



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Recursos Hídricos y Ambiental

**Caracterización de eventos extremos de precipitación, empleando
distribuciones mezcladas
TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Noé Suárez Buenrostro

Dirigido por:

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

SINODALES

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López
Presidente



Firma

M. en I. Filiberto Luna Zúñiga
Secretario



Firma

Dr. Nabil Mobayed Khodr
Vocal



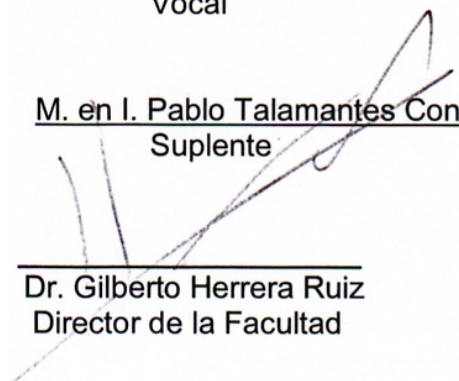
Firma

M. en I. Pablo Talamantes Contreras
Suplente

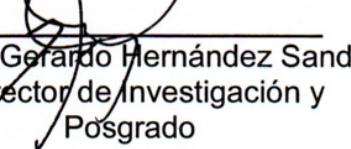


Firma

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado



Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Septiembre-2011
México

RESUMEN

En la mayoría de los análisis de frecuencia de variables hidrológicas se considera que los datos provienen de una sola población, y son tratadas como un caso univariado. En México, la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos se produce cada año, debido a que el clima es influenciado por la posición y fuerzas de grandes sistemas subtropicales de presión del norte del Atlántico y noreste del Océano Pacífico. Esta condición provoca que los fenómenos sean el resultado de factores causantes distintos; dando al análisis de frecuencias un carácter de distribuciones mezcladas. Para este tipo de combinaciones comúnmente es utilizada la distribución Gumbel Doble, sin embargo, es importante conocer otra metodología donde se combinen otras distribuciones. Si se considera que los datos de la variable aleatoria es una combinación de dos o más distribuciones univariadas de probabilidad, por ejemplo, lluvias máximas en 24 horas. La identificación de las observaciones pertenecientes a una u otra población se realiza con apoyo en un gráfico de precipitación respecto al periodo de retorno o simplemente se preestablece el valor de un parámetro p de asociación, que permite determinar el número de elementos pertenecientes a cada una de las poblaciones identificadas en estos fenómenos. La importancia de seleccionar adecuadamente este parámetro de asociación radica en el valor de los eventos de diseño que se estimen con una distribución univariada, como tradicionalmente se hace, o a través de distribuciones mezcladas que mejoran la estimación de los eventos asociados a periodos de retorno para el diseño de obras de aprovechamientos hidráulicos. El sitio de estudio seleccionado comprende los estados de Querétaro y Chiapas, que si bien el primero no es del todo vulnerable a eventos ciclónicos, es importante conocer si las series de tiempo se representan adecuadamente con la combinación de distribuciones.

(Palabras clave): análisis de frecuencias, distribución univariada, distribución mezclada.

SUMMARY

In most of the frequency analysis of hydrological variables is considered that the data come from a single population, and are treated as a univariate case. In Mexico, the occurrence of hydrometeorological phenomena is a constant every year, because the climate is influenced by the position and strength of subtropical high pressure systems in the north Atlantic and northeast Pacific Ocean. This condition causes the phenomena are the result of different causal factors, giving the character frequency analysis of mixed distributions. For this type of combination is commonly used double Gumbel distribution, however, it is important to know other methodology that combine other distributions. Considering the data of the random variable is a combination of two or more univariate probability distributions, for example, maximum rainfall in 24 hours. The identification of observations belonging to one population or another is done with support in a chart precipitation over the return period or simply preset the value of a parameter p of association, which determines the number of elements belonging to each of the populations identified in these phenomena. The importance of proper selection of this parameter partnership is the value of design events that are considered a univariate distribution, as is traditionally or through mixed distributions that improve the estimation of the events associated with return periods for design of water harvesting works. The selected study site includes the states of Queretaro and Chiapas, while the former is not entirely vulnerable to cyclonic events, it is important to know if the time series are represented adequately by the combination of distributions.

(Key words): frequency analysis, univariate distribution, distribution mixed.

DEDICATORIAS

A mis papás y mis hermanos que siempre están
a mi lado para apoyarme a cumplir con mis objetivos

A mi familia, por sus consejos para seguir con
mi educación

A mis amigos por su amistad

A cada una de las personas han formado parte de mi vida

A dios y la virgen de Guadalupe

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Alfonso Gutiérrez López, por su apoyo para realizar este trabajo, además de su amistad que siempre me ha brindado.

A mis sinodales: Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco, Dr. Nabil Mobayed Kodhr, M. en I. Filiberto Luna Zúñiga y M. en I. Pablo Talamantes Contreras, por las sugerencias realizadas para mejorar el trabajo realizado.

A los alumnos de licenciatura en ingeniería civil Calixto, Daniel y José Luis por su ayuda en mi tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo recibido durante la maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por permitirme continuar con mi formación académica.

A los profesores que contribuyeron para concluir esta etapa de mi formación académica.

A mis amigos y compañeros de la maestría que siempre me han apoyado.

Agradezco a Dios y a la virgen de Guadalupe por permitirme finalizar una etapa más en mi vida, sobre todo en compañía de mis seres queridos

Y un especial agradecimiento a mis papás y hermanos por su cariño.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	i
SUMMARY	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.	2
1.2 Justificación.	4
1.3 Descripción del problema e importancia del estudio.	5
1.4 Hipótesis y objetivos.	6
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS	7
2.1 Análisis de frecuencia en hidrología.	8
2.2 Funciones de distribución de probabilidad y metodologías más utilizadas en el análisis de frecuencias de variables hidrológicas.	10
2.2.1 Distribuciones univariadas	10
2.2.2 Distribuciones bivariadas.	12
2.2.3 Distribuciones trivariadas.	14
2.2.4 Distribuciones mixtas o mezcladas.	17
2.2.5 Regionalización.	18
2.3 Estimación de parámetros.	22

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS	26
3.1. Análisis de datos	26
3.2. Efectos de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas.	27
3.3. Análisis de frecuencias a partir de distribuciones de probabilidad univariadas.	29
3.3.1. Distribución Normal	30
3.3.2. Distribución Log- Normal	31
3.3.3. Distribución Exponencial	31
3.3.4. Distribución Gamma	32
3.3.5. Distribución Gumbel	33
3.4. Construcción de la función de distribución de probabilidad para poblaciones mezcladas.	34
3.4.1. Distribución Gumbel + Gumbel	37
3.5. Metodología propuesta seleccionando dos distribuciones univariadas diferentes	38
3.5.1. Ajuste de datos	38
3.5.1.1. Ordenamiento de los datos	38
3.5.1.2. Determinación de periodo de retorno	38
3.5.1.3. Valores de la variable reducida	39
3.5.1.4. Valor de probabilidad	40
3.5.1.5. Ajuste a función de distribución	40
3.5.2. Análisis y división de la muestra	44
3.5.2.1. División de muestra a partir del cero de variable reducida	45
3.5.2.2. División de muestra en dos de igual tamaño	47
3.6. Regionalización de parámetros	49
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO: QUERÉTARO	50
4.1. Ubicación geográfica y características climatológicas	50
4.2. Información disponible en estado de Querétaro	52
4.3. Resultados: Estado de Querétaro	55
4.3.1. Influencia de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas	55

4.3.2.	Ajuste en series de tiempo completa	58
4.3.3.	Ajuste a partir de variable reducida	62
4.3.4.	Ajuste en dos poblaciones de igual tamaño	67
CAPÍTULO 5. CASO DE ESTUDIO: CHIAPAS		74
5.1.	Ubicación geográfica y características climatológicas	74
5.2.	Información disponible en el estado de Chiapas	76
5.3.	Resultados: Estado de Chiapas	82
5.3.1.	Influencia de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas	82
5.3.2.	Ajuste en series de tiempo completa	92
5.3.3.	Ajuste a partir de variable reducida	100
5.3.4.	Ajuste en dos poblaciones de igual tamaño	108
5.4.	Traslape en distribuciones mezcladas	117
CAPÍTULO 6. REGIONALIZACIÓN DE PARÁMETROS		122
6.1.	Estado de Querétaro	123
6.2.	Resumen de regionalización, Querétaro	131
6.3.	Estado de Chiapas	133
6.4.	Resumen de regionalización, Chiapas	141
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		142
REFERENCIAS		146
ANEXOS		A-1
1.	Valores de precipitación asociados a huracanes, Querétaro.	A-1
2.	Parámetros de la función Gumbel Doble optimizada, Querétaro.	A-2
3.	Valores de precipitación asociados a huracanes, Querétaro.	A-3
4	Parámetros de la función Gumbel Doble optimizada, Chiapas.	A-9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.1	Presencia de dos poblaciones en la muestra	3
2.1	Ciclo Hidrológico	7
3.1	Registro de huracanes en Chiapas (a) y Querétaro (b) en la década de los 70's y 90's sucesivamente	29
3.2	Resumen de errores mínimos estándar de ajuste en AX	41
3.3	Ajuste automático a la función Gumbel Doble	42
3.4	Gráfica de variable reducida de estación El Doctor, Cadereyta	44
3.5	División de muestra a partir del cero de la variable reducida de Estación El Doctor, Cadereyta	45
3.6	División de muestra en dos poblaciones de la igual longitud de registro, El Doctor	47
4.1	Ubicación del estado de Querétaro dentro de la república mexicana	51
4.2	Tipos de clima del estado de Querétaro (INEGI, 2011)	52
4.3	Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Querétaro con registro de datos de precipitación mayor a 20 años	54
4.4	Precipitación mensual promedio en el estado de Querétaro	55
4.5	Error mínimo estándar de ajuste en la estación Vizarrón	59
4.6	División de muestra en dos poblaciones (variable reducida) en estación Jalpan. En color rojo se muestran los valores asociados a eventos ciclónicos	64
4.7	División de muestra en dos poblaciones de igual tamaño, estación Peñamiller. En color rojo se muestran los valores asociados a eventos ciclónicos	69
5.1	Ubicación del estado de Chiapas dentro de la república mexicana	75
5.2	Tipos de clima del estado de Chiapas (INEGI, 2011)	75
5.3	Estaciones climatológicas ubicadas en estado de Chipas con registro de datos mayor a 25 años	80
5.4	Precipitación mensual promedio en el estado de Chiapas	81

Figura	Página
5.5 Precipitación mínima, media y máxima de la República Mexicana para el período 1941-2009. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional	81
5.6 Huracanes que pasaron por el estado de Chiapas en la década de los 90's	82
5.7 Error mínimo estandar de ajuste de la estación 7001 (Abasolo)	93
5.8 Distribución Gumbel Doble optimizada de la estación 7001 (Abasolo)	98
5.9 Error mínimo estándar de ajustes (a) y valores ajustados a distribución con menor SEF en la población 2 de la estación 7001 (Abasolo)	100
5.10 Gráfica de variable reducida, estación 7001(Abasolo)	102
5.11 Error mínimo estándar de ajuste (a) y valores ajustados a distribución con menor SEF en la población 2 de la estación 7058 (El Perú)	108
5.12 Gráfica de dos poblaciones de igual tamaño, estación 7058(EL Perú)	110
5.13 Traslape de precipitación Hpt en estación Bochil	117
5.14 Tendencia lineal de datos traslapados (línea continua), estación Bochil	119
5.15 Ajuste de datos en zona de traslape, estación Bochil.	121
6.1 Mapa de Isolíneas del parámetro α_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro	123
6.2 Mapa de Isolíneas del parámetro β_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro	124
6.3 Mapa de Isolíneas del parámetro α_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro	125
6.4 Mapa de Isolíneas del parámetro β_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro	126
6.5 Mapa de Isolíneas del parámetro p obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro	127

Figura	Página
6.6 Comparación del Parámetro α_1 (a), Parámetro α_2 (b) y tipos de clima (c) en el estado de Querétaro	128
6.7 Comparación del Parámetro β_1 (a), parámetro β_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Querétaro	129
6.8 Comparación del Parámetro p (a), topografía (b) y tipos de clima (c) en el estado de Querétaro	130
6.9 Mapa de Isolíneas del parámetro α_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas	133
6.10 Mapa de Isolíneas del parámetro β_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas	134
6.11 Mapa de Isolíneas del parámetro α_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas	135
6.12 Mapa de Isolíneas del parámetro β_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas	136
6.13 Mapa de Isolíneas del parámetro p obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas	137
6.14 Comparación del Parámetro α_1 (a), parámetro α_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Chiapas	138
6.15 Comparación del Parámetro β_1 (a), parámetro β_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Chiapas	139
6.16 Comparación del Parámetro p parámetro topografía (b) y tipos de clima (c) en el estado de Chiapas	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Ajuste a función de distribución, estación El Doctor, Cadereyta.	43
3.2	División de muestra a partir del cero de la variable reducida en estación El Doctor, Cadereyta	46
3.3	Sumatoria de errores mínimos cuadráticos en estación El Doctor, Cadereyta	47
3.4	División de muestra en dos poblaciones de igual tamaño en estación El Doctor, Cadereyta	48
3.5	Sumatoria de EMC en estación El Doctor, Cadereyta (dos poblaciones de igual tamaño).	49
4.1	Estaciones climatológicas ubicadas dentro del estado de Querétaro.	53
4.2	Precipitación mensual promedio en el estado de Querétaro.	54
4.3	Registros de precipitación asociados a eventos ciclónicos	56
4.4	Registro de precipitación máxima anual, estación Vizarrón	58
4.5	Error mínimo estándar de ajuste, $p=0.8$ en la función Gumbel Doble.	59
4.6	Error mínimo estándar de ajuste a partir de optimización de parámetro p , Querétaro.	61
4.7	Número de distribuciones obtenidas utilizando un parámetro $p=0.8$ y optimizado en la función Gumbel Doble.	62
4.8	División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7 (Jalpan)	62
4.9	Comparación de error al considerar una o dos poblaciones (variable reducida), estación Jalpan.	64
4.10	Error obtenido a partir de función completa vs dos poblaciones (Variable reducida) en estado de Querétaro	66
4.11	Funciones de distribución representativas al dividir la muestra a partir de la variable reducida, Querétaro.	67
4.12	División de muestra a partir de dos poblaciones de igual tamaño en estación 10 (Peñamiller).	68
4.13	Comparación de error al considerar una o dos poblaciones de igual tamaño, estación Peñamiller	69
4.14	Error obtenido a partir de función completa vs dos poblaciones de igual tamaño en estado de Querétaro.	71

Tabla	Página
4.15 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra en dos de igual tamaño.	72
4.16 Valores obtenidos con distribución Log Pearson III y Gumbel Doble, Querétaro	73
5.1 Estaciones climatológicas con registro mayor a 25 años, Chiapas.	76
5.2 Precipitación mensual promedio en el estado de Chiapas	81
5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas	83
5.4 Registro de precipitación máxima anual de la estación 7001 (Abasolo).	92
5.5 Error mínimo cuadrático en estaciones de Chiapas, parámetro $p=0.8$	94
5.6 Error mínimo estandarizado de ajuste (SEF), parámetro p optimizado	99
5.7 Funciones de distribución que presentan un mejor ajuste, cuando se considera un valor optimizado en la distribución Gumbel Doble.	99
5.8 División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7001 (Abasolo)	101
5.9 Sumatoria de errores de estación 7001(Abasolo).	102
5.10 Comparación de error al considerar una o varias poblaciones (variable reducida, estación 7001 (Abasolo)	103
5.11 Funciones de distribución representativas al dividir a partir del cero de la variable reducida, Chiapas.	107
5.12 Registro de precipitación máxima anual, estación 7058 (El Perú)	108
5.13 División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7058 (El Perú).	109
5.14 Comparación de error al considerar una o dos poblaciones de igual tamaño, estación 7058 (El Perú)	110
5.15 Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P "50%-50%", Chiapas	111
5.16 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra en dos poblaciones de igual tamaño	115
5.17 Valores obtenidos con distribución Log-Pearson III y Gumbel Doble, Chiapas	116
5.18 Obtención de precipitación Pt en datos traslapados, estación Bochil	121

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El problema del agua se plantea por los organismos internacionales como uno de los más relevantes para el presente siglo. Así como el agua es indispensable para el desarrollo y la calidad de vida, su utilización y manejo tienen gran incidencia en los aspectos ambientales. Un problema muy importante en la vida de las sociedades son los desastres debidos a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación (Lopardo *et al*, 2003). Debido a que el régimen de lluvias característico de cada zona o región puede presentar valores extremos, tanto de exceso como en déficit, se producen fenómenos naturales de crecidas y estiajes de los recursos de agua, que a la vez da origen a situaciones de inundaciones y sequías (Esparza, 2005).

Cada año estas inundaciones y sequías causan daños en propiedades y cobran vidas en muchas partes del mundo, además de generar costos económicos muy altos. En la parte superior de los costos están: la pérdida de vidas, lesiones, molestias y algunos costos indirectos. Es por esto, que surge el interés en comprender y describir la naturaleza aleatoria de los fenómenos hidrológicos. Estos fenómenos son de tipo estocástico o mixtos (Estocástico y determinístico a la vez); lo que limita la aplicación de métodos basados en leyes físicas para su modelado pues arroja n resultados poco confiables o demasiado complicados para su aplicación.

El medio más obvio para reducir los daños causados por las inundaciones y sequías es la alerta en un tiempo específico. La alerta de inundaciones permite a las personas evacuar un área en peligro. Si el tiempo es suficiente, las posesiones vulnerables pueden ser movidas de la zona peligrosa y ser protegidas, ya sea con sacos de arena u otras medidas que minimicen los daños en las propiedades (Kite, 1988). Un segundo medio para reducir daños, es la planificación avanzada a partir de la probabilidad de eventos. Por ejemplo, la zonificación pluvial basada en la probabilidad de que el río o lago lleguen a tener ciertos niveles asegurando que desarrollos habitacionales e industriales no estén localizados en áreas de alto riesgo. El análisis de frecuencias es una de las técnicas aplicadas en la hidrología para tratar y

estimar la probabilidad asociada con eventos de diseño. Si bien, esta técnica de análisis a recibido diversas críticas por los supuestos considerados, es importante mencionar que es uno de los pocos métodos disponibles y es sin duda mejor que otros de tipo no probabilístico (Kite, 1988).

1.1 Antecedentes.

Un problema común en hidrología y los recursos del agua es la estimación de la precipitación debido a la falta de datos para eventos de poca ocurrencia. Además, en la mayoría de los análisis de frecuencias se considera que los datos provienen de una sola población. Por ejemplo, en Latinoamérica, la función de distribución de Gumbel ha sido ampliamente utilizada (Heo *et al.*, 2001a,2001b). Sin embargo, es muy frecuente encontrar que los fenómenos son el resultado de factores causantes distintos. Este hecho fue reconocido por Hazen (1930) quien planteó la existencia de poblaciones mezcladas en las muestras de datos. En estos casos, se dice que la distribución de la variable aleatoria es una combinación de dos o más distribuciones básicas (Varas y Lara, 1998) y que, además, los picos máximos de las tormentas se encuentran mutuamente correlacionados con la cantidad de tormentas correspondientes (Yue, 2000). Por lo que su análisis ha requerido el desarrollo de la teoría estadística, en la aplicación para valores extremos en el diseño de recursos del agua y su manejo (W. *et al.*, 2002).

La presencia de poblaciones mezcladas puede producirse principalmente en sitios donde sea factible tener eventos de naturaleza distinta; por lo tanto, los patrones y magnitud de precipitación cambian constantemente. En particular, fenómenos meteorológicos como inundaciones, sequías y lluvias se incrementarán tanto en frecuencia como en magnitud (Yang *et al.*, 2010). En el caso de la presencia de precipitación extrema con una larga extensión del evento puede provocar inundaciones o en caso contrario sequías, por lo que se esperará gran presión en los recursos del agua (Yang *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2008^a). Por ejemplo, los escurrimientos pueden ser generados por lluvias, deshielos o en el caso de los países sujetos a la influencia de

ciclones tropicales, por tormentas convectivas de la temporada normal de lluvias, sistemas frontales, o bien, por huracanes, tormentas o depresiones tropicales. Claramente estos tipos de escurrimientos obedecen a factores hidrometeorológicos distintos (Haan, 1985). En México, la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos es una constante cada año (Gutiérrez y Ramírez, 2005), debido a que el clima es influenciado por la posición y fuerzas de grandes sistemas subtropicales de presión del norte del Atlántico y noreste del Océano Pacífico (Mendoza *et al.*, 2007).

En la práctica común, para una muestra real de una variable aleatoria. Por ejemplo, gastos máximos anuales o lluvias máximas en 24 horas, la identificación de los valores pertenecientes a una u otra población se realiza con apoyo en un gráfico del tipo de la **Figura 1.1**, o simplemente, se preestablece el valor de p . En el mejor de los casos, el parámetro p es considerado dentro del proceso de ajuste de la función de distribución. En la actualidad, con el conocimiento y seguimiento de los sistemas ciclónicos tales como depresiones, tormentas tropicales y huracanes, es discutible la pertenencia de un evento de escurrimiento a una de las dos poblaciones definidas previamente. Con esto, parece razonable pensar que la determinación del parámetro p puede realizarse con una base física.

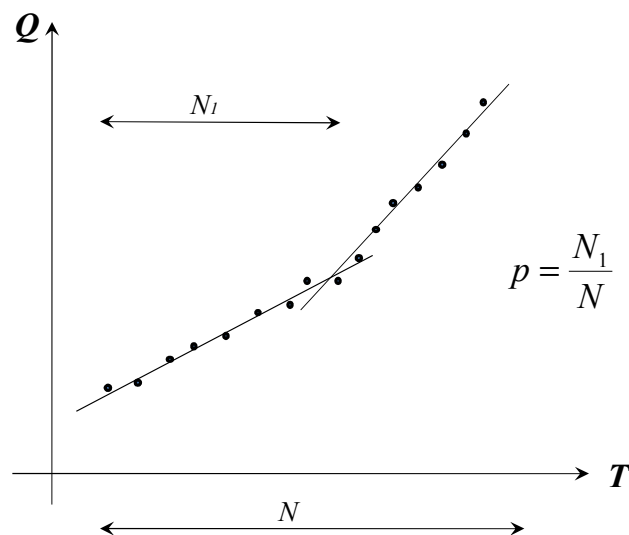


Figura 1.1 Presencia de dos poblaciones en la muestra.

1.2 Justificación

Es evidente que en los últimos años en México ha existido un incremento en frecuencia y en magnitud de los eventos extremos, debido principalmente a huracanes, afectando significativamente muchas áreas del país. Por ejemplo, los estados de Chiapas y Tabasco que están ubicados en las costas, resultan afectados significativamente por este tipo de fenómenos. Debido a esto, es importante realizar un estudio del comportamiento e influencia que tienen los huracanes en las precipitaciones máximas en diferentes regiones como los estados de Chiapas y Querétaro, contrastando la influencia que tienen este tipo de fenómenos en sitios directamente afectados por su ubicación, o bien, ubicados en zonas como centro del país. En este estudio, el parámetro de segregación p de la muestra será estimado con un proceso de optimización. Además, se relacionará con huracanes directamente incidentes en la zona. También, se pretende obtener relaciones físicas entre el parámetro p y las características fisiográficas de las cuencas hidrológicas asociadas. El ajuste de los parámetros de las distribuciones se realizará con las formulaciones convencionales de momentos y máxima verosimilitud.

Estudios antecedentes indican que el valor de p asociado a gastos oscila, por ejemplo, para zonas como Tabasco entre 0.889 y 0.873, mientras que en Chiapas los eventos ciclónicos caracterizan el valor de p entre 0.869 y 0.880.

Si bien, la variación de estos valores no parece significativa, cabe recordar que la selección del tipo de distribución y valor de p , son directamente proporcionales al caudal estimado para el diseño de obras hidráulicas tan importantes como presas o bordos de protección. Con el fin de comparar el desempeño de las diversas funciones propuestas, se tomaron como ejemplo, estaciones de la costa de Chiapas y en el estado de Querétaro.

1.3 Descripción del problema e importancia del estudio.

México es uno de los países que se encuentra en la actualidad estudiando los fenómenos extremos como huracanes y sequías. Las pérdidas anuales por inundación en nuestro país ascienden a miles de millones de dólares cada año. Principalmente los estados del sureste son los más vulnerables y cada año se registran graves pérdidas materiales y desgraciadamente también de vidas humanas. En particular los estados de Chiapas y Tabasco que están ubicados justamente en las inmediaciones del Istmo de Tehuantepec, tienen una gran influencia de fenómenos meteorológicos de origen ciclónico en ambas vertientes, aunque predominantemente del Atlántico y Golfo de México. La zona está enmarcada en las regiones hidrológicas 23 “Costa de Chiapas” y 30 “Grijalva – Usumacinta”. Los escurrimientos son medidos en diversos puntos a través de 24 estaciones hidrométricas, siete en la región 23 y 17 en la región 30. Diez de ellas se encuentran en Tabasco y las 14 restantes en Chiapas.

Con relación a los eventos ciclónicos se pueden reconocer algunos huracanes cuyo efecto han sido devastadores. Por ejemplo, Greta en 1970, Brenda en 1973, Fifi en 1974, Debby en 1988, Mitch en 1998 y Stan (sobre todo en la costa de Chiapas) en 2005 fueron productores de abundantes precipitaciones y gastos máximos históricamente registrados. Por otro lado, es también notorio el hecho de que, de acuerdo con la segregación observada de eventos, no son necesariamente los valores más grandes de la muestra los que se asocian con la población ciclónica, como comúnmente se asume. Esto evidencia la importancia de estudiar este tipo de poblaciones estadísticamente con una mezcla de poblaciones, dando como resultado una zona más amplia de transición entre los eventos no ciclónicos y los ciclónicos.

El estudio de las precipitaciones máximas en una región como la costa de Chiapas, permitirá validar la metodología para aplicar a estados como Querétaro, que si bien no son del todo vulnerables a eventos ciclónicos, servirán este tipo de análisis para proponer alternativas y actividades relacionadas con la protección civil de la población.

1.4 Hipótesis y objetivos

Hipótesis general.

Una serie de tiempo de eventos hidrometeorológicos extremos que proviene de dos muestras (fenómenos) estadísticamente independientes, puede ser modelada utilizando distribuciones mezcladas.

Objetivo general.

Desarrollar una metodología para analizar series de datos que provienen de eventos hidrometeorológicos extremos, utilizando una suma de distribuciones univariadas, asociadas a través de un parámetro p conocidas como distribuciones mezcladas.

Objetivos particulares.

- i. Analizar las series de tiempo de los eventos hidrológicos extremos ocurridos en la costa de Chiapas y en el estado de Querétaro.
- ii. Proponer relaciones físicas entre los valores de los parámetros de las distribuciones mezcladas y las principales características fisiográficas de una cuenca.
- iii. Presentar el análisis de sensibilidad para la estimación del parámetro de asociación p , para las diversas distribuciones mezcladas utilizadas.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

La hidrología es la ciencia mediante la cual el hombre trata de establecer las propiedades y la distribución del agua (Kite, 1988). Un concepto muy importante dentro de la hidrología es el ciclo hidrológico (**Figura 2.1**), que es un término descriptivo aplicado a la circulación general del agua. Este ciclo comprende desde la evaporación del agua de los océanos debido a la radiación solar, el transporte de este vapor por las masas de aire en movimiento, la formación de nubes hasta la ocurrencia de precipitación y escurrimiento. De igual forma, estudia la retención en la superficie del agua precipitada del escurrimiento, ya sea sobre la superficie o bajo ésta por la que penetra en el suelo (Aparicio, 2003).

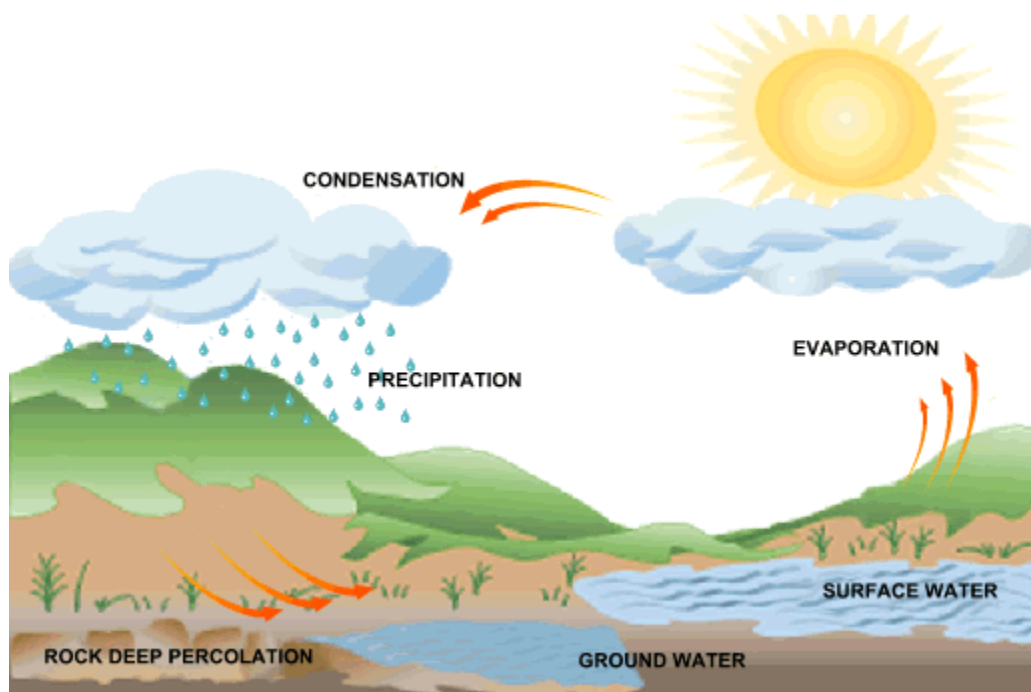


Figura 2.1. Ciclo Hidrológico.

Algunos de los procesos hidrológicos contienen una parte que puede ser predecible de forma determinística (a través de una ley física) y otra parte puede ser aleatoria. Otros no contienen ninguna parte que pueda ser predeterminada y son totalmente aleatorios, estos últimos son conocidos como procesos estocásticos. En este

caso se encuentran los eventos hidrológicos extremos, tales como las crecientes o sequías y en general los relacionados de forma muy directa con los fenómenos de precipitación (Ramírez, 2004).

El análisis estadístico de eventos extremos ha jugado un rol importante en la práctica en ingeniería relacionados el diseño y gestión de los recursos hídricos. Algunas de las primeras aplicaciones de la teoría estadística en valores extremos, fueron relacionados con problemas en climatología (Katz *et al.*, 2002). Por ejemplo, Gumbel (1941), un pionero de la aplicación de la estadística de extremos consideró un problema del “periodo de retorno” de avenidas. Recientes desarrollos de la teoría estadística de valores extremos puede ser aplicada para mejorar las estimaciones de variables hidrológicas y realizar un análisis más significativo físicamente (Katz *et al.*, 2002). La precipitación, permite caracterizar un área desde el punto de vista de las posibilidades de ocurrencia de eventos de lluvia de un determinado tamaño. La caracterización de este tipo de variables, se ha estimado en una serie de estudios sobre los eventos extremos, usando una serie de procedimientos estadísticos univariados, multivariados, mixtos o técnicas de regionalización que pueden reducir potencialmente la incertidumbre en las estimaciones de cuantiles que son inherentes en el enfoque en el lugar, Schaefer (1990). Por lo tanto, es importante entender los principios de fundamentación y aplicación de diversas metodologías utilizadas para el análisis de datos en hidrología.

2.1 Análisis de frecuencia en hidrología

El análisis de frecuencias es una herramienta fundamental para la predicción de eventos extremos. Cada espacio muestral tiene su propia función de distribución o de densidad de probabilidad que normalmente no se conoce a priori. Cuando de ese espacio se extrae un grupo de datos (muestra) al azar, es razonable esperar que su función de distribución de probabilidad sea similar a la del espacio completo, en particular si la muestra es grande (Esparza, 2005).

Parte importante en el análisis de frecuencias son los datos que se utilizan, debido a que deben cumplir con varias condiciones: ser completamente aleatorios, es decir, insesgados, independientes y homogéneos. Las mediciones y registros normalmente involucran errores humanos e instrumentales. Tales errores pueden ser de dos tipos, llamados errores accidentales y sistemáticos, aunque a veces es difícil distinguir entre ambos. Muchos errores son la combinación de los dos. Los errores accidentales son normalmente debidos al observador y en algunas ocasiones debido a la naturaleza del instrumento de medición. Por otra parte, los errores sistemáticos pueden aparecer ya sea en el observador o en la medición y tales errores no son aleatorios (Chow, 1994).

Además de contar con datos confiables, es esencial considerar el número de años con registro, ya que en algunas ocasiones, las series de tiempo son relativamente cortas y considerar estas para un análisis puede arrojar resultados erróneos. Por tal motivo, es importante conocer la longitud mínima de datos para obtener valores adecuados. En este sentido, algunos autores han realizado recomendaciones sobre la longitud mínima de registro de variables hidrológicas como se muestra a continuación.

- Ott, recomienda usar como mínimo 20 años de longitud de registro (Ott, 1972).
- La IACWD (Interagency Advisory Committee on water Data), recomienda utilizar como mínimo 25 años de longitud de registro (IACWD, 1982).
- El USBR (United States Bureau of Reclamation), recomienda utilizar como mínimo 25 años de longitud de registro (USBR, 1981).
- El UKFSR (United Kingdom Flood Studies Report), recomienda utilizar como máximo periodo de retorno $2N$, donde N es la longitud del registro (UKFSR, 1975).
- Viessman recomienda utilizar como mínimo 10 años de longitud de registro para un periodo de retorno de $2N$, donde N es la longitud de registro (Viessman *et al*, 2002).

En el caso de México, Esparza (2005), realizó un estudio de la influencia de la longitud del registro en la estimación de gastos de diseño. Se abordaron diferentes escenarios (registros más antiguos, más recientes, máximos y mínimos de la estación), y los mismos escenarios considerando límites de confianza de 95%. Finalmente, se realizó una identificación de regiones a partir de los datos de las estaciones e interpolaron con el método IDW (Inverse Distance Weighting) cada una de ellas. Con esto se puede determinar una longitud mínima de registro según la región donde se pretenda desarrollar un análisis de series de tiempo.

2.2 Funciones de distribución de probabilidad y metodologías más utilizadas en el análisis de frecuencias de variables hidrológicas

Uno de los problemas más importantes en hidrología consiste en la interpretación de datos históricos de eventos hidrológicos en términos de probabilidades futuras de ocurrencia. Este problema aparece en los estimados de frecuencia de eventos, sequías, lluvias entre otros; y el proceso involucrado se conoce como análisis de frecuencias.

2.2.1 Distribuciones univariadas

Existen diversas funciones de distribución de probabilidad para el análisis de frecuencias. Sin embargo, los valores obtenidos no son iguales, por lo que es necesario escoger de esas funciones, la o las que se adapten mejor al problema bajo análisis. Comúnmente en hidrología, se han utilizado diferentes familias de distribución como son la familia Normal, Log-Normal, la familia Gumbel, Weibull y General de Valores extremos (GVE) y la familia de la Exponencial, Pearson, Log-Pearson tipo 3 (Maidment, 1992).

Sin duda, en diversas partes del mundo se han realizado estudios donde se aplica la teoría estadística al análisis de datos. Sin embargo, para series de tiempo de variables hidrológicas no todas son adecuadas debido a la naturaleza de estas. Por tal

motivo, es importante conocer los estudios más relevantes desarrollados en esta área, además de las funciones de distribución y métodos de parámetros más adecuados, dependiendo de las características fisiográficas y climatológicas del lugar.

Por ejemplo, Daniel Gellens (2002) realizó un estudio para diferentes valores de precipitación diaria k ($k = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25$ y 30) en la red climatológica de Bélgica con 165 estaciones, donde se evalúa la distribución general de valores extremos (GVE). El método propuesto consistió en la combinación de valores regionales de los parámetros de la distribución GVE obtenidos a partir del método de momentos L.

En otro estudio realizado por Adlouni *et al.* (2010) se analizó la función de distribución Halphen que es poco conocida y la GVE que es ampliamente utilizada en hidrología. Se realizó una comparación con las distribuciones Gumbel y Fréchet donde las propiedades estadísticas de estas distribuciones indican que en algunos casos las distribuciones Halphen pueden presentar un mejor comportamiento que la distribución GVE, Gumbel y Fréchet. O bien, son distribuciones que pueden adaptarse a variables de valores extremos.

Cuando se considera que las distribuciones son limitadas, el análisis univariado parece proporcionar estimaciones razonables en valores extremos de duración menor a 10 horas, ya que los resultados muestran un comportamiento muy similar entre la Gumbel y Gamma. Sin embargo, cuando se utiliza la Gamma inversa, se obtienen mejores resultados respecto de la Gumbel (Kao, 2008). Por ejemplo, en Estados Unidos varias agencias federales han utilizado la distribución Log-Pearson tipo 3 (LP3) en estudios hidrológicos, explorado las características de la distribución en el espacio real y log-real. Además, de la relación entre estos, ya que en datos de gastos la distribución LP3 provee modelos razonables de la distribución de series de gasto anual de cuencas hidrográficas no reguladas (Griffis *et al.*, 2007).

2.2.2 Distribuciones bivariadas

Por mucho tiempo se ha asumido que cualquiera de las variables tiene el mismo tipo de distribución marginal o que las variables tienen una distribución normal. Sin embargo, en la práctica, las variables de precipitación pueden tener diferentes distribuciones. Debido a esto, en estudios relacionados con los recursos hídricos se requiere de distribuciones de probabilidad conjunta de variables de precipitación. Tales como, la intensidad de la precipitación, lámina de lluvia y duración (Zhang, 2007). Por tal motivo, se han desarrollado una serie de trabajos a partir de esta metodología, destacando algunos por su contribución a la ciencia.

Por ejemplo, Yue (2000a) aplica una distribución bivariada para representar la distribución conjunta de intensidad y lámina de lluvia máxima. En esta, utiliza la transformación de Box-Cox para normalizar las marginales originales. En otros estudios Yue (1999,2000b, c) aplica la distribución Log Normal bivariada, Gumbel Logística y Gumbel Mixta o Mezclada para el análisis de frecuencias multivariado de precipitación. Por su parte, Herr y Krzysztofowicz (2005) obtuvieron una forma genérica de la distribución de probabilidad bivariada utilizando la distribución meta-Gaussiana. En esta se caracteriza la dependencia estocástica de la cantidad de precipitación entre dos estaciones. Además, se discute esta estimación a partir de la longitud de los datos.

Sin duda, una de las variables más relacionadas con los recursos hídricos, es el gasto. Por ejemplo, Carlos Escalante (2007) utilizó el modelo logístico para la distribución bivariada de Weibull o de valores extremos tipo 3 y la Weibull mixta de los marginales. Su aplicación se realizó en la región noreste de México con medición de 16 estaciones, obteniendo una mejora significativa a través del uso de una prueba de bondad de ajuste cuando se utiliza una distribución bivariada en lugar de una univariada. Los resultados muestran la importancia de tener en cuenta la distribución Weibull Mixta en el análisis bivariado cuando se analiza el gasto generado por dos poblaciones.

Otra metodología empleada en el análisis de frecuencia de gasto, es a partir de de cópulas. Aunque su aplicación en hidrología es corta y queda mucho por hacer, especialmente en el ámbito de la comprensión de las características físicas de estas, se han desarrollado muchos trabajos al respecto. Por ejemplo, Salvadori y De Michele (2004) presentan aspectos teóricos del análisis de frecuencia basado en cópulas. Además, mostraron varios casos de estudio para conocer el poder del análisis basado en cópula. Por su parte, Favre *et al.* (2004) desarrollaron una metodología para la modelación de valores extremos usando cópulas, se utilizaron cópulas elípticas, arquimedeanas y con sección cuadrática. Estas fueron probadas en gasto pico y volúmenes de varias cuencas en Quebec, Canadá. En un caso muy similar de aplicación, De Michele *et al.* (2005) determinaron una distribución bivariada de valores extremos a partir de la distribución GVE para modelar gasto pico y volumen, usando el concepto cópula.

La aplicación de la distribución bivariada a partir del principio de cópulas, también se ha utilizado para evaluar la adecuación o cambios necesarios de un vertedero, ya que Grimaldi *et al.* (2005) utilizaron una cúpula de 3 dimensiones para calcular el hietograma de diseño y obtener los periodos de retorno que se necesitan para el estudio hidrológico. Además, las distribuciones obtenidas fueron probadas utilizando datos de gasto del río Amite en Baton Rouge, Luisiana, y el río Ashuapmushuan en Saguenay, Quebec, Canadá. Finalmente, se compararon con la Gumbel Doble y box-Cox-bivariada, encontrando que las distribuciones a partir de cópula obtienen mejores estimaciones de frecuencia basado en el trazado de la posición que con otras distribuciones (Zhang y Singh, 2006).

En otro estudio posterior Zhang y Singh (2007) obtuvieron la distribución de frecuencias bivariada de precipitación, donde se examinaron y compararon cuatro cúpulas de Arquímedes. Sin duda, este método presentó ventajas al no ser necesario suponer que las variables de lluvia son independientes, tienen comportamiento normal o presentan el mismo tipo de distribuciones marginales. Por lo tanto, las distribuciones bivariadas resultaron adecuadas para determinar los periodos de retorno de manera

conjunta y condicional, a partir de datos de precipitación de la cuenca del río Amite en Luisiana, Estados Unidos. Por su parte Kao y Govindaraju (2007) realizaron un análisis bivariado a partir de datos de precipitación por hora a partir de cópulas empíricas. Los eventos de precipitación extrema fueron elegidos con base en tres criterios diferentes: volumen máximo anual (VMA), intensidad máxima anual (IMA), y la probabilidad máxima anual acumulada (PMA). Además, se analizaron características de precipitación, como lámina total, duración e intensidad máxima para describir la dependencia entre las variables de precipitación y construir de manera conjunta eventos de lluvia extrema. Como resultado se tiene que para el análisis bivariado de eventos extremos es más adecuada la probabilidad máxima acumulada.

Debido a que es de gran importancia tomar en cuenta la dependencia de colas en el análisis de frecuencias bivariado a partir de cópulas Poulin *et al.* (2007) realizaron una comparación de tres estimadores no paramétricos de coeficientes de dependencia de cola a partir de simulaciones con siete familias de cópulas. Se eligieron los dos estimadores que más se adaptan al análisis de frecuencia bivariado de gasto máximo anual y el volumen de flujo correspondiente al hidrograma del río Loira (Francia). Los resultados muestran que cinco sobrestiman los periodos de retorno de eventos extremos. Estos resultados llevan a primer plano la importancia de tener en cuenta dependencia de cola con el fin de estimar el riesgo adecuadamente.

2.2.3 Distribuciones trivariadas

La mayoría de estudios elaborados en el pasado se han analizado a partir del uso de distribuciones univariadas, realizado un esfuerzo muy fuerte para proporcionar bases físicas y estadísticas para seleccionar el tipo de función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a la distribución de frecuencia de los datos actuales. Sin embargo, estas han causado una mayor controversia de acuerdo entre los hidrólogos (Escalante y Raynal, 1998). Cuando el número de variables aumenta, usualmente se observan diferentes estructuras de dependencia mutuas entre las

cantidades analizadas. Para tener un modelo correcto de este comportamiento, es necesario tener una distribución conjunta muy flexible. (Serinaldi and Grimaldi, 2007).

Para este propósito, se ha derivado diferentes estudios donde se han desarrollado distribuciones trivariadas, como es el caso de Escalante y Raynal (1998) que desarrollaron una función de distribución trivariada de valores extremos. Debido a la complejidad para determinar los parámetros a partir del método de máxima verosimilitud, estos fueron obtenidos numéricamente con el uso de un procedimiento multivariable de optimización no lineal que permite realizar el cálculo cuando se tienen muestras con diferentes longitudes de registro. Los resultados muestran una mejora en la estimación de los parámetros cuando se calculan usando la distribución trivariada propuesta. Además, que el aumento es más significativo en relación con los parámetros de muestras más cortas (Escalante y Raynal, 1998).

Cuando se requiere un análisis más completo de las características de eventos extremos de gastos, por ejemplo, gasto pico, volumen y duración, se utiliza la distribución de cópula arquimedea asimétrica describiendo las propiedades de esta clase para llevar a cabo simulaciones extensas y resaltar diferencias con cópula simétrica de Arquímedes (Grimaldi y Serinaldi, 2006). Un enfoque muy simple para construir tales distribuciones es posible a partir de las llamadas cópulas asimétricas de Arquímedes, no sólo por llamar la atención sobre las estructuras de dependencia sobre los marginales, que es una propiedad común de las cópulas, sino también, para analizar más estructuras de dependencia en las cópulas asimétricas. Por lo tanto, es importante describir el procedimiento de inferencia para llevar a cabo un análisis de frecuencia trivariado asimétrica como lo hacen Serinaldi y Grimaldi (2007), donde se muestran las diferencias entre las simétricas y asimétricas de Arquímedes. Además de describir algunas pruebas de bondad de ajuste propuesto, que es de gran importancia para elegir el mejor modelo de ajuste cuando se utilizan las cópulas asimétricas Arquimedeanas. Y así finalmente poder aplicar esta metodología a datos hidrológicos.

En otro estudio, Zhang y Singh (2007) obtienen distribuciones de frecuencia trivariadas de precipitación a partir de la cópula Gumbel-Hougaard. En esta, no se asume que las variables de lluvia son independientes, tienen distribución normal o que presentan el mismo tipo de distribuciones marginales. Esta distribución es empleada para determinar periodos de retorno, a partir de datos de precipitación de la cuenca del río Amite en Luisiana. En un segundo estudio Zhang y Singh (2007), usan la misma cópula para obtener la distribución de gasto pico, volumen y duración. Además, se obtuvieron los periodos de retorno condicionales. Y por último, se aplicó la metodología a los datos de gasto de la cuenca del río Amite en Luisiana.

Una gran ventaja del método de cópula es que las distribuciones marginales de las variables individuales pueden ser de cualquier forma y estar correlacionadas a partir de una cópula no Arquimedean de la familia Plackett que se basa en la teoría de la relación constante entre productos. Este tipo de cópula no sólo funciona bien a nivel bivariado, sino que también permite un análisis estocástico trivariado donde las dependencias de menor nivel entre las variables pueden ser plenamente preservado, permitiendo al mismo tiempo la especificidad a nivel trivariado. Así, la aplicación de la familia de cópulas no arquimedeanas de Plackett en el estudio de la distribución temporal de los eventos extremos de precipitación de varias estaciones en Indiana, muestra que los parámetros estimados encontrados en la región son factibles.

Por su parte, Kao y Govindaraju (2008) evalúan las expectativas condicionales de características, tales como la precipitación máxima, tiempo pico, y porcentaje acumulado en precipitación en incrementos de 10% a partir de lámina de precipitación y la duración. Los resultados de este estudio sugieren que, si bien la teoría constante de producto cruzado se ha aplicado tradicionalmente a las variables de tipo aleatoria discreta, también es aplicable a las variables aleatorias continuas, y que proporciona una mayor flexibilidad para el análisis estocástico multivariado de lluvia.

2.2.4 Distribuciones mixtas o mezcladas

Al analizar una muestra de datos, en ocasiones se observa que dicha muestra proviene de dos poblaciones con diferentes características. Un ejemplo, puede ser una serie de gastos máximos o precipitación máxima producido por tormentas ciclónicas y no ciclónicas (Gutiérrez y Ramírez, 2005). Para poder determinar si este es el caso, antes de tratar de ajustar una distribución de frecuencias a estos datos será conveniente graficarlos contra su periodo de retorno; con esto se verá claramente si pertenecen a una o dos poblaciones.

Dentro de las distribuciones mixtas o mezcladas, sin duda la distribución Gumbel Doble es una de las más utilizadas. Por ejemplo, en Japón este tipo de eventos se presenta con mucha frecuencia en la época de monsoones donde los frentes lluviosos y huracanes causan la máxima tormenta anual por ser máxima tanto en intensidad de precipitación, como en volumen total, para estos eventos un análisis de frecuencias sólo es útil si se toma en cuenta estos dos factores (Yue, 2000).

En los últimos años, algunas de las inundaciones se han generado por fenómenos representados a partir de distribuciones compuestas. Es decir, una mezcla de dos o más poblaciones. Las diferencias entre las poblaciones pueden ser resultado de una serie de factores, incluidas las variaciones estacionales en los mecanismos que producen las inundaciones y oscilaciones de La Niña o El Niño (Escalante, 2007). En este sentido, Gutiérrez y Ramírez (2005) utilizan la distribución Gumbel Doble en el método de la avenida índice, con el fin de tener en cuenta la presencia de la distribución de dos poblaciones y aplicar el método en cuencas donde se presenta este tipo de fenómenos como es el caso del Río Fuerte en el noroeste de México. En otro estudio, Escalante (2009) utiliza la distribución Gumbel Doble en el análisis de frecuencia de avenidas bajas, donde se comparan los resultados producidos por la distribución mixta con los obtenidos por las distribuciones Weibull-3, Gumbel, Log normal 3 y General de Valores Extremos. Los resultados sugieren que las distribuciones mixtas son una opción adecuada para ser considerado en el análisis de los caudales mínimos.

Otra distribución utilizada cuando se presentan este tipo de fenómenos es la distribución Weibull mixta con cinco parámetros que se considera como parte de una distribución bivariada de valor extremo (Escalante, 2007; Touw, 2009).

Por otra parte, Corotis *et al.* (2008) utilizaron el método de umbral sobre picos para estimar la probabilidad pesada del valor índice extremo. Se introduce una medida para simplificar el error y seleccionar el nivel de umbral que optimiza la estimación de la variable dada una probabilidad de excedencia.

2.2.5 Regionalización

El análisis regional proporciona la forma de inferir información en sitios sin información o con información escasa, a través del empleo de características meteorológicas y/o fisiográficas en el sitio en estudio y/o de sus cuencas vecinas.

Si se está llevando a cabo un análisis de frecuencias para determinar eventos de diseño, éste se puede hacer por medio de:

- a) Estimación en el sitio.
- b) Estimación en el sitio más análisis regional.
- c) Por medio de análisis regional exclusivamente.

Existen diferentes métodos para realizar un análisis de frecuencias por medio del análisis regional, entre los más utilizados se encuentran:

Método de las estaciones año, el cual consiste en obtener la ecuación regional que mejore la estimación en los sitios base del análisis o que permita inferir información en la cuenca no aforada.

Método de la avenida índice, se basa en poder incrementar la confiabilidad (características de frecuencias) en una región. Es decir, si en una región

hidrológicamente homogénea han estado operando un cierto número de estaciones hidrométricas y registrando los efectos de los mismos factores meteorológicos entonces una combinación de los registros dará como resultado no un registro más largo sino uno más confiable.

Análisis regional mediante correlación múltiple, aparte de graficar el área de la cuenca, su avenida media anual como en el método anterior. Muchos investigadores han estudiado la relación entre descargas para ciertos periodos de retorno con las características de la cuenca. Una ventaja del método es que no existe dependencia de la función de distribución.

El análisis regional de frecuencias (ARF), que es un método establecido en hidrología (Um-Jin, 2010), se ha desarrollado en varias partes del mundo. Por ejemplo, Gellens (2002) realizó un análisis para evaluar el aumento de las curvas de la distribución generalizada de valores extremos (GVE) y determinar los fractiles en cada sitio. En otros estudios similares Fowler y Kilsby (2003a, b) usan un análisis regional de frecuencias para producir curvas de crecimiento de la distribución GVE para eventos de precipitación con periodos de retorno largos en nueve regiones climatológicas. A su vez, Boni *et al.* (2006) analizaron series de tiempo de precipitación máxima anual registrada en el norte de Italia durante un periodo de tiempo (duración) de 1 y 24 horas considerando descripciones paradigmáticas de las tormentas de corta y larga duración. El ARF de precipitación máxima anual fue llevado a cabo a partir de la distribución de dos componentes de valores extremos. Además, se realizó una jerarquización para definir estadísticamente áreas homogéneas de modo que la definición de una distribución regional pueda ser posible. Por su parte, Kysely, *et al.* (2007) identificaron regiones homogéneas de acuerdo a las características estadísticas de precipitación extrema en República Checa, es decir, el paso básico y más importante hacia el análisis de frecuencia regional.

En otro estudio Wallis *et al.* (2007) utilizaron cartografía PRISM obteniendo un mapeo espacial de precipitación y un aumento de la fiabilidad de las estimaciones de la

precipitación en las grandes áreas entre las estaciones de medición de la precipitación. Se establece que la distribución GVE es estadísticamente aceptable para todas las regiones de un intervalo de 1 hasta 500 de frecuencia, a partir del cual se recomienda la distribución de Kappa de cuatro parámetros. En Eslovaquia Norbiato *et al.* (2007) mejora el AFR basado en el método de la variable índice y momentos L para analizar las precipitaciones máxima anual de corta duración en la región de Friuli-Venecia Julia, en el noreste de Italia. Se consideran tres modelos basados en esta metodología: 1) distribución general de valores extremos (GVE), distribución logística generalizada (LOG) y la distribución Kappa. Obteniendo que las curvas de crecimiento regional basado en la distribución de Kappa puede ser útil para las subregiones especificadas. Este análisis proporciona un marco para investigar las características de frecuencia de avenidas para la generación de tormentas de diferentes duraciones.

Por otro lado, Endreny y Pashiardis (2007) evaluaron el análisis de frecuencia de precipitaciones regional y mundial por sesgo relativo de valores del error cuadrático. Cuando se compararon los resultados, estos indicaron relación en los valores de RMSE (root mean square error), que son aproximadamente iguales en un 10% . Sin embargo, cuando los intervalos de tiempo son comparados, los RMSE del método global tiene tendencia de intervalos de tiempo en forma parabólica. Cuando se comparan las regiones, los valores del sesgo relativo también es aproximadamente igual para ambos métodos, pero siguiendo una tendencia parabólica de intervalo de tiempo cuando se analiza de manera global. Esto puede ser causado por el ajuste de una escala de valor único para todos los intervalos de tiempo.

En otro estudio realizado por Gaál L. *et al.* (2008) se comparan diferentes enfoques de análisis de frecuencia regional con el objetivo de aplicar en una región de influencia la técnica ROI para el modelado de probabilidades de cantidad de fuertes precipitación en la zona de los Cárpatos occidentales. Los sistemas de centralización ROI son construidos como combinación de diferentes alternativas de sitios "similares" (la agrupación es definida de acuerdo a las características climatológicas y la

proximidad geográfica de los sitios, respectivamente) agrupándose los factores de ponderación.

Para asignar una medida de la dependencia espacial de los valores extremos en Gran Bretaña, Keef (2009) realiza un estudio centrado en la dependencia espacial de los gastos extremos de los ríos. Se hizo un análisis de la dependencia espacial en la precipitación total máxima diaria para dar una idea de cómo las diferencias regionales en la meteorología y las características de captación influyen en el riesgo de inundación espacial, y así llevar a cabo un análisis de la dependencia entre las características de captación y una medida de dependencia espacial de gastos. El enfoque adoptado en este modelo basado en la descripción conjunta de la distribución de varios sitios de caudal medio diario y precipitación total diaria de los ríos es una extensión del enfoque desarrollado por Heffernan y Tawn (2004). Este método adopta un modelo de dependencia asintóticamente justificada sobre los sitios y la hora que representa el desfase entre las variables en diferentes sitios

Por otra parte, Yang *et al.* (2010) presentan un método para el análisis de frecuencia regional y la caracterización de patrones espacio-temporal de los regímenes de precipitaciones extremas en la cuenca del río Perla, utilizando el método de momentos L, junto con pruebas estadísticas avanzadas, incluyendo pruebas de estacionalidad y comprobación de la correlación serial, que son cruciales para el uso válido del método de momentos L en el análisis de frecuencia. Las regiones son clasificadas por análisis de conglomerados junto con el análisis de la topografía y patrones espaciales de la precipitación media en la cuenca. En este estudio, la distribución GNO, GLO, GVE, y PE3 se ajustaron bien en la mayoría de las cuencas para diferentes regiones, pero sus ajustes son un poco diferentes en términos del ajuste de la curva. Por su parte, Meshgi y Khalili (2007a, b) realizaron el análisis de frecuencia de gastos en las cuencas hidrográficas de la región Kharkhe, ubicado en el oeste de Irán, utilizando el método de momentos LH. En su estudio, utilizaron GEV, GLO y las distribuciones del PAM y una comparación entre el método de la momentos L y momentos LH. Kumar y Chatterjee (2005) utilizaron el método de momentos L en

países desarrollados y del norte de la región Brahmaputra de India para determinar la relación regional de frecuencia y finalmente poder calibrar las cuencas no aforadas. Y en el 2010 Bhuyan *et al.* usaron el análisis regional de frecuencia a partir de los momentos LH de la misma región en el que se realizó un comparativo entre los métodos de momentos L y momentos LH.

