.73
144.00	143.40	143.20	143.10	120.80	88.40	67.40	50.80	41.70	35.60	3.71
156.00	144.00	120.00	120.00	95.00	68.90	54.00	43.50	36.60	32.00	5.32
180.00	180.00	160.00	126.00	110.00	87.10	67.00	58.50	48.00	40.00	7.48
240.00	135.00	120.00	105.00	100.00	79.80	73.00	67.50	54.70	45.60	5.58
120.00	114.00	96.00	79.50	59.00	50.80	39.90	30.90	25.40	22.00	4.99
150.00	120.00	120.00	120.00	120.00	87.10	69.00	59.30	54.00	50.50	4.46
186.00	126.00	114.00	114.00	100.00	81.10	70.50	63.00	55.60	47.00	5.28
102.00	87.00	86.00	88.50	79.00	64.80	50.00	38.30	30.60	25.50	3.07
108.00	84.00	62.00	48.00	34.00	24.30	18.90	14.20	11.50	9.70	6.13
132.00	96.00	96.00	84.00	69.00	57.00	44.00	34.50	32.10	27.90	6.29
120.00	111.00	92.00	83.10	63.40	56.10	44.10	33.70	27.10	30.00	
<b>170.182</b>	<b>135.709</b>	<b>118.591</b>	<b>110.482</b>	<b>94.886</b>	<b>76.945</b>	<b>63.859</b>	<b>53.627</b>	<b>46.045</b>	<b>39.795</b>	<b>5.523</b>
47.625	32.956	31.977	33.349	34.861	25.538	24.086	21.739	20.068	17.791	1.572
0.254	0.504	0.862	0.839	0.995	0.698	0.825	0.853	1.182	1.470	1.185
0.280	0.243	0.270	0.302	0.367	0.332	0.377	0.405	0.436	0.447	0.285

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: Coxcatlanuca, Oax.										
Año	Duración, en minutos									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1940	114.00	90.00	78.80	77.40	60.00	48.50	33.70	25.50	20.50	17.10
	72.00	60.00	54.00	46.50	36.60	28.70	20.10	15.40	123.30	10.30
	66.00	51.00	42.00	36.00	28.40	24.00	16.50	12.40	9.90	8.30
	84.00	65.40	64.00	60.00	44.00	33.50	22.80	17.40	14.00	11.70
	96.00	60.00	45.60	39.00	27.40	21.50	14.80	11.20	8.90	7.50
	126.00	75.00	63.20	52.50	41.20	33.30	22.60	17.10	16.20	13.80
	102.00	57.00	60.00	57.00	39.00	30.80	24.00	19.50	16.70	14.80
	75.60	47.40	32.80	25.20	18.00	13.50	10.00	15.73	6.70	6.30
	78.00	51.10	40.00	34.20	29.20	22.50	16.70	12.70	10.40	9.60
	60	46.2	36	29.4	21.20	16.4	11.60	10.40	8.50	7.70
	87.36	60.31	51.64	45.72	34.500	27.27	19.280	15.733	23.510	10.710
	21.524	13.628	14.772	16.128	12.360	10.082	6.943	4.517	35.333	3.561
	0.613	1.256	0.468	0.686	0.755	0.792	0.748	1.028	3.073	0.610
	0.246	0.226	0.286	0.353	0.358	0.370	0.360	0.287	1.503	0.332

Estación: Cuicatlan, Ver.											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	1440
1940	150.00	100.20	82.00	66.60	48.00	33.60	30.00	22.50	18.00	15.10	
	158.40	120.00	94.00	76.20	55.20	41.20	36.40	30.10	26.10	21.80	
	158.40	132.60	110.00	92.10	65.60	59.50	48.90	42.80	40.90	34.30	
	168.00	120.00	92.00	84.00	66.00	47.70	39.70	32.00	26.70	22.80	3.70
	240.00	182.80	106.40	89.10	75.60	64.60	60.50	55.40	55.10	48.90	15.60
	120.00	103.20	84.80	82.80	56.60	37.80	29.00	23.20	19.60	17.40	2.22
	123.60	90.60	80.00	62.40	53.00	49.20	41.00	37.70	38.60	36.20	3.50
	220.80	156.00	146.40	126.30	111.40	81.60	61.40	46.10	36.90	30.80	7.92
	132.00	102.00	89.60	75.00	61.80	43.00	32.70	24.60	19.70	16.60	2.89
	162.00	138.00	136.40	129.90	107.40	79.80	71.00	56.00	44.90	37.50	3.13
	171.60	123.00	102.00	94.50	95.40	69.20	53.50	40.40	32.30	27.00	4.17
	120.00	102.00	100.00	99.00	99.00	93.10	70.30	52.90	42.50	35.50	2.92
	126.00	102.00	106.00	82.80	80.00	66.50	56.20	48.50	39.90	35.00	5.63
	150.00	83.40	62.00	49.50	40.00	26.60	20.10	15.10	12.10	10.10	3.54
	126.00	124.20	119.20	102.00	101.00	83.10	77.00	72.80	60.50	52.80	5.00
	96.00	78.00	64.00	59.10	42.80	40.60	32.00	25.90	22.50	19.50	4.50
	96.00	78.00	72.00	61.80	59.80	45.60	36.80	28.00	23.30	21.80	3.48
	132.00	114.00	92.00	75.00	56.40	39.10	29.50	24.20	19.30	16.10	4.08
	116.40	109.20	82.80	67.80	52.20	42.20	33.80	31.90	28.30	25.10	3.52
	108.00	96.00	86.00	85.50	78.00	57.60	46.80	36.00	28.80	24.00	4.22
	120.00	102.00	80.00	79.80	66.00	46.20	36.00	28.10	23.00	19.30	3.06
	120.00	120.00	116.00	115.80	97.40	78.50	63.80	48.10	38.10	32.10	3.95
	120.00	114.00	92.00	84.00	71.00	58.10	47.00	36.40	30.60	26.20	5.33
	57.60	36.60	30.00	22.50	15.00	13.30	10.00	7.50	6.00	5.90	3.92
	120.00	100.20	100.00	91.50	90.00	65.80	49.50	37.10	29.70	24.80	2.18
	134.40	111.00	110.40	106.50	100.00	77.10	60.60	46.50	37.20	31.00	5.82
	132.00	114.00	78.00	66.00	52.00	38.60	29.30	22.30	17.80	14.90	8.95
	121.20	60.60	40.40	30.30	20.80	13.80	10.40	8.30	7.50	6.90	2.36
	84.00	49.20	48.00	42.30	39.20	33.20	22.90	17.20	13.70	11.90	2.17
	114.00	87.00	72.00	62.70	48.00	40.70	32.20	24.20	19.30	16.10	
	133.280	104.993	89.147	78.760	66.820	52.230	42.277	34.060	28.630	24.580	4.529
	36.203	29.098	25.589	25.024	25.080	20.435	17.458	14.967	13.037	11.302	2.785
	1.048	0.069	-0.152	-0.112	0.039	0.129	0.172	0.439	0.488	0.603	2.847
	0.272	0.277	0.287	0.318	0.375	0.391	0.413	0.439	0.455	0.460	0.615

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: Cuesta Blanca, Ver.										
Año	Duración, en minutos									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1970	25.20	18.00	14.00	13.50	10.40	8.10	5.50	4.20	3.40	2.90
1971	60.00	52.20	40.80	31.20	22.20	17.70	12.80	9.70	7.80	6.50
1972	78.00	59.40	47.60	45.00	37.00	29.30	23.00	18.80	15.80	13.40
1973	165.60	121.80	98.00	87.00	64.00	50.40	34.30	25.70	20.60	17.20
1974	66.00	48.00	40.00	33.60	27.60	23.60	16.30	12.70	11.40	10.60
1975	84.00	54.00	50.00	45.90	34.80	30.60	22.50	17.00	14.40	12.20
1976	75.60	48.00	44.00	39.00	30.40	25.50	21.30	20.80	18.30	17.70
	79.200	57.343	47.771	42.171	32.343	26.457	19.386	15.557	13.100	11.500
	42.742	31.409	25.138	22.574	16.536	13.046	9.079	7.239	6.019	5.398
	1.429	1.545	1.283	1.311	1.038	0.729	0.128	-0.286	-0.516	-0.491
	0.540	0.548	0.526	0.535	0.511	0.493	0.468	0.465	0.459	0.469

Estación: Cuichapa, Ver.											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	1440
1970	258.00	168.00	128.00	126.00	102.00	80.00	70.00	54.40	44.00	36.90	
1971	181.20	123.00	118.00	120.00	98.40	97.60	84.90	70.10	62.50	53.80	
1972	276.00	160.80	107.20	89.10	89.20	76.60	72.20	61.40	49.10	41.00	4.71
1973	234.00	174.00	155.20	136.20	106.20	71.50	64.00	56.30	50.20	42.00	6.82
1974	180.00	121.20	100.00	83.40	67.00	54.90	47.00	37.80	32.30	27.20	3.42
1975	140.40	117.60	96.40	85.50	75.00	64.80	53.80	44.60	41.20	35.80	6.49
1976	98.40	90.60	88.00	78.00	78.40	58.50	47.00	53.30	46.40	46.90	6.90
1977	144.00	102.00	84.00	81.00	62.00	62.00	62.00	49.50	40.10	33.70	5.34
1978	240.00	150.00	124.00	109.50	99.00	77.80	66.00	56.60	44.90	37.50	3.71
1979	240.00	180.00	120.00	120.00	114.00	84.20	65.10	50.10	42.20	35.60	4.68
1980	222.00	162.00	144.00	117.00	95.80	89.80	79.00	64.50	53.80	45.00	4.42
1981	198.00	150.00	136.00	120.00	100.00	87.80	75.00	58.10	48.70	41.10	4.89
1982	240.00	149.40	122.40	120.00	100.00	83.10	70.00	57.40	50.10	42.50	7.04
1983	108.00	75.60	60.80	60.00	60.40	56.40	51.70	40.50	32.50	27.10	4.99
1984	54.00	49.80	44.00	43.80	37.20	34.40	31.90	27.20	23.00	19.70	3.80
1985	138.00	116.40	116.40	94.80	76.20	53.60	47.80	39.50	32.00	29.40	4.21
1986	146.40	128.40	108.40	91.80	83.40	77.00	65.20	58.10	50.60	42.30	3.93
1987	120.00	120.00	91.60	90.60	88.40	73.70	65.40	54.50	48.00	40.20	4.48
1988	126.00	119.40	107.20	107.10	78.40	53.90	50.40	43.00	38.80	32.70	4.13
1989	144.00	141.00	117.00	111.00	92.00	71.20	71.00	63.20	52.80	52.40	4.65
1990	120.00	120.00	92.80	84.60	80.00	73.80	61.70	55.90	55.80	53.90	6.67
1991	120.00	111.00	98.00	89.10	89.00	75.10	60.00	56.30	55.50	52.00	8.21
1992											5.58
1993											5.64
1994											6.19
1995											9.01
1996											3.85
1997											4.39
1998	169.473	128.645	107.245	98.114	85.091	70.805	61.868	52.377	45.205	39.486	5.313
1999	60.614	32.351	25.499	22.684	17.796	14.756	12.375	10.085	9.393	9.172	1.455
2000	0.169	-0.517	-0.557	-0.488	-0.872	-0.505	-0.462	-0.719	-0.562	-0.168	0.929
2001	0.358	0.251	0.238	0.231	0.209	0.208	0.200	0.193	0.208	0.232	0.274

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: La Cumbre, Pinar											
Duración, en minutos											
Año	5	10	15	20	30	45	60	90	100	120	1440
1951											2.54
1952											2.56
1953											1.85
1954											2.29
1955											1.92
1956											1.38
1957											1.08
1958											2.05
1959											1.82
1960											1.71
1961											1.25
1962	78.00	52.20	52.00	42.60	33.00	29.40	22.10	16.70	14.60	12.40	2.40
1963	66.00	39.00	32.00	28.20	28.80	28.70	26.80	26.10	21.80	19.00	2.17
1964	96.00	78.00	70.00	59.10	53.00	47.30	38.10	29.30	23.70	20.00	2.19
1965	<b>86.72</b>	<b>64.16</b>	<b>54.21</b>	<b>47.38</b>	<b>38.16</b>	<b>32.05</b>	<b>23.94</b>	<b>19.27</b>	<b>16.11</b>	<b>13.81</b>	1.19
1966	120.00	102.00	80.00	67.50	55.80	43.20	30.00	27.50	22.50	18.80	1.69
1967	108.00	78.00	64.00	61.50	54.00	43.40	29.90	22.70	18.60	16.00	1.49
1968	78.00	60.00	52.00	48.00	37.00	30.60	21.50	16.10	13.90	12.30	1.79
1969	102.00	87.00	68.00	57.60	39.20	29.70	20.30	15.20	12.40	10.40	2.05
1970	120.00	78.00	78.00	70.50	49.00	39.00	27.00	20.50	17.10	14.30	3.46
1971	37.20	30.00	28.00	24.00	20.40	15.80	10.50	8.00	6.50	5.50	1.85
1972	90.00	72.00	56.00	42.60	29.20	22.20	14.80	11.10	8.90	7.40	2.02
1973	144.00	79.20	56.40	47.40	36.00	33.00	23.70	19.70	16.80	15.10	2.72
1974	63.60	44.40	34.00	33.90	29.00	27.00	19.50	16.50	13.40	11.40	2.90
1975	51.60	34.20	26.80	21.60	16.00	15.90	11.00	8.30	6.70	6.10	2.55
1976	74.40	68.40	68.00	64.20	52.00	45.30	39.90	31.50	27.60	23.60	2.50
1977	72.00	60.00	48.00	42.00	40.00	30.30	24.00	19.90	17.10	14.90	
Media	86.720	64.160	54.213	47.380	38.160	32.053	23.940	19.273	16.107	13.813	2.049
Desv. Est.	27.628	20.165	17.035	15.274	12.074	9.615	8.242	6.992	5.959	5.067	0.572
Coef. Var.	0.301	-0.132	-0.268	-0.193	-0.099	-0.053	0.255	0.070	0.087	0.055	0.382
Coef. Cor.	0.319	0.314	0.314	0.322	0.316	0.300	0.344	0.363	0.370	0.367	0.279

1978											4.35
1979											4.17
1980											4.38
1981											4.17
1982											3.42
1983											3.04
1984											4.71
1985											4.33
1986											2.88
1987											4.04
1988											2.17
1989											2.79
1990											3.88
1991											3.18
1992											2.48
1993											3.28
1994											2.22
1995											4.17
1996	72.00	60.00	60.00	60.00	47.00	40.50	39.20	32.60	28.40	24.30	4.17
1997	90.00	61.20	61.20	51.60	40.40	34.10	28.70	23.30	22.60	21.80	7.33
1998	120.00	106.20	94.00	87.30	75.60	65.00	46.50	35.80	32.20	32.20	3.08
1999	120.00	91.80	81.20	72.00	59.00	54.80	45.00	40.10	37.50	34.30	4.62
2000	96.00	73.80	62.40	52.50	36.20	27.30	18.20	17.00	15.70	15.20	3.70
2001	120.00	120.00	98.00	90.00	80.00	77.10	67.00	59.30	50.00	41.70	3.91
2002	86.40	54.60	44.00	36.90	36.80	32.90	27.10	23.90	24.30	21.80	2.75
2003	235.20	173.40	117.60	89.70	66.80	45.10	34.10	26.30	24.20	23.80	4.09
2004	108.00	84.00	70.00	69.00	66.00	61.50	50.00	37.50	30.00	25.00	
Media	116.400	91.667	76.489	67.667	56.422	48.700	39.533	32.867	29.433	26.678	3.725
Desv. Est.	47.707	37.712	23.139	18.986	16.842	16.861	14.573	12.490	9.913	7.987	1.063
Coef. Var.	2.272	1.363	0.512	-0.181	0.047	0.406	0.483	1.080	0.999	0.699	1.412
Coef. Cor.	0.410	0.411	0.303	0.281	0.299	0.346	0.369	0.380	0.337	0.299	0.285

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	1440
											10 77
											4 02
											4 69
											7 20
											5 35
	108 00	96 00	80 00	78 00	62 40	51 00	43 90	33 20	27 10	22 70	4 27
	138 00	120 00	90 40	89 70	73 00	61 50	47 20	41 30	35 70	32 70	6 91
	136 00	105 00	94 40	91 10	76 80	74 30	58 80	51 50	47 20	41 80	5 97
	120 00	96 00	92 00	79 50	65 00	54 60	51 50	42 80	36 60	32 00	10 63
	182 40	94 80	63 20	47 40	31 90	23 70	15 80	15 00	13 60	11 50	4 43
	120 00	60 00	41 20	30 90	20 60	20 30	15 10	13 90	12 40	10 60	7 85
	114 00	93 00	80 00	67 50	63 00	60 00	43 60	40 00	35 80	36 80	6 97
	133 20	127 20	86 80	66 60	53 00	45 00	36 00	28 20	24 90	22 90	6 97
	72 00	58 80	45 20	39 00	35 00	33 00	28 50	25 50	22 10	19 50	8 51
	72 00	63 00	60 00	51 00	44 00	41 30	37 50	36 50	34 90	30 70	5 97
	84 00	69 00	58 00	57 00	46 00	39 30	38 10	35 90	32 20	27 60	5 90
	90 00	69 00	58 80	51 00	47 00	39 80	31 70	30 00	27 00	23 80	5 43
	114 00	84 00	70 00	67 50	57 00	48 00	43 00	36 30	31 40	28 60	6 77
1970	84 00	66 00	52 00	48 00	45 00	36 00	24 70	22 90	21 50	19 60	7 83
1971	84 00	57 00	52 00	45 00	37 00	30 80	22 50	21 80	20 70	18 00	4 90
1972	120 00	72 00	68 00	63 00	50 00	39 80	30 30	27 80	26 40	24 30	5 18
	120 00	90 00	81 20	81 00	63 00	56 00	43 10	35 50	34 10	30 70	11 07
	120 00	90 60	64 00	50 70	36 40	30 30	28 00	25 10	23 10	19 30	11 30
	114 00	79 20	68 00	67 80	67 20	59 00	45 80	38 60	31 80	28 00	7 29
	126 00	90 00	70 00	67 50	54 00	47 60	35 70	29 80	27 90	27 10	4 48
	120 00	72 00	72 00	72 00	49 80	39 80	30 00	26 30	22 70	21 00	
	113 029	83 457	68 914	62 543	51 290	44 338	35 752	31 329	28 052	25 200	6 826
	25 864	19 576	15 223	16 583	14 415	13 493	11 333	9 262	8 180	7 698	2 203
	0 490	0 591	0 023	0 046	-0 173	0 261	-0 046	0 029	0 122	0 068	0 823
	0 229	0 235	0 221	0 265	0 281	0 304	0 317	0 296	0 292	0 305	0 323

											9 44
											7 17
											9 50
											7 76
											6 71
											5 29
											11 75
	180 00	147 00	123 20	115 20	100 80	90 60	67 60	53 20	44 20	38 30	9 71
	150 00	125 40	114 40	100 80	80 00	78 00	69 50	55 50	44 90	37 90	6 26
	240 00	132 00	120 00	108 00	102 80	81 70	76 20	61 70	52 50	49 30	6 95
	158 40	121 80	119 20	116 10	95 00	89 40	76 40	62 40	60 40	53 80	9 82
	144 00	127 80	124 00	117 30	110 60	91 20	65 60	51 20	47 70	43 60	6 26
	189 60	159 60	142 40	129 00	120 20	106 00	87 70	67 50	54 10	45 10	8 26
	186 00	123 00	120 00	107 70	98 20	90 30	85 30	75 30	61 00	50 90	7 90
	186 00	148 20	138 40	117 90	95 00	84 80	59 00	44 30	36 40	30 80	8 57
	216 00	162 00	144 00	136 50	136 00	121 50	106 00	87 80	78 80	68 00	10 48
	228 00	174 00	160 00	147 00	126 00	99 80	67 70	58 20	53 50	47 10	8 23
	195 60	161 40	144 80	128 10	111 40	103 50	91 80	83 30	82 30	73 10	5 49
	156 00	144 00	136 00	131 40	115 00	102 00	79 40	78 00	70 50	60 00	7 88
	180 00	147 00	132 00	132 00	115 00	111 00	101 00	86 30	70 40	59 20	6 80
	246 00	162 00	126 00	111 00	89 00	83 30	69 00	62 30	61 90	53 00	4 65
	174 00	120 00	120 00	105 00	100 00	90 00	65 00	50 30	44 40	41 40	13 52
	174 00	147 00	128 00	115 50	99 20	84 30	70 70	60 10	49 00	44 20	8 59
	156 00	141 00	138 00	111 00	83 20	63 00	53 50	48 40	44 80	40 30	6 17
	202 40	156 60	122 00	121 50	101 00	85 40	80 60	71 60	60 90	58 40	9 48
	198 00	135 00	116 00	101 10	91 60	83 30	81 00	75 40	64 50	56 50	
	187 368	143 937	129 916	118 532	103 684	91 532	76 474	64 884	56 958	50 047	8 105
	29 481	16 072	12 169	12 608	14 437	13 295	13 611	13 284	12 547	10 819	2 073
	0 528	0 053	0 861	0 582	0 507	0 318	0 586	0 297	0 458	0 392	0 656
	0 157	0 112	0 094	0 106	0 139	0 145	0 178	0 205	0 220	0 216	0 256

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación de Toluca, Oax.											
Duración, en minutos											
Año	5	15	30	45	60	90	100	120	1440		
										1.75	
										1.88	
1951	104.40	74.40	64.80	53.70	38.00	29.60	22.60	17.10	14.00	11.70	1.75
1952	72.00	52.20	41.00	37.20	34.80	28.50	20.00	17.20	14.50	13.80	2.00
1953	116.40	96.00	78.00	78.00	68.00	58.50	42.40	32.10	26.40	22.90	2.08
1960	72.00	45.00	34.00	28.80	22.00	17.30	12.00	9.00	7.80	6.80	1.48
1961	54.00	30.00	19.50	14.80	11.70	8.70	28.28	6.80	6.30	5.80	1.13
	54.00	39.60	28.00	22.20	17.60	15.50	12.20	10.00	8.10	6.90	1.60
	96.00	49.20	40.80	33.90	24.80	19.50	16.00	13.40	11.10	9.80	1.92
	108.00	60.00	52.00	51.00	44.00	34.70	27.00	25.60	20.80	17.40	1.67
	69.60	48.00	35.60	27.60	19.60	16.20	12.60	10.10	9.40	8.90	1.19
	108.00	60.00	48.00	40.20	40.00	35.30	33.00	32.30	26.90	24.50	3.56
	108.00	97.20	76.00	63.30	44.40	35.40	31.20	27.50	26.50	23.50	2.92
	102.00	98.40	77.60	71.40	55.60	43.20	28.80	21.60	17.30	14.40	1.67
	105.60	92.40	72.80	58.20	55.40	46.70	34.90	27.00	22.30	19.40	1.92
	116.40	76.20	70.80	58.20	55.00	48.90	36.80	28.70	23.50	19.80	3.33
	110.40	91.20	73.60	67.20	66.20	64.80	55.70	45.20	37.80	31.70	2.72
	120.00	78.00	60.00	57.00	48.00	42.00	31.00	23.60	19.50	16.90	1.44
	120.00	90.00	64.00	48.30	41.00	34.40	25.10	21.50	19.00	16.30	4.17
	126.00	80.40	74.80	61.50	44.60	36.00	29.70	24.50	21.40	18.50	4.29
	91.20	69.00	59.20	54.90	49.80	44.00	33.00	25.20	20.20	16.80	1.50
	108.00	72.00	58.40	54.00	46.00	39.50	31.60	25.40	21.10	18.10	2.04
	120.00	72.00	56.00	45.60	40.00	33.00	30.00	32.30	30.60	28.50	
	99.143	70.057	56.376	48.905	41.262	34.843	28.280	22.671	19.262	16.781	2.181
	21.949	20.488	17.704	16.680	15.331	14.219	10.434	9.470	8.107	7.044	0.915
	-0.987	-0.290	-0.546	-0.387	-0.261	0.104	0.471	0.184	0.239	0.267	1.229
	0.221	0.292	0.314	0.341	0.372	0.408	0.369	0.418	0.421	0.420	0.420

Estación de Puebla, Oax.											
Duración, en minutos											
Año	5	15	30	45	60	90	100	120	1440		
											6.23
											8.40
											9.02
											10.22
	214.80	150.00	144.40	139.50	130.60	116.40	85.70	65.90	52.70	43.90	5.94
	240.00	216.00	174.80	164.70	150.00	133.00	129.00	109.70	100.30	91.50	21.35
	169.00	132.60	132.00	121.20	118.40	112.70	93.30	72.60	59.80	51.90	6.19
	174.00	138.00	122.40	118.50	98.00	96.00	88.00	68.70	55.80	47.60	7.80
	216.00	152.40	120.00	104.40	98.00	85.50	66.50	59.30	54.90	52.50	7.84
	180.00	147.00	119.20	108.00	99.20	99.20	91.40	85.80	82.10	71.90	9.35
	235.20	176.40	147.60	120.30	106.00	91.50	77.10	59.00	47.30	39.40	8.21
	120.00	120.00	106.00	105.00	105.00	96.60	71.90	59.60	53.20	45.20	14.53
	156.00	125.40	96.40	90.00	90.00	87.60	63.90	51.60	43.10	42.70	11.20
	122.40	105.60	102.40	99.00	98.40	89.00	68.80	61.40	55.30	52.10	8.84
	240.00	198.00	176.00	153.00	123.00	109.50	96.00	77.60	62.70	53.10	7.36
	120.00	120.00	120.00	95.40	70.00	63.00	58.00	48.40	40.20	35.00	8.10
	156.00	141.00	124.00	118.50	108.00	94.50	84.00	75.80	65.40	55.80	12.92
	132.00	120.00	110.00	99.00	84.00	67.50	50.50	48.00	41.70	39.80	8.13
	120.00	114.00	102.00	94.50	88.60	88.50	76.50	60.30	49.20	41.50	9.40
	156.00	127.20	96.00	90.00	90.00	75.80	70.70	66.60	58.50	49.60	7.50
	108.00	142.68	72.00	61.50	58.00	49.50	38.30	40.50	35.40	30.30	13.65
	132.00	120.00	108.00	105.90	83.80	74.10	57.40	45.50	37.00	31.20	9.66
	150.00	150.00	132.00	111.00	87.00	80.40	80.40	73.50	66.30	59.30	10.54
	240.00	180.00	160.00	147.00	113.00	96.80	87.00	78.80	69.60	61.00	9.44
	180.00	120.00	120.00	99.00	87.00	82.50	70.00	57.40	50.00	45.00	
	169.590	142.680	123.105	111.686	99.333	89.981	76.400	65.048	56.214	49.538	9.659
	45.152	28.827	26.187	23.920	20.555	18.950	19.101	15.746	15.284	13.896	3.327
	0.419	1.183	0.494	0.501	0.475	0.108	0.600	0.983	1.248	1.407	2.108
	0.266	0.202	0.213	0.214	0.207	0.211	0.250	0.242	0.272	0.281	0.344



Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: *San Juan de los Rios, Oax.*

Duración, en minutos

Año	5	10	15	20	30	45	60	90	100	120	1440
1950											2.63
1951											3.17
1952											1.42
1953											2.83
1954											2.83
1955											0.98
1956											1.92
1957											1.69
1958											2.38
1959											1.48
1960											1.17
1961											1.80
1962											2.18
1963	115.20	109.20	75.60	62.70	46.00	39.00	30.60	23.10	18.50	15.70	1.41
1964	60.00	51.60	36.00	29.10	26.00	21.90	15.10	11.30	10.00	8.50	1.15
1965	108.00	54.60	43.20	33.60	23.80	18.30	13.30	10.00	8.00	6.70	4.25
1966	78.00	48.00	38.00	33.00	29.00	23.60	17.00	13.90	11.50	9.60	1.63
1967	74.40	48.60	33.60	26.40	17.80	14.10	10.10	7.70	6.20	5.20	1.83
1968	68.40	39.60	26.80	21.00	16.20	12.50	11.20	11.00	8.90	7.60	1.83
1969	72.00	48.00	40.00	31.50	28.00	25.50	21.00	18.80	15.60	13.50	1.93
1970	120.00	60.00	60.00	57.00	40.00	30.30	21.20	16.80	13.80	12.30	1.88
1971	69.60	42.00	36.00	28.50	22.60	19.80	18.40	13.80	11.20	9.70	1.94
1972	96.00	59.40	39.60	29.70	19.80	14.90	10.00	9.00	8.20	7.50	
1973	86.16	56.1	42.88	35.25	26.920	21.99	16.790	13.540	11.190	9.630	2.015
1974	21.709	19.795	14.322	13.515	9.537	8.126	6.392	4.814	3.807	3.285	0.761
1975	0.564	2.524	1.620	1.497	1.078	0.978	1.045	0.858	0.747	0.663	1.310
1976	0.252	0.353	0.334	0.383	0.354	0.370	0.381	0.356	0.340	0.341	0.378

Estación: *San Juan de los Rios, Oax.*

Duración, en minutos

Año	5	10	15	20	30	45	60	90	100	120	1440
1977											5.98
1978	216.00	146.40	102.80	90.00	71.00	59.90	46.00	34.70	27.80	23.20	3.29
1979	192.00	114.00	89.60	79.20	71.20	59.60	42.60	36.40	34.50	31.00	3.81
1980	168.00	126.00	123.20	120.00	117.60	96.50	70.00	68.30	55.10	48.80	6.68
1981	202.80	156.60	131.60	128.10	99.40	83.00	61.60	47.20	43.50	37.00	5.72
1982	150.00	132.00	104.00	90.00	68.00	60.00	44.00	34.10	28.10	23.80	6.33
1983	180.00	138.00	136.00	121.20	94.00	81.00	66.40	51.40	42.60	36.00	5.58
1984	123.60	109.80	95.60	82.50	78.00	59.00	41.80	31.70	25.60	23.50	4.17
1985	146.40	139.80	108.00	103.80	83.20	72.00	62.30	51.00	43.60	40.90	4.60
1986	144.00	122.40	105.60	97.50	92.00	79.80	57.20	43.20	34.70	28.90	4.01
1987	120.00	111.00	100.00	91.50	91.00	84.00	78.00	70.00	58.80	54.10	6.52
1988	180.00	138.00	120.00	103.50	99.80	85.50	63.40	48.80	40.70	39.50	5.50
1989	126.00	123.60	102.80	91.80	81.60	75.50	55.50	42.90	35.20	29.60	5.55
1990	180.00	162.00	148.00	147.00	146.00	137.00	108.00	91.10	73.40	61.40	9.54
1991	164.40	117.60	116.00	108.00	92.00	75.00	64.00	53.10	43.10	36.40	4.60
1992	168.00	162.00	122.00	100.50	80.00	76.50	70.00	52.70	42.10	35.10	5.67
1993	84.00	72.00	64.00	52.80	44.60	33.60	22.40	17.00	14.10	12.40	5.16
1994	120.00	120.00	120.00	105.00	105.00	105.00	89.50	76.10	61.30	51.10	4.69
1995	120.00	105.00	82.00	66.30	44.80	33.80	26.60	23.00	18.40	15.40	6.28
1996											7.28
1997											4.67
1998											6.11
1999	154.733	127.567	109.511	98.817	86.622	75.372	59.406	48.483	40.144	34.894	5.533
2000	34.673	22.398	20.180	22.211	23.998	24.116	20.880	18.809	15.172	13.167	1.357
2001	-0.141	-0.473	-0.273	0.079	0.422	0.526	0.356	0.559	0.400	0.270	1.007
2002	0.224	0.176	0.184	0.225	0.277	0.320	0.351	0.388	0.378	0.377	0.245

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación: Palmar de Bravo, Pue.											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	
1971	84.00	51.00	38.00	30.00	23.00	22.20	16.30	12.40	9.90	8.30	
1972	102.00	66.00	66.00	55.20	40.80	32.40	23.00	17.70	14.60	12.70	
1973	120.00	82.20	76.00	69.00	50.00	38.00	26.80	20.60	16.80	14.00	
1974	51.60	30.60	24.00	21.00	18.00	16.50	13.00	9.90	8.00	7.00	
1975	42.00	30.00	30.00	30.00	23.40	19.40	13.80	10.70	8.60	7.40	
1976	54.00	42.00	35.20	26.70	22.00	17.70	13.30	10.70	9.00	8.20	
1977	78.00	40.80	28.40	22.20	16.40	12.30	8.70	9.20	8.00	7.00	
1978	75.943	48.943	42.514	36.300	27.657	22.643	16.414	13.029	10.700	9.229	
1979	28.622	19.196	20.188	18.398	12.674	9.228	6.311	4.375	3.534	2.887	
1980	0.395	0.921	1.103	1.272	1.231	0.908	0.797	1.181	1.228	1.167	
1981	0.377	0.392	0.475	0.507	0.458	0.408	0.384	0.336	0.330	0.313	

Estación: Papaloapan, Oax.											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	20	30	40	60	80	100	120	1440
1966	168.00	126.00	110.80	90.00	67.40	53.90	53.40	45.50	36.70	30.70	
1967	240.00	180.00	160.00	141.00	110.80	89.40	75.00	62.60	52.70	44.30	
1968	120.00	94.80	80.00	63.30	56.00	41.10	31.40	27.40	28.10	25.00	
1969	216.00	132.00	136.00	120.00	104.00	75.40	60.00	47.30	44.30	38.50	4.67
1970	174.00	133.20	121.60	109.20	94.40	79.50	64.70	53.20	47.70	43.50	5.15
1971	138.00	108.00	84.00	78.00	61.00	54.10	53.50	48.80	47.00	41.30	4.72
1972	150.00	124.00	108.00	92.70	73.80	56.10	43.70	34.30	32.40	28.80	4.23
1973	258.00	183.00	170.00	147.00	116.00	95.00	73.60	57.00	48.40	41.30	5.76
1974	216.00	165.00	136.00	112.50	94.00	82.50	74.70	62.60	54.10	45.50	5.42
1975	198.00	144.00	120.00	111.00	87.80	73.80	57.80	43.50	34.80	29.00	5.29
1976	144.00	108.00	98.00	88.50	72.00	65.20	54.00	58.90	54.00	47.00	5.90
1977	132.00	109.20	94.00	81.00	68.00	58.10	53.50	47.60	45.60	42.00	7.11
1978	214.80	127.80	94.40	90.00	80.00	71.60	63.50	59.60	51.40	44.90	5.83
1979	204.00	119.00	93.90	85.50	77.00	63.20	62.50	58.50	56.70	50.00	4.54
1980	140.40	108.00	90.00	92.10	79.00	72.00	56.80	43.70	35.70	30.30	5.72
1981	138.00	120.00	98.00	90.00	80.40	63.20	56.50	48.40	45.30	40.30	4.28
1982	168.00	121.80	104.00	96.00	89.40	75.90	68.10	67.40	55.40	46.30	4.92
1983	162.00	161.40	146.00	145.50	120.60	90.60	70.10	54.00	43.40	36.20	4.45
1984	180.00	180.00	178.40	177.00	166.00	138.30	107.00	80.80	64.60	53.90	5.68
1985	102.00	93.00	87.20	87.00	83.00	66.50	53.70	46.90	40.00	33.30	3.71
1986	156.00	120.00	106.00	105.60	89.00	68.50	58.00	43.50	34.80	30.30	5.38
1987	180.00	177.00	172.00	171.00	144.00	124.40	107.50	89.30	77.80	66.40	7.17
1988	114.00	111.00	96.00	85.50	72.00	65.20	55.00	47.60	44.50	44.50	6.29
1989	156.00	150.00	140.00	136.50	114.00	80.50	69.50	52.10	41.70	34.80	5.30
1990	147.60	147.00	120.00	114.00	90.00	74.50	57.50	45.90	37.60	32.30	4.32
1991	126.00	120.00	116.00	93.00	84.00	70.50	63.00	59.30	55.80	50.30	7.97
1992	120.00	120.00	104.00	81.60	57.60	38.60	29.00	21.80	17.50	14.60	4.95
1993	108.00	51.00	34.00	25.50	19.80	14.90	12.50	9.90	8.10	6.80	5.77
1994	105.60	89.40	76.00	64.50	46.80	35.00	23.70	18.00	14.50	12.10	6.14
1995	90.00	72.60	70.40	63.00	45.60	37.10	27.10	20.60	16.70	14.00	
1996	158.88	126.54	111.49	101.25	84.780	69.15333	57.877	48.533	42.243	36.607	5.410
1997	42.680	31.868	32.592	32.757	29.372	24.674	20.537	17.322	15.122	13.194	0.993
1998	0.544	0.002	0.267	0.454	0.596	0.606	0.218	-0.146	-0.304	-0.404	0.736
1999	0.269	0.252	0.292	0.324	0.346	0.357	0.355	0.357	0.358	0.360	0.184

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Estación Quilicura, Chile											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	30	45	60	90	120	150	1660	
1956	176.40	118.20	78.80	64.50	55.80	39.50	32.00	24.80	21.40	18.30	
1957	240.00	156.00	132.00	112.50	86.40	62.20	47.70	36.50	30.00	25.80	
1958	94.80	60.00	57.60	58.80	51.20	38.20	29.20	23.90	20.30	18.00	
1959	96.00	78.00	68.00	63.30	60.80	59.90	35.50	28.30	23.50	20.70	2.64
1960	78.00	48.00	40.80	40.50	35.40	24.10	21.80	17.80	14.90	12.90	1.88
1961	90.00	75.00	66.00	66.30	61.20	44.20	33.20	25.10	20.30	16.90	1.50
1962	102.00	73.20	58.80	51.30	36.00	24.70	19.10	15.70	13.30	11.30	1.59
1963	96.00	60.00	67.20	54.00	45.80	32.40	24.50	18.40	15.80	14.20	1.85
1964	117.60	81.40	78.40	73.80	67.80	55.50	49.20	37.90	30.60	26.00	2.59
1965	135.60	81.00	66.00	52.20	52.40	45.90	33.40	29.60	24.80	22.00	2.52
1966	120.00	78.00	70.00	60.00	53.00	45.00	40.00	31.90	26.10	22.50	3.89
1967	121.20	120.00	96.00	77.40	60.00	59.30	51.90	40.50	32.60	27.30	2.63
1968	40.80	27.00	24.00	21.00	18.00	17.70	14.50	14.20	12.00	10.30	1.76
1969	18.00	13.20	10.80	8.70	7.40	6.90	6.50	6.50	5.70	5.60	2.78
1970	72.00	48.00	36.00	30.00	24.40	20.70	16.00	12.80	10.20	8.50	1.28
1971	26.40	24.00	18.80	16.50	12.60	9.80	6.70	5.30	4.70	4.10	2.23
1972	123.60	61.80	39.20	37.50	25.80	19.50	13.00	9.80	7.80	6.60	0.82
1973	126.00	93.00	78.00	70.50	59.00	47.00	32.90	25.70	21.80	19.30	2.13
1974	114.00	66.00	48.00	39.00	31.00	24.80	17.00	14.40	13.70	12.70	2.68
1975	116.40	58.20	52.00	42.30	30.40	25.70	20.40	15.80	12.90	10.80	2.70
1976	67.20	60.00	60.00	46.50	31.40	23.60	15.70	11.80	9.40	7.90	2.35
1977	90.00	60.00	54.00	51.00	40.00	31.20	21.50	16.30	13.20	11.00	1.88
1978	39.60	30.00	24.80	21.60	17.60	16.50	14.00	11.50	10.20	8.70	3.83
1979	44.40	30.00	24.80	21.60	17.60	14.30	11.90	9.60	9.00	8.80	1.68
1980	66.00	45.00	32.00	25.80	19.00	15.60	12.00	10.10	7.70	7.20	1.42
1981	114.00	60.00	48.00	44.10	36.00	29.60	20.50	15.60	12.90	10.80	2.46
1982	26.40	16.80	12.80	11.10	8.60	8.00	7.80	7.10	6.20	5.50	2.40
1983	84.00	60.00	60.00	60.00	44.20	34.20	24.00	19.50	16.40	14.50	3.80
1984	102.00	69.00	56.80	58.20	47.80	37.80	25.70	19.30	15.40	12.90	1.62
1985	120.00	106.80	80.00	75.00	54.60	41.00	27.30	20.50	16.40	13.70	
1986	95.28	65.25333	54.65333	48.48	39.707	31.82667	24.297	19.207	15.973	13.827	2.227
1987	45.981	31.883	26.270	23.093	19.531	15.791	12.486	9.473	7.664	6.514	0.712
1988	0.804	0.773	0.592	0.365	0.199	0.331	0.647	0.675	0.608	0.583	0.420
1989	0.483	0.489	0.481	0.476	0.492	0.496	0.514	0.493	0.480	0.471	0.320

Estación Quilicura, Chile											
Año	Duración, en minutos										
	5	10	15	30	45	60	90	120	150	1660	
1990					22.00	55.30	40.10	30.40	15.50	3.48	
1991					57.60	32.00	22.10	16.80	9.30	1.54	
1992					77.40	41.50	31.50	24.90	13.10	2.19	
1993					27.40	17.70	16.90	13.50	7.30	1.63	
1994					100.00	62.00	48.60	37.60	20.70	3.60	
1995					26.00	18.00	13.40	11.30	7.00	2.33	
1996					39.00	25.40	18.00	15.50	10.40	2.16	
1997					27.40	17.10	12.90	10.50	5.50	1.17	
1998					46.00	41.40	36.30	28.80	18.60	3.90	
1999					66.60	47.50	34.20	26.80	15.30	2.98	
2000					28.00	19.60	18.30	14.40	9.90	1.73	
2001					17.00	10.70	7.70	5.80	2.90	2.90	
2002										2.00	
2003										1.81	
2004										1.31	
2005										2.00	
2006										1.67	
2007										1.29	
2008										2.50	
2009										2.38	
2010										1.67	
2011										1.46	
2012					44.533	32.350	25.000	19.692	11.292	2.166	
2013					25.791	16.879	12.748	9.705	5.427	0.778	
2014					1.054	0.475	0.494	0.441	0.293	0.884	
2015					0.579	0.522	0.510	0.493	0.481	0.359	