Myoung-Jin Um • *et al.* (2010) analizaron el efecto orográfico con cuantiles, a partir del análisis de frecuencia regional y de regresión múltiple para mostrar si es un fenómeno común en las regiones montañosas. La regresión múltiple se utilizó para desarrollar modelos para estimar la cantidad y la distribución espacial de las precipitaciones orográficas en terreno montañoso con la elevación, latitud, longitud, duración y periodo de retorno. La regresión lineal múltiple mostró que el modelo con los tres parámetros produce mejores resultados que los modelos de cinco parámetros.

El procedimiento de la avenida índice propuesto por Dalrymple (1960) es otro método de representación ya que este también se ha aplicado en diversos estudios dentro de los que destacan los realizados por Trefry *et al.*, 2005; Noto y 2008 Loggia; Saf, 2009; Hussain y Pasha, 2009; Myoung *et al.*, 2010).

2.3 Estimación de parámetros

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados. El ajuste de las distribuciones puede llevarse a cabo por diferentes métodos dentro de los que destacan los de momentos o el de máxima verosimilitud (Chow, 1994). En la literatura, otros tantos métodos se han utilizado para la estimación de parámetros en diferentes distribuciones como son el de máxima entropía, momentos de probabilidad pesada, momentos L, momentos LH.

Uno de los principales métodos es el de momentos, desarrollado por primera vez por Karl Pearson en 1902, consideró que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra (Chow, 1994)

En la literatura, algunos de los métodos se han utilizado para la estimación de parámetros en diferentes distribuciones, por ejemplo, en la distribución Log Pearson tipo 3 se han aplicado los métodos de momentos (MOM), máxima verosimilitud (MLE) y el método de momentos mixtos (MXM). El método MXM presenta buenos resultados en comparación con MOM y MLE cuando se tiene ausencia de información regional. Sin embargo, un análisis de Monte Carlo demuestra que las estimaciones con MOM de registro de MOM con información regional sesgada es más recomendado, y cuanto más precisa sea el sesgo de la información regional se tendrán estimaciones de flujo más precisas (Griffis *et al.*, 2007).

El método de momentos L es un sistema alternativo al método tradicional de momentos para describir las formas de las funciones de distribución (Hosking, 1990) y surgen como combinaciones lineales de los momentos ponderados probabilísticamente (MPP) introducidos por Greenwood *et al.* (1979). Los momentos ponderados probabilísticamente de la variable aleatoria x con una función de distribución $F(x)$ son utilizados para estimar los parámetros de las distribuciones que pueden ser expresadas en forma inversa $x = x(F)$ explícitamente (Álvarez *et al.*, 1999). Este método puede ser más útil que los momentos convencionales para discriminar entre diferentes distribuciones, porque la estimación de ubicación, escala y forma son casi imparcial, independientemente de la distribución de probabilidad de los datos que surgen (Hosking y Wallis, 1997; Saf 2009).

Una variedad de estudios basados en el método de momentos L han sido empleadas en el análisis de frecuencia regional de precipitaciones extremas (por ejemplo, Sveinsson *et al.*, 2002;. Burgueño *et al.*, 2005;. Endreny y Pashiardis, 2007;

Gaal y Kysely, 2009). En el análisis regional, el método momentos L se puede aplicar en cuatro etapas del análisis de frecuencia regional, los cuales son: (i) el análisis de los datos, (ii) la identificación de regiones homogéneas, (iii) la elección de una distribución de frecuencias, y (iv) la estimación de la frecuencia en la distribución (Kysely, 2006). Otros parámetros también se puede calcular por el procedimiento de la probabilidad como un estudio reciente (Campos, 2008; Ellouze Abida, 2008; Escalante, 2009).

Wang (1997) desarrolló el método de momentos LH como una generalización de los momentos L. Demostró que el uso de esta técnica reduce influencias indeseables que los eventos pequeños de la muestra puede tener sobre la estimación de periodo de retorno de grandes eventos en comparación a la utilización de momentos L. El estudio de Wang (1997) informó de la mejora del rendimiento de momentos LH en comparación con los momentos L, pero se observa que existe limitación al utilizar los momentos LH en el análisis de frecuencia de crecidas. Esto se debe a la dificultad de la formación de la región homogénea y el desarrollo para otras distribuciones de uso común en el análisis de frecuencia de crecidas. Meshgi y Khalili (2007a, b) realizaron el análisis de frecuencia de crecidas de las cuencas hidrográficas regionales Kharkhe, ubicado en el oeste de Irán, utilizando el método de momentos LH. En su estudio, utilizaron distribuciones GEV, GLO del PAM. También Bhuyan *et al.* (2010) utilizaron esta técnica para el análisis regional de frecuencia de la misma región así como una comparación entre los los métodos de momentos.

Por su parte Ashkar (2006) investigó los parámetros en el método de momentos generalizado (GM) y la estimación de cuantiles en el modelo log-logístico de dos parámetros (LL2). Los resultados de la simulación muestran que el método de GM supera las estimaciones obtenidas por otros. También se demuestra que una mezcla de momentos de orden positivo y negativo que se necesita para la estimación óptima en un modelo LL2, puede implementar mediante el método de GM.

Otro método ampliamente utilizado en la estimación de parámetros es el de máxima verosimilitud. Sin embargo, la estimación de la distribución mezclada de

Weibull por el método de máxima verosimilitud y otros métodos a menudo es difícil debido a las estimaciones inestables derivadas de datos limitados. Las técnicas bayesianas pueden estabilizar estas estimaciones a través de los priores, pero no hay familia conjugada de forma cerrada para la distribución de Weibull. Este estudio ha reducido de 5 a 2 el número de integraciones numéricas necesarias para el uso de la estimación bayesiana de la distribución mixta de Weibull, por lo que es un enfoque más viable para el usuario (Touw, 2009). Otra modalidad de este método es la función logarítmica de verosimilitud es la mostrada en el trabajo realizado por Gutiérrez y Ramírez (2005). Esta fue utilizada para el análisis del método de la avenida índice a partir de la función de distribución Gumbel Doble de gastos máximos.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS

3.1. Análisis de datos

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida en la mayoría de los estudios concernientes al uso y control del agua (Aparicio, 1989). La precipitación máxima anual es uno de los parámetros más importantes en estudios hidrológicos ya que es utilizada para propósitos de diseño en obras de almacenamiento, control, desvío, etc. Es por esto, la importancia de contar con registros confiables para realizar un análisis adecuado. Una de las instituciones que cuenta con registros climatológicos de diferentes variables es el Banco Nacional de Datos Climatológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), incluye registros históricos de la red climatológica nacional (5 000 estaciones), red sinóptica de superficie y altura (77 observatorios y 11 estaciones de radio sondeo), con registros en algunos casos desde fines del siglo pasado hasta la fecha.

Para facilitar el uso de la información del Banco Nacional de Datos Climatológicos contenida en la base de datos CLICOM, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizó un análisis de los datos e ingresó estos en el programa ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica), que facilita la extracción de la información de diferentes variables medidas en la red climatológica nacional como son: precipitación, temperatura, evaporación, granizo, niebla, tormentas eléctricas y nublados de todas las estaciones climatológicas localizadas en la República Mexicana. Además, contiene los resúmenes y promedios de los años en que se tiene registro.

Debido al propósito de este estudio, la variable requerida es la precipitación máxima anual en 24 horas. Por tal motivo, el primer paso consistió en examinar el registro de la estación meteorológica representativa de la zona de estudio que está

contenida en el ERIC III, ya que se analizó la calidad y cantidad de información para determinar la serie de tiempo con que cuenta la estación.

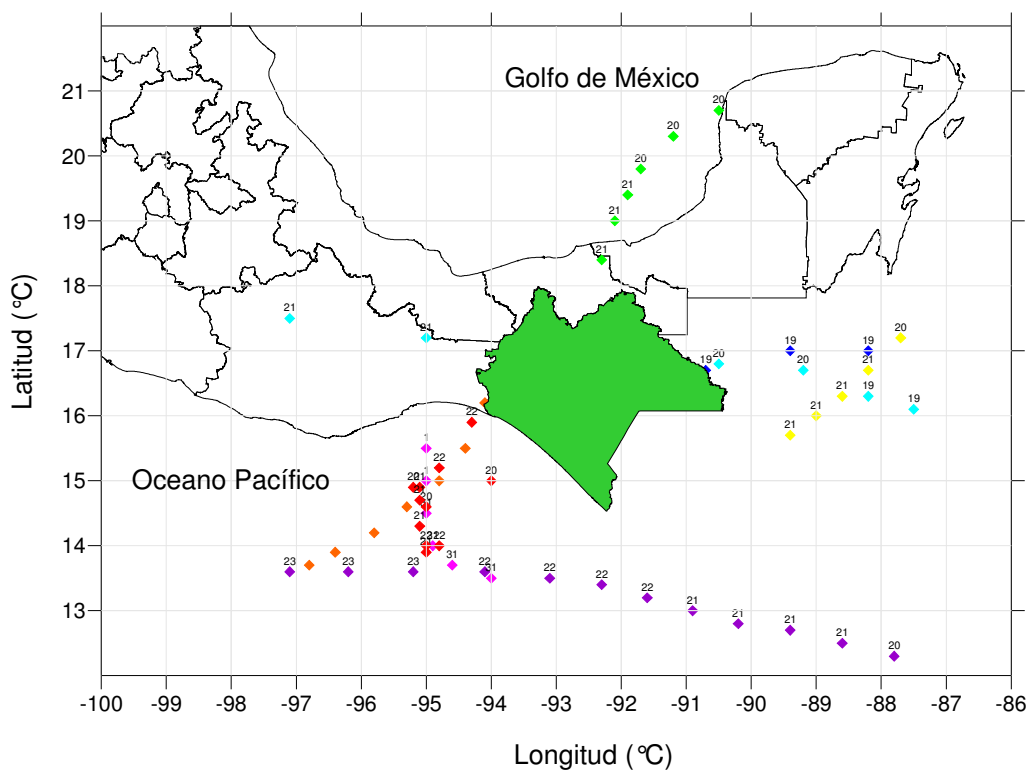
El siguiente paso consiste en establecer un criterio de la longitud de registro de datos a utilizar. Para esto, varios autores han realizando estudios respecto a la longitud mínima. Sin embargo, en este estudio se tomó como referencia las recomendaciones de Ott (1972) que considera 20 años como mínimo, la IACWD (1982) y el USBR (1981) recomienda 25 años como registro mínimo de datos. Además, se complementó con el trabajo desarrollado por Esparza (2005), donde se establecen varios escenarios de longitud mínima de registro de datos de gastos (Q) en toda la república mexicana. Por ejemplo, al analizar el trabajo de Esparza se encontró que para el estado de Querétaro, la longitud mínima de registro es de 20 años, mientras que en el estado de Chiapas fue de 25 años, coincidiendo este último criterio con los mencionados anteriormente.

3.2. Efecto de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas

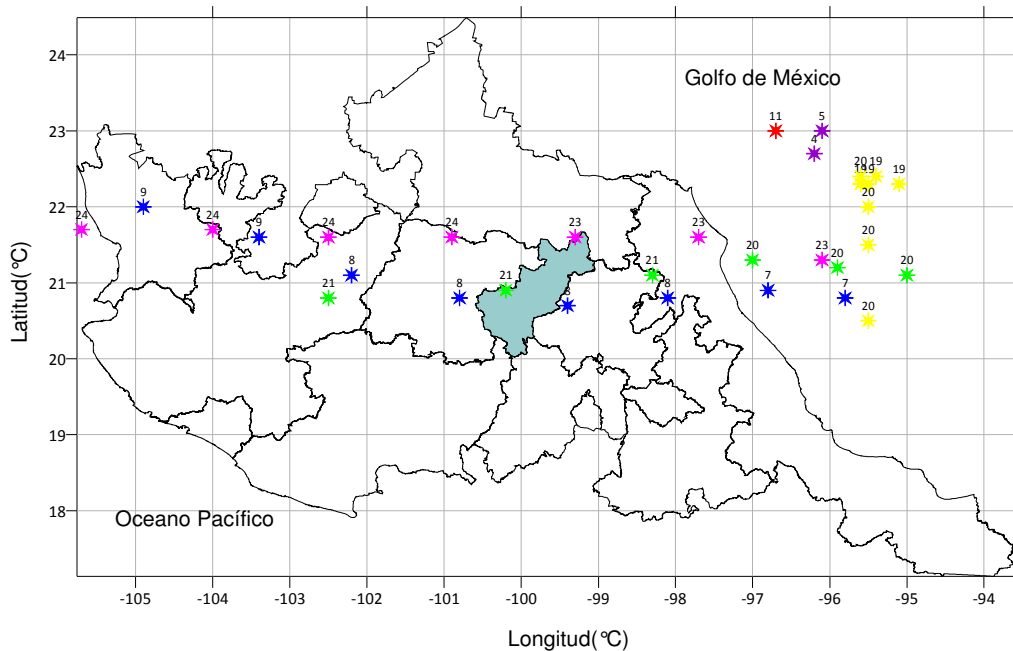
Para determinar la pertenencia o no de las precipitaciones máximas anuales a eventos ciclónicos, se analizó la fecha de ocurrencia del evento y comparó con los registros contenidos en la base de datos de huracanes considerando que el huracán tiene una zona de influencia de 600 km a la redonda. Por lo tanto, si se tiene la fecha en que ocurre el huracán, además de su trayectoria, se puede asociar con valores de precipitación de la serie de tiempo. De esta forma es posible segregar la muestra en las dos poblaciones con una base física.

Si se tiene la longitud del registro, la precipitación máxima histórica de cada estación y si éste fue generado por un evento no ciclónico (NC), favorece el hecho de que los efectos más importantes de precipitación en algunas regiones provienen de tormentas convectivas sobre todo derivadas del avance de los frentes fríos. Por el contrario, del análisis de las precipitaciones máximas y su relación con los eventos ciclónicos se puede reconocer que algunos huracanes en efecto han generado un gran número de eventos máximos anuales en diferentes estaciones.

Por otro lado, es también notorio el hecho de que, de acuerdo con la segregación observada de eventos, no son necesariamente los valores más grandes de la muestra los que se asocian con la población ciclónica, como comúnmente se toma al ajustar la función Gumbel Doble. Esto evidencia una mayor mezcla de las poblaciones, dando como resultado una zona más amplia de transición entre los eventos no ciclónicos y los ciclónicos. Sin duda, el mayor efecto de este tipo de fenómenos se presenta en estados sobre la costa. Sin embargo, es importante realizar un análisis de aquellos huracanes que han tenido repercusiones en la precipitación de estados que no se encuentran sobre el Océano pacífico o Golfo de México, como es el caso de los estados de Querétaro y Chiapas (**Figura 3.1**).



a) Huracanes registrados en la década de los setenta que pasaron en el estado de Chiapas o con un radio cercano de 600 kilómetros.



b) Huracanes registrados en la década de los noventa que pasaron en el estado de Chiapas o con un radio cercano de 600 kilómetros.

Figura 3.1. Registro de huracanes en Chiapas (a) y Querétaro (b) en la década de los 70's y 90's sucesivamente.

3.3. Análisis de frecuencias a partir de distribuciones de probabilidad univariadas

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función. Por lo tanto, la selección y aplicación de diferentes distribuciones de probabilidad univariadas es de vital importancia para un análisis adecuado. Debido a esto, en este estudio se aplican la distribución Normal, Log-Normal, Exponencial, Gamma y Gumbel que se han ampliamente para ajuste de variables hidrológicas.

Con el fin de conocer un poco de estas distribuciones, se hace una breve descripción de las funciones de distribución aplicadas en el estudio. Además, se presentan algunas de sus características y ecuaciones.

3.3.1. Distribución Normal

Su gráfica, la curva normal, describe en forma aproximada muchos fenómenos en la naturaleza de mediciones físicas en diversas áreas. Esta ecuación fue desarrollada en 1733 por Abraham De Moivre. Sin embargo, Karl Frirdieck Gauss también derivó su ecuación a partir de un estudio de errores en mediciones repetidas de la misma cantidad (Walpone y Myers, 1992; Kreiszig, 1973).

La distribución normal surge del teorema del límite central, el cual establece que si una secuencia de variables aleatorias x_i son independientes y están idénticamente distribuidas con media μ y varianza σ^2 , entonces la distribución de la suma de n de estas variables aleatorias, $Y = \sum_{i=1}^n x_i$, tiende hacia la distribución normal con media $n\mu$ y varianza $n\sigma^2$ a medida que n aumenta. El punto importante es que esto es cierto sin importar cuál es la función de distribución de probabilidad de x (Chow *et al.*, 1994).

La variable aleatoria continua que denota la distribución en forma de campana se le conoce como variable aleatoria normal. Las variables hidrológicas, como la precipitación anual, calculada como la suma de los efectos de muchos eventos independientes tienden a seguir la distribución normal, aunque su desventaja cuando se trata de describir variables de este tipo es que ésta varía en un rango continuo $(-\infty, \infty)$, mientras que la mayoría de las variables de tipo hidrológico no son negativas, además de que es simétrica alrededor de la media, mientras que la información hidrológica tiende a ser asimétrica (Chow, 1994).

Su función de densidad de probabilidad se muestra en la ecuación 3.1.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.1)$$

donde x representa la variable, μ es la media de la muestra y σ^2 la varianza. Además su función de distribución de probabilidad para la distribución normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) dx \quad (3.2)$$

3.3.2. Distribución Log-Normal

Si la variable aleatoria $Y = \log x$ está normalmente distribuida, entonces se dice que x está distribuida en forma Lognormal. Chow (1954) llegó a la conclusión de que esta distribución se aplica a variables hidrológicas formadas como productos de otras variables. La distribución log normal tiene las ventajas sobre la distribución normal de que está limitada ($X > 0$) y de que la transformación Log tiende a reducir la asimetría positiva comúnmente encontrada en información hidrológica, debido a que al tomar logaritmos se reducen en una proporción mayor los números grandes que los números pequeños. Algunas de las limitantes de esta distribución son, por un lado, que tiene solamente dos parámetros y, por otro lado, que requiere que los logaritmos de los datos sean simétricos alrededor de su media (Chow *et al.*, 1994).

Su función de densidad de probabilidad se muestra en la ecuación 3.3

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.3)$$

donde x representa la variable, μ es la media de la muestra y σ^2 la varianza.

La función de distribución de probabilidad para la distribución normal es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} dx \quad (3.4)$$

3.3.3. Distribución Exponencial

Algunas secuencias de eventos hidrológicos, como la ocurrencia de precipitación, pueden considerarse como procesos de Poisson, en los cuales los

eventos ocurren instantánea e independientemente en el tiempo, o a lo largo de una línea. El tiempo entre tales eventos, o tiempo de interarribo, está descrito por una distribución exponencial cuyo parámetro λ es la tasa media de ocurrencia de los eventos. En la distribución exponencial es fácil estimar λ a partir de la función observada (Chow *et al.*, 1994).

Esta distribución también se conoce como distribución exponencial negativa. El tiempo de ocurrencia de fenómenos como la precipitación, pueden considerarse como Procesos de Poisson ya que los eventos ocurren instantánea e independientemente en un horizonte de tiempo, a lo largo de la línea. El tiempo entre dichos eventos lo describe la distribución exponencial cuyo parámetro λ es la tasa media de ocurrencia de los eventos. La ventaja de la distribución exponencial radica en que es fácil estimar a partir de la información observada y que la distribución exponencial se adapta muy bien a estudios teóricos. Su desventaja es que se requiere que la ocurrencia de cada evento sea completamente independiente (Chow *et al.*, 1988).

Su función de densidad de probabilidad se muestra en la ecuación 3.5

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (3.5)$$

donde x representa la variable, μ es la media de la muestra y σ^2 la varianza.

La función de distribución de probabilidad para la distribución normal es

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.6)$$

3.3.4. Distribución Gamma

El tiempo que toma la ocurrencia de un número β de eventos en un proceso de Poisson está descrito por la distribución gamma, la cual es la distribución de una suma de β variables aleatorias independientes e idénticas, distribuidas exponencialmente. La

distribución gamma tiene una forma que varía suavemente y es muy útil para la descripción de variables hidrológicas asimétricas sin el uso de la transformación log (Chow *et al.*, 1994). Esta distribución es de gran importancia en la teoría de colas y en los problemas de confiabilidad (Walpole y Myers, 1992). Sin embargo, la distribución gamma de dos parámetros tiene como límite inferior cero, lo cual es una desventaja para la aplicación a variables hidrológicas con un límite inferior que es superior a cero (Chow *et al.*, 1994).

Su función de densidad de probabilidad se muestra en la ecuación 3.7

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)} \quad (3.7)$$

donde x representa la variable, μ es la media de la muestra y σ^2 la varianza.

La función de distribución de probabilidad para la distribución normal es

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} * \int_{\delta}^x \left(\frac{x-\delta}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}} dx \quad (3.8)$$

donde α , β y δ son los parámetros. Además $\Gamma(\beta)$ es la función matemática gamma.

3.3.5. Distribución Gumbel

La distribución de Valores Extremos Tipo I o Distribución Gumbel nace con Fisher y Tippet, en los años veintes con la teoría de Valores Extremos. En los años treinta, Gumbel realiza aplicaciones prácticas usando los estadísticos de valores extremos de distribuciones del tiempo de duración de la vida humana y en 1941 publica algunos artículos con respecto a sus aplicaciones en el análisis de frecuencias de gastos máximos y mínimos. Jenkinson (1955) demostró que esta es un caso especial de la Distribución General de valores Extremos (Ven Te Chow *et al.*, 1996).

donde su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{b} \exp \left[-\frac{(x-a)}{b} - \exp \left[-\frac{(x-a)}{b} \right] \right] \quad (3.9)$$

Su función de distribución acumulada es:

$$F(x) = \exp \left\{ -\exp \left[\frac{x-a}{b} \right] \right\} \quad (3.10)$$

donde x es la variable, α y β son los parámetros de la función.

3.4. Construcción de la función de distribución de probabilidad para poblaciones mezcladas

Para ejemplificar las diferencias en la construcción de poblaciones mezcladas y analizar el comportamiento del parámetro de segregación de dichas poblaciones, en este trabajo se desarrolla una aplicación de diversas distribuciones mezcladas a datos de precipitaciones máximas en las regiones mencionadas (Chiapas y Querétaro) y determinar la función o funciones de distribución mezclada (mixta) que representa mejor el fenómeno en cada región, así como la variación del parámetro de asociación p .

Si $f_i(x)$ para $i=1,2,\dots, r$ representan funciones de densidad de probabilidad (fdp) y λ_i para $i =1,2,\dots, r$ son factores de ponderación cumpliendo con $\lambda_i \geq 0$ y $\sum_{i=1}^r \lambda_i = 1$, entonces se tiene que:

$$f_x(x) = \sum_{i=1}^r \lambda_i f_i(x_i) \quad (3.11)$$

es una fdp denominada función de densidad mezclada ya que está compuesta de una mezcla de $f_i(x)$. Los parámetros λ_i pueden tomarse como la probabilidad de que la variable aleatoria pertenezca a la función $f_i(x)$ donde $f_i(x)$ es la función de densidad de x dado que ésta pertenezca a la i -ésima población.

La distribución acumulada de x está dada entonces por:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x \sum_{i=1}^r \lambda_i f_i(t) dt = \sum_{i=1}^r \lambda_i \int_{-\infty}^x f_i(t) dt \quad (3.12)$$

Así por ejemplo, en el caso de la presencia de una población no ciclónica (población 1) y otra ciclónica (población 2) en una muestra de escurrimientos, la primera de ellas se puede describir a través de $f_1(x)$, mientras la segunda lo hará mediante $f_2(x)$. Si λ_1 es la proporción o probabilidad de que las avenidas sean generadas por tormentas no ciclónicas y $\lambda_2 = 1 - \lambda_1$ es la proporción o probabilidad de eventos de origen ciclónico, las ecuaciones (3.1) y (3.2) describirán la densidad y la distribución mezclada de probabilidades de los gastos respectivamente.

Resulta obvio, sobre todo por la nomenclatura y el lenguaje utilizado en este tema, que los eventos pertenecientes a las diferentes poblaciones son mutuamente excluyentes. Es decir, en el caso más sencillo de dos poblaciones, es claro que si un evento dado es ciclónico, entonces no puede formar parte de la población no ciclónica. Sin embargo, este hecho no ha sido siempre considerado en la literatura, como se establece a continuación.

En México, el principal modelo para la construcción de funciones de probabilidad para poblaciones mezcladas, utilizado comúnmente en el análisis de frecuencias de gastos, es el desarrollado por González Villarreal (1970). González propuso, para el caso de dos poblaciones, el modelo siguiente:

$$F(q) = F_1(q)[p + (1 - p)F_2(q)] \quad (3.13)$$

donde q es la variable aleatoria, gastos en este caso, $F_1(q)$ es la función de distribución de probabilidad asociada con la población 1, $F_2(q)$ es la función de distribución de probabilidad asociada con la población 2, p es la probabilidad de que la variable pertenezca a la población 1.

Con la formulación dada por la ecuación (3.13), González intentó tomar en cuenta la posibilidad de haber considerado un evento como perteneciente a la población 1 cuando realmente corresponde a la población 2. Por esta razón, existe una diferencia entre las construcciones (2) para $r = 2$, y (3), la cual está dada por:

$$F_E(x) - F_G(x) = (1 - p)[F_1(x)F_2(x) - F_2(x)] \quad (3.14)$$

donde $F_E(x)$ y $F_G(x)$ son las distribuciones mezcladas formuladas para el caso de eventos mutuamente excluyentes y la propuesta por González respectivamente. Es evidente que para $p = 1$ las dos formulaciones coinciden pero a medida que el grado de segregación del fenómeno aumenta, las formulaciones pueden arrojar resultados muy distintos.

Bajo la consideración de que se sabe a ciencia cierta cuáles eventos pertenecen a cada población, la distribución mezclada propuesta por González muestra una clara inconsistencia, ya que para el caso $p = 0$, es decir que toda la muestra provenga de la población 2, se tiene que $F(x) = F_1(x)F_2(x)$, lo que carece de sentido.

Al introducir el concepto de periodo de retorno en las expresiones (3.12) y (3.13) se obtiene que para un gasto dado $T_E \geq T_G$, lo cual también implica que para un periodo de retorno dado, la formulación propuesta por González Villarreal genere gastos mayores que la correspondiente a eventos excluyentes. Para fines de diseño, esta sobrestimación parece no ser un problema grave, sin embargo de cualquier forma, la utilización de la distribución Gumbel doble propuesta por González puede conducir a un sobre diseño sistemático de las obras.

Aunque la idea de González es muy valiosa, con respecto a la presencia de eventos ciclónicos, las herramientas y sistemas actuales garantizan la certeza en la segregación de la muestra, por lo cual no sería necesario considerar esa probabilidad de error en la separación de las poblaciones.

El resultado de la discusión anterior permite afirmar que cuando se puede identificar objetivamente el origen de cada valor observado de la muestra, la construcción de distribuciones con poblaciones mezcladas debe realizarse con base en la expresión (3.2) considerando mutua exclusión. Solamente en el caso en que no se conozca el origen de la muestra es conveniente utilizar la función de González Villarreal.

Para el caso del ajuste de la función mezclada dada por (3.14) González delinea el procedimiento. En este caso se sugiere incorporar p al proceso de ajuste. En el caso de la función dada por (3.12), una vez segregada la muestra cada población será ajustada a su propia función de probabilidad por los métodos convencionales de momentos, máxima verosimilitud, etc., y la función mezclada construida con la expresión (3.12).

3.4.1. Distribución Gumbel + Gumbel

Particularmente, la función de distribución Gumbel + Gumbel, en su forma más difundida, se acepta que ambas poblaciones siguen distribuciones, por ejemplo, de valores extremos tipo I o Gumbel, dando origen así a la función mezclada conocida como Gumbel doble, cuya distribución resulta:

$$F(x) = \exp\left[-e^{-(x-u_1)/\alpha_1}\right] \left\{ p + (1-p)\exp\left[-e^{-(x-u_2)/\alpha_2}\right] \right\} \quad (3.15)$$

donde x es la variable aleatoria de la distribución, u_1 , u_2 son los parámetros de ubicación asociados con las poblaciones 1 y 2 respectivamente, α_1 y α_2 son los parámetros de escala asociados con las poblaciones 1 y 2 respectivamente.

3.5. Metodología propuesta seleccionando dos distribuciones univariadas diferentes.

3.5.1. Ajuste de datos

Una vez que se tienen los registros de precipitación máxima anual, se procede al ajuste de los datos a una función de distribución. Para esto se sigue la secuencia de cálculo expuesta en sus trabajos originales de Gumbel (1954 y 1956) donde propone desarrollarla como se muestra a continuación.

- Ordenamiento de datos.
- Determinación de periodo de retorno.
- Valores de variable reducida.
- Valor de probabilidad.
- Ajuste a función de distribución y graficado de datos.

3.5.1.1. Ordenamiento de los datos

Al contar con la serie de tiempo de la estación meteorológica, el primer paso consiste en ordenar los datos, es decir, los valores de la variable aleatoria x , en orden creciente debido a que se trata de valores máximos anuales. Al cumplir con este requerimiento, implica alterar el orden cronológico del registro. Inmediatamente se asignó a cada dato un número de orden i , teniendo en cuenta que el número 1 corresponde al suceso menos probable, es decir, la secuencia resulta ser la siguiente:

$$x_1 > x_2 > \dots > x_i > \dots x_n$$

3.5.1.2. Determinación de periodo de retorno

En hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodo de retorno en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta más claro ya que tiene las

mismas unidades (tiempo) que la vida útil de las obras. Por lo tanto, el siguiente paso consiste en asignar a cada dato un valor de periodo de retorno o intervalo de recurrencia (Ecuación 3.16), que representa el número de años en que un evento puede ser igualado o excedido.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (3.16)$$

donde n y m son el número de datos y número de orden respectivamente.

3.5.1.3. Valores de la variable reducida

Como alternativa, es conveniente el graficado de los puntos a partir de la variable reducida. A continuación se presenta la formulación de la variable reducida a partir de la distribución Gumbel en términos del periodo de retorno.

Una variable reducida y puede definirse como

$$y = \frac{x-a}{b} \quad (3.17)$$

sustituyendo la variable reducida en la ecuación 3.10

$$F(x) = \exp\{-\exp[y]\}$$

resolviendo para y :

$$y = -\ln \left[\ln \left(\frac{1}{F(x)} \right) \right] \quad (3.18)$$

luego

$$F(x) = \frac{T-1}{T}$$

y sustituyendo en la ecuación 3.18

$$y = -\ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

ó

$$y = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad (3.19)$$

a partir de la ecuación (3.19) se obtiene cada uno de los valores de variable reducida y que serán graficados posteriormente.

3.5.1.4. Valor de probabilidad

Cuando la variable aleatoria considerada es una magnitud relacionada con algún fenómeno natural (caudales, precipitación, velocidad de viento, etc.), es conveniente referirse a periodos de retorno en lugar de probabilidades de ocurrencia. Si p es la probabilidad que una variable x supere un dado valor X en un cierto lapso (por lo general un año), el periodo de retorno T representará el número de unidades de tiempo que se transcurrirán en promedio entre dos oportunidades en que la variable supere dicho valor, es decir:

$$p = P(x \geq X) = \frac{1}{T}$$

Por lo tanto, es equivalente especificar un periodo de retorno o recurrencia de 100 años o una probabilidad anual de 0.01.

3.5.1.5. Ajuste a función de distribución

Un punto importante de este análisis es la determinación del ajuste más adecuado a la serie de tiempo. Por tal razón, se hace uso del criterio de error mínimo estándar de ajuste SEF (por sus siglas en inglés), definido por Kite (1998) como se muestra en la ecuación 3.20. En este criterio se realiza una comparación entre los valores reales (medidos) y los valores calculados por alguna función de distribución definida.

$$SEF_j = \left[\sum_{i=1}^n (g_i - h_i)^2 / (n - q) \right]^{1/2} \quad (3.20)$$

donde $g_i, i = 1, \dots, n$ son los eventos registrados, $h_i, i = 1, \dots, n$ son las magnitudes calculadas de los eventos a partir de la distribución de probabilidad de las

probabilidades obtenidas de las filas ordenadas de g_i , $i = 1, \dots, N$, q es el número de parámetros estimados para la distribución marginal, n es la longitud de registro, y J es el número de la estación analizada.

Para facilitar el cálculo y obtener el SEF , se utiliza el programa AX desarrollado por Martín Jiménez Espinosa en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Este programa incluye las funciones de distribución Normal, Log Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Gumbel Doble. En este se realiza el ajuste de la serie de datos a partir de todas las distribuciones (Global) y muestra en una tabla resumen el valor de error mínimo estándar de ajuste (Ecuación 3.20) de cada distribución. Además, se presenta el valor mínimo de SEF y en consecuencia que se adecua mejor a los datos. En este caso, los valores obtenidos pueden ser alguna distribución univariada o de la función de distribución Gumbel Doble. Cuando el cálculo en el AX se realiza de manera global, se considera un $p = 0.80$ en la ecuación Gumbel Doble (**Figura 3.2**).

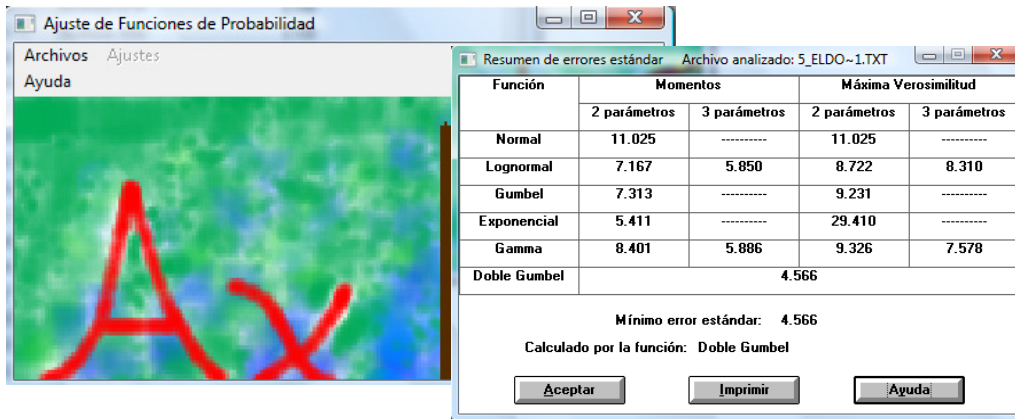


Figura 3.2. Resumen de errores mínimos estándar de ajuste en AX.

Para determinar un ajuste más adecuado de la función Gumbel Doble, se realiza la optimización del parámetro p , en esta opción se encuentra el menor error estándar de ajuste a partir del método de Rosenbrock que es un procedimiento de búsqueda directa que encuentra el mínimo de una función no lineal de múltiples variables no restringidas o acotadas (Rosenbrock, 1960).

Al conocer la función que presenta el menor error, en el siguiente paso se obtiene el ajuste a esa función de distribución en el AX. Además, se muestra la tabla resumen del ajuste realizado en la estación (**Figura 3.3**).

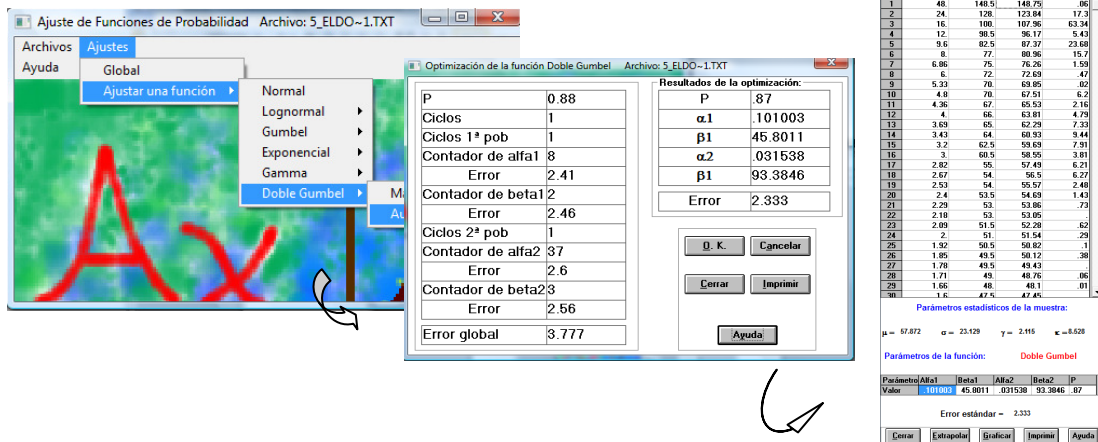


Figura 3.3. Ajuste automático a la función Gumbel Doble.

Estimación de error mínimo cuadrático de ajuste.

Para conocer el error que existe de los valores estimados respecto de los registrados se hace uso del error mínimo cuadrático, que es la diferencia del valor registrado (g_i) y el valor estimado (h_i) elevados al cuadrado como se muestra en la siguiente expresión:

$$(g_i - h_i)^2$$

donde g_i , $i = 1, \dots, n$ son los eventos registrados, h_i , $i = 1, \dots, n$ son las magnitudes calculadas de los eventos a partir de la distribución de probabilidad de las probabilidades obtenidas de las filas ordenadas de g_i , $i = 1, \dots, N$, q es el número de parámetros estimados para la distribución marginal, n es la longitud de registro.

Tabla de datos

En esta tabla se tiene el resumen de los cálculos realizados, donde se muestra el número de orden, periodo de retorno (T), variable reducida (y), precipitación (P), probabilidad (p), valor estimado a partir de programa AX y el error mínimo cuadrático

sucesivamente en las columnas. A continuación se presentan los resultados obtenidos para la estación El Doctor, Cadereyta.

Tabla 3.1 Ajuste a función de distribución, estación El Doctor, Cadereyta.

No de orden (No.)	Periodo de retorno T, años	Variable reducida (y)	Precipitación (P),mm	Probabilidad, p	Valor estimado, mm	Error mínimo cuadrático (EMC)
47	1.02	-1.35	29.0	0.98	31.84	8.07
46	1.04	-1.16	30.5	0.96	34.05	12.60
45	1.07	-1.02	35.0	0.94	35.59	0.35
44	1.09	-0.91	38.0	0.92	36.83	1.37
43	1.12	-0.82	39.0	0.90	37.89	1.23
42	1.14	-0.73	40.0	0.88	38.85	1.32
41	1.17	-0.66	41.0	0.85	39.73	1.61
40	1.20	-0.58	41.0	0.83	40.55	0.20
39	1.23	-0.52	43.0	0.81	41.33	2.79
38	1.26	-0.45	43.0	0.79	42.08	0.85
37	1.30	-0.39	43.0	0.77	42.81	0.04
36	1.33	-0.33	44.0	0.75	43.52	0.23
35	1.37	-0.27	45.0	0.73	44.21	0.62
34	1.41	-0.21	45.5	0.71	44.90	0.36
33	1.45	-0.15	45.5	0.69	45.57	0.00
32	1.50	-0.09	46.0	0.67	46.25	0.06
31	1.55	-0.04	46.0	0.65	46.92	0.85
30	1.60	0.02	47.5	0.63	47.60	0.01
29	1.66	0.08	48.0	0.60	48.28	0.08
28	1.71	0.13	49.0	0.58	48.97	0.00
27	1.78	0.19	49.5	0.56	49.67	0.03
26	1.85	0.25	49.5	0.54	50.38	0.77
25	1.92	0.31	50.5	0.52	51.10	0.36
24	2.00	0.37	51.0	0.50	51.84	0.71
23	2.09	0.43	51.5	0.48	52.61	1.23
22	2.18	0.49	53.0	0.46	53.39	0.15
21	2.29	0.55	53.0	0.44	54.20	1.44
20	2.40	0.62	53.5	0.42	55.05	2.40
19	2.53	0.69	54.0	0.40	55.93	3.72
18	2.67	0.76	54.0	0.38	56.86	8.18
17	2.82	0.83	55.0	0.35	57.84	8.07
16	3.00	0.90	60.5	0.33	58.88	2.62
15	3.20	0.98	62.5	0.31	59.98	6.35
14	3.43	1.06	64.0	0.29	61.18	7.95
13	3.69	1.15	65.0	0.27	62.48	6.35
12	4.00	1.25	66.0	0.25	63.91	4.37
11	4.36	1.35	67.0	0.23	65.51	2.22
10	4.80	1.45	70.0	0.21	67.32	7.18
9	5.33	1.57	70.0	0.19	69.42	0.34
8	6.00	1.70	72.0	0.17	71.92	0.01
7	6.86	1.85	75.0	0.15	75.04	0.00
6	8.00	2.01	77.0	0.13	79.14	4.58
5	9.60	2.21	82.5	0.10	84.96	6.05
4	12.00	2.44	98.5	0.08	93.86	21.53
3	16.00	2.74	100.0	0.06	106.88	47.33
2	24.00	3.16	128.0	0.04	123.74	18.15
1	48.00	3.86	148.5	0.02	148.01	0.24

Para observar visualmente el comportamiento de la precipitación P de la **Tabla 3.1**, se construye la gráfica de variable reducida. En el eje de las abscisas se coloca la

variable reducida y periodo de retorno (eje inferior y superior respectivamente), y la columna de precipitación (P) es representada en el eje de las ordenadas (**Figura 3.4**).

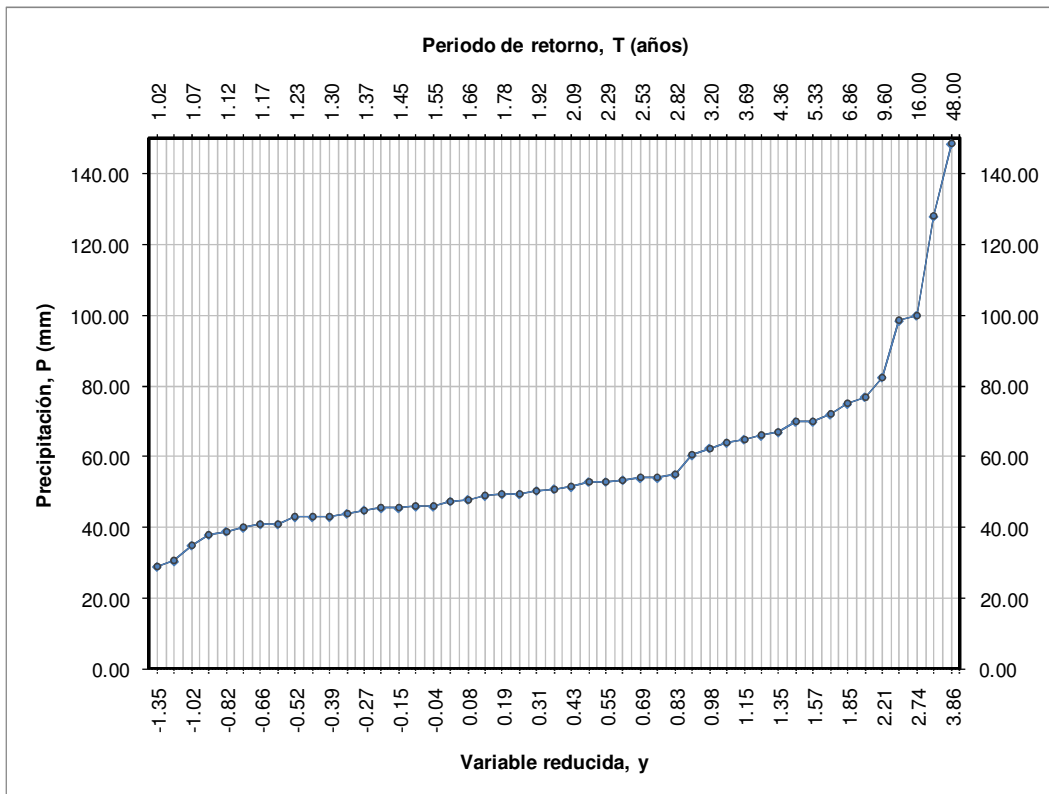


Figura 3.4 Gráfica de variable reducida de estación El Doctor, Cadereyta.

3.5.2. Análisis y división de la muestra

Si bien, la distribución Gumbel Doble es ampliamente utilizada para presentar el comportamiento de los datos como origen de dos poblaciones o fenómenos, es importante conocer otro tipo de combinaciones de distribuciones que representen adecuadamente la tendencia de los datos. Por tal motivo, la segunda parte del análisis consiste en dividir la muestra en dos y realizar un análisis univariado independiente en cada población.

Para analizar la muestra original en dos poblaciones, se hace uso de dos criterios. En el primero, se parte la serie de tiempo a partir del cero de la variable

reducida y como segunda opción, la división se realiza en dos muestras de igual tamaño.

3.5.2.1. División de muestra a partir del cero de variable reducida

La muestra se divide en dos series o poblaciones tomando como criterio la variable reducida. La población 1, está representada con los datos que se encuentran antes del cero y la población 2, los que se encuentran después del cero (**Figura 3.5**).

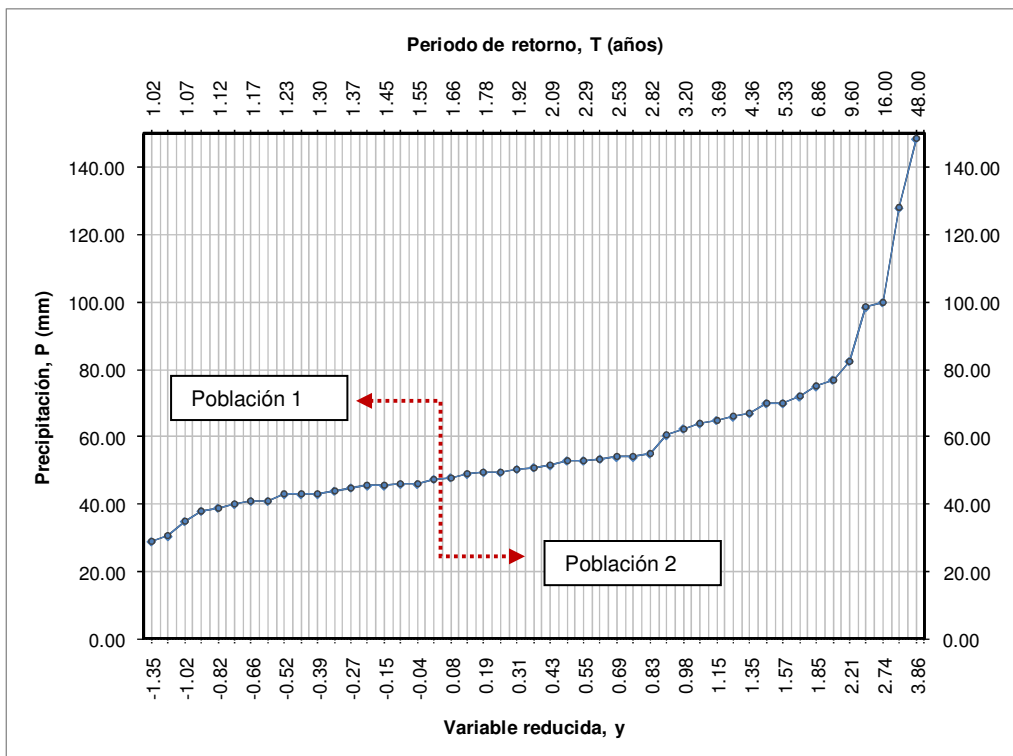


Figura 3.5 División de muestra a partir del cero de la variable reducida en Estación El Doctor, Cadereyta.

Al igual que la figura anterior, la **Tabla 3.2** muestra la división de la serie de tiempo en dos poblaciones. En esta, se coloca el número de orden obtenido de mayor a menor, el periodo de retorno (T), variable reducida (y) y la serie de tiempo de la precipitación (P), el VEFC es la estimación del valor de precipitación considerando los datos como una población, el VE2P es el valor estimado al dividir la muestra en dos poblaciones y finalmente los errores mínimos cuadráticos al tomar una sola serie (VEFC) y considerando dos (VE2P).

Tabla 3.2 División de muestra a partir del cero de la variable reducida en estación El Doctor, Cadereyta.

No.	T, años	Variable reducida (y)	Precipitación (P),mm	Probabilidad, p	VEFC	VE2P	EMC (VEFC)	EMC (VE2P)
47	1.02	-1.35	29.0	0.98	31.84	32.58	8.07	12.82
46	1.04	-1.16	30.5	0.96	34.05	34.52	12.60	16.16
45	1.07	-1.02	35.0	0.94	35.59	35.84	0.35	0.71
44	1.09	-0.91	38.0	0.92	36.83	36.90	1.37	1.21
43	1.12	-0.82	39.0	0.90	37.89	37.81	1.23	1.42
42	1.14	-0.73	40.0	0.88	38.85	38.63	1.32	1.88
41	1.17	-0.66	41.0	0.85	39.73	39.40	1.61	2.56
40	1.20	-0.58	41.0	0.83	40.55	40.13	0.20	0.76
39	1.23	-0.52	43.0	0.81	41.33	40.85	2.79	4.62
38	1.26	-0.45	43.0	0.79	42.08	41.57	0.85	2.04
37	1.30	-0.39	43.0	0.77	42.81	42.31	0.04	0.48
36	1.33	-0.33	44.0	0.75	43.52	43.08	0.23	0.85
35	1.37	-0.27	45.0	0.73	44.21	43.90	0.62	1.21
34	1.41	-0.21	45.5	0.71	44.90	44.81	0.36	0.48
33	1.45	-0.15	45.5	0.69	45.57	45.86	0.00	0.13
32	1.50	-0.09	46.0	0.67	46.25	47.18	0.06	1.39
31	1.55	-0.04	46.0	0.65	46.92	49.12	0.85	9.73
30	1.60	0.02	47.5	0.63	47.60	44.47	0.01	9.18
29	1.66	0.08	48.0	0.60	48.28	45.28	0.08	7.40
28	1.71	0.13	49.0	0.58	48.97	46.12	0.00	8.29
27	1.78	0.19	49.5	0.56	49.67	46.98	0.03	6.35
26	1.85	0.25	49.5	0.54	50.38	47.88	0.77	2.62
25	1.92	0.31	50.5	0.52	51.10	48.82	0.36	2.82
24	2.00	0.37	51.0	0.50	51.84	49.79	0.71	1.46
23	2.09	0.43	51.5	0.48	52.61	50.80	1.23	0.49
22	2.18	0.49	53.0	0.46	53.39	51.86	0.15	1.30
21	2.29	0.55	53.0	0.44	54.20	52.97	1.44	0.00
20	2.40	0.62	53.5	0.42	55.05	54.13	2.40	0.40
19	2.53	0.69	54.0	0.40	55.93	55.35	3.72	1.82
18	2.67	0.76	54.0	0.38	56.86	56.64	8.18	6.97
17	2.82	0.83	55.0	0.35	57.84	58.00	8.07	9.00
16	3.00	0.90	60.5	0.33	58.88	59.45	2.62	1.10
15	3.20	0.98	62.5	0.31	59.98	60.99	6.35	2.28
14	3.43	1.06	64.0	0.29	61.18	62.63	7.95	1.88
13	3.69	1.15	65.0	0.27	62.48	64.40	6.35	0.36
12	4.00	1.25	66.0	0.25	63.91	66.30	4.37	0.09
11	4.36	1.35	67.0	0.23	65.51	68.38	2.22	1.90
10	4.80	1.45	70.0	0.21	67.32	70.65	7.18	0.42
9	5.33	1.57	70.0	0.19	69.42	73.16	0.34	9.99
8	6.00	1.70	72.0	0.17	71.92	75.96	0.01	15.68
7	6.86	1.85	75.0	0.15	75.04	79.15	0.00	17.22
6	8.00	2.01	77.0	0.13	79.14	82.82	4.58	33.87
5	9.60	2.21	82.5	0.10	84.96	87.16	6.05	21.72
4	12.00	2.44	98.5	0.08	93.86	92.48	21.53	36.24
3	16.00	2.74	100.0	0.06	106.88	99.33	47.33	0.45
2	24.00	3.16	128.0	0.04	123.74	108.99	18.15	361.38
1	48.00	3.86	148.5	0.02	148.01	125.51	0.24	528.54

Población 1

Población 2

Como siguiente paso, se realiza la sumatoria de error mínimo cuadrático (EMC) en cada población y se compara con el EMC obtenido cuando se considera una serie (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Sumatoria de error mínimo cuadrático en estación El Doctor, Cadereyta.

Σ de error VEFC antes del cero		Σ de error VE2P después del cero		Σ de error total de datos	
VEFC	VE2P	VEFC	VE2P	VEFC	VE2P
350.49	167.41	159.80	62.62	510.29	230.03

3.5.2.2. División de muestra en dos de igual tamaño

Como segunda propuesta, la serie de tiempo se divide en dos poblaciones de la misma longitud de registro (**Figura 3.3**). La población 1 contiene el 50% de los datos y la segunda el 50% de datos restantes (**Tabla 3.4**). En algunos casos el número de datos es un valor impar, para esto, se considera que la población1 presenta un valor más que la población 2.

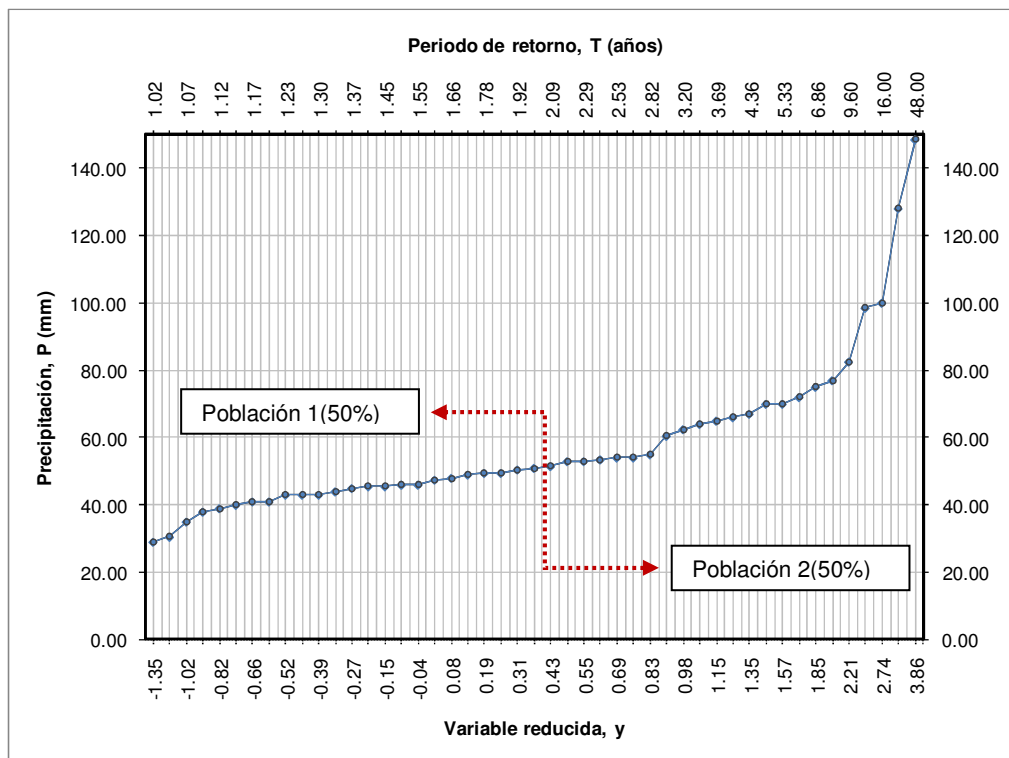


Figura 3.6 División de muestra en dos poblaciones de igual longitud de registro, El Doctor.

Para obtener el error mínimo cuadrático (EMC) se sigue el mismo procedimiento mostrado anteriormente, la diferencia radica en los datos considerados para cada población ya que en este caso las dos poblaciones son de igual tamaño.

Tabla 3.4 División de muestra en dos poblaciones de igual tamaño en estación El Doctor, Cadereyta.