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

*Estación: San Juan Evangelista, Ver.*

*Duración, en minutos*

Año	5	10	15	20	30	40	60	90	100	120
1971	90.00	51.00	40.00	34.50	26.00	21.30	14.60	11.20	10.20	9.70
1972	156.00	126.00	126.00	118.50	111.00	97.20	70.60	56.70	47.00	40.30
1973	114.00	78.00	76.00	69.60	58.80	44.70	32.30	24.80	19.90	16.60
1974	90.00	66.60	50.00	39.90	34.20	27.80	18.50	14.00	11.20	9.40
1975	120.00	120.00	108.00	96.00	96.00	79.10	55.00	42.10	33.70	28.10
1976	223.20	164.40	137.60	111.00	85.40	69.80	62.20	48.70	38.90	32.50
1977	138.00	117.00	96.00	85.50	66.60	55.50	41.80	32.70	26.80	22.90
Media	133.029	103.286	90.514	79.286	68.286	56.486	42.143	32.886	26.814	22.786
Desv. Est.	46.400	39.660	37.004	32.945	31.433	27.529	21.572	17.294	13.956	11.677
Cv	1.348	0.145	-0.202	-0.357	-0.089	0.141	-0.042	0.035	0.137	0.229
Cs	0.349	0.384	0.409	0.416	0.460	0.487	0.512	0.526	0.520	0.512

*Duración, en minutos*

Año	5	10	15	20	30	40	60	90	100	120	144
1978							39.00				
1979					44.00		34.00			18.10	2.08
1980					41.00		22.20			17.40	1.71
1981					23.00		19.70	14.70		11.30	1.96
1982					33.40		22.50	13.50		10.10	2.96
1983					27.00	21.80	16.10	12.80	11.10	9.70	1.33
1984	66.00	58.80	39.20	31.20	27.00	21.80	16.10	12.80	11.10	9.70	1.33
1985	48.00	38.40	29.60	22.20	14.80	11.10	7.90	6.10	4.90	4.20	1.44
1986	48.00	42.00	32.80	27.00	18.80	14.40	9.80	7.70	6.30	5.30	1.69
1987	90.00	45.60	30.80	23.40	15.80	12.20	12.00	10.00	8.10	7.00	1.72
1988	108.00	60.00	56.00	47.10	39.00	35.00	25.80	19.90	16.10	13.50	2.63
1989	108.00	57.60	38.80	36.00	30.20	25.50	21.80	21.50	18.50	17.50	2.46
1990	72.00	60.00	44.40	35.40	24.00	22.50	17.30	15.00	16.50	14.50	
Media	77.143	51.771	38.800	31.757	28.273	20.357	20.675	13.467	11.643	11.691	1.998
Desv. Est.	25.557	9.409	9.238	8.668	10.143	8.517	9.227	5.121	5.437	4.942	0.532
Cv	0.138	-0.532	1.112	0.778	0.218	0.657	0.626	0.188	0.032	-0.125	0.638
Cs	0.331	0.182	0.238	0.273	0.359	0.418	0.446	0.380	0.467	0.423	0.266

*Estación: San Juan Evangelista, Ver.*

*Duración, en minutos*

Año	5	10	15	20	30	40	60	90	100	120	144
1991											3.52
1992											2.83
1993											1.34
1994											1.75
1995											3.33
1996											2.02
1997											1.95
1998											1.48
1999											1.56
2000											1.75
2001											1.37
2002											2.08
2003											2.13
2004	120.00	103.80	82.40	69.30	65.80	57.60	39.90	29.90	23.90	20.10	2.75
2005	49.20	24.60	16.40	12.30	8.20	7.40	6.40	6.00	5.30	4.50	1.04
2006	36.00	33.00	28.00	22.50	18.00	18.00	13.30	10.00	8.00	6.70	2.08
2007	<b>71.47</b>	<b>51.47</b>	<b>40.40</b>	<b>33.87</b>	<b>28.27</b>	<b>23.98</b>	<b>16.98</b>	<b>13.37</b>	<b>11.04</b>	<b>9.52</b>	1.85
2008	72.00	54.00	44.00	39.00	30.20	23.00	15.30	11.50	9.20	7.70	2.29
2009	78.00	54.00	40.00	30.60	24.80	20.10	15.20	11.90	9.70	8.10	2.01
2010	42.00	33.60	29.60	25.50	18.00	17.30	13.00	10.00	8.40	7.20	1.93
2011	84.00	49.20	33.60	25.80	20.40	17.00	11.70	9.50	8.30	8.20	3.80
2012	84.00	57.00	44.00	42.00	35.00	30.00	21.00	16.50	13.70	11.80	1.79
2013	78.00	54.00	45.60	37.80	34.00	25.40	17.00	15.00	12.90	11.40	
Media	71.467	51.467	40.400	33.867	28.267	23.978	16.978	13.367	11.044	9.522	2.121
Desv. Est.	24.443	21.540	17.352	15.288	15.557	13.286	8.924	6.527	5.140	4.298	0.717
Cv	0.357	1.558	1.516	1.266	1.572	1.940	2.083	2.004	1.927	1.800	1.006
Cs	0.342	0.419	0.429	0.451	0.550	0.554	0.526	0.488	0.465	0.451	0.338

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

*Estación: San José de los Ríos*

Duración, en minutos

Año	5	15	30	45	60	90	100	120	1440	
1952	98.40	61.20	54.00	43.80	30.40	27.30	19.60	15.30	13.30	3.90
1953	124.80	87.00	78.00	61.50	46.80	35.30	23.60	17.70	14.60	1.91
1954	93.60	57.00	52.00	45.00	33.00	30.00	21.20	16.10	13.00	3.50
1955	123.60	97.80	73.20	57.90	39.60	29.70	20.00	16.10	15.60	2.66
1956	84.00	58.20	40.40	35.70	26.00	20.60	17.00	17.00	15.20	2.04
1957	66.00	54.00	46.80	39.60	30.00	26.10	21.00	17.20	14.30	10.65
1958	60.00	45.00	32.00	26.40	18.20	16.80	15.20	13.20	12.60	1.84
1959	48.00	36.00	28.00	22.50	20.20	17.40	14.00	12.80	11.20	1.22
1960	144.00	123.60	104.40	96.30	79.20	62.60	42.90	33.50	27.70	3.64
1961	114.00	64.20	52.80	48.30	40.60	37.10	27.00	20.90	19.00	3.85
1962	84.00	54.00	46.00	42.00	41.40	36.00	25.20	20.70	16.80	2.02
1963	60.00	54.00	49.20	48.90	42.20	35.60	25.30	20.30	16.40	2.08
1964	81.60	54.66	44.17	37.66	29.41	24.18	17.57	14.28	12.29	10.65
1965	48.00	29.40	22.00	21.60	15.80	12.60	9.00	7.50	6.50	2.23
1966	36.00	29.40	24.00	21.00	16.40	12.90	9.30	7.50	6.50	2.04
1967	36.00	27.00	22.80	18.00	13.40	10.20	8.10	6.80	6.30	4.25
1968	42.00	25.80	17.60	13.50	13.50	8.00	7.10	7.10	6.00	2.21
1969	48.00	31.20	22.80	17.40	14.00	12.00	8.50	6.80	5.50	2.40
1970	180.00	60.00	43.60	32.70	21.80	16.40	10.90	8.20	6.50	1.98
1971	60.00	43.80	29.60	23.40	16.20	12.80	8.90	6.70	5.30	
Media	81.600	54.663	44.168	37.658	29.405	24.179	17.568	14.284	12.289	2.651
Desv. Est.	39.371	24.948	21.809	19.568	16.039	13.148	8.831	6.802	5.716	1.668
Coeff.	0.950	1.296	1.226	1.406	1.610	1.269	1.137	1.015	0.799	1.473
Coef. de	0.482	0.456	0.494	0.520	0.545	0.544	0.503	0.476	0.465	0.403

*Estación: San José de los Ríos, Que.*

Duración, en minutos

Año	5	15	30	45	60	90	100	120	1440	
1952	60.00	48.00	34.00	26.10	19.00	15.80	13.90	11.40	10.30	9.90
1953	18.00	15.60	12.00	10.50	8.00	7.50	6.00	5.10	4.50	4.20
1954	50.40	30.00	22.40	18.00	16.00	14.30	10.70	9.20	8.50	7.30
1955	60.00	48.00	33.20	26.40	20.00	15.00	10.00	7.70	6.10	5.10
1956	25.20	18.00	16.00	13.50	13.00	12.00	9.50	7.90	7.20	6.40
1957	36.00	25.80	19.20	16.50	13.80	10.50	7.00	5.90	4.80	4.20
1958	76.80	45.00	31.60	24.30	17.60	13.40	9.00	7.10	6.00	5.30
1959	156.00	156.00	124.00	106.50	77.00	58.10	38.80	29.10	23.30	19.40
1960	48.00	33.00	26.00	21.00	14.40	11.00	7.50	6.10	5.30	4.50
1961	60.00	52.80	35.20	27.00	18.60	14.40	9.70	7.40	5.90	4.90
1962	60.00	42.00	32.00	27.00	26.40	21.90	16.90	13.50	11.10	9.70
Media	59.127	46.745	35.055	28.800	22.164	17.627	12.636	10.036	8.455	7.355
Desv. Est.	36.438	38.349	30.537	26.410	18.778	13.910	9.213	6.786	5.380	4.487
Coeff.	2.000	2.674	2.909	3.023	2.952	2.922	2.696	2.602	2.440	2.239
Coef. de	0.616	0.820	0.871	0.917	0.847	0.789	0.729	0.676	0.636	0.610

*Estación: San José de los Ríos, Que.*

Duración, en minutos

Año	5	15	30	45	60	90	100	120	1440	
1952	66.00	54.00	54.00	47.10	35.60	27.80	19.80	15.90	13.30	11.70
1953	54.00	37.20	30.40	23.10	15.80	12.00	8.10	6.10	5.00	4.40
1954	24.00	18.00	13.60	10.20	6.80	5.30	4.00	3.10	2.50	2.10
1955	114.00	63.00	48.00	37.50	26.80	20.10	14.80	11.30	9.60	8.40
1956	54.00	42.60	38.40	37.80	34.60	28.10	18.70	14.00	11.30	10.50
1957	42.00	27.00	21.60	19.50	15.20	13.70	11.70	9.70	8.20	7.00
1958	72.00	60.00	56.80	46.80	34.20	28.50	19.20	14.70	11.80	9.80
1959	25.20	16.80	14.40	13.20	10.00	8.30	6.50	5.90	5.30	4.50
1960	120.00	63.00	46.00	36.00	35.00	18.90	14.20	10.90	8.70	7.30
1961	55.20	42.60	33.60	27.60	19.80	17.10	13.30	10.70	9.00	7.60
Media	62.64	42.42	35.68	29.88	23.380	17.98	13.030	10.230	8.470	7.330
Desv. Est.	32.579	17.664	15.699	13.189	11.206	8.328	5.486	4.151	3.364	2.991
Coeff.	0.821	-0.271	-0.172	-0.157	-0.184	-0.019	-0.338	-0.364	-0.411	-0.308
Coef. de	0.520	0.416	0.440	0.441	0.479	0.463	0.421	0.406	0.397	0.408

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	100	120	140
															3.31
															2.83
															<b>2.28</b>
90.00	96.00	98.00	96.10	93.40	91.80	87.00	86.00	81.70	81.70	77.00	75.70	71.20	67.30	63.20	59.10
108.00	110.00	108.00	106.10	103.40	101.80	97.00	96.00	91.70	91.70	87.00	85.70	81.20	77.30	73.20	69.10
126.00	128.00	126.00	124.10	121.40	119.80	115.00	114.00	109.70	109.70	105.00	103.70	99.20	95.30	91.20	87.10
144.00	146.00	144.00	142.10	139.40	137.80	133.00	132.00	127.70	127.70	123.00	121.70	117.20	113.30	109.20	105.10
162.00	164.00	162.00	160.10	157.40	155.80	151.00	150.00	145.70	145.70	141.00	139.70	135.20	131.30	127.20	123.10
180.00	182.00	180.00	178.10	175.40	173.80	169.00	168.00	163.70	163.70	159.00	157.70	153.20	149.30	145.20	141.10
198.00	200.00	198.00	196.10	193.40	191.80	187.00	186.00	181.70	181.70	177.00	175.70	171.20	167.30	163.20	159.10
216.00	218.00	216.00	214.10	211.40	209.80	205.00	204.00	199.70	199.70	195.00	193.70	189.20	185.30	181.20	177.10
234.00	236.00	234.00	232.10	229.40	227.80	223.00	222.00	217.70	217.70	213.00	211.70	207.20	203.30	199.20	195.10
252.00	254.00	252.00	250.10	247.40	245.80	241.00	240.00	235.70	235.70	231.00	229.70	225.20	221.30	217.20	213.10
270.00	272.00	270.00	268.10	265.40	263.80	259.00	258.00	253.70	253.70	249.00	247.70	243.20	239.30	235.20	231.10
288.00	290.00	288.00	286.10	283.40	281.80	277.00	276.00	271.70	271.70	267.00	265.70	261.20	257.30	253.20	249.10
306.00	308.00	306.00	304.10	301.40	299.80	295.00	294.00	289.70	289.70	285.00	283.70	279.20	275.30	271.20	267.10
324.00	326.00	324.00	322.10	319.40	317.80	313.00	312.00	307.70	307.70	303.00	301.70	297.20	293.30	289.20	285.10
342.00	344.00	342.00	340.10	337.40	335.80	331.00	330.00	325.70	325.70	321.00	319.70	315.20	311.30	307.20	303.10
360.00	362.00	360.00	358.10	355.40	353.80	349.00	348.00	343.70	343.70	339.00	337.70	333.20	329.30	325.20	321.10
378.00	380.00	378.00	376.10	373.40	371.80	367.00	366.00	361.70	361.70	357.00	355.70	351.20	347.30	343.20	339.10
396.00	398.00	396.00	394.10	391.40	389.80	385.00	384.00	379.70	379.70	375.00	373.70	369.20	365.30	361.20	357.10
414.00	416.00	414.00	412.10	409.40	407.80	403.00	402.00	397.70	397.70	393.00	391.70	387.20	383.30	379.20	375.10
432.00	434.00	432.00	430.10	427.40	425.80	421.00	420.00	415.70	415.70	411.00	409.70	405.20	401.30	397.20	393.10
450.00	452.00	450.00	448.10	445.40	443.80	439.00	438.00	433.70	433.70	429.00	427.70	423.20	419.30	415.20	411.10
468.00	470.00	468.00	466.10	463.40	461.80	457.00	456.00	451.70	451.70	447.00	445.70	441.20	437.30	433.20	429.10
486.00	488.00	486.00	484.10	481.40	479.80	475.00	474.00	469.70	469.70	465.00	463.70	459.20	455.30	451.20	447.10
504.00	506.00	504.00	502.10	499.40	497.80	493.00	492.00	487.70	487.70	483.00	481.70	477.20	473.30	469.20	465.10
522.00	524.00	522.00	520.10	517.40	515.80	511.00	510.00	505.70	505.70	501.00	499.70	495.20	491.30	487.20	483.10
540.00	542.00	540.00	538.10	535.40	533.80	529.00	528.00	523.70	523.70	519.00	517.70	513.20	509.30	505.20	501.10
558.00	560.00	558.00	556.10	553.40	551.80	547.00	546.00	541.70	541.70	537.00	535.70	531.20	527.30	523.20	519.10
576.00	578.00	576.00	574.10	571.40	569.80	565.00	564.00	559.70	559.70	555.00	553.70	549.20	545.30	541.20	537.10
594.00	596.00	594.00	592.10	589.40	587.80	583.00	582.00	577.70	577.70	573.00	571.70	567.20	563.30	559.20	555.10
612.00	614.00	612.00	610.10	607.40	605.80	601.00	600.00	595.70	595.70	591.00	589.70	585.20	581.30	577.20	573.10
630.00	632.00	630.00	628.10	625.40	623.80	619.00	618.00	613.70	613.70	609.00	607.70	603.20	599.30	595.20	591.10
648.00	650.00	648.00	646.10	643.40	641.80	637.00	636.00	631.70	631.70	627.00	625.70	621.20	617.30	613.20	609.10
666.00	668.00	666.00	664.10	661.40	659.80	655.00	654.00	649.70	649.70	645.00	643.70	639.20	635.30	631.20	627.10
684.00	686.00	684.00	682.10	679.40	677.80	673.00	672.00	667.70	667.70	663.00	661.70	657.20	653.30	649.20	645.10
702.00	704.00	702.00	700.10	697.40	695.80	691.00	690.00	685.70	685.70	681.00	679.70	675.20	671.30	667.20	663.10
720.00	722.00	720.00	718.10	715.40	713.80	709.00	708.00	703.70	703.70	699.00	697.70	693.20	689.30	685.20	681.10
738.00	740.00	738.00	736.10	733.40	731.80	727.00	726.00	721.70	721.70	717.00	715.70	711.20	707.30	703.20	699.10
756.00	758.00	756.00	754.10	751.40	749.80	745.00	744.00	739.70	739.70	735.00	733.70	729.20	725.30	721.20	717.10
774.00	776.00	774.00	772.10	769.40	767.80	763.00	762.00	757.70	757.70	753.00	751.70	747.20	743.30	739.20	735.10
792.00	794.00	792.00	790.10	787.40	785.80	781.00	780.00	775.70	775.70	771.00	769.70	765.20	761.30	757.20	753.10
810.00	812.00	810.00	808.10	805.40	803.80	799.00	798.00	793.70	793.70	789.00	787.70	783.20	779.30	775.20	771.10
828.00	830.00	828.00	826.10	823.40	821.80	817.00	816.00	811.70	811.70	807.00	805.70	801.20	797.30	793.20	789.10
846.00	848.00	846.00	844.10	841.40	839.80	835.00	834.00	829.70	829.70	825.00	823.70	819.20	815.30	811.20	807.10
864.00	866.00	864.00	862.10	859.40	857.80	853.00	852.00	847.70	847.70	843.00	841.70	837.20	833.30	829.20	825.10
882.00	884.00	882.00	880.10	877.40	875.80	871.00	870.00	865.70	865.70	861.00	859.70	855.20	851.30	847.20	843.10
900.00	902.00	900.00	898.10	895.40	893.80	889.00	888.00	883.70	883.70	879.00	877.70	873.20	869.30	865.20	861.10
918.00	920.00	918.00	916.10	913.40	911.80	907.00	906.00	901.70	901.70	897.00	895.70	891.20	887.30	883.20	879.10
936.00	938.00	936.00	934.10	931.40	929.80	925.00	924.00	919.70	919.70	915.00	913.70	909.20	905.30	901.20	897.10
954.00	956.00	954.00	952.10	949.40	947.80	943.00	942.00	937.70	937.70	933.00	931.70	927.20	923.30	919.20	915.10
972.00	974.00	972.00	970.10	967.40	965.80	961.00	960.00	955.70	955.70	951.00	949.70	945.20	941.30	937.20	933.10
990.00	992.00	990.00	988.10	985.40	983.80	979.00	978.00	973.70	973.70	969.00	967.70	963.20	959.30	955.20	951.10
1008.00	1010.00	1008.00	1006.10	1003.40	1001.80	997.00	996.00	991.70	991.70	987.00	985.70	981.20	977.30	973.20	969.10
1026.00	1028.00	1026.00	1024.10	1021.40	1019.80	1015.00	1014.00	1009.70	1009.70	1005.00	1003.70	999.20	995.30	991.20	987.10
1044.00	1046.00	1044.00	1042.10	1039.40	1037.80	1033.00	1032.00	1027.70	1027.70	1023.00	1021.70	1017.20	1013.30	1009.20	1005.10
1062.00	1064.00	1062.00	1060.10	1057.40	1055.80	1051.00	1050.00	1045.70	1045.70	1041.00	1039.70	1035.20	1031.30	1027.20	1023.10
1080.00	1082.00	1080.00	1078.10	1075.40	1073.80	1069.00	1068.00	1063.70	1063.70	1059.00	1057.70	1053.20	1049.30	1045.20	1041.10
1098.00	1100.00	1098.00	1096.10	1093.40	1091.80	1087.00	1086.00	1081.70	1081.70	1077.00	1075.70	1071.20	1067.30	1063.20	1059.10
1116.00	1118.00	1116.00	1114.10	1111.40	1109.80	1105.00	1104.00	1099.70	1099.70	1095.00	1093.70	1089.20	1085.30	1081.20	1077.10
1134.00	1136.00	1134.00	1132.10	1129.40	1127.80	1123.00	1122.00	1117.70	1117.70	1113.00	1111.70	1107.20	1103.30	1099.20	1095.10
1152.00	1154.00	1152.00	1150.10	1147.40	1145.80	1141.00	1140.00	1135.70	1135.70	1131.00	1129.70	1125.20	1121.30	1117.20	1113.10
1170.00	1172.00	1170.00	1168.10	1165.40	1163.80	1159.00	1158.00	1153.70	1153.70	1149.00	1147.70	1143.20	1139.30	1135.20	1131.10
1188.00	1190.00	1188.00	1186.10	1183.40	1181.80	1177.00	1176.00	1171.70	1171.70	1167.00	1165.70	1161.20	1157.30	1153.20	1149.10
1206.00	1208.00	1206.00	1204.10	1201.40	1199.80	1195.00	1194.00	1189.70	1189.70	1185.00	1183.70	1179.20	1175.30	1171.20	1167.10
1224.00	1226.00	1224.00	1222.10	1219.40	1217.80	1213.00	1212.00	1207.70	1207.70	1203.00	1201.70	1197.20	1193.30	1189.20	1185.10
1242.00	1244.00	1242.00	1240.10	1237.40	1235.80	1231.00	1230.00	1225.70	1225.70	1221.00	1219.70	1215.20	1211.30	1207	

Intensidades Máximas de Lluvia, en mm/h

Duración, en minutos											
Año	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	
1932										1.92	
1933										2.63	
1934										1.54	
1935										1.71	
1936										1.36	
1937	134.40	94.20	93.60	76.80	59.20	43.10	36.20	29.30	24.60	20.60	1.94
	120.00	80.40	64.00	53.70	35.00	26.90	18.90	14.20	12.10	10.60	2.33
	102.00	88.80	67.20	53.70	35.00	26.90	18.50	15.00	13.60	11.80	1.86
	249.60	184.20	164.40	125.70	85.00	69.00	51.00	39.60	32.90	28.20	2.50
	92.40	71.40	48.00	44.10	30.80	25.50	17.70	13.60	10.90	9.20	2.43
	90.00	49.80	36.40	27.30	26.60	20.60	13.80	10.40	8.30	6.90	0.97
	116.40	72.00	65.20	50.10	44.40	41.40	28.60	23.10	21.00	17.90	2.37
	96.00	57.60	39.20	34.20	34.00	29.00	21.80	20.50	18.10	15.70	1.33
	118.80	89.40	79.60	63.00	61.60	53.70	40.90	30.80	26.30	22.90	2.57
	96.00	57.60	39.20	30.00	22.00	18.00	13.00	11.00	9.00	8.00	1.28
	102.00	55.80	40.00	34.50	28.00	22.50	17.00	13.50	13.20	13.00	2.01
	120.00	119.40	103.60	88.80	70.80	63.60	56.30	50.70	41.20	34.40	3.17
	54.00	45.00	34.00	28.50	24.00	23.60	19.70	15.70	13.30	11.80	1.08
	108.00	78.00	60.00	51.60	41.40	38.00	36.30	30.00	27.00	23.80	1.58
	114.00	58.20	45.60	34.80	27.00	27.00	23.00	17.90	14.30	12.20	4.46
	115.20	63.00	48.00	39.60	30.40	25.50	19.30	16.10	13.50	11.40	1.10
	114.00	81.00	62.00	49.50	38.40	30.80	24.30	19.40	16.30	14.00	1.19
	84.00	51.00	42.00	31.50	21.00	15.80	10.50	7.90	6.30	5.80	1.50
	96.00	64.80	44.00	34.50	23.00	17.30	11.50	8.60	6.90	5.80	2.33
	86.40	54.00	47.20	42.00	33.20	26.30	18.50	17.30	18.40	16.10	1.73
	120.00	69.00	50.00	37.50	25.40	23.30	17.20	12.90	10.30	9.90	1.75
	102.00	54.00	40.40	40.20	32.20	25.20	17.10	12.90	10.40	8.70	
Méx. Dny. Cén.	110.509	74.482	59.709	48.709	37.655	31.500	24.141	19.564	16.723	14.486	1.948
	35.468	30.305	29.787	23.153	16.927	14.429	12.455	10.631	8.906	7.480	0.761
	2.899	2.507	2.377	2.118	1.578	1.502	1.407	1.572	1.284	1.196	1.481
	0.321	0.407	0.499	0.475	0.450	0.458	0.516	0.543	0.533	0.516	0.391

											1.58
											3.27
	120.00	120.00	88.00	75.00	53.60	40.20	27.10	20.30	17.40	15.30	1.36
	138.00	114.00	86.00	72.00	57.00	45.30	32.30	25.50	20.70	17.80	3.83
	216.00	138.00	112.00	102.00	73.20	54.20	37.20	28.40	23.10	20.90	3.38
	120.00	67.80	56.00	44.40	31.00	23.60	16.10	13.50	11.30	10.80	2.83
	48.00	39.00	32.00	25.50	20.00	19.50	15.80	14.30	12.70	10.80	2.75
	102.00	55.80	37.20	31.80	30.40	26.60	19.90	16.90	13.90	12.60	3.07
	105.60	100.80	70.40	54.90	37.20	29.70	25.60	22.10	20.50	17.60	2.67
	102.00	54.60	38.00	28.80	22.00	17.00	13.50	12.40	11.10	10.20	2.57
	36.00	24.00	20.00	15.90	11.00	10.50	9.00	8.30	7.50	6.70	2.21
	60.00	45.00	38.40	33.00	29.40	20.10	19.00	15.50	12.70	10.80	2.58
	84.00	60.00	54.00	48.00	34.00	30.00	20.50	18.30	17.00	14.70	2.13
	120.00	73.20	50.80	38.40	29.00	23.90	16.10	12.10	9.70	8.50	2.54
	123.60	107.40	94.00	78.30	59.00	46.10	31.20	23.70	19.00	15.80	1.81
	96.00	54.00	38.80	37.50	29.00	24.00	18.00	14.00	11.60	10.20	4.88
	156.00	99.00	74.00	66.00	64.80	51.60	41.40	31.50	25.80	21.80	2.19
	75.60	54.00	49.20	49.20	36.40	30.30	25.30	20.00	16.80	14.60	2.35
	84.00	60.00	60.00	53.40	51.00	44.30	31.00	25.30	21.50	18.20	4.17
	96.00	60.00	46.00	38.10	34.00	30.20	23.60	17.70	15.30	13.40	3.42
	115.20	69.00	46.80	36.30	25.00	20.30	18.10	14.40	12.50	11.50	3.29
	120.00	120.00	100.00	92.40	68.00	53.30	37.50	30.00	25.40	22.50	2.24
	76.80	60.00	46.40	40.80	29.00	24.00	18.00	14.30	12.00	10.10	
Méx. Dny. Cén.	104.514	75.029	58.952	50.557	39.238	31.700	23.629	18.981	16.071	14.038	2.778
	38.803	31.053	24.813	22.661	17.286	13.037	8.742	6.438	5.255	4.463	0.842
	0.878	0.555	0.680	0.804	0.580	0.484	0.506	0.488	0.398	0.444	0.651
	0.371	0.414	0.421	0.448	0.441	0.411	0.370	0.339	0.327	0.318	0.303





# ***ANEXO B***

*" ANÁLISIS DE FRECUENCIA "*

***DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD UNIVARIADA***

*PARÁMETROS AJUSTADOS*

*Y*

*EVENTOS CALCULADOS*

**TABLA B.1 Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 5$  min.**

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 5 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	65 5914	25 2059	MÓMENTOS	12 39	74 83	103 40	122 31	140 46	163 94	181 54	222 21	239 70	280 27	297 75
ASTAT	80 0833	24 7333	MÁX VER	11 85	89 15	117 18	135 74	153 55	176 59	193 86	233 77	250 92	290 74	307 88
AYUTL	62 2223	19 1325	MÁX VER	5 18	69 94	90 92	105 28	119 05	136 88	150 24	181 10	194 38	225 18	238 44
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	85 4916	23 7249	MÁX VER	7 14	94 19	121 08	138 88	155 96	178 07	194 63	232 91	249 37	287 56	304 01
COIXT	77 6741	16 7890	MÓMENTOS	5 66	83 83	102 86	115 46	127 54	143 18	154 91	181 99	193 64	220 67	232 31
CUEST	59 9661	33 3388	MÓMENTOS	20 53	72 19	109 97	134 99	158 99	190 05	213 33	267 12	290 25	343 92	367 03
ELCAR	73 6970	24 2492	MÁX VER	4 32	82 59	110 07	128 27	145 72	168 32	185 25	224 37	241 19	280 23	297 04
JAYAC	89 2659	17 1200	MÓMENTOS	11 04	95 54	114 95	127 79	140 12	156 07	168 02	195 64	207 52	235 08	246 95
MAGDA	76 3908	16 9333	MÓMENTOS	7 48	82 60	101 79	114 50	126 69	142 46	154 29	181 61	193 35	220 61	232 35
PALMA	63 0629	22 3252	MÓMENTOS	9 59	71 25	96 55	113 30	129 37	150 18	165 76	201 78	217 27	253 21	268 69
QUIOT	73 9440	39 3855	MÁX VER	13 13	88 38	133 02	162 58	190 93	227 62	255 12	318 67	345 99	409 39	436 70
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	65 5252	20 2460	MÁX VER	10 12	72 95	95 89	111 09	125 66	144 52	158 66	191 33	205 37	237 96	252 00
SNMIG	60 1609	20 6618	MÁX VER	8 46	67 73	91 15	106 66	121 53	140 78	155 21	188 55	202 88	236 14	250 46
SNPED	63 8832	30 7091	MÓMENTOS	8 27	75 14	109 95	132 99	155 10	183 71	205 15	254 70	276 00	325 44	346 72
SNTIA	42 7303	28 4214	MÓMENTOS	17 20	53 15	85 36	106 69	127 15	153 33	173 47	219 33	239 04	284 80	304 50
SNTIT	47 9796	25 4114	MÓMENTOS	11 04	57 29	86 10	105 17	123 46	147 13	164 88	205 88	223 50	264 41	282 03
SUCHI	53 9745	25 8821	MÁX VER	8 18	63 46	92 80	112 22	130 85	154 97	173 04	214 80	232 75	274 42	292 36
TELPA	75 8073	38 6060	MÓMENTOS	20 38	89 96	133 71	162 69	190 48	226 45	253 40	315 69	342 47	404 62	431 38
TEPEL	94 5484	27 6653	MÓMENTOS	19 79	104 69	136 05	156 81	176 72	202 50	221 81	266 45	285 64	330 18	349 35
TEPEU	86 7891	32 9736	MÁX VER	10 51	98 87	136 25	160 99	184 73	215 45	238 47	291 67	314 55	367 63	390 49
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 5 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	114 3777	27 7488	MÓMENTOS	10 56	124 55	156 00	176 82	196 80	222 65	242 03	286 80	306 05	350 72	369 95
ALOTE	136 5889	52 3658	MÓMENTOS	38 22	155 78	215 14	254 43	292 13	340 92	377 48	461 97	498 29	582 59	618 89
AZUET	132 5147	36 7628	MÓMENTOS	15 41	145 99	187 66	215 25	241 71	275 96	301 63	360 94	386 45	445 63	471 11
CANTO	168 0380	36 4896	MÓMENTOS	16 31	181 41	222 77	250 15	276 42	310 42	335 90	394 77	420 08	478 82	504 12
CDALE	147 5942	39 4796	MÁX VER	14 81	162 06	206 81	236 44	264 86	301 64	329 21	392 91	420 29	483 85	511 21
CUATO	116 9938	30 9920	MÁX VER	9 94	128 35	163 48	186 74	209 05	237 92	259 56	309 57	331 06	380 96	402 44
CUICH	140 5118	53 1863	MÁX VER	15 88	160 01	220 29	260 20	298 49	348 04	385 18	470 99	507 88	593 51	630 37
EORTI	94 9320	37 2111	MÓMENTOS	25 29	108 57	150 75	178 67	205 46	240 13	266 11	326 15	351 96	411 86	437 66
HUAUT	100 8084	22 6623	MÁX VER	8 61	109 11	134 80	151 81	168 12	189 24	205 06	241 62	257 34	291 83	309 54
JACAT	173 7545	23 7911	MÁX VER	5 54	182 47	209 44	227 29	244 42	266 59	283 20	321 58	338 09	376 39	392 39
JALST	148 5989	35 6276	MÁX VER	13 21	161 66	202 04	228 77	254 42	287 62	312 49	369 98	394 69	452 04	476 74
MONTI	137 7266	32 9137	MÁX VER	9 22	149 79	187 10	211 79	235 49	266 15	289 13	342 24	365 07	418 06	440 87
PAPAL	139 0264	34 7481	MÁX VER	5 46	151 76	191 15	217 22	242 24	274 61	298 87	354 94	379 04	434 98	459 07
SNJUA	112 1484	36 1924	MÓMENTOS	17 99	125 41	166 44	193 60	219 65	251 37	278 64	337 03	362 14	420 40	445 49
TI MAS	174 8410	31 5657	MÓMENTOS	14 28	186 00	222 19	245 88	268 60	298 01	320 05	370 98	392 87	443 69	465 57
VII LA	104 7162	16 2511	MÁX VER	4 99	110 67	129 09	141 29	152 99	168 13	179 47	205 69	216 97	243 13	254 39

**TABLA B.2** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 10$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 10 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	43 3499	18 9223	MOMENTOS	10 62	50 29	71 73	85 93	99 55	117 18	130 40	160 93	174 05	204 51	217 63
ASTAT	59 8266	21 1361	MÁX VER	5 41	67 57	91 53	107 39	122 61	142 30	157 06	191 16	205 82	239 85	254 50
AYUTL	45 1720	13 1349	MÁX VER	3 89	49 99	64 87	74 73	84 19	96 42	105 59	126 79	135 90	157 04	166 15
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	60 8464	18 6089	MÁX VER	4 98	67 67	88 76	102 72	116 12	133 46	146 45	176 48	189 38	219 34	232 24
COIXT	54 1772	10 6302	MOMENTOS	4 35	58 07	70 12	78 10	85 75	95 66	103 08	120 23	127 60	144 72	152 08
CUEST	43 2090	24 4987	MOMENTOS	16 47	52 19	79 96	98 34	115 98	138 80	155 91	195 44	212 43	251 87	268 85
ELCAR	54 2914	18 5919	MÁX VER	5 42	61 11	82 18	96 13	109 51	126 84	139 82	169 81	182 71	212 64	225 53
JAYAC	59 8496	19 5141	MÁX VER	6 85	67 00	89 12	103 76	117 81	135 99	149 61	181 10	194 64	224 05	239 58
MAGDA	47 1920	15 4405	MOMENTOS	10 86	52 85	70 35	81 94	93 05	107 44	118 22	143 13	153 84	178 70	189 40
PALMA	40 3045	14 9732	MOMENTOS	6 72	45 79	62 76	74 00	84 78	98 73	109 18	133 34	143 73	167 83	178 21
QUIOT	50 5885	26 4143	MÁX VER	6 15	60 27	90 21	110 03	129 04	153 66	172 10	214 72	233 04	275 56	293 87
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	47 2785	8 2928	MÁX VER	4 90	50 32	59 72	65 94	71 91	79 64	85 43	98 81	104 56	117 91	123 66
SNMIG	41 7739	16 8014	MOMENTOS	10 14	47 93	66 98	79 58	91 68	107 33	119 06	146 17	157 83	184 87	196 52
SNPED	43 4366	19 4591	MOMENTOS	7 21	50 57	72 62	87 23	101 23	119 37	132 95	164 35	177 85	209 17	222 66
SNPIA	29 4885	29 9121	MOMENTOS	21 90	40 45	74 36	96 80	118 33	146 20	167 09	215 35	236 10	284 25	304 99
SNPIT	33 9011	15 7618	MÁX VER	6 25	39 68	57 54	69 37	80 72	95 40	106 41	131 84	142 77	168 15	179 07
SUCHI	41 1699	16 3830	MÁX VER	5 61	47 17	65 74	78 08	89 83	105 10	116 53	142 97	154 33	180 71	192 06
TELPA	51 2297	27 1156	MOMENTOS	12 57	61 17	91 90	112 25	131 77	157 03	175 97	219 72	238 52	282 18	300 97
TEPEL	60 8446	23 6378	MOMENTOS	12 83	69 51	96 30	114 04	131 05	153 08	169 58	207 72	224 12	262 17	278 56
TEPEU	60 7830	24 6748	MÁX VER	8 20	69 83	97 79	116 31	134 07	157 06	174 29	214 10	231 22	270 94	288 05
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 10 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	88 1723	21 7447	MOMENTOS	8 69	96 14	120 79	137 11	152 76	173 02	188 20	223 29	238 37	273 37	288 45
ALOTE	96 2303	18 3209	MOMENTOS	11 43	102 95	123 71	137 46	150 65	167 72	180 51	210 07	222 78	252 27	264 97
AZUET	103 5009	26 7334	MOMENTOS	9 85	113 30	143 60	163 66	182 90	207 81	226 48	269 61	288 16	331 19	349 72
CANTO	134 2832	20 5003	MOMENTOS	8 91	141 80	165 03	180 42	195 17	214 27	228 59	261 66	275 88	308 89	323 10
CDALE	120 3882	27 2284	MÁX VER	5 75	130 37	161 23	181 66	201 26	226 63	245 64	289 58	308 46	352 30	371 17
CUATO	91 8991	22 6967	MOMENTOS	8 91	100 22	125 94	142 98	159 98	180 46	196 31	232 93	248 67	285 21	300 94
CUICH	114 0875	25 2339	MOMENTOS	11 38	123 34	151 94	170 87	189 04	212 55	230 17	270 88	288 38	329 01	346 50
FORTI	74 6965	29 4150	MOMENTOS	12 90	85 48	118 82	140 89	162 07	189 47	210 01	257 47	277 87	325 23	345 62
HUAUT	74 4384	15 5215	MÁX VER	4 19	80 13	97 72	109 37	120 54	135 00	145 84	170 88	181 65	206 64	217 40
JACAT	136 1774	14 0048	MÁX VER	4 04	141 31	157 18	167 69	177 77	190 82	200 60	223 20	232 91	255 46	265 17
LAEST	129 7077	22 4852	MOMENTOS	7 10	137 95	163 43	180 31	196 49	217 44	233 14	269 42	285 02	321 22	336 80
MONTE	117 4875	17 4705	MOMENTOS	7 85	123 89	143 69	156 80	169 38	185 66	197 86	226 04	238 16	266 29	278 40
PAPAL	112 1993	24 8572	MOMENTOS	8 97	121 31	149 48	168 14	186 03	209 19	226 55	266 65	283 89	323 91	341 14
SNJUA	85 1941	32 2266	MÁX VER	13 81	97 01	133 53	157 72	180 91	210 94	233 44	285 44	307 79	359 67	382 01
TEMAS	136 3465	25 5867	MOMENTOS	8 29	145 72	174 73	193 93	212 34	236 18	254 05	295 33	313 08	354 27	372 01
VII LA	70 3573	14 7553	MOMENTOS	3 52	75 36	92 49	103 56	114 18	127 93	138 23	162 04	172 28	196 09	206 26

**TABLA B.3** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 15$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 15 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
APAZC	36 9394	13.8235	MÁX VER	5 03	42 01	57 67	68 05	78 00	90 88	100 53	122 83	132 42	154 68	164 26	
ASTAT	49 7554	18.1744	MÁX VER	5 35	56 42	77 02	90 66	103 74	120 67	133 36	162.68	175 29	204 55	217 15	
AYUTL	36 8112	11.8167	MOMENTOS	5 57	41 14	54 54	63.40	71 91	82 92	91 17	110 24	118 43	137 46	145 65	
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CALTE	50 2754	16.8113	MÁX VER	3.40	56 44	75 49	88 11	100 21	115 87	127 61	154.73	166 40	193 46	205 11	
COIXT	44 9925	11.5224	MOMENTOS	4 25	49 22	62 28	70 92	79 22	89 95	98 00	116 59	124 58	143 13	151 12	
CUEST	36 5491	19.6079	MOMENTOS	12.64	43 65	65 87	80 58	94 70	112 97	126 66	158 30	171 90	203 46	217 05	
ELCAR	45 7982	15.8608	MÁX VER	5 25	51 61	69 59	81 49	92 91	107 69	118 76	144.35	155 35	180 89	191 88	
JAYAC	48 4092	13.8095	MOMENTOS	7 05	53 47	69 12	79 49	89 43	102 29	111 94	134 22	143 80	166 03	175 60	
MAGDA	36 4352	11.1710	MOMENTOS	5 98	40 53	53 19	61 57	69 62	80 02	87 82	105 85	113 60	131 58	139 32	
PALMA	33 7467	15.7467	MOMENTOS	8 65	39 20	57 05	68 87	80 20	94 87	105 87	131 27	142 20	167 55	178 46	
QUIOT	42 2970	22.6503	MÁX VER	5 82	50 60	76 27	93 27	109 57	130 68	146 49	183.04	198 75	235 21	250 91	
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SNLOR	34 6431	7.2053	MOMENTOS	3 37	37 28	45 45	50 86	56 04	62 76	67 79	79 41	84 41	96 01	101 01	
SNMIG	32 5917	13.5344	MOMENTOS	7 61	37 55	52 89	63 05	72 79	85 40	94 85	116 69	126 08	147 87	157 25	
SNPED	34 3545	17.0109	MOMENTOS	5 66	40 59	59 87	72 64	84 88	100 73	112 61	140.05	151 85	179 24	191 03	
SNTHA	21 3128	23.9190	MOMENTOS	19.34	30 04	57 04	74 91	92 06	114 25	130 88	169 32	185 84	224 18	240 69	
SNTHI	28 1658	13.7609	MÁX VER	4 61	33 21	48 81	59 13	69 04	81 86	91 47	113.67	123 22	145 64	154 91	
SUCHI	35 1441	12.8671	MÁX VER	3 62	39 86	54 44	64 10	73 36	85 35	94 34	115 10	124 02	144 73	153 65	
TILPA	40 2266	20.5922	MOMENTOS	9 79	47 77	71 11	86 57	101 39	120 58	134 95	168.18	182 46	215 61	229 89	
TILPEL	46 3051	23.2335	MOMENTOS	12 37	54 82	81 15	98 59	115 31	136 96	153 18	190 67	206 79	244 19	260 29	
TILPEU	47 7867	19.3539	MOMENTOS	5 39	54 88	76 82	91 34	105 27	123 30	136 82	168 04	181 47	212 63	226 04	
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 15 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
ACAYU	75 6759	19.2818	MOMENTOS	6 84	82 74	104 60	119 07	132 95	150 91	164 38	195 49	208 86	239 90	253 27	
AIOTE	76 5888	21.9981	MOMENTOS	15 99	84 65	109 59	126 09	141 93	162 42	177 78	213 28	228 54	263 95	279 20	
AZUET	84 1901	27.1860	MÁX VER	5 11	94 15	124 97	145 37	164 94	190 27	209 25	253 11	271 97	315 74	334 58	
CANTO	119 3200	16.9820	MOMENTOS	8 13	125 54	144 79	157 54	169 76	185 58	197 44	224 84	236 62	263 96	275 73	
CDALE	104 1280	26.1091	MÁX VER	8 31	113 70	143 29	162 88	181 68	206 00	224 23	266 36	284 47	326 50	344 60	
CUATO	77 6316	19.9594	MOMENTOS	7 11	84 95	107 57	122 55	136 92	155 51	169 45	201 65	215 50	247 65	261 46	
CUICH	95 7709	19.8891	MOMENTOS	8 75	103 06	125 60	140 53	154 85	173 38	187 26	219 35	233 15	265 17	278 96	
FORTI	66 0969	18.1547	MÁX VER	6 77	72 75	93 33	106 95	120 02	136 94	149 61	178 90	191 50	220 72	233 31	
HUAUT	61 5243	13.8175	MÁX VER	3 35	66 59	82 25	92 62	102 57	115 44	125 09	147 38	156 97	179 21	188 79	
JACAT	124 4398	9.4917	MOMENTOS	2 85	127 92	138 68	145 80	152 63	161 48	168 10	183 42	190 00	205 28	211 86	
LAEST	110 9068	22.8033	MÁX VER	5 08	119 26	145 11	162 22	178 64	199 88	215 81	252 60	268 42	305 13	320 93	
MONTE	99 4643	20.4660	MÁX VER	6 10	106 97	130 16	145 52	160 25	179 32	193 61	226 63	240 83	273 78	287 96	
PAPAL	96 8234	25.4221	MOMENTOS	7 73	106 14	134 96	154 03	172 33	196 02	213 77	254 79	272 42	313 35	330 97	
SNJUA	73 2140	31.5836	MÁX VER	11 83	84 79	120 59	144 29	167 02	196 45	218 50	267 46	291 37	342 22	364 11	
TEMAS	118 3237	19.2911	MÁX VER	4 77	125 40	147 26	161 74	175 63	193 60	207 08	238 20	251 59	282 64	296 02	
VILLA	58 6502	12.5870	MÁX VER	2 46	63 26	77 53	86 98	96 04	107 76	116 55	136 86	145 59	165 86	174 58	