No.	T, años	Variable reducida (y)	Precipitación (P),mm	Probabilidad, p	VEFC	VE2P	EMC (VEFC)	EMC (VE2P)
47	1.02	-1.35	29.0	0.98	31.84	32.58	8.07	12.82
46	1.04	-1.16	30.5	0.96	34.05	34.52	12.60	16.16
45	1.07	-1.02	35.0	0.94	35.59	35.84	0.35	0.71
44	1.09	-0.91	38.0	0.92	36.83	36.90	1.37	1.21
43	1.12	-0.82	39.0	0.90	37.89	37.81	1.23	1.42
42	1.14	-0.73	40.0	0.88	38.85	38.63	1.32	1.88
41	1.17	-0.66	41.0	0.85	39.73	39.40	1.61	2.56
40	1.20	-0.58	41.0	0.83	40.55	40.13	0.20	0.76
39	1.23	-0.52	43.0	0.81	41.33	40.85	2.79	4.62
38	1.26	-0.45	43.0	0.79	42.08	41.57	0.85	2.04
37	1.30	-0.39	43.0	0.77	42.81	42.31	0.04	0.48
36	1.33	-0.33	44.0	0.75	43.52	43.08	0.23	0.85
35	1.37	-0.27	45.0	0.73	44.21	43.90	0.62	1.21
34	1.41	-0.21	45.5	0.71	44.90	44.81	0.36	0.48
33	1.45	-0.15	45.5	0.69	45.57	45.86	0.00	0.13
32	1.50	-0.09	46.0	0.67	46.25	47.18	0.06	1.39
31	1.55	-0.04	46.0	0.65	46.92	49.12	0.85	9.73
30	1.60	0.02	47.5	0.63	47.60	44.47	0.01	9.18
29	1.66	0.08	48.0	0.60	48.28	45.28	0.08	7.40
28	1.71	0.13	49.0	0.58	48.97	46.12	0.00	8.29
27	1.78	0.19	49.5	0.56	49.67	46.98	0.03	6.35
26	1.85	0.25	49.5	0.54	50.38	47.88	0.77	2.62
25	1.92	0.31	50.5	0.52	51.10	48.82	0.36	2.82
24	2.00	0.37	51.0	0.50	51.84	49.79	0.71	1.46
23	2.09	0.43	51.5	0.48	52.61	50.80	1.23	0.49
22	2.18	0.49	53.0	0.46	53.39	51.86	0.15	1.30
21	2.29	0.55	53.0	0.44	54.20	52.97	1.44	0.00
20	2.40	0.62	53.5	0.42	55.05	54.13	2.40	0.40
19	2.53	0.69	54.0	0.40	55.93	55.35	3.72	1.82
18	2.67	0.76	54.0	0.38	56.86	56.64	8.18	6.97
17	2.82	0.83	55.0	0.35	57.84	58.00	8.07	9.00
16	3.00	0.90	60.5	0.33	58.88	59.45	2.62	1.10
15	3.20	0.98	62.5	0.31	59.98	60.99	6.35	2.28
14	3.43	1.06	64.0	0.29	61.18	62.63	7.95	1.88
13	3.69	1.15	65.0	0.27	62.48	64.40	6.35	0.36
12	4.00	1.25	66.0	0.25	63.91	66.30	4.37	0.09
11	4.36	1.35	67.0	0.23	65.51	68.38	2.22	1.90
10	4.80	1.45	70.0	0.21	67.32	70.65	7.18	0.42
9	5.33	1.57	70.0	0.19	69.42	73.16	0.34	9.99
8	6.00	1.70	72.0	0.17	71.92	75.96	0.01	15.68
7	6.86	1.85	75.0	0.15	75.04	79.15	0.00	17.22
6	8.00	2.01	77.0	0.13	79.14	82.82	4.58	33.87
5	9.60	2.21	82.5	0.10	84.96	87.16	6.05	21.72
4	12.00	2.44	98.5	0.08	93.86	92.48	21.53	36.24
3	16.00	2.74	100.0	0.06	106.88	99.33	47.33	0.45
2	24.00	3.16	128.0	0.04	123.74	108.99	18.15	361.38
1	48.00	3.86	148.5	0.02	148.01	125.51	0.24	528.54

Población 1

Población 2

En seguida, se realiza la sumatoria de error mínimo cuadrático (EMC) en cada población y se compara con el EMC obtenido cuando se considera solo una serie como se muestra en la **Tabla 3.5**.

Tabla 3.5. Sumatoria de EMC en estación El Doctor, Cadereyta (dos poblaciones de igual tamaño).

Σ de error VEFC población 1 (50%)		Σ de error VE2P Población 2 (50%)		Σ de error total de datos	
VEFC	VE2P	VEFC	VE2P	VEFC	VE2P
383.10	179.74	127.19	50.29	510.29	230.03

3.6. Regionalización de parámetros

La representación espacial de los parámetros, se hace a partir de la distribución Gumbel Doble optimizada. Para esto, se obtienen los valores de los parámetros α_1 , β_1 (correspondientes a la población 1), α_2 , β_2 (segunda población) y el parámetro de asociación entre ambas poblaciones p . Debido a que las estaciones analizadas se encuentran distribuidas dentro del estado, se realiza una interpolación de los valores a partir del método de Kriging lineal. Este método es geoestadístico de estimación de puntos que utiliza un modelo de variograma para la obtención de datos. Kriging calcula los pesos que se darán a cada punto de referencias usados en la valoración. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón. Fue desarrollada inicialmente por Daniel G. Krige a partir del análisis de regresión entre muestras y bloques de mena, las cuales fijaron la base de la geoestadística lineal.

Como resultado de la interpolación, se muestra la variación espacial de cada parámetro a lo largo de los estados de Chiapas y Querétaro a partir de isolíneas.

CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO: QUERÉTARO

Con el propósito de determinar la influencia que tienen los fenómenos climatológicos en los registros de precipitación, se hace un estudio de las series de tiempo en las diferentes estaciones del estado de Querétaro a partir de distribuciones univariadas y mezcladas. Además, se determina la influencia que tienen eventos meteorológicos como los huracanes en los registros de lluvia en estados que no se encuentran en las costas del país y en consecuencia no son directamente vulnerables a su impacto.

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias de las series de tiempo en las estaciones meteorológicas, estas deben contar con una longitud de registro mínima de 20 años para el estado de Querétaro según recomendaciones realizadas por Esparza (2005). Es importante señalar que por ejemplo, una estación puede tener registros desde el año de 1939 hasta el año 1994, lo que en teoría serían 55 datos de lluvia máxima anual en 24 horas, pero que el número real de años del registro es aquel que tenga diferente de cero y que no contenga leyendas de datos incompletos o sin datos. Además, las estaciones deben contar con su localización geográfica, la longitud y latitud respectiva para ubicarla posteriormente en los mapas de regionalización. Además de su altitud sobre el nivel del mar, que puede ser un parámetro importante en los datos obtenidos.

4.1. Ubicación geográfica y características climatológicas

Querétaro se ubica en el centro geográfico de México entre las coordenadas geográficas: Latitud Norte $20^{\circ}01' 0''$ y $21^{\circ}40'00''$, longitud Oeste $99^{\circ}02'00''$ y $100^{\circ}36'00''$ (**Figura 4.1**). Colinda al norte con el estado de San Luis Potosí, al sur con el Estado de México y Michoacán, al este con Hidalgo, y al Oeste con Guanajuato. (INEGI, 2011).

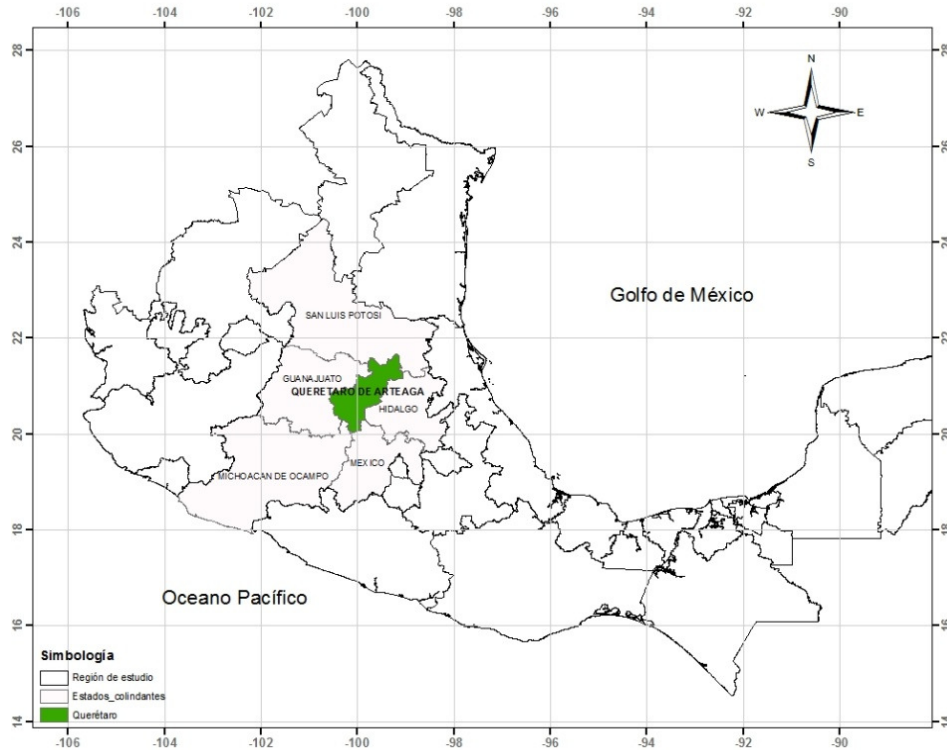


Figura 4.1 Ubicación del estado de Querétaro dentro de la república mexicana.

Cuenta con una superficie total de 11,769 km² y su territorio se ubica en dos cuencas hidrológicas; Río Pánuco con 9,316 km² la cual vierte al golfo de México y la del río Lerma-Chapala, con 2,453 km² que desemboca al Océano Pacífico (CEA, 2011).

El estado se divide en 18 municipios, con una población de 1,827,937 habitantes (según estimaciones del INEGI, 2010), cerca del 78 % de la población se encuentra en la zona urbana y 22% en zonas rurales, teniendo un promedio de 156 hab/Km², razón por la cual, Querétaro se encuentra entre los Estados con mayor densidad poblacional por kilómetro cuadrado.

El 51% de la superficie del estado presenta clima seco y semiseco localizado en la región centro; el 24.3% clima cálido subhúmedo en la región de la Sierra Madre Oriental; el 23% clima templado subhúmedo localizado en la región sur, centro y

noreste; el 1% clima cálido húmedo hacia el noreste y el restante 0.7% clima templado húmedo al noreste de estado (**Figura 4.2**).

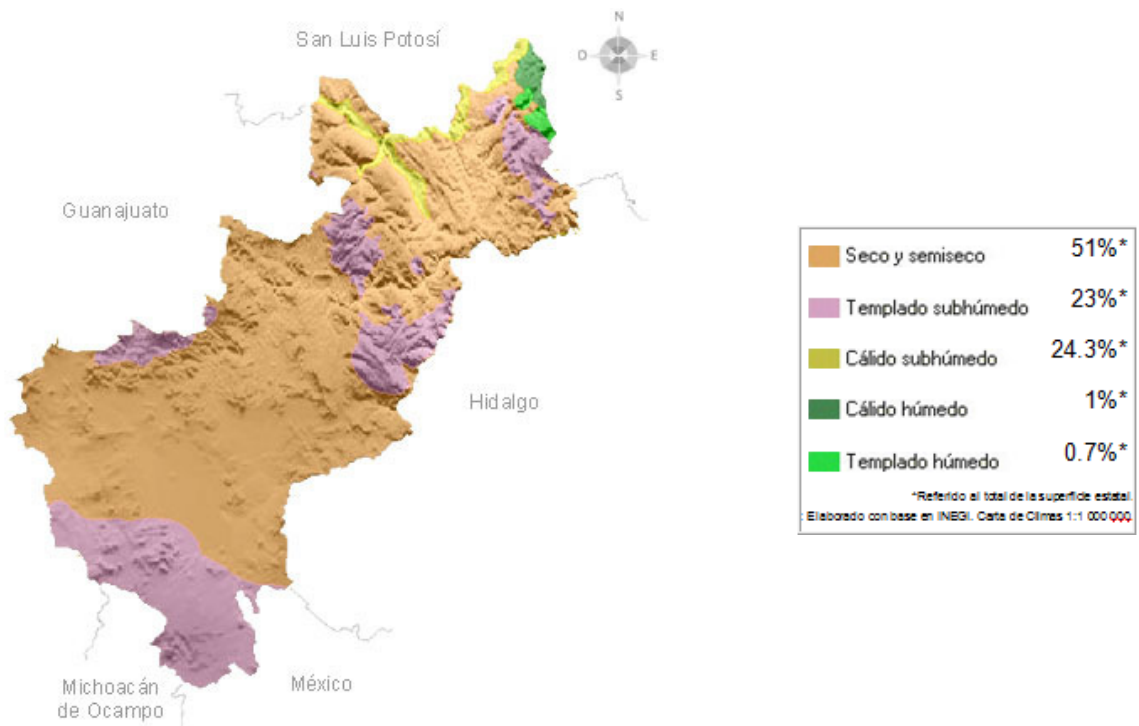


Figura 4.2 Tipos de clima del estado de Querétaro (INEGI, 2011).

La temperatura media anual es de 18°C, la temperatura máxima promedio es de 28°C y se presenta en los meses de abril y mayo, la temperatura mínima promedio es de 6°C durante el mes de enero. y precipitación media estatal es de 570 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre.

4.2. Información disponible en estado de Querétaro

Querétaro cuenta con 66 estaciones climatológicas distribuidas en todo el territorio que pertenecen a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) quien se encarga del mantenimiento, recopilación de información y manejo de datos. Debido al criterio de considerar el registro mínimo de 20 años, solo 30 de las 66 estaciones

cumplen con el requerimiento como se muestra en la **Tabla 4.1**. Debido a que el resto presentan inconsistencias, o no cuentan con un registro óptimo para el análisis.

Tabla 4.1 Estaciones climatológicas ubicadas dentro del estado de Querétaro.

No.	Edo.	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Qro.	22001	Amealco	-100.15	20.19	2640
2	Qro.	22002	Ayutla	-99.59	21.37	950
3	Qro.	22003	Campo Exp. Cadereyta	-99.81	20.70	2000
4	Qro.	22004	El Batán	-100.42	20.50	1881
5	Qro.	22005	El Doctor	-99.59	20.85	2500
6	Qro.	22006	El Pueblito	-100.45	20.52	1826
7	Qro.	22007	Jalpan (SMN)	-99.48	21.22	760
8	Qro.	22009	La Palma	-100.18	20.52	1962
9	Qro.	22011	Pedro Escobedo	-100.13	20.50	2000
10	Qro.	22012	Peñamiller (SMN)	-99.81	21.06	1325
11	Qro.	22015	San Juan del Río(SMN)	-100.00	20.38	1978
12	Qro.	22017	Tolimán	-99.90	20.86	1520
13	Qro.	22018	Villa Corregidora	-100.43	20.53	1800
14	Qro.	22019	La Lagunita	-99.26	21.24	1050
15	Qro.	22022	San Juan del Río	-100.00	20.37	1945
16	Qro.	22024	Tres Lagunas	-99.20	21.33	1870
17	Qro.	22025	Presa Centenario	-99.90	20.51	1912
18	Qro.	22026	Colón	-100.05	20.79	1920
19	Qro.	22029	Huimilpan	-100.28	20.38	2250
20	Qro.	22031	Presa Paso de Tablas	-99.84	20.54	1880
21	Qro.	22033	San Pablo	-100.00	20.13	2400
22	Qro.	22034	Villa Bernal	-99.94	20.74	2050
23	Qro.	22035	Vizarrón	-99.70	20.83	2025
24	Qro.	22036	Arroyo Seco	-99.69	21.55	990
25	Qro.	22042	La Llave	-99.99	20.46	1910
26	Qro.	22045	Juriquilla	-100.46	20.70	1885
27	Qro.	22046	Nogales	-100.14	20.70	2030
28	Qro.	22047	Presa el Capulín	-100.03	20.12	2400
29	Qro.	22049	El Zamorano	-100.21	20.90	2590
30	Qro.	22056	Higuerillas	-99.76	20.91	1580

En la **Figura 4.3** se muestra la ubicación espacial de las estaciones dentro del estado, este mapa fue generado a partir del programa Surfer 8.0.

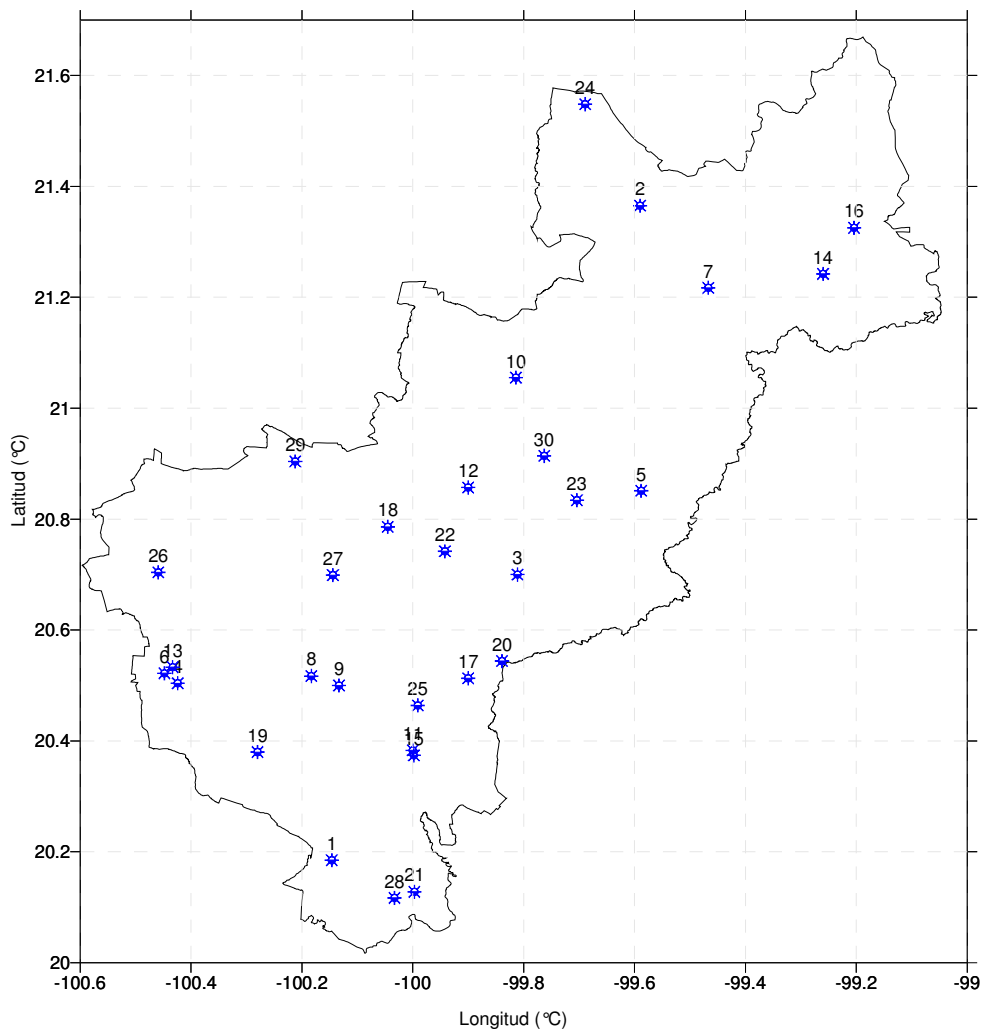


Figura 4.3 Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Querétaro con registro de precipitación mayor a 20 años.

Para conocer la distribución de la lluvia en el estado a lo largo del año, se obtuvo la precipitación mensual promedio de acuerdo al registro comprendido en el periodo 1941-1996 (**Tabla 4.2**), donde el mes más lluvioso es julio y el más seco febrero. En la **Figura 4.4** se observa la variación de la precipitación.

Tabla 4.2. Precipitación mensual promedio en el estado de Querétaro.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación Prom. (mm)	12.7	6.0	8.5	21.2	42.6	105.2	112.2	101.5	100.9	43.6	13.1	8.0

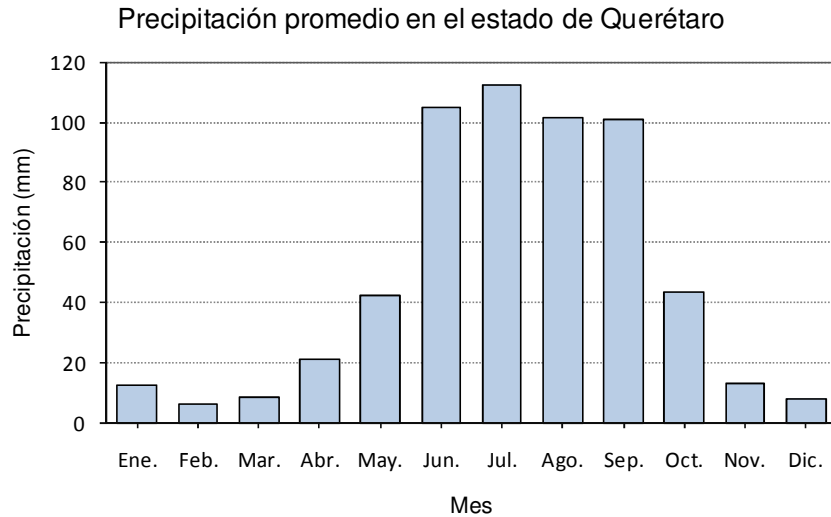


Figura 4.4 Precipitación mensual promedio en el estado de Querétaro.

4.3. Resultados: Estado de Querétaro

4.3.1. Influencia de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas

Para conocer la influencia que tienen los eventos ciclónicos en los registros de precipitación, se realizó una búsqueda de los huracanes que por su trayectoria pasaron o se acercaron a Querétaro, tomando en cuenta un radio de influencia de 600 km. En seguida, se relacionó este con la fecha en que se presentó y el dato de precipitación registrado. Por lo tanto, se identificó si el registro de la estación meteorológica se encuentra dentro de los datos máximos de precipitación.

Los resultados muestran que 57 datos máximos anuales de precipitación de las estaciones meteorológicas coinciden en fecha con eventos ciclónicos (**Tabla 4.3**). Para ilustrar los valores de precipitación asociada a un evento ciclónico fueron sombreados en azul cielo. Además, se observa la división a partir de la variable reducida (—), y en dos poblaciones de igual tamaño (- · -). En el **Anexo 1** se muestra detalladamente la fecha y nombre de los huracanes relacionados con precipitaciones máximas.

Tabla 4.3 Registros de precipitación asociados a eventos ciclónicos.

No datos	Estación														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	15.6	27.0	5.0	16.5	29.0	11.0	30.0	26.5	15.0	10.0	22.5	13.5	17.6	20.2	13.0
2	16.0	30.0	13.0	26.0	30.5	17.3	36.0	29.0	23.0	20.0	32.0	20.0	22.5	20.5	25.0
3	16.1	30.0	20.3	27.2	35.0	21.5	37.5	29.4	30.4	20.0	32.5	20.0	31.2	23.5	29.5
4	16.2	40.5	33.0	29.7	38.0	22.4	38.0	31.2	35.0	21.0	33.2	20.0	32.4	25.5	30.0
5	16.2	41.5	33.8	33.2	39.0	32.3	38.5	31.5	36.0	23.2	36.0	20.0	35.0	25.8	31.1
6	18.0	44.0	40.0	34.8	40.0	32.7	40.0	33.0	37.5	25.0	37.5	21.0	38.0	30.4	32.2
7	18.2	50.0	40.0	35.7	41.0	36.0	40.0	38.4	40.0	25.0	37.7	23.0	39.2	31.5	36.0
8	21.1	50.5	40.5	36.3	41.0	37.3	41.0	38.8	40.5	27.5	39.2	24.0	43.0	35.5	36.0
9	21.2	52.0	42.0	37.0	43.0	39.2	44.4	39.8	41.0	28.3	41.0	24.0	46.5	40.0	36.0
10	23.1	53.5	43.0	37.5	43.0	40.6	44.5	40.0	41.0	28.3	41.2	24.0	48.5	40.5	37.0
11	24.4	59.0	45.6	44.2	43.0	40.7	45.0	40.6	43.0	28.5	41.5	24.1	49.0	42.5	37.3
12	25.2	60.5	46.8	45.0	44.0	40.9	48.7	40.6	44.5	30.0	41.5	25.0	49.5	43.0	37.7
13	26.0	63.0	48.5	46.0	45.0	43.5	49.5	42.0	45.0	31.0	43.0	25.0	54.5	44.0	38.8
14	26.5	64.5	50.0	46.2	45.5	44.5	50.0	43.8	46.0	32.5	45.0	25.0	57.0	44.5	40.0
15	28.0	71.5	50.5	46.4	45.5	45.6	51.9	44.0	47.0	34.2	45.3	25.0	59.1	48.5	44.4
16	28.0	74.0	51.4	46.5	46.0	46.7	52.5	44.3	48.0	35.0	46.2	25.8	59.4	53.3	46.7
17	29.5	78.0	53.0	49.5	46.0	47.5	54.5	46.0	50.0	35.4	47.9	26.0	71.0	54.2	47.6
18	29.5	80.0	56.5	53.6	47.5	48.5	55.0	46.0	50.0	36.0	49.5	26.0	71.4	57.0	49.5
19	29.5	80.0	59.0	54.5	48.0	49.5	55.5	46.8	50.0	37.0	50.0	26.0	75.4	59.3	50.1
20	30.0	82.0	59.6	54.6	49.0	51.0	56.0	48.0	51.5	38.1	50.1	26.0	76.4	65.0	51.0
21	32.0	95.0	60.0	56.4	49.5	53.0	56.5	48.2	52.0	38.7	50.5	28.0	83.6	65.5	52.0
22	32.1	103.0	60.0	57.4	49.5	53.4	57.5	48.2	54.0	39.0	50.7	29.0	86.1	71.0	55.6
23	32.4	104.0	65.0	58.8	50.5	54.5	59.5	49.3	54.0	39.6	56.8	30.0		80.0	56.0
24	35.4	107.0	72.5	60.3	51.0	54.6	60.5	51.5	60.0	40.5	58.7	31.5		80.8	60.7
25	36.0	107.0	73.4	60.8	51.5	55.8	62.0	51.5	60.0	41.0	66.0	32.0		100.0	66.0
26	37.0	113.0	76.0	61.2	53.0	57.0	62.0	54.0	61.7	41.5	71.8	34.0		100.0	66.5
27	38.4	115.0	79.0	61.5	53.0	57.0	64.0	54.8	70.0	47.5	73.5	35.0		101.0	74.9
28	40.0	117.0		61.7	53.5	57.0	64.5	56.4	72.0	48.8	86.5	35.0			86.5
29	41.5	117.5		64.8	54.0	59.1	65.0	56.5	76.0	49.5	240.0	37.0			
30	43.0	123.5		65.7	54.0	59.4	65.0	57.1	80.0	52.0		38.0			
31	43.5	129.5		66.4	55.0	60.0	65.5	57.8	80.0	54.0		38.0			
32	44.0	130.0		70.5	60.5	61.6	67.2	58.0	87.5	55.0		38.0			
33	46.5	162.5		74.3	62.5	62.0	68.0	60.5	93.0	55.5		38.0			
34	47.0			76.0	64.0	71.4	69.0	62.5	94.0	57.5		39.0			
35	48.6			90.6	65.0	75.4	69.0	66.0		57.5		39.0			
36	50.0				66.0	75.5	69.5	66.7		59.5		39.0			
37	53.2				67.0	76.4	69.8	67.2		60.2		39.0			
38	55.3				70.0	84.0	70.0	72.0		64.8		40.0			
39	57.5				70.0		72.0	85.0		75.0		40.0			
40	58.0				72.0		72.5	86.0				40.0			
41	60.0				75.0		81.0	106.3				40.0			
42	64.5				77.0		86.0					40.5			
43	66.2				82.5		86.7					40.5			
44	67.0				98.5		92.5					41.0			
45	67.0				100.0		94.0					42.0			
46	74.0				128.0		108.0					42.0			
47	76.0				148.5		116.0					42.8			
48	84.2						158.0					43.6			
49	90.0						173.2					44.0			
50	95.8						187.0					44.0			
51												46.0			
52												46.0			
53												48.0			
54												48.5			
55												49.5			
56												50.0			
57												50.4			
58												58.0			
59												60.0			
60												60.0			
61												63.0			
62												63.0			
63												65.0			
64												80.0			

Tabla 4.3 Registros de precipitación asociados a eventos ciclónicos (continuación).

No datos	Estación														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	15.0	27.0	22.5	25.3	18.5	28.0	10.0	17.0	4.0	18.0	9.8	17.1	40.2	18.2	4.5
2	20.0	27.3	27.0	34.0	28.5	30.0	20.0	21.5	21.0	18.2	12.3	18.7	41.4	20.2	20.0
3	24.5	31.0	28.8	36.5	29.0	35.0	22.1	28.6	22.0	25.4	28.4	29.2	43.4	20.5	20.0
4	29.0	31.8	35.0	36.5	29.0	38.0	25.0	29.0	22.0	26.0	35.0	30.6	45.0	20.6	20.0
5	29.5	32.2	35.3	38.5	33.0	38.0	28.0	30.0	22.0	30.0	36.0	32.5	47.1	20.7	23.5
6	30.0	34.0	36.5	39.3	33.0	39.0	29.0	30.0	30.0	31.0	40.4	36.9	47.5	24.3	24.0
7	34.0	34.4	37.5	40.0	39.3	40.0	34.0	32.0	30.0	32.0	41.0	37.7	49.1	35.0	25.0
8	35.0	36.0	40.0	45.9	41.5	46.0	36.0	32.3	43.0	32.0	42.0	40.0	49.5	35.2	27.5
9	36.0	38.8	40.0	48.0	42.3	49.0	38.0	33.7	43.0	33.5	43.5	40.0	52.7	38.0	28.6
10	40.0	39.5	41.0	48.0	44.2	50.0	38.0	34.0	43.0	34.2	44.2	40.3	54.5	40.0	30.8
11	47.5	40.5	42.0	48.5	45.0	51.5	41.0	35.0	47.0	38.0	45.0	43.4	55.2	40.4	35.6
12	51.8	40.8	45.0	50.1	46.7	53.5	43.0	37.5	47.0	40.0	46.0	46.5	62.0	40.5	43.7
13	52.0	41.0	47.0	51.5	49.0	54.0	45.0	38.0	52.0	40.2	47.5	48.0	62.0	42.0	43.8
14	54.0	42.0	48.5	54.1	50.0	55.0	46.4	39.0	59.0	40.2	48.0	48.7	63.1	44.0	50.7
15	58.0	43.0	49.0	55.7	50.5	56.0	47.0	39.5	60.0	42.0	49.5	48.7	63.5	45.0	60.9
16	58.0	43.0	55.0	56.7	52.8	59.0	48.3	40.0	62.0	44.0	51.5	49.6	71.8	47.0	61.7
17	60.0	43.2	56.6	60.6	53.0	61.0	54.0	41.5	63.0	53.0	53.0	49.6	72.0	60.0	62.0
18	67.5	43.5	59.0	65.5	53.2	61.0	54.3	43.5	70.0	55.0	54.5	54.4	72.2	61.0	73.8
19	68.2	44.0	61.0	66.2	53.4	62.0	55.3	45.0	72.0	55.0	60.0	56.3	83.0	61.8	79.5
20	75.0	45.0	63.0	66.5	58.0	63.0	59.0	45.0	74.0	57.0	62.8	81.4	88.0	85.0	80.3
21	84.0	47.0	63.2	67.0	58.0	66.0	62.0	54.5	78.0	63.5	66.5		146.0	92.5	80.7
22	97.5	47.0	65.0	75.0	64.2	69.0	69.0	56.0	81.0	67.0	72.0			111.4	
23	100.0	48.0	80.0	75.8	65.0	74.5	76.6	58.5	83.0	72.0					
24	105.0	49.0		80.0	66.0	74.5	77.0	61.0	83.0	80.0					
25	126.0	50.0		82.0	68.1	82.0	80.0	68.6	91.0	90.0					
26	137.0	50.5			70.2	93.0		75.0	97.0						
27	212.0	52.0			74.5	95.0		75.2	106.0						
28		52.0			77.2	100.0		81.5							
29		52.0			82.0	102.5		112.5							
30		54.0				107.0		136.0							
31		54.5													
32		55.0													
33		55.0													
34		55.0													
35		55.5													
36		58.0													
37		60.0													
38		60.0													
39		61.5													
40		62.0													
41		64.0													
42		65.5													
43		66.0													
44		67.0													
45		70.0													
46		70.5													
47		75.5													
48		90.0													
49		90.0													
50		90.5													

Como se muestra en la tabla anterior, en la mayoría de las estaciones el valor máximo de la serie de tiempo no es debido a efectos ciclónicos, lo que favorece el hecho que los eventos máximos provienen de tormentas convectivas. Sin embargo, en estaciones como la de Ayutla (2), Campo Cadereyta (3), El Doctor (5), El Pueblito (6), Jalpan SMN (7), Tres Lagunas (16) y la de Vizarrón (23) si presentan el máximo valor en la fecha en que ocurrió este fenómeno. Además, la mayor parte de las

precipitaciones relacionadas con eventos ciclónicos se encuentran dentro de la segunda población. Para el caso de la variable reducida, se presentan 48 eventos (81.36%) y cuando se consideran dos poblaciones de igual tamaño el número de eventos de la segunda población es de 38 (64.41%) del total de eventos relacionados con este fenómeno.

4.3.2. Ajuste en series de tiempo completa

Como primer paso, se realizó un análisis de frecuencias con la serie de tiempo completa para cada estación del estado, utilizando las distribuciones univariadas y Gumbel Doble mencionadas en el capítulo 3. Para ejemplificar el procedimiento, se muestra la estación Vizarrón que tiene una serie de tiempo de 30 años de precipitación máxima anual (**Tabla 4.4**).

Tabla 4.4 Registro de precipitación máxima anual de la estación (Vizarrón, Querétaro).

Año	P (mm)	Año	P (mm)	Año	P (mm)
1973	54.5	1983	33.7	1993	112.5
1974	43.5	1984	30.0	1994	38.0
1975	39.5	1985	75.2	1995	35.0
1976	58.5	1986	68.6	1996	32.0
1977	45.0	1987	37.5	1997	39.0
1978	30.0	1988	61.0	1998	40.0
1979	56.0	1989	41.5	1999	34.0
1980	17.0	1990	136.0	2000	21.5
1981	28.6	1991	81.5	2001	45.0
1982	32.3	1992	29.0	2002	75.0

En seguida, se realiza el análisis de frecuencia con ayuda del programa AX, en este se obtiene el error mínimo estandarizado de ajuste que es el criterio utilizado para definir el mejor ajuste (**Figura 4.5**). En este se considera un valor del parámetro de asociación entre las poblaciones $p = 0.8$ en la función de distribución Gumbel Doble.

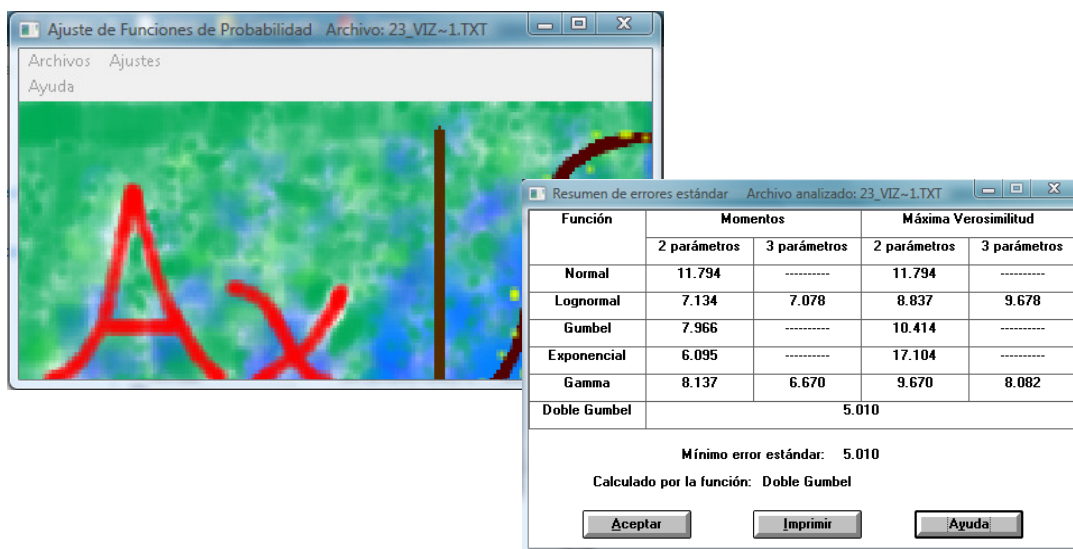


Figura 4.5 Error mínimo estándar de ajuste en la estación Vizarrón, Querétaro.

A partir del programa AX, se determinó el ajuste más adecuado a cada serie de tiempo, donde la primera opción consistió en realizar el ajuste a las diferentes distribuciones univariadas y Gumbel Doble. En este primer caso, se tomó un valor constante igual a 0.8 del parámetro de asociación p de la función mezclada. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las diferentes estaciones consideradas en el estado de Querétaro.

Tabla 4.5. Error mínimo estándar de ajuste, $p = 0.8$ en la función Doble Gumbel.

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
1	5.35	3.20	3.04	2.71	2.89	2.85	3.49	4.15	16.92	2.53	2.81	2.97	3.75	2.49
2	6.61	8.29	6.08	8.21	8.20	7.50	6.77	11.72	38.55	6.59	38.32	6.33	6.96	6.17
3	3.84	6.38	---	12.88	15.42	6.20	7.69	8.80	7.69	5.57	5.71	6.92	6.45	6.69
4	2.37	3.54	2.39	3.67	3.96	3.76	3.83	6.12	29.87	2.96	55.49	2.83	NC	4.27
5	11.02	7.15	5.84	8.70	8.23	7.30	9.22	5.39	29.30	8.39	5.87	9.32	7.56	4.56
6	2.64	4.49	6.45	6.13	21.31	4.60	5.61	7.08	29.34	3.82	4.09	4.01	5.10	4.35
7	16.47	13.49	12.98	15.40	10.50	13.48	15.68	12.33	29.70	14.40	13.36	15.62	NC	10.10
8	5.01	3.22	3.06	3.58	10.85	3.04	3.32	3.60	28.86	3.70	3.09	4.14	3.23	3.50
9	4.30	3.89	3.68	3.52	3.60	3.84	3.33	5.71	28.41	3.62	3.67	3.56	NC	3.79
10	2.42	2.69	2.11	2.62	2.77	2.67	2.33	4.56	21.32	2.19	2.09	2.05	NC	2.40
11	30.53	23.17	21.60	27.66	24.69	26.01	28.39	23.06	27.42	25.59	22.67	27.32	26.19	16.84
12	3.22	2.21	2.24	2.09	2.08	2.20	2.06	3.45	21.38	2.26	2.23	2.32	2.18	3.02
13	3.03	4.73	3.06	4.41	4.44	4.59	3.82	7.18	26.13	3.77	59.35	3.50	NC	3.71
14	6.32	5.53	4.97	4.94	5.03	5.00	5.33	6.68	21.06	4.68	4.82	4.97	NC	4.31
15	4.91	3.68	3.64	4.37	20.03	3.53	4.48	3.85	26.21	3.92	3.45	4.61	NC	3.28

Tabla 4.5. Errores mínimos estándar de ajuste, $p = 0.8$ en la función Doble Gumbel (continuación).

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
16	18.14	11.18	11.19	11.19	12.23	12.18	16.11	9.95	14.20	11.33	10.67	13.89	10.98	9.27
17	3.43	2.31	2.34	2.33	13.75	2.36	2.17	3.90	31.55	2.44	2.31	2.65	2.31	3.09
18	2.71	2.82	2.52	2.55	2.44	2.99	2.41	4.66	26.04	2.52	2.50	2.60	2.45	2.88
19	4.91	3.68	3.64	4.37	20.03	3.53	4.48	3.85	26.21	3.92	3.45	4.61	NC	3.28
20	2.05	3.40	2.07	3.30	3.41	3.68	3.43	6.03	29.20	2.72	56.02	2.55	NC	3.60
21	5.01	4.16	4.00	3.95	3.99	4.16	4.00	6.12	31.86	3.85	3.91	4.13	3.75	4.29
22	2.74	4.30	2.68	4.46	4.94	3.94	3.21	6.44	21.86	3.32	52.14	3.02	NC	4.73
23	11.80	7.13	7.08	8.84	9.69	7.98	10.43	6.10	16.94	8.14	6.68	9.72	8.12	5.02
24	4.01	8.00	8.81	15.31	31.75	6.70	6.25	10.48	25.10	6.25	6.43	6.95	8.46	5.91
25	4.78	3.47	3.41	3.10	3.17	3.31	3.56	4.51	19.46	3.22	3.28	3.72	2.97	3.29
26	4.09	5.69	7.06	8.37	26.01	5.66	6.93	7.62	25.69	5.19	5.40	5.65	7.17	6.59
27	4.50	4.72	4.56	4.53	4.52	4.62	4.34	5.80	22.62	4.60	4.59	4.56	NC	5.45
28	12.62	10.08	9.12	11.70	24.00	9.85	12.10	8.48	30.59	10.91	9.17	11.88	NC	7.93
29	9.23	6.56	6.62	6.60	7.26	6.54	8.08	6.23	14.25	6.49	6.31	7.43	NC	5.43
30	6.47	7.89	6.21	9.26	9.83	6.62	6.36	8.51	15.32	6.52	6.17	6.24	NC	4.75

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros, NC: No Converge.

Si bien, al tomar un valor constante de $p = 0.8$ en la distribución Gumbel Doble se obtiene un menor error y en consecuencia valores mejor ajustados como es el caso de la estación 5 (El Doctor Cadereyta), otras funciones univariadas siguen representando adecuadamente la serie analizada. Un ejemplo, es la estación 6 (El Pueblito, Corregidora). Debido a esto, es importante realizar otro análisis donde se presente un mejor ajuste. Por tal motivo, la segunda parte de este análisis consistió en realizar el ajuste de la distribución Gumbel Doble en el programa AX en la opción automática. En esta opción, se ingresan los límites dentro de los que se encontrará el parámetro p , estos pueden variar desde 0 a 1. Después, a partir de iteraciones se encuentra el mínimo de la función y se genera el valor optimizado de p . En la **Tabla 4.6** se presentan los resultados obtenidos en las estaciones de Querétaro.

Tabla 4.6. Error mínimo estándar de ajuste a partir de optimización de parámetro p , Querétaro.

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom		Max. Ver		
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	2Par	2Par	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
1	5.35	3.20	3.04	2.71	2.89	2.85	3.49	4.15	16.92	2.53	2.81	2.97	3.75	1.53
2	6.61	8.29	6.08	8.21	8.20	7.50	6.77	11.72	38.55	6.59	38.32	6.33	6.96	4.09
3	3.84	6.38	---	12.88	15.42	6.20	7.69	8.80	7.69	5.57	5.71	6.92	6.45	2.17
4	2.37	3.54	2.39	3.67	3.96	3.76	3.83	6.12	29.87	2.96	55.49	2.83	NC	2.22
5	11.02	7.15	5.84	8.70	8.23	7.30	9.22	5.39	29.30	8.39	5.87	9.32	7.56	2.16
6	2.64	4.49	6.45	6.13	21.31	4.60	5.61	7.08	29.34	3.82	4.09	4.01	5.10	1.86
7	16.47	13.49	12.98	15.40	10.50	13.48	15.68	12.33	29.70	14.40	13.36	15.62	NC	2.34
8	5.01	3.22	3.06	3.58	10.85	3.04	3.32	3.60	28.86	3.70	3.09	4.14	3.23	2.24
9	4.30	3.89	3.68	3.52	3.60	3.84	3.33	5.71	28.41	3.62	3.67	3.56	NC	3.04
10	2.42	2.69	2.11	2.62	2.77	2.67	2.33	4.56	21.32	2.19	2.09	2.05	NC	1.89
11	30.53	23.17	21.60	27.66	24.69	26.01	28.39	23.06	27.42	25.59	22.67	27.32	26.19	2.89
12	3.22	2.21	2.24	2.09	2.08	2.20	2.06	3.45	21.38	2.26	2.23	2.32	2.18	1.96
13	3.03	4.73	3.06	4.41	4.44	4.59	3.82	7.18	26.13	3.77	59.35	3.50	NC	2.78
14	6.32	5.53	4.97	4.94	5.03	5.00	5.33	6.68	21.06	4.68	4.82	4.97	NC	2.86
15	4.91	3.68	3.64	4.37	20.03	3.53	2.23	3.85	26.21	3.92	3.45	4.61	NC	2.46
16	18.14	11.18	11.19	11.19	12.23	12.18	16.11	9.95	14.20	11.33	10.67	13.89	10.98	4.81
17	3.43	2.31	2.34	2.33	13.75	2.36	2.17	3.90	31.55	2.44	2.31	2.65	2.31	2.11
18	2.71	2.82	2.52	2.55	2.44	2.99	2.41	4.66	26.04	2.52	2.50	2.60	2.45	2.20
19	4.91	3.68	3.64	4.37	20.03	3.53	4.48	3.85	26.21	3.92	3.45	4.61	NC	2.21
20	2.05	3.40	2.07	3.30	3.41	3.68	3.43	6.03	29.20	2.72	56.02	2.55	NC	1.91
21	5.01	4.16	4.00	3.95	3.99	4.16	4.00	6.12	31.86	3.85	3.91	4.13	3.75	2.09
22	2.74	4.30	2.68	4.46	4.94	3.94	3.21	6.44	21.86	3.32	52.14	3.02	NC	2.56
23	11.80	7.13	7.08	8.84	9.69	7.98	10.43	6.10	16.94	8.14	6.68	9.72	8.12	3.14
24	4.01	8.00	8.81	15.31	31.75	6.70	6.25	10.48	25.10	6.25	6.43	6.95	8.46	3.51
25	4.78	3.47	3.41	3.10	3.17	3.31	3.56	4.51	19.46	3.22	3.28	3.72	2.97	2.15
26	4.09	5.69	7.06	8.37	26.01	5.66	6.93	7.62	25.69	5.19	5.40	5.65	7.17	1.90
27	4.50	4.72	4.56	4.53	4.52	4.62	4.34	5.80	22.62	4.60	4.59	4.56	NC	4.17
28	12.62	10.08	9.12	11.70	24.00	9.85	12.10	8.48	30.59	10.91	9.17	11.88	NC	3.31
29	9.23	6.56	6.62	6.60	7.26	6.54	8.08	6.23	14.25	6.49	6.31	7.43	NC	4.07
30	6.47	7.89	6.21	9.26	9.83	6.62	6.36	8.51	15.32	6.52	6.17	6.24	NC	3.64

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros, NC: No Converge.

En la tabla anterior, se observa que el error mínimo estándar de ajuste disminuye significativamente cuando se considera la función Gumbel Doble con un valor óptimo de la estación en comparación con los valores obtenidos en la **Tabla 4.5**, donde se toma el valor p de 0.8. Por tal motivo, matemáticamente se asume que esta representa mejor el ajuste en comparación con un p constante como se muestra en la **Tabla 4.7**.

Tabla 4.7 Número de distribuciones obtenidas utilizando un parámetro $p = 0.8$ y optimizando p en la función Doble Gumbel.

Función de distribución	$p=0.8$	p optimizado
Normal	7	0
Log Normal	2	0
Gumbel	6	1
Exponencial	0	0
Gamma	3	0
Gumbel Doble	12	29

4.3.3. Ajuste a partir de variable reducida

Para ejemplificar los resultados obtenidos se utiliza la estación 7(Jalpan), donde se realiza el análisis univariado de manera independiente en las dos poblaciones (VE2P). Al realizar el cálculo, se obtuvo como mejor ajuste para la población 1 la distribución normal y en la población 2 la distribución exponencial. Por tal motivo, los valores ajustados a cada distribución se colocan en la columna (VE2P). Después de esto, se obtiene el error mínimo cuadrático (EMC) para observar si el valor ajustado es mejor al obtenido considerando la serie de tiempo completa. Cabe destacar que en este caso, solo se compara entre funciones univariadas debido a que se pretende representar el total de datos a partir de la suma de distribuciones divididas como se muestra en la **Tabla 4.8**. En esta tabla, la población 2 se diferencia por el color gris que presentan las celdas.

Tabla. 4.8 División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7 (Jalpan).

No.	Periodo de retorno (T)	Variable reducida	Precipitación	Probabilidad	(VEFC)	(VE2P)	EMC VEFC	EMC VE2P
50	1.02	-1.37	30.00	0.98	31.93	32.73	3.72	7.45
49	1.04	-1.18	36.00	0.96	34.93	35.36	1.14	0.41
48	1.06	-1.04	37.50	0.94	37.01	37.14	0.24	0.13
47	1.09	-0.93	38.00	0.92	38.67	38.56	0.45	0.31
46	1.11	-0.84	38.50	0.90	40.11	39.78	2.59	1.64
45	1.13	-0.76	40.00	0.88	41.38	40.88	1.90	0.77
44	1.16	-0.69	40.00	0.86	42.56	41.90	6.55	3.61
43	1.19	-0.62	41.00	0.84	43.65	42.87	7.02	3.50
42	1.21	-0.55	44.40	0.82	44.69	43.81	0.08	0.35
41	1.24	-0.49	44.50	0.80	45.68	44.74	1.39	0.06
40	1.28	-0.43	45.00	0.78	46.63	45.69	2.66	0.48
39	1.31	-0.37	48.70	0.76	47.56	46.66	1.30	4.16
38	1.34	-0.31	49.50	0.75	48.46	47.68	1.08	3.31
37	1.38	-0.26	50.00	0.73	49.35	48.77	0.42	1.51
36	1.42	-0.20	51.90	0.71	50.23	49.99	2.79	3.65

Tabla. 4.8 División de muestra a partir de variable reducida, estación 7“Jalpan” (continuación).

No.	Periodo de retorno (T)	Variable reducida	Precipitación	Probabilidad	(VEFC)	(VE2P)	EMC VEFC	EMC VE2P
35	1.46	-0.15	52.50	0.69	51.10	51.41	1.96	1.19
34	1.50	-0.09	54.50	0.67	51.97	53.19	6.40	1.72
33	1.55	-0.04	55.00	0.65	52.83	55.82	4.71	0.67
32	1.59	0.01	55.50	0.63	53.70	50.05	3.24	29.70
31	1.65	0.07	56.00	0.61	54.57	52.86	2.04	9.86
30	1.70	0.12	56.50	0.59	55.44	54.86	1.12	2.69
29	1.76	0.17	57.50	0.57	56.33	56.51	1.37	0.98
28	1.82	0.23	59.50	0.55	57.23	57.96	5.15	2.37
27	1.89	0.28	60.50	0.53	58.14	59.29	5.57	1.46
26	1.96	0.34	62.00	0.51	59.07	60.54	8.58	2.13
25	2.04	0.39	62.00	0.49	60.02	61.73	3.92	0.07
24	2.13	0.45	64.00	0.47	60.99	62.89	9.06	1.23
23	2.22	0.51	64.50	0.45	61.99	64.02	6.30	0.23
22	2.32	0.57	65.00	0.43	63.02	65.15	3.92	0.02
21	2.43	0.63	65.00	0.41	64.09	66.28	0.83	1.64
20	2.55	0.70	65.50	0.39	65.20	67.42	0.09	3.69
19	2.68	0.76	67.20	0.37	66.36	68.57	0.71	1.88
18	2.83	0.83	68.00	0.35	67.58	69.76	0.18	3.10
17	3.00	0.90	69.00	0.33	68.86	70.98	0.02	3.92
16	3.19	0.98	69.00	0.31	70.21	72.24	1.46	10.50
15	3.40	1.05	69.50	0.29	71.65	73.57	4.62	16.56
14	3.64	1.14	69.80	0.27	73.21	74.98	11.63	26.83
13	3.92	1.22	70.00	0.25	74.88	76.48	23.81	41.99
12	4.25	1.32	72.00	0.24	76.72	78.10	22.28	37.21
11	4.64	1.41	72.50	0.22	78.75	79.87	39.06	54.32
10	5.10	1.52	81.00	0.20	81.03	81.84	0.00	0.71
9	5.67	1.64	86.00	0.18	83.65	84.08	5.52	3.69
8	6.38	1.77	86.70	0.16	86.73	86.70	0.00	0.00
7	7.29	1.91	92.50	0.14	90.50	89.88	4.00	6.86
6	8.50	2.08	94.00	0.12	95.40	93.98	1.96	0.00
5	10.20	2.27	108.00	0.10	102.47	99.89	30.58	65.77
4	12.75	2.50	116.00	0.08	115.65	111.02	0.12	24.80
3	17.00	2.80	158.00	0.06	157.24	157.40	0.58	0.36
2	25.50	3.22	173.20	0.04	172.35	172.46	0.72	0.55
1	51.00	3.92	187.00	0.02	187.86	187.82	0.74	0.67

En la **Figura 4.6** se muestran los resultados obtenidos para la estación Jalpan, especificando la división de poblaciones a partir del cero de la variable reducida. En esta estación, el 36% de los datos pertenece a la primera población, y el 64 % a la segunda. En color azul se presentan los valores de precipitación medidos asociados a la variable reducida y periodo de retorno. Además, se resalta en color rojo los datos que se presentan en la misma fecha de ocurrencia de un evento ciclónico, y en color verde los valores obtenidos al dividir la muestra en dos.

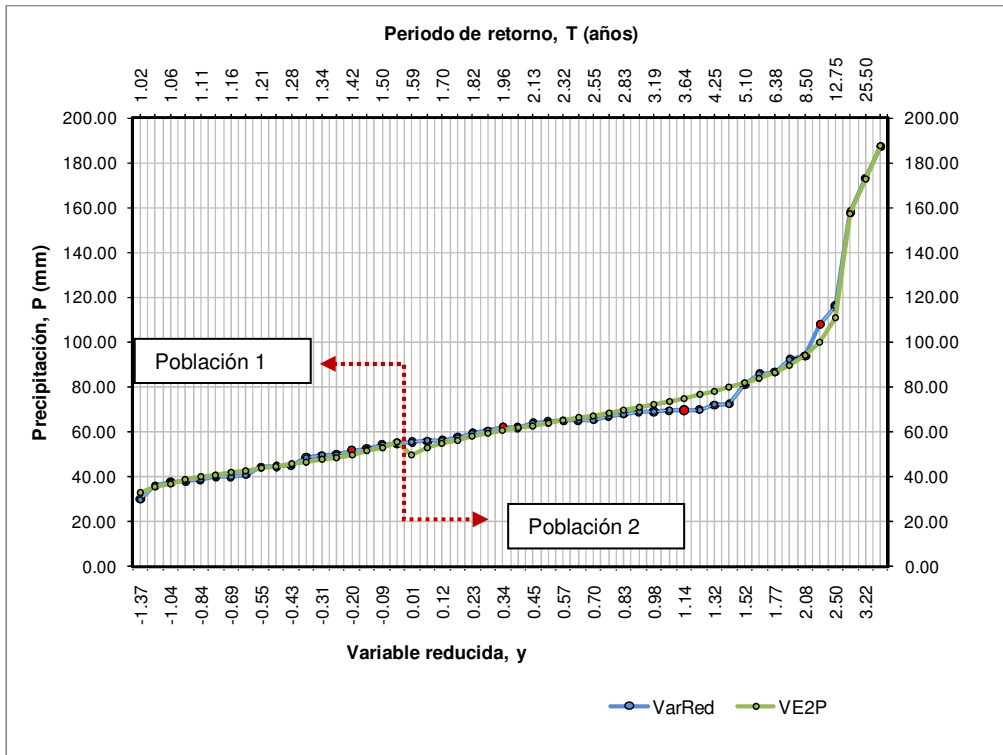


Figura 4.6 División de muestra en dos poblaciones (variable reducida) en estación Jalpan. En color rojo se muestran los valores asociados a eventos ciclónicos.

Para comparar el error de la serie de tiempo completa (VEFC) y el obtenido a partir de dos poblaciones de igual tamaño (VE2P), se realizó la sumatoria del error mínimo cuadrático. En la **Tabla 4.9** se muestran los resultados para cada población, así como la sumatoria del error en todo el registro.

Tabla 4.9. Comparación de error al considerar una o dos poblaciones(variable reducida), estación “Jalpan”

Población 1		Población 2		Total de datos	
\sum de error VEFC	\sum de error VE2P	\sum de error VEFC	\sum de error VE2P	\sum de error VEFC	\sum de error VE2P
46.43	34.92	199.20	355.80	245.63	390.72

en la tabla anterior se observa que la población 1 presenta el menor error cuando se consideran dos poblaciones (VE2P). Sin embargo, en la segunda población, los resultados más favorables son cuando se modela como una sola serie con la distribución Gumbel Doble optimizada.

Al igual que la estación de Jalpan, el análisis se realizó para las 29 estaciones restantes en el estado de Querétaro, mostrando en este trabajo el resumen de la función que tiene un menor error cuadrático de ajuste si se realiza un análisis con los datos completos (columna 3), la función univariada que se ajusta mejor a los datos de la población uno y dos respectivamente (columna 4 y 5), y la sumatoria de los errores (columna 6 a 11) como se ilustraron en la **Tabla 4.9**.

Tabla 4.10 Error obtenido a partir de función completa vs dos poblaciones (Variable reducida)

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
1	Amealco	Gumbel Doble	Normal	Gamma	38.66	61.34	67.23	183.76	105.89	245.10
2	Ayutla	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	55.31	89.06	412.43	629.28	467.74	718.34
3	Cadereyta	Gumbel Doble	Normal	Gamma	32.95	280.88	70.16	89.65	103.11	370.53
4	El Batán	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	66.32	58.25	81.99	115.52	148.31	173.77
5	El Doctor	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	32.55	58.43	162.43	1091.24	194.98	1149.67
6	El Pueblito	Gumbel Doble	Normal	Gamma	31.99	167.41	84.07	104.81	116.06	272.22
7	Jalpan (DGE)	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	46.43	34.92	199.20	355.80	245.63	390.72
8	La Palma	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	72.35	40.63	108.84	274.88	181.19	315.51
9	Pedro Escobedo	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	183.71	146.54	83.86	351.69	267.57	498.23
10	Peñamiller (SMN)	Gumbel Doble	Normal	Gamma	52.10	53.49	69.21	126.16	121.31	179.65
11	San Juan del Río(SMN)	Gumbel Doble	Normal	Log Normal	27.56	46.09	173.08	4203.01	200.65	4249.10
12	Tolimán	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	61.25	31.06	164.66	172.98	225.91	204.04
13	Villa Corregidora	Gumbel Doble	Normal	Gamma	63.46	43.41	67.74	149.06	131.20	192.47
14	La Lagunita	Gumbel Doble	Normal	Normal	55.82	34.79	123.73	443.56	179.55	478.35
15	San Juan del Río	Gumbel Doble	Normal	Gamma	58.07	101.90	80.90	120.94	138.97	222.84
16	Tres Lagunas	Gumbel Doble	Normal	Log Normal	56.41	34.63	452.74	1443.61	509.15	1478.24
17	Presa Centenario	Gumbel Doble	Normal	Gamma	13.32	43.36	186.28	395.57	199.60	438.93
18	Colón	Gumbel Doble	Normal	Gamma	12.09	25.44	74.61	95.62	86.70	121.06
19	Galindo	Gumbel Doble	Normal	Gamma	55.16	34.11	42.29	88.13	97.44	122.24
20	Presa Paso de Tablas	Gumbel Doble	Normal	Gamma	38.02	58.95	49.69	78.51	87.71	137.45
21	San Pablo	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	59.60	37.21	49.06	436.44	108.66	473.65
22	Villa Bernal	Gumbel Doble	Normal	Gamma	27.19	42.27	103.49	140.26	130.68	182.53
23	Vizarrón	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	34.11	52.61	212.05	876.81	246.17	929.42
24	Arroyo Seco	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	160.23	175.55	110.01	123.12	270.23	298.68
25	La Llave	Gumbel Doble	Normal	Gamma	37.34	38.47	55.27	171.35	92.61	209.83
26	Juriquilla	Gumbel Doble	Normal	Gamma	37.84	197.91	23.43	60.98	61.27	258.89
27	Nogales	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	22.87	46.89	237.86	242.22	260.72	289.11
28	Presa el Capulín	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	11.33	5.93	163.45	1283.44	174.78	1289.37
29	El Zamorano	Gumbel Doble	Exponencial	Exponencial	117.99	66.91	163.65	605.34	281.64	672.25
30	Higuerillas	Gumbel Doble	Normal	Normal	83.99	92.77	127.53	270.33	211.52	363.10
No.de estaciones con menor error mínimo cuadrático					18	12	30	0	29	0

Tabla 4.11 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra a partir de la variable reducida, Querétaro.

Función de distribución	Población 1	Población 2
Normal	29	2
Log Normal	0	2
Gumbel	0	5
Exponencial	1	8
Gamma	0	13

Como se observa en la **Tabla 4.11**, al dividir la muestra en dos poblaciones, la población 1 que es representativa de los datos menores de la serie de tiempo tiene un comportamiento normal en 29 de las 30 estaciones. Caso contrario la segunda población donde solo 2 tienen un mejor ajuste con la distribución normal. En esta segunda población la distribución Gamma y Exponencial representan mejor los datos con 13 y 8 estaciones sucesivamente, mientras que la distribución Gumbel y Log Normal solo 5 y 2 estaciones.

4.3.4. Ajuste en dos poblaciones de igual tamaño

En este criterio, la muestra se dividió en dos poblaciones de igual tamaño, y posteriormente se realizó un análisis en cada población a partir de distribuciones univariadas. Después de esto, se comparó el error mínimo estándar de ajuste obtenido en el programa AX. Para ejemplificar el procedimiento se muestra la estación 10 (Peñamiller), donde la población 1 está representada por los datos No. 20-39, y a la segunda población pertenecen del No. 1-19.

Tabla. 4.12 División de muestra a partir de dos poblaciones de igual tamaño en estación 10 (Peñamiller).

No.	Periodo de retorno (T)	Variable reducida	Precipitación	Probabilidad	(VEFC)	(VE2P)	Error VEFC	Error VE2P
39	1.03	-1.31	10.00	0.98	16.72	16.42	45.16	41.22
38	1.05	-1.10	20.00	0.95	19.09	18.99	0.83	1.02
37	1.08	-0.95	20.00	0.93	20.77	20.71	0.59	0.50
36	1.11	-0.83	21.00	0.90	22.13	22.08	1.28	1.17
35	1.14	-0.73	23.20	0.88	23.32	23.25	0.01	0.00
34	1.18	-0.64	25.00	0.85	24.40	24.29	0.36	0.50

Tabla. 4.12 División de muestra a partir de dos poblaciones de igual tamaño en estación 10 (Peñamiller), continuación.

No.	Periodo de retorno (T)	Variable reducida	Precipitación	Probabilidad	(VEFC)	(VE2P)	Error VEFC	Error VE2P
33	1.21	-0.56	25.00	0.83	25.40	25.25	0.16	0.06
32	1.25	-0.48	27.50	0.80	26.34	26.16	1.35	1.80
31	1.29	-0.40	28.30	0.78	27.25	27.03	1.10	1.61
30	1.33	-0.33	28.30	0.75	28.14	27.88	0.03	0.18
29	1.38	-0.26	28.50	0.73	29.00	28.72	0.25	0.05
28	1.43	-0.19	30.00	0.70	29.86	29.57	0.02	0.18
27	1.48	-0.12	31.00	0.68	30.71	30.44	0.08	0.31
26	1.54	-0.05	32.50	0.65	31.56	31.35	0.88	1.32
25	1.60	0.02	34.20	0.63	32.42	32.31	3.17	3.57
24	1.67	0.09	35.00	0.60	33.28	33.35	2.96	2.72
23	1.74	0.16	35.40	0.58	34.16	34.52	1.54	0.77
22	1.82	0.23	36.00	0.55	35.07	35.89	0.86	0.01
21	1.90	0.30	37.00	0.53	35.99	37.61	1.02	0.37
20	2.00	0.37	38.10	0.50	36.95	40.18	1.32	4.33
19	2.11	0.44	38.70	0.48	37.95	35.76	0.56	8.64
18	2.22	0.51	39.00	0.45	38.99	38.76	0.00	0.06
17	2.35	0.59	39.60	0.43	40.09	40.89	0.24	1.66
16	2.50	0.67	40.50	0.40	41.26	42.63	0.58	4.54
15	2.67	0.76	41.00	0.38	42.51	44.17	2.28	10.05
14	2.86	0.84	41.50	0.35	43.86	45.58	5.57	16.65
13	3.08	0.93	47.50	0.33	45.34	46.91	4.67	0.35
12	3.33	1.03	48.80	0.30	46.99	48.20	3.28	0.36
11	3.64	1.13	49.50	0.28	48.85	49.47	0.42	0.00
10	4.00	1.25	52.00	0.25	50.92	50.74	1.17	1.59
9	4.44	1.37	54.00	0.23	53.01	52.04	0.98	3.84
8	5.00	1.50	55.00	0.20	54.89	53.37	0.01	2.66
7	5.71	1.65	55.50	0.18	56.58	54.78	1.17	0.52
6	6.67	1.82	57.50	0.15	58.22	56.29	0.52	1.46
5	8.00	2.01	57.50	0.13	59.91	57.94	5.81	0.19
4	10.00	2.25	59.50	0.10	61.80	59.82	5.29	0.10
3	13.33	2.55	60.20	0.08	64.09	62.07	15.13	3.50
2	20.00	2.97	64.80	0.05	67.25	64.97	6.00	0.03
1	40.00	3.68	75.00	0.03	72.84	69.43	4.67	31.02

Además de la tabla anterior, la **Figura 4.7** muestra gráficamente el comportamiento de los datos en la serie de tiempo de la estación 7 Peñamiller. En esta estación, el 51% de los datos pertenecen a la primera población, y el 49 % a la segunda debido a que la división no se puede realizar en dos de igual tamaño por tener un número de datos impar. En color azul se observan los valores de precipitación asociados a la variable reducida y periodo de retorno. Además, se resalta en color rojo los datos que están asociados a la misma fecha ocurrió un evento ciclónico. Por último, en color verde se muestra los valores obtenidos a partir la muestra.

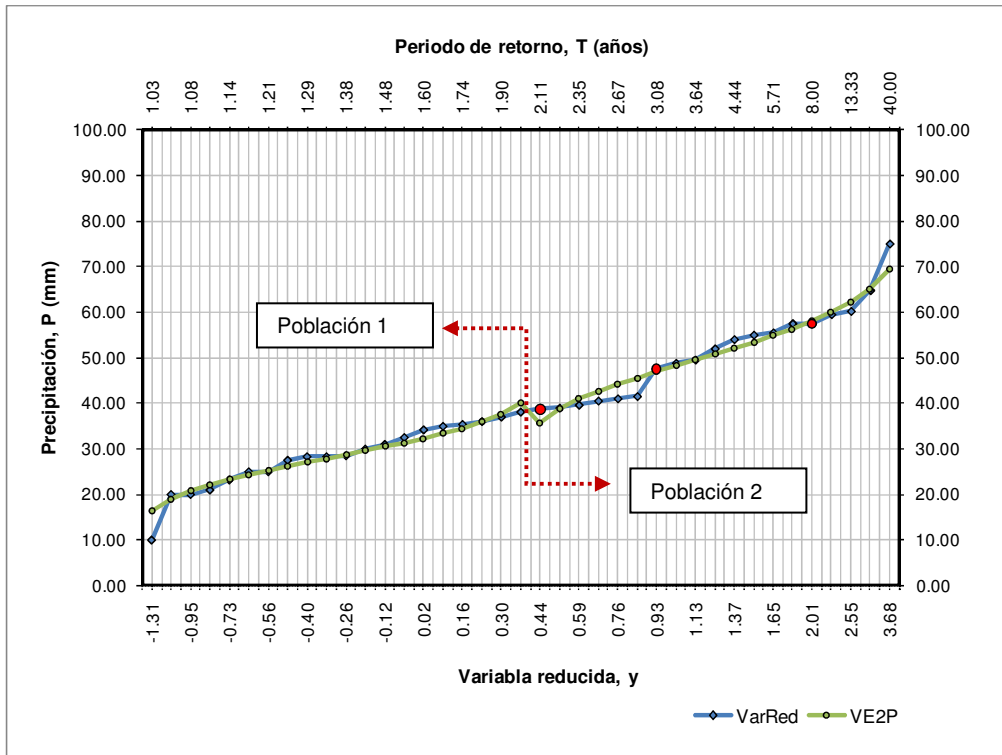


Figura 4.7 División de muestra en dos poblaciones de igual tamaño, estación Peñamiller. En color rojo se muestran los valores asociados a eventos ciclónicos.

La comparación de la serie de tiempo completa y dividida en dos poblaciones (VE2P) se realiza a partir de la sumatoria del error mínimo cuadrático. En la **Tabla 4.13** se muestran los resultados para cada población, así como la sumatoria del error.

Tabla 4.13. Comparación de error al considerar una o dos poblaciones de igual tamaño, estación Peñamiller.

Población 1		Población 2		Total de datos	
Σ de error VEFC	Σ de error VE2P	Σ de error VEFC	Σ de error VE2P	Σ de error VEFC	Σ de error VE2P
62.97	61.71	58.34	87.22	121.31	148.93

Como se muestra en la anterior, la distribución que representa mejor la primera población es la distribución normal. Sin embargo, en la segunda población se obtienen mejores resultados al ajustar a una distribución Gumbel Doble optimizada.

Al igual que la estación Peñamiller, el análisis se realizó en las 29 estaciones restantes en el estado. Pero por fines prácticos, en este estudio solo se muestra el resumen de la función obtenida si se realiza un análisis con los datos completos (**Tabla 4.9**). En la cuarta y quinta columna la función univariada que presenta un mejor ajuste a los datos de la población 1 y dos respectivamente. En la columna seis a la once, se colocan las sumatorias de error al considerar la serie de tiempo completa (VEFC) y el obtenido con dos poblaciones (VE2P).

Tabla 4.14 Error obtenido a partir de función completa vs dos poblaciones de igual tamaño en estado de Querétaro.

Estación		Tipo de distribución obtenida			Población 1		Población 2		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
1	Amealco	Gumbel Doble	Normal	Gamma	41.62	51.42	64.26	132.50	105.88	183.92
2	Ayutla	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	89.01	114.31	378.74	437.97	467.75	552.28
3	Cadereyta	Gumbel Doble	Normal	Gamma	34.63	22.00	68.48	71.04	103.11	93.04
4	El Batán	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	89.96	91.04	58.35	96.23	148.31	187.27
5	El Doctor	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	34.51	62.13	160.47	959.97	194.98	1022.10
6	El Pueblito	Gumbel Doble	Normal	Gamma	33.23	243.01	82.83	109.59	116.06	352.60
7	Jalpan (DGE)	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	73.51	68.94	172.12	2972.47	245.63	3041.41
8	La Palma	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	77.69	61.48	103.50	268.00	181.19	329.48
9	Pedro Escobedo	Gumbel Doble	Normal	Log Normal	190.81	180.56	76.76	232.12	267.57	412.68
10	Peñamiller (SMN)	Gumbel Doble	Normal	Gamma	62.97	61.71	58.34	87.22	121.31	148.93
11	San Juan del Río(SMN)	Gumbel Doble	Normal	Log Normal	28.81	55.84	171.83	2622.36	200.64	2678.20
12	Tolimán	Gumbel Doble	Gamma	Exponencial	102.54	61.23	123.37	149.97	225.91	211.20
13	Villa Corregidora	Gumbel Doble	Normal	Normal	85.02	65.82	46.18	89.48	131.20	155.30
14	La Lagunita	Gumbel Doble	Normal	Gamma	62.25	86.74	117.30	339.35	179.55	426.09
15	San Juan del Río	Gumbel Doble	Normal	Gamma	99.15	137.63	39.82	115.05	138.97	252.68
16	Tres Lagunas	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	73.67	91.53	435.48	2182.88	509.15	2274.41
17	Presa Centenario	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	18.41	45.19	181.19	239.34	199.60	284.53
18	Colón	Gumbel Doble	Normal	Gumbel	25.17	40.23	61.53	86.14	86.70	126.37
19	Galindo	Gumbel Doble	Normal	Normal	60.41	59.01	37.04	56.66	97.45	115.67
20	Presa Paso de Tablas	Gumbel Doble	Normal	Gamma	40.01	90.20	47.70	61.58	87.71	151.78
21	San Pablo	Gumbel Doble	Normal	Gamma	71.02	79.74	37.64	316.61	108.66	396.35
22	Villa Bernal	Gumbel Doble	Normal	Gamma	30.62	71.59	100.06	117.17	130.68	188.76
23	Vizarrón	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	39.41	54.39	206.75	807.35	246.16	861.74
24	Arroyo Seco	Gumbel Doble	Normal	Gamma	213.61	212.50	56.63	87.18	270.24	299.68
25	La Llave	Gumbel Doble	Normal	Gamma	46.90	43.07	45.72	112.55	92.62	155.62
26	Juriquilla	Gumbel Doble	Normal	Gamma	38.67	320.39	22.60	42.93	61.27	363.32
27	Nogales	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	26.96	92.77	233.76	233.75	260.72	326.52
28	Presa el Capulín	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	12.51	10.46	162.27	1229.06	174.78	1239.52
29	El Zamorano	Gumbel Doble	Normal	Exponencial	162.53	125.45	119.11	551.64	281.64	677.09
30	Higuerillas	Gumbel Doble	Normal	Normal	96.56	88.94	114.96	173.72	211.52	262.66
No.de estaciones con menor error					17	13	28	2	28	2

Tabla 4.15 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra en dos de igual tamaño.

Función de distribución	Población 1	Población 2
Normal	29	3
Log Normal	0	2
Gumbel	0	2
Exponencial	1	11
Gamma	0	12

Como se observa en la tabla anterior, al dividir la muestra en dos poblaciones, la población 1 tiene un comportamiento normal en 29 de las 30 estaciones. Caso contrario al de la segunda población donde solo 3 estaciones se ajustan mejor con la distribución normal. En esta segunda población la distribución Gamma y Exponencial representan mejor los datos con 12 y 11 estaciones sucesivamente, la distribución Log Normal y Gumbel con 2 estaciones.

Otra de las funciones utilizadas frecuentemente en estudios relacionados con variables hidrológicas y que no se encuentra en el programa AX es la distribución Log Pearson tipo III. Para ejemplificar el comportamiento que tiene esta respecto a la Gumbel Doble se realiza una comparación en 4 estaciones del estado. En la **Tabla 4.16** se muestran los resultados de error mínimo estándar de 4 de las estaciones del estado, así como su comparación respecto a la distribución Gumbel Doble. En estos ejemplos, se muestra que para valores bajos de periodo de retorno se obtienen valores muy parecidos a la distribución Gumbel Doble, pero para valores altos, el error tiene un mayor aumento.

Tabla 4.16. Valores obtenidos con distribución Log-Pearson III y Gumbel Doble, Querétaro.

No.	Estación											
	El Doctor			Peñamiller			Jalpan			Juriquilla		
	P(mm)	P(mm) Log Pearson III	Gumbel Doble	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Gumbel Doble	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Gumbel Doble	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Gumbel Doble
1	148.5	120.3	148.0	75.0	85.7	72.8	187.0	157.7	187.9	72.0	70.5	70.8
2	128.0	102.5	123.7	64.8	71.2	67.3	173.2	131.5	172.4	66.5	53.2	64.6
3	100.0	92.9	106.9	60.2	63.6	64.1	158.0	117.7	157.2	62.8	45.4	60.9
4	98.5	86.5	93.9	59.5	58.4	61.8	116.0	108.5	115.7	60.0	40.7	58.1
5	82.5	81.7	85.0	57.5	54.6	59.9	108.0	101.7	102.5	54.5	37.6	55.9
6	77.0	77.9	79.1	57.5	51.6	58.2	94.0	96.3	95.4	53.0	35.3	54.1
7	75.0	74.7	75.0	55.5	49.0	56.6	92.5	91.9	90.5	51.5	33.5	52.4
8	72.0	72.0	71.9	55.0	46.9	54.9	86.7	88.1	86.7	49.5	32.1	51.0
9	70.0	69.7	69.4	54.0	45.1	53.0	86.0	84.9	83.7	48.0	31.0	49.6
10	70.0	67.6	67.3	52.0	43.4	50.9	81.0	82.0	81.0	47.5	30.0	48.3
11	67.0	65.7	65.5	49.5	41.9	48.9	72.5	79.4	78.8	46.0	29.2	47.0
12	66.0	64.0	63.9	48.8	40.6	47.0	72.0	77.1	76.7	45.0	28.6	45.8
13	65.0	62.5	62.5	47.5	39.4	45.3	70.0	75.0	74.9	44.2	28.0	44.6
14	64.0	61.1	61.2	41.5	38.3	43.9	69.8	73.1	73.2	43.5	27.6	43.4
15	62.5	59.7	60.0	41.0	37.2	42.5	69.5	71.3	71.7	42.0	27.2	42.1
16	60.5	58.5	58.9	40.5	36.2	41.3	69.0	69.6	70.2	41.0	26.8	40.6
17	55.0	57.3	57.8	39.6	35.3	40.1	69.0	68.0	68.9	40.4	26.5	39.0
18	54.0	56.2	56.9	39.0	34.4	39.0	68.0	66.5	67.6	36.0	26.3	36.9
19	54.0	55.2	55.9	38.7	33.6	38.0	67.2	65.2	66.4	35.0	26.1	33.5
20	53.5	54.2	55.1	38.1	32.8	37.0	65.5	63.8	65.2	28.4	26.0	24.9
21	53.0	53.2	54.2	37.0	32.0	36.0	65.0	62.6	64.1	12.3	25.9	16.8
22	53.0	52.3	53.4	36.0	31.3	35.1	65.0	61.4	63.0	9.8	25.9	9.2
23	51.5	51.5	52.6	35.4	30.6	34.2	64.5	60.2	62.0			
24	51.0	50.6	51.8	35.0	29.9	33.3	64.0	59.1	61.0			
25	50.5	49.8	51.1	34.2	29.2	32.4	62.0	58.0	60.0			
26	49.5	49.0	50.4	32.5	28.6	31.6	62.0	57.0	59.1			
27	49.5	48.2	49.7	31.0	27.9	30.7	60.5	56.0	58.1			
28	49.0	47.5	49.0	30.0	27.3	29.9	59.5	55.0	57.2			
29	48.0	46.8	48.3	28.5	26.6	29.0	57.5	54.1	56.3			
30	47.5	46.0	47.6	28.3	26.0	28.1	56.5	53.2	55.4			
31	46.0	45.3	46.9	28.3	25.4	27.3	56.0	52.3	54.6			
32	46.0	44.6	46.3	27.5	24.7	26.3	55.5	51.4	53.7			
33	45.5	44.0	45.6	25.0	24.1	25.4	55.0	50.5	52.8			
34	45.5	43.3	44.9	25.0	23.4	24.4	54.5	49.7	52.0			
35	45.0	42.6	44.2	23.2	22.7	23.3	52.5	48.8	51.1			
36	44.0	41.9	43.5	21.0	21.9	22.1	51.9	48.0	50.2			
37	43.0	41.2	42.8	20.0	21.1	20.8	50.0	47.1	49.4			
38	43.0	40.5	42.1	20.0	20.1	19.1	49.5	46.3	48.5			
39	43.0	39.8	41.3	10.0	18.8	16.7	48.7	45.5	47.6			
40	41.0	39.1	40.6				45.0	44.6	46.6			
41	41.0	38.4	39.7				44.5	43.8	45.7			
42	40.0	37.6	38.9				44.4	42.9	44.7			
43	39.0	36.8	37.9				41.0	42.1	43.7			
44	38.0	36.0	36.8				40.0	41.2	42.6			
45	35.0	35.0	35.6				40.0	40.2	41.4			
46	30.5	33.9	34.1				38.5	39.2	40.1			
47	29.0	32.4	31.8				38.0	38.2	38.7			
48							37.5	37.0	37.0			
49							36.0	35.6	34.9			
50							30.0	33.7	31.9			

CAPÍTULO 5. CASO DE ESTUDIO: CHIAPAS

Con el propósito de analizar dos zonas con características fisiográficas y climatológicas totalmente diferentes, y contrastar la influencia que tienen los fenómenos climatológicos, se presenta como segundo caso de estudio el estado de Chiapas, que presenta relieve muy variado y está influenciado directamente por huracanes provenientes del Golfo de México y Océano Pacífico.

Se llevó a cabo el análisis de frecuencias de las series de tiempo en las estaciones meteorológicas, tomando como criterio una longitud mínima de registro de 25 años según recomendaciones realizadas por Esparza (2005), además, estas deben contar con su localización geográfica, la longitud y latitud respectiva para ubicarlas y realizar los mapas de isolíneas. Es importante señalar que por ejemplo, una estación puede tener registros desde el año de 1939 hasta el año 1994, lo que en teoría serían 55 datos de lluvia máxima anual en 24 horas, sin embargo, el número real de años del registro es aquel que tenga diferente de cero y que no contenga leyendas de datos incompletos o sin datos.

5.1. Ubicación geográfica y características climatológicas

Chiapas es el estado más al sur del país. Colinda con los estados de Oaxaca y Veracruz al oeste y Tabasco al norte y noroeste, al noroeste y este, se encuentra con la frontera de Guatemala. Su territorio tiene una extensión de 75,634.4 km² y representa el 3.7% de la superficie del país (**Figura 5.1**).

El estado se divide en 118 municipios, con una población de 4,796,580 habitantes (según estimaciones del INEGI, 2010), cerca del 49 % de la población se encuentra en la zona urbana y 51% se encuentra en zonas rurales, teniendo 59 hab/km² razón por la cual, dato que está muy cercano a la media nacional que es de 53 hab/km².

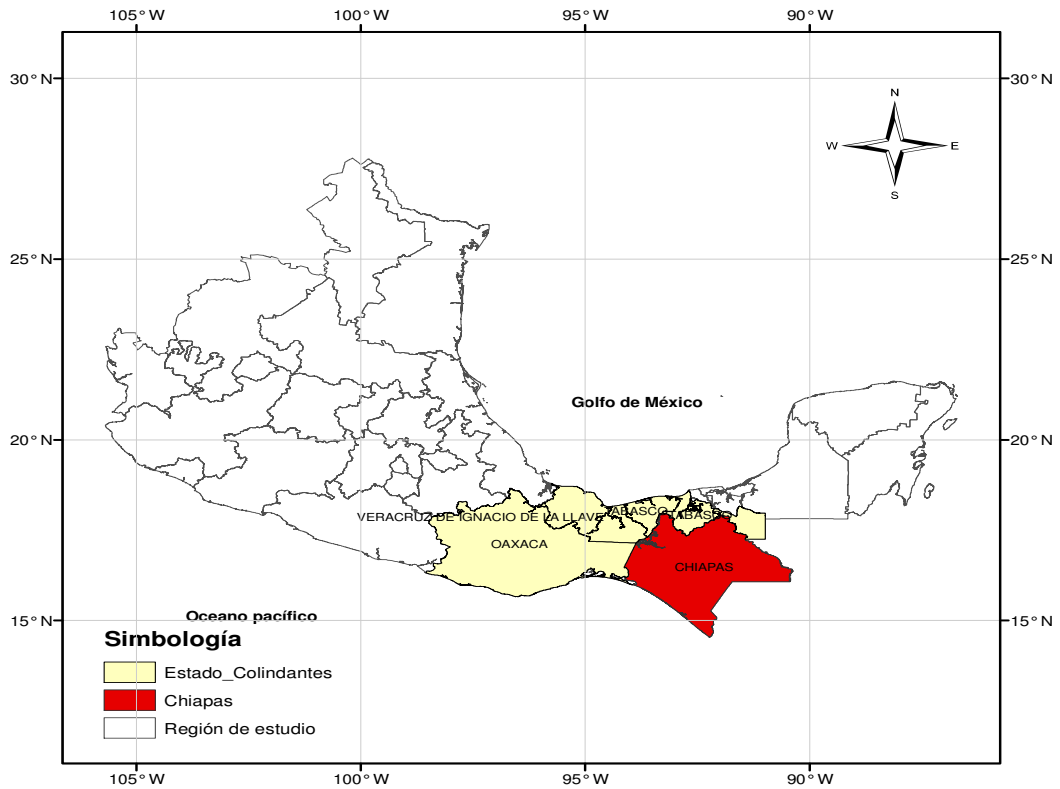


Figura 5.1. Ubicación del estado de Chiapas dentro de la república mexicana.

Chiapas tiene un clima tropical húmedo y subhúmedo, presenta pequeñas variaciones en su admirable vastedad geográfica, pródiga en costas, sierras, valles y selvas exuberantes. Más de la mitad de su territorio, el 54%, presenta clima Cálido húmedo, el 40% clima Cálido subhúmedo, el 3% Templado húmedo y el 3% restante tiene clima Templado subhúmedo (**Figura 5.2**).

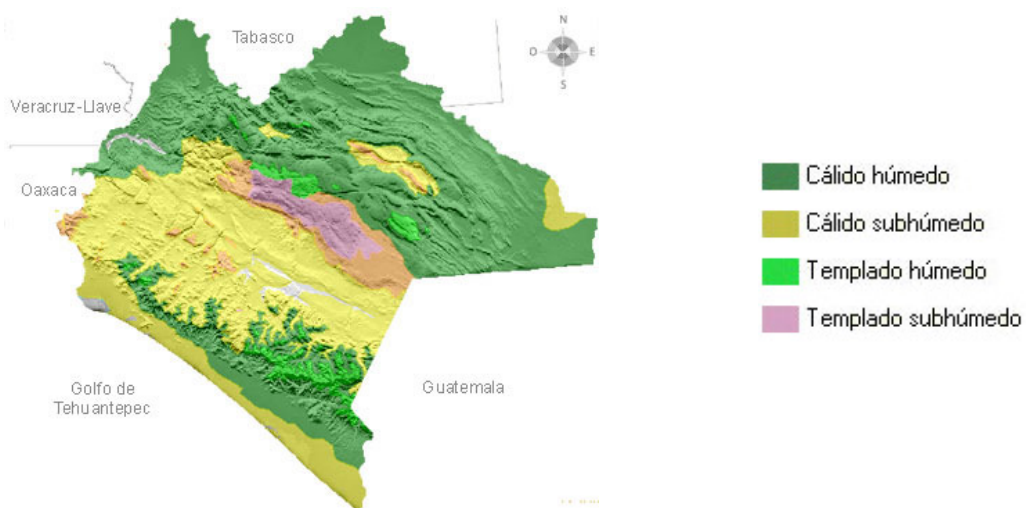


Figura 5.2 Tipos de clima del estado de Chiapas (INEGI, 2011).

En términos generales, los promedios de temperatura fluctúan entre los 20° y 29° centígrados. La temperatura promedio más alta es de 30°C y la mínima de 17.5°C. Las precipitaciones arrecian de junio a noviembre (época de lluvia) y cesan de enero a mayo (época seca), aunque en estos meses los vientos son más fuertes. La región norte del estado presenta lluvias todo el año, en el resto de la entidad, abundantes lluvias en verano. La precipitación total media anual varía, dependiendo de la región, de 1 200 mm a 4 000 mm.

5.2. Información disponible en el estado de Chiapas

Chiapas dispone de 309 estaciones climatológicas, las cuales cuentan con datos diarios de precipitación. Debido a la condición inicial de tomar solo las estaciones con registro igual o mayor a 25 años, solo se utilizan 148 estaciones que cuentan con esta condición recomendada para el análisis de frecuencias (Esparza, 2005).

En la **Tabla 5.1** se muestran las estaciones con longitud mínima recomendada de series de tiempo, además de la localización geográfica (latitud, longitud y elevación).

Tabla 5.1 Estaciones climatológicas con registro mayor a 25 años, Chiapas.

No.	Estado	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
1	Chiapas	7001	Abasolo Chiapas CFE	-92.22	16.83	1600
2	Chiapas	7002	Abelardo L. Rodríguez	-92.24	16.38	1775
3	Chiapas	7003	Acala	-92.80	16.56	420
4	Chiapas	7005	Almandro (CFE)	-92.67	17.25	242
5	Chiapas	7006	Altamirano	-92.34	16.74	1240
6	Chiapas	7007	Amatenango del Valle	-92.47	16.54	1750
7	Chiapas	7008	Ángel Albino Corzo	-92.72	15.92	590
8	Chiapas	7009	Aquespala	-91.92	15.79	675
9	Chiapas	7010	Arco De Piedra	-92.67	16.20	450
10	Chiapas	7011	Argelia	-92.15	15.90	500
11	Chiapas	7012	Finca Argovia	-92.30	15.15	620
12	Chiapas	7014	Belisario Domínguez I.	-92.36	15.31	660
13	Chiapas	7015	Bochil	-92.89	16.99	1200

Tabla 5.1 Estaciones climatológicas con registro mayor a 25 años, Chiapas (continuación).

No.	Estado	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
14	Chiapas	7016	Bombana (CFE)	-93.03	16.95	614
15	Chiapas	7018	Cacahoatán	-92.16	14.99	350
16	Chiapas	7020	Vertedor 1,2,3	-93.73	17.22	152
17	Chiapas	7021	Catarinitas	-92.48	15.90	650
18	Chiapas	7022	Playas de Catazajá	-92.02	17.73	10
19	Chiapas	7023	Cintalapa (SMN)	-93.75	16.70	564
20	Chiapas	7024	Comalapa (CFE)	-92.17	15.70	581
21	Chiapas	7026	Cuauhtémoc (CFE)	-92.00	15.67	680
22	Chiapas	7027	Copainalá	-93.22	17.08	910
23	Chiapas	7030	San Juan Chamula	-92.70	16.80	2300
24	Chiapas	7031	Chanal	-92.26	16.66	2030
25	Chiapas	7032	Chapultenango	-93.10	17.33	1600
26	Chiapas	7033	San Pedro Chenalhó (SMN)	-92.60	16.90	1600
27	Chiapas	7034	Villa de Chiapilla (DGE)	-92.72	16.58	555
28	Chiapas	7035	Chiciasen (CFE)	-93.10	16.98	710
29	Chiapas	7036	Chilil	-92.49	16.68	2200
30	Chiapas	7037	Finca Custepeques	-92.97	15.73	1000
31	Chiapas	7038	Despoblado	-92.56	15.20	60
32	Chiapas	7039	El Boquerón	-93.16	16.64	480
33	Chiapas	7040	El Burrero	-92.83	16.79	1280
34	Chiapas	7043	El Cedro	-90.42	16.42	400
35	Chiapas	7045	El Dorado	-92.21	14.67	9
36	Chiapas	7048	Finca El Triunfo	-92.55	15.35	971
37	Chiapas	7050	El Progreso	-93.31	17.05	170
38	Chiapas	7053	Escuintla (DGE)	-92.66	15.33	110
39	Chiapas	7054	Finca A. Prusia	-92.80	15.72	980
40	Chiapas	7055	Finca Chayabe	-91.71	16.38	1596
41	Chiapas	7056	Finca Chiripa	-92.28	15.18	750
42	Chiapas	7057	Finca Chicharras	-92.24	15.13	1264
43	Chiapas	7058	El Perú	-92.27	15.10	800
44	Chiapas	7061	Finca Hamburgo	-92.33	15.13	1225
45	Chiapas	7062	Finca La Soledad	-91.86	16.39	900
46	Chiapas	7063	Finca Liquidámbar	-92.73	15.78	1042
47	Chiapas	7067	Frontera Amatenango	-92.11	15.43	850
48	Chiapas	7068	Frontera Hidalgo	-92.18	14.78	60
49	Chiapas	7069	Grijalva	-93.13	16.97	211
50	Chiapas	7070	Guadalupe. Grijalva	-92.16	15.69	540
51	Chiapas	7071	Guaquitepec	-92.29	16.98	1040
52	Chiapas	7073	Hacienda San Cristóbal	-93.72	15.98	38
53	Chiapas	7074	Horcones	-93.61	15.96	140
54	Chiapas	7075	Huehuetán	-92.40	15.00	44
55	Chiapas	7076	Huixtán	-92.78	16.75	1950

Tabla 5.1 Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Chiapas (continuación).

No. Estación	Estado	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
56	Chiapas	7077	Huixtla	-92.49	15.14	40
57	Chiapas	7078	Ignacio López Rayón	-92.19	14.62	7
58	Chiapas	7079	Rosario Ixtapa (I.M.P.A)	-92.08	14.93	425
59	Chiapas	7083	Ixtapa	-92.90	16.77	425
60	Chiapas	7084	Jesús Chiapas	-92.48	15.87	90
61	Chiapas	7085	Palenque (DGE)	-91.98	17.55	200
62	Chiapas	7086	La Angostura (CFE)	-92.42	16.42	545
63	Chiapas	7089	La Catarata (CFE)	-91.97	16.32	189
64	Chiapas	7091	La Escalera	-92.99	16.53	485
65	Chiapas	7094	La Mesilla	-92.29	16.18	560
66	Chiapas	7097	La Providencia	-93.96	16.52	670
67	Chiapas	7099	Zapaluta	-92.03	16.10	1500
68	Chiapas	7102	Las Flores II	-93.56	16.69	480
69	Chiapas	7104	Las Margaritas	-91.98	16.31	1512
70	Chiapas	7105	Las Nubes	-92.35	17.54	280
71	Chiapas	7106	Las Peñitas	-93.45	17.40	50
72	Chiapas	7108	Livingston (CFE)	-91.68	16.62	673
73	Chiapas	7112	Malpaso II	-93.58	17.21	98
74	Chiapas	7113	Mapastepec	-92.88	15.45	32
75	Chiapas	7114	Yaquintela	-91.73	16.91	60
76	Chiapas	7115	Margaritas	-93.06	15.59	80
77	Chiapas	7116	Medio Monte	-92.19	14.92	190
78	Chiapas	7119	Motozintla	-92.24	15.42	1728
79	Chiapas	7121	Nueva Esperanza	-90.63	16.45	436
80	Chiapas	7122	Ocosingo	-92.09	16.91	905
81	Chiapas	7123	Ocozocoautla	-93.37	16.75	838
82	Chiapas	7125	Oxchuc	-92.34	16.79	1987
83	Chiapas	7126	Palenque (SMN)	-91.98	17.40	410
84	Chiapas	7128	Pichucalco (SMN)	-93.05	17.50	114
85	Chiapas	7129	Pijijiapan	-93.21	15.70	38
86	Chiapas	7133	Presa Netzahualcóyotl (CFE)	-93.33	17.12	191
87	Chiapas	7134	Puente Colgante	-93.03	16.74	418
88	Chiapas	7135	Puente Concordia (CFE)	-92.67	15.58	582
89	Chiapas	7136	Puerto Madero (SMN)	-92.41	14.70	4
90	Chiapas	7138	Reforma I	-93.13	17.87	20
91	Chiapas	7139	Rio Blanco (CFE)	-92.10	15.52	474
92	Chiapas	7140	Sabanas	-92.23	17.35	474
93	Chiapas	7141	Salto De Agua (DGE)	-92.33	17.56	92
94	Chiapas	7145	San Francisco II	-92.95	15.87	540
95	Chiapas	7146	San Jerónimo	-92.14	15.04	612
96	Chiapas	7147	San Joaquín	-93.11	17.56	21
97	Chiapas	7156	Santa María	-93.77	16.95	220

Tabla 5.1 Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Chiapas (continuación).

No. Estación	Estado	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
98	Chiapas	7157	Santo Domingo	-92.10	15.03	1300
99	Chiapas	7160	Simojovel (DGE)	-92.72	17.13	700
100	Chiapas	7162	Soyaló (CFE)	-92.88	16.83	1095
101	Chiapas	7163	Suchiate	-92.15	14.71	18
102	Chiapas	7166	Talismán	-92.17	14.96	148
103	Chiapas	7167	Tapilula	-93.01	17.25	780
104	Chiapas	7168	Tonalá (DGE)	-93.74	16.08	55
105	Chiapas	7169	Tumbalá	-92.32	17.30	1350
106	Chiapas	7172	Unión Juárez	-92.74	15.06	1710
107	Chiapas	7175	Villaflores (SMN)	-93.26	16.23	857
108	Chiapas	7177	Yajalón (CFE)	-92.33	17.17	660
109	Chiapas	7178	Yamonho	-93.33	17.12	325
110	Chiapas	7180	Jaltenango (CFE)	-92.72	15.88	590
111	Chiapas	7185	Escuintla (SMN)	-92.67	15.32	110
112	Chiapas	7186	Finca El Escalón	-92.83	17.35	680
113	Chiapas	7188	Ixtapa (CFE)	-92.75	16.80	1085
114	Chiapas	7190	La Trinitaria (CFE)	-92.05	16.12	1550
115	Chiapas	7191	Malpaso I	-92.24	14.99	303
116	Chiapas	7195	Sabanilla (CFE)	-92.63	17.33	300
117	Chiapas	7196	Salto de Agua (SMN)	-92.37	17.60	141
118	Chiapas	7198	Simojovel (SMN)	-92.72	17.14	700
119	Chiapas	7200	Tapachula (DGE)	-92.27	14.93	179
120	Chiapas	7201	Tonalá (SMN)	-93.70	16.08	17
121	Chiapas	7202	Tuxtla Gutiérrez (DGE)	-93.15	16.76	530
122	Chiapas	7203	Venustiano Carranza	-92.56	16.34	795
123	Chiapas	7204	Villa Flores (DGE)	-93.27	16.23	631
124	Chiapas	7207	Larráinzar	-92.72	16.89	2156
125	Chiapas	7208	Novillero	-92.94	15.50	90
126	Chiapas	7228	Tres Picos	-93.55	15.88	50
127	Chiapas	7236	Revolución Mexicana	-93.08	16.16	540
128	Chiapas	7319	San Fernando	-93.23	16.87	900
129	Chiapas	7320	Salvación	-92.70	15.14	100
130	Chiapas	7326	Mazatán	-92.45	14.89	15
131	Chiapas	7327	Úrsulo Galván	-93.42	16.28	700
132	Chiapas	7329	Cascajal	-92.49	16.31	650
133	Chiapas	7330	Soyatitán	-92.43	16.29	760
134	Chiapas	7331	Villa Las Rosas	-92.37	16.37	1300
135	Chiapas	7333	Buenos Aires	-92.27	15.33	1720
136	Chiapas	7335	Querétaro	-92.76	15.84	665
137	Chiapas	7336	Plan De Iguala	-92.50	14.96	18
138	Chiapas	7339	El Porvenir	-92.28	15.46	2730
139	Chiapas	7342	Benito Juárez	-92.84	16.08	580

Tabla 5.1 Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Chiapas (continuación).

No. Estación	Estado	Clave	Nombre	Longitud (°C)	Latitud (°C)	Altitud (m.s.n.m.)
140	Chiapas	7343	Cuauhtémoc	-92.92	16.76	1050
141	Chiapas	7344	Ejido Ibarra	-92.95	15.33	9
142	Chiapas	7348	Independencia	-92.58	15.35	300
143	Chiapas	7349	Monterrey	-93.37	16.06	700
144	Chiapas	7355	Unión Zaragoza	-92.85	17.08	1690
145	Chiapas	7358	Flores Magón	-92.70	16.39	570
146	Chiapas	7360	Luis Espinoza	-93.42	17.15	400
147	Chiapas	7361	Paso Hondo	-92.01	15.68	660
148	Chiapas	7362	Rosendo Salazar	-94.00	16.47	470

A partir de la **Tabla 5.1** se obtiene el mapa con la distribución geográfica de las estaciones pertenecientes al estado de Chiapas (**Figura 5.3**).

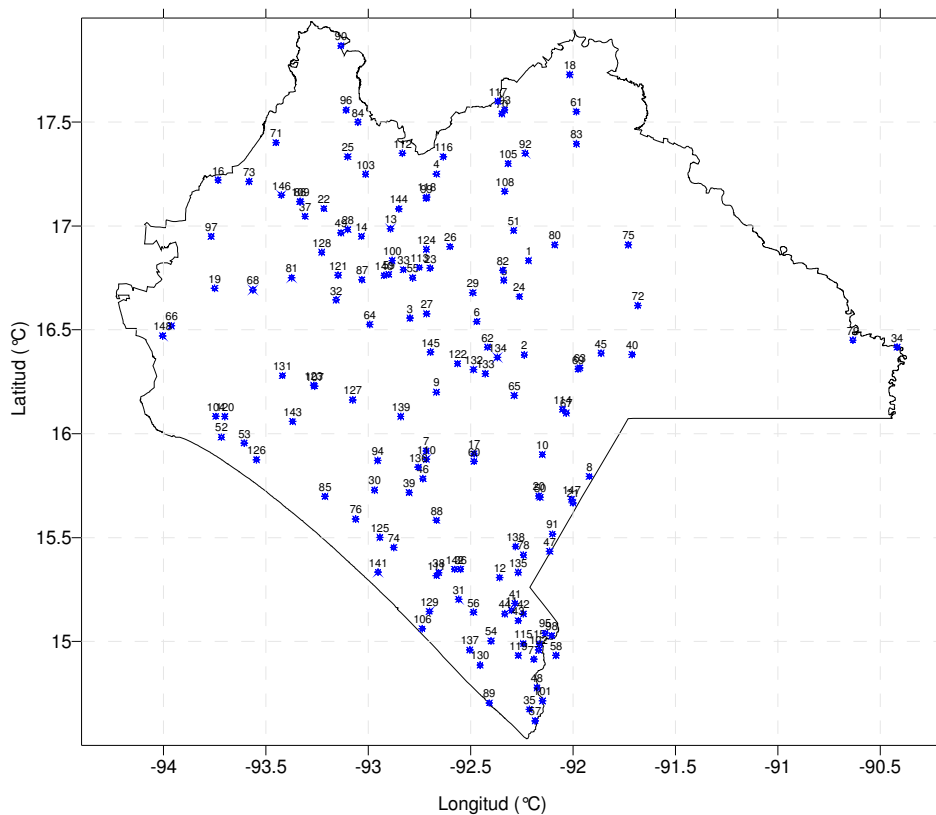


Figura 5.3 Estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Chiapas con registro de datos de precipitación mayor a 25 años.

Con el objetivo de conocer la distribución de la lluvia en todo el año, se obtuvo la **Tabla 5.2** en la cual se muestra la precipitación promedio mensual del estado de

acuerdo a los años registrados en las estaciones climatológicas, donde el mes más lluvioso es septiembre y el más seco es el mes de febrero.

Tabla 5.2 Precipitación mensual promedio en el estado de Chiapas.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación Prom. (mm)	39.6	33.4	33.9	62.6	163.9	317.3	265.9	300.4	365.9	228.6	88.9	48.5

Para visualizar el comportamiento de la precipitación a lo largo del año, se realiza la gráfica de los valores mostrados mensualmente en la **Tabla 5.2**, observando claramente que el periodo con más lluvia es junio-octubre (**Figura 5.4**).

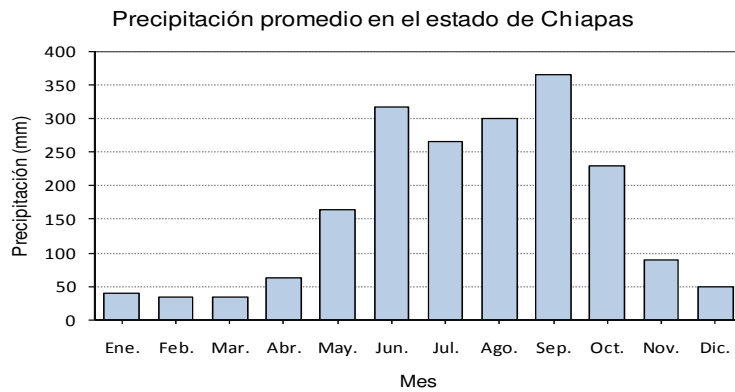


Figura 5.4. Precipitación mensual promedio en el estado de Chiapas.

En la **Figura 5.5** se muestra el comportamiento a lo largo del año de la precipitación máxima promedio en la república. Se observa que su comportamiento es parecido entre el registrado en el estado de Chiapas, sin embargo, en cantidad es mayor el registrado en los meses de junio a octubre en este estado.

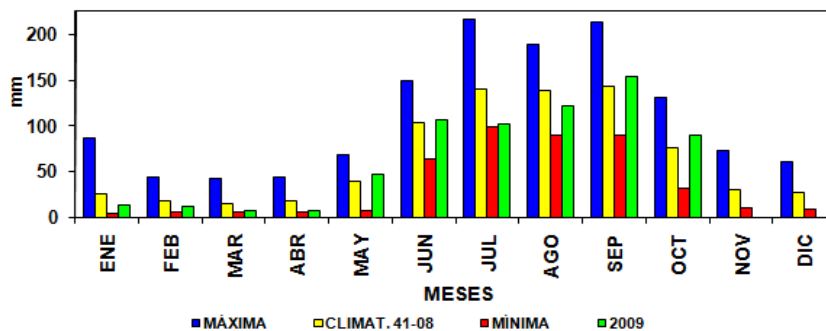


Figura 5.5 Precipitación mínima, media y máxima de la República Mexicana para el período 1941-2009. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

5.3. Resultados: Estado de Chiapas

5.3.1. Influencia de eventos ciclónicos en precipitaciones máximas

Para conocer el impacto que tienen los eventos ciclónicos en los registros de precipitación, se realizó una búsqueda de los huracanes que debido a su trayectoria pasaron o llegaron cerca del estado de Chiapas, en seguida se relacionó la fecha en que se presentaron, así como el dato de precipitación registrado. Por lo tanto, se conoció si el registro se encuentra dentro de los datos máximos de precipitación.

A continuación se muestra la **Figura 5.6**, donde se ilustra los huracanes que pasaron por el estado de Chiapas, o bien, su trayectoria fue a una distancia menor de 600 km respecto de los límites del estado.

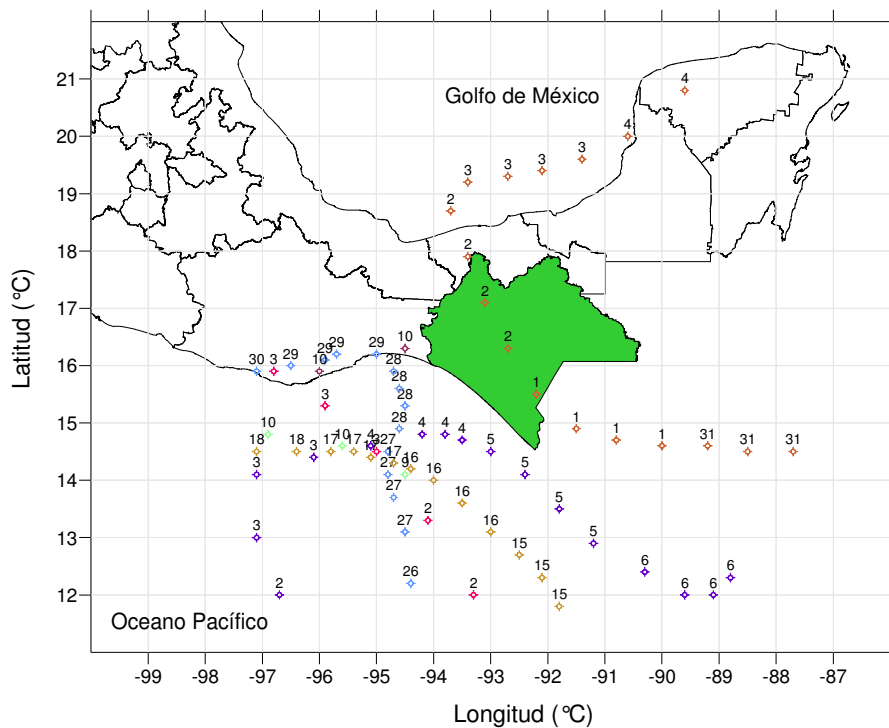


Figura 5.6. Huracanes que pasaron por el estado de Chiapas en la década de los 90's.

En la **Tabla 5.3** se muestra las series de tiempo de las estaciones de Chiapas. En esta se sombreadaron con azul los valores que coinciden en fecha con huracanes que pasaron por Chiapas, o se acercaron a menos de 600 km de este. Además, con línea

roja que se presenta la división en dos poblaciones a partir de la variable reducida, y con línea azul punteada, la división considerando dos poblaciones de igual tamaño.

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas.