**TABLA B.4 Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 20$  min.**

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 20 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
APAZC	30 9103	12 7180	MÁX VER	4 34	35 57	49 98	59 52	68 67	80 52	89 39	109 90	118 72	139 19	148 00	
ASTAT	45 8676	17 8894	MÁX VER	4 77	52 42	72 70	86 13	99 00	115 67	128 16	157 03	169 44	198 23	210 63	
AYUTL	31 8334	11 6875	MOMENTOS	3 94	36 12	49 36	58 14	66 55	77 44	85 60	104 46	112 56	131 38	139 48	
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CALTE	40 6880	14 6271	MÁX VER	3 77	46 05	62 63	73 60	84 13	97 76	107 98	131 58	141 72	165 27	175 41	
COIXT	38 4622	12 5801	MOMENTOS	4 32	43 07	57 33	66 77	75 83	87 55	96 33	116 63	125 36	145 61	154 33	
CUEST	32 0132	17 6076	MOMENTOS	10 04	38 47	58 42	71 64	84 31	100 72	113 01	141 42	153 63	181 98	194 18	
EICAR	39 8874	14 1035	MÁX VLR	4 26	45 06	61 04	71 63	81 78	94 92	104 77	127 52	137 30	160 01	169 79	
JAYAC	41 3988	13 0103	MOMENTOS	5 36	46 17	60 91	70 68	80 04	92 16	101 25	122 24	131 26	152 21	161 23	
MAGDA	29 1681	10 5420	MOMENTOS	6 13	33 03	44 98	52 89	60 48	70 30	77 66	94 67	101 98	118 96	126 26	
PALMA	28 0209	14 3505	MOMENTOS	8 22	33 28	49 55	60 32	70 65	84 02	94 04	117 19	127 14	150 25	160 19	
QUIOT	37 4189	20 4526	MÁX VLR	5 28	44 92	68 10	83 45	98 17	117 22	131 50	164 50	178 69	211 62	225 79	
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SNLOR	27 8566	6 7610	MOMENTOS	3 00	30 34	38 00	43 07	47 94	54 24	58 96	69 87	74 56	85 44	90 13	
SNMIG	26 9873	11 9248	MOMENTOS	5 62	31 36	44 87	53 82	62 41	73 52	81 84	101 08	109 36	128 55	136 82	
SNPED	28 8526	15 2627	MOMENTOS	5 47	34 45	51 75	63 20	74 19	88 41	99 06	123 69	134 28	158 85	169 43	
SNNTA	16 9156	20 5997	MOMENTOS	17 58	24 47	47 81	63 27	78 10	97 29	111 68	144 91	159 20	192 37	206 65	
SNTTT	23 5754	11 5671	MÁX VER	4 09	27 82	40 93	49 61	57 93	68 71	76 79	95 45	103 47	122 09	130 11	
SUCHI	31 8885	12 5325	MÁX VER	4 10	36 48	50 69	60 09	69 11	80 79	89 54	109 76	118 45	138 63	147 32	
TELPA	34 1410	18 8223	MOMENTOS	8 90	41 04	62 37	76 50	90 05	107 58	120 73	151 10	164 15	194 45	207 50	
TEPEL	38 2904	18 0591	MOMENTOS	8 60	44 91	65 38	78 93	91 93	108 76	121 37	150 50	163 03	192 10	204 62	
TEPEU	40 3598	17 6754	MOMENTOS	4 50	46 84	66 87	80 14	92 86	109 33	121 67	150 19	162 45	190 90	203 16	
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 20 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
ACAYU	65 4767	22 2618	MÁX VER	4 79	73 64	98 87	115 57	131 60	152 34	167 88	203 80	219 25	255 08	270 52	
ALOTE	69 6674	21 3071	MOMENTOS	13 66	77 48	101 63	117 62	132 95	152 81	167 68	202 06	216 84	251 14	265 91	
AZUET	71 1112	25 3508	MÁX VLR	5 27	80 40	109 14	128 16	146 41	170 03	187 73	228 63	246 22	287 03	304 60	
CANTO	110 9617	15 3735	MOMENTOS	8 07	116 60	134 02	145 56	156 62	170 95	181 68	206 49	217 15	241 90	252 56	
CDALE	95 2615	28 2261	MÁX VLR	7 76	105 61	137 60	158 78	179 10	205 40	225 11	270 65	290 23	335 67	355 23	
CUATO	67 4992	19 5188	MOMENTOS	6 56	74 65	96 78	111 42	125 47	143 66	157 29	188 78	202 32	233 74	247 27	
CUICH	87 9060	17 6932	MOMENTOS	8 26	94 39	114 45	127 72	140 46	156 94	169 30	197 85	210 12	238 60	250 87	
FORTI	58 6375	16 8601	MÁX VLR	6 49	64 82	83 93	96 58	108 72	124 42	136 20	163 40	175 09	202 24	213 92	
HUAUT	54 5026	15 1008	MÁX VER	3 61	60 04	77 15	88 49	99 36	113 43	123 97	148 33	158 81	183 12	193 59	
JACAT	112 7373	10 0598	MÁX VER	2 37	116 42	127 83	135 38	142 62	151 99	159 01	175 25	182 22	198 42	205 39	
LAEST	100 5236	21 5571	MÁX VLR	5 40	108 42	132 86	149 04	164 55	184 64	199 69	234 47	249 42	284 13	299 07	
MONTE	88 0477	21 2691	MÁX VER	5 29	95 84	119 95	135 91	151 22	171 04	185 89	220 21	234 96	269 20	283 94	
PAPAL	85 7793	30 4069	MÁX VER	7 70	96 92	131 39	154 21	176 09	204 43	225 66	274 72	295 81	344 76	365 84	
SNJUA	63 7092	28 7631	MÁX VER	11 68	74 25	106 85	128 44	149 14	175 94	196 02	242 43	262 38	308 69	328 63	
TEMAS	105 4331	19 3620	MÁX VER	3 72	112 53	134 48	149 01	162 94	180 98	194 50	225 74	239 17	270 34	283 76	
VII LA	50 6571	11 6332	MÁX VER	2 08	54 92	68 11	76 84	85 21	96 05	104 17	122 94	131 01	149 74	157 80	

**TABLA B.5** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 30$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 30 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h											
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS											
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000		
APAZC	22.8332	10.3589	MÁX VER	3.74	26.63	38.37	46.15	53.60	63.25	70.49	87.20	94.39	111.06	118.24		
ASTAT	37.1099	14.6487	MÁX VER	5.75	42.48	59.08	70.08	80.62	94.27	104.50	128.13	138.29	161.87	172.03		
AYUTL	25.8283	11.0856	MOMENTOS	3.79	29.89	42.46	50.78	58.76	69.08	76.82	94.71	102.40	120.25	127.93		
CALAP	27.9437	15.0737	MOMENTOS	5.59	33.47	50.55	61.87	72.72	86.76	97.29	121.61	132.06	156.33	166.78		
CALTE	31.2013	11.4772	MÁX VER	3.01	35.41	48.42	57.03	65.29	75.99	84.00	102.52	110.48	128.95	136.91		
COIXT	28.9381	9.6407	MOMENTOS	3.61	32.47	43.40	50.63	57.57	66.56	73.29	88.84	95.53	111.05	117.73		
CUEST	24.9019	12.8977	MOMENTOS	6.67	29.63	44.25	53.93	63.21	75.23	84.23	105.04	113.99	134.74	143.69		
ELCAR	32.2868	11.1430	MÁX VER	3.51	36.37	49.00	57.36	65.38	75.77	83.55	101.53	109.25	127.19	134.92		
JAYAC	33.6115	14.7999	MÁX VER	4.77	39.04	55.81	66.92	77.57	91.36	101.69	125.57	135.84	159.66	169.92		
MAGDA	22.6282	7.4392	MOMENTOS	2.98	25.36	33.79	39.37	44.72	51.66	56.85	68.85	74.01	85.99	91.15		
PALMA	21.9240	9.8855	MOMENTOS	5.57	25.58	36.78	44.20	51.32	60.53	67.43	83.38	90.24	106.15	113.00		
QUIOT	30.2792	17.1550	MÁX VER	4.08	36.57	56.01	68.88	81.23	97.22	109.20	136.87	148.77	176.39	188.28		
SALIN	32.9273	20.1171	MOMENTOS	7.61	40.30	63.10	78.20	92.68	111.42	125.47	157.93	171.88	204.27	218.21		
SNLOR	23.5563	8.2766	MÁX VER	2.59	26.59	35.97	42.18	48.14	55.85	61.63	74.98	80.73	94.05	99.79		
SNMIG	21.2665	12.1342	MOMENTOS	6.22	25.71	39.47	48.57	57.31	68.61	77.09	96.66	105.08	124.61	133.03		
SNPED	22.1878	12.5108	MOMENTOS	5.18	26.77	40.95	50.34	59.35	71.00	79.74	99.93	108.60	128.74	137.42		
SNNTA	13.7137	14.6465	MOMENTOS	11.93	19.08	35.68	46.67	57.22	70.86	81.09	104.72	114.88	138.46	148.61		
SNNTT	18.0235	9.7152	MÁX VER	4.56	21.58	32.60	39.89	46.88	55.93	62.72	78.39	85.13	100.77	107.50		
SUCHI	24.4463	10.9437	MOMENTOS	5.55	28.46	40.86	49.07	56.95	67.15	74.79	92.45	100.04	117.66	125.24		
TELPA	26.8313	14.3209	MOMENTOS	5.55	32.08	48.31	59.06	69.37	82.71	92.71	115.82	125.75	148.80	158.73		
TEPEL	30.0372	13.2034	MOMENTOS	5.32	34.88	49.84	59.75	69.25	81.56	90.78	112.08	121.24	142.49	151.64		
TEPEU	31.3299	13.6590	MÁX VER	4.38	36.34	51.82	62.07	71.90	84.63	94.16	116.20	125.68	147.67	157.13		
XIQUI	24.8645	9.5589	MÁX VER	2.43	28.37	39.20	46.38	53.26	62.16	68.84	84.26	90.89	106.28	112.90		
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 30 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h											
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS											
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000		
ACAYU	53.3062	16.8741	MÁX VER	3.58	59.49	78.62	91.28	103.43	119.15	130.93	158.16	169.86	197.03	208.72		
ALOTE	59.8217	19.7224	MOMENTOS	12.74	67.05	89.40	104.20	118.40	136.78	150.55	182.37	196.05	227.80	241.47		
AZUFI	57.2514	22.1981	MÁX VER	5.57	65.39	90.55	107.21	123.18	143.87	159.37	195.18	210.58	246.32	261.70		
CANTO	95.0034	18.3202	MÁX VER	4.79	101.72	122.48	136.23	149.42	166.49	179.28	208.84	221.55	251.04	263.74		
CDALJ	79.2329	28.1196	MÁX VER	8.97	89.54	121.41	142.51	162.75	188.95	208.59	253.96	273.46	318.73	338.22		
CUATO	54.5734	23.4590	MÁX VER	6.62	63.17	89.76	107.37	124.25	146.11	162.49	200.34	216.61	254.38	270.64		
CUICH	77.0826	13.8810	MOMENTOS	7.15	82.17	97.90	108.32	118.31	131.25	140.94	163.33	172.96	195.31	204.93		
FORTI	48.5659	13.7479	MÁX VER	5.62	53.61	69.19	79.50	89.40	102.21	111.81	133.99	143.53	165.66	175.19		
HUAUT	44.1654	13.9422	MÁX VER	3.77	49.28	65.08	75.54	85.58	98.57	108.30	130.80	140.47	162.91	172.58		
JACAT	96.9818	12.0726	MÁX VER	2.26	101.41	115.09	124.15	132.84	144.09	152.52	172.00	180.37	199.81	208.17		
LAEST	89.6700	18.5502	MÁX VER	3.89	96.47	117.49	131.42	144.77	162.05	175.00	204.93	217.80	247.66	260.52		
MONTE	75.2698	21.8199	MÁX VER	6.21	83.27	108.00	124.37	140.08	160.41	175.65	210.85	225.99	261.11	276.24		
PAPAL	70.9987	26.7946	MÁX VER	5.91	80.82	111.19	131.30	150.58	175.55	194.26	237.49	256.08	299.21	317.78		
SNJUA	53.7070	26.4399	MÁX VER	9.60	63.40	93.37	113.21	132.24	156.87	175.33	217.99	236.33	278.90	297.23		
TEMAS	95.0305	15.2067	MÁX VER	3.28	100.60	117.84	129.25	140.20	154.37	164.98	189.52	200.07	224.55	235.09		
VIIJA	39.5711	9.9530	MÁX VER	2.26	43.22	54.50	61.97	69.13	78.41	85.36	101.42	108.32	124.34	131.24		

**TABLA B.6 Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 40$  min.**

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 40 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	18 2629	8 7309	MOMENTOS	6.60	21.46	31.36	37.91	44.20	52.33	58.43	72.51	78.57	92.63	98.68
ASTAT	30 2521	11 8689	MÁX VER	4.39	34.60	48.06	56.96	65.51	76.56	84.85	104.00	112.23	131.34	139.57
AYUTL	20 7823	1 4637	MOMENTOS	4.01	24.62	36.48	44.33	51.86	61.61	68.92	85.80	93.06	109.96	117.16
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	25 0568	10 3015	MOMENTOS	3.17	28.83	40.51	48.24	55.65	65.25	72.45	89.07	96.21	112.80	119.94
COIXT	22 7329	7 8643	MOMENTOS	3.11	25.62	34.53	40.43	46.09	53.42	58.91	71.60	77.05	89.71	95.17
CUEST	20 7394	10 3577	MÁX VER	4.92	24.54	36.28	44.05	51.50	61.15	68.39	85.10	92.28	108.96	116.14
ELCAR	27 3863	8 8597	MÁX VER	2.77	30.63	40.68	47.32	53.70	61.96	68.14	82.44	88.58	102.85	108.99
JAYAC	27 9523	12 9892	MÁX VER	3.17	32.71	47.44	57.18	66.53	78.64	87.71	108.66	117.67	138.58	147.59
MAGDA	18 3332	6 3384	MOMENTOS	2.25	20.66	27.84	32.58	37.16	43.07	47.49	57.72	62.11	72.32	76.71
PALMA	18 4904	7 1976	MOMENTOS	3.39	21.13	29.29	34.69	39.87	46.58	51.60	63.21	68.21	79.79	84.78
QUIOT		13 2996	MÁX VER	2.68	29.21	44.28	54.26	63.84	76.23	85.51	106.97	116.20	137.61	146.83
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	43 9382	22 2684	MÁX VER	8.23	52.10	77.34	94.05	110.08	130.83	146.38	182.31	197.75	233.60	249.04
SNMIG	17 9995	10 3628	MOMENTOS	6.18	21.80	33.54	41.32	48.78	58.43	65.67	82.39	89.58	106.26	113.44
SNPED	18 2621	10 2558	MOMENTOS	3.78	22.02	33.65	41.34	48.72	58.28	65.44	81.99	89.10	105.61	112.72
SNLIA	11 3678	10 8497	MOMENTOS	8.74	15.34	27.64	35.78	43.59	53.70	61.28	78.78	86.31	103.78	111.30
SNLIT	14 0448	7 1783	MÁX VER	2.65	16.68	24.81	30.20	35.37	42.07	47.07	58.65	63.63	75.18	80.16
SUCHI	19 8054	10 9800	MOMENTOS	5.58	23.83	36.28	44.51	52.42	62.65	70.32	88.03	95.65	113.32	120.94
TELPA	22 3964	11 7120	MOMENTOS	3.99	26.69	39.96	48.75	57.18	68.10	76.27	95.17	103.29	122.15	130.27
TEPEL	25 0069	11 2547	MOMENTOS	4.60	29.13	41.89	50.33	58.44	68.92	76.78	94.94	102.75	120.86	128.67
TEPEU	25 6780	10 4276	MÁX VER	3.30	29.50	41.32	49.14	56.65	66.37	73.65	90.47	97.70	114.49	121.92
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 40 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	43 0011	14 6950	MÁX VER	3.70	48.39	65.04	76.07	86.65	100.34	110.60	134.31	144.50	168.16	178.35
ALOTE	51 8244	17 5337	MOMENTOS	11.38	58.25	78.12	91.28	103.90	120.24	132.48	160.77	172.93	201.16	213.32
AZUET	44 7220	18 7117	MÁX VER	3.98	51.58	72.79	86.83	100.30	117.73	130.80	160.99	173.97	204.09	217.06
CANTO	78 3941	15 0146	MÁX VER	3.97	83.90	100.92	112.18	122.99	136.98	147.46	171.69	182.10	206.28	216.68
CDALE	65 1627	22 6143	MÁX VER	5.43	73.45	99.08	116.05	132.33	153.40	169.19	205.68	221.37	257.77	273.45
CUATO	42 3308	18 6685	MÁX VER	4.69	49.17	70.33	84.34	97.78	115.17	128.21	158.33	171.28	201.33	214.27
CUICH	64 1642	11 5099	MOMENTOS	5.02	68.38	81.43	90.07	98.35	109.08	117.11	135.68	143.67	162.20	170.17
FORTI	41 1127	13 1513	MOMENTOS	4.85	45.93	60.84	70.71	80.18	92.43	101.61	122.83	131.95	153.12	162.24
HUAUT	37 9053	11 9180	MÁX VER	2.24	42.27	55.78	64.73	73.30	84.41	92.73	111.96	120.23	139.41	147.67
JACAT	85 2213	12 4506	MÁX VER	3.19	89.79	103.90	113.24	122.20	133.80	142.50	162.58	171.22	191.26	199.90
LAEST	80 7776	18 1607	MÁX VER	4.44	87.43	108.02	121.65	134.72	151.64	164.32	193.62	206.22	235.45	248.04
MONTE	64 0501	21 6900	MÁX VER	6.98	72.00	96.58	112.86	128.47	148.68	163.83	198.82	213.87	248.79	263.82
PAPAL	57 5271	22 7488	MÁX VER	6.80	65.87	91.65	108.72	125.10	146.29	162.18	198.88	214.66	251.28	267.05
SNJUA		22 2684	MÁX VER	8.23	52.10	77.34	94.05	110.08	130.83	146.38	182.31	197.75	233.60	249.04
TEMAS	78 3596	15 1508	MÁX VER	3.33	83.91	101.09	112.46	123.36	137.48	148.06	172.50	183.01	207.40	217.90
VILLA	33 5412	8 8759	MÁX VER	1.60	36.79	46.86	53.52	59.90	68.17	74.37	88.69	94.85	109.14	115.29

**TABLA B.7** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 60$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 60 min PARÁMETROS		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
	$\mu$	$\alpha$			PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
					2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
APAZC	14 2743	7 5557	MOMENTOS	3 88	17 04	25 61	31 28	36 72	43 76	49 03	61 22	66 46	78 63	83 87	
ASTAT	23 1309	9 0177	MÁX VER	2 39	26 44	36 66	43 42	49 92	58 32	64 61	79 16	85 42	99 94	106 19	
AYUTL	15 5676	9 3172	MOMENTOS	4 36	18 98	29 54	36 54	43 24	51 92	58 43	73 46	79 92	94 92	101 38	
CALAP	18 1354	13 9325	MOMENTOS	6 79	23 24	39 03	49 49	59 52	72 50	82 23	104 71	114 37	136 80	146 46	
CALTE	18 1757	7 1900	MOMENTOS	1 97	20 81	28 96	34 36	39 53	46 23	51 25	62 85	67 84	79 41	84 40	
COIXT	16 1556	5 4156	MOMENTOS	2 11	18 14	24 28	28 34	32 24	37 29	41 07	49 81	53 56	62 28	66 04	
CUEST	15 2170	7 8380	MÁX VER	2 96	18 09	26 97	32 86	38 50	45 80	51 27	63 92	69 36	81 97	87 41	
FLCAR	20 0298	7 3059	MÁX VER	1 83	22 71	30 99	36 47	41 73	48 54	53 64	65 43	70 49	82 25	87 32	
JAYAC	23 3444	9 2117	MÁX VER	2 95	26 72	37 16	44 07	50 71	59 29	65 72	80 58	86 97	101 80	108 19	
MAGDA	13 9138	4 9854	MOMENTOS	1 99	15 74	21 39	25 13	28 72	33 37	36 85	44 89	48 35	56 38	59 83	
PALMA	13 5745	4 9223	MOMENTOS	2 37	15 38	20 96	24 65	28 20	32 78	36 22	44 16	47 57	55 50	58 91	
QUIOT	18 5589	9 8439	MÁX VER	1 94	22 17	33 32	40 71	47 80	56 97	63 84	79 73	86 55	102 40	109 22	
SALIN	24 7546	13 1654	MOMENTOS	4 74	29 58	44 50	54 38	63 86	76 13	85 32	106 56	115 69	136 89	146 01	
SNLOR	15 5091	6 3455	MÁX VER	1 88	17 84	25 03	29 79	34 36	40 27	44 70	54 94	59 34	69 56	73 95	
SNMIG	12 9624	6 9604	MOMENTOS	4 34	15 51	23 40	28 63	33 64	40 12	44 98	56 21	61 04	72 25	77 07	
SNPED	13 5948	6 8878	MOMENTOS	2 49	16 12	23 93	29 10	34 05	40 47	45 28	56 39	61 17	72 26	77 03	
SNTHA	8 4903	7 1865	MOMENTOS	5 23	11 12	19 27	24 66	29 84	36 53	41 55	53 15	58 13	69 70	74 68	
SNTHI	10 3684	5 0283	MÁX VER	1 80	12 21	17 91	21 68	25 30	29 99	33 50	41 61	45 10	53 20	56 68	
SUCHI	14 0747	10 5825	MÁX VER	6 72	17 95	29 95	37 89	45 51	55 37	62 76	79 83	87 17	104 21	111 54	
TELPA	16 7761	8 1765	MOMENTOS	2 66	19 77	29 04	35 18	41 06	48 68	54 39	67 58	73 25	86 42	92 08	
TEPEL	18 5360	9 7152	MOMENTOS	3 74	22 10	33 11	40 40	47 39	56 44	63 23	78 90	85 64	101 28	108 02	
TEPEU	19 5866	7 0927	MÁX VER	1 68	22 19	30 23	35 55	40 65	47 26	52 21	63 66	68 58	80 00	84 91	
XIQUI	16 7650	7 5223	MÁX VER	1 67	19 52	28 05	33 69	39 11	46 12	51 37	63 51	68 72	80 83	86 05	
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 60 min PARÁMETROS		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
	$\mu$	$\alpha$			PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
					2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
ACAYU	34 1671	12 7894	MÁX VER	3 03	38 86	53 35	62 95	72 15	84 07	93 00	113 64	122 51	143 10	151 96	
ALOTE	38 4920	13 4299	MOMENTOS	7 09	43 41	58 64	68 71	78 38	90 90	100 27	121 94	131 26	152 88	162 19	
AZUET	36 0303	15 8012	MÁX VER	3 44	41 71	59 28	70 91	82 07	96 52	107 34	132 35	143 10	168 06	178 80	
CANTO	67 4098	14 7284	MÁX VER	3 27	72 81	89 50	100 55	111 16	124 88	135 16	158 93	169 14	192 85	203 06	
CDALE	52 9942	19 8163	MÁX VER	6 05	60 26	82 72	97 59	111 85	130 32	144 15	176 13	189 87	221 77	235 51	
CUATO	33 8538	15 7172	MÁX VER	3 49	39 61	57 43	69 22	80 54	95 18	106 16	131 51	142 42	167 72	178 61	
CUICH	56 2993	9 6527	MOMENTOS	4 16	59 84	70 78	78 02	84 97	93 96	100 70	116 28	122 97	138 51	145 20	
FORTI	32 9332	11 8520	MÁX VER	3 88	37 28	50 71	59 61	68 14	79 18	87 45	106 58	114 80	133 88	142 09	
HUAUTI	30 1990	10 6096	MÁX VER	2 63	34 09	46 11	54 07	61 71	71 60	79 01	96 12	103 48	120 56	127 92	
JACAT	70 2099	11 2225	MÁX VER	2 22	74 32	87 04	95 47	103 54	114 00	121 84	139 94	147 73	165 79	173 57	
LAUST	67 4551	17 2045	MÁX VER	4 93	73 76	93 26	106 17	118 56	134 59	146 60	174 36	186 29	213 99	225 91	
MONTE	49 5156	18 6682	MÁX VER	4 60	56 36	77 52	91 51	104 96	122 36	135 39	165 51	178 46	208 51	221 46	
PAPAL	48 6352	16 0186	MOMENTOS	7 14	54 51	72 66	84 68	96 21	111 14	122 32	148 17	159 28	185 07	196 17	
SNJUA	32 1849	17 7847	MÁX VER	7 06	38 70	58 86	72 21	85 01	101 58	114 00	142 69	155 03	184 70	195 99	
TEMAS	64 9767	12 4823	MÁX VER	2 36	69 55	83 70	93 07	102 05	113 68	122 40	142 54	151 20	171 29	179 94	
VILLA	25 6538	6 8227	MÁX VER	1 45	28 15	35 89	41 01	45 92	52 28	57 04	68 05	72 78	83 76	88 49	



**TABLA B.8** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 80$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 80 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	11.3038	5.7327	MOMENTOS	2.76	13.41	19.90	24.20	28.33	33.67	37.68	46.92	50.90	60.13	64.10
ASTAT	18.2803	6.1604	MÁX VER	1.46	20.54	27.52	32.14	36.58	42.32	46.62	56.56	60.83	70.75	75.02
AYUTL	12.6176	7.3238	MOMENTOS	3.51	15.30	23.60	29.10	34.37	41.20	46.31	58.13	63.21	75.00	80.07
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	14.3756	6.0017	MOMENTOS	1.82	16.58	23.38	27.88	32.20	37.79	41.98	51.67	55.83	65.49	69.65
COIXT	13.7003	3.5234	MOMENTOS	1.38	14.99	18.99	21.63	24.17	27.45	29.91	35.59	38.04	43.71	46.15
CUEST	12.1447	6.4820	MÁX VER	2.02	14.52	21.87	26.73	31.40	37.44	41.96	52.42	56.92	67.35	71.85
ELCAR	15.9141	6.2520	MÁX VER	1.48	18.21	25.29	29.98	34.48	40.31	44.67	54.76	59.10	69.16	73.50
JAYAC	18.1021	8.5089	MÁX VER	2.52	21.22	30.87	37.25	43.38	51.30	57.24	70.97	76.88	90.57	96.47
MAGDA	11.3735	3.7552	MOMENTOS	1.30	12.75	17.01	19.82	22.53	26.03	28.65	34.71	37.31	43.36	45.96
PALMA	11.0599	3.4124	MOMENTOS	1.87	12.31	16.18	18.74	21.20	24.38	26.76	32.26	34.63	40.12	42.49
QUIOT	14.8692	7.4114	MÁX VER	1.50	17.59	25.99	31.55	36.88	43.79	48.96	60.92	66.06	77.99	83.13
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	11.0962	4.2870	MÁX VER	1.38	12.67	17.53	20.74	23.83	27.82	30.82	37.73	40.71	47.61	50.58
SNMIG	10.4301	5.0907	MOMENTOS	2.93	12.30	18.07	21.89	25.55	30.29	33.85	42.06	45.59	53.79	57.32
SNPED	11.2230	5.3058	MOMENTOS	2.12	13.17	19.18	23.16	26.98	31.93	35.63	44.19	47.87	56.41	60.09
SNPIA	6.9825	5.2934	MOMENTOS	3.69	8.92	14.92	18.89	22.71	27.64	31.33	39.87	43.55	52.07	55.74
SNTIT	8.2107	3.8629	MÁX VER	1.30	9.63	14.01	16.90	19.68	23.28	25.98	32.21	34.89	41.11	43.79
SUCHI	10.7451	8.9352	MOMENTOS	6.08	14.02	24.15	30.85	37.28	45.61	51.85	66.27	72.46	86.85	93.04
TELPA	13.4787	6.2422	MOMENTOS	2.33	15.77	22.84	27.53	32.02	37.84	42.19	52.27	56.60	66.64	70.97
TEPEL	14.7797	8.2922	MOMENTOS	3.08	17.82	27.22	33.44	39.41	47.14	52.93	66.30	72.06	85.41	91.15
TEPEU	16.0010	5.2093	MÁX VER	1.24	17.91	23.82	27.72	31.47	36.33	39.96	48.37	51.98	60.37	63.98
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 80 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h									
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	27.4325	10.4166	MÁX VER	2.39	31.25	43.06	50.87	58.37	68.08	75.35	92.16	99.38	116.15	123.37
ALOTE	32.7075	8.6190	MOMENTOS	4.26	35.87	45.64	52.10	58.31	66.34	72.36	86.26	92.24	106.12	112.09
AZUET	29.7214	12.6936	MOMENTOS	2.69	34.37	48.76	58.29	67.42	79.25	88.11	108.60	117.40	137.83	146.63
CANTO	55.9027	13.6868	MÁX VER	3.26	60.92	76.43	86.70	96.56	109.31	118.86	140.95	150.44	172.47	181.96
CDALE	43.8212	17.7707	MÁX VER	4.70	50.33	70.48	83.81	96.60	113.16	125.57	154.24	166.57	195.18	207.50
CUATO	26.9833	13.0053	MÁX VER	2.20	31.75	46.49	56.25	65.61	77.73	86.81	107.79	116.81	137.75	146.77
CUCHI	47.8389	7.8665	MOMENTOS	3.97	50.72	59.64	65.54	71.20	78.53	84.03	96.72	102.18	114.84	120.29
FORIT	27.7462	9.7421	MOMENTOS	4.20	30.82	41.86	49.17	56.18	65.26	72.06	87.78	94.54	110.22	116.97
HUAUT	26.8117	8.6845	MÁX VER	2.11	30.00	39.84	46.36	52.61	60.70	66.76	80.77	86.80	100.78	106.80
JACAT	58.6310	10.9982	MÁX VER	2.73	62.66	75.13	83.38	91.30	101.55	109.22	126.97	134.60	152.30	159.93
LAEST	57.9860	12.4571	MÁX VER	3.65	62.55	76.67	86.02	94.99	106.59	115.29	135.39	144.03	164.09	172.72
MONTE	39.7947	15.7323	MÁX VER	3.43	45.56	63.39	75.20	86.52	101.18	112.17	137.55	148.46	173.79	184.69
PAPAL	40.7386	13.5109	MOMENTOS	5.62	45.69	61.00	71.14	80.87	93.46	102.89	124.69	134.06	155.81	165.18
SNJUA	24.9472	14.0965	MÁX VER	5.49	30.11	46.09	56.67	66.82	79.95	89.79	112.54	122.32	145.01	154.78
TEMAS	57.5915	10.6216	MÁX VER	2.54	61.48	73.52	81.49	89.14	99.04	106.45	123.59	130.96	148.06	155.42
VILLA	21.5873	6.1885	MÁX VER	1.37	23.86	30.87	35.51	39.97	45.74	50.06	60.04	64.33	74.30	78.59

**TABLA B.9** Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para periodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 100$  min.

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 100 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
APAZC	9 4011	4 6203	MOMENTOS	1 96	11 10	16 33	19 80	23 12	27 43	30 66	38 11	41 32	48 75	51 96	
ASTAT	14 7700	4 8426	MÁX VER	1 20	16 55	22 03	25 67	29 15	33 67	37 05	44 86	48 22	56 02	59 37	
AYUTL	10 6619	6 1658	MOMENTOS	3 15	12 92	19 91	24 54	28 98	34 72	39 03	48 97	53 25	63 18	67 45	
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CALTE	11 9484	4 7695	MOMENTOS	1 41	13 70	19 10	22 68	26 12	30 56	33 89	41 58	44 89	52 57	55 88	
COIXT	7 6101	27 5597	MOMENTOS	25 46	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
CUEST	10 2199	5 5437	MÁX VER	1 88	12 25	18 54	22 70	26 69	31 85	35 72	44 67	48 51	57 44	61 28	
ELCAR	13 2430	5 3549	MÁX VER	1 21	15 21	21 28	25 29	29 15	34 14	37 88	46 52	50 23	58 85	62 56	
JAYAC	15 3794	7 1208	MÁX VER	1 66	17 99	26 06	31 40	36 53	43 16	48 14	59 63	64 57	76 03	80 96	
MAGDA	9 4767	2 9698	MOMENTOS	1 00	10 57	13 93	16 16	18 30	21 07	23 14	27 93	29 99	34 77	36 83	
PALMA	9 1096	2 7566	MOMENTOS	1 61	10 12	13 24	15 31	17 30	19 87	21 79	26 24	28 15	32 59	34 50	
QUIOT	12 4410	6 0556	MÁX VER	1 25	14 66	21 52	26 07	30 43	36 07	40 30	50 07	54 27	64 02	68 22	
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
SNLOR	9 1526	4 3520	MÁX VER	2 10	10 75	15 68	18 95	22 08	26 13	29 17	36 19	39 21	46 22	49 24	
SNMIG	8 7311	4 0091	MOMENTOS	2 23	10 20	14 74	17 75	20 64	24 37	27 17	33 64	36 42	42 88	45 66	
SNPED	9 6862	4 4846	MÁX VER	1 77	11 33	16 41	19 78	23 01	27 19	30 32	37 55	40 66	47 88	50 99	
SNNTA	6 0337	4 1961	MOMENTOS	2 75	7 57	12 33	15 48	18 50	22 41	25 34	32 11	35 02	41 77	44 68	
SNITT	6 8268	3 1821	MÁX VER	1 01	7 99	11 60	13 99	16 28	19 24	21 47	26 60	28 81	33 93	36 14	
SUCHI	8 7830	7 3441	MOMENTOS	5 08	11 48	19 80	25 31	30 60	37 44	42 57	54 42	59 51	71 33	76 43	
TEHPA	11 7731	5 0618	MOMENTOS	2 28	13 63	19 37	23 16	26 81	31 52	35 06	43 23	46 74	54 89	58 39	
TEPEL	12 7149	6 9469	MOMENTOS	2 10	15 26	23 14	28 35	33 35	39 82	44 67	55 88	60 70	71 88	76 70	
TEPEU	13 6165	4 3009	MÁX VER	1 04	15 19	20 07	23 30	26 39	30 40	33 40	40 34	43 32	50 25	53 23	
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 100 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	
ACAYU	23 0034	8 9725	MÁX VER	1 44	26 29	36 46	43 20	49 65	58 01	64 28	78 76	84 98	99 42	105 64	
ALOTE	27 0537	7 3152	MÁX VER	3 39	29 74	38 03	43 52	48 78	55 60	60 71	72 51	77 58	89 36	94 43	
AZUET	25 4586	10 7118	MÁX VER	1 61	29 39	41 53	49 56	57 28	67 26	74 73	92 02	99 45	116 69	124 12	
CANTO	48 7965	12 3922	MÁX VER	3 07	53 34	67 38	76 68	85 60	97 15	105 80	125 80	134 39	154 34	162 93	
CDALEMA	37 2202	15 7574	MOMENTOS	5 19	43 00	60 86	72 68	84 02	98 70	109 71	135 13	146 06	171 43	182 35	
CUATO	22 5026	11 1068	MÁX VER	1 76	26 58	39 16	47 50	55 49	65 84	73 60	91 52	99 22	117 10	124 80	
CUICH	40 9779	7 3262	MOMENTOS	3 33	43 66	51 97	57 47	62 74	69 56	74 68	86 50	91 58	103 38	108 46	
FORTI	24 9725	7 7321	MOMENTOS	3 21	27 81	36 57	42 37	47 94	55 14	60 54	73 02	78 38	90 83	96 19	
HUAUT	24 0851	7 6688	MÁX VER	2 12	26 90	35 59	41 34	46 86	54 01	59 36	71 74	77 06	89 40	94 72	
JACAT	51 1269	10 3055	MÁX VER	2 32	54 90	66 59	74 32	81 74	91 34	98 53	115 16	122 31	138 90	146 04	
LAEST	49 3365	11 9215	MOMENTOS	3 72	53 71	67 22	76 16	84 75	95 85	104 18	123 41	131 68	150 87	159 14	
MONTE	33 0236	13 1094	MÁX VER	2 90	37 83	52 69	62 53	71 96	84 18	93 33	114 48	123 57	144 68	153 77	
PAPAL	35 4383	11 7954	MOMENTOS	4 99	39 76	53 13	61 98	70 47	81 46	89 70	108 73	116 91	135 90	144 08	
SNJUA	20 4565	11 1818	MÁX VER	4 49	24 56	37 23	45 62	53 67	64 09	71 89	89 94	97 69	115 69	123 44	
TEMAS	49 3078	10 0135	MÁX VER	2 42	52 98	64 33	71 84	79 05	88 38	95 37	111 53	118 47	134 59	141 54	
VILLA	19 1879	6 0493	MÁX VER	1 37	21 41	28 26	32 80	37 16	42 79	47 02	56 78	60 97	70 71	74 90	

**TABLA B.10**

**Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 120$  min.**

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 120 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h											
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS											
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000		
APAIZC	8.0666	3.9097	MOMENTOS	1.54	9.50	13.93	16.87	19.68	23.32	26.05	32.36	35.07	41.37	44.08		
ASTAT	12.4122	3.9293	MÁX. VER.	0.98	13.85	18.31	21.26	24.08	27.74	30.49	36.83	39.55	45.88	48.60		
AYUTL	9.5567	5.1677	MOMENTOS	2.59	11.45	17.31	21.19	24.91	29.72	33.33	41.67	45.25	53.57	57.15		
CALAP	10.7358	7.5300	MOMENTOS	3.79	13.50	22.03	27.68	33.10	40.12	45.38	57.52	62.75	74.87	80.09		
CALTE	10.2275	4.0628	MOMENTOS	1.24	11.72	16.32	19.37	22.30	26.08	28.92	35.47	38.29	44.83	47.65		
COIXT	9.1077	2.7774	MOMENTOS	0.96	10.13	13.27	15.36	17.36	19.95	21.88	26.37	28.29	32.76	34.69		
CUEST	8.9216	4.9450	MÁX. VER.	1.87	10.73	16.34	20.05	23.61	28.22	31.67	39.65	43.08	51.04	54.47		
ELCAR	11.3710	4.5685	MÁX. VER.	1.04	13.05	18.22	21.65	24.94	29.20	32.39	39.76	42.93	50.28	53.45		
JAYAC	13.4242	6.1059	MÁX. VER.	1.21	15.66	22.58	27.17	31.56	37.25	41.51	51.36	55.60	65.43	69.66		
MAGDA	8.1519	2.5620	MOMENTOS	0.90	9.09	12.00	13.92	15.76	18.15	19.94	24.07	25.85	29.97	31.75		
PALMA	7.9293	2.2520	MOMENTOS	1.36	8.76	11.31	13.00	14.62	16.72	18.29	21.92	23.48	27.11	28.67		
QUIOT	10.8207	5.1336	MÁX. VER.	1.16	12.70	18.52	22.37	26.07	30.85	34.44	42.72	46.28	54.54	58.10		
SALINA	15.2541	7.6612	MÁX. VER.	2.63	18.06	26.75	32.50	38.01	45.15	50.50	62.86	68.17	80.51	85.82		
SNLOR	9.3230	4.3421	MÁX. VER.	1.49	10.91	15.84	19.09	22.22	26.27	29.30	36.30	39.32	46.31	49.32		
SNMIG	7.5878	3.3526	MOMENTOS	1.79	8.82	12.62	15.13	17.55	20.67	23.01	28.42	30.75	36.14	38.47		
SNPED	8.3755	3.9328	MÁX. VER.	1.49	9.82	14.27	17.23	20.06	23.72	26.47	32.81	35.54	41.87	44.60		
SNTHA	5.3352	3.5002	MOMENTOS	2.17	6.62	10.59	13.21	15.73	18.99	21.44	27.08	29.51	35.15	37.57		
SNTTT	5.8802	2.7857	MÁX. VER.	0.82	6.90	10.06	12.15	14.15	16.75	18.70	23.19	25.12	29.61	31.54		
SUCHI	7.5160	6.2816	MOMENTOS	4.35	9.82	16.94	21.65	26.17	32.03	36.41	46.55	50.91	61.02	65.37		
TELPA	10.3126	4.3230	MOMENTOS	1.95	11.90	16.80	20.04	23.15	27.18	30.20	37.17	40.17	47.13	50.13		
TEPEL	11.1203	5.8345	MOMENTOS	1.63	13.26	19.87	24.25	28.45	33.89	37.96	47.37	51.42	60.81	64.86		
TEPEU	11.9609	3.6489	MÁX. VER.	0.87	13.30	17.43	20.17	22.80	26.20	28.75	34.63	37.17	43.04	45.57		
XIQUI	9.9641	3.8959	MÁX. VER.	1.25	11.39	15.81	18.73	21.54	25.17	27.89	34.17	36.87	43.15	45.85		
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 120 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	ERROR ESTÁNDAR	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h											
	PARÁMETROS				PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS											
	$\mu$	$\alpha$			2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000		
ACAYU	19.8033	7.9048	MÁX. VER.	1.22	22.70	31.66	37.59	43.28	50.65	56.17	68.92	74.40	87.13	92.61		
ALOTE	23.0297	6.1676	MÁX. VER.	2.77	25.29	32.28	36.91	41.35	47.10	51.40	61.35	65.63	75.56	79.84		
AZUEI	21.8972	9.0057	MÁX. VER.	1.45	25.20	35.41	42.16	48.65	57.04	63.33	77.86	84.10	98.60	104.84		
CANTO	43.8798	11.8864	MOMENTOS	2.59	48.15	61.62	70.54	79.10	90.17	98.47	117.65	125.89	145.03	153.27		
CDALE	31.7897	13.8766	MOMENTOS	5.23	36.88	52.60	63.02	73.01	85.94	95.62	118.01	127.64	149.98	159.60		
CUATO	19.3262	9.3887	MÁX. VER.	1.59	22.77	33.41	40.45	47.21	55.96	62.52	77.66	84.18	99.29	105.80		
CUICH	34.9467	8.9280	MÁX. VER.	2.72	38.22	48.34	55.04	61.47	69.78	76.02	90.42	96.62	110.99	117.18		
FORTI	23.0836	6.2298	MOMENTOS	2.63	25.37	32.43	37.10	41.59	47.39	51.74	61.79	66.12	76.14	80.46		
HUAUT	21.4570	7.2191	MÁX. VER.	1.65	24.10	32.29	37.70	42.90	49.63	54.67	66.31	71.32	82.94	87.95		
JACAT	44.9721	9.2626	MÁX. VER.	1.55	48.37	58.87	65.82	72.48	81.11	87.58	102.53	108.95	123.86	130.28		
LAEST	43.2849	10.8390	MOMENTOS	3.82	47.26	59.54	67.68	75.48	85.58	93.15	110.63	118.15	135.60	143.12		
MONTE	28.6543	11.4985	MÁX. VER.	2.18	32.87	45.90	54.53	62.81	73.52	81.55	100.10	108.08	126.59	134.56		
PAPAL	30.6695	10.2910	MOMENTOS	4.57	34.44	46.11	53.83	61.24	70.82	78.01	94.61	101.75	118.32	125.45		
SNJUA	17.5039	9.2122	MÁX. VER.	3.84	20.88	31.32	38.24	44.87	53.45	59.88	74.75	81.14	95.97	102.35		
TEMAS	41.4895	8.7537	MÁX. VER.	2.51	44.70	54.62	61.19	67.49	75.65	81.76	95.88	101.95	116.05	122.11		
VILLA	17.0210	5.3563	MÁX. VER.	1.46	18.98	25.06	29.08	32.93	37.92	41.66	50.30	54.02	62.64	66.35		