No datos	Estación														
	7001	7002	7003	7005	7006	7007	7008	7009	7010	7011	7012	7014	7015	7016	7018
1	45.5	27.0	36.2	50.0	44.0	17.0	50.0	20.0	27.6	46.0	83.0	48.5	23.4	38.5	84.1
2	48.0	29.0	47.5	51.0	47.0	37.0	65.0	20.0	49.5	47.0	89.0	52.0	25.0	39.0	89.5
3	49.5	30.0	49.6	51.1	47.0	46.0	66.0	24.0	54.8	48.0	95.0	54.5	25.5	40.5	92.2
4	54.0	31.2	54.0	51.8	49.0	50.0	70.8	25.0	57.3	51.5	95.0	60.0	28.0	48.0	96.2
5	54.5	35.0	54.4	57.0	49.7	50.0	71.0	34.7	59.8	52.0	98.0	61.0	35.5	51.5	104.0
6	58.0	36.5	56.0	57.0	50.0	50.0	73.0	38.3	66.0	57.7	100.0	61.0	36.0	52.5	105.0
7	59.5	40.0	56.5	60.0	52.0	50.2	75.0	40.0	67.5	59.0	101.0	62.6	36.0	52.5	108.0
8	62.5	40.5	57.5	60.3	52.0	50.5	75.0	40.7	68.5	59.1	107.0	63.0	37.0	53.0	118.0
9	62.5	41.0	57.5	63.0	52.1	50.5	80.0	45.3	69.5	62.3	109.0	65.0	40.0	53.5	118.0
10	63.5	43.5	58.5	64.0	52.5	53.5	80.0	46.1	70.5	63.0	111.0	66.4	42.4	53.5	121.0
11	65.0	43.5	59.0	65.5	54.0	53.5	80.9	49.5	71.0	64.0	111.0	70.0	43.6	54.5	121.0
12	66.0	44.5	60.0	68.0	58.0	55.5	90.5	52.4	72.9	64.5	113.0	70.0	45.6	55.5	122.0
13	66.5	45.5	62.0	70.5	58.8	58.5	91.5	55.6	73.7	65.4	114.0	75.0	47.0	56.5	122.0
14	67.0	45.5	62.4	72.0	59.0	60.0	92.0	55.6	74.8	66.1	115.0	78.0	48.0	56.5	123.0
15	67.2	48.5	63.7	77.2	59.0	63.1	93.0	59.0	77.5	71.2	115.0	80.0	49.5	57.0	124.0
16	71.0	50.5	65.0	78.0	60.0	66.0	93.5	60.0	80.4	71.5	116.0	80.8	50.0	58.5	124.0
17	75.4	51.0	65.0	80.8	62.0	66.5	94.0	60.0	83.5	73.0	117.0	82.0	51.0	59.0	125.0
18	75.5	51.0	65.5	83.5	62.0	68.5	95.0	60.5	84.6	73.0	119.0	83.0	52.5	60.0	126.0
19	76.5	51.5	66.6	85.0	62.0	70.0	95.0	62.0	86.0	76.2	119.0	83.5	53.0	60.0	132.0
20	80.0	52.0	74.0	89.9	62.0	70.0	95.0	63.0	89.0	78.8	121.0	84.0	53.5	60.5	133.0
21	84.0	52.5	76.3	95.3	65.5	71.5	95.5	63.5	89.2	82.0	123.0	88.0	54.2	60.5	136.0
22	86.0	54.0	78.5	95.5	65.5	72.0	97.0	63.5	90.2	83.7	124.0	89.0	54.5	61.0	137.0
23	89.0	55.5	79.0	96.0	65.7	72.5	98.0	63.7	90.5	85.0	124.0	90.0	56.4	61.1	138.0
24	92.5	55.8	80.0	98.8	65.9	73.0	99.0	70.7	93.2	105.0	125.0	90.0	56.5	61.3	141.0
25	93.0	56.1	80.0	100.0	66.0	74.0	100.0	72.0	105.0	111.0	125.0	90.0	57.5	62.5	141.0
26	93.5	56.2	80.1	107.0	66.1	74.5	102.0	73.4	128.0	116.0	126.0	91.0	58.0	62.5	142.0
27	100.0	56.8	81.9	114.0	67.3	76.5	103.0	74.8		145.0	129.0	94.0	58.4	62.5	142.0
28	104.0	57.5	83.0	117.0	70.0	78.9	105.0	75.0			130.0	96.0	58.9	63.5	143.0
29	115.0	57.5	88.8	121.0	72.0	80.5	105.0	76.3			131.0	100.0	59.0	64.8	148.0
30	126.0	58.2	92.0	130.0	73.0	82.5	109.0	76.6			135.0	106.0	60.0	65.0	148.0
31		59.0	93.0	159.0	73.4	82.8	110.0	78.0			135.0	106.0	60.0	65.1	149.0
32		59.0	95.0		75.2	84.4	110.0	78.5			136.0	107.0	60.0	65.5	157.0
33		60.0	101.0		76.0	88.0	114.0	78.8			140.0	118.0	60.0	66.0	157.0
34		60.0	105.0		76.5	92.5	120.0	79.0			141.0	119.0	60.0	67.2	157.0
35		60.5	106.0		77.0	92.5	127.0	79.5			143.0	125.0	60.8	68.0	158.0
36		62.7	110.0		80.0	93.0	129.0	80.0			147.0	129.0	62.5	69.0	158.0
37		64.5	110.0		83.0	94.5	186.0	80.3			156.0	130.0	63.0	70.0	160.0
38		65.0	114.0		84.0	102.0	190.0	85.0			161.0	157.0	64.0	70.2	160.0
39		67.0	114.0		84.0	104.0	200.0	87.0			161.0	298.0	65.2	70.5	160.0
40		67.5	116.0		85.5	106.0		87.1			165.0		65.5	71.5	161.0
41		69.0	120.0		89.5	112.0		90.0			165.0		67.7	71.5	161.0
42		70.0	147.0		92.0	119.0		90.1			165.0		69.0	72.0	161.0
43		72.0	182.0		95.0	132.0		94.2			169.0		70.0	73.6	163.0
44		73.0	200.0		95.0			104.0			170.0		71.5	75.0	165.0
45		75.0			95.2			105.0			178.0		72.7	76.5	165.0
46		75.8			96.0			108.0			182.0		73.0	78.0	170.0
47		78.6			100.0			112.0			183.0		73.5	80.0	171.0
48		80.0			100.0			124.0			185.0		77.0	80.3	180.0
49		84.0			103.0			131.0			187.0		78.5	84.0	180.0
50		85.3			105.0			136.0			188.0		79.5	84.0	183.0
51		120.0			110.0			191.0			198.0		80.0	86.5	190.0
52					118.0						373.0		80.5	95.0	200.0
53					138.0								80.5	95.5	200.0
54													81.4	104.0	200.0
55													82.1	123.0	210.0
56													86.0		215.0
57													87.0		220.0
58													89.9		222.0
59													93.0		226.0
60													96.0		227.0
61													128.0		230.0
62													145.0		260.0
63													265.0		265.0
64															286.0

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7020	7021	7022	7023	7024	7026	7027	7030	7031	7032	7033	7034	7035	7036	7037
1	66.0	32.0	30.5	20.0	51.5	56.0	5.5	18.0	14.2	91.1	25.0	29.0	34.9	31.0	55.0
2	70.6	47.0	45.7	36.5	53.5	63.5	8.0	22.5	23.0	112.0	40.0	29.0	46.0	32.4	56.5
3	73.7	47.0	67.4	40.5	65.2	64.3	10.0	34.5	30.0	122.0	49.0	40.0	48.0	34.0	57.0
4	78.0	48.4	77.0	43.0	68.0	67.4	16.0	37.0	30.0	125.0	50.0	40.0	49.0	35.5	57.5
5	92.5	49.6	78.0	44.2	68.0	68.0	20.0	37.0	35.0	126.0	50.0	42.0	49.5	35.5	60.0
6	94.6	52.0	83.6	44.5	69.5	68.5	20.0	39.0	40.0	128.0	51.0	42.0	51.0	40.0	62.5
7	98.0	53.9	83.6	52.0	70.0	71.0	20.5	39.0	40.0	131.0	52.1	42.0	53.4	43.5	63.0
8	98.9	56.0	84.3	54.0	72.0	71.0	21.0	39.0	40.0	141.0	55.0	43.0	57.0	45.3	64.0
9	110.0	57.0	86.2	56.0	74.3	72.4	25.0	40.0	40.0	148.0	57.1	45.0	57.6	46.0	64.8
10	110.0	59.4	91.0	56.0	81.0	75.0	26.0	40.9	41.0	152.0	60.0	45.0	58.4	46.2	65.0
11	110.0	62.0	92.6	60.0	81.5	77.0	29.0	41.0	45.0	167.0	60.0	46.0	59.0	48.0	65.0
12	113.0	63.0	92.7	60.3	82.0	77.5	30.0	41.0	47.0	168.0	60.0	48.0	59.0	48.0	65.5
13	115.0	63.1	98.0	61.6	86.0	78.0	36.0	41.0	47.0	171.0	64.0	48.0	61.5	50.0	67.0
14	115.0	68.0	98.8	61.7	86.2	82.5	42.0	42.0	50.0	175.0	65.0	51.6	61.9	50.5	67.0
15	116.0	69.0	105.0	62.0	88.0	83.0	45.0	43.5	50.0	180.0	65.0	56.0	62.5	55.0	67.5
16	118.0	69.1	110.0	63.0	90.0	83.9	47.0	44.5	50.0	183.0	70.0	57.2	63.5	55.5	68.5
17	119.0	69.5	116.0	65.0	92.0	84.1	48.5	46.1	52.0	196.0	71.5	58.0	65.0	55.5	69.5
18	123.0	70.0	124.0	65.0	93.5	87.0	52.0	46.7	55.0	200.0	75.0	60.0	66.0	56.4	70.0
19	126.0	70.0	129.0	66.0	95.6	87.7	56.5	48.5	55.7	207.0	80.0	60.0	66.3	60.0	73.0
20	126.0	70.5	142.0	66.6	102.0	88.0	60.0	50.0	60.0	213.0	82.0	60.0	66.5	60.0	75.0
21	127.0	72.4	143.0	67.0	106.0	88.5	60.0	50.0	62.0	214.0	84.0	60.0	66.5	60.2	77.0
22	129.0	73.4	143.0	68.0	114.0	88.5	60.0	51.5	63.0	215.0	86.0	60.4	66.7	60.3	77.3
23	138.0	75.0	148.0	68.2	118.0	91.2	61.0	54.0	63.0	260.0	95.5	62.0	68.6	60.4	77.5
24	140.0	75.0	152.0	70.0	124.0	97.0	62.5	54.0	63.1	260.0	100.0	62.0	70.0	62.0	81.2
25	142.0	75.0	196.0	73.0	146.0	97.0	68.5	54.4	65.0	288.0	100.0	62.0	70.4	64.1	83.0
26	155.0	79.3		77.0	148.0	97.5	72.0	54.9	65.0	320.0	100.0	63.0	70.9	64.5	86.0
27	185.0	80.5		77.6	180.0	99.0	75.0	55.8	67.0		107.0	63.0	72.5	70.0	90.0
28	201.0	86.0		79.0		100.0	75.0	58.0	70.0		220.0	64.0	73.9	70.5	91.0
29	260.0	90.0		79.0		100.0	77.0	59.0	71.0		247.0	64.0	75.5	70.5	91.0
30	305.0	94.0		82.0		102.0	80.0	59.2	75.0			67.0	82.0	72.5	92.0
31		95.0		86.0		110.0	80.0	60.0	80.0			68.0	84.1	74.5	93.5
32		109.0		87.0		116.0	80.0	60.0	84.0			68.0	87.6	74.5	94.5
33		110.0		88.0		127.0	80.9	60.0	95.0			68.0	89.0	75.5	95.0
34		111.0		88.3		144.0	85.5	60.3	102.0			71.0	93.7	78.0	95.5
35		119.0		93.5		148.0	90.3	64.0				71.0	96.7	80.0	97.5
36				95.0		160.0	91.0	65.4				71.0	96.8	80.7	98.0
37				98.0		165.0	93.5	73.1				74.0	108.0	82.4	102.0
38				115.0		220.0	98.5	75.0				76.0	116.0	87.5	103.0
39				187.0			100.0	79.2				77.0	116.0	104.0	105.0
40				218.0			105.0	80.0				78.0		111.0	106.0
41				229.0			124.0	80.2				79.0		157.0	117.0
42				286.0			140.0	82.0				80.0			120.0
43							202.0	85.0				80.0			122.0
44								91.0				80.5			130.0
45								92.5				83.0			135.0
46								98.0				86.0			139.0
47								106.0				87.0			140.0
48												87.0			141.0
49												87.0			141.0
50												88.5			175.0
51												90.0			176.0
52												92.0			180.0
53												95.1			181.0
54												100.0			206.0
55												101.0			340.0
56												102.0			514.0
57												109.0			
58												110.0			
59												129.0			
60												132.0			
61												135.0			
62												186.0			
63												320.0			

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7038	7039	7040	7043	7045	7048	7050	7053	7054	7055	7056	7057	7058	7061	7062
1	77.0	32.5	40.0	48.7	38.8	67.4	20.0	13.7	5.0	20.0	71.2	73.7	89.0	73.5	8.0
2	86.5	34.0	45.0	58.0	50.0	79.0	31.0	52.0	44.3	45.5	85.0	75.0	90.0	84.3	22.0
3	90.0	35.5	45.5	59.9	55.0	82.6	38.0	83.0	66.6	57.2	85.2	77.7	92.0	101.0	27.0
4	96.5	41.5	46.0	69.4	60.9	82.6	43.6	88.0	68.3	66.0	86.0	80.0	102.0	102.0	27.6
5	97.0	42.0	46.8	70.5	70.3	92.0	47.0	91.5	68.5	66.5	94.0	80.0	102.0	102.0	32.5
6	100.0	42.0	49.5	72.4	72.6	98.7	47.0	91.5	71.2	72.0	95.0	80.0	102.0	105.0	34.4
7	103.0	45.0	51.0	74.5	73.0	102.0	49.0	92.0	73.0	72.6	98.0	82.5	105.0	109.0	35.0
8	104.0	46.5	52.0	75.0	80.0	103.0	60.0	97.8	73.5	75.0	100.0	87.3	109.0	110.0	36.0
9	104.0	48.0	52.1	81.9	80.1	106.0	60.0	98.0	75.3	77.0	101.0	87.8	110.0	112.0	37.0
10	106.0	50.5	53.5	82.7	80.4	107.0	61.0	100.0	77.7	79.0	104.0	95.1	110.0	114.0	39.0
11	107.0	55.0	53.8	88.3	80.5	107.0	64.0	103.0	78.0	80.0	105.0	100.0	112.0	117.0	40.0
12	108.0	55.0	54.0	88.7	80.9	110.0	65.0	105.0	80.0	80.0	107.0	104.0	113.0	118.0	42.0
13	108.0	57.5	54.0	91.3	85.1	111.0	66.0	108.0	81.0	81.0	112.0	107.0	114.0	120.0	43.0
14	110.0	58.0	54.3	96.2	86.3	112.0	67.0	109.0	84.9	82.0	117.0	108.0	116.0	121.0	44.0
15	112.0	58.5	57.0	96.5	86.8	120.0	67.5	118.0	85.0	82.0	117.0	110.0	118.0	123.0	44.5
16	114.0	60.0	58.0	98.6	90.3	122.0	70.0	120.0	86.7	85.0	120.0	110.0	118.0	125.0	45.0
17	114.0	60.0	58.4	102.0	92.5	124.0	70.0	124.0	88.2	85.0	121.0	112.0	120.0	128.0	46.0
18	116.0	60.0	58.5	105.0	94.5	126.0	72.0	125.0	88.7	86.0	126.0	114.0	120.0	139.0	46.0
19	117.0	60.5	60.0	108.0	95.0	126.0	72.2	130.0	90.1	86.5	128.0	114.0	125.0	140.0	47.0
20	120.0	60.5	62.0	108.0	95.2	130.0	75.0	132.0	91.8	86.7	132.0	116.0	131.0	148.0	47.0
21	123.0	61.1	62.2	108.0	95.5	131.0	80.0	134.0	92.4	88.0	138.0	117.0	140.0	149.0	48.0
22	124.0	62.0	63.6	112.0	98.8	132.0	80.0	135.0	93.4	88.8	168.0	117.0	141.0	150.0	49.6
23	125.0	63.3	64.0	114.0	99.4	132.0	81.0	135.0	93.5	90.0	174.0	120.0	146.0	158.0	55.0
24	126.0	63.5	64.6	119.0	101.0	138.0	81.0	136.0	93.8	90.0	195.0	122.0	146.0	166.0	56.0
25	130.0	64.0	66.2	125.0	101.0	143.0	81.1	138.0	97.0	92.0	201.0	122.0	150.0	172.0	58.0
26	130.0	64.5	66.8	128.0	102.0	146.0	81.5	140.0	97.3	92.0	202.0	124.0	179.0	175.0	59.5
27	134.0	68.1	67.0	129.0	102.0	147.0	84.0	140.0	99.4	92.0	210.0	124.0	180.0	177.0	61.0
28	137.0	69.4	67.5	156.0	102.0	150.0	85.0	140.0	100.0	94.5	220.0	126.0	190.0	220.0	61.0
29	137.0	69.4	68.5	159.0	104.0	153.0	85.6	140.0	101.0	96.0		134.0	194.0	238.0	62.0
30	138.0	69.5	69.0		106.0	160.0	85.8	142.0	101.0	97.5		135.0	204.0	270.0	63.0
31	142.0	69.5	70.0		107.0	160.0	86.0	146.0	102.0	98.2		140.0		338.0	64.0
32	142.0	70.0	70.5		110.0	160.0	86.0	180.0	102.0	98.5		140.0			64.3
33	144.0	70.0	71.0		110.0	162.0	88.9	181.0	103.0	100.0		140.0			65.0
34	146.0	71.5	71.0		111.0	162.0	90.0	187.0	107.0	102.0		145.0			66.0
35	147.0	73.3	73.0		112.0	181.0	92.0	192.0	109.0	103.0		146.0			66.0
36	148.0	73.5	73.0		116.0	208.0	93.0	212.0	112.0	104.0		153.0			67.0
37	152.0	74.5	74.0		120.0	213.0	93.5	221.0	122.0	104.0		156.0			70.0
38	154.0	74.9	75.0		123.0	230.0	95.0	233.0	122.0	106.0		156.0			71.0
39	157.0	75.5	75.5		124.0	250.0	95.0	331.0	123.0	106.0		157.0			74.0
40	218.0	76.1	76.5		130.0	314.0	98.5	437.0	138.0	107.0		157.0			76.0
41	273.0	76.5	77.0		130.0	342.0	100.0		138.0	108.0		185.0			77.0
42		77.0	77.5		132.0		100.0		138.0	109.0		186.0			89.0
43		77.8	79.0		133.0		112.0		140.0	111.0		200.0			104.0
44		79.3	81.0		134.0		116.0		144.0	113.0		240.0			113.0
45		81.5	84.0		135.0		120.0		144.0	124.0		242.0			
46		84.4	84.3		137.0		120.0		206.0	126.0		246.0			
47		84.5	93.0		141.0		125.0		300.0	130.0					
48		87.0	93.0		144.0		130.0		320.0	130.0					
49		91.5	94.0		147.0		147.0			142.0					
50		92.0	94.5		152.0		180.0			145.0					
51		92.0	97.0		196.0		257.0			149.0					
52		100.0	100.0		198.0					158.0					
53		120.0	100.0		204.0					160.0					
54		127.0	104.0		228.0										
55		135.0	107.0		328.0										
56		144.0	110.0												
57		145.0	118.0												

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7063	7067	7068	7069	7070	7071	7073	7074	7075	7076	7077	7078	7079	7083	7084
1	12.5	20.1	50.0	40.0	46.2	54.0	26.0	41.0	3.2	17.5	70.0	30.0	104.0	8.0	65.1
2	57.0	20.4	61.3	40.2	51.3	60.0	50.0	53.0	15.5	35.0	75.8	47.7	108.0	8.5	73.3
3	69.0	20.8	68.2	41.5	60.0	60.0	54.5	64.5	70.4	36.0	97.0	64.0	108.0	13.0	74.0
4	69.0	20.9	72.1	48.1	60.0	62.0	62.5	80.6	72.0	36.0	97.5	64.0	110.0	14.0	81.3
5	72.0	21.0	72.4	50.0	60.0	62.0	70.0	82.0	77.6	38.0	101.0	65.0	110.0	30.5	90.6
6	72.0	21.0	74.0	52.8	60.0	63.0	71.5	84.2	83.5	38.5	101.0	69.5	112.0	32.0	90.6
7	74.0	21.0	75.0	57.0	60.0	65.0	75.0	85.0	87.0	38.5	103.0	69.8	112.0	35.0	90.7
8	80.0	28.7	76.0	58.2	60.0	68.0	86.0	86.5	88.0	39.0	104.0	71.4	114.0	35.0	90.9
9	81.0	30.5	76.0	58.5	60.0	68.0	86.0	87.0	88.5	40.0	106.0	74.2	117.0	40.0	91.0
10	84.0	32.0	84.5	60.6	63.6	68.0	91.0	88.0	89.6	42.0	106.0	74.6	118.0	40.5	93.0
11	87.0	33.0	85.5	60.9	68.0	70.0	92.0	88.0	99.5	42.0	108.0	75.2	122.0	40.5	93.3
12	88.0	34.5	86.1	61.9	70.0	71.0	92.2	90.0	100.0	45.0	108.0	78.0	124.0	50.0	93.5
13	89.0	35.0	86.6	64.6	70.0	71.0	95.0	91.4	102.0	45.0	110.0	78.5	124.0	59.0	95.0
14	89.0	36.0	88.0	65.9	70.5	74.0	95.0	91.5	102.0	45.0	110.0	81.0	124.0	60.0	96.0
15	93.0	36.5	89.9	71.0	70.8	76.0	96.2	93.0	104.0	45.0	113.0	82.2	126.0	60.0	97.8
16	95.2	36.9	90.0	75.0	72.0	76.0	98.0	93.0	104.0	46.0	114.0	83.2	131.0	60.3	103.0
17	96.0	38.0	90.5	76.2	74.2	80.0	98.3	94.0	105.0	46.0	116.0	83.2	136.0	62.0	105.0
18	96.0	40.0	91.0	77.0	76.5	80.0	98.9	95.0	106.0	48.0	118.0	87.5	142.0	65.0	105.0
19	97.0	40.1	91.3	77.7	77.5	80.0	99.5	95.0	107.0	48.0	120.0	90.0	144.0	66.0	106.0
20	105.0	40.2	91.8	80.2	80.0	80.0	106.0	97.3	110.0	48.0	120.0	90.2	147.0	70.0	108.0
21	105.0	40.2	92.4	80.7	80.0	80.0	114.0	100.0	111.0	49.5	122.0	92.2	149.0	70.3	112.0
22	108.0	40.5	93.0	82.6	80.2	81.0	114.0	104.0	113.0	51.0	122.0	93.5	150.0	78.0	120.0
23	109.0	40.5	94.0	86.0	80.2	83.0	115.0	104.0	115.0	53.0	124.0	97.2	153.0	80.0	126.0
24	110.0	40.5	95.0	90.0	80.5	84.0	132.0	111.0	120.0	56.0	124.0	98.0	156.0	85.3	126.0
25	110.0	40.7	96.2	90.3	81.0	86.0	142.0	120.0	123.0	56.5	124.0	98.0	164.0	100.0	129.0
26	113.0	40.7	96.7	110.0	81.4	90.0	148.0	120.0	124.0	56.5	126.0	100.0	172.0	102.0	129.0
27	115.0	40.8	106.0	140.0	82.3	92.0	159.0	128.0	126.0	58.0	130.0	100.0	220.0	180.0	132.0
28	115.0	46.5	108.0		85.2	100.0	168.0	128.0	133.0	58.5	130.0	101.0	269.0		134.0
29	129.0	60.0	109.0		86.6	100.0	198.0	131.0	134.0	60.0	134.0	101.0	498.0		136.0
30	197.0	61.8	112.0		89.0	100.0	200.0	140.0	135.0	61.0	135.0	102.0			148.0
31		62.0	115.0		91.6	100.0	200.0	142.0	136.0	62.0	135.0	102.0			160.0
32		66.3	120.0		94.5	101.0	232.0	143.0	137.0	64.0	135.0	102.0			165.0
33		73.3	120.0		95.4	102.0		152.0	137.0	74.0	136.0	104.0			167.0
34		77.4	120.0		97.8	102.0		156.0	137.0	77.0	136.0	104.0			174.0
35		91.0	120.0		98.0	102.0		160.0	138.0	78.0	136.0	104.0			188.0
36		97.0	123.0		100.0	103.0		162.0	153.0	96.0	139.0	108.0			214.0
37		134.0	125.0		100.0	104.0		170.0	160.0		141.0	110.0			248.0
38		140.0	125.0		100.0	110.0		380.0	166.0		141.0	110.0			
39		148.0	128.0		100.0	111.0			185.0		141.0	115.0			
40		180.0	131.0		100.0	140.0			191.0		144.0	118.0			
41		201.0	133.0		111.0	145.0			205.0		146.0	120.0			
42		202.0	134.0		114.0	166.0			239.0		149.0	120.0			
43			135.0		115.0				311.0		150.0	122.0			
44			136.0		116.0						151.0	133.0			
45			137.0		119.0						155.0	137.0			
46			139.0		125.0						157.0	141.0			
47			140.0		137.0						158.0	142.0			
48			148.0								160.0	144.0			
49			149.0								163.0	144.0			
50			154.0								170.0	145.0			
51			155.0								179.0	146.0			
52			156.0								187.0	155.0			
53			160.0								200.0	156.0			
54			209.0								237.0	158.0			
55			215.0									200.0			
56			216.0									226.0			
57			230.0									300.0			

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7085	7086	7089	7091	7094	7097	7099	7102	7104	7105	7106	7108	7112	7113	7114
1	42.0	47.4	44.5	48.4	38.0	2.0	6.6	33.0	36.0	81.6	85.5	41.0	40.0	41.0	28.0
2	62.4	50.0	44.5	51.6	40.0	6.0	28.5	45.0	38.0	83.0	93.7	45.6	61.7	44.5	30.2
3	84.0	51.2	56.5	52.5	44.0	8.8	28.6	47.8	44.5	85.0	96.4	50.0	68.5	79.5	30.5
4	85.0	60.4	66.5	55.0	45.0	10.0	30.0	48.4	46.5	90.0	120.0	51.4	71.0	88.0	40.0
5	85.2	61.0	72.5	55.0	46.3	20.8	35.5	52.3	46.5	92.4	124.0	52.9	73.5	90.0	40.0
6	86.4	61.8	77.5	55.2	46.5	31.0	36.0	55.2	47.5	94.4	127.0	56.3	74.7	92.4	40.0
7	87.5	65.0	78.5	55.4	53.0	37.0	38.5	55.5	49.5	95.0	130.0	57.0	76.5	94.3	40.5
8	87.5	67.5	79.0	57.5	60.0	39.0	42.0	56.3	50.0	97.2	134.0	57.9	77.2	94.3	42.8
9	97.5	69.0	81.0	57.6	63.0	40.0	43.0	56.4	52.4	102.0	135.0	59.0	78.5	95.0	45.0
10	98.0	69.6	83.5	58.0	63.0	40.0	45.0	59.7	53.5	110.0	135.0	59.0	78.6	95.0	45.0
11	101.0	71.0	85.0	58.4	65.0	40.9	45.6	60.0	54.5	120.0	147.0	62.5	79.6	96.3	45.0
12	104.0	71.0	85.0	59.0	65.2	48.8	48.0	61.8	56.5	131.0	150.0	62.6	80.0	98.0	45.2
13	105.0	72.5	88.0	59.8	66.0	49.0	48.0	63.1	58.0	135.0	154.0	63.0	80.0	98.6	45.4
14	106.0	73.0	89.0	60.1	66.0	49.2	48.0	63.4	58.5	140.0	159.0	63.9	84.8	100.0	50.9
15	108.0	74.0	90.5	61.5	71.6	54.7	49.0	64.0	58.5	141.0	161.0	64.0	85.0	100.0	50.9
16	110.0	77.0	97.3	63.6	75.0	55.0	49.3	64.0	61.5	161.0	168.0	64.0	86.4	103.0	55.0
17	111.0	80.0	100.0	65.0	75.0	56.0	50.0	64.5	61.5	161.0	171.0	65.0	88.9	114.0	60.0
18	112.0	81.0	104.0	65.8	78.5	57.0	50.0	65.0	61.5	167.0	171.0	65.3	91.5	120.0	60.0
19	116.0	81.0	106.0	66.7	79.0	60.0	50.0	65.6	62.0	175.0	179.0	68.0	92.0	126.0	60.0
20	120.0	81.5	106.0	67.2	80.0	60.0	50.0	66.3	63.0	181.0	179.0	70.8	95.2	126.0	62.0
21	120.0	83.5	112.0	68.0	80.0	60.0	50.0	67.3	63.5	182.0	183.0	72.3	95.5	127.0	67.0
22	121.0	84.5	114.0	68.5	80.5	60.0	50.0	67.5	64.5	189.0	198.0	73.4	95.5	128.0	70.0
23	121.0	84.5	118.0	69.0	81.0	60.3	51.0	68.0	64.8	190.0	200.0	74.8	96.0	129.0	79.0
24	123.0	85.0	125.0	69.5	82.0	61.5	51.0	68.7	66.5	207.0	206.0	75.0	97.0	131.0	80.0
25	125.0	85.8	127.0	69.6	82.0	62.0	55.0	70.0	66.5	217.0	230.0	75.5	103.0	133.0	80.0
26	126.0	89.0	133.0	70.0	82.0	64.0	55.0	71.0	66.5	226.0	237.0	84.5	104.0	140.0	80.0
27	126.0	89.4	134.0	70.0	85.0	64.4	56.0	71.6	69.0	229.0	258.0	90.5	107.0	141.0	80.0
28	130.0	90.5	138.0	73.0	85.5	65.8	56.0	73.8	72.0		259.0	91.0	110.0	141.0	80.0
29	130.0	93.0	151.0	73.5	86.0	70.0	58.0	74.3	72.5			111.0	115.0	144.0	80.5
30	136.0	94.5	163.0	74.0	86.0	73.5	63.0	75.2	73.5			148.0	116.0	146.0	80.5
31	140.0	100.0	239.0	74.0	90.8	75.0	63.0	76.0	75.5				121.0	146.0	81.7
32	141.0	105.0		74.6	95.0	75.0	64.0	76.7	75.5				123.0	152.0	85.4
33	145.0	106.0		75.0	97.0	78.2	65.3	78.3	75.5				123.0	161.0	88.5
34	150.0	109.0		75.2	98.0	82.0	68.0	80.0	77.0				125.0	166.0	90.0
35	155.0	111.0		75.5	100.0	87.0	69.0	80.2	77.5				126.0	175.0	94.0
36	171.0	112.0		75.5	104.0	95.0	70.0	81.0	78.0				126.0	192.0	100.0
37	171.0	113.0		75.5	125.0	100.0	73.0	82.7	78.0				128.0	201.0	100.0
38	182.0	116.0		76.8		101.0	74.0	84.0	78.0				140.0	324.0	108.0
39	184.0			77.2		102.0	75.0	85.5	81.0				140.0		108.0
40	186.0			80.0		125.0	76.0	87.0	84.0				142.0		123.0
41	188.0			80.0		147.0	80.0	87.9	87.0				143.0		128.0
42	190.0			82.5		164.0	83.0	88.8	88.0				149.0		150.0
43	193.0			82.5		166.0	84.0	90.1	89.5				156.0		
44	210.0			84.2		190.0	88.5	92.0	91.5				160.0		
45	230.0			88.2			89.0	93.7	338.0				161.0		
46				88.9			91.0	94.0					164.0		
47				89.0			91.0	94.5					192.0		
48				98.7			93.5	97.2					240.0		
49				103.0			150.0	97.7					246.0		
50				107.0			165.0	100.0					250.0		
51				108.0			399.0	102.0							
52				110.0				108.0							
53				113.0				109.0							
54				116.0				110.0							
55								115.0							
56								124.0							
57								142.0							
58								142.0							

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7115	7116	7119	7121	7122	7123	7125	7126	7128	7129	7133	7134	7135	7136	7138
1	7.9	67.3	8.0	34.0	4.5	8.5	26.0	13.0	80.0	11.1	18.0	36.0	45.6	30.3	7.2
2	64.5	88.3	18.0	53.0	8.4	20.9	28.0	15.0	90.5	56.1	58.2	36.2	49.4	37.5	23.0
3	75.3	92.0	20.0	55.2	35.0	39.1	32.0	18.3	97.0	65.5	60.0	42.0	51.2	45.0	23.5
4	76.5	92.9	20.5	60.0	40.0	45.0	36.0	20.0	106.0	67.3	60.0	43.5	53.6	56.0	74.4
5	78.2	94.6	20.5	60.3	41.0	45.0	38.5	20.0	106.0	68.5	68.3	49.5	54.0	57.0	81.5
6	81.5	95.5	22.0	62.5	42.0	46.0	43.5	30.0	110.0	74.3	74.2	50.0	54.5	58.0	88.0
7	86.5	98.5	22.2	65.7	48.0	46.3	45.5	40.0	112.0	78.5	77.2	50.0	56.4	62.0	89.2
8	87.8	98.8	23.0	66.9	53.2	49.0	47.0	45.0	112.0	80.0	82.0	52.6	57.5	64.5	89.7
9	90.0	100.0	23.0	68.0	58.0	51.5	48.0	45.0	115.0	86.0	85.0	52.9	58.0	64.5	90.3
10	90.0	102.0	23.2	70.7	58.0	52.5	48.7	60.0	120.0	86.0	88.2	54.6	58.1	68.5	90.7
11	90.5	105.0	23.3	71.6	60.0	52.7	50.5	61.0	124.0	92.3	90.2	55.0	59.0	70.0	91.5
12	94.7	116.0	23.4	81.0	60.0	52.7	51.0	68.0	124.0	93.0	92.5	55.2	60.5	70.0	95.4
13	95.0	118.0	23.5	84.9	60.0	53.0	52.0	78.0	127.0	94.5	96.2	55.2	61.3	73.2	100.0
14	95.4	119.0	26.2	89.4	61.0	53.5	53.0	80.0	140.0	95.0	99.0	59.5	62.4	80.0	102.0
15	104.0	119.0	27.5	90.4	66.0	53.5	55.5	85.0	144.0	95.3	104.0	60.5	64.5	80.5	102.0
16	106.0	120.0	27.7	90.8	68.0	54.5	56.0	94.5	147.0	95.8	104.0	61.7	65.5	80.5	106.0
17	109.0	122.0	28.0	92.9	69.0	57.0	56.8	94.5	157.0	95.8	105.0	62.0	66.9	81.5	107.0
18	109.0	124.0	29.0	95.0	69.0	57.5	60.0	105.0	162.0	96.0	107.0	62.1	67.0	85.0	107.0
19	111.0	125.0	29.8	95.2	70.0	58.0	60.0	115.0	164.0	99.0	109.0	63.0	67.5	85.0	108.0
20	113.0	126.0	30.0	97.6	70.0	58.0	60.0	120.0	167.0	99.5	114.0	63.0	67.9	86.5	114.0
21	114.0	126.0	30.0	100.0	72.0	60.5	60.0	128.0	168.0	102.0	120.0	63.7	70.0	88.0	120.0
22	115.0	126.0	30.2	100.0	73.0	60.7	61.0	155.0	168.0	103.0	130.0	64.8	70.1	94.0	122.0
23	116.0	128.0	30.5	106.0	73.4	61.0	61.5	156.0	172.0	106.0	155.0	65.0	77.8	100.0	127.0
24	118.0	129.0	30.6	108.0	75.0	61.7	62.0	157.0	178.0	108.0	165.0	65.0	79.0	100.0	128.0
25	126.0	130.0	31.3	108.0	75.0	62.0	63.0	165.0	180.0	114.0	181.0	68.0	82.5	100.0	129.0
26	130.0	132.0	32.0	108.0	77.0	62.0	65.0	170.0	182.0	114.0	184.0	69.0	83.4	107.0	132.0
27	132.0	135.0	32.0	114.0	78.0	63.0	65.5	190.0	188.0	118.0	360.0	69.0	84.5	120.0	140.0
28	136.0	143.0	32.5	120.0	79.0	63.0	67.0	230.0	193.0	118.0	70.0	85.5	120.0	140.0	140.0
29	139.0	146.0	33.0	121.0	80.0	63.0	67.3	236.0	224.0	120.0	70.5	86.0	126.0	147.0	147.0
30	140.0	147.0	33.0	128.0	80.0	64.4	68.2	227.0	227.0	124.0	72.0	87.0	134.0	162.0	162.0
31	145.0	148.0	33.5	130.0	81.0	64.5	70.3	230.0	230.0	124.0	72.5	88.5	136.0	191.0	191.0
32	146.0	151.0	33.8	143.0	83.0	67.0	76.5	234.0	234.0	125.0	73.0	88.5	140.0	203.0	203.0
33	148.0	151.0	34.0	148.0	83.5	68.0	78.0	234.0	234.0	126.0	75.0	89.5	148.0	300.0	300.0
34	155.0	152.0	34.0	154.0	85.0	68.0	78.0	235.0	235.0	126.0	75.0	89.5	149.0		
35	159.0	152.0	34.0	156.0	85.7	68.0	80.0	236.0	236.0	126.0	75.1	91.4	154.0		
36	160.0	152.0	35.0	167.0	87.0	68.0	80.0	238.0	238.0	131.0	75.2	101.0	155.0		
37	171.0	156.0	35.0	194.0	90.0	70.0	80.0	240.0	240.0	133.0	75.3	102.0	160.0		
38	192.0	160.0	36.0		91.5	71.5	88.5	246.0	246.0	136.0	75.7	104.0	165.0		
39	200.0	162.0	37.0		92.4	71.6	102.0	254.0	254.0	140.0	75.7	136.0	166.0		
40	205.0	165.0	37.2		92.6	72.5		286.0	286.0	143.0	76.5		180.0		
41	218.0	168.0	38.0		93.0	73.4		290.0	290.0	155.0	78.0		200.0		
42	342.0	180.0	39.0		97.0	75.0				188.0	78.8		200.0		
43		180.0	39.0		98.0	76.0				193.0	86.1		200.0		
44		202.0	40.0		100.0	76.2				200.0	86.4		240.0		
45		206.0	40.0		104.0	78.5				208.0	87.0		254.0		
46		214.0	40.5		108.0	80.0				210.0	91.5		280.0		
47		340.0	41.0		114.0	80.0				239.0	93.8		300.0		
48			41.0		122.0	80.0				274.0	94.0				
49			42.5		123.0	80.0				458.0	100.0				
50			42.5		162.0	81.0					110.0				
51			43.0		169.0	81.0					110.0				
52			43.5		169.0	82.3					111.0				
53			44.0		183.0	83.0					113.0				
54			44.0		198.0	86.2					115.0				
55			45.2		260.0	88.0					120.0				
56			46.0			88.8					131.0				
57			46.0			89.6					560.0				
58			48.0			91.5									
59			50.0			93.2									
60			50.2			93.5									
61			50.7			94.0									
62			52.0			96.0									
63			52.4			97.0									
64			54.0			98.0									
65			54.0			107.0									
66			55.0			113.0									
67			55.8			120.0									
68			57.2			120.0									
69			61.3			153.0									
70			65.0												
71			65.5												
72			70.5												
73			74.0												
74			75.0												
75			76.0												
76			76.5												
77			79.0												
78			100.0												
79			112.0												
80			141.0												
81			155.0												
82			175.0												
83			320.0												

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7139	7140	7141	7145	7146	7147	7156	7157	7160	7162	7163	7166	7167	7168	7169
1	3.4	85.0	98.5	10.9	42.0	77.5	53.7	48.0	43.5	35.0	61.0	9.3	62.3	29.0	91.0
2	47.1	93.1	107.0	25.0	52.0	94.5	56.7	70.3	46.5	39.0	67.0	78.5	71.5	54.2	92.0
3	50.0	98.5	110.0	29.3	70.0	115.0	57.0	80.3	51.3	40.0	68.5	80.0	72.0	57.1	100.0
4	51.0	100.0	111.0	32.5	70.0	116.0	59.3	88.5	59.0	42.0	68.9	94.4	76.2	74.8	103.0
5	51.5	101.0	121.0	34.7	70.3	118.0	63.6	92.5	59.5	42.0	70.0	96.0	76.4	75.1	105.0
6	58.5	101.0	121.0	38.3	82.0	119.0	68.0	94.0	60.5	46.0	73.3	96.2	80.1	75.8	110.0
7	59.5	102.0	122.0	38.4	85.0	123.0	68.2	95.7	65.5	47.0	73.7	100.0	84.2	76.0	110.0
8	59.5	103.0	123.0	38.7	89.0	127.0	70.5	99.5	66.5	48.0	73.8	101.0	86.0	79.8	111.0
9	61.0	105.0	123.0	42.0	90.0	128.0	72.5	100.0	69.9	48.5	74.3	104.0	91.0	82.2	112.0
10	62.0	108.0	124.0	43.0	90.0	129.0	73.7	100.0	70.0	49.0	75.0	108.0	95.0	82.9	115.0
11	63.0	120.0	126.0	45.5	90.5	130.0	77.5	100.0	70.0	52.0	77.5	116.0	96.6	84.0	116.0
12	63.5	120.0	126.0	45.6	91.0	142.0	80.3	100.0	70.5	52.0	78.0	119.0	100.0	85.0	117.0
13	64.0	121.0	130.0	48.5	91.0	147.0	80.3	103.0	76.5	60.0	81.0	120.0	119.0	88.2	121.0
14	64.5	130.0	130.0	49.0	91.0	148.0	80.7	104.0	80.0	60.0	82.8	124.0	121.0	90.0	125.0
15	69.0	138.0	135.0	49.6	93.0	152.0	81.8	104.0	80.0	60.0	83.0	124.0	123.0	90.9	128.0
16	69.0	140.0	135.0	51.5	93.0	167.0	84.6	105.0	80.0	60.0	84.0	125.0	126.0	92.1	137.0
17	70.0	145.0	139.0	52.0	94.0	180.0	89.8	106.0	80.0	60.5	84.0	125.0	126.0	93.0	139.0
18	71.0	146.0	141.0	52.2	94.5	188.0	90.0	108.0	81.0	62.0	85.0	128.0	127.0	95.4	141.0
19	72.8	147.0	144.0	52.6	96.5	190.0	90.1	108.0	83.0	62.5	89.0	131.0	127.0	96.0	144.0
20	73.5	179.0	147.0	54.3	97.0	206.0	90.2	110.0	85.0	63.5	89.8	131.0	134.0	96.0	145.0
21	75.0	181.0	148.0	54.6	97.5	213.0	91.2	114.0	85.5	64.0	93.6	132.0	157.0	96.8	150.0
22	75.0	181.0	157.0	55.6	97.5	214.0	92.7	117.0	85.5	65.5	93.8	136.0	169.0	100.0	150.0
23	77.5	195.0	157.0	58.5	97.5	222.0	93.8	120.0	94.0	67.0	94.2	136.0	184.0	105.0	170.0
24	77.6	199.0	159.0	60.0	98.3	227.0	93.9	121.0	95.0	68.5	98.5	136.0	185.0	107.0	180.0
25	82.0	206.0	166.0	60.0	99.0	230.0	98.8	127.0	98.0	71.0	99.3	137.0	196.0	111.0	181.0
26	82.7	214.0	170.0	60.4	100.0	248.0	101.0	130.0	98.0	73.0	99.6	140.0	201.0	113.0	182.0
27	83.5	218.0	170.0	60.5	100.0	248.0	102.0	130.0	100.0	77.0	102.0	140.0	223.0	115.0	212.0
28	85.0	260.0	172.0	62.3	100.0	294.0	104.0	130.0	102.0	78.0	104.0	141.0	320.0	115.0	229.0
29	91.0		178.0	64.4	101.0	314.0	107.0	131.0	108.0	83.5	104.0	142.0	333.0	125.0	252.0
30	97.5		180.0	64.5	102.0		111.0	131.0	109.0	92.0	105.0	142.0	341.0	126.0	
31	98.5		181.0	66.0	102.0		112.0	131.0	112.0	468.0	106.0	142.0		136.0	
32	99.0		186.0	68.0	108.0		112.0	132.0	120.0		108.0	146.0		139.0	
33	136.0		186.0	69.0	109.0		126.0	134.0	130.0		108.0	146.0		143.0	
34	138.0		193.0	70.0	111.0		127.0	135.0	134.0		109.0	150.0		148.0	
35	148.0		196.0	70.0	114.0		128.0	140.0	136.0		110.0	152.0		150.0	
36			200.0	71.5	115.0		128.0	141.0	150.0		113.0	154.0		151.0	
37			200.0	71.8	119.0		131.0	146.0	164.0		118.0	155.0		165.0	
38			203.0	74.0	124.0		133.0	150.0	180.0		118.0	156.0		172.0	
39			218.0	76.0	125.0		145.0	150.0			135.0	160.0		181.0	
40			221.0	80.0	135.0		172.0	150.0			140.0	162.0		208.0	
41			233.0	84.6	135.0		261.0	151.0			141.0	162.0		215.0	
42			322.0	88.0	142.0			156.0			147.0	162.0		217.0	
43			332.0	90.2	146.0			160.0			173.0	170.0		231.0	
44				90.3	146.0			160.0			214.0	173.0		258.0	
45				90.5	150.0			165.0			222.0	174.0		270.0	
46				97.0	154.0			168.0			309.0	175.0		290.0	
47				100.0	160.0			168.0				180.0		313.0	
48				101.0	163.0			170.0				182.0			
49				108.0	165.0			170.0				183.0			
50				116.0	166.0			171.0				188.0			
51				121.0	169.0			176.0				200.0			
52				126.0	180.0			178.0				224.0			
53				128.0	185.0			180.0				234.0			
54				130.0	185.0			180.0				248.0			
55				140.0	190.0			184.0				270.0			
56				163.0	195.0			187.0				283.0			
57				195.0	203.0			190.0				330.0			
58					272.0			195.0							
59					330.0			201.0							
60								210.0							
61								214.0							
62								214.0							
63								262.0							
64								279.0							

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7172	7175	7177	7178	7180	7185	7186	7188	7190	7191	7195	7196	7198	7200	7201
1	52.6	7.0	42.0	55.5	4.2	81.0	9.5	33.0	34.5	77.3	27.5	55.0	30.0	66.0	23.0
2	65.0	25.0	45.0	57.0	51.4	92.0	27.0	40.0	38.5	88.0	60.0	58.5	37.3	75.6	50.0
3	65.2	44.0	52.5	67.8	64.2	93.0	47.0	40.2	40.0	89.6	60.8	61.0	37.7	77.7	55.0
4	66.5	52.4	60.0	75.0	65.0	98.0	57.0	43.0	40.0	94.3	65.0	73.0	39.5	77.7	60.0
5	71.4	55.0	60.4	77.0	65.0	104.0	76.0	45.0	42.0	100.0	80.0	80.0	40.5	79.5	66.0
6	79.0	55.9	60.5	78.9	68.1	105.0	80.0	45.0	45.0	100.0	80.0	80.0	46.0	82.3	68.0
7	80.0	57.7	64.0	85.5	70.5	107.0	89.0	45.0	45.6	104.0	80.3	84.4	51.5	82.9	69.0
8	85.0	58.5	65.0	88.2	70.8	107.0	90.5	45.2	48.0	104.0	88.0	85.0	54.5	83.6	70.0
9	90.0	58.6	77.0	89.5	71.0	111.0	95.0	48.0	48.0	105.0	92.5	86.0	57.3	83.8	71.0
10	90.5	60.0	80.0	91.0	71.2	111.0	127.0	48.3	48.0	106.0	93.7	87.0	58.0	83.9	71.0
11	93.6	60.2	83.0	91.5	73.0	117.0	128.0	49.0	49.0	108.0	95.5	87.0	58.2	85.7	72.1
12	94.0	61.5	84.0	94.6	76.0	118.0	140.0	49.5	49.0	110.0	99.0	88.0	60.0	87.0	73.0
13	94.0	62.0	84.5	95.7	79.0	118.0	148.0	52.3	50.0	112.0	99.0	91.0	60.6	87.1	80.0
14	95.3	63.5	88.0	101.0	80.0	120.0	151.0	53.0	50.0	117.0	100.0	94.5	62.5	88.9	82.5
15	97.0	65.0	93.0	109.0	80.0	120.0	156.0	53.4	55.0	120.0	100.0	96.0	63.0	90.6	83.5
16	101.0	66.0	100.0	113.0	80.9	129.0	184.0	55.0	55.0	124.0	100.0	96.5	68.6	91.3	84.0
17	102.0	66.3	100.0	124.0	88.1	138.0	200.0	55.0	56.0	124.0	104.0	98.0	71.9	91.6	84.0
18	104.0	66.6	102.0	126.0	88.3	140.0	202.0	57.0	60.0	126.0	106.0	115.0	72.3	94.5	84.0
19	104.0	67.5	107.0	130.0	90.6	140.0	226.0	60.0	60.3	128.0	110.0	117.0	72.3	95.0	90.0
20	104.0	68.3	111.0	150.0	90.6	142.0	273.0	60.0	61.0	132.0	120.0	125.0	73.4	96.0	90.0
21	106.0	69.5	112.0	161.0	91.5	142.0	274.0	60.0	69.0	132.0	133.0	132.0	77.9	97.0	94.0
22	108.0	70.0	112.0	162.0	92.0	144.0	288.0	60.1	70.0	134.0	137.0	154.0	80.5	97.2	95.1
23	108.0	70.0	117.0	166.0	92.0	146.0	311.0	63.0	71.0	136.0	146.0	160.0	84.8	97.8	96.0
24	108.0	71.2	120.0	174.0	93.0	150.0	321.0	63.5	73.0	141.0	164.0	202.0	90.5	99.8	98.0
25	109.0	72.5	121.0	180.0	95.4	151.0	322.0	67.0	74.0	142.0	178.0	210.0	103.0	101.0	98.0
26	111.0	72.8	123.0	180.0	95.5	160.0		68.0	76.0	146.0	220.0	210.0	105.0	101.0	102.0
27	119.0	73.0	123.0	180.0	98.3	164.0		70.0	77.0	146.0		214.0	110.0	101.0	112.0
28	120.0	73.5	128.0	194.0	98.4	170.0		72.5	80.0	147.0			120.0	104.0	112.0
29	125.0	74.0	135.0	195.0	98.6	195.0		75.0	83.0	147.0			130.0	104.0	123.0
30	128.0	74.4	142.0	200.0	103.0	197.0		80.3	89.0	148.0			138.0	108.0	126.0
31	129.0	78.0	145.0	215.0	105.0	200.0		80.5	91.0	149.0			145.0	110.0	131.0
32	130.0	78.0	160.0	220.0	108.0			85.0	150.0	149.0			230.0	113.0	132.0
33	133.0	78.2	168.0	290.0	109.0			88.0		153.0			325.0	113.0	137.0
34	133.0	79.0	174.0	292.0	116.0			90.0		154.0				113.0	138.0
35	134.0	80.0	197.0	318.0	118.0			92.0		160.0				113.0	142.0
36	138.0	81.2			122.0			100.0		162.0				119.0	148.0
37	144.0	83.0			129.0			100.0		169.0				119.0	150.0
38	146.0	87.5			186.0			124.0		176.0				124.0	156.0
39	147.0	95.0								180.0				126.0	162.0
40	147.0	95.2								192.0				128.0	170.0
41	149.0	100.0								202.0				130.0	176.0
42	150.0	109.0								208.0				132.0	183.0
43	154.0	116.0								214.0				139.0	185.0
44	160.0	126.0								217.0				139.0	203.0
45	166.0	135.0								221.0				144.0	207.0
46	174.0	216.0								234.0				144.0	207.0
47	180.0									273.0				146.0	271.0
48	180.0													146.0	407.0
49	186.0													152.0	
50	192.0													154.0	
51	200.0													156.0	
52	205.0													159.0	
53	210.0													173.0	
54	256.0													194.0	
55	344.0													208.0	
56	350.0														

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación														
	7202	7203	7204	7207	7208	7228	7236	7319	7320	7326	7327	7329	7330	7331	7333
1	39.8	5.0	41.0	35.0	41.0	37.8	15.5	40.0	17.0	45.0	35.5	47.1	41.5	8.0	10.5
2	46.3	45.0	46.8	35.4	41.3	81.9	36.5	40.0	26.3	60.0	36.5	53.2	49.2	41.6	30.0
3	46.5	46.0	48.5	35.6	44.5	82.0	45.0	40.0	33.3	73.0	40.5	53.7	55.0	60.0	33.0
4	47.5	50.2	50.5	39.0	52.0	83.6	45.5	44.0	44.0	74.2	41.5	57.5	55.0	60.0	40.0
5	48.7	55.0	52.2	43.7	56.3	85.4	46.5	46.0	61.5	75.0	41.5	60.9	55.0	62.3	40.0
6	49.6	55.0	56.4	44.2	58.5	86.0	48.8	50.0	74.6	79.0	43.5	62.0	60.0	63.3	40.0
7	50.0	60.0	58.0	47.7	60.7	90.2	54.1	51.5	80.5	80.0	45.5	62.0	60.0	63.9	40.7
8	50.5	60.0	58.8	48.4	65.8	92.7	57.7	55.0	81.0	83.0	45.8	63.5	60.0	67.5	41.5
9	52.1	60.2	59.0	48.4	66.6	93.0	57.8	58.0	84.0	92.5	49.5	69.0	60.0	67.6	43.4
10	52.3	68.0	60.7	49.7	69.2	94.6	57.9	60.0	84.0	95.0	51.5	70.0	61.0	69.7	47.0
11	52.5	72.1	62.0	52.2	69.7	105.0	61.0	60.4	91.0	100.0	52.0	72.0	66.0	79.2	47.0
12	54.1	72.1	62.8	52.5	70.5	106.0	62.5	63.5	97.5	106.0	60.5	73.5	70.0	80.0	50.0
13	56.1	80.0	67.0	57.0	72.4	107.0	63.4	65.0	105.0	109.0	60.5	75.0	71.0	85.5	50.8
14	58.7	80.2	68.2	57.0	72.5	108.0	63.8	72.0	105.0	110.0	61.5	75.2	75.0	89.5	52.0
15	59.0	80.2	69.0	57.5	74.6	111.0	67.8	75.2	117.0	113.0	63.0	77.6	75.0	92.0	52.5
16	59.0	80.2	71.2	57.7	76.5	111.0	68.8	76.0	120.0	119.0	64.5	82.0	76.7	92.0	54.0
17	60.0	83.0	72.0	58.8	80.0	122.0	70.5	80.0	122.0	120.0	66.5	83.5	82.0	96.0	58.0
18	60.3	83.0	74.0	60.1	82.6	124.0	71.1	88.0	122.0	121.0	68.5	84.5	82.0	100.0	60.0
19	60.4	84.0	75.0	61.0	85.0	124.0	74.5	90.0	129.0	132.0	73.3	86.5	86.5	100.0	60.0
20	61.3	85.0	75.0	61.1	86.3	125.0	77.2	90.2	134.0	135.0	74.0	88.5	98.0	100.0	60.0
21	62.0	85.0	77.0	62.6	86.5	140.0	78.0	93.5	138.0	154.0	77.0	92.1	100.0	102.0	60.5
22	62.2	90.3	80.0	64.6	88.0	140.0	84.5	95.0	140.0	160.0	78.5	100.0	104.0	103.0	65.0
23	63.0	90.4	81.0	65.3	88.5	147.0	86.5	110.0	148.0	162.0	81.0	100.0	110.0	109.0	67.5
24	63.2	92.3	81.0	65.9	94.8	186.0	94.0	131.0	159.0	180.0	87.5	104.0	113.0	115.0	68.0
25	63.5	95.0	84.5	67.2	96.3	281.0	96.5	150.0	186.0	192.0	91.0	120.0	115.0	116.0	70.0
26	63.7	100.0	85.0	67.3	100.0	332.0	99.0	401.0	200.0	210.0	105.0	138.0	117.0	201.0	100.0
27	64.0	100.0	88.9	70.0	101.0	332.0	101.0		200.0	210.0	110.0	148.0	120.0	401.0	181.0
28	65.5	104.0	90.4	72.0	111.0		105.0		272.0	253.0	381.0	170.0	135.0	401.0	270.0
29	66.3	105.0	91.0	74.9	113.0		117.0		320.0						
30	68.6	111.0	94.6	92.5	122.0		139.0		380.0						
31	71.5	113.0	125.0	94.7	125.0										
32	72.0	115.0	167.0	95.0	138.0										
33	72.5	120.0		98.2	144.0										
34	74.3	120.0		117.0	160.0										
35	75.5	120.0		150.0	179.0										
36	75.9	120.0			334.0										
37	77.0	120.0													
38	77.4	120.0													
39	77.7	125.0													
40	77.9	130.0													
41	79.5	144.0													
42	79.9	150.0													
43	81.0	160.0													
44	81.5	164.0													
45	82.0	180.0													
46	85.3	180.0													
47	86.5														
48	87.2														
49	87.7														
50	92.3														
51	94.5														
52	96.0														
53	97.0														
54	104.0														
55	105.0														
56	106.0														
57	148.0														

Tabla 5.3 Series de tiempo en estaciones de Chiapas (continuación).

No datos	Estación												
	7335	7336	7339	7342	7343	7344	7348	7349	7355	7358	7360	7361	7362
1	25.0	41.3	19.5	46.5	12.0	25.0	35.0	18.4	30.0	45.0	54.0	40.0	38.1
2	44.0	46.0	22.0	48.0	14.6	35.0	42.0	41.0	32.0	50.0	60.1	40.1	48.5
3	45.0	56.8	25.0	55.0	17.0	40.0	60.0	49.0	40.0	65.0	75.2	41.0	51
4	50.5	60.0	28.0	57.5	17.5	40.0	75.0	54.2	40.3	65.6	78.0	42.5	58.6
5	58.8	60.5	29.0	61.5	20.0	41.5	87.0	55.0	48.0	68.6	83.7	45.5	62
6	60.0	63.0	36.5	62.0	20.5	59.0	95.0	58.0	52.5	68.8	88.2	50.0	62.8
7	60.0	80.0	38.0	62.0	20.6	60.0	95.0	61.0	59.0	75.0	90.7	55.0	64
8	63.8	80.0	38.5	65.0	34.0	60.0	95.5	64.0	60.0	75.0	106.0	55.1	69
9	64.0	80.0	41.5	66.5	41.5	60.0	97.0	64.6	60.0	75.0	108.0	56.1	73.6
10	66.4	80.0	45.0	67.0	47.8	68.0	98.0	65.0	60.2	80.6	108.0	60.0	75
11	70.0	80.0	48.0	70.2	50.6	69.0	100.0	68.0	60.3	82.5	118.0	60.5	80
12	70.1	80.2	48.5	70.5	54.8	70.0	100.0	70.0	64.0	82.5	125.0	61.0	80.3
13	73.0	80.4	50.0	71.0	56.6	80.0	101.0	75.0	65.2	84.2	134.0	66.0	81
14	81.0	80.6	53.0	74.0	57.2	80.2	120.0	75.5	68.2	95.0	136.0	67.0	85.1
15	82.5	80.8	53.0	75.0	58.1	81.0	120.0	76.0	70.0	95.6	140.0	71.5	85.5
16	85.5	86.3	56.5	78.0	59.5	82.0	124.0	76.5	70.0	110.0	153.0	76.5	90.3
17	89.8	88.6	57.0	80.0	62.1	84.0	128.0	80.0	70.0	110.0	157.0	80.0	91.5
18	90.5	98.6	60.7	83.5	64.0	86.0	131.0	80.0	70.2	115.0	164.0	80.0	91.8
19	94.2	100.0	67.0	84.7	65.8	89.8	140.0	88.0	70.2	120.0	164.0	80.0	97.5
20	95.0	101.0	67.2	89.0	66.5	90.0	154.0	89.0	73.0	120.0	196.0	83.0	104
21	99.2	102.0	71.0	95.0	67.5	95.0	155.0	90.0	73.0	120.0	196.0	86.0	120
22	100.0	105.0	71.0	101.0	79.0	100.0	160.0	92.0	80.1	120.0	215.0	90.0	154
23	100.0	114.0	73.0	102.0	79.5	100.0	183.0	98.0	80.2	135.0	226.0	104.0	169
24	100.0	128.0	86.0	104.0	88.6	200.0	200.0	100.0	100.0	138.0	226.0	148.0	252
25	100.0	140.0	96.0	106.0	116.0	280.0	250.0	101.0	100.0	140.0	243.0	441.0	334
26	111.0	200.0	136.0	107.0		329.0	477.0	138.0	100.0	170.0	260.0		343
27	140.0	214.0	375.0	108.0				195.0					
28	200.0	260.0		120.0				240.0					

5.3.2. Ajuste en series de tiempo completa

Como primer paso, se realizó un análisis de frecuencias con la serie de tiempo completa en cada estación del estado utilizando las distribuciones univariadas y Gumbel Doble mencionadas en el capítulo 3. Para ejemplificar el procedimiento, se muestra la estación 7001 (Abasolo) que tiene una serie de tiempo de 30 años de precipitación máxima anual (**Tabla 5.4**).

Tabla 5.4 Registro de precipitación máxima anual de la estación 7001 (Abasolo).

Año	P (mm)	Año	P (mm)	Año	P (mm)	Año	P (mm)
1970	48.0	1978	104.0	1986	62.5	1994	59.5
1971	92.5	1979	58.0	1987	80.0	1995	67.2
1972	65.0	1980	93.5	1988	100.0	1996	66.0
1973	115.0	1981	75.5	1989	67.0	1997	63.5
1974	86.0	1982	62.5	1990	54.0	1998	66.5
1975	126.0	1983	71.0	1991	84.0	1999	75.4
1976	54.5	1984	93.0	1992	89.0		
1977	76.5	1985	49.5	1993	45.5		

A partir del programa AX, se realizó el análisis de frecuencia para las diferentes funciones de distribución, donde se obtuvo el error mínimo estandarizado de ajuste que es el criterio utilizado para definir el mejor ajuste (**Figura 5.7**). En el primer análisis se considera un valor del parámetro de asociación entre las poblaciones $p = 0.8$ en la función de distribución Gumbel Doble.

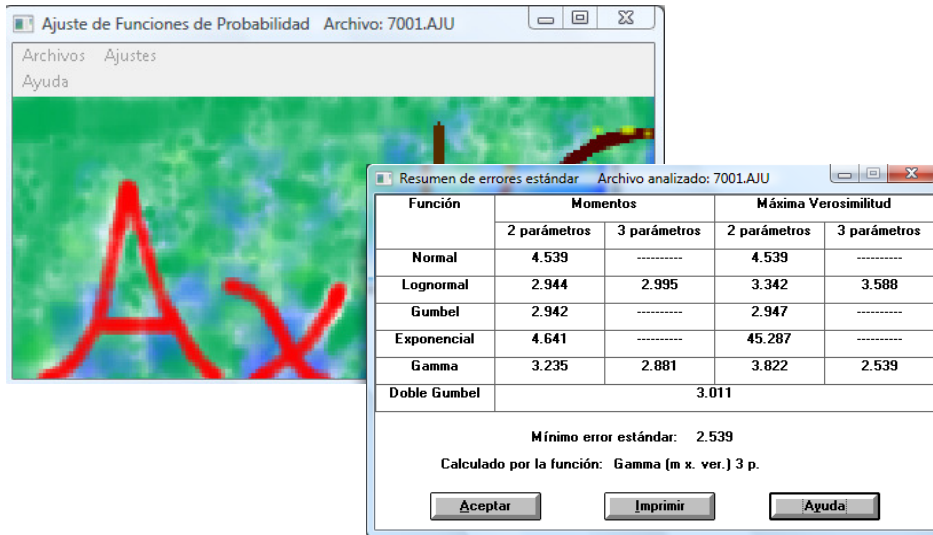


Figura 5.7 Error mínimo estandarizado de ajuste de la estación 7001 (Abasolo, Chiapas).

Como se muestra en el ejemplo anterior, la función que mejor se ajusta a los datos en la estación Abasolo es la distribución Gamma de 3 parámetros a partir del método de máxima verosimilitud. Además de la estación mostrada, el análisis se realizó para las 147 estaciones faltantes tomadas para el análisis del estado de Chiapas. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 5.5**, donde se muestra la estación en la columna 1. La numeración está asociada al asignado en la **Tabla 5.1**. Además, en las siguientes columnas se muestra el error obtenido con las diferentes distribuciones y para distinguir el menor error en cada estación, se realizó el sombreado del valor obtenido.

Tabla 5.5. Error mínimo cuadrático en estaciones de Chiapas, parámetro $p = 0.8$.

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom.		Max. Ver.		Mom.	Max. Ver.	Mom.	Max. Ver.	Mom.		Max. Ver.		
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	2Par	2Par	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
1	4.54	2.94	3.00	3.34	3.59	2.94	2.95	4.64	45.29	3.24	2.88	3.82	2.54	3.01
2	4.35	3.62	3.62	3.55	3.52	3.60	3.42	5.21	35.40	3.73	3.73	3.78	NC	4.61
3	13.15	8.08	7.46	9.58	10.32	8.23	10.27	6.95	42.10	9.46	7.31	10.69	8.77	6.92
4	7.32	4.53	4.62	5.19	37.77	4.44	5.31	5.67	45.32	5.03	4.35	5.96	NC	4.92
5	5.18	2.91	2.90	3.30	35.14	2.76	3.26	4.29	46.02	3.42	2.74	3.88	2.33	2.86
6	4.12	4.10	3.70	4.32	5.48	4.31	4.61	7.30	43.29	3.70	33.37	3.46	NC	5.40
7	14.32	11.38	10.24	12.29	18.63	10.78	11.69	10.10	59.10	12.35	10.45	18.56	11.77	9.07
8	9.06	6.77	6.74	6.40	6.87	6.55	6.19	8.82	35.68	7.06	7.04	7.05	NC	8.27
9	5.28	5.75	5.39	5.74	6.22	5.95	6.78	8.03	47.43	5.57	83.07	5.47	NC	6.94
10	9.06	6.47	5.78	7.66	31.49	6.05	7.79	5.26	39.75	7.24	5.52	8.15	NC	4.62
11	23.89	19.77	16.88	21.19	54.89	18.96	20.67	17.47	86.38	21.19	19.78	21.81	19.54	17.40
12	25.14	19.47	16.99	22.16	18.11	20.06	22.56	17.64	46.73	21.41	19.40	22.65	20.24	15.41
13	20.37	15.40	13.45	16.82	16.99	16.42	17.25	17.98	32.98	17.19	16.62	17.84	17.02	12.70
14	4.67	3.43	2.99	3.64	25.53	2.93	2.79	3.68	44.64	3.83	3.15	4.03	3.57	3.51
15	10.00	5.67	5.74	3.02	48.02	5.46	5.00	9.85	101.84	6.63	5.66	7.23	5.41	7.42
16	24.99	18.34	16.61	21.20	16.82	18.36	21.74	15.65	62.59	20.44	16.64	22.18	18.31	12.24
17	4.58	3.76	3.78	3.63	3.54	3.89	3.35	5.87	43.66	3.79	3.76	3.98	NC	4.73
18	8.34	8.96	8.07	8.37	9.13	8.85	7.83	12.75	55.18	8.25	8.07	7.83	NC	9.46
19	31.70	20.53	19.86	25.05	25.92	24.06	28.40	19.48	30.70	23.62	19.51	26.50	25.18	12.87
20	10.03	6.80	6.46	8.00	20.29	6.43	8.00	6.45	49.60	7.65	6.19	8.53	6.54	5.43
21	15.21	10.44	8.55	12.47	29.38	10.05	13.16	7.51	51.94	11.96	8.23	13.18	9.99	6.21
22	11.55	9.67	8.55	14.29	16.14	8.40	8.36	10.78	20.06	8.83	8.71	8.52	NC	10.00
23	4.47	3.27	3.30	2.94	2.89	3.28	2.87	5.15	31.61	3.21	3.27	3.27	NC	3.44
24	3.07	3.68	2.83	3.68	4.30	3.66	3.25	6.34	29.93	3.08	32.63	2.80	NC	4.86
25	13.52	9.70	9.87	10.19	28.20	9.75	9.67	14.14	99.05	10.02	9.60	11.09	9.32	11.37
26	29.10	20.33	19.53	24.02	3.59	22.22	25.92	18.96	31.26	22.47	19.52	24.87	23.40	14.81
27	25.28	19.73	15.19	20.67	21.33	19.64	21.74	16.98	35.82	20.29	18.89	21.79	20.09	14.27
28	5.03	3.61	3.61	3.79	13.33	3.46	3.27	4.70	43.37	3.93	3.57	4.22	3.71	3.50
29	9.17	6.52	6.12	7.16	7.40	6.44	7.13	6.44	33.13	7.27	2.88	7.91	6.55	6.34
30	50.21	31.53	27.96	41.67	16.84	38.73	45.28	31.22	43.81	37.19	31.81	42.27	NC	24.29
31	16.62	13.87	11.59	14.87	46.57	12.76	13.96	11.84	81.17	14.85	12.76	15.20	13.90	11.07
32	8.50	5.82	5.62	6.13	6.24	5.62	2.95	6.17	40.71	6.54	5.73	12.11	6.16	5.79
33	3.78	2.29	3.38	2.41	2.55	2.50	2.29	4.59	46.09	2.49	2.30	2.78	2.09	2.89
34	4.72	4.56	4.17	4.16	17.22	5.09	4.06	8.54	58.07	4.16	4.15	4.03	4.03	6.53
35	21.19	14.35	12.63	15.85	16.01	14.72	16.21	13.08	58.06	16.55	14.13	17.67	16.71	11.75
36	24.50	15.58	13.97	18.86	20.06	15.87	19.97	12.78	71.30	18.21	13.80	20.26	16.57	11.38
37	16.59	12.17	11.43	12.23	12.10	12.42	12.73	12.19	43.03	13.61	12.95	14.10	NC	11.36
38	35.73	25.17	23.81	23.73	26.07	26.87	28.00	23.90	61.40	28.48	25.29	29.30	NC	22.55
39	29.68	21.86	19.98	22.51	26.15	23.17	23.57	20.50	50.49	24.52	21.14	24.66	NC	17.14

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros.

Tabla 5.5. Errores mínimos cuadráticos, parámetro $p = 0.8$, Chiapas (continuación).

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom		Max. Ver		
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	2Par	2Par	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
40	6.19	6.24	6.05	7.55	9.89	6.51	9.13	9.53	62.77	6.07	102.98	6.13	NC	8.25
41	14.88	11.60	11.74	12.64	33.97	11.41	13.48	12.14	69.75	12.10	11.36	12.93	11.00	5.17
42	13.95	9.09	8.80	10.17	45.65	8.72	10.06	9.44	73.63	10.29	8.52	11.31	7.71	8.80
43	10.96	8.36	7.83	9.32	85.67	7.62	9.46	7.77	80.20	9.08	7.47	9.80	6.49	6.49
44	25.18	16.99	14.99	20.63	15.52	16.96	21.81	13.14	70.98	19.46	14.35	21.62	17.74	11.27
45	5.30	4.50	4.30	4.99	6.33	4.29	3.94	6.43	28.74	4.33	4.34	4.18	NC	5.578
46	12.54	12.60	12.56	17.19	21.73	12.32	14.85	14.17	56.50	12.67	12.71	13.45	NC	13.50
47	26.38	15.27	16.33	18.84	22.90	18.63	24.07	13.48	13.78	15.44	14.74	19.85	NC	7.60
48	11.81	7.48	7.41	8.01	8.32	7.26	7.83	8.85	61.46	8.44	7.31	9.16	7.70	8.21
49	7.29	5.68	5.56	6.14	19.32	5.44	5.74	6.20	38.67	6.07	5.58	6.69	5.61	5.926
50	3.77	2.81	2.85	2.76	2.76	3.30	2.90	5.92	55.26	2.80	2.82	3.05	2.68	3.69
51	8.28	6.01	5.34	6.70	40.02	5.43	6.30	5.62	54.43	6.68	5.31	7.12	5.41	5.50
52	14.05	10.70	10.77	9.36	9.15	10.34	10.15	12.71	50.90	10.65	10.65	11.11	NC	9.25
53	33.20	26.51	23.96	28.95	29.33	27.33	29.13	24.78	54.51	28.83	26.86	29.93	28.77	22.69
54	19.08	15.72	15.94	43.25	52.42	15.44	16.10	17.55	61.24	16.68	16.49	18.84	NC	16.94
55	4.37	3.42	3.44	3.25	3.22	3.27	3.04	4.10	30.37	3.66	3.47	3.77	NC	3.78
56	7.70	5.89	5.60	6.04	39.69	5.39	5.02	7.89	90.59	6.43	5.82	6.78	6.14	7.12
57	17.96	12.18	11.02	12.86	12.69	12.29	13.01	11.59	57.27	13.98	12.22	14.91	NC	11.31
58	57.09	44.44	37.76	51.34	85.05	46.80	54.07	39.55	75.36	48.94	38.45	51.31	NC	25.18
59	13.35	11.39	10.99	11.08	12.25	10.79	11.07	11.80	18.25	11.17	11.29	11.00	NC	11.46
60	14.18	8.66	7.84	10.50	28.08	8.19	10.96	7.06	65.45	10.21	7.33	11.54	8.05	6.75
61	8.29	7.11	6.87	6.57	6.66	7.43	6.75	12.02	76.72	6.73	6.85	6.74	NC	7.56
62	2.74	3.30	2.72	3.15	3.08	4.22	4.12	6.82	55.33	2.90	87.31	2.97	NC	4.18
63	13.57	10.30	10.13	10.63	10.56	10.07	10.39	10.99	52.42	11.10	10.45	11.94	11.03	10.70
64	4.67	3.27	3.02	3.58	45.44	2.92	3.20	3.85	50.13	3.65	2.93	3.96	2.78	3.23
65	3.80	4.78	3.86	4.76	4.83	5.34	5.64	8.05	48.10	4.33	80.28	4.28	NC	6.25
66	13.36	9.60	9.34	24.15	27.67	9.08	9.09	10.41	22.17	9.36	9.43	9.02	NC	9.65
67	41.59	29.21	27.09	33.09	32.72	34.87	36.76	30.97	34.59	33.42	30.77	35.66	NC	23.57
68	5.02	2.93	2.98	2.92	2.88	2.85	2.33	5.19	49.16	3.36	2.99	3.63	3.15	4.03
69	37.06	30.77	26.98	33.10	27.34	32.83	33.10	30.45	43.50	33.33	31.42	32.96	31.83	24.42
70	11.46	11.84	10.85	11.42	11.53	12.20	11.64	16.95	79.12	10.60	146.93	10.99	NC	9.63
71	8.43	7.80	7.31	7.20	6.92	8.64	7.02	14.16	96.95	7.18	7.25	7.15	6.93	10.06
72	10.01	7.98	6.65	8.93	21.88	7.41	8.65	6.43	39.92	8.70	6.91	9.15	8.08	5.39
73	16.45	9.95	9.67	11.12	11.53	10.10	11.94	9.46	58.65	11.53	9.38	12.71	11.47	9.17
74	20.71	16.69	13.03	16.75	16.55	16.43	16.41	16.74	66.95	17.95	17.20	18.42	NC	16.06
75	6.78	5.06	4.90	4.54	4.53	4.86	4.67	7.45	38.88	4.66	4.81	4.92	4.57	6.29
76	21.30	15.92	15.61	21.25	28.58	15.98	15.68	16.41	61.67	17.43	16.47	17.25	NC	15.96
77	19.62	15.48	13.58	16.72	24.42	14.72	15.70	14.17	82.84	16.86	15.30	17.64	16.33	13.68
78	29.18	16.22	14.92	22.55	23.46	22.55	25.77	18.34	19.94	20.30	18.53	23.78	22.98	12.66

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros.

Tabla 5.5. Errores mínimos cuadráticos, parámetro P=0.8, Chiapas (continuación).

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom		Max. Ver		
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	2Par	2Par	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
79	6.98	5.14	4.88	4.15	3.83	5.14	3.95	9.23	53.13	4.67	4.80	4.73	NC	6.79
80	18.10	11.69	11.81	16.46	21.71	12.53	12.67	12.07	36.79	13.42	12.44	13.25	NC	11.10
81	5.55	4.87	4.83	7.41	10.26	4.84	6.47	7.32	43.85	4.91	4.92	5.09	NC	6.21
82	2.49	3.25	2.50	3.17	3.28	3.68	3.87	6.08	31.41	2.83	64.06	8.45	NC	4.54
83	14.79	18.10	11.54	24.30	24.72	11.97	11.81	17.69	24.95	12.41	11.24	11.19	NC	9.90
84	11.54	12.83	10.86	12.52	12.45	13.49	12.80	20.38	101.75	11.09	171.57	11.18	12.55	9.22
85	36.84	24.76	22.55	24.33	24.68	27.53	29.68	23.43	53.47	28.59	25.06	30.12	NC	20.35
86	33.85	25.36	24.64	25.77	25.00	26.94	29.50	24.18	42.81	27.73	25.91	29.52	NC	21.75
87	61.58	46.71	42.27	53.95	47.26	54.23	54.52	49.75	54.20	52.29	50.81	53.38	51.54	39.97
88	5.53	4.17	4.04	4.51	33.31	3.97	4.20	5.03	46.58	4.50	3.99	4.91	3.92	4.35
89	19.10	10.05	10.33	8.28	8.50	9.97	13.08	11.25	44.38	9.46	9.55	11.49	8.54	9.30
90	20.84	18.39	18.48	30.08	38.78	17.97	17.99	20.06	52.52	19.07	19.05	19.66	NC	19.11
91	10.08	8.90	9.13	21.44	25.64	8.66	9.93	9.77	41.24	9.21	9.21	10.50	NC	9.59
92	14.13	10.36	10.72	11.24	52.98	10.23	12.00	12.02	78.39	10.81	10.36	12.31	9.35	7.66
93	19.70	14.03	12.07	15.98	63.83	13.01	15.94	11.77	96.97	15.75	12.04	17.10	12.91	11.88
94	10.93	5.07	5.43	3.57	3.82	5.52	6.40	6.06	30.49	6.03	5.36	6.63	NC	5.53
95	20.85	12.95	11.69	14.50	14.87	13.35	15.29	11.26	63.03	15.26	11.98	16.67	15.13	11.41
96	14.44	11.15	11.21	10.81	11.02	11.23	10.95	16.05	91.11	10.78	10.96	12.01	10.09	10.61
97	17.16	12.69	11.20	14.39	22.43	12.54	14.42	11.29	52.77	12.10	12.35	15.18	12.49	11.17
98	9.31	6.18	6.26	5.70	5.57	6.35	5.64	11.48	87.00	6.45	6.29	6.58	NC	8.54
99	8.43	4.73	4.89	5.19	5.51	4.61	2.95	6.34	49.14	5.45	4.70	6.51	4.77	5.23
100	70.38	52.40	51.24	63.35	51.71	62.37	63.93	56.86	56.39	57.78	52.47	61.48	NC	41.86
101	25.65	17.42	13.92	21.28	28.75	18.26	22.93	13.72	52.37	20.12	14.31	21.97	17.64	10.36
102	17.31	13.35	13.52	22.52	31.43	12.89	14.60	15.38	86.86	14.49	13.95	14.92	NC	14.46
103	35.53	21.00	21.53	24.76	28.43	22.43	29.35	18.60	50.16	22.29	20.00	26.43	NC	15.89
104	21.80	12.85	13.53	13.25	18.71	13.15	14.24	13.64	49.33	13.35	13.12	13.23	NC	10.50
105	14.00	9.46	8.59	11.30	69.90	8.60	11.73	7.88	80.28	10.73	7.95	12.12	6.25	6.02
106	24.31	14.66	13.43	17.14	18.07	15.55	18.66	13.20	64.58	17.39	14.04	19.51	16.35	13.30
107	15.52	12.46	11.50	13.14	15.46	12.44	12.51	11.96	40.52	13.59	12.51	13.59	NC	10.89
108	6.23	6.01	4.83	5.01	4.81	5.96	4.55	10.98	54.96	4.76	4.77	4.67	NC	8.43
109	20.02	13.63	13.65	12.90	13.93	13.17	15.38	15.83	59.53	12.90	13.07	14.63	11.59	13.62
110	10.46	10.36	10.34	25.79	31.38	10.17	14.03	12.11	54.39	10.43	10.41	13.02	NC	11.48
111	6.91	5.47	5.52	5.80	8.97	5.79	5.43	8.76	85.14	5.65	5.43	5.83	5.47	6.84
112	19.78	31.04	18.91	54.41	64.13	23.03	21.05	33.71	55.34	23.50	18.78	23.59	NC	12.94
113	5.72	3.36	3.33	3.93	14.40	3.20	3.98	3.93	35.97	3.90	3.14	4.35	3.04	2.89
114	10.07	7.67	7.05	8.69	15.18	7.51	8.80	6.88	32.60	8.38	7.32	9.05	7.56	6.96
115	11.05	6.37	6.34	7.21	39.52	6.00	6.65	8.85	87.36	7.46	6.11	8.30	5.85	7.18
116	12.97	10.15	10.29	8.97	8.98	9.84	8.91	11.60	51.67	10.61	10.35	10.74	NC	10.79
117	19.21	14.65	14.89	16.08	16.38	14.63	17.69	14.08	51.01	15.19	14.31	16.72	13.34	7.55

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros.

Tabla 5.5. Errores mínimos cuadráticos, parámetro P=0.8, Chiapas (continuación).

No	NL	LN				GU		EX		GA				GUMI
	Mom	Mom		Max. Ver		Mom	Max. Ver	Mom	Max. Ver	Mom		Max. Ver		
	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	2Par	2Par	2Par	2Par	2Par	3Par	2Par	3Par	
118	33.40	20.63	20.23	26.86	29.31	24.76	30.85	19.49	26.43	23.55	20.37	28.15	23.56	15.06
119	8.81	5.00	4.56	5.88	46.39	4.37	5.67	5.55	71.10	6.04	4.27	6.74	4.03	4.06
120	28.99	17.28	16.79	18.51	18.15	19.58	23.14	16.47	46.22	20.12	17.89	22.64	21.52	16.77
121	5.89	4.07	3.72	4.44	24.05	3.72	3.91	4.63	45.29	4.58	3.83	4.85	3.99	4.42
122	6.45	7.81	6.04	20.20	26.03	7.50	8.45	12.41	52.88	6.59	104.53	7.84	NC	9.04
123	10.86	8.67	7.79	9.60	18.84	8.26	9.26	7.81	41.77	9.39	8.30	9.89	8.84	7.30
124	9.86	6.69	6.07	7.83	12.83	6.60	8.03	5.74	32.75	7.62	6.06	8.51	5.97	5.60
125	29.92	20.79	19.10	25.15	26.45	22.93	26.93	19.29	38.46	23.52	20.95	26.10	21.90	16.94
126	40.42	29.25	28.86	33.45	34.30	31.38	36.97	26.36	45.29	31.93	27.57	35.23	33.37	19.60
127	5.41	5.06	4.71	4.75	6.08	4.94	4.09	7.73	37.17	4.69	4.71	4.34	NC	5.95
128	53.33	37.86	36.98	47.54	35.74	43.78	49.62	38.15	40.27	41.48	38.66	46.90	NC	29.55
129	30.48	19.99	19.94	13.31	13.70	20.49	24.27	19.41	34.14	20.14	19.68	21.40	NC	17.39
130	13.19	8.81	8.88	8.27	8.40	8.55	9.51	11.49	55.73	8.58	8.81	9.61	8.12	7.67
131	51.70	38.57	37.34	47.11	36.27	44.47	48.32	39.72	41.64	42.33	39.25	46.28	NC	29.87
132	10.90	7.19	6.71	8.76	19.61	6.93	9.23	6.05	43.18	8.19	6.30	9.50	6.47	4.92
133	6.22	5.32	5.29	5.33	16.87	5.50	5.58	7.61	45.06	5.11	5.21	5.57	5.07	3.19
134	60.75	43.70	44.09	45.39	44.24	50.09	56.18	43.58	45.54	47.20	43.10	51.84	NC	30.82
135	35.23	24.82	24.38	29.11	29.05	28.93	32.50	24.92	27.12	27.59	24.33	30.70	30.04	15.63
136	13.17	10.96	10.89	10.88	10.67	10.75	10.84	11.52	40.63	11.52	11.33	12.03	NC	10.79
137	25.09	17.22	16.69	20.57	21.99	18.40	22.68	15.07	39.01	19.26	16.08	21.79	18.34	11.04
138	51.43	36.57	36.52	45.86	47.87	43.51	48.46	38.35	38.37	39.62	38.15	45.68	NC	27.83
139	3.97	3.88	3.67	3.82	3.82	4.42	4.02	6.71	48.96	3.62	3.64	3.67	3.76	2.42
140	6.80	8.43	6.66	9.46	9.65	7.21	6.65	9.87	20.22	7.26	31.56	7.08	9.78	8.74
141	43.73	30.35	30.73	36.75	39.00	34.71	41.57	29.27	31.52	32.75	29.79	37.89	34.20	21.17
142	49.99	36.49	35.59	41.31	41.54	40.07	45.62	35.11	48.04	40.08	37.42	44.66	41.53	29.57
143	23.20	17.02	16.41	18.00	17.60	18.00	19.94	15.84	33.95	18.82	16.66	20.30	NC	12.39
144	4.56	5.37	4.68	5.26	5.31	5.62	5.59	7.78	39.37	5.00	71.91	4.92	NC	6.84
145	6.69	6.46	6.02	6.02	5.90	6.67	5.84	9.93	53.02	5.92	5.98	6.32	5.88	6.75
146	11.67	12.65	10.06	11.16	10.92	11.70	10.60	18.13	66.20	9.93	9.91	10.15	10.46	8.54
147	64.84	47.37	3.00	59.56	43.37	55.63	61.14	49.27	49.78	51.63	47.63	57.94	NC	32.33
148	47.05	31.23	31.98	39.91	43.83	35.93	45.54	28.61	32.13	33.31	29.64	40.04	NC	18.28

NL: Normal; LN: Log Normal; GU: Gumbel; EX: Exponencial; GA: Gamma; GUMI: Gumbel Mixta; MOM: Momentos; MAX.VER.: Máxima Verosimilitud; 2 PAR: 2 Parámetros; 3 PAR: 3 Parámetros.

Como se muestra en los resultados de la **Tabla 5.5**, los errores mínimos estandarizados de ajuste no siempre son representados por una distribución en particular, sino que depende mucho de los datos de cada estación en particular, sin

embargo, al utilizar una distribución mixta como es la Gumbel Doble, matemáticamente esta distribución representa mejor el comportamiento en 69 de las 148 estaciones.

Para reducir el error, la segunda opción de este análisis consiste en realizar el ajuste de la distribución Gumbel Doble en el programa AX, donde se optimiza el parámetro de asociación entre las poblaciones “ p ”. Para realizar esto, se ingresa en el AX en la opción Automática, ingresando los límites dentro de los que se encontrará el parámetro p . Después, a partir de iteraciones se genera el valor optimizado de p (Figura 5.8).

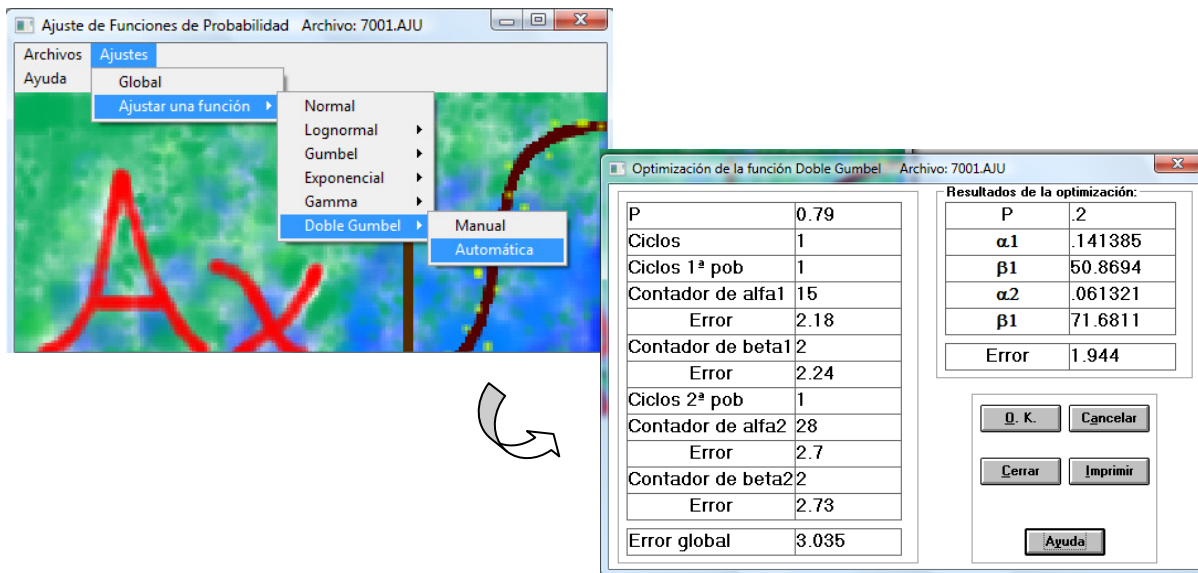


Figura 5.8. Distribución Gumbel Doble optimizada de la estación 7001 (Abasolo, Chiapas).

Al igual que la estación 7001, el procedimiento se realizó con las 147 estaciones restantes. La **Tabla 5.6** presenta los resultados, que a su vez, son comparados con los resultados de distribuciones univariadas de la **Tabla 5.5** y conocer si los errores de la distribución Doble Gumbel con p optimizado son menores.

Tabla 5.6 Error mínimo estandarizado de ajuste (SEF), parámetro p optimizado.

No. Est.	EMC	No. Est.	EMC	No. Est.	EMC	No. Est.	EMC	No. Est.	EMC	No. Est.	EMC
1	1.94	26	10.60	51	4.49	76	11.00	101	4.83	126	8.94
2	3.41	27	4.18	52	7.42	77	8.26	102	11.45	127	3.86
3	4.97	28	2.84	53	9.91	78	6.76	103	8.90	128	6.75
4	2.62	29	3.66	54	13.34	79	3.90	104	5.64	129	10.66
5	2.10	30	7.57	55	3.15	80	8.43	105	4.41	130	5.27
6	3.39	31	6.04	56	5.06	81	4.23	106	8.07	131	6.76
7	5.01	32	3.43	57	6.27	82	1.76	107	7.29	132	2.06
8	5.77	33	1.60	58	8.60	83	7.09	108	3.20	133	2.43
9	4.25	34	3.43	59	8.52	84	6.94	109	9.92	134	20.12
10	2.96	35	6.51	60	4.31	85	11.94	110	8.92	135	5.57
11	8.35	36	5.95	61	6.04	86	11.84	111	4.91	136	7.78
12	4.47	37	5.67	62	2.91	87	10.40	112	8.86	137	5.97
13	5.37	38	12.39	63	6.89	88	3.71	113	2.19	138	5.30
14	2.45	39	11.73	64	1.60	89	6.53	114	4.30	139	1.82
15	4.92	40	4.89	65	2.64	90	15.83	115	4.48	140	4.20
16	7.16	41	4.01	66	6.57	91	8.52	116	8.47	141	8.77
17	3.40	42	6.79	67	6.10	92	6.01	117	5.18	142	9.55
18	6.86	43	3.39	68	2.76	93	9.05	118	5.23	143	7.56
19	5.34	44	5.49	69	9.54	94	3.37	119	3.03	144	4.04
20	3.53	45	3.99	70	5.07	95	8.31	120	7.82	145	5.04
21	4.32	46	11.09	71	6.30	96	7.44	121	3.21	146	5.61
22	7.82	47	5.77	72	2.60	97	4.87	122	5.91	147	7.00
23	2.74	48	5.85	73	7.22	98	5.97	123	3.73	148	9.31
24	2.21	49	4.26	74	10.23	99	2.82	124	3.36		
25	7.34	50	2.55	75	3.69	100	6.55	125	5.33		

Como se muestra en los resultados de la **Tabla 5.7** los valores de la función Gumbel Doble optimizada representa un mejor ajuste en 135 de las 148 estaciones que se utilizaron en el estudio. Sin embargo, cabe destacar, que 12 de las estaciones son representadas de manera más adecuada a partir de distribuciones univariadas (**Tabla 5.6**).

Tabla 5.7 Funciones de distribución que presentan un mejor ajuste, cuando se considera un valor optimizado en la distribución doble Gumbel.

Función de distribución	No. de distribuciones
Normal	0
Log Normal	6
Gumbel	6
Exponencial	0
Gamma	1
Doble Gumbel	135

5.3.3. Ajuste a partir de variable reducida

En el siguiente paso se divide la muestra en dos series de tiempo a partir del cero de la variable reducida, donde cada población generada se analiza de manera independiente a la otra a partir de distribuciones univariadas en el programa AX. Después, se comparan los errores mínimos estandarizados. Para ejemplificar el cálculo realizado se ajustó la población 2 en la estación 7001 (Abasolo). En esta se muestra que la función con menor error es la Gamma de 3 parámetros a partir del método de momentos.

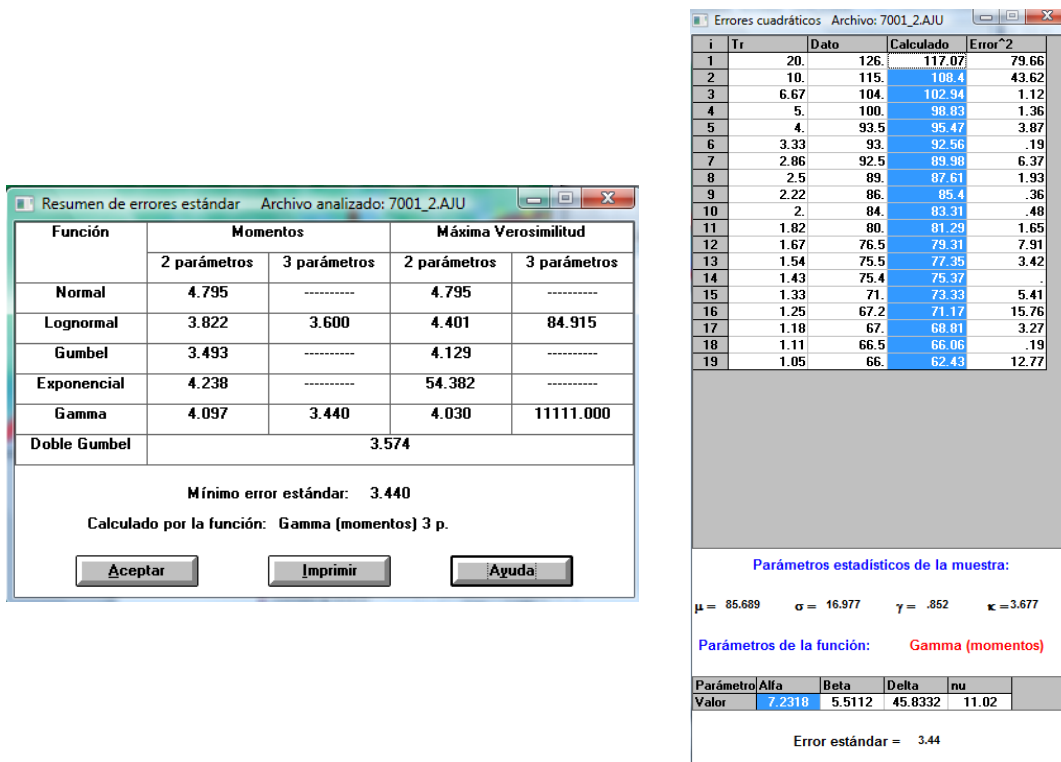


Figura 5.9 a) Error mínimo estándar de ajuste y b) valores ajustados a distribución con menor SEF en la población 2 de la para estación 7001 (Abasolo, Chiapas).

En seguida, los valores calculados en las dos poblaciones se colocan en la columna VE2P de la **Tabla 5.8**, y por último, se obtiene el error mínimo cuadrático de ajuste para la función completa (VEFC) y dos poblaciones (VE2P).

Tabla 5.8 División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7001 (Abasolo).

No.	T, años	Variable reducida (y)	Precipitación (P),mm	Probabilidad, p	VEFC	VE2P	EMC (VEFC)	EMC (VEFC)
30	1.03	-1.23	45.5	0.97	45.54	47.25	0.00	3.06
29	1.07	-1.01	48.0	0.94	48.37	50.07	0.14	4.28
28	1.11	-0.85	49.5	0.90	50.61	52.05	1.23	6.50
27	1.15	-0.72	54.0	0.87	52.63	53.7	1.88	0.09
26	1.19	-0.60	54.5	0.84	54.52	55.18	0.00	0.46
25	1.24	-0.50	58.0	0.81	56.34	56.59	2.76	1.99
24	1.29	-0.40	59.5	0.77	58.11	58	1.93	2.25
23	1.35	-0.30	62.5	0.74	59.84	59.48	7.08	9.12
22	1.41	-0.21	62.5	0.71	61.54	61.13	0.92	1.88
21	1.48	-0.12	63.5	0.68	63.21	63.11	0.08	0.15
20	1.55	-0.04	65.0	0.65	64.86	65.93	0.02	0.86
19	1.63	0.05	66.0	0.61	66.5	62.43	0.25	12.74
18	1.72	0.14	66.5	0.58	68.13	66.06	2.66	0.19
17	1.82	0.23	67.0	0.55	69.77	68.81	7.67	3.28
16	1.94	0.32	67.2	0.52	71.43	71.17	17.89	15.76
15	2.07	0.41	71.0	0.48	73.11	73.33	4.45	5.43
14	2.21	0.51	75.4	0.45	74.83	75.37	0.32	0.00
13	2.38	0.61	75.5	0.42	76.61	77.35	1.23	3.42
12	2.58	0.71	76.5	0.39	78.45	79.31	3.80	7.90
11	2.82	0.82	80.0	0.35	80.39	81.29	0.15	1.66
10	3.10	0.94	84.0	0.32	82.43	83.31	2.46	0.48
9	3.44	1.07	86.0	0.29	84.62	85.4	1.90	0.36
8	3.88	1.21	89.0	0.26	86.99	87.61	4.04	1.93
7	4.43	1.36	92.5	0.23	89.61	89.98	8.35	6.35
6	5.17	1.54	93.0	0.19	92.54	92.56	0.21	0.19
5	6.20	1.74	93.5	0.16	95.93	95.47	5.90	3.88
4	7.75	1.98	100.0	0.13	99.96	98.83	0.00	1.37
3	10.33	2.28	104.0	0.10	105.05	102.94	1.10	1.12
2	15.50	2.71	115.0	0.06	112.05	108.4	8.70	43.56
1	31.00	3.42	126.0	0.03	123.76	117.07	5.02	79.74

Para ilustrar el comportamiento de los valores de precipitación, se realizó su gráfica como se muestra en la **Figura 5.10**. En esta se observa la precipitación (P) en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas los valores de la variable reducida (y) y periodo de retorno (T) en el eje inferior y superior sucesivamente. Además, para realizar una comparación, se adicionaron los valores obtenidos del ajuste con dos poblaciones VE2P. En esta se observa que con dos poblaciones se sigue la misma tendencia que los obtenidos con una población. Por tal motivo, se comprueba que el análisis realizado es adecuado.

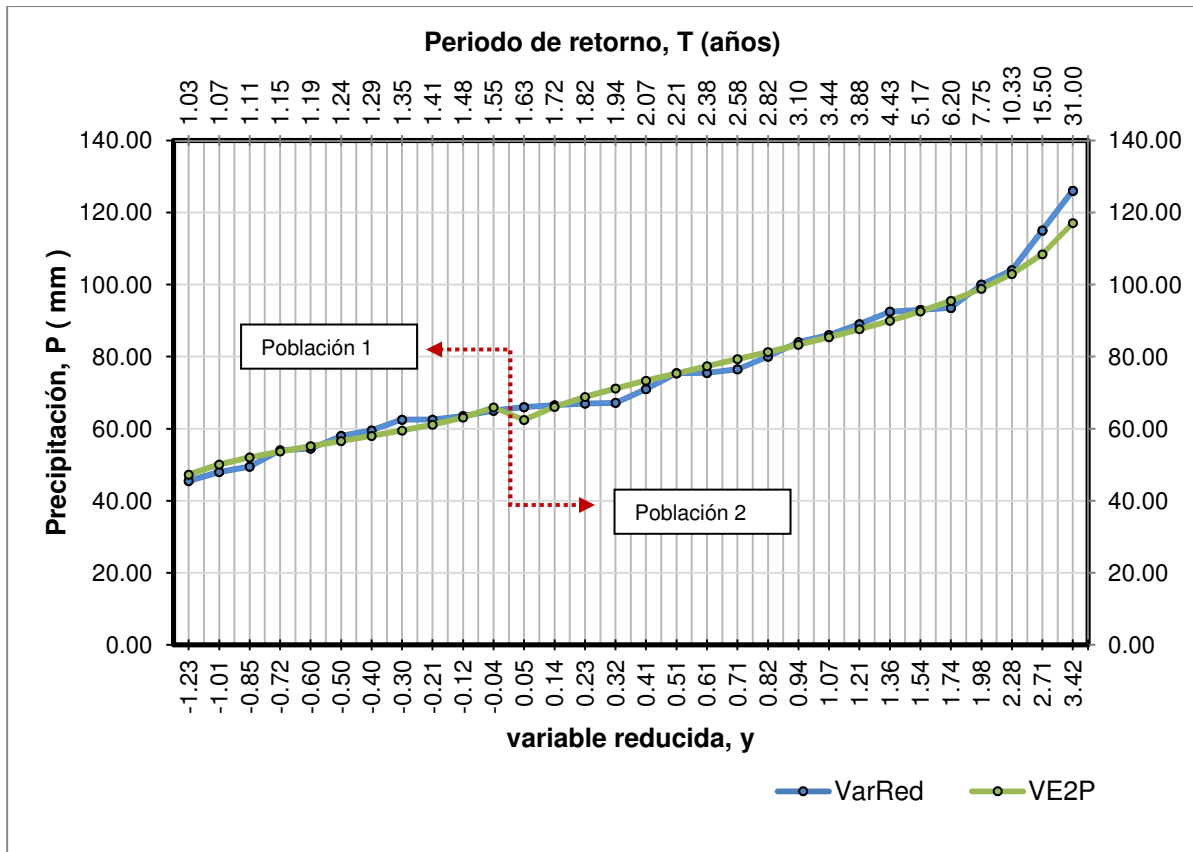


Figura 5.10 Gráfica de variable reducida, estación 7001 (Abasolo).

Para conocer si el error en el ajuste a partir de dos poblaciones, comparado con la distribución univariada o Doble Gumbel es menor, en el siguiente paso se obtiene la sumatoria de error mínimo cuadrático en cada población (**Tabla 5.8**).

Tabla 5.9. Comparación de error al considerar una o dos poblaciones (variable reducida), estación 7001 “Abasolo”.

Σ de error VEFC		Σ de error VE2P		Σ de error total de datos	
VEFC	VE2P	VEFC	VE2P	VEFC	VE2P
16.04	30.65	76.14	189.38	92.18	220.03

Al igual que en la estación 7001 (Abasolo), el análisis se realizó para cada estación mostrando los resultados en la **Tabla 5.10**. En esta se sombrea el menor EMC obtenido en cada población y el total.

Tabla 5.10. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “variable reducida”.

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
1	Abasolo Chiapas CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	16.04	30.65	76.14	189.38	92.18	220.03
2	Abelardo L. Rodríguez	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	25.63	63.25	493.63	3261.89	519.25	3325.14
3	Acala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	93.73	112.04	859.54	1809.16	953.26	1921.20
4	Almandro CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	16.21	24.67	161.58	268.79	177.78	293.46
5	Altamirano SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	25.07	33.72	179.44	235.42	204.51	269.14
6	Amatenango Del Valle	Doble Gumbel	Normal	Gamma	344.85	403.98	53.45	119.17	398.30	523.15
7	Ángel Albino Corzo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	531.11	125.97	336.72	3086.84	867.84	3212.81
8	Aquespala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	757.91	285.66	816.43	1464.83	1574.34	1750.50
9	Arco De Piedra	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	78.00	269.69	276.12	322.83	354.11	592.51
10	Argelia	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	37.84	29.35	159.23	592.56	197.06	621.90
11	Finca Argovia	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	111.00	178.71	3169.56	13677.32	3280.55	13856.03
12	Belisario Domínguez I	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	83.47	32.69	590.14	10460.13	673.61	10492.81
13	Bochil	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	489.37	165.93	1204.84	10159.92	1694.21	10325.85
14	Bombana CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	200.75	125.14	90.38	237.73	291.13	362.87
15	Cacahoatán	Log Normal	Normal	Exponencial	384.09	427.08	1015.67	1900.92	1399.75	2327.99
16	Vertedor 1,2,3	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	700.60	236.23	559.45	5644.78	1260.05	5881.01
17	Catarinitas	Gumbel	Normal	Exponencial	174.87	98.74	170.79	406.23	345.67	504.97
18	Playas de Catatzaja	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	208.24	697.86	704.37	925.43	912.61	1623.29
19	Cintalapa SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	529.64	261.99	521.26	12149.63	1050.90	12411.62
20	Comalapa CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	95.92	82.33	166.44	751.92	262.36	834.26
21	Cuauhtémoc CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	25.07	28.93	597.51	1846.59	622.58	1875.52
22	Copainala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	529.69	100.17	1801.03	2292.51	2330.72	2392.68
23	San Juan Chamula	Doble Gumbel	Normal	Gamma	189.44	221.31	117.14	237.54	306.58	458.85
24	Chanal	Doble Gumbel	Normal	Gamma	56.13	126.73	81.98	121.44	138.11	248.17
25	Chapultenango	Doble Gumbel	Normal	Gamma	244.77	231.93	885.32	1735.63	1130.09	1967.56
26	San Pedro Chenalho	Log Normal	Normal	Exponencial	260.38	196.40	2447.14	8392.03	2707.53	8588.44
27	Villa de Chiapilla DGE	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	223.38	169.24	372.91	1455.15	596.29	1624.39
28	Chicoasén CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	131.08	82.26	119.47	380.42	250.55	462.68
29	Chilil	Gamma	Normal	Exponencial	124.41	46.05	348.21	1249.78	472.63	1295.83
30	Finca Cuxtepeques	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	789.35	19.11	2114.56	35096.36	2903.90	35115.47
31	Despoblado	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	230.47	157.63	1076.88	4974.50	1307.35	5132.13
32	El Boquerón	Gumbel	Normal	Exponencial	313.92	190.23	291.18	1195.03	605.11	1385.25

Tabla 5.10. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “variable reducida”, Chiapas. (Continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
33	El Burrero	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	25.76	26.13	105.56	324.46	131.33	350.59
34	El Cedro	Doble Gumbel	Normal	Gamma	56.77	80.15	221.49	331.97	278.26	412.12
35	El Dorado	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	617.25	481.13	1494.14	7203.18	2111.39	7684.31
36	Finca El Triunfo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	192.44	258.09	1066.22	5522.75	1258.66	5780.84
37	El Progreso	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	904.57	470.27	580.88	5378.45	1485.45	5848.72
38	Escuintla DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	3068.39	2589.16	2257.18	16376.26	5325.57	18965.42
39	Finca A. Prusia	Doble Gumbel	Normal	Gamma	3016.90	2217.87	2941.10	13395.49	5958.00	15613.36
40	Finca Chayabe	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	397.82	1300.04	733.83	655.79	1131.65	1955.84
41	Finca Chiripa	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	91.96	92.20	273.38	2749.93	365.34	2842.13
42	Finca Chicharras	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	541.98	277.92	1311.43	2600.62	1853.42	2878.54
43	El Perú	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	52.80	73.93	236.08	1297.09	288.88	1371.02
44	Finca Hamburgo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	223.23	272.59	544.61	4143.66	767.84	4416.25
45	F. La Soledad	Gumbel	Normal	Exponencial	85.37	206.72	552.63	626.21	638.00	832.93
46	Finca Liquidambar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	388.78	1320.89	2676.39	2216.08	3065.17	3536.97
47	Frontera Amatenango	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	121.49	99.41	1080.74	5415.44	1202.23	5514.85
48	Frontera Hidalgo	Doble Gumbel	Normal	Gamma	303.62	342.67	1448.10	2207.38	1751.72	2550.05
49	Grijalva	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	98.14	51.94	295.27	631.94	393.41	683.88
50	Guadalupe Grijalva	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	99.57	101.31	164.06	299.88	263.63	401.19
51	Guaquitepec	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	62.40	20.89	683.24	1002.19	745.64	1023.08
52	Hacienda San	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	835.52	485.54	650.33	2675.97	1485.85	3161.51
53	Horcones	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	708.21	852.11	2532.47	19615.81	3240.67	20467.92
54	Huehuetan	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	5765.94	3761.63	1001.59	4109.44	6767.53	7871.07
55	Huistan CFE	Gumbel	Normal	Exponencial	206.89	164.11	100.32	191.93	307.22	356.04
56	Huixtla	Gumbel	Normal	Exponencial	772.73	506.24	481.93	888.84	1254.65	1395.08
57	Ignacio López Rayón	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	812.87	586.51	1232.08	5571.63	2044.95	6158.13
58	Rosario Iztapa IMPA	Doble Gumbel	Normal	Gamma	150.57	14.67	1624.28	31243.61	1774.86	31258.27
59	Ixtapa	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	422.22	201.33	1176.13	1641.12	1598.35	1842.45
60	Jesús Chiapas	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	160.07	246.90	433.46	1381.17	593.53	1628.07
61	Palenque DGE	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	883.45	816.99	576.92	1633.48	1460.37	2450.46
62	La Angostura DGE	Log Normal	Normal	Gamma	162.04	106.05	117.27	216.77	279.31	322.83
63	La Catarata CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	490.37	323.42	744.86	2335.98	1235.23	2659.40
64	La Escalera	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	44.77	16.08	80.05	423.17	124.83	439.26

Tabla 5.10. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “variable reducida”, Chiapas. (Continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
65	La Mesilla	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	27.58	135.92	196.23	252.89	223.81	388.81
66	La Providencia	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1220.32	433.00	462.76	2151.81	1683.08	2584.81
67	Zapaluta	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	400.27	470.90	1309.18	21457.96	1709.45	21928.86
68	Las Flores II	Gumbel	Normal	Gamma	106.98	205.76	295.91	367.28	402.89	573.04
69	Las Margaritas	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	166.28	41.43	3477.35	30500.61	3643.62	30542.03
70	Las Nubes	Doble Gumbel	Normal	Gamma	29.80	42.85	535.17	515.34	564.97	558.19
71	Las Peñitas	Doble Gumbel	Normal	Gamma	273.50	514.21	638.27	1153.78	911.77	1667.99
72	Livingston CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	78.18	32.99	91.27	972.82	169.45	1005.81
73	Malpaso II	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	453.46	434.71	1891.12	3365.18	2344.57	3799.89
74	Mapastepec	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1753.61	1704.44	1699.54	7147.58	3453.15	8852.01
75	Yaquintela	Doble Gumbel	Normal	Gamma	120.87	74.54	382.62	505.58	503.49	580.12
76	Margaritas	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	2688.41	2480.04	1792.47	6363.93	4480.89	8843.96
77	Medio Monte	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	704.41	334.60	2159.86	7571.14	2864.27	7905.74
78	Motozintla	Doble Gumbel	Normal	Normal	133.09	103.31	3434.76	8944.67	3567.85	9047.98
79	Nueva Esperanza	Log Normal	Normal	Exponencial	215.08	171.21	270.84	770.82	485.92	942.03
80	Ocosingo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1960.46	1180.56	1589.72	4203.40	3550.18	5383.96
81	Ocozocuautila	Doble Gumbel	Normal	Gamma	476.12	980.59	666.14	433.11	1142.26	1413.70
82	Oxchuc	Doble Gumbel	Normal	Gamma	10.20	105.33	94.91	159.44	105.11	264.76
83	Palenque SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	223.73	293.26	987.83	1775.54	1211.56	2068.79
84	Pichucalco SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	289.96	160.66	1422.46	2579.11	1712.41	2739.78
85	Pijijapan	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1913.89	2014.67	3038.80	20581.30	4952.69	22595.98
86	Presa Netzahualcóyotl	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	954.03	687.78	2130.03	12485.19	3084.06	13172.97
87	Puente Colgante	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	103.11	128.59	5522.01	95429.68	5625.13	95558.27
88	Puente Concordia CFE	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	15.89	16.17	451.80	543.75	467.69	559.92
89	Pto. Madero SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	168.87	282.38	1621.69	2717.04	1790.56	2999.42
90	Reforma I	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	5523.95	3248.53	1493.60	4946.20	7017.55	8194.73
91	Rio Blanco CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1693.37	1304.22	350.12	999.22	2043.49	2303.44
92	Sabanas	Doble Gumbel	Normal	Gamma	110.67	56.23	721.25	1463.14	831.92	1519.37
93	Salto De Agua DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	287.69	131.91	2722.14	5133.45	3009.83	5265.37
94	San Francisco II	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	168.28	285.63	422.67	1011.20	590.95	1296.84
95	San Jerónimo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	891.64	1166.72	2834.80	5125.70	3726.45	6292.42
96	San Joaquín	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	510.30	585.42	816.70	1654.05	1327.00	2239.48

Tabla 5.10. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “variable reducida”, Chiapas. (Continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
97	Santa María	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	122.23	81.85	732.85	4648.18	855.08	4730.03
98	Santo Domingo	Log Normal	Normal	Gamma	959.85	951.74	1143.50	1462.70	2103.35	2414.45
99	Simojovel DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	111.40	90.70	150.71	758.81	262.11	849.50
100	Soyalo CFE	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	87.52	15.54	1027.11	41955.45	1114.63	41970.98
101	Suchiate	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	50.82	34.90	907.56	7295.81	958.39	7330.71
102	Talismán	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	5823.68	4016.94	995.55	3284.76	6819.23	7301.70
103	Tapilula	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	322.63	49.49	1658.84	9375.20	1981.48	9424.69
104	Tonalá DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	735.79	920.07	600.05	4742.96	1335.84	5663.02
105	Tumbala CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	37.98	69.79	429.53	894.86	467.51	964.65
106	Unión Juárez	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	273.79	394.17	3050.44	8138.95	3324.23	8533.12
107	Villa Flores SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1759.12	1278.85	417.47	3756.22	2176.58	5035.06
108	Yajalón CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	190.00	504.31	306.93	683.57	496.93	1187.87
109	Yamonho	Doble Gumbel	Normal	Gamma	247.52	218.90	2706.45	3305.97	2953.97	3524.87
110	Jaltenango CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	784.86	1934.33	1839.46	1420.04	2624.33	3354.37
111	Escuintla SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	61.66	86.40	565.85	745.74	627.51	832.14
112	Finca El Escalón	Doble Gumbel	Normal	Normal	447.06	738.60	1121.49	6317.49	1568.55	7056.09
113	Ixtapa CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	20.63	29.37	137.51	292.37	158.14	321.74
114	La Trinitaria CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	24.67	26.54	474.32	1346.13	498.99	1372.67
115	Malpaso I	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	135.52	104.91	707.53	1647.78	843.05	1752.69
116	Sabanilla CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1096.78	471.30	410.31	1405.41	1507.09	1876.71
117	Salto De Agua SMN	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	194.88	195.53	394.85	3937.23	589.73	4132.76
118	Simojovel SMN	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	59.94	98.01	706.07	2764.03	766.01	2862.04
119	Tapachula DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	79.57	57.69	378.91	772.66	458.47	830.34
120	Tonalá SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	511.47	745.42	2119.79	11176.32	2631.26	11921.75
121	Tuxtla Gutiérrez DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	65.42	44.40	470.08	713.78	535.50	758.18
122	Venustiano Carranza	Doble Gumbel	Normal	Gamma	713.45	996.97	718.65	897.59	1432.10	1894.56
123	Villa Flores DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	78.83	40.14	296.49	1614.43	375.32	1654.56
124	Larrazar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	63.43	39.75	275.37	909.43	338.81	949.18
125	El Novillero	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	88.92	134.96	790.58	11505.11	879.50	11640.07
126	Tres Picos	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	979.07	1002.66	777.24	14274.08	1756.31	15276.74
127	Revolución Mexicana	Doble Gumbel	Normal	Gamma	156.54	317.06	214.85	337.89	371.39	654.95
128	San Fernando	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	101.75	31.89	855.73	8474.95	957.48	8506.84

Tabla 5.10. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “variable reducida”, Chiapas. (Continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
129	Salvación	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1323.32	824.50	1515.44	8048.79	2838.76	8873.28
130	Mazatán	Doble Gumbel	Normal	Gamma	161.59	199.02	477.55	1695.18	639.13	1894.20
131	Úrsulo Galván	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	111.85	11.58	938.01	20513.88	1049.86	20525.47
132	Cascajal	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	25.54	27.04	72.21	829.77	97.75	856.81
133	Soyatitán	Doble Gumbel	Normal	Gamma	57.99	75.63	78.19	359.63	136.19	435.26
134	Villa Las Rosas	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	1720.88	1133.89	7585.50	25135.45	9306.38	26269.34
135	Buenos Aires	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	415.79	260.55	296.86	2130.21	712.65	2390.76
136	Querétaro	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	431.64	237.37	960.60	48558.50	1392.24	48795.88
137	Plan De Iguala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	502.12	231.09	316.34	4554.93	818.46	4786.02
138	El Porvenir	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	59.03	39.11	557.55	9043.22	616.59	9082.33
139	Benito Juárez	Doble Gumbel	Normal	Gamma	36.45	50.72	39.50	238.06	75.95	288.78
140	Cuauhtémoc	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	17.31	138.18	335.75	376.07	353.06	514.26
141	Ejido Ibarra	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	571.50	200.56	1045.17	10670.13	1616.67	10870.69
142	Independencia	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	1123.12	746.81	791.93	16207.05	1915.04	16953.85
143	Monterrey	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	713.20	391.90	600.24	5390.73	1313.44	5782.62
144	Unión Zaragoza	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	119.66	98.79	5104.20	353.65	5223.86	452.44
145	Flores Magón	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	146.65	162.38	387.43	570.16	534.08	732.53
146	Luis Espinoza	Doble Gumbel	Normal	Gamma	159.56	153.83	502.27	1431.46	661.82	1585.29
147	Paso Hondo	Log Normal	Normal	Log Normal	95.30	46.53	884.64	10339.37	979.95	10385.90
148	Rosendo Salazar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1548.89	68.63	161489.99	15820.73	163038.88	15889.36
No. De estaciones con menor error					63	85	143	5	147	1

Tabla 5.11 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra a partir del cero de la variable reducida, Chiapas.