**TABLA B.11**

**Parámetros de la función de distribución de probabilidad univariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 1440$  min.**

ZONA A ESTACIÓN	DURACIÓN = 1440 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS			PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$		2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	1.4038	0.4298	MOMENTOS	1.56	2.05	2.37	2.68	3.08	3.38	4.08	4.37	5.07	5.36
ASTAT	1.6475	0.4772	MOMENTOS	1.82	2.36	2.72	3.07	3.51	3.84	4.61	4.94	5.71	6.04
AYUTL	2.5881	0.9445	MOMENTOS	2.93	4.01	4.71	5.39	6.27	6.93	8.46	9.11	10.63	11.29
CALAP	1.6971	0.6188	MAX VER	1.92	2.63	3.09	3.54	4.11	4.54	5.54	5.97	6.97	7.40
CALTE	1.5855	0.4548	MAX VER	1.75	2.27	2.61	2.94	3.36	3.68	4.41	4.73	5.46	5.77
COIXT	X	X	INTERPOLADO	2.01	2.70	3.16	3.59	4.16	4.59	5.57	5.99	6.97	7.39
CUEST	X	X	INTERPOLADO	2.21	2.98	3.48	3.96	4.59	5.06	6.15	6.61	7.69	8.16
ELCAR	1.7780	0.4964	MAX VER	1.96	2.52	2.90	3.25	3.72	4.06	4.86	5.21	6.01	6.35
JAYAC	1.7706	0.7133	MOMENTOS	2.03	2.84	3.38	3.89	4.55	5.05	6.20	6.70	7.85	8.34
MAGDA	1.6728	0.5930	MOMENTOS	1.89	2.56	3.01	3.43	3.99	4.40	5.36	5.77	6.72	7.13
PALMA	X	X	INTERPOLADO	2.18	2.91	3.39	3.86	4.46	4.91	5.95	6.40	7.44	7.89
QUIOT	1.8911	0.6295	MAX VER	2.12	2.84	3.31	3.76	4.35	4.79	5.80	6.24	7.25	7.69
SALIN	1.8181	0.6068	MOMENTOS	2.04	2.73	3.18	3.62	4.19	4.61	5.59	6.01	6.99	7.41
SNLOR	1.7580	0.4159	MOMENTOS	1.91	2.38	2.69	2.99	3.38	3.67	4.34	4.63	5.30	5.59
SNMIG	1.7981	0.5589	MOMENTOS	2.00	2.64	3.06	3.46	3.98	4.37	5.27	5.66	6.56	6.95
SNPED	2.1705	0.8330	MOMENTOS	2.48	3.42	4.05	4.65	5.42	6.00	7.35	7.92	9.27	9.84
SNNTA	1.8664	0.8290	MAX VER	2.17	3.11	3.73	4.33	5.10	5.68	7.02	7.59	8.93	9.50
SNNTT	1.7170	0.5580	MOMENTOS	1.92	2.55	2.97	3.37	3.89	4.28	5.18	5.57	6.47	6.86
SUCHI	1.9031	0.6562	MOMENTOS	2.14	2.89	3.38	3.85	4.46	4.92	5.98	6.44	7.49	7.95
TELPA	2.2806	1.0588	MOMENTOS	2.67	3.87	4.66	5.43	6.41	7.15	8.86	9.59	11.30	12.03
TEPEL	1.6050	0.5940	MOMENTOS	1.82	2.50	2.94	3.37	3.92	4.34	5.30	5.71	6.66	7.08
TEPEU	2.3899	0.6991	MAX VER	2.65	3.44	3.96	4.47	5.12	5.61	6.73	7.22	8.34	8.83
XIQUI	1.5784	0.5197	MAX VER	1.77	2.36	2.75	3.12	3.61	3.97	4.81	5.17	6.01	6.37
ZONA B ESTACIÓN	DURACIÓN = 1440 min		MÉTODO DE SOLUCIÓN	INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h									
	PARÁMETROS			PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
	$\mu$	$\alpha$		2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	3.8699	1.0384	MAX VER	4.25	5.43	6.21	6.95	7.92	8.65	10.32	11.04	12.71	13.43
ALOTE	X	X	INTERPOLADO	5.24	7.07	8.16	9.21	10.57	11.59	13.94	14.95	17.61	18.31
AZUEI	3.7141	1.1812	MOMENTOS	4.15	5.49	6.37	7.22	8.32	9.15	11.05	11.87	13.78	14.59
CANTO	6.6901	2.3539	MOMENTOS	7.55	10.22	11.99	13.68	15.88	17.52	21.32	22.95	26.74	28.37
CDALE	4.8165	1.2254	MOMENTOS	5.27	6.66	7.57	8.46	9.60	10.45	12.43	13.28	15.25	16.10
CUATO	3.2762	2.1719	MOMENTOS	4.07	6.53	8.16	9.73	11.75	13.27	16.77	18.28	21.78	23.28
CURCH	4.6586	1.1352	MOMENTOS	5.08	6.36	7.21	8.03	9.09	9.88	11.71	12.50	14.33	15.11
FORTI	3.2476	0.8286	MOMENTOS	3.55	4.49	5.11	5.71	6.48	7.06	8.40	8.97	10.31	10.88
HUAUT	5.8352	1.7173	MOMENTOS	6.47	8.41	9.70	10.94	12.54	13.74	16.51	17.70	20.46	21.65
JACAT	6.3300	2.0113	MOMENTOS	7.37	9.65	11.16	12.61	14.48	15.89	19.13	20.53	23.77	25.16
LAEST	8.1622	2.5940	MOMENTOS	9.11	12.05	14.00	15.87	18.28	20.09	24.28	26.08	30.25	32.05
MONTE	4.9184	1.0970	MAX VER	5.32	6.56	7.39	8.18	9.20	9.96	11.74	12.50	14.26	15.02
PAPAL	4.9555	0.8079	MAX VER	5.25	6.17	6.77	7.36	8.11	8.67	9.98	10.54	11.84	12.40
SNJUA	X	X	INTERPOLADO	5.22	7.04	8.13	9.18	10.54	11.55	13.90	14.91	17.56	18.27
TEMAS	5.3202	1.3868	MAX VER	5.83	7.40	8.44	9.44	10.73	11.70	13.94	14.90	17.13	18.09
VILLA	3.2021	0.9744	MOMENTOS	3.56	4.66	5.40	6.10	7.00	7.68	9.26	9.93	11.50	12.18

# ***ANEXO C***

*" ANÁLISIS DE FRECUENCIA "*

***DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BIVARIADA***

*PARÁMETROS AJUSTADOS*

*Y*

*EVENTOS CALCULADOS*

**TABLA C.1** Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para periodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 5$  min.

ZONA A		DURACIÓN = 5 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)	(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAZC	ELCAR	65 0558	23 7945	76 5803	25 2892	1 6176	13 55	5 06	APAZC	73 78	100 75	118 60	135 73	157 90	174 51	212 91	229 41	267 72	284 21
ASTAT	AYUTL	80 3730	24 9079	62 2065	19 1357	1 0153	11 82	5 18	ASTAT	89 50	117 73	136 42	154 35	177 56	194 95	235 14	252 42	292 52	309 78
AYUTL	COIXT	62 5086	19 0071	77 6713	16 4806	1 0040	5 17	5 99	AYUTL	69 47	91 02	105 28	118 96	136 67	149 94	180 61	193 80	224 39	237 57
CALAP		X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	QUIOT	87 0249	24 9076	73 9737	39 4098	1 1997	6 58	13 13	CALTE	96 15	124 38	143 08	161 01	184 21	201 60	241 79	259 07	299 17	316 43
COIXT	ASTAT	78 1538	16 5368	80 0334	24 4511	1 6232	5 80	11 87	COIXT	84 21	102 96	115 37	127 27	142 68	154 23	180 91	192 38	219 00	230 46
CUEST	SNPED	62 8162	33 5579	65 3347	27 8443	1 0464	20 06	10 73	CUEST	75 12	113 15	138 33	162 49	193 76	217 19	271 33	294 61	348 63	371 89
ELCAR	JAYAC	73 0118	25 2616	87 2266	23 5315	1 2833	4 07	12 93	ELCAR	82 27	110 90	129 86	148 04	171 58	189 22	229 98	247 50	288 17	305 68
JAYAC	PALMA	87 5913	23 3486	43 6994	34 0424	2 6700	12 84	19 98	JAYAC	96 15	122 61	140 13	156 94	178 70	195 00	232 67	248 87	286 45	302 64
MAGDA	PALMA	77 9580	19 4134	72 8965	29 3357	1 0338	6 36	13 84	MAGDA	85 07	107 08	121 65	135 62	153 71	167 26	198 59	212 05	243 30	256 76
PALMA	CUEST	64 5419	26 0983	57 4367	31 3213	1 0365	6 35	22 61	PALMA	74 11	103 69	123 27	142 06	166 38	184 60	226 71	244 81	286 82	304 92
QUIOT	SNITIA	74 0654	39 4106	45 1417	23 3084	1 0352	13 13	19 33	QUIOT	88 51	133 18	162 75	191 12	227 84	255 36	318 95	346 28	409 73	437 05
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	TEPEU	67 3516	24 2505	86 3737	32 6324	1 6487	8 36	10 61	SNLOR	76 24	103 73	121 92	139 38	161 98	178 91	218 03	234 86	273 90	290 71
SNMIG	TEPEU	60 3068	21 3820	86 7387	33 0575	1 1596	8 18	10 50	SNMIG	68 14	92 38	108 42	123 82	143 74	158 67	193 17	208 00	242 42	257 24
SNPED	SUCHI	67 0606	29 8438	51 9913	26 0103	1 0554	8 87	8 92	SNPED	78 00	111 82	134 22	155 70	183 51	204 35	252 50	273 20	321 24	341 93
SNITIA	SUCHI	45 6949	24 1879	52 1235	32 4683	1 2569	18 75	11 73	SNITIA	54 56	81 98	100 13	117 54	140 07	156 96	195 99	212 77	251 71	268 47
SNITT	TEPEU	47 6040	28 4963	86 2686	32 5154	1 7546	9 27	10 65	SNITT	58 05	90 35	111 73	132 24	158 79	178 69	224 67	244 44	290 31	310 00
SUCHI	AYUTL	57 6462	28 7177	62 0633	19 1012	1 2617	6 20	5 19	SUCHI	68 13	100 68	122 23	142 90	169 66	189 71	236 05	255 97	302 20	322 10
TELPA	TEPEU	78 1775	35 8156	86 2627	31 9926	1 6858	21 26	10 81	TELPA	91 30	131 90	158 78	184 56	217 93	242 93	300 72	325 56	383 22	408 05
TEPEL	TEPEU	97 7463	25 1278	86 2823	31 7259	1 3882	19 85	10 90	TEPEL	106 96	135 44	154 29	172 38	195 79	213 34	253 88	271 31	311 76	329 18
TEPEU	COIXT	86 6891	34 1126	77 5774	16 1369	1 0008	10 41	6 40	TEPEU	99 19	137 86	163 45	188 01	219 79	243 61	298 65	322 31	377 23	400 88
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B		DURACIÓN = 5 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)	(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	JACAT	113 2570	33 6130	174 3635	24 2237	1 2094	10 89	5 10	ACAYU	125 58	163 67	188 90	213 09	244 41	267 88	322 11	345 43	399 54	422 84
ALOTE	CANTO	143 1201	48 9002	165 3407	41 5114	1 6184	39 08	16 33	ALOTE	161 04	216 47	253 16	288 36	333 93	368 07	446 97	480 89	559 61	593 51
AZUET	PAPAL	134 1306	33 7221	138 4413	33 9367	1 2076	16 51	6 36	AZUET	146 49	184 71	210 02	234 29	265 71	289 26	343 67	367 06	421 35	444 72
CANTO	ALOTE	165 3201	41 5256	143 1562	48 9507	1 6197	16 33	39 05	CANTO	180 54	227 61	258 77	288 66	327 35	356 34	423 34	452 15	519 00	547 78
CDALE	CANTO	147 8931	40 7244	164 8563	41 4939	1 4811	14 59	16 38	CDALE	162 82	208 98	239 54	268 85	306 80	335 23	400 94	429 19	494 75	522 98
CUATO	ALOTE	116 8788	30 8568	94 3716	83 9941	5 9291	9 94	57 52	CUATO	128 19	163 16	186 32	208 53	237 28	258 82	308 61	330 01	379 69	401 08
CUICH	VILLA	141 6299	53 9820	105 1322	16 4657	1 1504	15 88	4 99	CUICH	161 41	222 60	263 11	301 97	352 26	389 96	477 05	514 50	601 40	638 82
FORTI	LAEST	107 5960	34 9911	147 7270	34 0023	1 7457	27 34	14 38	FORTI	120 42	160 08	186 34	211 53	244 13	268 56	325 02	349 29	405 62	429 87
HUAUT	VILLA	101 0673	22 6619	104 7290	16 4501	1 0019	8 60	4 98	HUAUT	109 37	135 06	152 06	168 38	189 49	205 32	241 88	257 60	294 08	309 79
JACAT	CANTO	174 9294	24 7179	165 8082	42 1370	1 2478	4 80	16 42	JACAT	183 99	212 00	230 55	248 35	271 38	288 64	328 52	345 66	385 45	402 59
LAEST	TEMAS	150 0517	36 9370	172 8637	37 3068	1 4778	12 54	14 32	LAEST	163 59	205 46	233 17	259 76	294 18	319 97	379 56	405 19	464 65	490 25
MONTE	ALOTE	137 5368	32 7854	136 7722	44 9432	1 0698	9 19	43 00	MONTE	149 55	186 71	211 32	234 92	265 46	288 35	341 25	363 99	416 77	439 50
PAPAL	CUATO	139 6722	36 4709	116 6291	30 7654	1 4695	4 42	9 94	PAPAL	153 04	194 38	221 75	248 00	281 98	307 44	366 29	391 59	450 30	475 58
SNJUA	HUAUT	110 9356	38 9413	100 8576	22 3769	1 8758	16 26	8 60	SNJUA	125 21	169 35	198 57	226 60	262 88	290 07	352 90	379 91	442 60	469 60
TEMAS	FORTI	172 5639	46 6480	107 7783	31 4409	1 5108	14 19	28 11	TEMAS	186 00	227 53	255 04	281 42	315 56	341 15	400 28	425 70	484 70	510 10
VILLA	PAPAL	104 8898	16 3606	139 0425	34 7839	1 0265	4 98	5 43	VILLA	110 89	129 43	141 71	153 48	168 73	180 15	206 55	217 90	244 23	255 88

**TABLA C.2 Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 10$  min.**

ZONA A		DURACIÓN = 10 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	TEPEU	44 6285	17 5598	62 7279	24 9533	1 0030	11 17	8 01	APAZC	51 06	70 97	84 14	96 78	113 15	125 41	153 74	165 92	194 19	206 36
ASTAT	TELPA	60 2705	21 8373	53 0154	21 7123	1 0427	4 96	15 83	ASTAT	68 27	93 03	109 41	125 13	145 48	160 73	195 96	211 11	246 26	261 40
AYUTL	TELPA	45 4461	12 9794	51 5781	22 7193	1 3140	3 88	15 36	AYUTL	50 20	64 91	74 65	84 00	96 09	105 15	126 09	135 10	155 99	164 99
CALAP		X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	SNLOR	60 2520	20 1470	46 2819	7 6215	1 0099	4 41	5 44	CALTE	67 64	90 47	105 59	120 09	138 86	152 93	185 44	199 41	231 85	245 81
COIXT	SNLOR	55 7120	12 3949	49 2342	8 4357	1 0123	3 73	5 16	COIXT	60 25	74 30	83 61	92 53	104 08	112 73	132 73	141 33	161 28	169 87
CUEST	SUCHI	47 5686	24 0648	40 9920	15 4766	2 4807	16 50	6 25	CUEST	56 39	83 66	101 72	119 05	141 47	158 27	197 10	213 79	252 53	269 21
ELCAR	MAGDA	54 1944	18 4819	49 0853	10 0640	1 0004	5 41	13 16	ELCAR	61 17	82 12	95 99	109 29	126 51	139 41	169 23	182 05	211 81	224 62
JAYAC	TEPEL	59 3153	19 0468	63 6434	17 5024	1 1193	6 74	15 41	JAYAC	66 50	88 08	102 38	116 09	133 83	147 13	177 86	191 08	221 74	234 94
MAGDA	ASTAT	49 2910	10 9801	58 7026	19 3210	1 2214	12 53	7 32	MAGDA	53 32	65 76	74 00	81 90	92 13	99 80	117 52	125 13	142 81	150 42
PALMA	SNMIG	40 3632	17 2330	42 6844	14 7430	1 7716	4 86	10 98	PALMA	46 68	66 21	79 14	91 55	107 61	119 64	147 44	159 40	187 14	199 08
QUIOT	SNITIA	50 7613	26 9569	36 0930	23 6268	1 1039	6 01	23 43	QUIOT	60 64	91 20	111 42	130 83	155 95	174 77	218 26	236 96	280 36	299 04
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	ELCAR	47 8663	8 3001	54 9276	20 1494	1 1310	4 86	5 90	SNLOR	50 91	60 32	66 54	72 52	80 25	86 05	99 44	105 20	118 56	124 31
SNMIG	QUIOT	44 7739	16 3927	50 7158	26 5368	1 3007	10 28	6 11	SNMIG	50 78	69 36	81 66	93 46	108 74	120 18	146 63	158 00	184 39	195 76
SNPED	COIXT	44 6298	19 3394	54 3078	9 2678	1 0221	7 19	5 54	SNPED	51 72	73 64	88 15	102 07	120 09	133 59	164 80	178 21	209 35	222 75
SNITIA	CUEST	32 7835	23 5004	42 1863	16 5649	3 0073	23 57	22 22	SNITIA	41 40	68 03	85 67	102 58	124 48	140 89	178 81	195 11	232 94	249 23
SNITIT	AYUTL	34 0376	16 1918	44 7757	13 2100	1 0022	6 15	3 93	SNITIT	39 97	58 32	70 48	82 13	97 22	108 52	134 65	145 88	171 94	183 17
SUCHI	AYUTL	42 5741	17 2665	45 1949	13 2265	1 1954	5 26	3 91	SUCHI	48 90	68 47	81 43	93 86	109 95	122 00	149 86	161 84	189 63	201 60
TELPA	QUIOT	54 2949	23 7980	50 2762	25 7956	1 2257	14 15	6 45	TELPA	63 02	89 99	107 85	124 98	147 15	163 77	202 17	218 67	256 98	273 48
TEPEL	QUIOT	65 1795	18 7391	49 7770	25 3684	1 2578	14 58	6 81	TEPEL	72 05	93 29	107 35	120 84	138 30	151 38	181 62	194 61	224 78	237 77
TEPEU	SNMIG	61 5685	26 7742	43 7569	15 2161	1 0245	7 49	10 63	TEPEU	71 38	101 73	121 82	141 09	166 04	184 73	227 93	246 50	289 61	308 17
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ZONA B		DURACIÓN = 10 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	SNJUA	82 8691	26 6811	92 7881	37 8624	1 0045	9 85	13 82	ACAYU	92 65	122 89	142 91	162 12	186 98	205 61	248 66	267 16	310 11	328 61
ALOTE	AZUET	97 4799	28 1586	102 2127	32 2136	3 7025	10 28	10 02	ALOTE	107 80	139 72	160 85	181 12	207 35	227 01	272 45	291 98	337 31	356 83
AZUET	FORTI	101 5802	31 4906	83 1388	27 9687	1 0045	9 75	14 83	AZUET	113 12	148 81	172 45	195 11	224 45	246 44	297 25	319 09	369 79	391 62
CANTO	VILLA	132 2574	24 8509	70 4778	15 0676	1 3335	9 33	3 20	CANTO	141 37	169 53	188 18	206 07	229 22	246 58	286 67	303 91	343 91	361 14
CDALE	MONTE	121 2376	28 9210	113 2118	23 7893	1 4674	5 11	8 94	CDALE	131 84	164 62	186 32	207 14	234 09	254 28	300 94	321 00	367 56	387 61
CUATO	TEMAS	89 4381	29 3741	138 5564	22 3582	1 0212	10 18	10 36	CUATO	100 20	133 50	155 54	176 69	204 05	224 56	271 96	292 33	339 62	359 98
CUICH	HUAUT	110 7964	32 9093	74 7327	16 4450	1 4417	12 41	3 59	CUICH	122 86	160 16	184 85	208 54	239 21	262 18	315 28	338 11	391 09	413 90
FORTI	TEMAS	81 4131	28 2319	137 0176	22 7340	1 3173	14 02	10 26	FORTI	91 76	123 76	144 95	165 27	191 57	211 28	256 83	276 42	321 87	341 44
HUAUT	CDALE	73 8811	18 4841	116 8601	29 6120	1 0392	3 48	6 04	HUAUT	80 66	101 61	115 48	128 78	146 00	158 91	188 73	201 56	231 31	244 12
JACAT	MONTE	136 3732	14 4105	116 4021	24 0090	1 1813	4 00	8 93	JACAT	141 65	157 99	168 80	179 18	192 60	202 66	225 91	235 91	259 11	269 10
LAEST	AZUET	131 2032	20 7514	102 0106	32 1706	1 1356	8 22	9 99	LAEST	138 81	162 33	177 90	192 84	212 17	226 66	260 14	274 54	307 94	322 33
MONTE	SNJUA	115 2319	23 5731	105 3819	34 5576	4 4694	8 56	25 05	MONTE	123 87	150 59	168 28	185 25	207 21	223 67	261 71	278 06	316 01	332 35
PAPAL	HUAUT	110 1988	30 2038	76 0674	17 1674	1 0321	9 19	3 79	PAPAL	121 27	155 50	178 17	199 91	228 05	249 14	297 87	318 82	367 45	388 38
SNJUA	TEMAS	86 3890	42 0823	137 1594	22 8774	2 4691	10 82	10 11	SNJUA	101 81	149 51	181 09	211 38	250 59	279 97	347 87	377 06	444 81	473 98
TEMAS	ACAYU	137 7183	24 0894	86 5654	28 7086	1 2486	9 09	10 37	TEMAS	146 55	173 85	191 93	209 27	231 71	248 53	287 40	304 11	342 89	359 59
VILLA	TEMAS	69 7514	15 8125	139 0979	26 9548	1 1960	2 74	8 01	VILLA	75 55	93 47	105 34	116 72	131 45	142 49	168 00	178 97	204 43	215 39

**TABLA C.3** Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 15$  min.

ZONA A		DURACIÓN = 15 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	JAYAC	37 8037	14 2229	47 4475	17 7599	1 0711	4 60	7 59	APAZC	43 02	59 14	69 81	80 05	93 30	103 23	126 18	136 04	158 94	168 80
ASTAT	AYUTL	49 7570	18 7400	36 9887	10 8491	1 0252	5 14	5 13	ASTAT	56 63	77 87	91 93	105 42	122 88	135 96	166 20	179 20	209 37	222 36
AYUTL	CALTE	37 2248	11 6457	50 0544	16 4269	1 3444	4 61	3 67	AYUTL	41 49	54 69	63 43	71 81	82 67	90 80	109 59	117 66	136 41	144 48
CALAP		X	-X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	JAYAC	50 4851	17 3108	47 5779	17 8680	1 3632	3 19	7 66	CALTE	56 83	76 45	89 44	101 90	118 03	130 12	158 05	170 06	197 92	209 92
COIXT	ASTAT	45 4575	11 9622	49 1921	17 8307	1 2307	3 78	5 66	COIXT	49 84	63 40	72 38	80 99	92 13	100 49	119 79	128 08	147 34	155 63
CUEST	ELCAR	39 3785	19 4252	46 1710	15 9870	1 2387	12 55	5 26	CUEST	46 50	68 52	83 09	97 08	115 17	128 74	160 08	173 55	204 82	218 29
ELCAR	SNTIT	46 4157	15 7244	27 2822	13 8540	1 0151	5 23	4 83	ELCAR	52 18	70 00	81 80	93 12	107 77	118 75	144 12	155 03	180 34	191 24
JAYAC	SNTIA	47 1326	17 3821	25 5356	13 5228	1 0029	7 42	22 53	JAYAC	53 50	73 20	86 25	98 76	114 96	127 09	155 14	167 20	195 18	207 23
MAGDA	CUEST	37 8449	10 0704	39 6451	21 7490	1 0153	6 44	12 07	MAGDA	41 54	52 95	60 51	67 76	77 14	84 17	100 42	107 40	123 62	130 60
PALMA	QUIOT	34 9367	14 6719	41 3086	22 3402	1 0743	9 13	6 00	PALMA	40 31	56 94	67 95	78 52	92 19	102 43	126 10	136 28	159 90	170 07
QUIOT	SNLOR	42 4259	22 6068	36 4387	7 2391	1 7691	5 82	3 49	QUIOT	50 71	76 33	93 30	109 57	130 64	146 42	182 90	198 58	234 97	250 64
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	PALMA	35 3502	7 9571	36 4127	16 3801	1 0606	2 77	8 35	SNLOR	38 27	47 29	53 26	58 98	66 40	71 95	84 79	90 31	103 12	108 64
QUIOT	SNMIG	34 9329	13 7029	42 2586	22 7048	1 2800	7 59	5 82	SNMIG	39 96	55 49	65 77	75 63	88 40	97 97	120 08	129 58	151 64	161 14
SNPED	JAYAC	37 4856	17 2245	48 2877	18 6192	1 1123	5 99	8 23	SNPED	43 80	63 32	76 25	88 65	104 69	116 72	144 51	156 46	184 19	196 13
SNTIA	CUEST	23 9851	18 7155	35 5096	13 9368	2 5615	20 17	16 98	SNTIA	30 84	52 06	66 10	79 57	97 01	110 08	140 28	153 26	183 39	196 36
SNTIT	AYUTL	28 3045	14 6712	36 3379	10 8569	1 0278	4 33	5 30	SNTIT	33 68	50 31	61 32	71 88	85 55	95 79	119 47	129 64	153 26	163 43
SUCHI	PALMA	33 8781	14 4215	34 7164	13 7099	1 0019	2 83	9 88	SUCHI	39 16	55 51	66 33	76 71	90 15	100 22	123 49	133 49	156 71	166 70
TELPA	APAZC	41 7183	19 1175	36 6495	13 8363	1 0662	10 36	5 10	TELPA	48 73	70 39	84 74	98 50	116 31	129 66	160 51	173 77	204 54	217 80
TEPEL	QUIOT	50 6114	17 9582	41 6271	21 7532	1 2618	14 43	6 08	TEPEL	57 19	77 55	91 02	103 95	120 68	133 22	162 20	174 65	203 56	216 01
TEPEU	JAYAC	48 4145	20 5042	47 3715	17 4613	1 3902	4 58	7 45	TEPEU	55 93	79 17	94 56	109 32	128 42	142 74	175 82	190 04	223 05	237 26
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B		DURACIÓN = 15 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	ALOTE	74 3962	24 3037	75 3519	18 1810	1 0005	7 45	19 12	ACAYU	83 30	110 85	129 09	146 58	169 23	186 20	225 41	242 27	281 19	298 24
ALOTE	CANTO	77 2053	22 6721	117 5937	23 3106	1 9787	15 50	10 19	ALOTE	85 51	111 21	128 23	144 55	165 67	181 50	218 08	233 81	270 31	286 02
AZUET	ALOTE	84 0881	27 0987	79 3487	20 8351	1 2289	5 30	16 20	AZUET	94 02	124 73	145 07	164 58	189 83	208 75	252 47	271 27	314 89	333 67
CANTO	JACAT	117 6611	23 1925	124 4339	10 1325	1 4674	10 10	2 42	CANTO	126 16	152 45	169 85	186 55	208 16	224 35	261 77	277 86	315 19	331 27
CDALE	CANTO	103 3114	28 0102	118 1144	23 5647	1 3889	7 96	10 45	CDALE	113 58	145 33	166 34	186 51	212 61	232 16	277 36	296 78	341 88	361 29
CUATO	TEMAS	74 7787	25 7669	117 9635	19 5704	1 0121	8 11	4 72	CUATO	84 22	113 43	132 76	151 31	175 32	193 31	234 88	252 76	294 24	312 10
CUICH	CDALE	93 1491	26 3057	103 5246	25 8478	1 0002	9 71	8 50	CUICH	102 79	132 61	152 35	171 28	195 79	214 16	256 60	274 85	317 20	335 43
FORTI	TEMAS	68 2848	19 6105	118 3808	19 3684	1 2532	5 62	4 75	FORTI	75 47	97 70	112 42	126 53	144 80	158 50	190 14	203 74	235 31	248 90
HUAUT	SNJUA	61 5143	13 7446	74 0334	41 0828	2 0924	3 35	10 52	HUAUT	66 55	82 13	92 44	102 34	115 15	124 74	146 92	156 45	178 58	188 11
JACAT	CANTO	124 4359	10 1377	117 6699	23 1998	1 4682	2 42	10 11	JACAT	128 15	139 64	147 25	154 55	163 99	171 07	187 43	194 46	210 78	217 81
LAEST	MONTE	111 2679	23 3025	100 2706	20 8151	1 2020	5 04	6 47	LAEST	119 81	146 22	163 71	180 48	202 19	218 46	256 06	272 22	309 74	325 89
MONTE	JACAT	98 3580	19 6268	124 7036	9 4295	1 2317	5 80	2 85	MONTE	105 55	127 80	142 53	156 65	174 94	188 64	220 31	233 93	265 52	279 13
PAPAL	CDALE	95 5746	30 6048	107 2867	27 7405	1 9586	7 53	8 68	PAPAL	106 79	141 48	164 45	186 48	214 99	236 36	285 74	306 97	356 24	377 45
SNJUA	TEMAS	76 0810	35 6640	118 1580	19 3046	1 4859	10 16	4 78	SNJUA	89 15	129 57	156 34	182 01	215 24	240 14	297 68	322 42	379 83	404 56
TEMAS	MONTE	118 6268	19 8858	97 6519	19 4213	1 2400	4 66	5 95	TEMAS	125 92	148 45	163 38	177 69	196 22	210 10	242 19	255 98	288 00	301 78
VILLA	MONTE	58 8426	12 8366	99 5522	20 6046	1 1333	2 41	6 18	VILLA	63 55	78 10	87 73	96 97	108 93	117 89	138 60	147 51	168 17	177 07



**TABLA C.4** Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 20$  min.

ZONA A		DURACIÓN = 20 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	CALTE	31 2278	14 5338	40 7865	15 1188	1 0089	3 49	3 70	APAZC	36 55	53 03	63 93	74 40	87 94	98 09	121 53	131 62	155 01	165 09
ASTAT	SUCHI	46 1118	18 0802	31 6106	13 2594	1 6029	4 69	3 69	ASTAT	52 74	73 23	86 80	99 81	116 66	129 28	158 46	171 00	200 10	212 64
AYUTL	CALTE	32 4962	11 5368	40 0726	13 9462	1 3761	3 97	4 19	AYUTL	36 72	49 80	58 46	66 76	77 51	85 57	104 18	112 18	130 76	138 75
CALAP		X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	JAYAC	40 9579	15 0658	40 5758	16 6330	1 3807	3 70	5 56	CALTE	46 48	63 56	74 86	85 71	99 74	110 26	134 57	145 02	169 27	179 72
COIXT	CALTE	40 4615	13 6543	41 0679	14 6675	1 9256	3 63	3 74	COIXT	45 47	60 94	71 19	81 02	93 74	103 27	125 30	134 78	156 76	166 22
CUEST	PALMA	32 7231	18 4036	28 9116	10 5656	1 0173	9 47	10 94	CUEST	39 47	60 33	74 14	87 39	104 53	117 38	147 08	159 84	189 47	202 23
ELCAR	PALMA	40 1368	14 1308	29 0319	11 3031	1 0001	4 26	10 26	ELCAR	45 32	61 33	71 94	82 11	95 27	105 14	127 94	137 74	160 49	170 29
JAYAC	TEPEL	40 3202	15 8614	40 3763	14 2017	1 2311	5 24	10 43	JAYAC	46 13	64 11	76 01	87 43	102 21	113 28	138 88	149 88	175 41	186 41
MAGDA	CALTE	30 3420	8 9506	40 4582	14 9196	1 0131	6 81	3 75	MAGDA	33 62	43 77	50 48	56 92	65 27	71 52	85 96	92 17	106 57	112 78
PALMA	CALTE	31 6674	13 1012	40 3699	14 4064	1 2834	8 98	3 89	PALMA	36 47	51 32	61 15	70 58	82 79	91 93	113 07	122 16	143 25	152 33
QUIOT	COIXT	37 4845	20 0650	40 5572	12 7013	1 0218	5 25	4 24	QUIOT	44 84	67 58	82 64	97 08	115 78	129 79	162 16	176 08	208 38	222 29
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	PALMA	28 6771	9 0275	25 9394	13 5720	1 1002	2 23	9 64	SNLOR	31 99	42 22	48 99	55 49	63 90	70 21	84 77	91 03	105 57	111 82
SNMIG	SNITIT	27 8683	12 1928	23 1087	11 2198	1 6730	5 37	4 37	SNMIG	32 34	46 16	55 31	64 08	75 44	83 96	103 63	112 09	131 72	140 17
SNPED	ELCAR	29 4877	14 5005	41 5857	14 4456	1 5330	5 87	4 65	SNPED	34 80	51 24	62 12	72 56	86 07	96 19	119 59	129 65	152 99	163 04
SNITIA	CUEST	20 0359	14 4824	30 8639	11 6150	2 1785	18 62	15 61	SNITIA	25 34	41 76	52 63	63 05	76 55	86 66	110 02	120 07	143 36	153 42
SNITIT	ASTAT	23 5655	11 7912	45 4655	18 0137	1 2780	4 01	4 79	SNITIT	27 89	41 25	50 10	58 59	69 57	77 81	96 83	105 01	123 99	132 17
SUCHI	ASTAT	31 6108	13 2577	46 1082	18 0787	1 6031	3 69	4 69	SUCHI	36 47	51 50	61 45	70 99	83 34	92 60	113 99	123 18	144 53	153 72
TELPA	SNITIA	37 1575	16 1978	20 2307	10 8508	2 2499	10 17	20 47	TELPA	43 09	61 45	73 61	85 27	100 36	111 67	137 80	149 04	175 12	186 34
TEPEL	QUIOT	41 4197	14 5493	37 0017	19 8619	1 2632	10 17	5 31	TEPEL	46 75	63 24	74 16	84 63	98 19	108 35	131 82	141 92	165 34	175 42
TEPEU	JAYAC	41 1768	18 5842	40 3447	16 0452	1 4848	3 75	5 30	TEPEU	47 99	69 05	83 00	96 38	113 69	126 67	156 65	169 54	199 46	212 34
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B		DURACIÓN = 20 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	MONTE	65 3153	22 1553	88 0500	20 8835	1 0035	4 74	5 20	ACAYU	73 44	98 55	115 17	131 12	151 76	167 23	202 98	218 35	254 01	269 37
ALOTE	CANTO	73 4800	23 9807	109 3514	21 4372	2 2681	12 29	10 24	ALOTE	82 27	109 45	127 45	144 71	167 05	183 79	222 49	239 12	277 73	294 35
AZUET	CDALE	71 1282	25 6155	95 9035	29 4583	1 3205	5 25	7 68	AZUET	80 52	109 55	128 77	147 21	171 08	188 96	230 29	248 06	289 30	307 05
CANTO	JACAT	109 1466	21 4014	112 5977	11 3283	1 5732	10 20	1 62	CANTO	116 99	141 25	157 31	172 71	192 65	207 60	242 13	256 97	291 42	306 26
CDALE	CANTO	94 8048	29 6401	109 8599	21 7857	1 3279	7 61	10 59	CDALE	105 67	139 26	161 51	182 84	210 46	231 15	278 98	299 54	347 25	367 80
CUATO	ALOTE	66 2458	24 8594	67 8678	17 2265	1 4362	7 29	17 97	CUATO	75 36	103 53	122 19	140 08	163 25	180 60	220 71	237 96	277 98	295 21
CUICH	HUAUT	86 6856	23 1776	54 8357	16 0586	1 5341	9 12	3 93	CUICH	95 18	121 45	138 84	155 53	177 12	193 31	230 70	246 78	284 09	300 16
FORTI	CANTO	58 7037	17 6774	109 5394	21 6270	1 4204	6 28	10 41	FORTI	65 18	85 22	98 48	111 21	127 68	140 02	168 54	180 81	209 26	221 52
HUAUT	SNITIA	54 5522	15 0203	60 6430	34 4272	2 2940	3 60	10 81	HUAUT	60 06	77 08	88 35	99 17	113 16	123 65	147 88	158 30	182 48	192 89
JACAT	CANTO	112 5891	11 3254	109 1236	21 3813	1 5705	1 63	10 18	JACAT	116 74	129 58	138 08	146 23	156 78	164 69	182 96	190 82	209 05	216 90
LAEST	ACAYU	100 5848	21 4520	65 6958	22 3213	1 0005	5 40	4 83	LAEST	108 45	132 76	148 86	164 30	184 29	199 27	233 88	248 76	283 29	298 16
MONTE	JACAT	87 1748	20 6529	112 7698	10 2587	1 2094	5 25	2 19	MONTE	94 74	118 15	133 65	148 52	167 76	182 18	215 50	229 83	263 08	277 49
PAPAL	CDALE	85 5642	30 0687	97 9404	29 1932	1 8901	7 55	8 18	PAPAL	96 58	130 67	151 23	174 87	202 89	223 88	272 40	293 26	341 66	362 51
SNJUA	VILLA	63 2907	31 1514	50 7225	12 5817	1 0063	10 77	1 65	SNJUA	74 71	110 02	133 39	155 82	184 84	206 59	256 85	278 46	328 61	350 28
TIMAS	CUATO	105 8066	19 7821	66 7284	25 1596	1 2202	3 67	7 59	TIMAS	113 06	135 48	150 32	164 56	183 00	196 81	228 72	242 45	274 29	288 01
VILLA	CANTO	49 9300	12 6928	109 5973	21 7003	1 5921	1 75	10 48	VILLA	54 58	68 97	78 49	87 63	99 46	108 32	128 80	137 60	158 04	166 83