Función de distribución	Población 1	Población 2
Normal	148	2
Log Normal	0	18
Gumbel	0	11
Exponencial	0	83
Gamma	0	34

5.3.4. Ajuste en dos poblaciones de igual tamaño

Para ejemplificar los resultados obtenidos a partir de considerar la serie como dos poblaciones de igual tamaño, se utilizó la estación 7058 (El Perú, Tapachula) que cuenta con 30 años de registro como se muestra en la **Tabla 5.12**.

Tabla 5.12 Registro de precipitación máxima anual, estación 7058 (El Perú, Tapachula).

Año	P (mm)	Año	P (mm)	Año	P (mm)	Año	P (mm)
1954	89.0	1962	118.0	1970	102.0	1978	110.0
1955	180.0	1963	194.0	1971	102.0	1979	146.0
1956	190.0	1964	109.0	1972	90.0	1980	146.0
1957	110.0	1965	179.0	1973	131.0	1981	105.0
1958	116.0	1966	113.0	1974	204.0	1982	120.0
1959	150.0	1967	120.0	1975	125.0	1983	92.0
1960	112.0	1968	114.0	1976	118.0		
1961	140.0	1969	141.0	1977	102.0		

A continuación se realiza el análisis de frecuencia en el programa AX teniendo como resultado el error mínimo estandarizado de ajuste (**Figura 5.11**). Aunque en esta tabla se muestra el resultado con la distribución Gumbel Doble, este no se considera ya que al partir la serie de tiempo en dos poblaciones, el análisis solo se realiza con distribuciones univariadas.

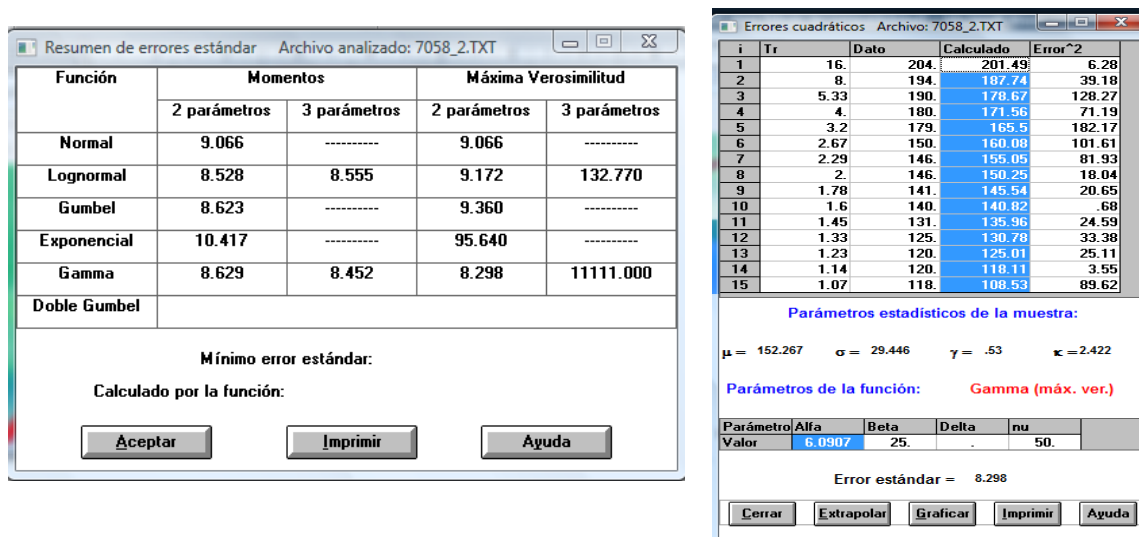
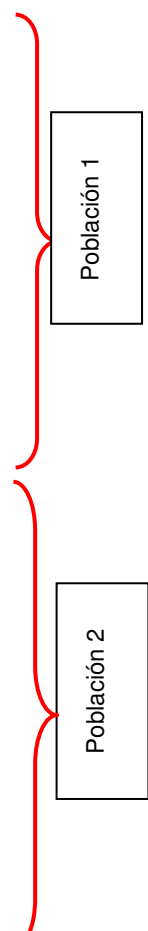


Figura 5.11 a) Error mínimo estándar de ajuste y b) valor ajustado a distribución con menor SEF en la población 2 de la estación 7058 (El Perú, Chiapas).

En seguida, los valores calculados en las dos poblaciones se colocan en la **Tabla 5.13**, columna VE2P y por último se obtiene el error mínimo cuadrático de ajuste para la función completa (VEFC) y con dos poblaciones (VE2P).

Tabla 5.13 División de muestra a partir de la variable reducida, estación 7058 (El Perú).

No.	T, años	Variable reducida (y)	Precipitación (P),mm	Probabilidad, p	VEFC	VE2P	EMC (VEFC)	EMC (VE2P)
30	1.03	-1.23	89.0	0.97	89.50	91.28	0.25	5.20
29	1.07	-1.01	90.0	0.94	93.54	94.87	12.53	23.72
28	1.11	-0.85	92.0	0.90	96.44	97.34	19.71	28.52
27	1.15	-0.72	102.0	0.87	98.85	99.33	9.92	7.13
26	1.19	-0.60	102.0	0.84	100.99	101.06	1.02	0.88
25	1.24	-0.50	102.0	0.81	102.96	102.65	0.92	0.42
24	1.29	-0.40	105.0	0.77	104.82	104.14	0.03	0.74
23	1.35	-0.30	109.0	0.74	106.61	105.60	5.71	11.56
22	1.41	-0.21	110.0	0.71	108.37	107.06	2.66	8.64
21	1.48	-0.12	110.0	0.68	110.11	108.55	0.01	2.10
20	1.55	-0.04	112.0	0.65	111.85	110.14	0.02	3.46
19	1.63	0.05	113.0	0.61	113.62	111.87	0.38	1.28
18	1.72	0.14	114.0	0.58	115.42	113.86	2.02	0.02
17	1.82	0.23	116.0	0.55	117.28	116.33	1.64	0.11
16	1.94	0.32	118.0	0.52	119.21	119.92	1.46	3.69
15	2.07	0.41	118.0	0.48	121.24	108.53	10.50	89.68
14	2.21	0.51	120.0	0.45	123.40	118.11	11.56	3.57
13	2.38	0.61	120.0	0.42	125.71	125.01	32.60	25.10
12	2.58	0.71	125.0	0.39	128.24	130.78	10.50	33.41
11	2.82	0.82	131.0	0.35	131.04	135.96	0.00	24.60
10	3.10	0.94	140.0	0.32	134.21	140.82	33.52	0.67
9	3.44	1.07	141.0	0.29	137.91	145.54	9.55	20.61
8	3.88	1.21	146.0	0.26	142.40	150.25	12.96	18.06
7	4.43	1.36	146.0	0.23	148.20	155.05	4.84	81.90
6	5.17	1.54	150.0	0.19	156.59	160.08	43.43	101.61
5	6.20	1.74	179.0	0.16	172.10	165.50	47.61	182.25
4	7.75	1.98	180.0	0.13	183.16	171.56	9.99	71.23
3	10.33	2.28	190.0	0.10	189.36	178.67	0.41	128.37
2	15.50	2.71	194.0	0.06	195.67	187.74	2.79	39.19
1	31.00	3.42	204.0	0.03	204.57	201.49	0.32	6.30



En la **Figura 5.12** se muestra en color azul el ajuste realizado con los valores de precipitación reales contra la variable reducida (VarRed) y el periodo de retorno. En color verde se muestran los valores obtenidos con dos poblaciones (VE2P) a partir del cero de la variable reducida. Además, se ilustra la división de cada población.

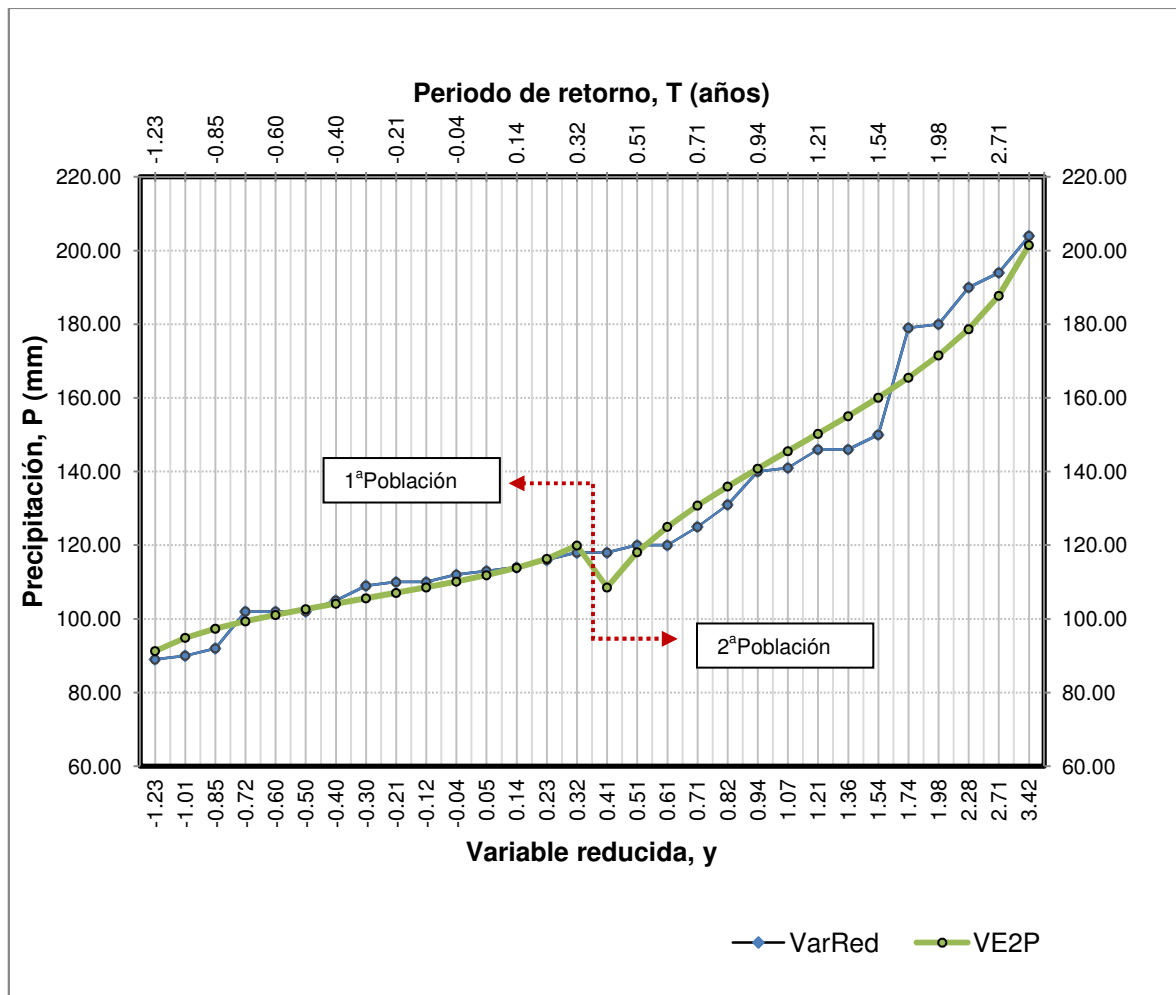


Figura 5.12 Gráfica de dos poblaciones de igual tamaño, estación 7058 (El Perú, Chiapas).

Debido a que se pretende conocer el mejor ajuste, se procede a realizar la suma de error mínimo cuadrático (EMC) en cada población (**Tabla 5.14**).

Tabla 5.14. Comparación de error al considerar una o dos poblaciones de igual tamaño, estación 7058 (El Perú, Tapachula).

Σ de error VEFC		Σ de error VE2P		Σ de error total de datos	
VEFC	VE2P	VEFC	VE2P	VEFC	VE2P
58.30	97.46	230.58	826.56	288.88	924.02

Al igual que en la estación 7058 (El Perú), el análisis se realizó para cada estación mostrando los resultados en la **Tabla 5.15**.

Tabla 5.15. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “50%-50%”, Chiapas.

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
1	Abasolo Chiapas CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	44.51	67.98	47.67	107.57	92.18	175.55
2	Abelardo L. Rodríguez	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	32.52	2440.35	486.73	950.91	519.25	3391.26
3	Acala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	168.91	113.38	784.35	1730.13	953.26	1843.51
4	Almandro CFE	Doble Gumbel	Log Normal	Gamma	21.75	48.78	156.03	377.84	177.78	426.62
5	Altamirano SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	58.51	80.05	146.00	188.71	204.51	268.76
6	Amatenango Del Valle	Doble Gumbel	Normal	Gamma	348.23	447.77	50.07	178.62	398.30	626.39
7	Ángel Albino Corzo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	688.65	327.15	179.19	2631.23	867.84	2958.38
8	Aquespala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	936.00	429.08	638.34	1385.90	1574.34	1814.98
9	Arco De Piedra	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	87.82	422.07	266.30	303.20	354.11	725.27
10	Argelia	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	41.74	60.16	155.32	560.97	197.06	621.13
11	Finca Argovia	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	152.34	262.54	3128.22	34251.98	3280.55	34514.52
12	Belisario Domínguez I	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	130.61	125.10	542.99	10105.73	673.61	10230.83
13	Bochil	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	578.59	360.83	1115.62	26058.51	1694.21	26419.35
14	Bombana CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	209.49	185.83	81.64	231.94	291.13	417.76
15	Cacahoatán	Log Normal	Normal	Exponencial	511.75	474.80	901.62	1804.79	1413.37	2279.59
16	Vertedor 1,2,3	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	855.03	477.51	405.03	4690.25	1260.05	5167.76
17	Catarinitas	Gumbel	Normal	Gumbel	279.52	144.07	66.15	326.87	345.67	470.94
18	Playas de Catatzaja	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	326.85	900.93	585.76	729.04	912.61	1629.96
19	Cintalapa SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	553.28	425.43	497.63	10019.91	1050.90	10445.34
20	Comalapa CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	120.79	111.17	141.57	707.58	262.36	818.75
21	Cuauhtémoc CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	46.52	50.48	576.06	1625.31	622.58	1675.79
22	Copainala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	817.34	325.01	1513.39	2229.98	2330.72	2554.99
23	San Juan Chamula	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	205.86	189.67	100.72	281.13	306.58	470.80
24	Chanal	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	71.80	181.11	66.31	172.50	138.11	353.61
25	Chapultenango	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	307.77	377.25	822.32	1886.95	1130.09	2264.20
26	San Pedro Chenalho SMN	Log Normal	Normal	Exponencial	267.08	235.05	2440.44	7770.91	2707.53	8005.95
27	Villa de Chiapilla DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	229.00	299.80	781.55	13405.65	1010.55	13705.44
28	Chicoasén CFE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	162.30	117.80	88.25	262.77	250.55	380.57
29	Chilil	Gamma	Normal	Exponencial	175.35	84.76	297.27	1181.94	472.63	1266.69
30	Finca Cuxtepeques	Doble Gumbel	Gamma	Gamma	898.08	61.20	2005.82	37272.01	2903.90	37333.21
31	Despoblado	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	250.45	144.10	1056.90	4817.82	1307.35	4961.92
32	El Boquerón	Gumbel	Normal	Exponencial	375.09	241.47	230.02	1115.90	605.11	1357.37

Tabla 5.15. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “50%-50%”, Chiapas (continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
33	El Burrero	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	60.47	51.50	70.85	1299.68	131.33	1351.18
34	El Cedro	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	64.66	123.80	213.60	419.97	278.26	543.77
35	El Dorado	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	664.71	810.34	1446.67	6490.53	2111.39	7300.87
36	Finca El Triunfo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	251.12	330.95	1007.53	4916.61	1258.66	5247.56
37	El Progreso	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1156.09	627.67	329.36	4703.42	1485.45	5331.09
38	Escuintla DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	3399.33	2552.37	1926.24	13898.60	5325.57	16450.97
39	Finca A. Prusia	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	3093.12	2551.83	2864.89	29617.60	5958.00	32169.43
40	Finca Chayabe	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	496.48	1678.07	635.17	625.67	1131.65	2303.74
41	Finca Chiripa	Doble Gumbel	Normal	Gamma	128.22	94.46	237.12	1924.40	365.34	2018.87
42	Finca Chicharras	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	622.35	511.44	1231.06	2552.10	1853.42	3063.55
43	El Perú	Doble Gumbel	Normal	Gamma	58.30	97.46	230.58	826.56	288.88	924.02
44	Finca Hamburgo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	269.89	357.57	497.94	3862.30	767.84	4219.87
45	F. La Soledad	Gumbel	Normal	Exponencial	144.61	267.04	493.39	537.13	638.00	804.17
46	Finca Liquidambar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	408.72	1583.31	2656.45	2176.10	3065.17	3759.40
47	Frontera Amatenango	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	130.28	154.93	1071.95	4621.07	1202.23	4776.00
48	Frontera Hidalgo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	463.33	309.43	1288.39	2327.57	1751.72	2637.00
49	Grijalva	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	100.72	83.10	292.68	600.44	393.41	683.54
50	Guadalupe Grijalva	Doble Gumbel	Normal	Gamma	112.58	161.93	151.05	180.39	263.63	342.32
51	Guaquitepec	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	74.57	69.08	671.06	976.08	745.64	1045.16
52	Hacienda San Cristóbal	Doble Gumbel	Normal	Gamma	872.29	883.02	613.56	1643.75	1485.85	2526.77
53	Horcones	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	798.68	1124.24	2441.99	18991.89	3240.67	20116.13
54	Huehuetan	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	5846.76	4915.15	920.77	3899.86	6767.53	8815.01
55	Huistan CFE	Gumbel	Normal	Exponencial	210.35	193.34	96.86	185.86	307.22	379.20
56	Huixtla	Gumbel	Normal	Exponencial	821.61	570.11	433.04	870.48	1254.65	1440.59
57	Ignacio López Rayón	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	917.10	718.59	1127.84	5020.22	2044.95	5738.81
58	Rosario Iztapa IMPA	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	202.14	44.76	1572.71	29835.38	1774.86	29880.14
59	Ixtapa	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	729.80	248.54	868.54	2228.08	1598.35	2476.62
60	Jesús Chiapas	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	218.18	232.35	375.35	1298.03	593.53	1530.37
61	Palenque DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	931.80	1008.13	528.57	1009.67	1460.37	2017.79
62	La Angostura DGE	Log Normal	Normal	Gamma	213.70	111.59	65.61	183.02	279.31	294.61
63	La Catarata CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	503.59	444.63	731.65	2268.70	1235.23	2713.33
64	La Escalera	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	55.73	56.94	69.09	416.56	124.83	473.51

Tabla 5.15. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “50%-50%”, Chiapas (continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
65	La Mesilla	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	82.49	187.67	141.32	188.81	223.81	376.48
66	La Providencia	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1441.88	899.32	241.20	1874.20	1683.08	2773.52
67	Zapaluta	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	444.43	660.06	1265.02	11504.40	1709.45	12164.46
68	Las Flores II	Gumbel	Normal	Gamma	162.05	220.47	240.84	360.34	402.89	580.81
69	Las Margaritas	Doble Gumbel	Normal	Gamma	181.27	104.27	3462.35	28554.92	3643.62	28659.19
70	Las Nubes	Doble Gumbel	Gamma	Normal	96.34	352.55	468.64	396.23	564.97	748.78
71	Las Peñitas	Doble Gumbel	Normal	Gamma	279.47	489.67	632.31	1024.05	911.77	1513.72
72	Livingston CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	87.26	61.65	82.19	853.85	169.45	915.50
73	Malpaso II	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	497.49	441.42	1847.08	3284.95	2344.57	3726.38
74	Mapastepec	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	2032.75	1519.38	1420.40	6799.89	3453.15	8319.27
75	Yaquintela	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	141.45	110.06	362.04	470.61	503.49	580.67
76	Margaritas	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	2762.45	2565.97	1718.44	6096.34	4480.89	8662.31
77	Medio Monte	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	750.43	633.19	2113.84	7302.93	2864.27	7936.12
78	Motozintla	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	152.32	113.66	3415.53	9527.15	3567.85	9640.80
79	Nueva Esperanza	Log Normal	Normal	Gamma	247.60	342.28	238.33	575.56	485.92	917.84
80	Ocosingo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	2088.74	1651.39	1461.44	3494.46	3550.18	5145.85
81	Ocozocuautila	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	556.66	1125.83	585.60	505.24	1142.26	1631.07
82	Oxchuc	Doble Gumbel	Normal	Gamma	17.15	147.16	87.96	138.69	105.11	285.85
83	Palenque SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	272.74	594.89	938.82	1442.16	1211.56	2037.05
84	Pichucalco SMN	Doble Gumbel	Normal	Normal	675.25	579.08	1037.16	1839.34	1712.41	2418.42
85	Pijijapan	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1929.49	2170.04	3023.21	18404.56	4952.69	20574.60
86	Presa Netzahualcóyotl	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1007.15	865.30	2076.91	11117.00	3084.06	11982.30
87	Puente Colgante	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	109.58	167.20	5515.55	147276.93	5625.13	147444.13
88	Puente Concordia CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	36.54	28.79	431.15	492.67	467.69	521.47
89	Pto. Madero SMN	Doble Gumbel	Normal	Gamma	217.34	287.93	1573.22	2084.85	1790.56	2372.79
90	Reforma I	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	5813.78	4172.74	1203.77	4484.52	7017.55	8657.26
91	Rio Blanco CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1750.29	1421.04	293.20	947.42	2043.49	2368.46
92	Sabanas	Doble Gumbel	Gumbel	Gamma	150.03	149.45	681.89	1111.69	831.92	1261.14
93	Salto De Agua DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	348.62	122.03	2661.21	5023.97	3009.83	5145.99
94	San Francisco II	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	176.58	326.49	414.37	998.31	590.95	1324.80
95	San Jerónimo	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1283.03	1554.29	2443.42	5034.50	3726.45	6588.79
96	San Joaquín	Doble Gumbel	Normal	Gamma	556.42	503.62	770.58	1218.04	1327.00	1721.66

Tabla 5.15. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “50%-50%”, Chiapas (continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
97	Santa María	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	171.66	159.07	683.42	4362.07	855.08	4521.15
98	Santo Domingo	Log Normal	Normal	Gamma	1035.49	1059.03	1067.86	1463.28	2103.35	2522.31
99	Simojovel DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	125.67	197.95	136.44	586.74	262.11	784.69
100	Soyalo CFE	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	169.65	61.41	944.98	14617.10	1114.63	14678.51
101	Suchiate	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	66.65	54.60	891.74	6396.95	958.39	6451.56
102	Talismán	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	6100.59	4992.15	718.63	2887.81	6819.23	7879.96
103	Tapilula	Doble Gumbel	Gamma	Exponencial	487.11	276.32	1494.36	8949.09	1981.48	9225.41
104	Tonalá DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	840.51	990.51	495.33	3130.41	1335.84	4120.92
105	Tumbala CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	64.17	63.92	403.34	1342.28	467.51	1406.21
106	Unión Juárez	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	350.88	512.33	2973.35	7970.61	3324.23	8482.93
107	Villa Flores SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1803.84	1548.80	372.75	3272.92	2176.58	4821.72
108	Yajalón CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	140.36	262.56	166.57	617.05	306.93	879.62
109	Yamonho	Doble Gumbel	Gamma	Gamma	318.74	202.16	2635.22	3752.33	2953.97	3954.49
110	Jaltenango CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	819.14	1943.71	1805.18	1340.94	2624.33	3284.65
111	Escuintla SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	148.28	125.44	479.22	738.88	627.51	864.32
112	Finca El Escalón	Doble Gumbel	Normal	Normal	799.39	921.78	769.16	3099.19	1568.55	4020.97
113	Ixtapa CFE	Doble Gumbel	Gamma	Gamma	25.69	38.77	132.44	244.64	158.14	283.42
114	La Trinitaria CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	50.74	29.12	448.26	1320.43	498.99	1349.55
115	Malpaso I	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	212.20	178.29	630.85	1592.07	843.05	1770.36
116	Sabanilla CFE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1281.63	747.62	225.46	1200.88	1507.09	1948.50
117	Salto De Agua SMN	Doble Gumbel	Normal	Normal	228.38	289.41	361.35	2767.11	589.73	3056.52
118	Simojovel SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	77.65	129.26	688.37	8613.11	766.01	8742.38
119	Tapachula DGE	Doble Gumbel	Normal	Gamma	96.27	87.16	362.20	464.52	458.47	551.68
120	Tonalá SMN	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	686.38	710.48	1944.88	11031.23	2631.26	11741.71
121	Tuxtla Gutiérrez DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	77.58	84.74	457.92	651.73	535.50	736.47
122	Venustiano Carranza	Doble Gumbel	Normal	Gamma	844.51	1371.68	587.59	701.39	1432.10	2073.07
123	Villa Flores DGE	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	113.01	39.73	262.31	1531.30	375.32	1571.03
124	Larrainzar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	79.12	82.56	259.68	806.22	338.81	888.78
125	El Novillero	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	95.32	172.89	784.18	10544.23	879.50	10717.13
126	Tres Picos	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1051.81	977.28	704.51	12486.94	1756.31	13464.21
127	Revolución Mexicana	Doble Gumbel	Normal	Gamma	185.78	396.10	185.61	286.50	371.39	682.60
128	San Fernando	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	117.49	65.50	839.99	5719.78	957.48	5785.28

Tabla 5.15. Error mínimo cuadrático a partir de VEFC vs VE2P “50%-50%”, Chiapas (continuación).

Estación		Tipo de distribución obtenida			Antes del cero		Después del cero		Total de datos	
No.	Nombre	VEFC	VE2P		Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P	Σ del error de VEFC	Σ del error de VE2P
			Población 1	Población 2						
129	Salvación	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1645.12	902.87	1193.65	7373.98	2838.76	8276.85
130	Mazatán	Doble Gumbel	Normal	Gamma	214.19	258.66	424.94	1176.53	639.13	1435.19
131	Úrsulo Galván	Doble Gumbel	Gamma	Log Normal	144.76	57.55	905.10	8265.06	1049.86	8322.61
132	Cascajal	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	32.97	54.57	64.78	787.18	97.75	841.75
133	Soyatitán	Doble Gumbel	Normal	Normal	69.02	65.84	67.17	222.03	136.19	287.86
134	Villa Las Rosas	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1928.21	1015.46	7378.17	36876.89	9306.38	37892.34
135	Buenos Aires	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	453.15	285.90	259.49	1466.83	712.65	1752.73
136	Querétaro	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	483.05	245.14	909.19	2505.39	1392.24	2750.53
137	Plan De Iguala	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	523.79	547.26	294.67	3946.58	818.46	4493.84
138	El Porvenir	Doble Gumbel	Normal	Log Normal	86.16	75.79	530.43	15167.07	616.59	15242.86
139	Benito Juárez	Doble Gumbel	Normal	Normal	40.26	64.36	35.69	131.60	75.95	195.97
140	Cauhtémoc	Doble Gumbel	Gamma	Exponencial	53.66	345.82	299.39	347.56	353.06	693.38
141	Ejido Ibarra	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	778.06	232.11	838.60	15252.40	1616.67	15484.50
142	Independencia	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	1197.83	1490.76	717.22	23570.83	1915.04	25061.59
143	Monterrey	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	782.97	432.54	530.47	4674.01	1313.44	5106.55
144	Unión Zaragoza	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	134.52	220.80	5089.34	331.44	5223.86	552.24
145	Flores Magón	Doble Gumbel	Normal	Gumbel	177.74	203.30	356.34	433.29	534.08	636.59
146	Luis Espinoza	Doble Gumbel	Normal	Gamma	239.71	243.95	422.11	1059.56	661.82	1303.51
147	Paso Hondo	Log Normal	Normal	Log Normal	101.59	72.97	878.35	19990.40	979.95	20063.37
148	Rosendo Salazar	Doble Gumbel	Normal	Exponencial	2636.48	131.86	160402.40	13189.75	163038.88	13321.61
					66	82	141	7	146	2

Tabla 5.16 Funciones de distribución representativas al dividir la muestra en dos poblaciones de igual tamaño..

Función de distribución	Población 1	Población 2
Normal	139	5
Log Normal	1	11
Gumbel	1	6
Exponencial	0	94
Gamma	7	32

Otra de las funciones utilizadas frecuentemente en estudios relacionados con Hidrología y que no se encuentra en el programa AX es la distribución Log-Pearson tipo III. En la **Tabla 5.17** se muestran los resultados de error mínimo estándar para 4 de las estaciones del estado, así como su comparación respecto a la distribución Gumbel Doble. En estos ejemplos, se muestra que para valores bajos de periodo de retorno se obtienen valores muy parecidos, pero para valores altos, el error tiene un mayor aumento.

Tabla 5.17 Valores obtenidos con distribución Log-Pearson III y Doble Gumbel, Chiapas.

No.	Estación											
	7001			7058			7128			7200		
	P(mm)	P(mm) Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel
1	126.0	119.5	123.8	204.0	195.5	204.6	290.0	328.7	287.5	208.0	201.3	200.8
2	115.0	108.6	112.1	194.0	176.3	195.7	286.0	291.7	271.6	194.0	180.6	184.1
3	104.0	102.1	105.1	190.0	165.2	189.4	254.0	270.2	262.6	173.0	168.9	174.2
4	100.0	97.4	100.0	180.0	157.4	183.2	246.0	255.0	256.1	159.0	160.8	167.0
5	93.5	93.6	95.9	179.0	151.3	172.1	240.0	243.1	250.9	156.0	154.5	161.3
6	93.0	90.5	92.5	150.0	146.3	156.6	238.0	233.3	246.4	154.0	149.4	156.6
7	92.5	87.8	89.6	146.0	142.1	148.2	236.0	225.0	242.3	152.0	145.1	152.5
8	89.0	85.3	87.0	146.0	138.3	142.4	235.0	217.7	238.5	146.0	141.4	148.9
9	86.0	83.2	84.6	141.0	135.0	137.9	234.0	211.2	234.7	146.0	138.1	145.6
10	84.0	81.1	82.4	140.0	131.9	134.2	234.0	205.3	230.8	144.0	135.2	142.7
11	80.0	79.3	80.4	131.0	129.2	131.0	230.0	199.9	226.4	144.0	132.5	139.9
12	76.5	77.5	78.5	125.0	126.6	128.2	227.0	194.9	221.1	139.0	130.1	137.3
13	75.5	75.8	76.6	120.0	124.1	125.7	224.0	190.2	213.8	139.0	127.8	134.8
14	75.4	74.2	74.8	120.0	121.8	123.4	193.0	185.8	204.4	132.0	125.7	132.5
15	71.0	72.7	73.1	118.0	119.6	121.2	188.0	181.7	195.9	130.0	123.8	130.3
16	67.2	71.2	71.4	118.0	117.5	119.2	182.0	177.8	188.7	128.0	121.9	128.1
17	67.0	69.7	69.8	116.0	115.4	117.3	180.0	174.0	182.4	126.0	120.2	126.0
18	66.5	68.3	68.1	114.0	113.5	115.4	178.0	170.4	176.8	124.0	118.5	124.0
19	66.0	66.8	66.5	113.0	111.5	113.6	172.0	166.9	171.8	119.0	116.9	122.0
20	65.0	65.4	64.9	112.0	109.6	111.9	168.0	163.5	167.1	119.0	115.4	120.1
21	63.5	64.0	63.2	110.0	107.7	110.1	168.0	160.2	162.8	113.0	113.9	118.2
22	62.5	62.5	61.5	110.0	105.7	108.4	167.0	157.0	158.8	113.0	112.5	116.3
23	62.5	61.0	59.8	109.0	103.8	106.6	164.0	153.8	154.9	113.0	111.2	114.5
24	59.5	59.5	58.1	105.0	101.8	104.8	162.0	150.7	151.3	113.0	109.8	112.6
25	58.0	57.9	56.3	102.0	99.8	103.0	157.0	147.7	147.7	110.0	108.6	110.9
26	54.5	56.2	54.5	102.0	97.6	101.0	147.0	144.7	144.3	108.0	107.3	109.1
27	54.0	54.3	52.6	102.0	95.3	98.9	144.0	141.7	141.0	104.0	106.1	107.4
28	49.5	52.2	50.6	92.0	92.8	96.4	140.0	138.7	137.7	104.0	104.9	105.7
29	48.0	49.6	48.4	90.0	89.7	93.5	127.0	135.7	134.5	101.0	103.8	104.0
30	45.5	46.0	45.5	89.0	85.6	89.5	124.0	132.6	131.3	101.0	102.6	102.4
31							124.0	129.6	128.2	101.0	101.5	100.9
32							120.0	126.5	124.9	99.8	100.4	99.5
33							115.0	123.3	121.7	97.8	99.3	98.1
34							112.0	120.0	118.3	97.2	98.2	96.7
35							112.0	116.5	114.9	97.0	97.2	95.5
36							110.0	112.9	111.3	96.0	96.1	94.3
37							106.0	109.0	107.4	95.0	95.1	93.1
38							106.0	104.7	103.1	94.5	94.0	92.0
39							97.0	99.7	98.2	91.6	93.0	91.0
40							90.5	93.7	92.2	91.3	91.9	90.0
41							80.0	85.4	83.8	90.6	90.8	89.0
42										88.9	89.8	88.0
43										87.1	88.7	87.1
44										87.0	87.6	86.1
45										85.7	86.5	85.2
46										83.9	85.3	84.3

Tabla 5.17 Valores obtenidos con distribución Log-Pearson III y Gumbel Doble, Chiapas (continuación).

No.	Estación											
	7001			7058			7128			7200		
	P(mm)	P(mm) Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel	P(mm)	P(mm), Log Pearson III	Doble Gumbel
47										83.8	84.1	83.4
48										83.6	82.9	82.5
49										82.9	81.6	81.5
50										82.3	80.2	80.5
51										79.5	78.7	79.5
52										77.7	77.0	78.3
53										77.7	75.1	77.0
54										75.6	72.8	75.4
55										66.0	69.6	73.3

5.4. Traslape en distribuciones mezcladas

Al realizar el análisis univariado a partir de dos poblaciones, en algunos casos se obtuvieron valores estimados (VE2P) que se traslapan. Por tal motivo, se propuso un análisis empírico para ajustar estos valores. Para ejemplificar este hecho, se muestra la gráfica de valores traslapados de la estación Bochil del estado de Chiapas con clave 7015 (**Figura 5.13**). Este ejemplo se tomó al dividir la muestra en dos poblaciones a partir del cero de la variable reducida.

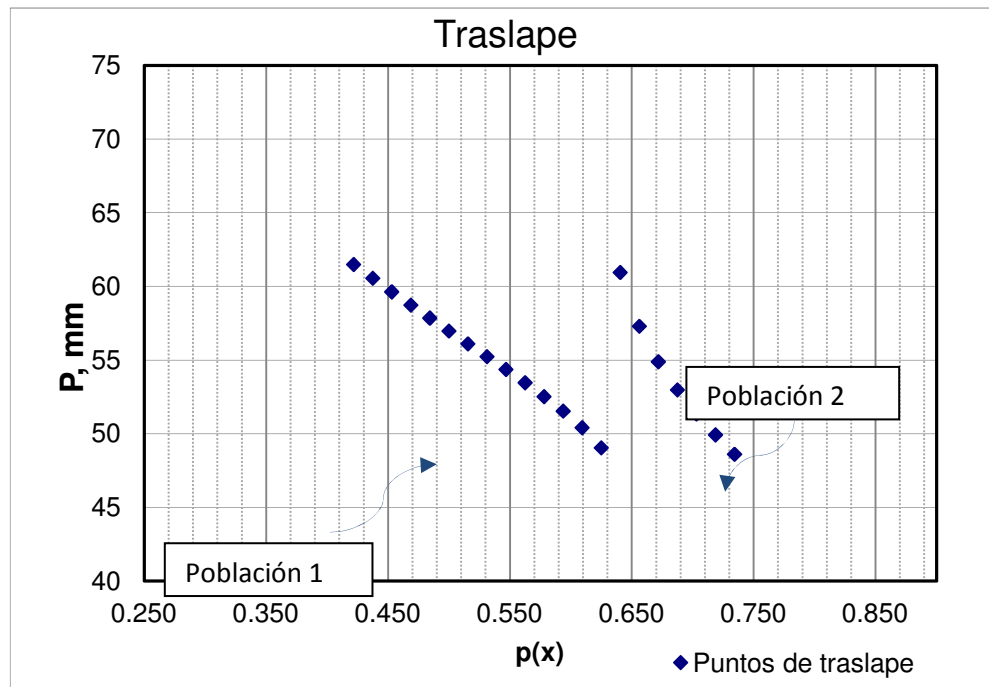


Figura 5.13. Traslape de precipitación P en estación Bochil, Chiapas.

El análisis empírico consiste en obtener una ecuación que represente el comportamiento de los datos en la zona de traslape. Para esto, se propone obtener la línea y ecuación de tendencia de los datos H_p . Debido a que la ecuación obtenida solo representa la tendencia de los datos, en este trabajo se propone encontrar una función de probabilidad a partir de la ecuación de tendencia lineal.

Para llevar a cabo lo anterior, se realizaron varios supuestos que debe cumplir una función de probabilidad, En primer lugar, se considera la distribución de densidad $f(x)$ como el producto de la precipitación P por una constante C (Ecuación 5.1).

$$f(x) = C * P \quad (5.1)$$

debe cumplirse que:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (5.2)$$

donde $F(x)$ representa la función de distribución y dx el diferencial de x .

Para obtener el valor de C , se consideró dos axiomas de la probabilidad donde:

$$f(x) \geq 0 \quad (5.3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 = F(x) \quad (5.4)$$

También, de acuerdo con el primer axioma de la probabilidad

$$0 \leq F(x) \leq 1$$

Al integrar la ecuación 4, se obtiene el valor de C , que posteriormente se sustituye en la ecuación 1, y así obtener una ecuación de densidad $f(x)$ que representa el comportamiento de los datos de esa estación.

Debido a que la $f(x)$ tiene valores pequeños, se consideró un factor B , para finalmente obtener los datos de precipitación P_t en la zona de traslape. El factor B se obtuvo como un valor w por la desviación estándar dividida entre la media.

$$B = w * \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (5.5)$$

donde B es un factor, σ la desviación estándar, \bar{x} la media y w un factor de escala. Finalmente, la ecuación de probabilística de P_t será:

$$P_t = f(x) * B \quad (5.6)$$

Ejemplo, Estación Bochil, Chiapas

Para ejemplificar, la metodología realizada, se utilizó la estación Bochil, Chiapas.

En primer lugar, se obtiene la línea de tendencia de P_t (**Figura 5.14**)

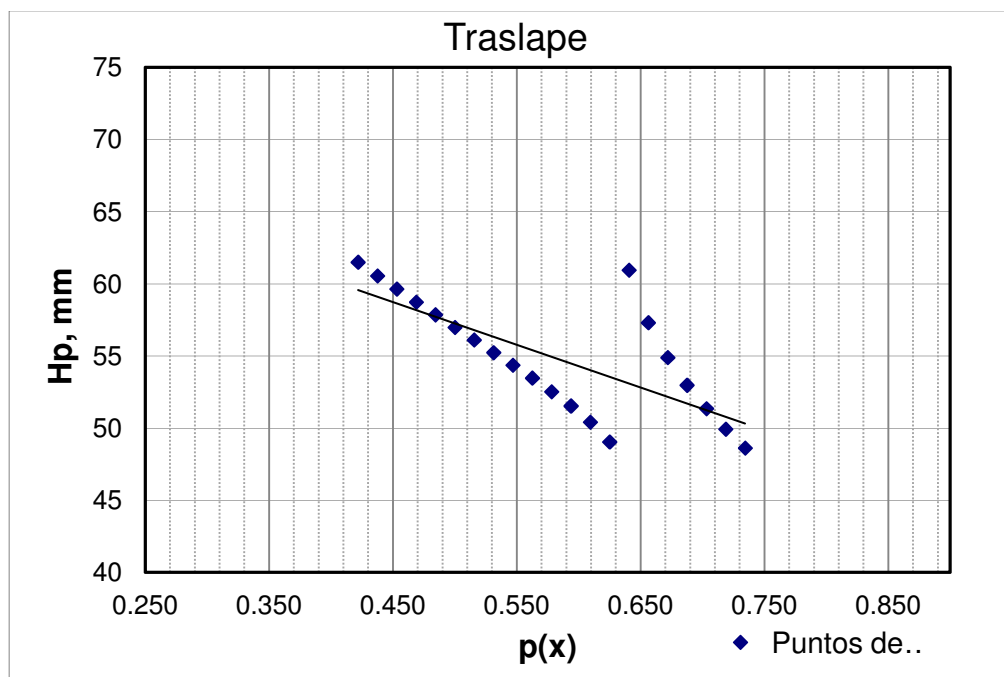


Figura 5.14. Tendencia lineal de datos traslapados (línea continua) en estación Bochil, Chiapas.

Su ecuación es:

$$P_t = -29.61p(x) + 72.073$$

donde P_t representa la precipitación y $p(x)$ la probabilidad.

A partir de la ecuación 4, se obtiene la función de distribución:

$$F(x) = \int_{0.422}^{0.734} C[-29.61p(x) + 72.073]dx = 1$$

Los límites de la integral fueron el valor menor y mayor de $p(x)$ donde se presentó el traslape.

Integrando:

$$F(x) = C \left[\frac{-29.61}{2} p(x)^2 + 72.073p(x) \right]_{0.422}^{0.734} = 1$$

sustituyendo los límites

$$F(x) = C[44.944 - 27.771] = 1$$

Y después despejando C

$$C = 0.005823$$

por lo tanto, la $f(x)$ es igual a

$$f(x_i) = 0.05823 [-29.61p(x_i) + 72.073]$$

Para este ejemplo el valor de B (ecuación 5.5) es:

$$B = 245 * \frac{52.69}{3.57} = 17.142$$

Finalmente se sustituyen los valores en la **Ecuación 5.6** obteniendo la siguiente ecuación de H_{pt} para la estación Bochil:

$$Pt_i = [0.05823 * (-29.61p(x_i) + 72.073)] * 17.142$$

Con esta ecuación se obtiene el valor de precipitación Pt_i (**Tabla 1**) para cada valor de probabilidad $p(x_i)$.

Tabla 5.18. Obtención de precipitación P_t en datos traslapados, estación Bochil, Chiapas.

$p(x)$	H_p	$f(x)$	H_{pt}
0.734	48.62	2.93	50.24
0.719	49.93	2.96	50.70
0.703	51.36	2.98	51.16
0.688	52.98	3.01	51.62
0.672	54.89	3.04	52.09
0.656	57.31	3.07	52.55
0.641	60.95	3.09	53.01
0.625	49.05	3.12	53.47
0.609	50.42	3.15	53.93
0.594	51.54	3.17	54.39
0.578	52.53	3.20	54.86
0.563	53.47	3.23	55.32
0.547	54.37	3.25	55.78
0.531	55.24	3.28	56.24
0.516	56.11	3.31	56.70
0.500	56.98	3.33	57.17
0.484	57.86	3.36	57.63
0.469	58.74	3.39	58.09
0.453	59.64	3.42	58.55
0.438	60.56	3.44	59.01
0.422	61.50	3.47	59.47

En la **Figura 5.15** se muestra gráficamente los datos ajustados para la estación Bochil.

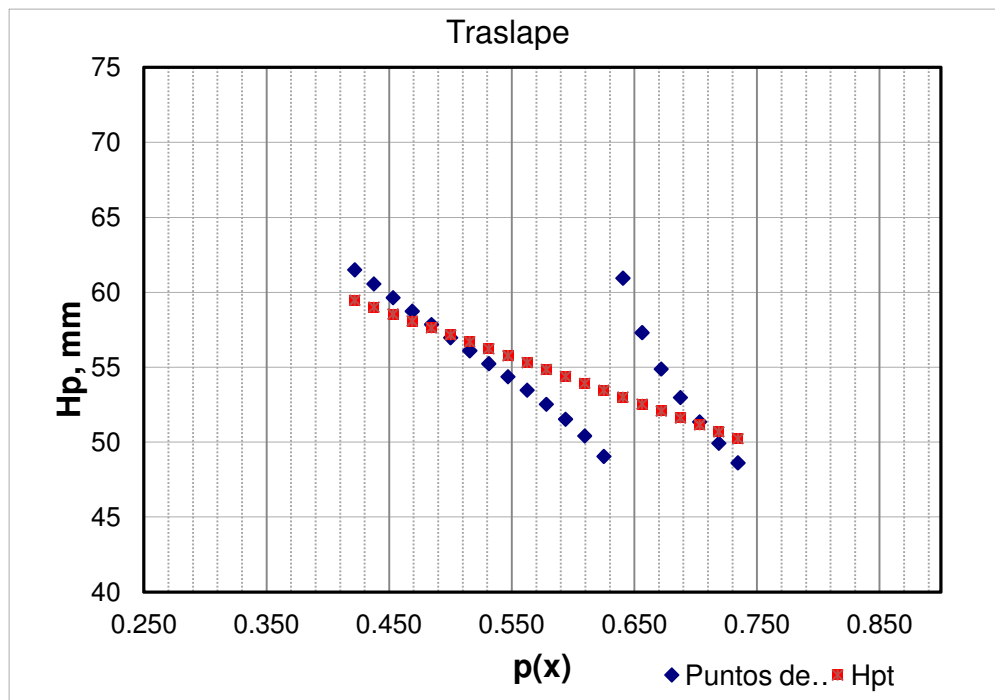


Figura 5.15. Ajuste de datos en zona de traslape, estación Bochil, Chiapas.

CAPÍTULO 6. REGIONALIZACIÓN DE PARÁMETROS

En este capítulo se presentan los mapas de los cuatro parámetros (α_1 , β_1 , α_2 , β_2), y el de asociación entre las dos poblaciones (p) de la distribución Gumbel Doble optimizada en los estados de Querétaro (**ANEXO 4**) y Chiapas (**ANEXO 5**). Además, se realiza una comparación con los mapas de orografía y clima para conocer si existe relación entre las características predominantes de cada estado y la regionalización obtenida. Para elaborar las isolíneas de los parámetros, se utilizó el programa Surfer versión 7.0, en este se posicionó cada estación en coordenadas geográficas y posteriormente se realizó la interpolación con el método de Kriging lineal.

6.1. Estado de Querétaro

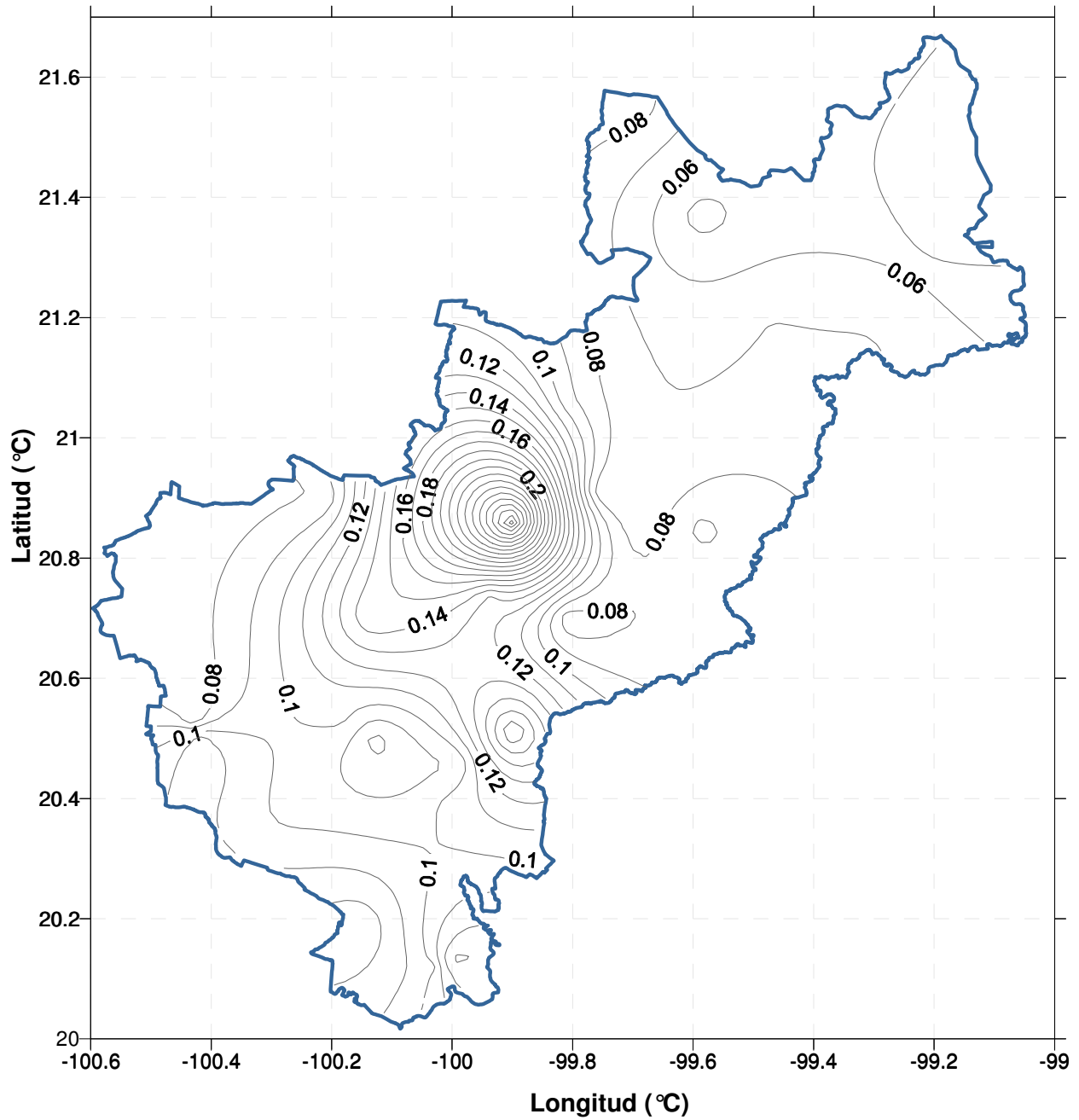


Figura 6.1 Mapa de Isolíneas del parámetro α_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro.

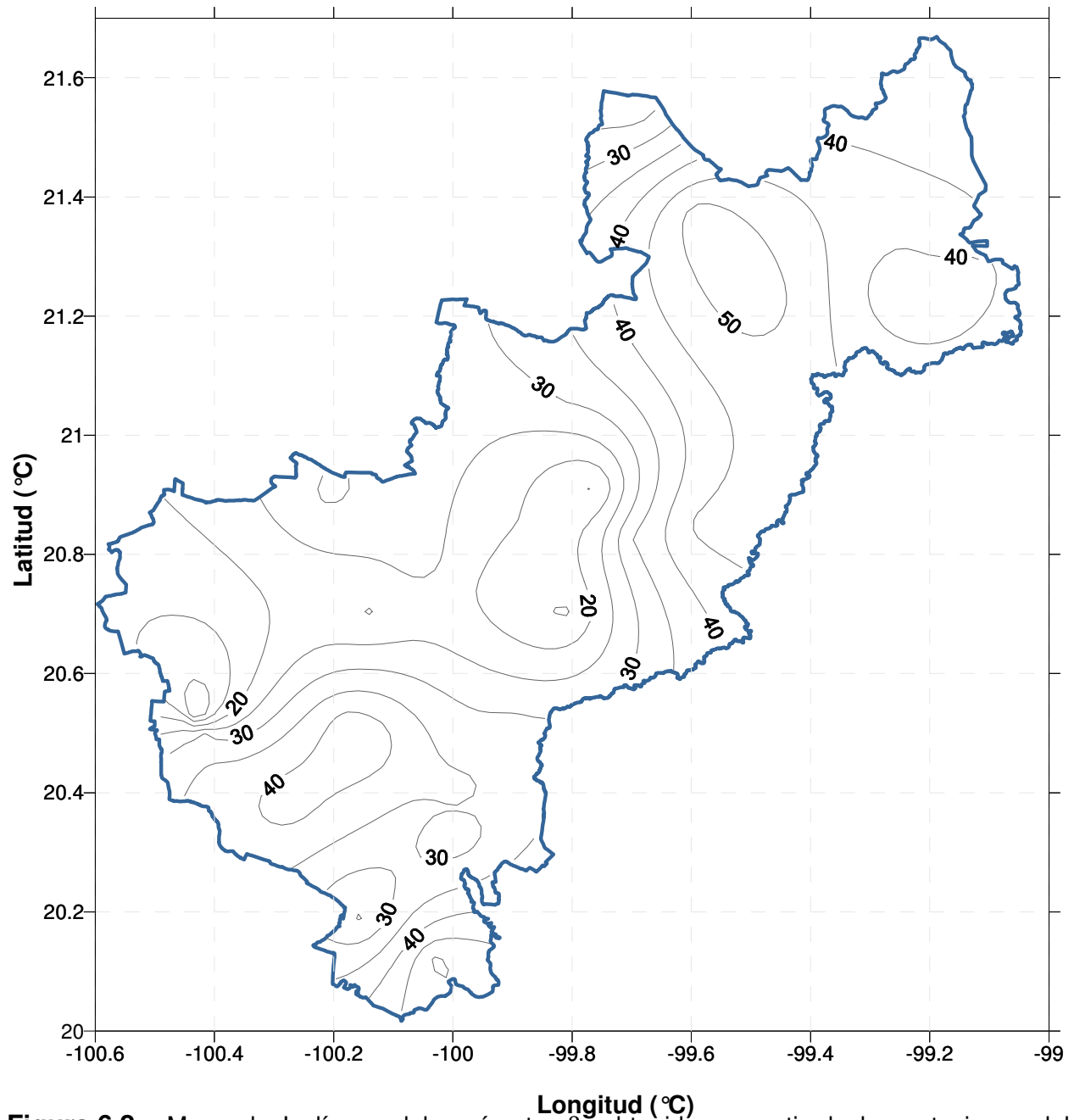


Figura 6.2 Mapa de Isolíneas del parámetro β_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro.

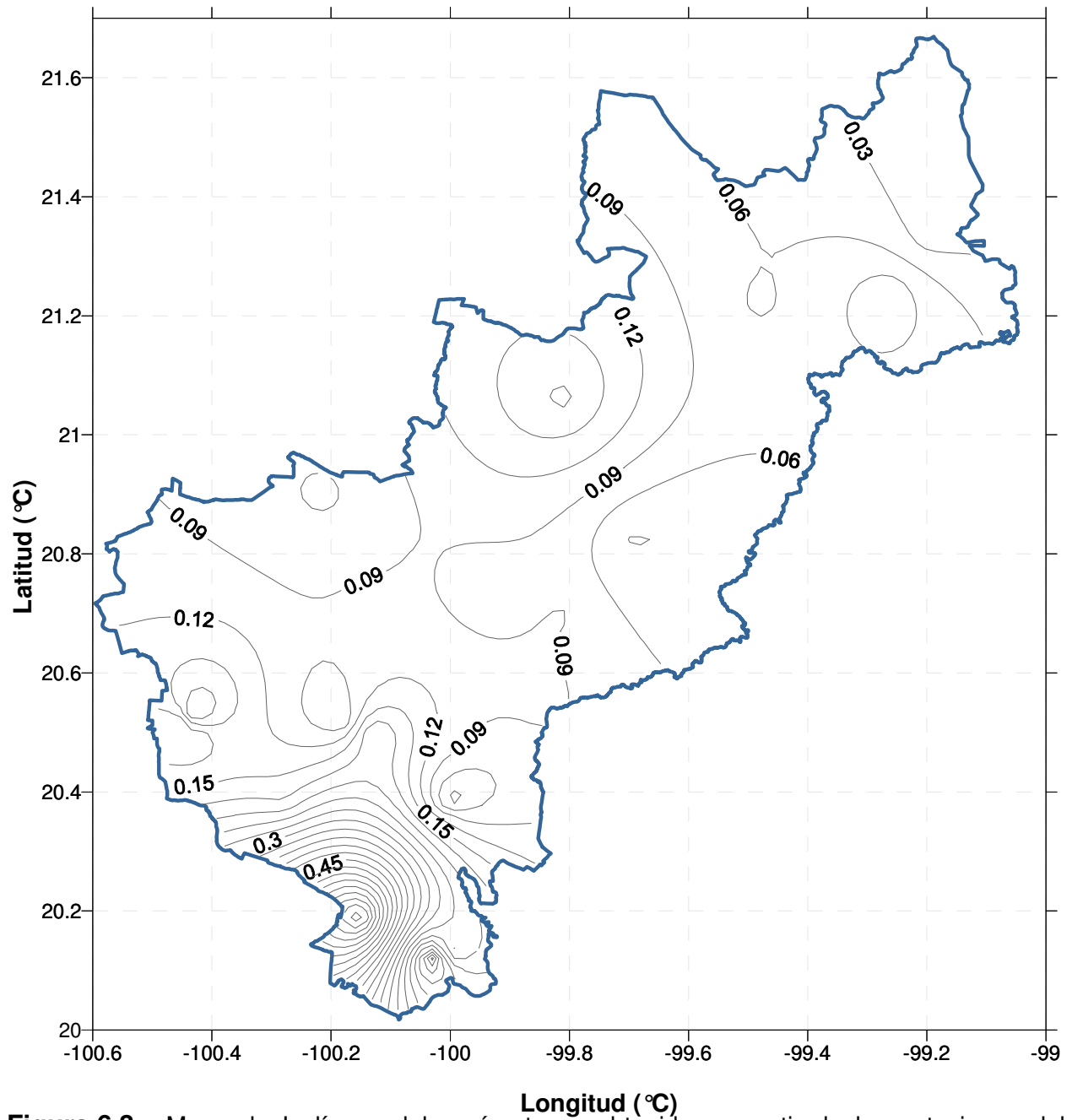


Figura 6.3 Mapa de Isolíneas del parámetro α_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro.