**TABLA C.5 Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 30$  min.**

<b>ZONA A</b>		<b>DURACIÓN = 30 min</b>					<b>ERROR EN</b>		<b>INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, <math>I</math>, en mm/h</b>										
<b>ESTACIÓN</b>		<b>PARÁMETROS</b>					<b>ESTACIÓN</b>		<b>ESTACIÓN</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO, <math>T</math>, EN AÑOS</b>									
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b><math>\alpha 1</math></b>	<b><math>\alpha 1</math></b>	<b><math>\alpha 2</math></b>	<b><math>\alpha 2</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>		<b>(1)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>5000</b>
APAZC	TEPEL	22 8341	10 7245	30 8445	10 7077	1 0078	3 50	6 85	APAZC	26 76	38 92	46 97	54 69	64 68	72 17	89 47	96 91	114 18	121 61
ASTAT	SNTIT	36 9124	14 9537	18 0053	10 0533	1 4647	5 74	4 50	ASTAT	42 39	59 34	70 56	81 33	95 26	105 70	129 83	140 20	164 27	174 64
AYUTL	CALTE	26 6465	10 2193	30 8145	11 0748	1 2417	4 29	3 39	AYUTL	30 39	41 97	49 64	57 00	66 52	73 66	90 15	97 23	113 69	120 77
CALAP	SNTIT	29 0100	18 0686	20 2062	8 9796	18 1752	4 93	4 92	CALAP	35 63	56 11	69 67	82 68	99 51	112 13	141 28	153 81	182 90	195 42
CALTE	JAYAC	31 4865	11 7674	33 6478	14 9053	1 1641	2 83	4 82	CALTE	35 80	49 14	57 97	66 44	77 40	85 62	104 60	112 77	131 71	139 87
COIXT	ASTAT	29 7633	10 2681	36 5885	14 3039	1 3378	3 05	5 87	COIXT	33 53	45 16	52 87	60 26	69 83	77 00	93 57	100 69	117 22	124 34
CUEST	CALTE	26 6685	13 0024	31 1213	11 4134	1 4746	6 46	3 06	CUEST	31 43	46 17	55 93	65 29	77 40	86 48	107 46	116 48	137 41	146 42
ELCAR	SUCHI	32 3260	11 0886	24 8946	10 3348	1 0001	3 50	5 84	ELCAR	36 39	48 96	57 28	65 26	75 59	83 34	101 23	108 92	126 77	134 46
JAYAC	SNTIA	34 1243	13 9334	16 2932	8 7183	1 0021	4 55	13 64	JAYAC	39 23	55 02	65 48	75 51	88 49	98 22	120 70	130 37	152 80	162 46
MAGDA	SNLOR	23 6002	7 6782	23 4155	7 7131	2 1321	2 78	3 15	MAGDA	26 41	35 12	40 88	46 41	53 56	58 92	71 31	76 64	89 00	94 32
PALMA	MAGDA	20 7207	10 4554	22 7934	6 4638	1 0269	5 65	3 83	PALMA	24 55	36 40	44 25	51 78	61 52	68 82	85 69	92 94	109 77	117 02
QUIOT	SUCHI	30 4183	17 1894	25 5515	10 9824	1 0394	4 08	5 45	QUIOT	36 72	56 20	69 10	81 47	97 49	109 49	137 23	149 15	176 82	188 74
SALIN	TEPEU	35 1051	18 1430	30 7650	13 0188	1 4514	8 96	4 99	SALIN	41 75	62 32	75 93	88 99	105 90	118 57	147 84	160 42	189 63	202 21
SNLOR	AYUTL	23 8889	8 4945	26 0602	9 6424	1 0875	2 37	4 86	SNLOR	27 00	36 63	43 00	49 12	57 03	62 96	76 67	82 56	96 24	102 13
SNMIG	XIQUI	23 8874	12 4620	24 8100	9 3333	1 4434	6 30	2 57	SNMIG	28 45	42 58	51 93	60 90	72 51	81 21	101 32	109 97	130 03	138 67
SNPED	ELCAR	23 1247	11 3070	32 7942	10 9179	1 3855	5 75	3 51	SNPED	27 27	40 08	48 57	56 71	67 24	75 14	93 38	101 23	119 43	127 27
SNTIA	CUEST	16 2332	9 8486	23 1513	9 0121	1 6630	13 04	11 15	SNTIA	19 84	31 01	38 40	45 49	54 66	61 54	77 43	84 26	100 11	106 94
SNTIT	QUIOT	18 2556	10 0216	30 3884	17 1197	1 0092	4 49	4 08	SNTIT	21 93	33 29	40 81	48 02	57 36	64 36	80 53	87 48	103 61	110 56
SUCHI	AYUTL	24 7593	11 2101	26 2265	9 6474	1 0094	5 36	4 81	SUCHI	28 87	41 57	49 99	58 06	68 50	76 33	94 41	102 19	120 24	128 01
TELPA	SNTIA	29 0953	13 6888	16 0587	7 8682	3 7368	5 94	14 20	TELPA	34 11	49 63	59 90	69 75	82 51	92 07	114 15	123 65	145 68	155 17
TEPEL	QUIOT	31 4996	10 8499	30 0629	16 8722	1 1438	6 65	4 11	TEPEL	35 48	47 77	55 92	63 73	73 84	81 41	98 92	106 44	123 91	131 45
TEPEU	SNMIG	32 1457	15 0723	22 7933	10 9557	1 1455	3 95	6 76	TEPEU	37 67	54 75	66 06	76 91	90 96	101 48	125 80	136 25	160 52	170 97
XIQUI	ASTAT	24 2383	10 1597	41 2506	16 0913	1 9521	2 36	7 83	XIQUI	27 96	39 48	47 10	54 41	63 88	70 97	87 37	94 41	110 77	117 81

<b>ZONA B</b>		<b>DURACIÓN = 30 min</b>					<b>ERROR EN</b>		<b>INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, <math>I</math>, EN mm/h</b>										
<b>ESTACIÓN</b>		<b>PARÁMETROS</b>					<b>ESTACIÓN</b>		<b>ESTACIÓN</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO, <math>T</math>, EN AÑOS</b>									
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b><math>\alpha 1</math></b>	<b><math>\alpha 1</math></b>	<b><math>\alpha 2</math></b>	<b><math>\alpha 2</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>		<b>(1)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>5000</b>
ACAYU	MONTE	53 2293	16 6826	75 0588	22 1547	1 0196	3 54	6 24	ACAYU	59 34	78 25	90 77	102 78	118 32	129 97	156 89	168 46	195 32	206 88
ALOTE	PAPAL	63 0215	21 4549	70 9344	26 7154	1 3701	11 63	5 88	ALOTE	70 89	95 20	111 30	126 75	146 74	161 72	196 33	211 22	245 76	260 63
AZUET	CANTO	57 6932	22 7743	94 6656	18 1167	1 1857	5 31	4 70	AZUET	66 04	91 85	108 94	125 34	146 56	162 46	199 20	215 00	251 66	267 45
CANTO	AZUET	94 6673	18 1169	57 6910	22 7738	1 1855	4 70	5 31	CANTO	101 31	121 84	135 44	148 48	165 36	178 01	207 24	219 81	248 97	261 53
CDALE	MONTE	80 4654	29 4933	73 1782	21 3118	1 3485	8 61	6 69	CDALE	91 28	124 70	146 84	168 07	195 55	216 14	263 73	284 18	331 66	352 11
CUATO	ALOTE	54 1917	23 1384	56 8934	16 9565	1 4403	6 50	16 53	CUATO	62 67	88 90	106 26	122 92	144 48	160 63	197 96	214 01	251 26	267 30
CUICH	LAEST	74 1816	19 6082	90 1852	19 3677	1 2927	8 81	4 17	CUICH	81 37	103 59	118 31	132 42	150 69	164 38	196 02	209 62	241 19	254 78
FORTI	TEMAS	49 8458	14 5510	95 0509	15 2421	1 2363	5 12	3 26	FORTI	55 18	71 67	82 59	93 07	106 62	116 78	140 26	150 35	173 78	183 87
HUAUT	CDALE	43 7231	13 4611	77 6002	27 0908	1 0643	3 64	9 90	HUAUT	48 66	63 91	74 02	83 71	96 25	105 65	127 37	136 70	158 37	167 70
JACAT	LAEST	97 6797	12 8394	89 5942	18 4770	1 2300	2 00	3 89	JACAT	102 39	116 94	126 57	135 82	147 78	156 74	177 46	186 36	207 03	215 93
LAEST	JACAT	89 5983	18 4843	97 6802	12 8437	1 2305	3 89	2 00	LAEST	96 37	117 32	131 19	144 50	161 72	174 63	204 45	217 27	247 03	259 84
MONTE	PAPAL	75 2382	21 6736	71 0940	26 5433	1 0003	6 20	5 84	MONTE	83 18	107 75	124 01	139 61	159 81	174 94	209 91	224 94	259 83	274 86
PAPAL	CDALE	70 3258	26 2331	81 7349	28 9120	1 8734	5 76	8 94	PAPAL	79 94	109 67	129 36	148 24	172 69	191 00	233 33	251 52	293 76	311 94
SNJUA	HUAUT	52 4048	31 4765	44 2894	13 9438	2 5368	6 95	3 78	SNJUA	63 94	99 62	123 24	145 90	175 22	197 20	247 99	269 82	320 49	342 31
TEMAS	PAPAL	95 3019	15 5555	71 5534	27 2438	1 2074	3 09	6 20	TEMAS	101 00	118 63	130 31	141 50	156 00	166 86	191 96	202 75	227 79	238 57
VILLA	CANTO	39 4235	10 3686	94 7897	18 2734	1 3795	2 11	4 76	VILLA	43 22	54 98	62 76	70 22	79 88	87 12	103 85	111 04	127 73	134 92

**TABLA C.6** Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 40$  min.

ZONA A		DURACIÓN = 40 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	JAYAC	19.3760	9.1071	28.0663	13.0712	1.1592	3.29	3.19	APAZC	22.71	33.04	39.87	46.43	54.91	61.27	75.96	82.28	96.94	103.26
ASTAT	COIXT	30.0250	11.7302	23.4014	8.4683	1.3476	4.38	2.65	ASTAT	34.32	47.62	56.42	64.87	75.80	83.99	102.91	111.05	129.93	138.06
AYUTL	QUIOT	21.8181	9.3729	23.9658	12.9299	1.1300	4.57	2.93	AYUTL	25.25	35.88	42.91	49.66	58.39	64.93	80.06	86.56	101.65	108.15
CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	ELCAR	25.4715	10.0860	26.9815	8.5439	1.1891	3.27	2.85	CALTE	29.17	40.60	48.17	55.43	64.83	71.87	88.14	95.14	111.37	118.37
COIXT	ASTAT	23.4021	8.4698	30.0283	11.7306	1.3479	2.64	4.38	COIXT	26.51	36.11	42.46	48.56	56.45	62.36	76.03	81.91	95.54	101.41
CUEST	PALMA	20.9920	12.3005	18.7932	6.1891	1.0177	3.91	4.24	CUEST	25.50	39.44	48.67	57.53	68.99	77.58	97.42	105.95	125.76	134.28
ELCAR	MAGDA	27.5760	8.6705	18.6147	5.7017	1.0112	2.76	2.83	ELCAR	30.75	40.58	47.09	53.33	61.41	67.46	81.45	87.47	101.42	107.43
JAYAC	SNMIG	27.8706	12.8308	18.5420	8.5659	1.0001	3.17	7.05	JAYAC	32.57	47.12	56.74	65.98	77.94	86.89	107.60	116.50	137.15	146.05
MAGDA	AYUTL	18.4027	6.4281	21.3778	9.1350	1.1095	2.15	4.79	MAGDA	20.76	28.04	32.87	37.50	43.48	47.97	58.34	62.80	73.15	77.61
PALMA	COIXT	19.6973	7.1583	22.7358	7.6924	1.3680	3.36	3.26	PALMA	22.32	30.43	35.81	40.96	47.63	52.63	64.18	69.14	80.67	85.63
QUIOT	MAGDA	24.2528	13.7508	18.9687	6.4588	1.0639	2.60	2.08	QUIOT	29.29	44.88	55.20	65.10	77.91	87.51	109.70	119.23	141.37	150.90
SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	XIQUI	43.0298	21.9255	43.8741	14.9398	1.0323	8.94	3.74	SNLOR	51.07	75.92	92.37	108.15	128.58	143.89	179.27	194.47	229.77	244.97
SNMIG	SNNTA	18.8671	10.2897	12.5201	6.0494	1.0240	6.13	10.45	SNMIG	22.64	34.30	42.02	49.43	59.02	66.20	82.80	89.94	106.51	113.64
SNPED	ELCAR	18.8713	9.8704	27.6642	8.7287	1.3178	3.95	2.76	SNPED	22.49	33.68	41.08	48.19	57.39	64.28	80.20	87.05	102.94	109.78
SNNTA	CUEST	13.3059	7.0560	18.9019	7.7925	1.4289	9.72	8.21	SNNTA	15.89	23.89	29.18	34.26	40.84	45.76	57.15	62.04	73.40	78.29
SNNTT	JAYAC	14.0842	8.0956	28.2487	13.6523	1.0081	2.48	3.40	SNNTT	17.05	26.23	32.30	38.13	45.67	51.33	64.39	70.00	83.04	88.65
SUCHI	CALTE	21.7863	10.3283	25.0501	9.3703	1.5869	5.89	3.95	SUCHI	25.57	37.28	45.03	52.46	62.09	69.30	85.96	93.13	109.75	116.91
TELPA	SNNTA	23.4390	11.5166	13.6697	6.0147	3.8218	4.05	10.27	TELPA	27.66	40.71	49.36	57.65	68.38	76.42	95.00	102.99	121.53	129.51
TEPEL	SNPED	25.8993	9.3131	18.2832	8.9755	1.1466	5.70	4.71	TEPEL	29.31	39.87	46.86	53.56	62.24	68.74	83.77	90.23	105.22	111.68
TEPEU	JAYAC	25.9039	10.8142	27.7566	12.8425	1.5167	3.10	3.18	TEPEU	29.87	42.12	50.24	58.02	68.10	75.65	93.10	100.60	118.01	125.51
XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ZONA B		DURACIÓN = 40 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	TEMAS	43.3370	14.9773	78.0413	15.0619	1.2102	3.68	3.30	ACAYU	48.83	65.80	77.04	87.82	101.78	112.23	136.40	146.79	170.90	181.28
ALOTE	PAPAL	53.8413	18.7736	57.4366	22.6529	1.3854	10.40	6.76	ALOTE	60.72	82.00	96.09	109.60	127.09	140.20	170.49	183.52	213.74	226.75
AZULTE	PAPAL	44.8942	19.1402	57.7083	22.9313	1.2091	3.64	6.90	AZULTE	51.91	73.60	87.97	101.74	119.58	132.94	163.82	177.10	207.91	221.18
CANTO	PAPAL	78.4844	15.1244	57.5724	22.8137	1.0396	3.96	6.83	CANTO	84.03	101.17	112.52	123.41	137.50	148.06	172.46	182.95	207.30	217.78
CDALE	ALOTE	65.0350	22.7220	52.0066	15.4302	1.0040	5.43	12.97	CDALE	73.36	99.12	116.17	132.52	153.70	169.56	206.22	221.98	258.56	274.31
CUATO	ALOTE	42.1038	18.5138	51.0922	14.9058	1.1825	4.65	13.81	CUATO	48.89	69.87	83.77	97.09	114.34	127.27	157.14	169.98	199.79	212.62
CUICH	HUAUT	63.0545	15.3901	37.9250	12.1993	1.2455	5.68	2.21	CUICH	68.70	86.14	97.69	108.77	123.11	133.85	158.68	169.36	194.13	204.80
FORTI	JACAT	41.3786	13.2477	85.2321	12.4687	1.0750	4.69	3.20	FORTI	46.23	61.25	71.19	80.73	93.07	102.32	123.69	132.88	154.21	163.39
HUAUT	MONTE	37.9598	12.1312	64.3915	21.7491	1.0048	2.21	6.99	HUAUT	42.41	56.16	65.26	73.99	85.30	93.77	113.34	121.75	141.28	149.69
JACAT	TEMAS	84.9479	12.1846	78.0050	14.7929	1.0167	3.15	3.24	JACAT	89.41	103.22	112.37	121.14	132.49	141.00	160.66	169.11	188.73	197.17
LAEST	VILLA	80.6488	17.9166	33.7910	8.7793	1.0014	4.34	1.63	LAEST	87.22	107.52	120.97	133.86	150.56	163.07	191.98	204.40	233.25	245.67
MONTE	ALOTE	64.0464	21.6332	52.3569	16.0314	1.1594	6.98	12.36	MONTE	71.98	96.49	112.73	128.30	148.46	163.56	198.47	213.47	248.30	263.29
PAPAL	HUAUT	56.9998	22.5660	38.0124	11.8205	1.0001	6.72	2.25	PAPAL	65.27	90.85	107.78	124.03	145.05	160.81	197.22	212.87	249.20	264.84
SNJUA	ACAYU	46.2786	27.3573	43.7664	14.2263	1.0153	5.44	3.75	SNJUA	56.31	87.31	107.84	127.54	153.03	172.13	216.27	235.24	279.28	298.25
TEMAS	ALOTE	77.9853	14.9481	52.9515	15.4089	1.0192	3.27	12.69	TEMAS	83.46	100.41	111.62	122.38	136.31	146.75	170.87	181.24	205.30	215.66
VILLA	JACAT	33.6132	8.9899	85.2356	12.4996	1.0902	1.54	3.20	VILLA	36.91	47.10	53.84	60.32	68.69	74.97	89.47	95.71	110.18	116.41

**TABLA C.7 Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 60$  min.**

ZONA A		DURACIÓN = 60 min					ERROR EN ESTACIÓN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h											
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$\alpha 5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
APAIZC	JAYAC	15 2307	7 1779	23 4194	9 2450	1 1260	4 02	2 95	APAIZC	17 86	26 00	31 38	36 55	43 24	48 25	59 83	64 81	76 37	81 34	
ASTAT	SNTIT	23 1257	9 2450	10 0702	5 2504	1 8554	2 36	1 83	ASTAT	26 51	36 99	43 93	50 59	59 20	65 65	80 57	86 98	101 87	108 27	
AYUTL	QUIOT	16 9848	7 8866	18 1340	9 3232	1 1970	4 97	2 63	AYUTL	19 88	28 81	34 73	40 41	47 76	53 26	65 99	71 46	84 16	89 62	
CALAP	JAYAC	21 1411	13 0872	23 1556	8 8772	1 5203	7 29	3 00	CALAP	25 94	40 77	50 59	60 01	72 21	81 34	102 46	111 54	132 61	141 68	
CALTE	APAIZC	18 0084	7 5305	15 2765	7 5917	1 0001	1 75	3 81	CALTE	20 77	29 30	34 95	40 38	47 39	52 65	64 80	70 02	82 15	87 37	
COIXT	ASTAT	16 4652	5 9041	22 7209	8 6299	1 9603	1 73	2 63	COIXT	18 63	25 32	29 75	34 00	39 50	43 63	53 15	57 25	66 75	70 84	
CUEST	MAGDA	15 6538	8 1493	13 9739	4 5440	1 1905	2 77	2 37	CUEST	18 64	27 88	33 99	39 86	47 45	53 14	66 29	71 94	85 06	90 71	
ELCAR	CUEST	20 2068	7 4534	17 2128	8 1527	1 5847	1 80	3 43	ELCAR	22 94	31 39	36 98	42 34	49 29	54 49	66 52	71 69	83 69	88 85	
JAYAC	TEPEU	23 3702	9 1859	19 5746	7 1944	1 4531	2 95	1 62	JAYAC	26 74	37 15	44 04	50 65	59 21	65 63	80 45	86 82	101 61	107 98	
MAGDA	AYUTL	13 9146	5 1656	16 3452	7 2388	1 0410	1 84	5 46	MAGDA	15 81	21 66	25 54	29 26	34 07	37 68	46 01	49 59	57 91	61 49	
PALMA	ELCAR	13 4868	5 6654	19 8858	7 7364	1 0158	1 86	1 81	PALMA	15 56	21 98	26 24	30 31	35 59	39 55	48 69	52 62	61 74	65 67	
QUIOT	XIQUI	18 9063	10 1693	16 6942	7 7313	1 0145	1 65	1 58	QUIOT	22 63	34 16	41 79	49 11	58 59	65 69	82 09	89 15	105 52	112 57	
SALIN	TEPEU	25 8253	13 4142	19 6588	7 0529	1 4657	4 44	1 70	SALIN	30 74	45 95	56 01	65 67	78 17	87 53	109 18	118 48	140 08	149 37	
SNLOR	TELPA	15 5975	6 9438	16 5867	7 5192	1 0013	1 59	3 33	SNLOR	18 14	26 01	31 22	36 22	42 69	47 54	58 74	63 56	74 74	79 55	
SNMIG	SNTIT	13 7711	6 1101	10 3227	4 8181	1 4887	4 62	1 87	SNMIG	16 01	22 94	27 52	31 92	37 61	41 88	51 74	55 98	65 81	70 05	
SNPEI	ELCAR	13 9618	6 7809	20 2069	7 2469	1 2513	2 51	1 83	SNPEI	16 45	24 13	29 22	34 10	40 42	45 15	56 10	60 80	71 72	76 42	
SNTIA	CUEST	9 6500	4 8704	14 0188	6 2894	1 3394	6 01	4 87	SNTIA	11 44	16 96	20 61	24 12	28 65	32 05	39 91	43 29	51 13	54 51	
SNTIT	CALTE	10 4490	5 0647	18 3388	7 0879	1 2460	1 79	2 03	SNTIT	12 31	18 05	21 85	25 49	30 21	33 75	41 92	45 43	53 59	57 10	
SUCHI	CALTE	15 9445	8 4910	18 0629	6 5408	1 4161	7 51	2 62	SUCHI	19 06	28 68	35 05	41 16	49 08	55 00	68 70	74 59	88 26	94 15	
TELPA	SUCHI	16 9538	8 1207	15 6805	7 4611	1 0069	2 67	8 17	TELPA	19 93	29 13	35 23	41 07	48 64	54 31	67 41	73 05	86 12	91 75	
TEPEL	SNTIA	18 4717	9 1191	9 7570	4 1943	1 0161	4 10	6 43	TEPEL	21 81	32 15	38 99	45 56	54 05	60 42	75 13	81 46	96 14	102 46	
TEPEU	QUIOT	20 0577	7 2209	18 5825	9 9727	1 2577	1 60	1 82	TEPEU	22 70	30 89	36 31	41 51	48 23	53 27	64 93	69 93	81 56	86 56	
XIQUI	TELPA	17 0662	7 6184	17 1930	8 1545	1 1050	1 60	2 62	XIQUI	19 86	28 49	34 21	39 69	46 79	52 11	64 40	69 69	81 95	87 23	

ZONA B		DURACIÓN = 60 min					ERROR EN ESTACIÓN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h											
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS										
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$\alpha 5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
ACAYU	SNJUA	34 2719	12 8031	31 4425	17 5462	1 0042	3 02	7 53	ACAYU	38 96	53 48	63 08	72 30	84 23	93 17	113 83	122 71	143 32	152 19	
ALOTE	HUAUT	39 7611	13 6603	30 4782	10 7201	1 0224	6 60	2 69	ALOTE	44 77	60 25	70 50	80 33	93 06	102 60	124 64	134 12	156 11	165 58	
AZUEI	PAPAL	36 1434	15 8175	48 0868	20 1487	1 1539	3 18	7 89	AZUEI	41 94	59 87	71 74	83 12	97 86	108 91	134 43	145 40	170 86	181 83	
CANIO	PAPAL	67 3915	14 8995	47 5783	19 9293	1 0069	3 26	7 72	CANIO	72 85	89 74	100 92	111 65	125 53	135 93	159 97	170 31	194 29	204 62	
CDALE	TRMAS	52 8866	20 7105	64 9439	12 4153	1 4492	5 84	2 38	CDALE	60 48	83 95	99 49	114 40	133 70	148 16	181 57	195 94	229 28	243 64	
CUATO	MONTE	33 8971	15 2135	48 4745	18 1409	1 0410	3 43	4 93	CUATO	39 47	56 72	68 13	79 08	93 26	103 88	128 43	138 98	163 47	174 02	
CUICH	TEMAS	55 0813	12 6943	65 8275	13 4165	1 4282	4 57	2 72	CUICH	59 73	74 12	83 65	92 79	104 61	113 48	133 96	142 76	163 20	172 00	
FORTI	SNJUA	33 9352	12 6082	30 5763	16 2164	1 0068	3 27	9 23	FORTI	38 56	52 85	62 31	71 38	83 13	91 93	112 28	121 02	141 32	150 06	
HUAUT	CUATO	30 2927	10 5128	33 6169	15 8558	1 5137	2 61	3 52	HUAUT	34 15	46 06	53 95	61 52	71 31	78 65	95 61	102 91	119 83	127 12	
JACAT	HUAUT	69 8266	12 0466	31 6138	11 3697	1 0734	1 79	3 52	JACAT	74 24	87 90	96 94	105 61	116 83	125 24	144 68	153 04	172 43	180 78	
LAEST	MONTE	67 3211	17 1692	49 3797	18 6364	1 0013	4 93	4 61	LAEST	73 61	93 07	105 96	118 32	134 31	146 30	174 00	185 91	213 55	225 45	
MONTE	JACAT	49 5611	18 9780	70 2703	11 5259	1 0263	4 59	1 99	MONTE	56 52	78 03	92 27	105 93	123 61	136 86	167 48	180 65	211 20	224 35	
PAPAL	FORTI	47 8506	19 6511	32 8815	12 0491	1 0046	7 60	3 71	PAPAL	55 05	77 33	92 07	106 22	124 53	138 25	169 95	183 59	215 22	228 84	
SNJUA	HUAUT	33 9646	20 7380	30 2933	10 6396	1 7319	5 63	2 64	SNJUA	41 57	65 07	80 63	95 56	114 88	129 36	162 82	177 21	210 59	224 97	
TEMAS	FORTI	65 0943	12 6008	33 3841	12 0752	1 1546	2 34	3 60	TEMAS	69 71	83 99	93 45	102 52	114 26	123 06	143 39	152 13	172 42	181 15	
VILLA	AZUEI	25 8036	6 9511	36 3061	15 7271	1 1634	1 43	3 22	VILLA	28 35	36 23	41 45	46 45	52 93	57 78	69 00	73 82	85 01	89 83	

**TABLA C.8 Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para períodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 80$  min.**

ZONA A		DURACIÓN = 80 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	CAITE	10 7347	6 1870	14 8033	5 6060	1 0441	2 65	2 08	APAZC	13 00	20 01	24 66	29 11	34 88	39 20	49 18	53 47	63 43	67 72
ASTAT	TEPEL	18 3431	6 5216	15 2905	6 8654	1 0129	1 34	4 02	ASTAT	20 73	28 13	33 02	37 71	43 79	48 34	58 87	63 39	73 89	78 41
AYUTL	QUIOT	13 7932	6 3148	14 5873	7 0412	1 2261	3 91	1 99	AYUTL	16 11	23 26	28 00	32 55	38 43	42 84	53 03	57 41	67 58	71 95
CALAP		X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CAITE	ASTAT	14 6976	5 7253	18 5417	6 0217	1 4607	1 99	1 51	CAITE	16 80	23 29	27 58	31 70	37 04	41 03	50 27	54 24	63 46	67 43
COIXT	TEPEL	13 8478	3 6059	15 7956	7 1402	1 0144	1 28	3 75	COIXT	15 17	19 26	21 96	24 56	27 92	30 44	36 25	38 75	44 56	47 06
CUEST	SNMIG	12 2952	6 7198	10 8581	4 0224	1 1673	1 87	3 49	CUEST	14 76	22 37	27 42	32 25	38 52	43 21	54 05	58 71	69 53	74 19
ELCAR	COIXT	16 0504	6 4205	13 7224	3 3650	1 0191	1 46	1 51	ELCAR	18 40	25 68	30 50	35 12	41 10	45 59	55 94	60 40	70 73	75 19
JAYAC	PALMA	18 1580	8 4696	11 2083	2 7433	1 0010	2 51	2 36	JAYAC	21 26	30 86	37 22	43 31	51 21	57 12	70 78	76 66	90 29	96 17
MAGDA	TELPA	11 6482	3 9704	13 0188	5 6258	1 0185	1 07	2 99	MAGDA	13 10	17 60	20 58	23 44	27 14	29 91	36 32	39 07	45 46	48 22
PALMA	SNMIG	11 3738	3 3048	9 8469	3 8086	1 0381	1 90	4 02	PALMA	12 59	16 33	18 81	21 19	24 27	26 58	31 91	34 20	39 52	41 81
QUIOT	SNMIG	14 9367	7 5394	10 8567	4 0640	1 0278	1 37	3 46	QUIOT	17 70	26 25	31 90	37 33	44 35	49 62	61 78	67 01	79 15	84 38
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	SNTIT	11 1882	4 6670	8 6053	4 2400	1 0228	1 14	1 43	SNLOR	12 90	18 19	21 69	25 05	29 40	32 66	40 19	43 42	50 94	54 17
SNMIG	SNTIT	11 0485	4 5091	8 1236	3 6290	1 5659	3 16	1 38	SNMIG	12 70	17 81	21 20	24 44	28 64	31 79	39 07	42 19	49 45	52 58
SNPED	ELCAR	11 4572	5 3796	15 9581	6 1187	1 2740	2 07	1 51	SNPED	13 43	19 53	23 56	27 44	32 45	36 20	44 88	48 62	57 28	61 00
SNTIA	CUEST	7 7656	3 5782	11 3736	5 4524	1 3167	4 35	3 28	SNTIA	9 08	13 13	15 82	18 39	21 73	24 23	30 00	32 48	38 24	40 72
SNTIT	SNLOR	8 2729	3 8792	11 1018	4 2224	1 0005	1 30	1 43	SNTIT	9 69	14 09	17 00	19 79	23 41	26 12	32 38	35 07	41 31	44 00
SUCHI	SNMIG	11 7927	6 7272	11 0070	5 0921	1 1889	6 91	2 90	SUCHI	14 26	21 88	26 93	31 77	38 04	42 74	53 59	58 26	69 09	73 75
TELPA	TEPEU	13 9820	6 2132	15 9717	5 1000	1 1963	2 30	1 33	TELPA	16 26	23 30	27 96	32 44	38 23	42 56	52 59	56 90	66 90	71 21
TEPEL	SNPED	15 4823	7 0657	11 1297	4 9302	1 2267	3 82	2 37	TEPEL	18 07	26 08	31 38	36 47	43 05	47 99	59 19	64 29	75 66	80 56
TEPEU	ASTAT	16 2444	5 4723	18 3525	6 3937	1 0664	1 09	1 37	TEPEU	18 25	24 45	28 56	32 50	37 60	41 42	50 25	54 04	62 85	66 65
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ZONA B		DURACIÓN = 80 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 4$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	SNJUA	27 5561	10 4273	25 7219	14 6463	1 0030	2 39	4 89	ACAYU	31 38	43 20	51 02	58 53	68 24	75 52	92 35	99 58	116 37	123 59
ALOTE	TEMAS	33 4472	10 3940	57 5416	11 2385	1 0364	2 47	2 83	ALOTE	37 26	49 04	56 84	64 32	74 00	81 26	98 03	105 24	121 97	129 18
AZUET	JACAT	29 3995	13 1967	59 3291	11 7536	1 0411	2 35	2 49	AZUET	34 24	49 19	59 10	68 60	80 89	90 11	111 40	120 55	141 80	150 94
CANTO	CUICH	56 0817	13 9577	47 3490	11 0639	1 1541	3 24	4 92	CANTO	61 20	77 02	87 49	97 54	110 54	120 29	142 81	152 49	174 96	184 64
CDALE	ALOTE	43 4843	18 8599	29 4984	9 3591	1 0781	4 35	6 02	CDALE	50 40	71 77	85 93	99 50	117 07	130 24	160 67	173 75	204 12	217 19
CUATO	ACAYU	27 0202	13 0432	27 4550	10 4908	1 0899	2 20	2 39	CUATO	31 80	46 58	56 37	65 76	77 91	87 02	108 07	117 11	138 11	147 15
CUICH	TEMAS	46 7478	10 6121	58 3754	11 5575	1 5654	4 56	3 31	CUICH	50 64	62 67	70 63	78 27	88 16	95 57	112 69	120 05	137 13	144 49
FORTI	ACAYU	28 9141	9 8759	27 2511	10 3085	1 2981	4 12	2 43	FORTI	32 53	43 73	51 14	58 25	67 45	74 34	90 28	97 13	113 03	119 87
HUAUT	CDALI	26 7260	8 6050	43 8745	18 1505	1 2805	2 09	4 53	HUAUT	29 88	39 63	46 09	52 28	60 30	66 31	80 19	86 16	100 02	105 98
JACAT	LAEST	59 0213	11 3210	57 9155	12 4462	1 1195	2 53	3 67	JACAT	63 17	76 00	84 50	92 65	103 20	111 10	129 37	137 22	155 44	163 29
LAEST	HUAUT	57 9585	12 8401	26 8666	8 7294	1 2781	3 43	2 12	LAEST	62 66	77 22	86 85	96 10	108 06	117 02	137 74	146 65	167 32	176 22
MONTE	CUICH	40 4977	17 0121	46 6439	10 9405	1 5135	3 09	4 77	MONTE	46 73	66 01	78 78	91 03	106 88	118 76	146 20	158 00	185 39	197 18
PAPAI	TEMAS	39 8422	17 4413	57 5923	10 6288	1 0140	6 43	2 54	PAPAI	46 23	66 00	79 09	91 65	107 90	120 07	148 22	160 31	188 39	200 48
SNJUA	HUAUT	26 6319	17 1778	26 8893	8 7033	1 7620	4 23	2 11	SNJUA	32 93	52 40	65 29	77 65	93 66	105 65	133 47	145 28	172 94	184 84
TEMAS	CDALI	57 4262	10 5104	43 9853	18 2411	1 1926	2 51	4 50	TEMAS	61 28	73 19	81 08	88 64	98 44	105 78	122 71	130 02	146 94	154 21
VILLA	HUAUT	21 6573	6 3170	26 8808	8 7313	1 1808	1 35	2 12	VILLA	23 97	31 13	35 87	40 42	46 31	50 72	60 91	65 29	75 46	79 84

**TABLA C.9 Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para periodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 100$  min.**

ZONA A		DURACIÓN = 100 min					ERROR EN ESTACIÓN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	CALTE	9.8399	4.7611	12.0826	4.2966	1.0746	1.81	1.79	APAZC	11.58	16.98	20.55	23.98	28.42	31.74	39.42	42.73	50.39	53.69
ASTAT	SNIT	14.7594	5.0615	6.5872	3.2546	2.0281	1.12	1.06	ASTAT	16.61	22.35	26.15	29.79	34.51	38.04	46.21	49.72	57.87	61.38
AYUTL	QUIOT	11.7137	5.2885	12.2171	5.7689	1.2218	3.46	1.60	AYUTL	13.65	19.65	23.61	27.42	32.35	36.04	44.57	48.24	56.76	60.42
CALAP		X	X	X	X	X	X	X	CALAP	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CALTE	COIXT	12.5988	5.0212	11.9152	14.1909	1.1309	1.37	28.71	CALTE	14.44	20.13	23.90	27.51	32.19	35.70	43.80	47.28	55.37	58.85
COIXT		X	X	X	X	X	X	X	COIXT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CUEST	SNMIG	10.3449	5.8517	9.0475	3.1948	1.2889	1.78	2.68	CUEST	12.49	19.12	23.51	27.73	33.18	37.26	46.71	50.76	60.18	64.24
ELCAR	CUEST	13.3042	5.4331	11.8441	5.8551	1.7115	1.20	2.55	ELCAR	15.30	21.45	25.53	29.44	34.50	38.30	47.06	50.83	59.58	63.34
JAYAC	COIXT	15.4432	7.2070	12.9167	12.3331	1.0007	1.65	29.61	JAYAC	18.08	26.25	31.66	36.85	43.56	48.60	60.22	65.22	76.83	81.82
MAGDA	SNPED	10.0161	3.1310	9.6484	4.4463	1.2000	0.92	1.79	MAGDA	11.16	14.71	17.06	19.37	22.23	24.42	29.47	31.64	36.68	38.85
PALMA	SNIT	8.9335	3.3029	6.8862	2.7932	1.0058	1.41	3.35	PALMA	10.14	13.89	16.37	18.74	21.82	24.13	29.46	31.75	37.06	39.35
QUIOT	TEPEU	12.4791	6.1179	13.7737	4.3477	1.1419	1.20	1.00	QUIOT	14.72	21.66	26.25	30.65	36.35	40.62	50.49	54.74	64.59	68.83
SALIN		X	X	X	X	X	X	X	SALIN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SNLOR	SNMIG	8.4885	6.4004	9.1030	3.1374	2.9175	1.87	2.71	SNLOR	10.83	18.09	22.89	27.50	33.46	37.93	48.26	52.70	63.00	67.44
SNMIG	TEPEL	8.7277	3.8136	13.3203	6.8587	1.0100	2.33	2.13	SNMIG	10.13	14.45	17.31	20.06	23.61	26.27	32.42	35.07	41.21	43.85
SNPED	ELCAR	9.8886	4.6933	13.3029	5.2609	1.3120	1.68	1.23	SNPED	11.61	16.93	20.45	23.83	28.20	31.48	39.05	42.31	49.86	53.11
SNIT	TEPEU	6.0817	4.0582	14.1021	4.9475	1.0848	2.78	1.14	SNIT	7.57	12.17	15.21	18.14	21.92	24.75	31.30	34.11	40.65	43.46
SNIT	CALTE	6.8658	3.1760	12.0949	4.5820	1.1658	1.01	1.54	SNIT	8.03	11.63	14.01	16.30	19.26	21.48	26.60	28.80	33.92	36.12
SUCHI	AYUTL	10.7183	6.9414	12.0326	5.7392	1.1248	5.29	3.37	SUCHI	13.26	21.13	26.34	31.34	37.80	42.65	53.85	58.66	69.84	74.65
TEPA	TEPEU	12.1672	5.0895	13.5982	4.2329	1.1612	2.24	1.09	TEPA	14.03	19.80	23.62	27.28	32.03	35.58	43.79	47.32	55.51	59.04
TEPEL	SNMIG	13.3203	6.8587	8.7277	3.8136	1.0100	2.13	2.33	TEPEL	15.83	23.61	28.75	33.69	40.08	44.87	55.94	60.70	71.74	76.49
TEPEU	SNIT	13.5930	4.4222	6.4028	2.6045	1.0020	0.98	3.57	TEPEU	15.21	20.23	23.54	26.73	30.85	33.94	41.07	44.14	51.26	54.32
XIQUI		X	X	X	X	X	X	X	XIQUI	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ZONA B		DURACIÓN = 100 min					ERROR EN ESTACIÓN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , EN mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	VILLA	23.1256	9.1493	19.2425	6.1297	1.0021	1.39	1.32	ACAYU	26.48	36.85	43.71	50.30	58.83	65.21	79.98	86.32	101.05	107.39
ALOTE	CUATO	27.5540	8.1378	22.9143	10.9575	1.0295	2.74	1.80	ALOTE	30.54	39.76	45.87	51.72	59.31	64.99	78.12	83.76	96.86	102.51
AZUET	PAPAL	25.5477	10.8815	34.7058	15.6319	1.0943	1.46	5.99	AZUET	29.54	41.87	50.04	57.87	68.01	75.60	93.16	100.71	118.23	125.77
CANTO	CUICH	48.9078	12.6115	40.6150	10.0199	1.1629	3.03	3.97	CANTO	53.53	67.82	77.29	86.37	98.12	106.92	127.27	136.02	156.32	165.06
CDALE	HUAUT	37.2311	16.4380	23.9532	7.4923	1.4349	4.87	2.09	CDALE	43.26	61.89	74.22	86.06	101.37	112.85	139.37	150.77	177.23	188.63
CUATO	TEMAS	22.6096	11.4044	49.5410	10.3050	1.4641	1.71	2.60	CUATO	26.79	39.72	48.27	56.48	67.11	75.07	93.47	101.38	119.74	127.65
CUICH	TEMAS	39.8254	9.4249	50.0411	10.9285	1.6718	3.59	3.25	CUICH	43.28	53.96	61.03	67.82	76.60	83.18	98.39	104.93	120.10	126.63
FORTI	VILLA	25.6767	7.7976	18.8634	6.0123	1.0066	3.07	1.48	FORTI	28.53	37.37	43.22	48.84	56.10	61.55	74.13	79.54	92.09	97.49
HUAUT	CDALE	23.9498	7.4950	37.2321	16.4406	1.4353	2.09	4.87	HUAUT	26.70	35.19	40.82	46.21	53.19	58.43	70.52	75.72	87.79	92.98
JACAT	LAEST	51.5266	10.6388	49.5089	11.3342	1.1352	2.09	4.13	JACAT	55.43	67.48	75.47	83.13	93.04	100.47	117.63	125.01	142.14	149.51
LAEST	CUICH	49.9293	12.3723	41.4341	10.3280	1.0903	3.43	4.47	LAEST	54.46	68.49	77.77	86.68	98.21	106.84	126.81	135.39	155.31	163.88
MONTE	TEMAS	33.3347	13.6438	49.2871	10.0982	1.3815	2.79	2.46	MONTE	38.34	53.80	64.04	73.86	86.57	96.10	118.11	127.58	149.44	159.00
PAPAL	SNJUA	34.4623	15.2295	21.0770	11.1365	1.0095	5.69	4.40	PAPAL	40.04	57.31	68.73	79.70	93.89	104.52	129.09	139.66	164.17	174.73
SNJUA	HUAUT	21.7345	13.8176	24.0958	7.6527	1.7002	3.21	2.12	SNJUA	26.80	42.46	52.83	62.78	75.65	85.30	107.59	117.18	139.42	149.00
TEMAS	VILLA	49.1817	9.8000	19.3158	6.1410	1.0034	2.35	1.32	TEMAS	52.77	63.88	71.24	78.29	87.42	94.26	110.08	116.87	132.65	139.44
VILLA	HUAUT	19.3139	6.2734	26.1055	7.6710	1.2422	1.28	2.13	VILLA	21.61	28.72	33.43	37.95	43.79	48.17	58.29	62.65	72.74	77.09

TABLA C.10

Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para periodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 120$  min.

ZONA A		DURACIÓN = 120 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
APAZC	JAYAC	8 8881	4 2459	13 4167	6 1173	1.2108	1.44	1.21	APAZC	10.44	15.26	18.44	21.50	25.46	28.42	35.27	38.22	45.05	47.99
ASTAT	SNITT	12 3862	4 0936	5 6592	2.8454	2.1240	0.90	0.86	ASTAT	13.89	18.53	21.60	24.54	28.36	31.22	37.82	40.66	47.25	50.09
AYUTL	QUIOT	10 4135	4.5491	10 6624	4 9283	1 2254	2.81	1.39	AYUTL	12.08	17.24	20.65	23.93	28.16	31.34	38.68	41.84	49.16	52.31
CALAP	SUCHI	11 4516	7.1889	7 8792	3 3813	2.2913	3.88	5.98	CALAP	14.09	22.23	27.63	32.80	39.50	44.52	56.12	61.11	72.68	77.66
CALTE	ASTAT	10 4194	3 9414	12 7556	3.8723	1 5078	1.30	1.01	CALTE	11.86	16.33	19.29	22.13	25.80	28.55	34.91	37.64	43.99	46.72
COIXT	JAYAC	8 9287	2 9814	13 2308	5 8451	1 0166	0.82	1.39	COIXT	10.02	13.40	15.64	17.78	20.56	22.64	27.45	29.52	34.32	36.39
CUEST	SNMIG	8 9965	5 3344	7 8077	2 7683	1.3956	1.78	2.13	CUEST	10.95	17.00	21.00	24.84	29.81	33.54	42.14	45.84	54.43	58.13
ELCAR	AYUTL	11 4555	4 6278	9 9416	4 1961	1 0555	1.03	3.02	ELCAR	13.15	18.40	21.87	25.20	29.51	32.74	40.21	43.42	50.87	54.08
JAYAC	QUIOT	13 5915	6 1836	10 8390	5 1589	1.0543	1.18	1.13	JAYAC	15.86	22.87	27.51	31.96	37.72	42.04	52.01	56.30	66.26	70.54
MAGDA	SNLOR	8 3811	2 6880	9 3298	4 2316	1.5619	0.76	1.54	MAGDA	9.37	12.41	14.43	16.36	18.87	20.75	25.08	26.95	31.27	33.14
PALMA	ASTAT	8 2897	1 9814	12 2771	3 7555	1 5419	1.48	1.14	PALMA	9.02	11.26	12.75	14.17	16.02	17.40	20.60	21.98	25.17	26.54
QUIOT	COIXT	10 7845	5 3027	9 5583	2 7232	1 0369	1.05	1.00	QUIOT	12.73	18.74	22.72	26.53	31.48	35.18	43.73	47.41	55.95	59.62
SALIN	TEPEU	15 7178	8 0724	11 9893	3 6097	1 6628	2.27	0.89	SALIN	18.68	27.83	33.88	39.69	47.22	52.85	65.88	71.48	84.47	90.07
SNLOR	AYUTL	9 6554	4 5246	9 9622	4 2203	1 0095	1.46	3.00	SNLOR	11.31	16.44	19.84	23.09	27.31	30.47	37.77	40.91	48.19	51.33
SNMIG	SNITT	7 9875	3 0832	5 7813	2 6109	1 5356	1.90	0.91	SNMIG	9.12	12.61	14.93	17.15	20.02	22.17	27.15	29.28	34.25	36.39
SNPED	SALIN	8 6261	4 2011	16 1891	8 3057	1 0116	1.42	2.26	SNPED	10.17	14.93	18.08	21.10	25.02	27.95	34.73	37.64	44.41	47.32
SNTTA	SNMIG	5 8403	2 7040	8 3551	3 1751	1 0073	2.50	1.90	SNTTA	6.83	9.90	11.93	13.87	16.39	18.28	22.64	24.52	28.87	30.74
SNITT	SNTTA	5 8764	2 8482	5 7788	2 4273	1 0001	0.81	2.69	SNITT	6.92	10.15	12.29	14.34	16.99	18.98	23.57	25.55	30.14	32.11
SUCHI	CALTE	8 7508	4 6795	10 1796	3 5997	1 3218	4.90	1.65	SUCHI	10.47	15.77	19.28	22.65	27.01	30.28	37.83	41.07	48.61	51.85
TELPA	CALTE	10 1644	4 8575	10 5320	4 0178	1 0398	1.80	1.25	TELPA	11.94	17.45	21.10	24.59	29.12	32.51	40.35	43.72	51.54	54.90
TEPEL	SNPED	11 4934	5 4678	8 2522	3 7353	1 3022	1.89	1.63	TEPEL	13.50	19.69	23.80	27.73	32.83	36.65	45.47	49.26	58.06	61.85
TEPEU	SNTTA	12 0241	4 0389	5 5437	2 0870	1 0090	0.76	3.02	TEPEU	13.50	18.08	21.11	24.02	27.78	30.60	37.12	39.92	46.42	49.22
XIQUI	QUIOT	10 1569	4 1429	10 7139	5 3956	1 0009	1.16	1.01	XIQUI	11.68	16.37	19.48	22.46	26.32	29.21	35.90	38.77	45.44	48.31
ZONA B		DURACIÓN = 120 min					ERROR EN		INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, $I$ , en mm/h										
ESTACIÓN		PARÁMETROS					ESTACIÓN		ESTACIÓN	PERÍODO DE RETORNO, $T$ , EN AÑOS									
(1)	(2)	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$m$	(1)	(2)		(1)	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000
ACAYU	PAPAL	20 0050	8 2882	30 0162	13 6818	1 3062	1.09	5.50	ACAYU	23.04	32.44	38.66	44.62	52.34	58.13	71.50	77.25	90.60	96.34
ALOTE	CDALE	22 4301	7 1983	30 7693	13 2474	1 0396	2.32	5.89	ALOTE	25.07	33.23	38.63	43.81	50.52	55.54	67.16	72.15	83.74	88.73
AZUET	FORTI	21 7480	9 8218	25 5695	7 8678	1 0398	1.16	3.62	AZUET	25.35	36.48	43.85	50.92	60.07	66.93	82.78	89.59	105.40	112.21
CANTO	CUATO	43 9431	12 4805	19 2523	9 8869	1 0060	2.45	1.46	CANTO	48.52	62.66	72.03	81.01	92.64	101.36	121.49	130.15	150.24	158.89
CDALE	HUAUT	32 3989	14 2304	21 2774	7 0113	1 3857	5.05	1.63	CDALE	37.61	53.74	64.42	74.67	87.93	97.86	120.82	130.69	153.60	163.47
CUATO	PAPAL	19 5863	9 7071	30 2019	13 9108	1 3731	1.49	5.70	CUATO	23.14	34.15	41.43	48.42	57.46	64.24	79.90	86.64	102.26	108.99
CUICH	CUATO	34 5416	8 8577	19 4077	9 5075	1 1477	2.70	1.53	CUICH	37.79	47.83	54.47	60.85	69.10	75.29	89.58	95.72	109.98	116.12
FORTI	CUATO	22 4014	6 8174	18 7038	8 9358	1 0027	2.41	2.16	FORTI	24.90	32.63	37.74	42.65	49.00	53.76	64.76	69.49	80.47	85.19
HUAUT	CANTO	21 4713	6 8563	43 5693	12 0209	1 0014	1.61	2.57	HUAUT	23.98	31.76	36.90	41.84	48.22	53.01	64.07	68.83	79.87	84.62
JACAT	VILLA	45 1167	9 5353	16 8192	5 2592	1 0013	1.41	1.59	JACAT	48.61	59.42	66.57	73.44	82.32	88.98	104.37	110.98	126.33	132.94
LAEST	ACAYU	43 6995	10 7064	19 6181	7 6823	1 0062	3.85	1.44	LAEST	47.62	59.76	67.79	75.50	85.48	92.95	110.23	117.65	134.89	142.31
MONTE	CUICH	28 9809	12 0005	34 5480	9 0032	1 5094	2.09	2.75	MONTE	33.38	46.98	55.99	64.62	75.81	84.19	103.55	111.87	131.19	139.51
PAPAL	SNJUA	29 0813	13 2445	18 4482	9 5982	1 0093	5.19	3.38	PAPAL	33.94	48.95	58.89	68.42	80.76	90.01	111.38	120.56	141.89	151.07
SNJUA	HUAUT	18 4484	12 3986	21 4724	7 1734	2 1090	2.76	1.64	SNJUA	22.99	37.05	46.35	55.27	66.83	75.48	95.49	104.09	124.05	132.64
TEMAS	HUAUT	41 4836	8 8723	21 4204	7 2541	1 2047	2.50	1.66	TEMAS	44.74	54.79	61.45	67.84	76.10	82.30	96.61	102.77	117.05	123.20
VILLA	PAPAL	17 2666	5 5952	29 7109	13 5930	1 1847	1.33	5.40	VILLA	19.32	25.66	29.86	33.89	39.10	43.01	52.03	55.91	64.92	68.80

**TABLA C.11**

**Parámetros de la Función de Distribución de Probabilidad Bivariada y eventos para periodos de retorno asignados en las estaciones de la Cuenca del Río Papaloapan (Zonas A y B). Duración,  $d = 1440$  min.**

<b>ZONA A</b>		<b>DURACIÓN = 1440 min</b>					<b>ERROR EN ESTACIÓN</b>		<b>INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, <math>I</math>, en mm/h</b>										
<b>ESTACIÓN</b>		<b>PARÁMETROS</b>					<b>ESTACIÓN</b>		<b>ESTACIÓN</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO, <math>T</math>, EN AÑOS</b>									
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b><math>\alpha_3</math></b>	<b><math>\alpha_4</math></b>	<b><math>\alpha_5</math></b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(1)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>5000</b>	<b>10000</b>
APAZC	XIQUI	1.4882	0.4693	1.5752	0.5159	1.4209	0.162	0.097	APAZC	1.660	2.192	2.544	2.882	3.319	3.647	4.404	4.730	5.485	5.811
ASTAT	XIQUI	1.6912	0.4308	1.5772	0.4991	1.5700	0.250	0.107	ASTAT	1.849	2.337	2.661	2.971	3.372	3.673	4.368	4.667	5.360	5.659
AYUTL	XIQUI	2.7056	0.8077	1.5445	0.4764	1.3984	0.528	0.139	AYUTL	3.002	3.917	4.523	5.105	5.857	6.421	7.724	8.285	9.585	10.145
CALAP	QUIOT	1.7208	0.6385	1.8812	0.6301	1.5361	0.173	0.161	CALAP	1.955	2.678	3.158	3.617	4.212	4.658	5.688	6.131	7.159	7.601
CALTE	SNTIT	1.6146	0.5003	1.7520	0.4737	1.0344	0.096	0.370	CALTE	1.798	2.365	2.740	3.101	3.567	3.916	4.723	5.070	5.876	6.222
COIXT	X	X	X	X	X	X	X	X	COIXT	2.104	2.811	3.280	3.730	4.311	4.747	5.754	6.187	7.192	7.624
CUEST	SNLOR	X	X	X	X	X	X	X	CUEST	2.241	2.972	3.456	3.920	4.521	4.972	6.013	6.460	7.499	7.946
ELCAR	CALTE	1.7788	0.5001	1.5885	0.4582	1.1786	0.091	0.102	ELCAR	1.962	2.529	2.904	3.264	3.730	4.079	4.886	5.233	6.038	6.385
JAYAC	SNTIT	1.8040	0.6545	1.7573	0.4312	1.0097	0.300	0.400	JAYAC	2.044	2.786	3.277	3.748	4.358	4.815	5.871	6.325	7.379	7.832
MAGDA	QUIOT	1.6884	0.5775	1.8750	0.6077	1.4132	0.197	0.163	MAGDA	1.900	2.555	2.988	3.404	3.942	4.345	5.277	5.678	6.607	7.008
PALMA	X	X	X	X	X	X	X	X	PALMA	2.201	2.906	3.372	3.820	4.400	4.834	5.837	6.269	7.270	7.701
QUIOT	CALTE	1.8924	0.6250	1.5823	0.4606	1.0005	0.160	0.101	QUIOT	2.121	2.830	3.299	3.749	4.331	4.767	5.776	6.209	7.216	7.649
SALIN	XIQUI	1.8821	0.6677	1.4781	0.6003	1.1169	0.140	0.130	SALIN	2.127	2.884	3.385	3.865	4.487	4.954	6.031	6.494	7.569	8.032
SNLOR	JAYAC	1.7700	0.4160	1.7363	0.5688	1.0363	0.147	0.392	SNLOR	1.922	2.394	2.706	3.006	3.393	3.684	4.355	4.643	5.313	5.601
SNMIG	ELCAR	1.8337	0.5532	1.7750	0.4948	1.1534	0.177	0.092	SNMIG	2.036	2.663	3.079	3.477	3.992	4.379	5.271	5.655	6.545	6.929
SNPED	SNTIA	2.2615	0.7627	1.6161	1.1489	1.0497	0.367	0.314	SNPED	2.541	3.406	3.978	4.527	5.238	5.770	7.001	7.530	8.758	9.287
SNTIA	CALTE	1.5546	1.1061	1.5873	0.4580	1.1561	0.349	0.102	SNTIA	1.960	3.214	4.044	4.840	5.871	6.643	8.427	9.195	10.975	11.742
SNTIT	AYUTL	1.7855	0.4913	2.6483	0.6962	1.0086	0.355	0.611	SNTIT	1.966	2.522	2.891	3.245	3.702	4.045	4.838	5.179	5.970	6.310
SUCHI	X	2.0207	0.6585	1.8206	0.5643	1.3694	0.255	0.199	SUCHI	2.262	3.008	3.503	3.977	4.590	5.050	6.112	6.569	7.629	8.085
TEPEL	ELCAR	2.3358	1.0325	1.7701	0.4716	1.9642	0.297	0.104	TEPEL	2.714	3.885	4.659	5.403	6.365	7.086	8.752	9.468	11.130	11.846
TEPEL	SNLOR	1.6368	0.5611	1.7363	0.3287	1.4389	0.218	0.252	TEPEL	1.842	2.478	2.899	3.303	3.826	4.218	5.123	5.512	6.415	6.804
TEPEU	CALTE	2.4047	0.7137	1.5726	0.4448	1.1992	0.114	0.115	TEPEU	2.666	3.475	4.011	4.525	5.190	5.688	6.840	7.335	8.484	8.978
XIQUI	CALTE	1.5867	0.5276	1.5812	0.4523	1.3118	0.092	0.107	XIQUI	1.780	2.378	2.774	3.154	3.646	4.014	4.865	5.231	6.081	6.446

<b>ZONA B</b>		<b>DURACIÓN = 1440 min</b>					<b>ERROR EN ESTACIÓN</b>		<b>INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, <math>I</math>, en mm/h</b>										
<b>ESTACIÓN</b>		<b>PARÁMETROS</b>					<b>ESTACIÓN</b>		<b>ESTACIÓN</b>	<b>PERÍODO DE RETORNO, <math>T</math>, EN AÑOS</b>									
<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b><math>\alpha_3</math></b>	<b><math>\alpha_4</math></b>	<b><math>\alpha_5</math></b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>(1)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>5000</b>	<b>10000</b>
ACAYU	JACAT	3.8978	1.0559	7.2080	1.7195	1.0165	0.167	0.306	ACAYU	4.285	5.482	6.274	7.034	8.018	8.755	10.459	11.191	12.891	13.623
ALOTE	X	X	X	X	X	X	X	X	ALOTE	5.479	6.977	7.968	8.919	10.151	11.073	13.205	14.121	16.249	17.165
AZUET	ACAYU	3.7443	1.0581	3.8354	0.9976	1.2456	0.463	0.226	AZUET	4.132	5.331	6.125	6.887	7.873	8.612	10.319	11.053	12.756	13.489
CANTO	ACAYU	6.9069	1.7760	3.8352	0.9942	1.1631	1.444	0.229	CANTO	7.558	9.571	10.904	12.182	13.837	15.077	17.942	19.174	22.033	23.264
CDALE	VILLA	4.8132	1.2592	3.2219	0.9794	1.0320	0.335	0.250	CDALE	5.275	6.702	7.647	8.553	9.727	10.606	12.638	13.511	15.548	16.411
CUATO	CDALE	3.5986	1.5438	4.7833	1.2169	1.0091	1.512	0.368	CUATO	4.164	5.914	7.073	8.184	9.622	10.700	13.191	14.262	16.747	17.818
CUICH	ACAYU	4.6974	1.0911	3.8290	0.9965	1.1844	0.314	0.230	CUICH	5.097	6.334	7.153	7.938	8.955	9.717	11.477	12.234	13.990	14.747
FORTI	ACAYU	3.2678	0.8315	3.8655	1.0335	1.0859	0.369	0.185	FORTI	3.573	4.515	5.139	5.737	6.512	7.093	8.434	9.011	10.350	10.926
HUAUT	MONTE	5.9015	1.7027	4.8683	1.0638	1.2686	0.532	0.371	HUAUT	6.526	8.456	9.733	10.959	12.546	13.734	16.482	17.663	20.464	21.584
JACAT	ACAYU	7.1794	1.7757	3.8008	1.0399	1.0042	0.282	0.207	JACAT	7.830	9.843	11.175	12.453	14.108	15.348	18.213	19.444	22.303	23.534
LAEST	JACAT	8.3765	2.0977	7.1284	1.6660	1.2157	1.421	0.353	LAEST	9.145	11.523	13.097	14.607	16.562	18.026	21.411	22.866	26.243	27.697
MONTE	TEMAS	4.9422	1.1233	5.2864	1.3673	1.1990	0.331	0.320	MONTE	5.354	6.627	7.470	8.279	9.325	10.109	11.922	12.701	14.509	15.288
PAPAL	TEMAS	4.9706	0.8224	5.3359	1.4106	1.1902	0.155	0.298	PAPAL	5.272	6.204	6.821	7.413	8.180	8.754	10.081	10.651	11.975	12.545
SNJUA	X	X	X	X	X	X	X	X	SNJUA	5.449	6.944	7.934	8.883	10.112	11.033	13.161	14.076	16.199	17.113
TEMAS	JACAT	5.3359	1.4218	7.1665	1.7363	1.3062	0.296	0.298	TEMAS	5.857	7.468	8.535	9.559	10.884	11.876	14.170	15.156	17.445	18.431
VILLA	MONTE	3.2575	1.0011	4.8606	1.0250	1.4971	0.237	0.400	VILLA	3.624	4.759	5.510	6.231	7.164	7.863	9.478	10.172	11.784	12.478



# ***ANEXO D***

***" PROGRAMAS EN LENGUAJE Q-BASIC "***

**METODO DE THIESSEN**  
**TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA**  
**PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

```

VARIABLES DE ENTRADA
  ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (EXT = DAT)
  P(I,J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I
  COO(J,2) = COORDENADAS (X,Y) DE C/ESTACION (PARA NE ESTACIONES)
  COE(K,2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION, (Xe,Ye)
  NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
  NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
  NP = No DE PUNTOS (Xe,Ye) A ESTIMAR
  I = 1 HASTA NA
  J = 1 HASTA NE
  K = 1 HASTA NP
VARIABLES DE SALIDA
  DMI(NA) = DISTANCIA MINIMA A LA QUE SE ENCUENTRA UNA ESTACION DEL PUNTO "c"
  SMI(NE) = ESTACION MAS CERCANA
  PE(NP) = PRECIPITACION CORRESPONDIENTE A SMI Y ESTACION "J"
ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " METODO DE THIESSEN"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT ""
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES " INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO " INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR " INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR " INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS " INPUT "", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO " INPUT "", DRIVS
LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHIS = DRIVS + "." + ARCHS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHIS
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
DIM P(NA,NE),D(NT,NE),C(NE,2),COH(NT,2),DMI(NT*NI),SMI(NT),PE(NI,NT)
DIM TAIF(NE),A(NE),AF(NE),NOE(S(NE)),PT(NI,NE)
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOE(J) PRINT USING "& ", NOE(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "#### ", TAIF(J)
  INPUT #1, A(J) PRINT USING "#### ", A(J)
  INPUT #1, AF(J) PRINT USING "#### ", AF(J)
  PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h " PRINT " J "
  FOR I = 1 TO TAIF(J)
    INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "###.### ", P(I, J)
  NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COO(J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, COO(J, 1), COO(J, 2)
  PRINT " J, PRINT USING "####.### ", COO(J, 1), COO(J, 2)
NEXT J
LECTURA DE COORDENADAS CARTESIANAS DE "NE" ESTACIONES
Y LAS COORDENADAS (Xe,Ye) DE LOS PUNTOS A ESTIMAR
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(j) A INTERPOLAR "
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " J, PRINT USING "####.### ", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION "

```

```

FOR I = 1 TO NI
  PRINT " INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h "
  PRINT " SERIE I, ESTACION J "
  FOR J = 1 TO NE
    INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "###.### ", P(I, J)
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1
CALCULO DE LAS DISTANCIAS d(i,s)
FOR K = 1 TO NT
  X1 = COE(K, 1) Y1 = COE(K, 2) MIN = 100000
  FOR J = 1 TO NE
    X2 = COO(J, 1) Y2 = COO(J, 2)
    DK(K, J) = ((X2 - X1) ^ 2 + (Y2 - Y1) ^ 2) ^ .5
    IF DK(K, J) < MIN THEN
      MIN = DK(K, J) JE = J
    END IF
  NEXT J
  DMI(K) = MIN SMI(K) = JE
NEXT K
DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR K = 1 TO NT
  FOR I = 1 TO NI PE(I, K) = P(I, SMI(K)) NEXT I
NEXT K
FOR I = 1 TO NI
  FOR K = 1 TO NT PE(I, K) = P(I, SMI(K)) NEXT K
NEXT I
IMPRESION DE RESULTADOS SE GRABA EN UN ARCHIVO CON EXTENSION ".THI"
ARCHIS = DRIVS + "." + ARCHS + ".RES" OPEN "A", #2, ARCHIS
PRINT #2, " METODO DE THIESSEN"
PRINT #2, " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, " PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO " PRINT #2, ""
PRINT #2, " PRINT #2, SPC(10), "COORDENADAS DE LOS PUNTOS A ESTIMAR"
PRINT #2, " N°", SPC(8), " X ", SPC(8), " Y ", SPC(5), "di e,j", SPC(3), "EST", SPC(4), " Pe"
PRINT #2, " ", SPC(8), "(km)", SPC(8), "(km)", SPC(5), "(km)", SPC(3), " ", SPC(4), "(mm)"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT #2, "I,K "
  FOR K = 1 TO NT
    PRINT #2, USING "##", I, K, SPC(2),
    PRINT #2, USING "####.###", COE(K, 1), SPC(4), COE(K, 2), SPC(4), DMI(K),
    PRINT #2, SPC(3), SMI(K), SPC(2),
    PRINT #2, USING "####.###", PE(I, K), PRINT #2, ""
  NEXT K
NEXT I CLOSE #2
END

```

---

**METODO DE INTERPOLACION POLINOMIAL**  
**POR MINIMOS CUADRADOS**  
**TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA**  
**PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

```

DECLARE SUB GAUSSJORDAN (M, NT, A(), B(), DET)
DECLARE SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
VARIABLES DE ENTRADA

```

```

ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISION)
PL(J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I
COE(J,2) = COORDENADAS (X,Y) DE CADA ESTACION (PARA NE ESTACIONES)
COE(K,2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION. (Xc,Yc)
NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
NT = No DE PUNTOS (Xc,Yc) A INTERPOLAR
I = 1 HASTA NA
J = 1 HASTA NE
K = 1 HASTA NT, 1 HASTA M
NPA = No DE PAREJAS DE ESTACIONES. NPA = NE(NE-1)/2
VARIABLES DE SALIDA
TE(M,M) = MATRIZ DE COEFICIENTES  $U(x_i, y_j) = [ P(x_i, y_j) \quad P_y(x_i, y_j) ]$ 
TE(M,M) = INVERSA DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES  $U(x_i, y_j)$ 
PE(NP) = ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EN EL PUNTO c
WS(NP,NE) = FACTOR DE PESO EN LA ESTACION j PARA EL PUNTO c
ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " METODO DE INTERPOLACION POLINOMIAL"
PRINT " POR MINIMOS CUADRADOS"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL." PRINT ""
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ", INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR ", INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIVS
PRINT " GRADO DEL POLINOMIO (1 ó 2) ", INPUT "", G CLS
LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHS = DRIVS + "\ " + ARCHS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHS
IF G = 1 THEN
  M = 3
ELSEIF G = 2 THEN
  M = 6
ELSE STOP
END IF
MM = M * 2 + 1 JSIS = M + 1 JINV = M + 2
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
DIM P(NA, NE), FIE(NT, M), COE(NE, 2), COE(NT, 2), WS(NT, NE), PE(NI, NT)
DIM FIM(NE), ALFA(M, NE), TE(M, M), PT(NI, NE), TAIF(NE), AR(NE), AF(NE), NOE$ (NE)
DIM A(M, M), B(M, NT)
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOE$(J) PRINT USING "&", NOE$(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "####", TAIF(J)
  INPUT #1, A(J) PRINT USING "####", A(J)
  INPUT #1, AF(J) PRINT USING "####", AF(J)
  PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h "
  PRINT " :j"
  FOR I = 1 TO TAIF(J)
    INPUT #1, PL(I, J) PRINT USING "####", PL(I, J)
  NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(j) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " : J PRINT USING "####", COE(J, 1), COE(J, 2)

```

```

NEXT J
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(j) A INTERPOLAR "
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " : J, PRINT USING "####", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION "
FOR I = 1 TO NI
  PRINT " INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h "
  PRINT " SERIE : ESTACION j "
  FOR J = 1 TO NE
    INPUT #1, PT(I, J) PRINT USING "####", PT(I, J)
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1
ERASE TAIF, AL, AF, NOE$
CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ  $[ P(x_i, y_j) ]$ 
L = 1
DO
  FOR J = 1 TO NE
    IF L = 1 THEN
      FIE(J) = 1#
    ELSEIF L = 2 THEN
      FIE(J) = COE(J, 1)
    ELSEIF L = 3 THEN
      FIE(J) = COE(J, 2)
    ELSEIF L = 4 THEN
      FIE(J) = COE(J, 1) ^ 2
    ELSEIF L = 5 THEN
      FIE(J) = COE(J, 1) * COE(J, 2)
    ELSEIF L = 6 THEN
      FIE(J) = COE(J, 2) ^ 2
    END IF
  NEXT J
  CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ  $[ P(x_i, y_c) ]$ 
  FOR K = 1 TO NT
    IF L = 1 THEN
      FIE(K, L) = 1#
    ELSEIF L = 2 THEN
      FIE(K, L) = COE(K, 1)
    ELSEIF L = 3 THEN
      FIE(K, L) = COE(K, 2)
    ELSEIF L = 4 THEN
      FIE(K, L) = COE(K, 1) ^ 2
    ELSEIF L = 5 THEN
      FIE(K, L) = COE(K, 1) * COE(K, 2)
    ELSEIF L = 6 THEN
      FIE(K, L) = COE(K, 2) ^ 2
    END IF
  NEXT K
  L = L + 1
LOOP WHILE L <= M
CALCULO DE LA MATRIZ  $[ U_{kj} ] = [ P(x_j, y_j) \quad P_y(x_j, y_j) ] = TE(NE, NE)$ 
FOR K = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M
    TE(K, J) = 0
    FOR I = 1 TO NE
      TE(K, J) = TE(K, J) + FIE(K, J) * FIE(I, J) NEXT I
    NEXT J

```

```

NEXT K
'CALCULO DE LA INVERSA DE LA MATRIZ TE(M,M)
GOSUB INVERSA
'CALCULO DE LA MATRIZ |Okj| = ALFA(K,J) = 0.1 * TE(K,I) * P(Xi,Yj) , i=1, ..M
FOR K = 1 TO M
  FOR J = 1 TO NE
    ALFA(K, J) = 0
    FOR I = 1 TO M ALFA(K, J) = ALFA(K, J) + A(K, I) * F(I, J) NEXT I
  NEXT J
NEXT K
'CALCULO DEL FACTOR DE PESO Ws(NP,NE) = sum alfa k j Pk(Xc,Yc) , k=1, ..M
FOR L = 1 TO NT
  S0 = 0
  FOR J = 1 TO NE
    S1 = 0
    FOR K = 1 TO M S1 = S1 + ALFA(K, J) * F(I, K) NEXT K
    WS(L, J) = S1 S0 = S0 + WS(L, J)
    PRINT "Ws (", L, ", ", J, ") = ", S1 PRINT USING "#### ####", WS(L, J)
  NEXT J PRINT USING " Sum Ws = #### ####", S0 PRINT ""
NEXT L
'DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
  FOR K = 1 TO NT
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + WS(K, J) * PT(I, J) NEXT J
    PE(I, K) = S1 IF PE(I, K) < 0 THEN PE(I, K) = 0
  NEXT K
NEXT I
'IMPRESION DE RESULTADOS GRABA UN ARCHIVO CON EXTENSION "POL" => POLINOMIAL
ARCH25 = DRIVE$ + "\ + ARCH$ + ".RES" OPEN "A", #2, ARCH25
PRINT #2, " METODO DE INTERPOLACION POLINOMIAL"
PRINT #2, " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, " GRADO POLINOMIAL EMPLEADO EN EL CALCULO ", PRINT #2, G
PRINT #2, " PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO ", PRINT #2, ""
PRINT #2, " N", SPC(3), " (COORD X(km)", SPC(3), " (COORD Y(km)", SPC(3), " Pe (mm)"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT #2, "I,K "
  FOR K = 1 TO NT
    PRINT #2, USING " ##", I, K, SPC(2),
    PRINT #2, USING " #### ##", COE(K, I), SPC(4), COE(K, 2), SPC(4),
    PRINT #2, USING " #### ####", PE(I, K), PRINT #2, ""
  NEXT K
NEXT I
END

INVERSA:
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = TE(I, J) NEXT J
  B(I, J) = F(I, J)
NEXT I
CALL GAUSSJORDAN(M, NT, A(), B(), DET)
PRINT " DETERMINANTE = ", DET
PRINT " MATRIZ INVERSA "
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#### ####", A(I, J), NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT ""
NITER = 100

```

```

CALL CORRIGEINVERSA(M, NITER)
PRINT " MATRIZ INVERSA CORREGIDA "
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#### ####", A(I, J), NEXT J PRINT ""
NEXT I
RETURN

SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
DIM B(M, M), INV(M, M), R(M, M), CB(M)
SHARED TE(), A()
DEFDBL P
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M B(I, J) = A(I, J) A(I, J) = TE(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M
    INV(I, J) = B(I, J) P = 0
    FOR K = 1 TO M P = P + (B(I, K) * A(K, J)) NEXT K
    R(I, J) = -P
  NEXT J
  R(I, I) = R(I, I) + 1
NEXT I
NEXT I
FOR S = 1 TO NITER
  UK = 0
  FOR I = 1 TO M
    FOR J = 1 TO M CB(I, J) = B(I, J) NEXT I
    FOR I = 1 TO M
      P = 0
      FOR K = 1 TO M P = P + R(I, K) * CB(K, J) NEXT K
      B(I, J) = P INV(I, J) = INV(I, J) + P
    NEXT I
    IF ABS(P) > .00001 THEN UK = 1
  NEXT J
  IF UK = 0 THEN EXIT FOR
  IF S = NITER AND ABS(P) > .00001 THEN
    PRINT " LA SOLUCION DEL SISTEMA NO CONVERGE"
    PRINT " POR LO TANTO ES CONVENIENTE AJUSTAR"
    PRINT " UN POLINOMIO DE PRIMER GRADO"
    DO LOOP WHILE INKEY$ = ""
  FOR I = 1 TO M
    FOR J = 1 TO M A(I, J) = R(I, J) NEXT J
  NEXT I
  EXIT SUB
END IF
NEXT S
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = INV(I, J) NEXT J
NEXT I
END SUB

SUB GAUSSJORDAN (M, NT, A(), B(), DET)
DIM IPI(M) AS DOUBLE, INDM, 2) AS DOUBLE
DEFDBL P
DET = 1
FOR J = 1 TO M IPI(J) = 0 NEXT J
FOR IREN = 1 TO M
  AMAX = 0

```

```

FOR I = 1 TO M
  IF IP(I) <> 1 THEN
    FOR J = 1 TO M
      IF IP(J) <> 1 THEN
        IF ABS(AMAX) < ABS(A(I, J)) THEN
          REN = 1 COL = J AMAX = A(I, J)
        END IF
      END IF
    NEXT J
  NEXT I
  PIVO = A(REN, COL)
  IF ABS(PIVO) < .000000001 THEN
    NO = 1 EXIT FOR
  END IF
  DET = DET * PIVO
  INDI(REN, 1) = REN INDI(REN, 2) = COL
  IPR(COL) = 1
  IF (REN <> COL) THEN
    DET = -DET
    FOR J = 1 TO M
      TEMP = A(REN, J) A(REN, J) = A(COL, J) A(COL, J) = TEMP
    NEXT J
    IF NT <> 0 THEN
      FOR J = 1 TO NT
        TEMP = B(REN, J) B(REN, J) = B(COL, J) B(COL, J) = TEMP
      NEXT J
    END IF
  END IF
  A(COL, COL) = 1
  FOR J = 1 TO M A(COL, J) = A(COL, J) / PIVO NEXT J
  IF NT <> 0 THEN
    FOR J = 1 TO NT B(COL, J) = B(COL, J) / PIVO NEXT J
  END IF
  FOR I = 1 TO M
    IF I <> COL THEN
      CERO = A(I, COL) A(I, COL) = 0
      FOR J = 1 TO M A(I, J) = A(I, J) - CERO * A(COL, J) NEXT J
      IF NT <> 0 THEN
        FOR J = 1 TO NT B(I, J) = B(I, J) - CERO * B(COL, J) NEXT J
      END IF
    END IF
  NEXT I
NEXT IREN
IF NO <> 1 THEN
  FOR IREN = 1 TO M
    I = M - IREN + 1
    IF INDI, 1) <> INDI, 2) THEN
      REN = INDI, 1) COL = INDI, 2)
      FOR I = 1 TO M
        TEMP = A(I, REN) A(I, REN) = A(I, COL) A(I, COL) = TEMP
      NEXT I
    END IF
  NEXT IREN
ELSE IF NO = 1 THEN
  PRINT "NO HAY DATOS PARA RESOLVER EL SISTEMA"
  STOP

```

```

END IF
END SUB

```

**METODO DE LA DISTANCIA INVERSA**  
**TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA**  
**PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

VARIABLES DE ENTRADA

```

ARCHIS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISION)
PI(J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO J
COE(K,2) = COORDENADAS (X,Y) DE CADA ESTACION (PARA NE ESTACIONES)
COE(K,2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION, (Xc,Yc)
NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
NT = No DE PUNTOS (Xc,Yc) A ESTIMAR
I = 1 HASTA NA
J = 1 HASTA NE
K = 1 HASTA NT

```

VARIABLES DE SALIDA

```

D(I,NT,NA) = DISTANCIA ENTRE LA ESTACION J Y EL PUNTO c
PE(NT) = PRECIPITACION CORRESPONDIENTE A SMI Y ESTACION J
WS(NE,NT) = FACTOR DE PISO QUE LE CORRESPONDE A LA ESTACION J EN EL PUNTO c

```

ENTRADA DE DATOS INICIALES

```

PRINT " METODO DE DISTANCIA INVERSA"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ", INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR ", INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHIS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIVS

```

LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS

```

ARCHIS = DRIVS + "." + ARCHIS + ".DAT" OPEN "#1", ARCHIS
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
DIM P(NA, NE), D(NT, NE), COE(NE, 2), COE(NT, 2), WS(NT, NE), PE(NT, NT)
DIM TAI(NE), AI(NE), AF(NE), NOE(NE), PT(NT, NE)

```

FOR J = 1 TO NE

```

INPUT #1, NOE(J) PRINT USING "##", NOE(J)
INPUT #1, TAI(J) PRINT USING "###", TAI(J)
INPUT #1, AI(J) PRINT USING "###", AI(J)
INPUT #1, AF(J) PRINT USING "###", AF(J)
PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h ", PRINT ",,"
FOR I = 1 TO TAI(J)
  INPUT #1, PI, I) PRINT USING "### ## ", PI, I)
NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""

```

FOR J = 1 TO NE

```

PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"

```

FOR J = 1 TO NE

```

INPUT #1, COE, 1), COE, 2)
PRINT " ", J PRINT USING "### ## ", COE, 1), COE, 2)
NEXT J

```

FOR J = 1 TO NT

```

PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(J) A INTERPOLAR "
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "### ## ", COE(J, 1), COE(J, 2)

```

```

NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION"
FOR I = 1 TO NI
PRINT " INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h "
PRINT " SERIE i , ESTACION j"
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, PT(I, J) PRINT USING "### ## ", PT(I, J)
NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1
"CALCULO DE LAS DISTANCIAS d [ c.s ]
FOR K = 1 TO NT
X1 = COE(K, 1) Y1 = COE(K, 2)
FOR J = 1 TO NE
X2 = COE(J, 1) Y2 = COE(J, 2) D(K, J) = ((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2)^0.5
IF ABS(D(K, J)) < .001 THEN D(K, J) = .001
NEXT J
NEXT K
"CALCULO DEL FACTOR DE PESO Ws ( NT , NE )
"EXPONENTE BETA " B = B = 1 " EN EL METODO DE LA DISTANCIA INVERSA
B = 1
FOR K = 1 TO NT
S1 = 0
FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + (1 / D(K, J)) ^ B NEXT J
FOR L = 1 TO NE WSK, L) = (1 / D(K, L)) ^ B / S1 NEXT L
NEXT K
"DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
FOR K = 1 TO NT
S1 = 0
FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + WSK, J) * PT(I, J) NEXT J
PE(I, K) = S1
NEXT K
NEXT I
"IMPRESION DE RESULTADOS GRABA ARCHIVO EXTENSION " DIT" => DIST INVERSA
ARCH25 = DRIVS + " " + ARCHS + " RES" OPEN "A", #2, ARCH25
PRINT #2, " METODO DE LA DISTANCIA INVERSA"
PRINT #2, " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, " PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO " PRINT #2, ""
PRINT #2, " N", SPC(4), "COORD X(km)", SPC(4), "COORD Y(km)", SPC(4), "Pe (U)"
FOR I = 1 TO NI
PRINT #2, "LK "
FOR K = 1 TO NT
PRINT #2 USING "## " I, K, SPC(2)
PRINT #2 USING "### ## " COE(K, 1), SPC(4), COE(K, 2), SPC(4)
PRINT #2 USING "### ## " PE(I, K), PRINT #2, ""
NEXT K
NEXT I
END

```

**METODO DE INTERPOLACION MULTICUADRATICA  
 TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA  
 PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

DECLARE SUB GAUSSJORDAN (N, D0, B0)

VARIABLES DE ENTRADA

ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION " DAT" POR OMISION)

PE(I, J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I

```

" COE(2) = COORDENADAS (X, Y) DE CADA ESTACION (NE ESTACIONES)
" COE(K, 2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION, (Xc, Yc)
" NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
" NA = No DE ANOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
" NP = No DE PUNTOS (Xc, Yc) A ESTIMAR
" I = 1 HASTA NA
" J = 1 HASTA NE
" K = 1 HASTA NP
" NPA = No DE PAREJAS DE ESTACIONES, NPA = NE(NE - 1) / 2
"VARIABLES DE SALIDA
"D(NE, NE) = MATRIZ DE DISTANCIAS ENTRE LAS ESTACIONES ( I, Y J )
"D(NE, NE) = MATRIZ INVERSA DE DISTANCIAS (DNA, NA)
" PE(NP) = ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EN EL PUNTO "c"
" WSNP, NE) = FACTOR DE PESO EN LA ESTACION j PARA EL PUNTO "c"
"ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " METODO DE INTERPOLACION MULTICUADRATICA"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE ANOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ", INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR ", INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIVS
"LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHIS = DRIVS + " " + ARCHS + " DAT" OPEN "I", #1, ARCHIS
NPA = NE * (NE - 1) / 2
"DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
DIM P(NA, NE), D(NE, NE), CO(NE, 2), COE(NT, 2), WSN( NE), PE(NT, NT)
DIM DE(NT, NE), DIST(NPA), TAI(NE), AK(NE), AF(NE), NOE(NE), PT(NT, NE)
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, NOE(J) PRINT USING "&", NOE(J)
INPUT #1, TAI(J) PRINT USING "### ", TAI(J)
INPUT #1, AI(J) PRINT USING "#### ", AI(J)
INPUT #1, AF(J) PRINT USING "#### ", AF(J)
PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h " PRINT " i, j"
FOR I = 1 TO TAI(I)
INPUT #1, PE(I, J) PRINT USING "### ## ", PE(I, J)
NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(i, j) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
PRINT " i, j " PRINT USING "### ## ", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(i, j) A INTERPOLAR"
FOR J = 1 TO NT
INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
PRINT " i, j " PRINT USING "### ## ", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION"
FOR I = 1 TO NI
PRINT " INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h "
PRINT " SERIE i , ESTACION j"
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, PT(I, J) PRINT USING "### ## ", PT(I, J)

```

```

NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1
ERASE TAB, AI, AF, NOES
'CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I, J
NI = 2 K = 1 J = 1
DO
FOR I = NI TO NE
  X1 = COI(1) Y1 = COI(2) X2 = COJ(1) Y2 = COJ(2)
  DIST(K) = SQR((X2 - X1) ^ 2 + (Y2 - Y1) ^ 2)
  K = K + 1
NEXT I
NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE K <= NPA
'ASIGNACION DE VALORES A LA MATRIZ DE DISTANCIAS D(NE,NE)
NI = 1 K = 1 J = 1
DO 'D(NE,NE) DIAGONAL INFERIOR
FOR I = NI TO NE
  IF I = J THEN
    DI(1) = 0
  ELSEIF K <= NPA THEN
    DI(1) = DIST(K) K = K + 1
  END IF
NEXT I
NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE J <= NE)
NI = 1 K = 1 J = 1
DO 'D(NE,NE) DIAGONAL SUPERIOR
FOR J = NI TO NE
  IF J = 1 THEN
    DI(1) = 0
  ELSEIF K <= NPA THEN
    DI(1) = DIST(K) K = K + 1
  END IF
NEXT J
NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE (I <= NE)
'CALCULO DE LAS DISTANCIAS d | e | j |
FOR K = 1 TO NT
  X1 = COEK(1) Y1 = COEK(2)
  FOR J = 1 TO NE
    X2 = COJ(1) Y2 = COJ(2) DEJ(K, J) = ((X2 - X1) ^ 2 + (Y2 - Y1) ^ 2) ^ .5
  NEXT J
NEXT K
'CALCULO DEL FACTOR DE PESO Ws (NT, NE)
N = NE - DIM BEN)
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO NE: B(J) = DEJ(K, J) NEXT J
  CALL GAUSSJORDAN(N, D), B()
  PRINT "SOLUCION DEL SISTEMA" S1 = 0
  FOR J = 1 TO NE
    WSK(1) = B(J) S1 = S1 + WSK(1)
    PRINT "Ws (" K ", " J, " ) = ", PRINT USING "####", WSK(1)
  NEXT J PRINT USING " a Ws = ####", S1
NEXT K
'DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
  FOR K = 1 TO NT

```

```

S1 = 0
FOR J = 1 TO NE: S1 = S1 + WSK(1) * PT(I, J) NEXT J
PE(I, K) = S1
NEXT K
NEXT I
'IMPRESION DE RESULTADOS GRABA ARCHIVO CON EXTENSION "MCD" => MUEJHQUADRATH.A
ARCHI25 = DRIVE + ":" + ARCHIS + ".RES" OPEN "A", #2, ARCHI25
PRINT #2, " METODO DE INTERPOLACION MULTICUADRATICA"
PRINT #2, " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, " PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO " PRINT #2, ""
PRINT #2, " N", SPC(4), "COORD X(km)", SPC(4), "COORD Y (km)", SPC(4), "Pe (1)"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT #2, "I, K "
  FOR K = 1 TO NT
    PRINT #2, USING "##", I, K, SPC(2),
    PRINT #2, USING "####", COE(K, 1), SPC(4), COE(K, 2), SPC(4),
    PRINT #2, USING "####", PE(I, K), PRINT #2, ""
  NEXT K
NEXT I
END

SUB GAUSSJORDAN (N, D), B()
DIM INDI(2), IPI(N), AI(N, N)
FOR I = 1 TO N FOR J = 1 TO N AI(I, J) = DI(1) NEXT J NEXT I
DET = 1 FOR J = 1 TO N IPI(J) = 0 NEXT J
FOR I = 1 TO N
  MAX = 0
  FOR K = 1 TO N
    IF IPI(K) <> 1 THEN
      FOR J = 1 TO N
        IF IPI(J) <> 1 THEN
          IF ABS(MAX) <= ABS(A(K, J)) THEN
            R = K C = J MAX = A(K, J)
          END IF
        END IF
      NEXT J
    END IF
  NEXT I
  END IF
NEXT K
PI = A(R, C)
IF ABS(PI) <= 1E-08 THEN YA = 1
IF YA = 1 THEN EXIT FOR
DET = DET * PI INDI(1) = R INDI(2) = C IPI(C) = 1
IF R <> C THEN
  DET = -DET
  FOR J = 1 TO N CA = A(R, J) A(R, J) = A(C, J) A(C, J) = CA NEXT J
  CA = B(R) B(R) = B(C) B(C) = CA
END IF
A(C, C) = 1
FOR J = 1 TO N A(C, J) = A(C, J) / PI NEXT J
B(C) = B(C) / PI
FOR K = 1 TO N
  IF K <> C THEN
    CD = A(K, C) A(K, C) = 0
    FOR J = 1 TO N A(K, J) = A(K, J) - CD * A(C, J) NEXT J
    BK) = B(K) - CD * B(C)
  END IF
NEXT K

```

```

NEXT I
IF YA <> 1 THEN
  FOR I = 1 TO N
    K = N - I + 1
    IF INDK( 1) <> INDK( 2) THEN
      R = INDK( 1) C = INDK( 2)
      FOR K = 1 TO N CA = A(K, R) A(K, R) = A(K, C) A(K, C) = CA NEXT K
    END IF
  NEXT I
ELSE PRINT " LA MATRIZ ES SINGULAR. por lo tanto no hay solución"
END IF
END SUB

```

\*\*\*\*\*  
**METODO DE INTERPOLACION OPTIMA  
 EMPLEANDO MULTIPLICADORES DE LAGRANGE  
 TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA  
 PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

DECLARE SUB CORRIGEINVERSA (M, NT, A0, B0, DET)

DECLARE SUB GAUSSJORDAN (M, NT, A0, B0, DET)

VARIABLES DE ENTRADA

ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION " DAT" POR OMISION)  
 P(I, J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I  
 COE(J, 2) = COORDENADAS (X, Y) DE CADA ESTACION (PARA NE ESTACIONES)  
 COE(K, 2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION (Xc, Yc)  
 NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO  
 NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES  
 NP = No DE PUNTOS (Xc, Yc) A ESTIMAR  
 I = 1 HASTA NA  
 J = 1 HASTA NE  
 K = 1 HASTA NT  
 NPA = No DE PAREJAS DE ESTACIONES, NPA = NE(NE-1)/2

VARIABLES DE SALIDA

PEINT, NE) = ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EN EL PUNTO c  
 WS(NP, NE) = FACTOR DE PESO EN LA ESTACION j PARA EL PUNTO c  
 ENTRADA DE DATOS INICIALES

```

PRINT " METODO DE INTERPOLACION OPTIMA"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT ""
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ", INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR ", INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIVS

```

DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES

```

M = NE * I
DIM PNA, NE), COE(NE, 2), WS(NT, M), PEINT, NT), PT(NI, NE)
DIM RO(M, M), ROE(NT, M), TAIF(NI), A(NE), AF(NE), NOE(NE), A(M, M), B(M, NT)
LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCH15 = DRIVS + "\ " + ARCHS + " DAT" OPEN "I", #1, ARCH15
ARCH25 = DRIVS + "\ " + ARCHS + " ROA" OPEN "I", #2, ARCH25
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOE(J) PRINT USING "&", NOE(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "####", TAIF(J)
  INPUT #1, A(I) PRINT USING "####", A(I)
  INPUT #1, AF(I) PRINT USING "####", AF(I)
  PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h. ", PRINT " I, J"

```

```

FOR I = 1 TO TAIF(J)
  INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "#### #0", P(I, J)
NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES (COE, J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "#### #0", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES (COE(I, J) A INTERPOLAR"
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "#### #0", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h. PARA LA INTERPOLACION"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT " INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h. "
  PRINT " SERIE I, ESTACION J"
  FOR J = 1 TO NE
    INPUT #1, PT(I, J) PRINT USING "#### #0", PT(I, J)
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1 ERASE TAIF, A1, AF, NOES
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M RO(I, J) = 0 NEXT J
NEXT I
FOR J = 1 TO (M - 1) RO(M, J) = 1 NEXT J
FOR I = 1 TO (M - 1) RO(I, M) = 1 NEXT I
FOR I = 1 TO M - 1
  FOR J = 1 TO (M - 1) INPUT #2, RO(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#### #0", RO(I, J) NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT ""
FOR K = 1 TO NT ROE(K, M) = 1 NEXT K
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO NE INPUT #2, ROE(K, J) NEXT J
NEXT K CLOSE #2
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#### #0", ROE(K, J) NEXT J PRINT ""
NEXT K
(CALCULO DE LA INVERSA DE LA MATRIZ TE(M, M)
GOSUB INVERSA
(CALCULO DEL FACTOR DE PESO WS(NP, NE) = Sum A(I, A, k) Pk(Xc, Yc) (A+1) * M
FOR I = 1 TO NT
  S0 = 0
  FOR J = 1 TO M
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO M S1 = S1 + A(I, J) * ROE(I, J) NEXT J
    WS(I, J) = S1
    IF I < M THEN
      S0 = S0 + WS(I, J)
    END IF
    IF I < M THEN
      PRINT " WS( ", I, ", ", J, " ) = ", PRINT USING "#### #0", WS(I, J)
    ELSE

```



```

PRINT " L = ", PRINT USING "####", WS(L, I)
END IF
NEXT I PRINT USING "      Sum Ws = ### ###", S0
NEXT L
DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
FOR K = 1 TO NT
S1 = 0
FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + WS(K, J) * PT(I, J) NEXT J
PE(I, K) = S1
NEXT K
NEXT I
IMPRESION DE RESULTADOS GRABA UN ARCHIVO CON EXTENSION "OPT" -> OPTIMA
ARCH25 = DRIVS + "\* + ARCH5 + " RES" OPEN "A", #2, ARCH25
PRINT #2, "      METODO DE INTERPOLACION OPTIMA"
PRINT #2, "      TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, "      PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO ", PRINT #2, ""
PRINT #2, " N*", SPC(4), "COORD X(km)", SPC(4), "COORD Y(km)", SPC(4), "Pe (l)"
FOR I = 1 TO NI
PRINT #2, "LK "
FOR K = 1 TO NT
PRINT #2, USING "##", I, K, SPC(2),
PRINT #2, USING "####", COF(K, I), SPC(4), COE(K, 2), SPC(4),
PRINT #2, USING "####", PE(I, K), PRINT #2, ""
NEXT K
NEXT I
END

```

#### INVERSA:

```

FOR I = 1 TO M
FOR J = 1 TO M A(I, J) = RO(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO NT
FOR J = 1 TO M B(I, J) = ROE(I, J) NEXT J
NEXT I
CALL GAUSSJORDAN(M, NT, A(), B(), DET)
NITER = 50
CALL CORRIGEINVERSA(M, NITER)
RETURN

```

#### SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)

```

DIM BA(M, M), INV(M, M), R(M, M), CB(M)
SHARED RO(), A()
DEFDBL P
FOR I = 1 TO M
FOR J = 1 TO M BA(I, J) = A(I, J) A(I, J) = RO(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
FOR J = 1 TO M
INV(I, J) = BA(I, J) P = 0
FOR K = 1 TO M P = P + (BA(I, K) * A(K, J)) NEXT K
RI(I, J) = -P
NEXT J
RI(I, I) = RI(I, I) + 1
NEXT I
FOR S = 1 TO NITER
IK = 0

```

```

FOR J = 1 TO M
FOR I = 1 TO M CB(I) = BA(I, J) NEXT I
FOR I = 1 TO M
P = 0
FOR K = 1 TO M P = P + RI(I, K) * CB(K) NEXT K
BA(I, J) = P INV(I, J) = INV(I, J) + P
NEXT I
IF ABS(P) > 00000001# THEN IK = 1
NEXT J
IF IK = 0 THEN EXIT FOR
IF S = NITER AND ABS(P) > 1E-08 THEN
PRINT " LA SOLUCION DEL SISTEMA NO CONVERGE"
PRINT " POR LO TANTO ES CONVENIENTE AJUSTAR "
PRINT " UN POLINOMIO DE 1er GRADO" DO LOOP WHILE INKEYS = ""
FOR I = 1 TO M
FOR J = 1 TO M A(I, J) = RI(I, J) NEXT J
NEXT I
EXIT SUB
END IF
NEXT S
FOR I = 1 TO M
FOR J = 1 TO M A(I, J) = INV(I, J) NEXT J
NEXT I
END SUB

```

#### SUB GAUSSJORDAN (M, NT, A(), B(), DET)

```

DIM IP(M), INDI(M, 2)
DEFDBL P
DET = 1
FOR J = 1 TO M IP(J) = 0 NEXT J
FOR IREN = 1 TO M
AMAX = 0
FOR I = 1 TO M
IF IP(I) <> 1 THEN
FOR J = 1 TO M
IF IP(J) <> 1 THEN
IF ABS(AMAX) < ABS(A(I, J)) THEN
REN = 1 COL = J AMAX = A(I, J)
END IF
END IF
NEXT J
NEXT I
END IF
NEXT I
PIVO = A(REN, COL)
IF ABS(PIVO) < 1E-012 THEN
NO = 1 EXIT FOR
END IF
END IF
DET = DET * PIVO INDI(REN, 1) = REN INDI(REN, 2) = (COL, IP(COL) = 1
IF (REN <> COL) THEN
DET = -DET
FOR J = 1 TO M
TEMP = A(REN, J) A(REN, J) = A(COL, J) A(COL, J) = TEMP
NEXT J
IF NO <> 0 THEN
FOR J = 1 TO NT
TEMP = B(REN, J) B(REN, J) = B(COL, J) B(COL, J) = TEMP
NEXT J

```

```

END IF
END IF
A(COL, COL) = 1
FOR J = 1 TO M A(COL, J) = A(COL, J) / PIVO NEXT J
IF NT <> 0 THEN
  FOR J = 1 TO NT B(COL, J) = B(COL, J) / PIVO NEXT J
END IF
FOR I = 1 TO M
  IF I <> COL THEN
    CERO = A(I, COL) / A(I, COL) = 0
    FOR J = 1 TO M A(I, J) = A(I, J) - CERO * A(COL, J) NEXT J
    IF NE <> 0 THEN
      FOR J = 1 TO NT B(I, J) = B(I, J) - CERO * B(COL, J) NEXT J
    END IF
  END IF
NEXT I
NEXT IREN
IF NO <> 1 THEN
  FOR IREN = 1 TO M
    I = M - IREN + 1
    IF INDI(1) <> INDI(2) THEN
      REN = INDI(1) / COL - INDI(2)
      FOR I = 1 TO M
        TEMP = A(I, REN) / A(I, REN) = A(I, COL) / A(I, COL) - TEMP
      NEXT I
    END IF
  NEXT IREN
ELSEIF NO = 1 THEN
  PRINT "NO HAY DATOS PARA RESOLVER EL SISTEMA" STOP
END IF
END SUB

```

**METODO DE KRIGE RESTRINGIDO**  
**SE EMPLEAN MULTIPLICADORES DE LAGRANGE**  
**TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA**  
**PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA**

```

DECLARE SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
DECLARE SUB GAUSSJORDAN (M, NP, A(), B(), DET)
'VARIABLES DE ENTRADA
' ARCHIS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISSION)
' P(I,J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I
' COO(J,2) = COORDENADAS (X,Y) DE CADA ESTACION (PARA NE ESTACIONES)
' COE(K,2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION (Xc,Yc)
' NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
' NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
' NP = No DE PUNTOS (Xc,Yc) A ESTIMAR
' I = 1 HASTA NA
' J = 1 HASTA NE
' K = 1 HASTA NP
' NPA = No DE PAREJAS DE ESTACIONES, NPA = NE(NE-1)/2
'VARIABLES DE SALIDA
' PE(NP) = ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EN EL PUNTO c
' WSNP,NE) = FACTOR DE PESO EN LA ESTACION j PARA EL PUNTO c
'ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " METODO KRIGING ORDINARIO"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT

```

```

PRINT " NUMERO DE ESTACIONES " INPUT " NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO " INPUT " NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR " INPUT " NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR " INPUT " NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS " INPUT " ARCHIS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO " INPUT " DRIVS
'DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
M = NE + 1
DIM PNA, NE), COE(NT, 2), COE(NT, 2), WSNP(NT, M), PE(NI, NE), VA(M, M), VA(NT, M)
DIM A(M, M), B(M, NT), PT(NI, NE), TAIF(NE), ARNE), AF(NE), NOES(NE)
'LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHIS = DRIVS + "." + ARCHIS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHIS
ARCHIS = DRIVS + "." + ARCHIS + ".SVA" OPEN "I", #2, ARCHIS
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOES(J) PRINT USING "A", NOES(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "###", TAIF(J)
  INPUT #1, A(I) PRINT USING "###", A(I)
  INPUT #1, AF(J) PRINT USING "###", AF(J)
  PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h " PRINT " I,"
  FOR I = 1 TO TAIF(J)
    INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "###.##", P(I, J)
  NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COO(I,J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, COO(J, 1), COO(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "###.##", COO(J, 1), COO(J, 2)
NEXT J
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(I,J) A INTERPOLAR "
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "###.##", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT " INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION "
FOR I = 1 TO NI
  PRINT " SERIE I, ESTACION J "
  FOR J = 1 TO NE
    INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "###.##", P(I, J)
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1 ERASE TAIF, A, AF, NOES
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M VA(I, J) = 0 NEXT J
NEXT I
FOR J = 1 TO (M - 1) VA(M, J) = 1 NEXT J
FOR I = 1 TO (M - 1) VA(I, M) = 1 NEXT I
FOR I = 1 TO M - 1
  FOR J = 1 TO (M - 1) INPUT #2, VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M
    PRINT USING "###.###", VA(I, J)
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT ""
FOR K = 1 TO NT VA(K, M) = 1 NEXT K

```

```

FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO NE INPUT #2, VAE(K, J) NEXT J
NEXT K CLOSE #2 PRINT
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "####", VAE(K, J); NEXT J PRINT ""
NEXT K
'CALCULO DEL SISTEMA DE ECUACIONES DE LA MATRIZ VA(M,M)
GOSUB INVERSA
'CALCULO DEL FACTOR DE PESO W(NP,NE)
FOR L = 1 TO NT
  S0 = 0
  FOR I = 1 TO M
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO M S1 = S1 + A(I, J) * VAE(I, J) NEXT J
    WS(L, I) = S1
    IF I < M THEN
      S0 = S0 + WS(L, I)
    END IF
    IF I < M THEN
      PRINT "Ws (", L, ", ", I, ") = ", PRINT USING "####", WS(L, I)
    ELSE
      PRINT "L = ", PRINT USING "####", WS(L, I)
    END IF
  NEXT I PRINT USING "Sum Ws = ####", S0
NEXT L
'DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
  FOR K = 1 TO NT
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + WS(K, J) * PT(I, J) NEXT J
    PE(I, K) = S1
  NEXT K
NEXT I DO LOOP WHILE INKEY$ = "" CLS
'IMPRESION DE RESULTADOS GRABA ARCHIVO EXTENSION "KOR" => KRIGE ORDINARIO
ARCH2$ = DRIV$ + "\ " + ARCH$ + " RES" OPEN "A", #2, ARCH2$
PRINT #2, "METODO DE INTERPOLACION KRIGING ORDINARIO RESTRINGIDO"
PRINT #2, "TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT #2, ""
PRINT #2, "PRECIPITACION ESTIMADA EN EL PUNTO ", PRINT #2, ""
PRINT #2, " N°", SPC(4), "COORD X(km)", SPC(4), "COORD Y(km)", SPC(4), "Pe (U)"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT #2, "I,K "
  FOR K = 1 TO NT
    PRINT #2, USING "##", I, K, SPC(2),
    PRINT #2, USING "####", COI(K, 1), SPC(4), COI(K, 2), SPC(4),
    PRINT #2, USING "####", PE(I, K), PRINT #2, ""
  NEXT K
NEXT I
END

INVERSA:
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR K = NP TO NT B(I, K) = VAI(K, I) NEXT K
NEXT I
CALL GAUSSJORDAN(M, NT, A(), B(), DET)

```

```

NITER = 50
CALL CORRIGEINVERSA(M, NITER)
RETURN

SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
DIM B(M, M) AS DOUBLE, INV(M, M) AS DOUBLE, R(M, M) AS DOUBLE, CB(M) AS DOUBLE
SHARED VA(), A()
DEFDBL P
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M B(I, J) = A(I, J) A(I, J) = VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M
    INV(I, J) = B(I, J) P = 0
    FOR K = 1 TO M P = P + (B(I, K) * A(K, J)) NEXT K
    R(I, J) = -P
  NEXT J
  R(I, I) = R(I, I) + 1
NEXT I
FOR S = 1 TO NITER
  UK = 0
  FOR J = 1 TO M
    FOR I = 1 TO M CB(I) = B(I, J) NEXT I
    FOR I = 1 TO M
      P = 0
      FOR K = 1 TO M P = P + R(I, K) * CB(K) NEXT K
      B(I, J) = P INV(I, J) = INV(I, J) + P
    NEXT I
    IF ABS(P) > 1D-12 THEN UK = 1
  NEXT J
  IF UK = 0 THEN EXIT FOR
  IF S = NITER AND ABS(P) > 1D-12 THEN
    PRINT "LA SOLUCION DEL SISTEMA NO CONVERGE"
    PRINT "POR LO TANTO ES CONVENIENTE AJUSTAR"
    PRINT "UN POLINOMIO DE PRIMER GRADO"
    DO LOOP WHILE INKEY$ = ""
  FOR I = 1 TO M
    FOR J = 1 TO M A(I, J) = R(I, J) NEXT J
  NEXT I
  EXIT SUB
  END IF
NEXT S
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = INV(I, J) NEXT J
NEXT I
END SUB

SUB GAUSSJORDAN (M, NP, A(), B(), DET)
DIM IPI(M) AS DOUBLE, INDM, 2) AS DOUBLE
DEFDBL P
DET = 1
FOR J = 1 TO M IPI(J) = 0 NEXT J
FOR IREN = 1 TO M
  AMAX = 0
  FOR I = 1 TO M
    IF IPI(I) < > 1 THEN
      FOR J = 1 TO M

```

```

IF IPI(I) <> 1 THEN
  IF ABS(AMAX) < ABS(A(I, J)) THEN
    REN = I COL = J AMAX = A(I, J)
  END IF
END IF
NEXT J
END IF
NEXT I
PIVO = A(REN, COL)
IF ABS(PIVO) < 1D-12 THEN
  NO = 1 EXIT FOR
END IF
DET = DET * PIVO IND(IREN, 1) = REN IND(IREN, 2) = COL IPI(COL) = 1
IF REN <> COL THEN
  DET = -DET
  FOR J = 1 TO M TEMP = A(REN, J) A(REN, J) = A(COL, J) A(COL, J) = TEMP NEXT J
  IF NE <> 0 THEN
    FOR J = 1 TO NP TEMP = B(REN, J) B(REN, J) = B(COL, J) B(COL, J) = TEMP NEXT J
  END IF
END IF
A(COL, COL) = 1
FOR J = 1 TO M A(COL, J) = A(COL, J) / PIVO NEXT J
IF NP <> 0 THEN
  FOR J = 1 TO NP B(COL, J) = B(COL, J) / PIVO NEXT J
END IF

FOR I = 1 TO M
  IF I <> COL THEN
    CERO = A(I, COL) A(I, COL) = 0
    FOR J = 1 TO M A(I, J) = A(I, J) - CERO * A(COL, J) NEXT J
    IF NP <> 0 THEN
      FOR J = 1 TO NP B(I, J) = B(I, J) - CERO * B(COL, J) NEXT J
    END IF
  END IF
NEXT I
NEXT IREN
IF NO <> 1 THEN
  FOR IREN = 1 TO M
    I = M - IREN + 1
    IF IND(I, 1) <> IND(I, 2) THEN
      REN = IND(I, 1) COL = IND(I, 2)
      FOR J = 1 TO M
        TEMP = A(I, REN) A(I, REN) = A(I, COL) A(I, COL) = TEMP
      NEXT J
    END IF
  NEXT IREN
ELSEIF NO = 1 THEN
  PRINT "NO HAY DATOS PARA RESOLVER EL SISTEMA"
  STOP
END IF
END SUB

```

**METODO KRIGING UNIVERSAL**  
**EMPLEANDO MULTIPLICADORES DE LAGRANGE**  
**Y UN POLINOMIO DE 1er ó 2do GRADO**  
**TECNICA EMPLEADA EN LA ESTIMACION DE LLUVIA**

```

PUNTUAL Y EN UN AREA DETERMINADA
DECLARE SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
DECLARE SUB GAUSSJORDAN (M, NT, A0, B0, DET)
VARIABLES DE ENTRADA
ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISION)
PI(I, J) = PRECIPITACION EN LA ESTACION J PARA EN EL AÑO I
COE(I, 2) = COORDENADAS (X, Y) DE CADA ESTACION (PARA NE ESTACIONES)
COE(K, 2) = COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE ESTIMACION (Xe, Ye)
NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO PLUVIOMETRICO
NA = No DE AÑOS DEL REGISTRO PARA LAS NE ESTACIONES
NP = No DE PUNTOS (Xe, Ye) A ESTIMAR
I = 1 HASTA NA
J = 1 HASTA NE
K = 1 HASTA NT
NPA = No DE PAREJAS DE ESTACIONES, NPA = NE/NE 1)/2
VARIABLES DE SALIDA
PE/PE(NP) = ESTIMACION DE LA PRECIPITACION EN EL PUNTO e
WS(NT, NE) = FACTOR DE PESO EN LA ESTACION j PARA EL PUNTO e
ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " METODO KRIGING UNIVERSAL"
PRINT " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTUAL" PRINT
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ". INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ". INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ". INPUT "", NT
PRINT " NUMERO DE SERIES A INTERPOLAR ". INPUT "", NI
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ". INPUT "", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ". INPUT "", DRIVS
PRINT " GRADO DEL POLINOMIO (1 ó 2) ". INPUT "", G
IF G = 1 THEN
  MK = 3
ELSEIF G = 2 THEN
  MK = 6
ELSE STOP
END IF
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
M = NE + MK
DIM PNA (NE), CORNE (2), COE(NT, 2), WS(NT, M), PE(NT, NT), VAIM (M), VAL(NT, M)
DIM FRMK (NE), FIE(NT, MK), AIM (M), BIM (NT), PT(NE, NE)
DIM TAIFONE, AIONE, AFINO, NOESINE)
LECTURA DEL ARCHIVOS DE DATOS
ARCH1S = DRIVS + "\ " + ARCHS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCH1S
ARCH2S = DRIVS + "\ " + ARCHS + ".SVA" OPEN "I", #2, ARCH2S
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOES(J) PRINT USING "& ", NOES(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "#### ", TAIF(J)
  INPUT #1, A(IJ) PRINT USING "#### ", A(IJ)
  INPUT #1, AF(J) PRINT USING "#### ", AF(J)
  PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h. " PRINT " (J) "
  FOR I = 1 TO TAIF(J)
    INPUT #1, PI (I, J) PRINT USING "### ## ", PI (I, J)
  NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE (J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, COE (J), COE (J, 2)

```

```

PRINT " ", J, PRINT USING "#####", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT "COORDENADAS DE LAS ESTACIONES COE(i,j) A INTERPOLAR"
FOR J = 1 TO NT
  INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "#####", COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J
PRINT "INTENSIDADES DE LLUVIA, EN mm/h, PARA LA INTERPOLACION"
FOR I = 1 TO NI
  PRINT "INTENSIDAD DE LLUVIA, EN mm/h "
  PRINT "SERIE ", ESTACION J"
  FOR J = 1 TO NE
    INPUT #1, PT(I, J) PRINT USING "#####", PT(I, J),
  NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT "" CLOSE #1 ERASE TAIF, AI, AF, NDES

```

---

```

FOR J = 1 TO M
  FOR I = 1 TO M VA(I, J) = 0 NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO (M - MK)
  FOR J = 1 TO (M - MK) INPUT #2, VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO NE INPUT #2, VAE(K, J) NEXT J
NEXT K CLOSE #2

```

---

```

"CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ [ P(Xi,Yj) ]
L = 1
DO
  FOR J = 1 TO NE
    IF L = 1 THEN
      F(L, J) = 1
    ELSEIF L = 2 THEN
      F(L, J) = COE(J, 1)
    ELSEIF L = 3 THEN
      F(L, J) = COE(J, 2)
    ELSEIF L = 4 THEN
      F(L, J) = COE(J, 1) ^ 2
    ELSEIF L = 5 THEN
      F(L, J) = COE(J, 1) * COE(J, 2)
    ELSEIF L = 6 THEN
      F(L, J) = COE(J, 2) ^ 2
    END IF
  NEXT J
"CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA MATRIZ [ P(Xc,Yc) ]
FOR K = 1 TO NT
  IF L = 1 THEN
    FIE(K, L) = 1
  ELSEIF L = 2 THEN
    FIE(K, L) = COE(K, 1)
  ELSEIF L = 3 THEN
    FIE(K, L) = COE(K, 2)
  ELSEIF L = 4 THEN
    FIE(K, L) = COE(K, 1) ^ 2
  ELSEIF L = 5 THEN
    FIE(K, L) = COE(K, 1) * COE(K, 2)
  ELSEIF L = 6 THEN

```

```

    FIE(K, L) = COE(K, 2) ^ 2
  END IF
NEXT K
L = L + 1
LOOP WHILE L <= MK
"CALCULO DE LA MATRIZ [ VA(i,j) ]
INE = NE + 1
FOR I = 1 TO M
  IF I <= NE THEN
    FOR J = INE TO M L = J - NE VA(I, J) = F(I, I) NEXT J
  ELSEIF I > NE THEN
    FOR J = 1 TO NE L = J - NE VA(I, J) = F(I, J) NEXT J
  END IF
NEXT I
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = INE TO M L = J - NE VAE(K, J) = FIE(K, L) NEXT J
NEXT K
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#####", VA(I, J), NEXT J PRINT ""
NEXT I PRINT ""
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO M PRINT USING "#####", VAE(K, J), NEXT J PRINT ""
NEXT K
"CALCULO DE LA INVERSA DE LA MATRIZ TE(M,M)
GOSUB INVERSA
"CALCULO DEL FACTOR DE PESO Wk(NT,NE)
FOR L = 1 TO NT
  S0 = 0
  FOR I = 1 TO M
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO M S1 = S1 + A(I, J) * VAE(I, J) NEXT J
    WSL(I) = S1
    IF I <= NE THEN
      S0 = S0 + WSL(I, I)
    END IF
    IF I <= NE THEN
      PRINT "Ws (", I, ", ", I, ") = ", PRINT USING "#####", WSL(I, I)
    ELSE
      PRINT SPC(8), " ", L = ", PRINT USING "#####", WSL(I, I)
    END IF
  NEXT I PRINT USING " Sum Ws = #####", S0
NEXT L
"DETERMINACION DE LA PRECIPITACION EN EL SITIO "c"
FOR I = 1 TO NI
  FOR K = 1 TO NT
    S1 = 0
    FOR J = 1 TO NE S1 = S1 + WSK(J) * PT(I, J) NEXT J
    PE(I, K) = S1
  NEXT K
NEXT I
"IMPRESION DE RESULTADOS GRABA ARCHIVO EXTENSION ".KUN" = KRIGE UNIVERSAL
ARCH25 = DRIVE$ + " " + ARCH15 + ".RES" OPEN "A", #2, ARCH25
PRINT #2, " METODO DE INTERPOLACION KRIGING UNIVERSAL "
PRINT #2, " TECNICA PARA LA ESTIMACION DE LLUVIA PUNTAI " PRINT #2, ""
PRINT #2, " P U N T O ESTIMADO EN EL PUNTO ", PRINT #2, ""
PRINT #2, " N", SPC(4), "COORD X(km)", SPC(4), "COORD Y(km)", SPC(4), "Pe(i)"
FOR I = 1 TO NI

```

```

PRINT #2, "LK "
FOR K = 1 TO NT
  PRINT #2, USING "##", I, K, SPC(2);
  PRINT #2, USING "######", COE(K, 1), SPC(4); COE(K, 2), SPC(4);
  PRINT #2, USING "#######", PE(I, K); PRINT #2, ""
NEXT K
NEXT I
END

```

```

INVERSA:
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR K = 1 TO NT B(I, K) = VAE(K, I) NEXT K
NEXT I PRINT ""
CALL GAUSSJORDAN(M, NT, A(), B(), DET)
NITER = 50
CALL CORRIGEINVERSA(M, NITER)
PRINT " MATRIZ INVERSA CORREGIDA "
RETURN

```

```

SUB CORRIGEINVERSA (M, NITER)
DIM B(M, M), INV(M, M), R(M, M), CB(M)
SHARED VA(), A()
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M B(I, J) = A(I, J) A(I, J) = VA(I, J) NEXT J
NEXT I
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M
    INV(I, J) = B(I, J) P = 0
    FOR K = 1 TO M P = P + (B(I, K) * A(K, J)) NEXT K
    R(I, J) = -P
  NEXT J
  R(I, J) = R(I, J) + 1
NEXT I
FOR S = 1 TO NITER
  UK = 0
  FOR J = 1 TO M
    FOR I = 1 TO M CB(I) = B(I, J) NEXT I
    FOR I = 1 TO M
      P = 0
      FOR K = 1 TO M P = P + R(I, K) * CB(K) NEXT K
      B(I, J) = P * INV(I, J) - INV(I, J) + P
    NEXT I
    IF ABS(P) > 9.999999999999999D16 THEN UK = 1
  NEXT J
  IF UK = 0 THEN EXIT FOR
  IF S = NITER AND ABS(P) > 0.00000001# THEN
    PRINT " LA SOLUCION DEL SISTEMA NO CONVERGE "
    PRINT " ES CONVENIENTE "
    PRINT " AJUSTAR UN POLINOMIO DE PRIMER GRADO. O "
    PRINT " REVISAR LOS DATOS DE SU ARCHIVO "
    FOR I = 1 TO M
      FOR J = 1 TO M A(I, J) = R(I, J) NEXT J
    NEXT I EXIT SUB

```

```

END IF
NEXT S
FOR I = 1 TO M
  FOR J = 1 TO M A(I, J) = INV(I, J) NEXT J
NEXT I
END SUB

```

```

SUB GAUSSJORDAN (M, NP, A(), B(), DET)
DIM IP(M), IND(M, 2)
DEFDBL D, P, DET = 1 FOR J = 1 TO M IP(J) = 0 NEXT J
FOR IREN = 1 TO M
  AMAX = 0
  FOR I = 1 TO M
    IF IP(I) <> 1 THEN
      FOR J = 1 TO M
        IF IP(J) <> 1 THEN
          IF ABS(AMAX) < ABS(A(I, J)) THEN
            REN = I: COL = J: AMAX = A(I, J)
          END IF
        END IF
      NEXT J
    END IF
  NEXT I
  PIVO = A(REN, COL)
  IF ABS(PIVO) < 0.0001 THEN
    NO = 1: EXIT FOR
  END IF
  DET = DET * PIVO IND(IREN, 1) = REN IND(IREN, 2) = COL IP(COL) = 1
  IF (REN <> COL) THEN
    DET = DET
    FOR J = 1 TO M TEMP = A(REN, J) A(REN, J) = A(COL, J) A(COL, J) = TEMP NEXT J
    IF NE <> 0 THEN
      FOR J = 1 TO NP TEMP = B(REN, J) B(REN, J) = B(COL, J) B(COL, J) = TEMP NEXT J
    END IF
  END IF
  A(COL, COL) = 1
  FOR J = 1 TO M A(COL, J) = A(COL, J) / PIVO NEXT J
  IF NP <> 0 THEN
    FOR J = 1 TO NP B(COL, J) = B(COL, J) / PIVO NEXT J
  END IF
  FOR I = 1 TO M
    IF I <> COL THEN
      CERO = A(I, COL) A(I, COL) = 0
      FOR J = 1 TO M A(I, J) = A(I, J) - CERO * A(COL, J) NEXT J
      IF NP <> 0 THEN
        FOR J = 1 TO NP B(I, J) = B(I, J) - CERO * B(COL, J) NEXT J
      END IF
    END IF
  NEXT I
  NEXT IREN
  IF NO <> 1 THEN
    FOR IREN = 1 TO M
      I = M - IREN + 1
      IF IND(I, 1) <> IND(I, 2) THEN
        REN = IND(I, 1) COL = IND(I, 2)
        FOR I = 1 TO M
          TEMP = A(I, REN) A(I, REN) = A(I, COL) A(I, COL) = TEMP

```

```

NEXT I
END IF
NEXT IREN
ELSEIF NO = 1 THEN
PRINT "NO HAY DATOS PARA RESOLVER EL SISTEMA" STOP
END IF
END SUB

```

=====

**CALCULO Y AJUSTE DE LA FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL. RO Y ROA**

```

DECLARE SUB FUNCION (DI(), ROA(), M, A1, NP, F)
DECLARE SUB ERRORSTANDAR (ROA(), YE(), PA, NP, SE2)
*VARIABLES DE ENTRADA
NE = No de ESTACIONES DE REGISTRO
NA = No MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO
* P(I,J) = PRECIPITACION (ESTACION = J, AÑO = I)
* N(I) = No DE REGISTROS DISPONIBLES EN LA ESTACION J
* ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
* CO(NE,2) = COORDENADAS (X,Y) DE LA ESTACION J (PARA NE ESTACIONES)
* DI(NP) = DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES 1 Y 2 (NP=NE*(NE-1)/2)
*VARIABLES DE SALIDA
ME(NE) = MEDIA DE LOS VALORES PARA LA ESTACION J
DE(NE) = DESVIACION ESTANDAR PARA LA ESTACION J
NC(NE) = NUMERO DE REGISTROS DISPONIBLES EN LAS ESTACIONES J
*RO(NE,NE) = FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL.
*ROA(NP) = FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL PARA AJUSTE
NP = NUMERO DE PAREJAS DE ESTACIONES
PA = NUMERO DE PARAMETROS DE LA FUNCION
*ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT "INTERPOLACION ESPACIAL DE LLUVIAS"
PRINT "MÉTODO DE INTERPOLACION OPTIMA"
PRINT "CALCULO Y AJUSTE DE LA FUNCION DE CORRELACION"
PRINT ""
PRINT "NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT "NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHS
PRINT "UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIVS
*DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
NP = NE * (NE - 1) / 2
DIM P(NA, NE), ME(NE), DE(NE), NC(NP), RO(NE, NE), ROA(NP)
DIM YE(NP), CO(NE, 2), DI(NP), NOES(NE), TAIF(NE), AI(NE), AF(NE)
*LECTURA DE DATOS CONTENIENDO COORDENADAS DE LAS ESTACIONES
ARCHS = DRIVS + "." + ARCHS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHS
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, NOES(J) PRINT USING "&", NOES(J)
INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "###", TAIF(J)
INPUT #1, AI(J) PRINT USING "###", AI(J)
INPUT #1, AF(J) PRINT USING "###", AF(J)
PRINT "INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/h ", PRINT "I,J"
FOR I = 1 TO TAIF(J)
INPUT #1, P(I, J) PRINT USING "###", P(I, J)
NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT "COORDENADAS DE LAS ESTACIONES CO(I,J) "
PRINT "ESTACION X Y "

```

```

PRINT " (km) (km)"
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, CO(J, 1), CO(J, 2)
PRINT " ", J, PRINT USING "###", CO(J, 1), CO(J, 2)
NEXT J CLOSE #1 DO LOOP WHILE INKEYS = ""
*CALCULO DE LA MEDIA
FOR J = 1 TO NE
ME(J) = 0
FOR I = 1 TO TAIF(J) ME(J) = ME(J) + P(I, J) NEXT I
ME(J) = ME(J) / TAIF(J)
NEXT J
*CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR
FOR J = 1 TO NE
SI = 0
FOR I = 1 TO TAIF(J) SI = SI + (P(I, J) - ME(J)) ^ 2 NEXT I
DE(J) = (SI / (TAIF(J) - 1)) ^ .5
NEXT J
*IMPRESION DE RESULTADOS
ARCHS = DRIVS + "." + ARCHS + ".EST" OPEN "O", #3, ARCHS
IMPRESION DE RESULTADOS (SE GRABA EN UN ARCHIVO CON EXTENSION ".EST")
PRINT #3, "" PRINT #3, "PRECIPITACION P(I,J)"
PRINT #3, "I,J"
FOR I = 1 TO NA
FOR J = 1 TO NE
PRINT #3, USING "###", P(I, J)
NEXT J PRINT #3, ""
NEXT I
PRINT #3, "ESTADISTICOS DE LAS PRECIPITACIONES, EN mm/h"
PRINT #3, "MEDIA ME(J)"
FOR J = 1 TO NE
PRINT #3, USING "###", ME(J)
NEXT J
PRINT #3, "" PRINT #3, "DESVIACION ESTANDAR DE(J)"
FOR J = 1 TO NE
PRINT #3, USING "###", DE(J)
NEXT J PRINT #3, ""
PRINT #3, "NUMERO DE AÑOS DISPONIBLES PARA LA ESTACION N(I)"
FOR J = 1 TO NE
PRINT #3, USING "###", TAIF(J)
NEXT J PRINT #3, ""
*CALCULO DE LA FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL
PRINT "" PRINT #3, "FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL RO(I,J)" PRINT #3, ""
PRINT "FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL. RO(I,J)"
FOR I = 1 TO NE
FOR J = 1 TO NE
I1 = 0 I2 = 0
IF AI(I) <= AI(J) THEN
NI = AI(J) I1 = AI(J) AI(I)
ELSEIF AI(I) > AI(J) THEN
NI = AI(I) I2 = AI(I) AI(J)
END IF
IF AF(I) <= AF(J) THEN
NE = AF(I)
ELSEIF AF(I) > AF(J) THEN
NE = AF(J)
END IF
NT = NE - NI + 1

```

```

IF NT > 2 THEN
  SX = 0 SY = 0 MX = 0 MY = 0
  FOR T = 1 TO NT SX = SX + (PT + 1, T) SY = SY + (PT + 12, T) NEXT T
  MX = SX / NT MY = SY / NT SSX = 0 SSY = 0
  FOR T = 1 TO NT SSX = SSX + (PT + 1, T) MX^2 SSY = SSY + (PT + 12, T) MY^2 NEXT T
  SSX = (SSX / (NT - 1)) ^ 5 SSY = (SSY / (NT - 1)) ^ 5 SUM = 0
  FOR T = 1 TO NT SUM = SUM + (PT + 1, T) MX * (PT + 12, T) MY NEXT T
  RO(I, J) = SUM / ((NT - 1) * SSX * SSY)
END IF
PRINT USING "###.###", RO(I, J),
PRINT #3, USING "##.##", RO(I, J),
NEXT J PRINT " " PRINT #3, " "
NEXT I
PRINT #3, " " PRINT " VALORES DE RO(I,J) PARA EL AJUSTE"
'DETERMINACION DE VALORES RO(I,J) PARA EL AJUSTE Y
'CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I,J
PRINT "ESTACION i ESTACION j DISTANCIA Dij ROA(K)"
PRINT #3, " k EST i EST j DIST Dij ROA(K)"
N1 = 2 K1 = 1 K = 1 J = 1
DO
  FOR I = N1 TO NE
    IF ABS(RO(I, J)) > .001 THEN
      X1 = CO(I, 1) Y1 = CO(I, 2) X2 = CO(J, 1) Y2 = CO(J, 2)
      DI(K) = SQR((X2 - X1) ^ 2 + (Y2 - Y1) ^ 2) ROA(K) = ABS(RO(I, J))
      PRINT K1, I, J, PRINT USING "###.##", DI(K), SPC(3),
      PRINT USING "###.###", ROA(K)
      PRINT #3, K1, I, J, PRINT #3, USING "###.##", DI(K), SPC(3),
      PRINT #3, USING "###.###", ROA(K)
      K1 = K1 + 1
    ELSEIF ABS(RO(I, J)) <= .001 THEN
      PRINT " "
    END IF
    K = K + 1
  NEXT I
  N1 = N1 + 1 J = J + 1
LOOP WHILE K <= NP
NP = K1 - 1
'AJUSTE DE LA FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL ROA(K)
'MODELO INVERSO: RO(d) = 1 / (1 + d / c)
S1 = 0 S2 = 0 S3 = 0 PA = 1
FOR K = 1 TO NP
  S1 = S1 + DI(K) S2 = S2 + (DI(K)) ^ 2 S3 = S3 + DI(K) / ROA(K)
NEXT K
M = (S3 - S1) / S2 C = 1 / M
FOR K = 1 TO NP YE(K) = 1 / (1 + DI(K) / C) NEXT K
'CALCULO DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = 6 (Yi) Ye^2 / (n-1)
CALL ERRORESTANDAR(ROA0, YE0, PA, NP, SE2)
PRINT "MODELO INVERSO", PRINT USING "RO(d) = 1 / (1 + d / ###.###)", C, PRINT " "
PRINT "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ", PRINT USING "###.###", SE2 BEEP
PRINT #3, "MODELO INVERSO", PRINT #3, USING "RO(d) = 1 / (1 + d / ###.###)", C, PRINT #3, " "
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ", PRINT #3, USING "###.###", SE2

'MODELO DE POTENCIA INVERSA: RO(d) = 1 / (1 + d / c) ^ a
M0 = 0 S = .001 MF = INT(LOG(1 + 50 / S) / LOG(2)) PA = 2
IX)
FOR I = 1 TO 4
  ME = M0 + S * 2 ^ (I - 1)

```

```

CALL FUNCIONDI0, ROA0, M1, A1, NP, F1)
M2 = M1 + S * 2 ^ (I - 1)
CALL FUNCIONDI0, ROA0, M2, A1, NP, F2)
M3 = M2 + S * 2 ^ (I - 1)
CALL FUNCIONDI0, ROA0, M3, A1, NP, F3)
IF F1 < F3 AND F2 <= F1 AND F2 <= F3 THEN
  M0 = M0
ELSEIF F2 <= F3 AND F2 >= F1 AND F1 < F3 THEN
  M0 = M0
ELSEIF F2 <= F1 AND F2 >= F3 AND F1 > F3 THEN
  M0 = M2
END IF
END L
S = S / 2
LOOP WHILE ABS(F1 - F2) > .00001 OR ABS(F2 - F3) > .00001
LOCATE 23, 40 PRINT C = 1 / M2
FOR K = 1 TO NP YE(K) = 1 / (1 + DI(K) / C) ^ (A1) NEXT K
CALL ERRORESTANDAR(ROA0, YE0, PA, NP, SE2)
PRINT "MODELO DE POTENCIA INVERSA", PRINT "RO(d) = 1 / (1 + d / C) ^ [", A1, "]"
PRINT "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ",
PRINT USING "###.###", SE2 BEEP BEEP BEEP
PRINT #3, "MODELO DE POTENCIA INVERSA",
PRINT #3, "RO(d) = 1 / (1 + d / C) ^ [", A1, "]"
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ",
PRINT #3, USING "###.###", SE2

'MODELO EXPONENCIAL: RO(d) = EXP(- A d)
S1 = 0 S2 = 0 PA = 1
FOR K = 1 TO NP S1 = S1 + (DI(K)) ^ 2 S2 = S2 + DI(K) * LOG(ROA(K)) NEXT K
A = -S2 / S1 FOR K = 1 TO NP YE(K) = EXP(- A * DI(K)) NEXT K
CALL ERRORESTANDAR(ROA0, YE0, PA, NP, SE2)
PRINT "MODELO EXPONENCIAL", PRINT "RO(d) = EXP(-, A, d)"
PRINT "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ",
PRINT USING "###.###", SE2 BEEP BEEP BEEP
PRINT #3, "MODELO EXPONENCIAL", PRINT #3, "RO(d) = EXP(-, A, d)"
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se^2 = ",
PRINT #3, USING "###.###", SE2 CLOSE #3
END

SUB ERRORESTANDAR (ROA0, YE0, PA, NP, SE2)
  S1 = 0
  FOR K = 1 TO NP S1 = S1 + (ROA(K) - YE(K)) ^ 2 NEXT K
  SE2 = S1 / (NP - PA)
END SUB

SUB FUNCION (DI0, ROA0, M, A1, NP, F)
  S1 = 0 S2 = 0
  FOR K = 1 TO NP
    B = LOG(1 + M * DI(K)) S1 = S1 + B ^ 2 S2 = S2 + B * LOG(ROA(K))
  NEXT K
  A1 = S2 / S1 F = 0
  FOR K = 1 TO NP
    ROF = 1 / (1 + M * DI(K)) ^ A1
    F = F + (ROA(K) - ROF) ^ 2
  NEXT K
END SUB

```



```

=====
                    CALCULO Y AJUSTE DEL SEMIVARIOGRAMA V Y VA
DECLARE SUB ERRORESTANDAR (VA0, YEO, PA, NP, SE2)
DECLARE SUB FUNCION1 (DI0, VA0, C, A1, NP, F)
DECLARE SUB FUNCION2 (DI0, VA0, C, A2, NP, F)
DECLARE SUB FUNCION3 (DI0, VA0, C, A3, NP, F)
VARIABLES DE ENTRADA
* NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO
* NA = No DE AÑOS DE REGISTRO MAXIMO
* PI(J) = PRECIPITACION (ESTACION = J, AÑO = I)
* NI(J) = No DE REGISTROS DISPONIBLES EN LA ESTACION J
* ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISION)
* CO(NE,2) = COORDENADAS (X,Y) DE LA ESTACION J (PARA NE ESTACIONES)
* DRNP = DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I Y 2 (NP=NE(NE-1)/2)
VARIABLES DE SALIDA
* ME(NE) = MEDIA DE LOS VALORES PARA LA ESTACION J
* DE(NE) = DESVIACION ESTANDAR PARA LA ESTACION J
* NC(NE) = NUMERO DE REGISTROS DISPONIBLES EN LAS ESTACIONES J
* V(NE,NE) = SEMIVARIOGRAMA
* VA(NP) = SEMIVARIOGRAMA DE AJUSTE
* NP = NUMERO DE PAREJAS DE ESTACIONES
* PA = NUMERO DE PARAMETROS DE LA FUNCION DE AJUSTE
ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT "INTERPOLACION ESPACIAL DE LLUVIAS"
PRINT "M E T O D O   K R I G I N G"
PRINT "CALCULO Y AJUSTE DEL SEMIVARIOGRAMA"
PRINT "NUMERO DE ESTACIONES ": INPUT "", NE
PRINT "NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ": INPUT "", NA
PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ": INPUT "", ARCHS
PRINT "DRIVE DE LECTURA ": INPUT "", DRIVS
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
NP = NE * (NE - 1) / 2
DIM P(NA, NE), ME(NE), DE(NE), NC(NP), V(NE, NE), VA(NP)
DIM Y(NP), CO(NE, 2), DRNP, NOES(NE), TAIF(NE), ARNE1, AF(NE)
LECTURA DE DATOS (REGISTROS Y COORDENADAS DE LAS ESTACIONES)
ARCHS = DRIVS + ":" + ARCHS + ".DAT" OPEN "1", #1, ARCHS
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, NOES(J) PRINT USING "@.", NOES(J)
  INPUT #1, TAIF(J) PRINT USING "####", TAIF(J)
  INPUT #1, AI(J) PRINT USING "####", AI(J)
  INPUT #1, AF(J) PRINT USING "####", AF(J)
  PRINT "INTENSIDAD DE PRECIPITACION, EN mm/h " PRINT "1,"
  FOR I = 1 TO TAIF(J)
    INPUT #1, PI, I) PRINT USING "###.##", PI, I)
  NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT "COORDENADAS DE LAS ESTACIONES CO(1,1) "
PRINT "ESTACION   X       Y "
PRINT "          (km)   (km)"
FOR J = 1 TO NE
  INPUT #1, CO(J, 1), CO(J, 2)
  PRINT " ", J, PRINT USING "####.##", CO(J, 1), CO(J, 2)
NEXT J CLOSE #1
CALCULO DE LA MEDIA
FOR J = 1 TO NE
  ME(J) = 0
  FOR I = 1 TO TAIF(J) ME(J) = ME(J) + PI, I) NEXT I

```

```

  ME(J) = ME(J) / TAIF(J)
NEXT J
CALCULO DE LA DESVIACION ESTANDAR
FOR J = 1 TO NE
  SI = 0
  FOR I = 1 TO TAIF(J) SI = SI + (PI, I) - ME(J) ^ 2 NEXT I
  DE(J) = (SI / (TAIF(J) - 1)) ^ .5
NEXT J
IMPRESION DE RESULTADOS
ARCHS = DRIVS + ":" + ARCHS + ".EST" OPEN "A", #3, ARCHS
CALCULO DEL SEMIVARIOGRAMA
PRINT #3, "" PRINT #3, " SEMIVARIOGRAMA V(I,J)" PRINT #3, ""
PRINT "PRINT " SEMIVARIOGRAMA V(I,J)"
FOR I = 1 TO NE
  FOR J = 1 TO NE
    I1 = 0 I2 = 0
    IF AI(I) <= AI(J) THEN
      NI = AI(I) I1 = AI(J) - AI(I)
    ELSEIF AI(I) > AI(J) THEN
      NI = AI(J) I2 = AI(I) - AI(J)
    END IF
    IF AF(I) <= AF(J) THEN
      NF = AF(I)
    ELSEIF AF(I) > AF(J) THEN
      NF = AF(J)
    END IF
    NT = NF - NI + 1
    IF NT > 2 THEN
      SX = 0 SY = 0 MX = 0 MY = 0 SI = 0
      FOR T = 1 TO NT SX = SX + PI + I1, T) SY = SY + PI + I2, T) NEXT T
      MX = SX / NT MY = SY / NT
      FOR T = 1 TO NT S1 = S1 + ((PI + I1, T) - MX) * (PI + I2, T) - MY) ^ 2 NEXT T
      V(I, J) = S1 / (2 * NT)
    END IF
    PRINT USING "###.###", V(I, J), PRINT #3, USING "###.###", V(I, J)
  NEXT J PRINT "" PRINT #3, ""
NEXT I
PRINT #3, "" PRINT " VALORES DE V(I,J) PARA EL AJUSTE"
DETERMINACION DE VALORES V(I,J) PARA EL AJUSTE Y
CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I,J
PRINT "ESTACION 1 ESTACION 2 DISTANCIA D(IJ) VA(K)"
PRINT #3, " EST 1 EST 2 DIST D(IJ) VA(K)"
NI = 2 KI = 3 K = 1 J = 1
DO
  FOR I = NI TO NE
    IF ABS(V(I, J)) > 1 THEN
      X1 = CO(I, 1) Y1 = CO(I, 2) X2 = CO(J, 1) Y2 = CO(J, 2)
      DI(K) = SQR((X2 - X1) ^ 2 + (Y2 - Y1) ^ 2) VA(K) = ABS(V(I, J))
      PRINT KI, I, J, PRINT DI(K), SPC(3),
      PRINT USING "###.##", VA(K)
      PRINT #3, KI, I, J, PRINT #3, USING "###.##", DI(K), SPC(3),
      PRINT #3, USING "###.##", VA(K)
      KI = KI + 1
    ELSEIF ABS(V(I, J)) <= 1 THEN
      PRINT ""
    END IF
    K = K + 1
  NEXT I

```

```

NEXT I
N1 = N1 + 1 J = J + 1
LOOP WHILE K <= NP: NP = K + 1

'AJUSTE DEL SEMIVARIÓGRAMA VA(K)
'PRIMER MODELO : " LINEAL " : V(d) = A * d
S1 = 0 S2 = 0
FOR K = 1 TO NP: S1 = S1 + DK(K)^2 S2 = S2 + VA(K)*DK(K) NEXT K
A = S2 / S1 FOR K = 1 TO NP: YE(K) = A * DK(K) NEXT K PA = 1
'CALCULO DEL ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = sigma(Yi - Ye) / (n - 1)
CALL ERRORESTANDAR(VA(), YE(), PA, NP, SE2)
PRINT " MODELO LINEAL " : PRINT USING "V(d) = #### #### d", A
PRINT " ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT USING "#####.###": SE2
PRINT #3, "MODELO LINEAL " : PRINT #3, USING "Y(d)=#### #####", A
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT #3, USING "#####.###", SE2: BEEP
'MODELO MONOMICO: V(d) = A1 * d ^ B1 ; 0 < B < 2
S1 = 0 S2 = 0 S3 = 0 S4 = 0
FOR K = 1 TO NP
S1 = S1 + LOG(VA(K)) S2 = S2 + LOG(DK(K))
S3 = S3 + LOG(DK(K)) * LOG(VA(K)) S4 = S4 + (LOG(DK(K))) ^ 2
NEXT K
B1 = (S2*S1 - NP*S3) / (S2^2 - NP*S4) A1 = EXP(S1 - B1 * S2) / NP
FOR K = 1 TO NP: YE(K) = A1 * DK(K) ^ B1 NEXT K PA = 2
CALL ERRORESTANDAR(VA(), YE(), PA, NP, SE2)
PRINT " MODELO MONOMICO " :
PRINT "V(d) = ", A1, " d ^ (", B1, " ) ; 0 < B1 < 2"
PRINT " ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT USING "#####.###", SE2
PRINT #3, "MODELO MONOMICO " :
PRINT #3, "V(d) = ", A1, " d ^ (", B1, " ) ; 0 < B1 < 2"
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT #3, USING "#####.###", SE2: BEEP

'MODELO EXPONENCIAL: V(d) = A2 * (1 - EXP(-C * d)) ; C > 0
C0 = 0 S = .05 CF = INT(LOG(1 + 50 / S) / LOG(2)) + 10
DO
FOR L = 1 TO 2
C1 = C0 + S * 2 ^ (L - 1)
CALL FUNCION1(DI(), VA(), C1, A1, NP, F1)
C2 = C1 + S * 2 ^ (L)
CALL FUNCION1(DI(), VA(), C2, A1, NP, F2)
C3 = C2 + S * 2 ^ (L + 1)
CALL FUNCION1(DI(), VA(), C3, A1, NP, F3)
IF F1 < F3 AND F2 <= F1 AND F2 <= F3 THEN
C0 = C1 EXIT FOR
ELSEIF F2 <= F3 AND F2 >= F1 AND F1 < F3 THEN
C0 = C0 EXIT FOR
ELSEIF F2 <= F1 AND F2 >= F3 AND F1 > F3 THEN
C0 = C1
END IF
END IF
NEXT L
S = S / 2
LOOP WHILE ABS(F1 - F2) > .0001 OR ABS(F2 - F3) > .0001
FOR K = 1 TO NP: YE(K) = A1 * (1 - EXP(-C2 * DK(K))) NEXT K PA = 2
CALL ERRORESTANDAR(VA(), YE(), PA, NP, SE2)

```

```

PRINT " MODELO EXPONENCIAL " : PRINT "V(d) = ", A1, "(1 - EXP(-C1 * d))"
PRINT " ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT USING "#####.###", SE2: BEEP: BEEP
PRINT #3, "MODELO EXPONENCIAL " :
PRINT #3, "V(d) = ", A1, "(1 - EXP(-C1 * d))"
PRINT #3, "ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT #3, USING "#####.###", SE2

```

```

'MODELO GAUSSIANO: V(d) = A2 * (1 - EXP(-C2 * d^2))
C0 = 0 S = .5 CF = INT(LOG(1 + 50 / S) / LOG(2)) + 10
DO

```

```

FOR L = 1 TO 6
C1 = C0 + S * 2 ^ (L - 1)
CALL FUNCION2(DI(), VA(), C1, A2, NP, F1)
C2 = C1 + S * 2 ^ (L)
CALL FUNCION2(DI(), VA(), C2, A2, NP, F2)
C3 = C2 + S * 2 ^ (L + 1)
CALL FUNCION2(DI(), VA(), C3, A2, NP, F3)
IF (F1 < F3) AND (F2 <= F1) AND (F2 <= F3) THEN
C0 = C0 EXIT FOR
ELSEIF F2 < F3 AND F2 > F1 AND F1 < F3 THEN
C0 = C0 EXIT FOR
ELSEIF F2 < F1 AND F2 > F3 AND F1 > F3 THEN
C0 = C2
END IF
END IF

```

```

NEXT L
S = S / 1.5
LOOP WHILE ABS(F1 - F2) > .001 OR ABS(F2 - F3) > .001
FOR K = 1 TO NP: YE(K) = A2 * (1 - EXP(-C2 * DK(K) ^ 2)) NEXT K PA = 2
CALL ERRORESTANDAR(VA(), YE(), PA, NP, SE2)
PRINT " MODELO GAUSSIANO " : PRINT "V(d) = ", A2, "(1 - EXP(-C2 * d^2))"
PRINT " ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION Se = " :
PRINT USING "#####.###", SE2: BEEP: BEEP: BEEP
END

```

```

SUB ERRORESTANDAR (VA(), YE(), PA, NP, SE2)
S1 = 0
FOR K = 1 TO NP: S1 = S1 + (VA(K) - YE(K)) ^ 2 NEXT K
SE2 = S1 / (NP - PA)
END SUB

```

```

SUB FUNCION1 (DI(), VA(), C, A1, NP, F)
S1 = 0 S2 = 0
FOR K = 1 TO NP: S1 = S1 + LOG(1 - EXP(-C * DK(K))) S2 = S2 + LOG(VA(K)) NEXT K
A1 = EXP(S2 - S1) / NP F = 0
FOR K = 1 TO NP: VAE = A1 * (1 - EXP(-C * DK(K))) F = F + (VA(K) - VAE)^2 NEXT K
END SUB

```

```

SUB FUNCION2 (DI(), VA(), C, A2, NP, F)
S1 = 0 S2 = 0
FOR K = 1 TO NP: S1 = S1 + LOG(1 - EXP(-C * DK(K)^2)) S2 = S2 + LOG(VA(K)) NEXT K
A2 = EXP(S2 - S1) / NP F = 0
FOR K = 1 TO NP: VAE = A2 * (1 - EXP(-C * DK(K)^2)) F = F + (VA(K) - VAE)^2 NEXT K
END SUB

```

---

DETERMINACION DE LA FUNCION

```

DE CORRELACION: ROA(i) Y
DEL SEMIVARIOGRAMA VA(i)
PRINT SPC(10), " INTERPOLACION ESPACIAL DE LLUVIAS"
PRINT SPC(10), " METODOS DE INTERPOLACION"
PRINT SPC(10), " OPTIMA Y KRIGING"
PRINT SPC(10), " CALCULO DE LA MATRIZ DE LA FUNCION DE CORRELACION"
PRINT SPC(10), " AJUSTES REALIZADOS EN PROGRAMA CORRESPA"
VARIABLES DE ENTRADA
NE = No DE ESTACIONES DE REGISTRO
NA = No MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO
PI(J) = PRECIPITACION (ESTACION=J, AÑO=I)
NI() = No DE REGISTROS DISPONIBLES EN LA ESTACION J
ARCH$ = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS (CON EXTENSION ".DAT" POR OMISION)
CO(NE,2) = COORDENADAS (X,Y) DE LA ESTACION J (PARA NE ESTACIONES)
DI(NP) = DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I Y 2 (NP=NE/NE 1/2)
VARIABLES DE SALIDA
NC(NE) = NUMERO DE REGISTROS DISPONIBLES EN LAS ESTACIONES J
ROA(NE,NE) = FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL
VA(NE,NE) = SEMIVARIOGRAMA
NP = NUMERO DE PAREJAS DE ESTACIONES
ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " NUMERO DE ESTACIONES ", INPUT "", NE
PRINT " NUMERO MAXIMO DE AÑOS DE REGISTRO ", INPUT "", NA
PRINT " NUMERO PUNTOS A INTERPOLAR ", INPUT "", NT
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCH$
PRINT " UNIDAD DE TRABAJO ", INPUT "", DRIV$
DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
NP = NE * (NE - 1) / 2
DIM P(NA, NE), RO(NE, NE), ROA(NP), VA(NE, NE), SV(NP), CO(NE, 2)
DIM DI(NP), DE(NT, NE), ROE(NT, NE), VAE(NT, NE), COE(NT, 2), PT(NT, NP)
DIM NOE$(NE), TAI$(NE), AIE$(NE), AFE$(NE)
LECTURA DE DATOS CONTENIENDO COORDENADAS DE LAS ESTACIONES
ARCHIS = DRIV$ + "\" + ARCH$ + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHIS
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, NOE$(J) PRINT USING "A", NOE$(J)
INPUT #1, TAI$(J) PRINT USING "###", TAI$(J)
INPUT #1, AIE$(J) PRINT USING "###", AIE$(J)
INPUT #1, AFE$(J) PRINT USING "###", AFE$(J)
PRINT " INTENSIDAD DE LA PRECIPITACION, EN mm/d ", PRINT " (J) "
FOR I = 1 TO TAI$(J)
INPUT #1, PI(I, J) PRINT USING "###", PI(I, J)
NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT ""
PRINT " COORDENADAS DE LAS ESTACIONES CO(J) "
PRINT " ESTACION X Y "
PRINT " (km) (km) "
FOR J = 1 TO NE
INPUT #1, CO(J, 1), CO(J, 2)
PRINT " (J), PRINT USING "###", CO(J, 1), CO(J, 2)
NEXT J
FOR J = 1 TO NT
INPUT #1, COE(J, 1), COE(J, 2)
NEXT J PRINT " CLOSE #1 ERASE NOE$, TAI$, AIE$, AFE$
CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE EL PAR DE ESTACIONES I,J
PRINT " ESTACION I ESTACION J DISTANCIA DI"
NI = 2 K = 1 J = 1
IX)

```

```

FOR I = NI TO NE
X1 = COE(I, 1) Y1 = COE(I, 2) X2 = COE(J, 1) Y2 = COE(J, 2)
DI(K) = SQR((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2)
PRINT I, J, PRINT USING "###", DI(K) K = K + 1
NEXT I
NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE K <= NP PRINT "" K = 1
DO
X1 = COE(K, 1) Y1 = COE(K, 2)
FOR J = 1 TO NE
X2 = COE(J, 1) Y2 = COE(J, 2) DI(K, J) = SQR((X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2)
PRINT USING "###", DI(K, J)
NEXT J K = K + 1
LOOP WHILE K <= NT PRINT ""
CALCULO DE FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL (DEPENDIENDO DEL TIPO DE ECUACION)
PRINT " MODELO DE LA FUNCION DE CORRELACION ESPACIAL," PRINT ""
PRINT " METODO DE INTERPOLACION OPTIMA"
PRINT "1) MODELO INVERSO LINEAL RO(i) = 1 / (1 + d / C)"
PRINT "2) MODELO INVERSO POTENCIAL RO(i) = 1 / (1 + d / C)^A"
PRINT "3) MODELO EXPONENCIAL RO(i) = EXP(-A * d)"
PRINT " ELIJA UNA OPCION ", INPUT "", OP
SELECT CASE OP
CASE 1 "MODELO INVERSO LINEAL RO(i) = 1 / (1 + d / C)"
PRINT " MODELO ", OP
PRINT " CONSTANTE C = ", INPUT "", C
FOR K = 1 TO NP ROA(K) = 1 / (1 + DI(K) / C) NEXT K
CASE 2 "MODELO INVERSO POTENCIAL RO(i) = 1 / (1 + d / C)^A"
PRINT " MODELO ", OP
PRINT " CONSTANTE C = ", INPUT "", C
PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT "", A
FOR K = 1 TO NP ROA(K) = 1 / (1 + DI(K) / C)^A NEXT K
CASE 3 "MODELO EXPONENCIAL RO(i) = EXP(-A * d)"
PRINT " MODELO ", OP
PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT "", A
FOR K = 1 TO NP ROA(K) = EXP(-A * DI(K)) NEXT K
END SELECT
ARCH2$ = DRIV$ + "\" + ARCH$ + ".ROA" OPEN "O", #2, ARCH2$
NI = 1 K = 1 J = 1
DO
FOR I = NI TO NE
IF I = J THEN
ROE(I, J) = 1
ELSEIF K <= NP THEN
ROE(I, J) = ROA(K) K = K + 1
END IF
NEXT I NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE J <= NE
NI = NI + 1 J = 1
DO
FOR J = NI TO NE
IF J = I THEN
ROE(I, J) = 1
ELSEIF K <= NP THEN
ROE(I, J) = ROA(K) K = K + 1
END IF
NEXT J NI = NI + 1 J = J + 1
LOOP WHILE J <= NE

```

```

PRINT " GRABANDO ARCHIVO DE MATRIZ DE CORRELACION "
FOR I = 1 TO NE
  FOR J = 1 TO NE
    PRINT #2, RO(I, J),
    IF I <> NE THEN
      PRINT #2, " ",
    END IF
    PRINT USING "### ###", RO(I, J),
  NEXT J PRINT #2, " " PRINT " "
NEXT I
"CALCULO DE LA CORRELACION ESPACIAL ENTRE LAS ESTACIONES j Y EL PUNTO e
SELECT CASE OP
CASE 1 "MODELO INVERSO LINEAL RO(d) = 1 / (1 + d / C)
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE ROE(K, J) = 1 / (1 + DE(K, J) / C) NEXT J
  NEXT K
CASE 2 "MODELO INVERSO POTENCIAL RO(d) = 1 / (1 + d / C) ^ A
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE ROE(K, J) = 1 / (1 + DE(K, J) / C) ^ A NEXT J
  NEXT K
CASE 3 "MODELO EXPONENCIAL RO(d) = EXP - A d)
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE ROE(K, J) = EXP - A * DE(K, J) NEXT J
  NEXT K
END SELECT
FOR K = 1 TO NT
  FOR J = 1 TO NE
    PRINT #2, ROE(K, J),
    IF J <> NE THEN
      PRINT #2, " ",
    END IF
    PRINT USING "### ###", ROE(K, J),
  NEXT J PRINT " " PRINT #2, " "
NEXT K CLOSE #2

```

```

"CALCULO DEL SEMIVARIOGRAMA (DEPENDIENDO DE LA ECUACION SELECCIONADA)
PRINT " MODELO DEL SEMIVARIOGRAMA" PRINT " "
PRINT " METODO KRIGING"
PRINT "1) MODELO LINEAL VA(d) = A d"
PRINT "2) MODELO MONOMICO VA(d) = A d ^ B"
PRINT "3) MODELO EXPONENCIAL VA(d) = A [1 - EXP - C d)]"
PRINT "4) MODELO GAUSSIANO VA(d) = A [1 - EXP - C d^2)]"
PRINT "5) MODELO ESFERICO VA(d) = 0.5A [3 d / C - (d / C)^3]"
PRINT " ELIJA UNA OPCION ", INPUT " ", OP
SELECT CASE OP
CASE 1 "MODELO LINEAL VA(d) = A d"
  PRINT " MODELO ", OP
  PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT " ", A
  FOR K = 1 TO NP SVA(K) = A * DK(K) NEXT K
CASE 2 "MODELO MONOMICO VA(d) = A d ^ B"
  PRINT " MODELO ", OP
  PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT " ", A
  PRINT " CONSTANTE B = ", INPUT " ", B
  FOR K = 1 TO NP SVA(K) = A * (DK(K)) ^ B NEXT K
CASE 3 "MODELO EXPONENCIAL VA(d) = A [1 - EXP - C d)]"
  PRINT " MODELO ", OP
  PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT " ", A

```

```

PRINT " CONSTANTE C = ", INPUT " ", C
FOR K = 1 TO NP SVA(K) = A * (1 - EXP - C * DK(K)) NEXT K
CASE 4 "MODELO GAUSSIANO VA(d) = A [1 - EXP - C d^2)]"
  PRINT " MODELO ", OP
  PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT " ", A
  PRINT " CONSTANTE C = ", INPUT " ", C
  FOR K = 1 TO NP SVA(K) = A * (1 - EXP - C * DK(K) ^ 2) NEXT K
CASE 5 "MODELO ESFERICO VA(d) = 0.5A [3 d / C - (d / C)^3]"
  PRINT " MODELO ", OP
  PRINT " CONSTANTE A = ", INPUT " ", A
  PRINT " CONSTANTE C = ", INPUT " ", C
  FOR K = 1 TO NP SVA(K) = 5 * A * (3 * DK(K) / C - (DK(K) / C) ^ 3) NEXT K
END SELECT
ARCH35 = DRIVE + " " + ARCH5 + " SVA" OPEN "O", #3, ARCH35 NI = 1 K = 1 J = 1
DO
  FOR I = NI TO NE
    IF I = J THEN
      VA(I, J) = 0
    ELSEIF K <= NP THEN
      VA(I, J) = SVA(K) K = K + 1
    END IF
    NEXT I NI = NI + 1 J = J + 1
  LOOP WHILE (J <= NE) NI = 1 K = 1 I = 1
DO
  FOR J = NI TO NE
    IF J = I THEN
      VA(I, J) = 0
    ELSEIF K <= NP THEN
      VA(I, J) = SVA(K) K = K + 1
    END IF
    NEXT J NI = NI + 1 I = I + 1
  LOOP WHILE (I <= NE)
PRINT " GRABANDO ARCHIVO MATRIZ DEL SEMIVARIOGRAMA "
FOR I = 1 TO NE
  FOR J = 1 TO NE
    PRINT #3, VA(I, J),
    IF J <> NE THEN
      PRINT #3, " ",
    END IF
    PRINT USING "### ###", VA(I, J),
  NEXT J PRINT #3, " " PRINT " "
NEXT I
"CALCULO DEL SEMIVARIOGRAMA ENTRE LAS ESTACIONES j Y EL PUNTO e
SELECT CASE OP
CASE 1 "MODELO LINEAL VA(d) = A d"
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE VAE(K, J) = A * DE(K, J) NEXT J
  NEXT K
CASE 2 "MODELO MONOMICO VA(d) = A d ^ B"
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE VAE(K, J) = A * (DE(K, J)) ^ B NEXT J
  NEXT K
CASE 3 "MODELO EXPONENCIAL VA(d) = A [1 - EXP - C d)]"
  FOR K = 1 TO NT
    FOR J = 1 TO NE VAE(K, J) = A * (1 - EXP - C * DE(K, J)) NEXT J
  NEXT K
CASE 4 "MODELO GAUSSIANO VA(d) = A [1 - EXP - C d^2)]"
  FOR K = 1 TO NT

```

```

FOR J = 1 TO NE VAE(K, J) = A * (1 - EXP(C * DE(K, J) ^ 2)) NEXT J
NEXT K
CASE 5 'MODELO ESFERICO VAE(0) = 0.5A [3d / C (d + C)^3]
FOR K = 1 TO NT
FOR J = 1 TO NE
VAE(K, J) = 5 * A * (3 * DE(K, J) / C (DE(K, J) / C) ^ 3)
NEXT J
NEXT K
END SELECT
FOR K = 1 TO NT
FOR J = 1 TO NE
PRINT #3, VAE(K, J),
IF J <> NE THEN
PRINT #3, " ",
END IF PRINT USING "####.###", VAE(K, J),
NEXT J PRINT " " PRINT #3, " "
NEXT K CLOSE #3
END

```

**FORMATO DEL ARCHIVO DE DATOS PARA LAS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN  
DATOS DEL EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS**

```

'estación, n° años de registro, año inicio, año final, registros
EST1 9,1961,1969,52,45,69,80,32,80,47,84,60
EST2 9,1961,1969,36,12,3,67,32,43,36,11,80
EST3 9,1961,1969,21,10,63,92,68,5,76,30,110
EST4 9,1961,1969,95,13,91,65,43,56,3,76,130
EST5 9,1961,1969,45,85,25,71,43,34,26,40,90

'coordenadas de cada estación (Xj, Yj)
2,10
4,8
8,10
8,6
2,4

'coordenadas del punto a interpolar (Xe, Ye)
4,6

'serie de valores de cada estación para enterpolar
60,80,110,130,90

```

**AJUSTE DE CURVAS I-D-T  
METODO DE CORRELACION MULTIPLE**

```

DECLARE SUB ERRORESTANDAR (P0, T0, D0, N, ND0, AK, AM, AN, C, M, EE)
DEFDBL A-Z:DEFINT I-M
'VARIABLES DE ENTRADA
ARCHS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
P0(j) = INTENSIDAD I EN LA ESTACION PARA UNA DURACION j EN EL AÑO i
N = No DE DURACIONES PARA EL REGISTRO DE LA ESTACION ANALIZADA
D0(j) = DURACION
ND0(j) = No DE REGISTROS PARA LA DURACION j
i = 1 HASTA ND0(j)
j = 1 HASTA N
'VARIABLES DE SALIDA
L, m y n = PARAMETROS DE AJUSTE
ENTRADA DE DATOS INICIALES

```

```

PRINT " AJUSTE DE CURVAS I-D-T"
PRINT " METODO DE CORRELACION MULTIPLE" PRINT
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS " INPUT " ", ARCHS
PRINT " UNIDAD DE LECTURA " INPUT " ", DRIVS
'LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHIS = DRIVS + " " + ARCHS + ".DAT" OPEN "I", #1, ARCHIS
'DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
PRINT "LEYENDO DATOS "
INPUT #1, NOMESE, N, NA
DIM P(NA, N), D(N), ND(N), T(NA, N)
FOR I = 1 TO N INPUT #1, D(I), D(I) = D(I) / I NEXT I
FOR I = 1 TO N INPUT #1, ND(I) NEXT I
FOR J = 1 TO N
FOR I = 1 TO ND(I) INPUT #1, P(I, J) NEXT I
NEXT J PRINT " "
M = 0 FOR J = 1 TO N M = M + ND(J) NEXT J
'CALCULO DEL PERIODO DE RETORNO
FOR J = 1 TO N
FOR I = 1 TO ND(J) T(I, J) = (ND(J) + I) / I NEXT I
NEXT J
'ORDENAMIENTO DE LOS DATOS (DE MAYOR A MENOR)
PRINT "ORDENANDO DATOS "
FOR J = 1 TO N
I = ND(J)
DO
CAMBIO = FALSE
FOR I = 1 TO (I - 1)
IF P(I, J) < P(I + 1, J) THEN
SWAP P(I, J), P(I + 1, J)
CAMBIO = 1
END IF
NEXT I
I = CAMBIO
LOOP WHILE CAMBIO
NEXT J
PRINT "CALCULANDO "
'TRANSFORMACION DE LAS VARIABLES
DIM Y(M), X1(M), X2(M)
C = 0 L = 1 SY = 0 SX1 = 0 SX2 = 0 SX12 = 0 SX22 = 0 SX1X2 = 0 SX1Y = 0 SX2Y = 0
FOR J = 1 TO N
FOR I = 1 TO ND(J)
Y(I) = LOG(P(I, J)) SY = SY + Y(I)
X1(I) = LOG(D(I)) SX1 = SX1 + X1(I)
X2(I) = LOG(D0) + C SX2 = SX2 + X2(I)
SX12 = SX12 + (X1(I)) ^ 2 SX22 = SX22 + (X2(I)) ^ 2
SX1X2 = SX1X2 + X1(I) * X2(I)
SX1Y = SX1Y + X1(I) * Y(I) SX2Y = SX2Y + X2(I) * Y(I)
I = I + 1
NEXT I
NEXT J
D1 = SX2Y SY * SX2 / M D2 = SX22 (SX2) ^ 2 / M D3 = SX1X2 SX1 * SX2 / M
F1 = SX1Y SY * SX1 / M F2 = SX1X2 SX1 * SX2 / M F3 = SX12 (SX1) ^ 2 / M
AA = (D1 D3) - D2 BB = (D1 * F2 - F1 * D2) / (D3 * F2 - D2 * F3)
CC = (SY AA * SX2 - BB * SX1) / M AK = EXP(CC) AM = BB AN = AA
CALL ERRORESTANDAR(P0, T0, D0, N, ND0, AK, AM, AN, C, M, EE)
'IMPRESION DE RESULTADOS
PRINT " DE TERMINACION DE LAS CURVAS I-D-T"

```

```

PRINT " METODO DE CORRELACION MULTIPLE" PRINT ""
PRINT " ECUACION TIPO "
PRINT " m"
PRINT " k T "
PRINT " I = ----- "
PRINT " n"
PRINT " (d + c)" PRINT
PRINT SPC(20) NOMESS PRINT ""
PRINT SPC(14), USING "k = #####", AK
PRINT SPC(14), USING "m = #####", AM
PRINT SPC(14), USING "n = #####", AN
PRINT SPC(14), USING "c = #####", C
PRINT
PRINT SPC(14), USING "EE = #####", EE
END

```

```

SUB ERRORESTANDAR (PO, TO, DO, N, NDO, AK, AM, AN, C, M, EE)

```

```

DIM PE(30, N)
S1 = 0: EE = 0
FOR J = 1 TO N
  FOR I = 1 TO ND(J)
    PE(I, J) = (AK * T(I, J)^AM) / (D(J) + C)^AN: S1 = S1 + (PE(I, J) - P(I, J))^2
  NEXT I
NEXT J: EE = S1 / (M - 3)
END SUB

```

=====

**AJUSTE DE CURVAS I-D-T**  
**METODO DE KOTHYARI Y GARDE**

```

CLS : CLEAR: DEFDBL A-Z: DEFINT I-N

```

```

"VARIABLES DE ENTRADA
ARCHIS = NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
P(i,j) = INTENSIDAD I EN LA ESTACION PARA UNA DURACION J EN EL AÑO i
P242 = PRECIPITACION CON d=24h Y T=2 años, PARA LA ESTACION
N = No DE DURACIONES PARA EL REGISTRO DE LA ESTACION ANALIZADA
D(j) = DURACION
ND(j) = No DE REGISTROS PARA LA DURACION j
i = 1 HASTA ND(j)
j = 1 HASTA N
"VARIABLES DE SALIDA
a0 = LOG k , LOG X3 = -LOG d , a1 = a , a2 = b , a3 = c

```

```

"ENTRADA DE DATOS INICIALES
PRINT " AJUSTE DE CURVAS I-D-T"
PRINT " METODO DE KOTHYARI Y GARDE" PRINT
PRINT " NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ", INPUT "", ARCHIS
PRINT " UNIDAD DE LECTURA ", INPUT "", DRIVS
"LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS
ARCHI5 = DRIVS + "\ " + ARCHIS + ".IDT.DAT" OPEN "I", #1, ARCHI5
ARCHI25 = DRIVS + "\ " + "FIN" + ".IDT.RES" OPEN "A", #2, ARCHI25
"DECLARACION Y DIMENSIONAMIENTO DE VARIABLES
PRINT "LEYENDO DATOS "
INPUT #1, NOMESS, N, NA
DIM PNA, N, (DN), (NRN), (TINA, N)
FOR J = 1 TO N INPUT #1, D(J) IX(J) = IX(J) / G(M) NLX(J)
FOR J = 1 TO N INPUT #1, ND(J) NEXT J
FOR J = 1 TO N
  FOR I = 1 TO ND(J) INPUT #1, P(I, J) NEXT I

```

```

NEXT J PRINT ""
INPUT #1, P242#: M = 0
FOR J = 1 TO N M = M + ND(J) NEXT J
"CALCULO DEL PERIODO DE RETORNO
FOR J = 1 TO N
  FOR I = 1 TO ND(J) T(I, J) = (ND(J) + 1) / I NEXT I
NEXT J
"ORDENAMIENTO DE LOS DATOS (DE MAYOR A MENOR)
PRINT "ORDENANDO DATOS "
FOR J = 1 TO N
  L = ND(J)
  DO
    ICAMBIO = FALSE
    FOR P(I, J) = P(I + 1, J) THEN
      SWAP P(I, J), P(I + 1, J)
      ICAMBIO = I
    END IF
  NEXT I
  L = ICAMBIO
  LOOP WHILE ICAMBIO
NEXT J
FOR J = 1 TO N
  FOR I = 1 TO ND(J) PRINT USING "#### #", P(I, J), NEXT I PRINT ""
NEXT J PRINT "CALCULANDO "
"TRANSFORMACION DE LAS VARIABLES
DIM Y(M), X1(M), X2(M), X3(M)
L = 1: SY = 0: SX1 = 0: SX2 = 0: SX3 = 0: SX12 = 0: SX22 = 0: SX13 = 0: SX1X2 = 0: SX1X3 = 0: SX2X3 = 0: SX1Y = 0: SX2Y = 0: SX3Y = 0
FOR J = 1 TO N
  FOR I = 1 TO ND(J)
    Y(I) = LOG(P(I, J)) SY = SY + Y(I)
    X1(I) = LOG(T(I, J)) SX1 = SX1 + X1(I)
    X2(I) = LOG(P242) SX2 = SX2 + X2(I)
    X3(I) = -LOG(D(I)) SX3 = SX3 + X3(I)
    SX12 = SX12 + X1(I)^2 SX22 = SX22 + X2(I)^2
    SX32 = SX32 + X3(I)^2
    SX1X2 = SX1X2 + X1(I) * X2(I)
    SX1X3 = SX1X3 + X1(I) * X3(I)
    SX2X3 = SX2X3 + X2(I) * X3(I)
    SX1Y = SX1Y + X1(I) * Y(I)
    SX2Y = SX2Y + X2(I) * Y(I)
    SX3Y = SX3Y + X3(I) * Y(I) L = L + 1
  NEXT I
NEXT J
CLS: NN = 4: MM = NN + 1: DIM A(NN, MM)
A(1, 1) = M: A(1, 2) = SX1: A(1, 3) = SX2: A(1, 4) = SX3: A(1, 5) = SY
A(2, 1) = SX1: A(2, 2) = SX12: A(2, 3) = SX1X2: A(2, 4) = SX1X3: A(2, 5) = SX1Y
A(3, 1) = SX2: A(3, 2) = SX1X2: A(3, 3) = SX22: A(3, 4) = SX2X3: A(3, 5) = SX2Y
A(4, 1) = SX3: A(4, 2) = SX1X3: A(4, 3) = SX2X3: A(4, 4) = SX32: A(4, 5) = SX3Y
FOR I = 1 TO NN
  FOR J = 1 TO MM PRINT USING "##### ###", A(I, J), NEXT J PRINT ""
NEXT I
FOR I = 1 TO NN
  PI = A(I, 1)
  FOR J = 1 TO MM A(I, J) = A(I, J) / PI NEXT J
  FOR K = 1 TO NN

```

```

IF K < > 1 THEN
  CO = A(K, I)
  FOR J = 1 TO MM A(K, J) = A(K, I) * CO * A(I, J) NEXT J
END IF
NEXT K
NEXT I
PRINT "MATRIZ IDENTIDAD DEL SISTEMA"
FOR I = 1 TO NN
  FOR J = 1 TO NN PRINT USING "#### ###", A(I, J); NEXT J PRINT ""
NEXT I
PRINT "SOLUCION DEL SISTEMA"
FOR I = 1 TO NN PRINT "X(", I, ") = ", A(I, MM) NEXT I
"IMPRESION DE RESULTADOS
DETERMINACION DE LAS CURVAS I-D-T"
PRINT "METODO DE KOTHYARI Y GARDE"; PRINT "" PRINT ""
PRINT " ECUACION TIPO:"
PRINT "
      a
      |
T    k T    r 2  b
| =  --- | P |
d    c    L 1440
PRINT "
      d
      |
PRINT SPC(20); NOMESS; PRINT ""
PRINT SPC(14); USING " k = #### ###", EXPA(A(1, MM))
PRINT SPC(14); USING " a = #### ###", A(2, MM)
PRINT SPC(14); USING " b = #### ###", A(3, MM)
PRINT SPC(14); USING " c = #### ###", A(4, MM) PRINT ""
PRINT #2, SPC(20); NOMESS; PRINT ""
PRINT #2, SPC(14); " k,a,b,c = ";
PRINT #2, SPC(14); USING "#### ###", EXPA(A(1, MM)), A(2, MM), A(3, MM), A(4, MM)
END

DEFDBL I,N
SUB ERRORESTANDAR (P0, T0, D0, N, ND0, AK, AM, AN, C, M, EE)
  DIM PE(30, N)
  S1 = 0 EE = 0
  FOR J = 1 TO N
    FOR I = 1 TO ND0
      PE(I, J) = (AK * T(I, J) * AM) / (D0) + C) * AN S1 = S1 + (PE(I, J) - P(I, J)) * 2
    NEXT I
  NEXT J
  EE = S1 / (M * 3)
END SUB

```