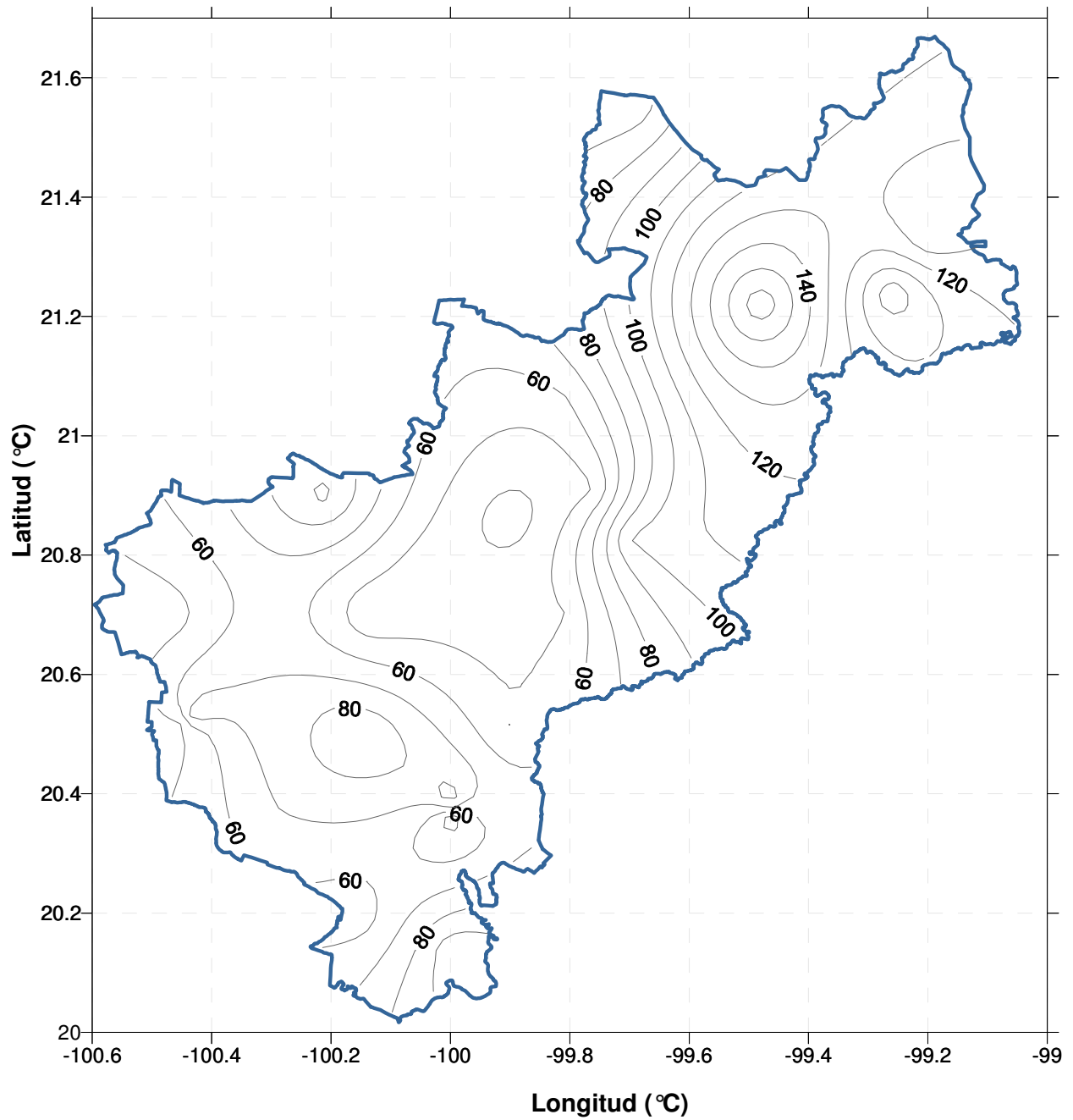


Figura 6.4 Mapa de Isolíneas del parámetro β_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro.

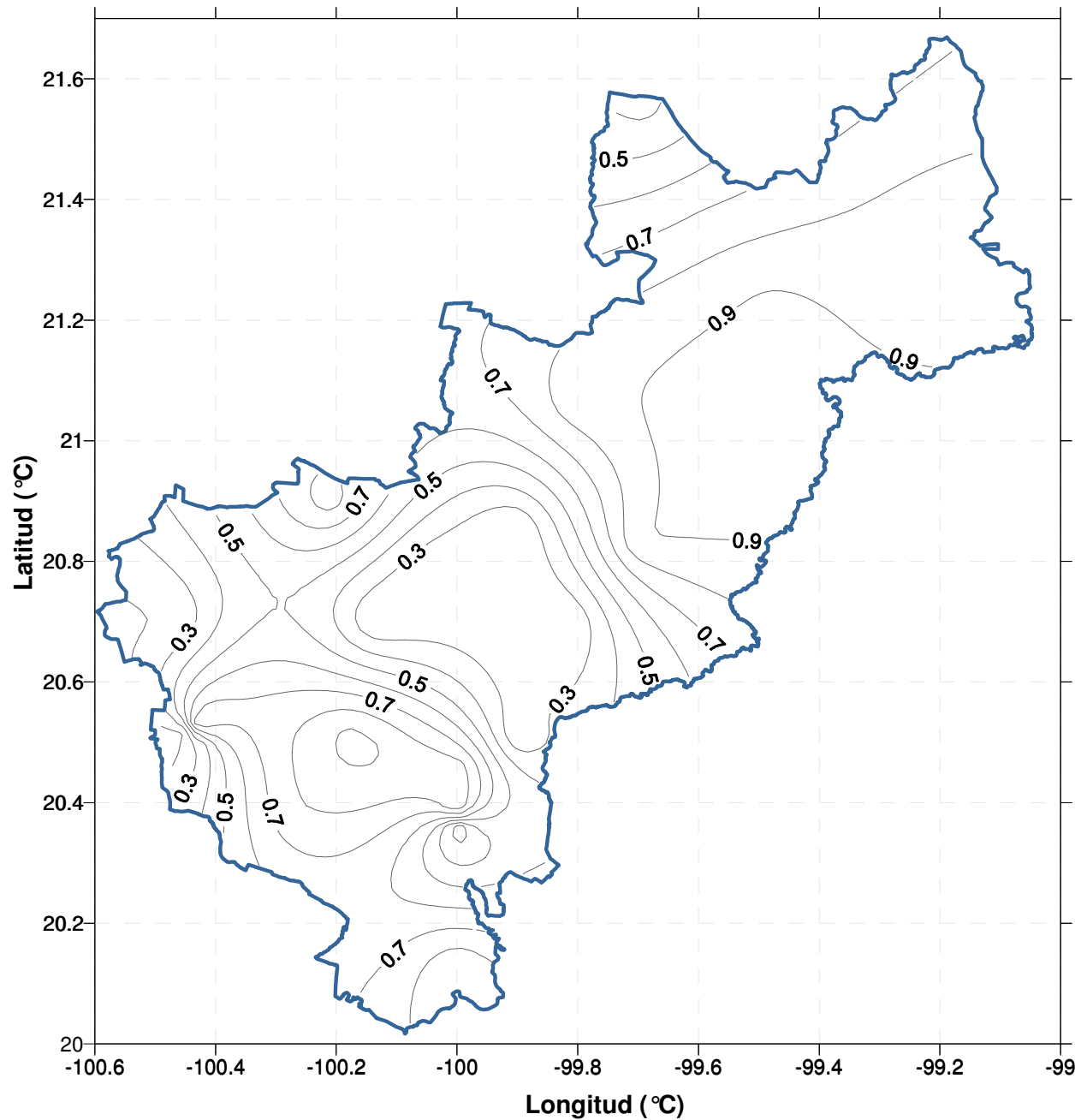
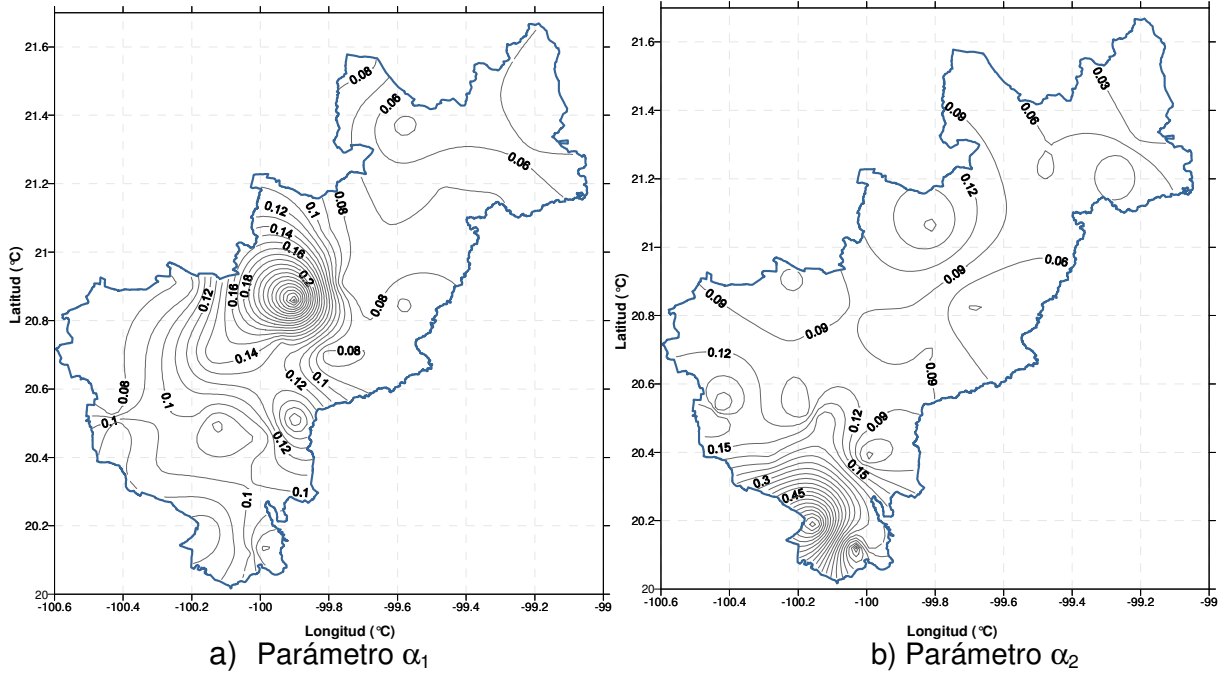


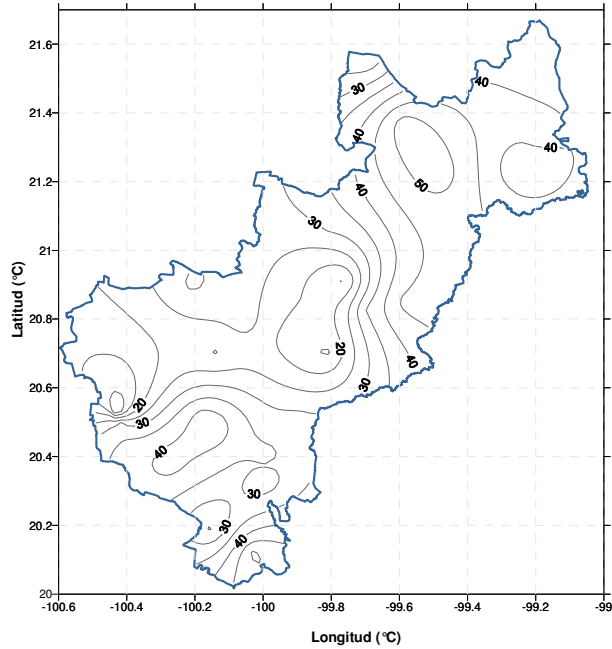
Figura 6.5 Mapa de Isolíneas del parámetro p obtenidas a partir de las estaciones del estado de Querétaro, en color azul se muestra el contorno del estado de Querétaro.

En la **Figura 6.6** se muestra el mapa de las curvas de nivel del estado de Querétaro a cada 300 m, esto con el fin de realizar una comparación entre este mapa y los mapas de parámetros.

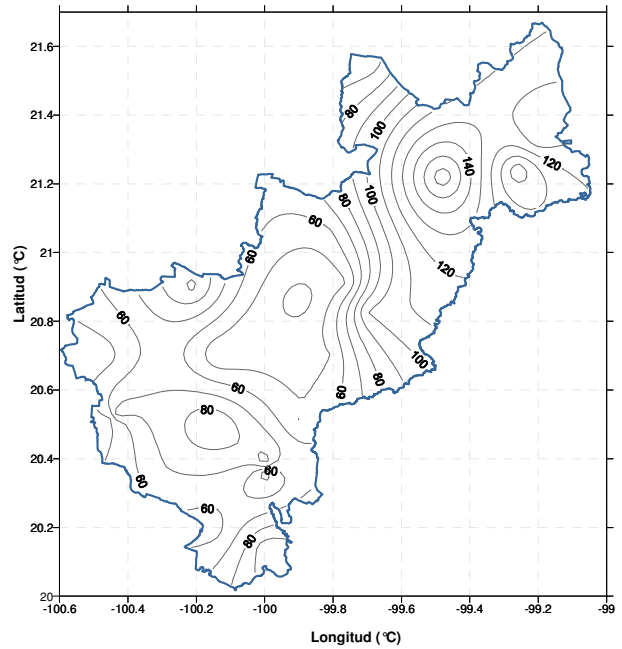


a) Tipos de clima

Figura 6.6 Comparación del Parámetro α_1 (a), Parámetro α_2 (b) y tipos de clima (c) en el estado de Querétaro.



a) Parámetro β_1

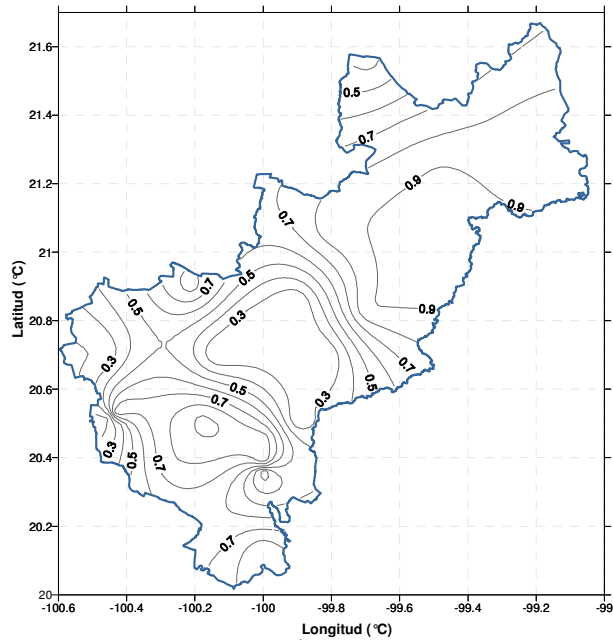


b) Parámetro β_2

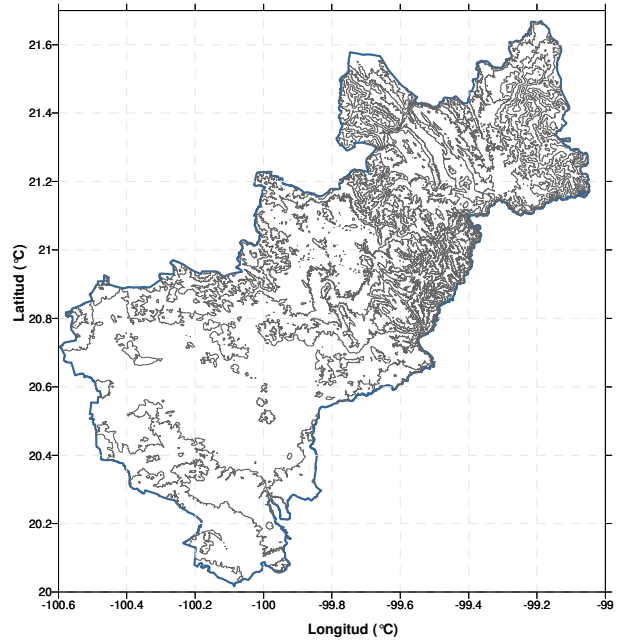


a) Precipitación.

Figura 6.7 Comparación del Parámetro β_1 (a), parámetro β_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Querétaro.



a) Parámetro p



b) Topografía



Figura 6.8 Comparación del Parámetro p (a), topografía (b) y tipos de clima (c) en el estado de Querétaro.

6.2. Resumen de regionalización, Querétaro

El parámetro α_1 (**Figura 6.1**) de la distribución Gumbel en la población 1 presenta su valor más bajo en la zona noreste. En esta, se encuentran los municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra. Por el contrario, al acercarse a la zona central del estado donde se ubican los municipios de Tolimán y Colón, el valor aumenta a cerca de 0.3, en dirección hacia el sur del estado el valor disminuye hasta valores cercanos a 0.1.

El segundo parámetro β_1 de la distribución Gumbel (**Figura 6.2**) que pertenece a la población 1, tiene un comportamiento respecto a α_1 . β_1 tiene sus valores más altos en las zonas del norte y sur del estado con valores de hasta 40 y 50. Al acercarse al centro, este disminuye a menos de 20.

Para el parámetro α_2 (**Figura 6.3**) de la población 2, presenta una tendencia similar al parámetro α_1 en dirección hacia el noreste del estado ya que disminuye conforme se acerca al límite con San Luis Potosí. Por el contrario, este crece en dirección hacia el sur presentando el valor más alto entre los municipios de Amealco y otros municipios cercanos.

En la **Figura 6.4** donde se muestra la variación del parámetro β_2 de la población 2, tiene valores más bajos hacia el centro del estado entre los municipios de Tolimán y Colón, pero al acercarse al sur este aumenta. De igual manera, en dirección hacia el norte, aumentando a valores mayores a 140.

Al igual que los parámetros α_1 , α_2 , β_1 y β_2 , el parámetro de asociación p tiene una tendencia muy definida, en la parte central se presentan valores menores (0.2) y al avanzar hacia el sur o norte del estado, estos aumentan considerablemente con valores mayores a 0.9.

La **Figura 6.6** muestra la comparación entre los parámetros α_1 y α_2 respecto al clima. En esta se observa que donde los valores del parámetro son más altos se tiene un clima seco a semiseco. Por el contrario, este disminuye en la zona de clima cálido y que además, presenta mayor precipitación.

Al comparar los mapas β_1 y β_2 respecto al mapa de precipitación del estado (**Figura 6.7**), estos tienen semejanza en su comportamiento, ya que en la parte norte del estado se presentan valores más altos, en la parte sur intermedios y en el centro donde se encuentra Toluca y Colón se registran los mínimos.

Otra característica física que se puede comparar su variación es la topografía. Por tal motivo, esta se compara con el valor de p (**Figura 6.8**). En esta se observa que entre los municipios de Pinal de Amoles, Jalpan de Serra y Landa de Matamoros se tiene una topografía más pronunciada, lo que coincide con la zona donde el valor de p es mayor. En la parte centro del estado, no se tiene variación tan considerable al igual que los valores de p . Por último, en la parte sur tiende a aumentar el valor al igual que la orografía.

6.3. Estado de Chiapas

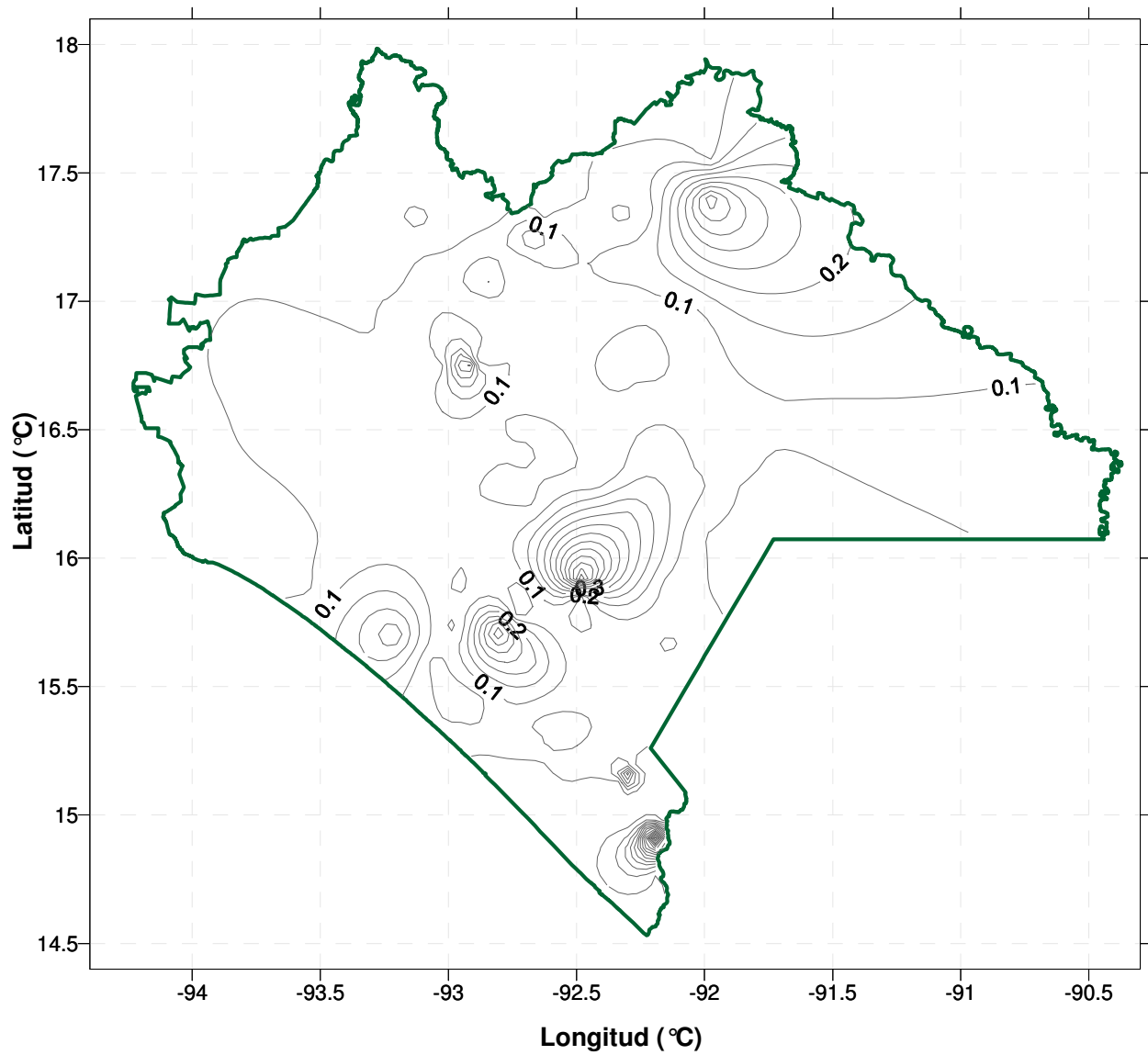


Figura.6.9 Mapa de Isolíneas del parámetro α_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado.

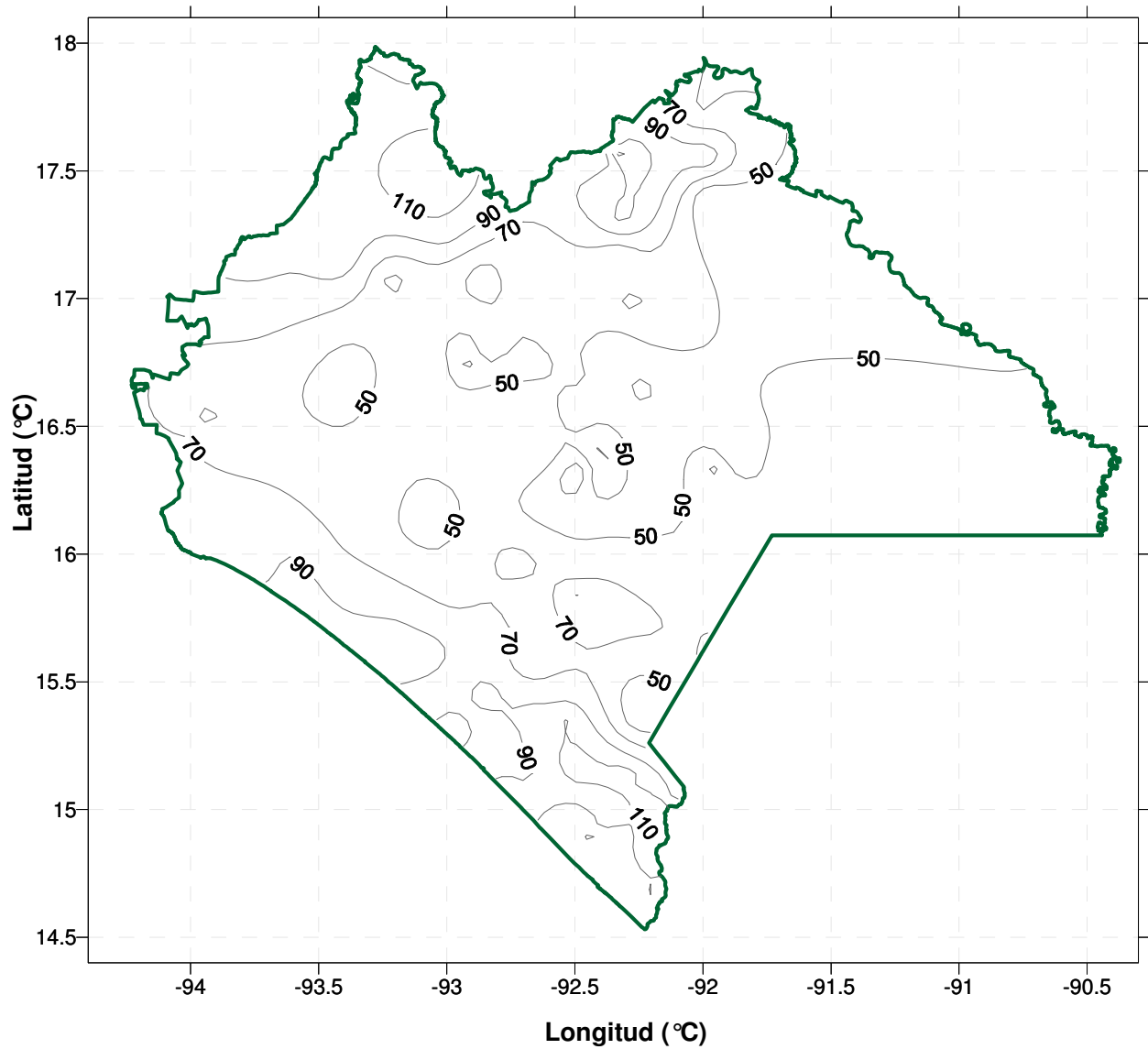


Figura.6.10 Mapa de Isolíneas del parámetro β_1 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas.

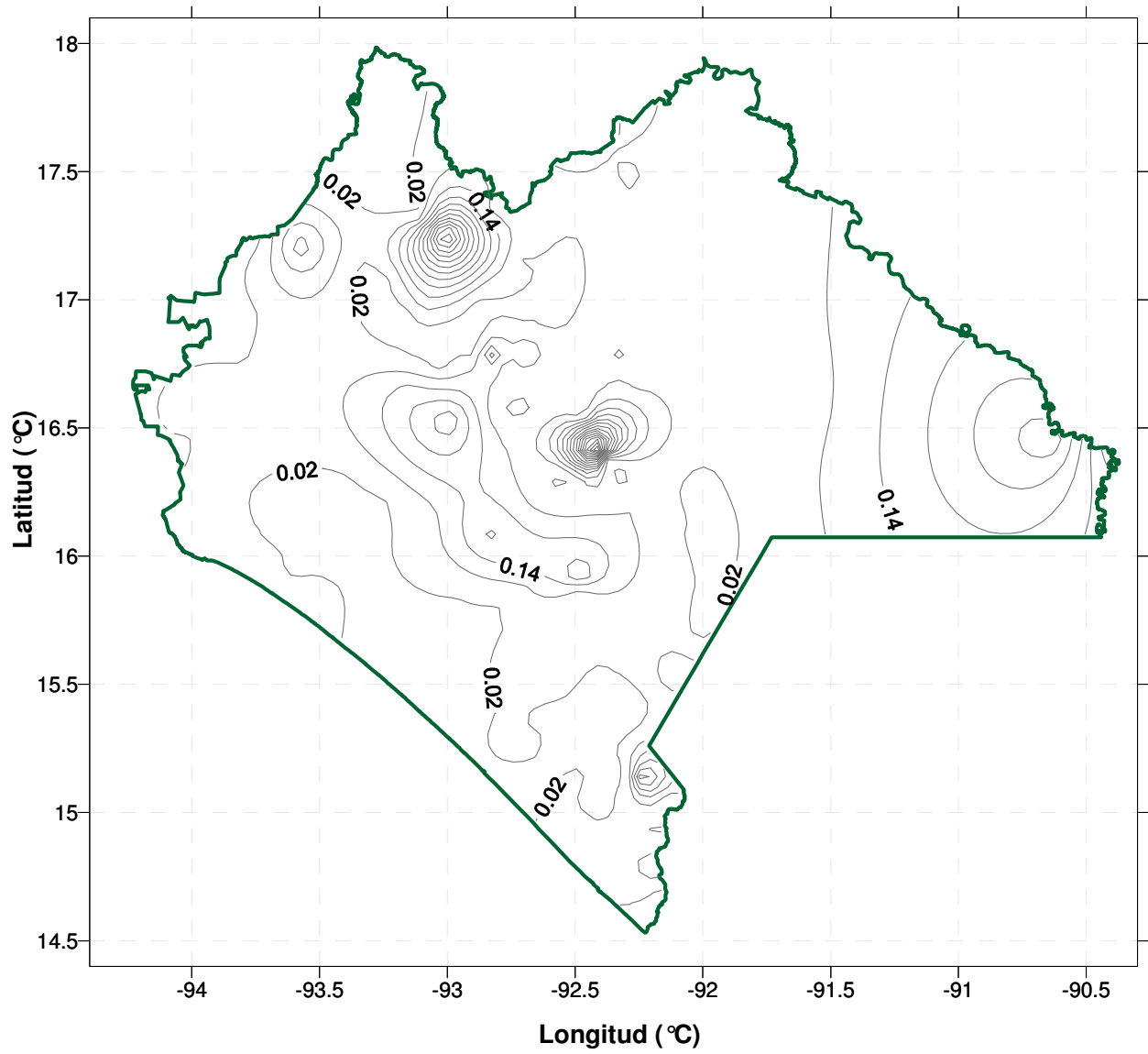


Figura.6.11 Mapa de Isolíneas del parámetro α_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas.

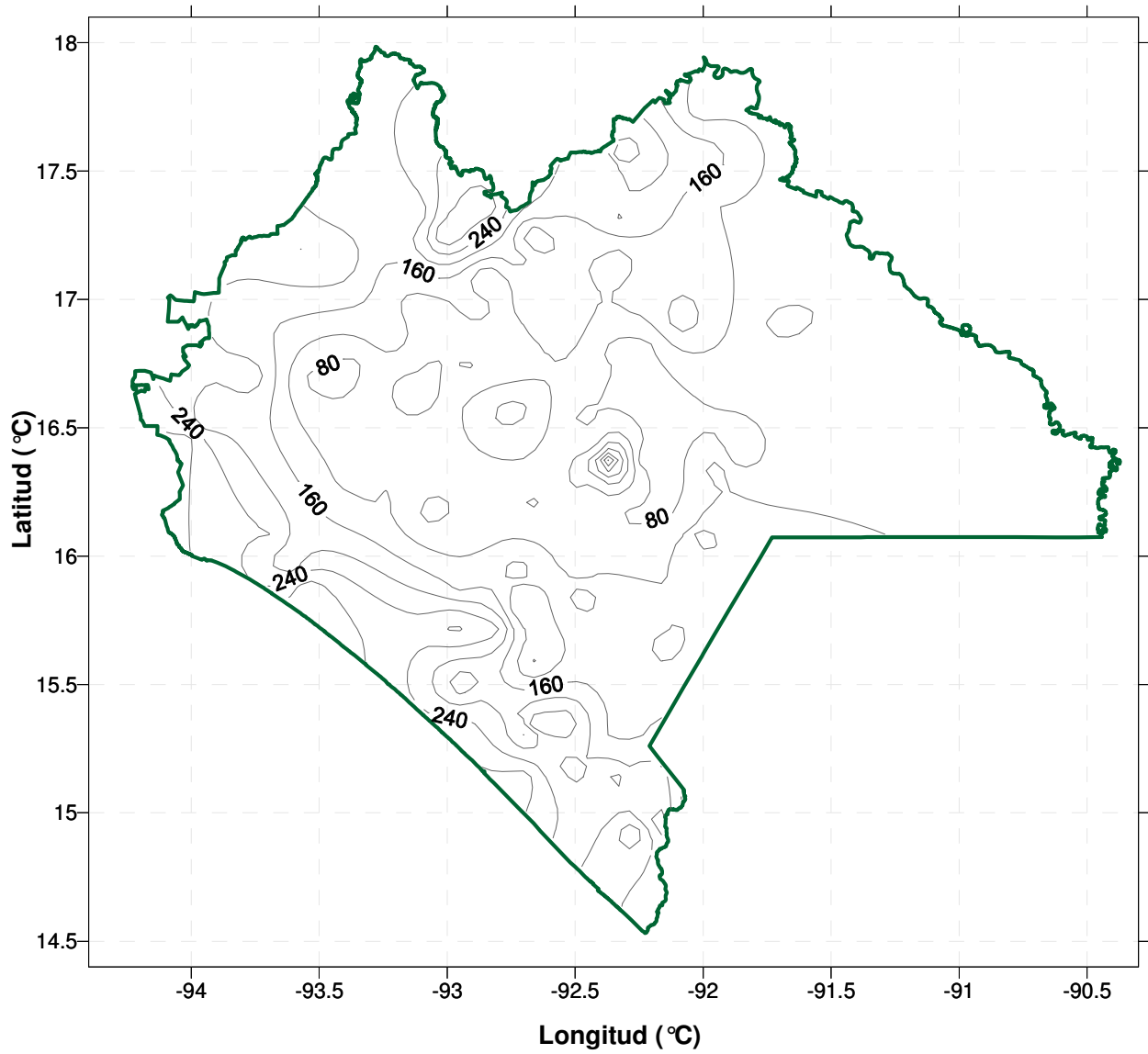


Figura.6.12 Mapa de Isolíneas del parámetro β_2 obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas.

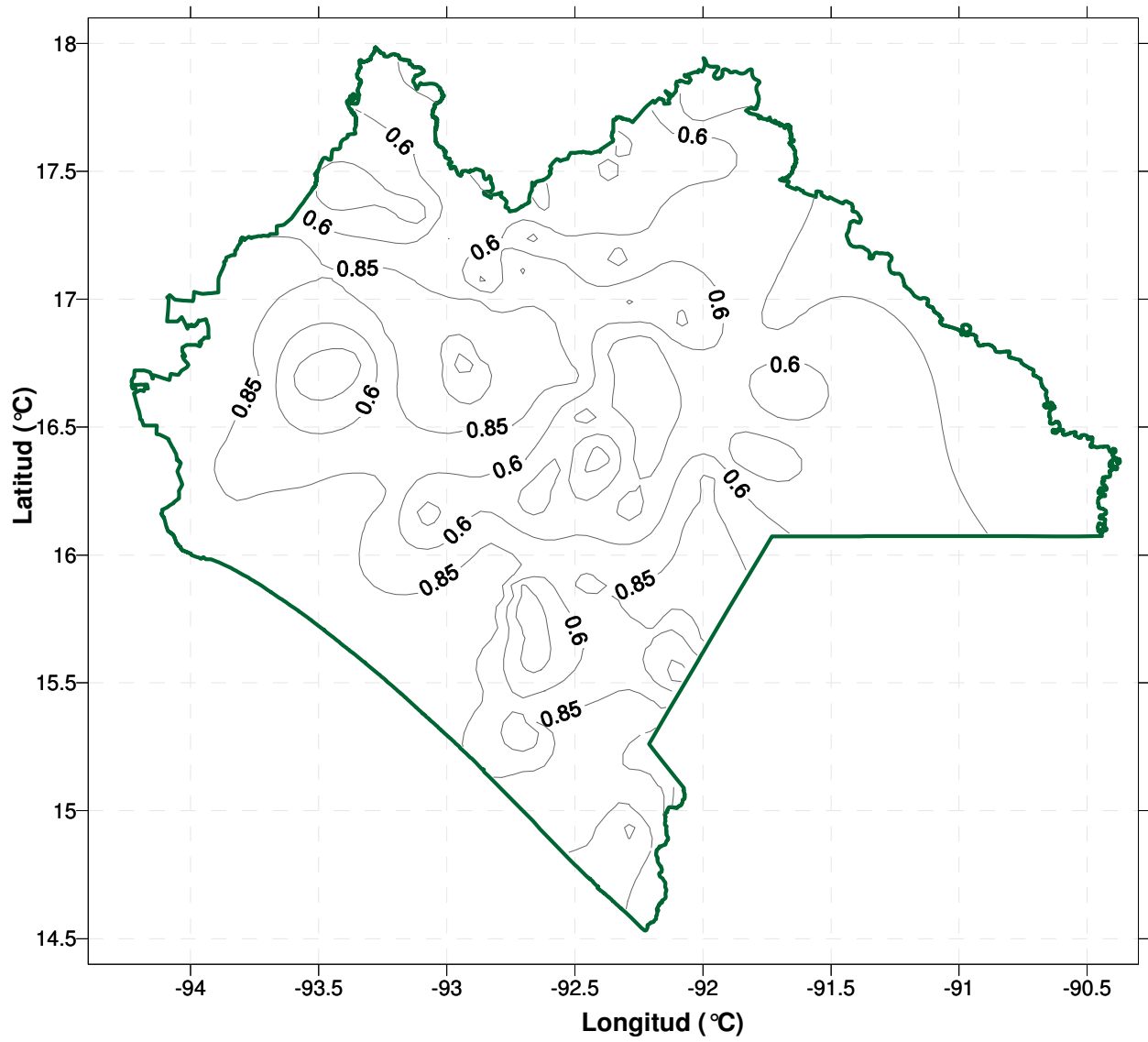
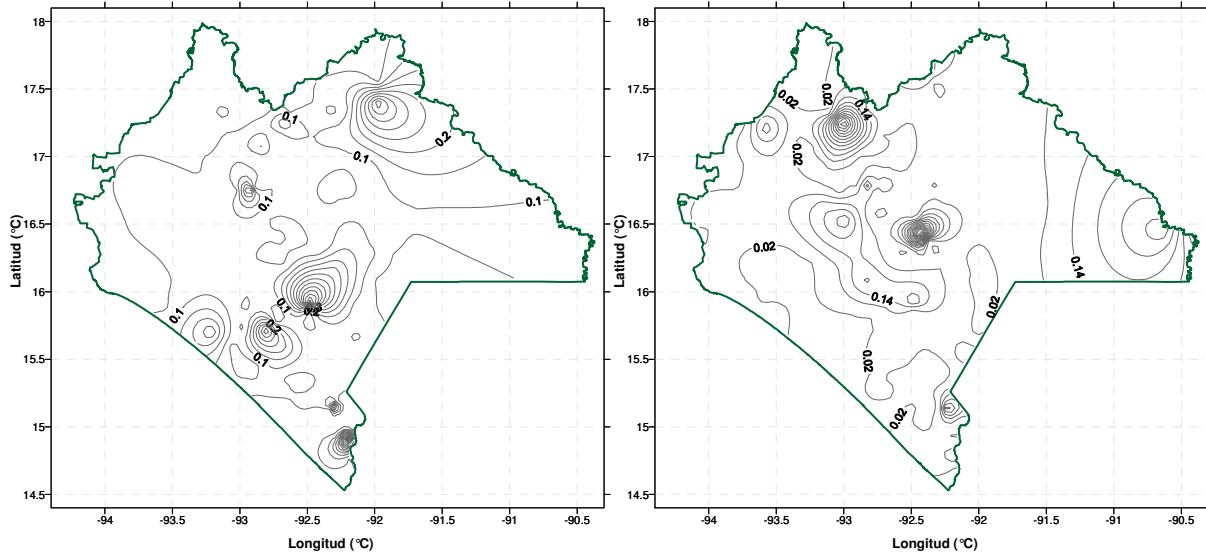
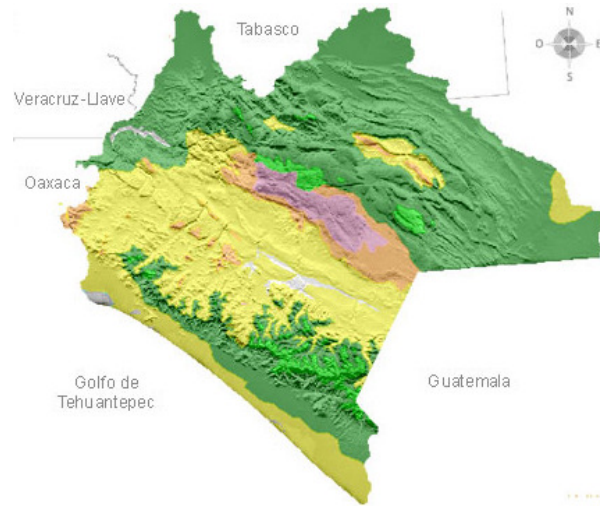


Figura.6.13 Mapa de Isolíneas del parámetro p obtenidas a partir de las estaciones del estado de Chiapas, en color verde se muestra el contorno del estado de Chiapas.



a) Parámetro α_1

b) Parámetro α_2

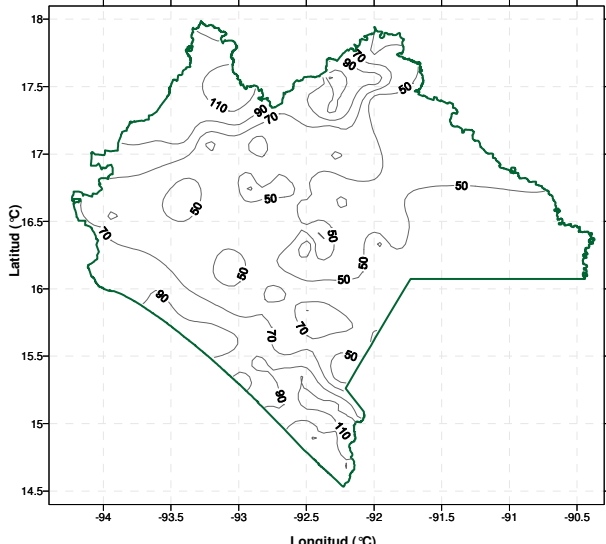


■ Cálido húmedo	54%*
■ Cálido subhúmedo	40%*
■ Templado húmedo	3%*
■ Templado subhúmedo	3%*

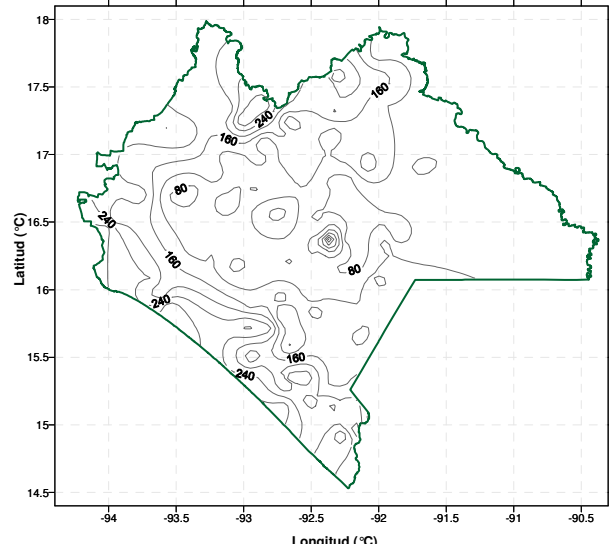
*Referido al total de la superficie estatal.
FUENTE: Elaborado con base en INEGI. Carta de Climas 1:1 000 000.

c) Precipitación

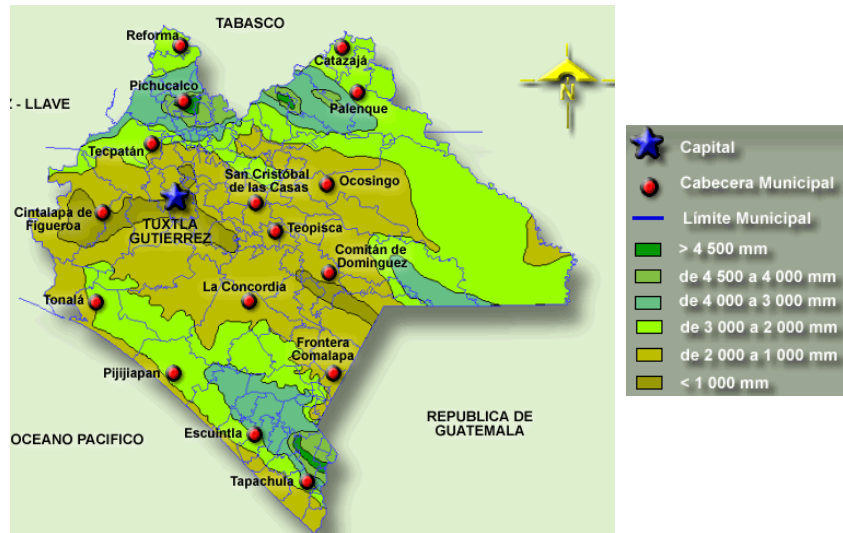
Figura 6.14 Comparación del Parámetro α_1 (a), parámetro α_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Chiapas.



a) Parámetro β_1

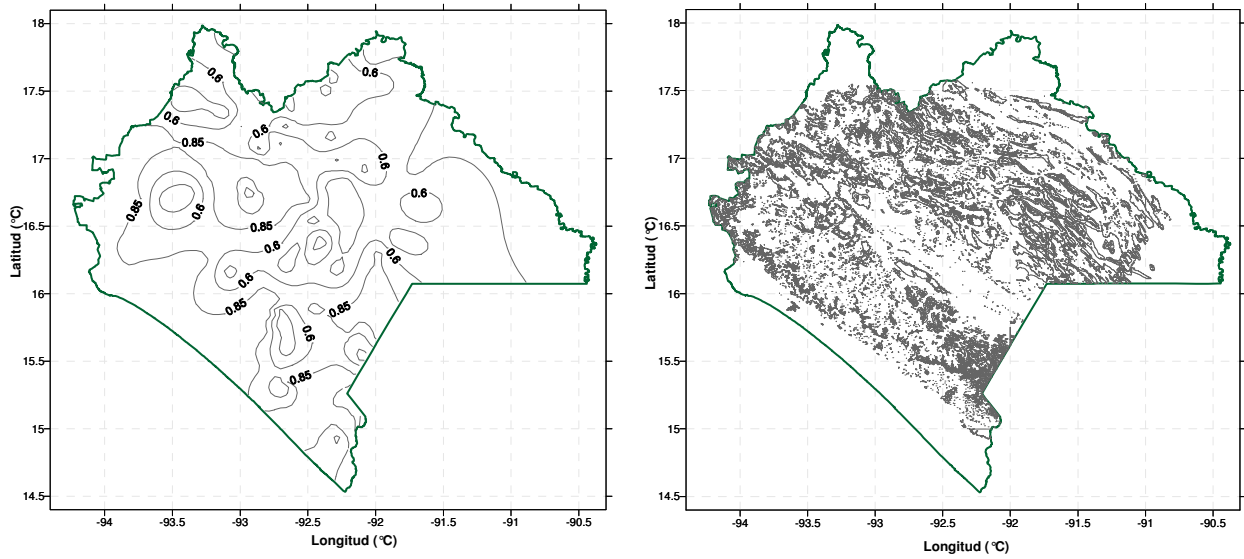


b) Parámetro β_2



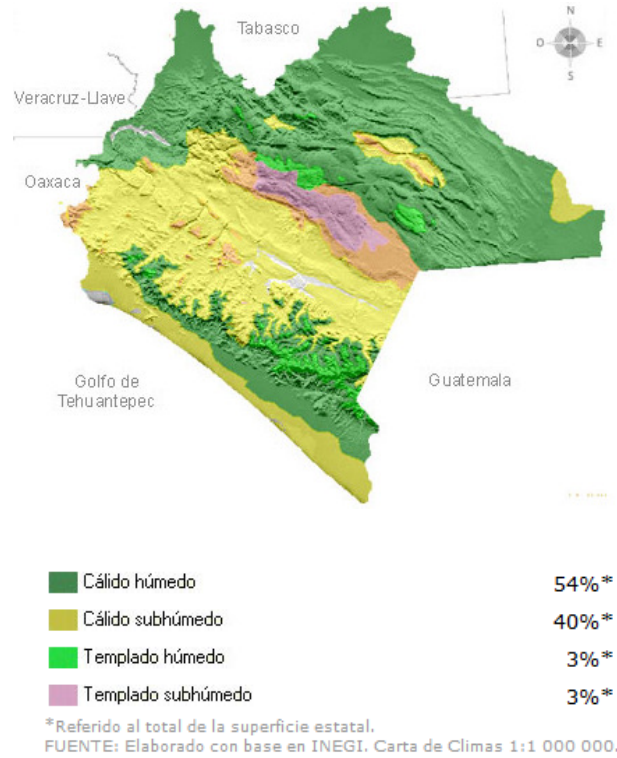
c) Precipitación

Figura 6.15 Comparación del Parámetro β_1 (a), parámetro β_2 (b) y precipitación (c) en el estado de Chiapas.



a) Parámetro p

b) Topografía



c) Tipos de clima

Figura 6.16 Comparación del Parámetro p parámetro topografía (b) y tipos de clima (c) en el estado de Chiapas.

6.4. Resumen de regionalización, Chiapas.

Al realizar la comparación de los parámetros α_1 y α_2 respecto a la precipitación en la **Figura 6.14**, se presentan características parecidas, ya que, en la costa el clima es cálido subhúmedo y el parámetro presenta un valor pequeño. Siguiendo en dirección hacia el centro del estado, el clima cambia a cálido subhúmedo. Por su parte, el parámetro aumenta. Después, en dirección noreste el clima vuelve a cambiar a cálido subhúmedo y los parámetros vuelven a disminuir. Por último, el clima tiene una tendencia a cálido subhúmedo donde los parámetros aumentan al igual que la otra zona con clima similar. Esta influencia tanto en el clima como en los parámetros puede estar muy relacionada con la orografía, ya que los cambios más bruscos se presentan al cruzar las montañas.

Si bien, existe mucha variación en la cantidad de precipitación que se presenta en el estado de Chiapas, se observa que, los parámetros β_1 y β_2 tienen una tendencia parecida a la precipitación ya que el valor es alto en la costa. Por el contrario, en dirección noreste, la cantidad es menor.

Parte importante de este estudio es el comportamiento del parámetro p . Al comparar este con la topografía se observa que el mayor valor se encuentra en la costa, y al ingresar en el centro del estado, su valor disminuye al igual que la topografía. Sin embargo, en el noreste del estado, el comportamiento no es similar, ya que por una parte se vuelve a presentar una cadena montañosa y por su parte p sigue disminuyendo.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Cada año diferentes fenómenos generan pérdidas humanas y económicas. Por esto, es importante comprender y analizar sus características para obtener nuevas metodologías, que representen adecuadamente la tendencia de los datos de fenómenos climatológicos.

Debido a que muchos países son afectados por eventos hidrológicos extremos, en diferentes partes del mundo, se han generado diversos estudios para describir el comportamiento de estos. En México, por ser un país influenciado por este tipo de fenómenos, se han desarrollado estudios principalmente por Carlos Escalante, A José Raynal, Daniel Campo, Alfonso Gutiérrez, Aldo I. Ramírez entre otros. Sin embargo, al cambiar constantemente las condiciones climatológicas, es necesario generar nuevas alternativas para conocer la tendencia de estos.

Si bien, durante años el comportamiento de las series de tiempo se han modelado con distribuciones univariadas, en los últimos años se ha demostrado se representan adecuadamente al combinar diferentes distribuciones. Sin duda, este hecho da pauta para buscar nuevas metodologías que mejoren las estimaciones al realizar la mezcla de funciones. Además, estas consideren características fisiográficas de la zona de estudio.

Existen muchos criterios para determinar la longitud mínima de registro de variables hidrológicas, pero muchos trabajos coinciden en tener un registro mínimo de 20 ó 25 años para representar adecuadamente un fenómeno. Para las condiciones en México, se ha realizado un estudio detallado sobre la influencia del número de datos de gasto en todo el país. Debido a la relación que tiene esta variable con la precipitación, se asume que los registros necesarios serán parecidos o iguales.

Además de obtener las series de tiempo de precipitación, es importante saber si estas provienen o no de diversos fenómenos climatológicos como los huracanes o

lluvias convectivas. Para conocer este hecho, se debe analizar la fecha en que ocurrió la precipitación máxima. Y después, relacionarla con los eventos ciclónicos.

Del total de datos de precipitación máxima de las estaciones de Querétaro, 59 de los registros coinciden con ocurrencia de huracanes. De estos, en 6 de las estaciones (20%) el valor máximo fue generado por este tipo de fenómeno. Por otra parte, en Chiapas, se encontraron 376 datos influenciados por huracanes. En solo 34 estaciones que representan el 23% del total, los eventos ciclónicos generaron el máximo de lluvia en 24 horas. Por lo tanto, se puede decir que los huracanes no necesariamente generan los valores más grandes de las muestras, y que estos pueden ser generados por lluvias convectivas o de temporada.

Al comparar la distribución Gumbel Doble con diferentes distribuciones univariadas en los estados de Querétaro y Chiapas, se observa que el ajuste de los datos es más adecuado con la primera. En este trabajo, se propone otra metodología para realizar el ajuste de las funciones de distribución a partir de una combinación de diferentes distribuciones univariadas.

El análisis de la serie de tiempo a partir de dos poblaciones muestra que en el estado de Querétaro, los valores menores representados por la población 1 se ajustan en 29 de 30 estaciones a la distribución Normal. En la población 2 la distribución Exponencial y Gamma. Por otra parte, en Chiapas, al dividir la serie de tiempo en dos poblaciones a partir de la metodología propuesta, la población 1 es representada por la distribución Normal en 139 de 148 y para la población 2 la distribución Exponencial y Gamma se presentan en la mayoría de estaciones. Por tal motivo, se concluye que la combinación otras distribuciones diferentes a la Gumbel Doble como son la Normal + Exponencial o Normal + Gamma pueden generar menor error al estimar eventos de diseño.

En el estado de Querétaro, las variables hidrológicas como es la precipitación, se puede relacionar con características como la orografía o el clima, ya que al comparar las isolíneas de los parámetros de la distribución Gumbel Doble con estas, se encontró que presentan tendencia similar. Es decir, se presentan tres zonas diferentes, la parte norte con orografía muy cambiante, la parte sur que tiene la mayor altitud sobre el nivel del mar y la parte centro con mayor planicie. Además, que se presenta un clima semiseco.

En Chiapas, al ser un estado influenciado directamente por la incidencia de huracanes, el comportamiento es más complejo. Sin embargo, la tendencia de los parámetros presenta mayor cambio las zonas con montañas. Ya que, además de los parámetros, también el clima es afectado por estas.

Debido a las características físicas y la ocurrencia de eventos ciclónicos en Chiapas, en las estaciones cercanas a la costa, el parámetro de asociación aumenta considerablemente, y al alejarse, su valor disminuye considerablemente.

Regionalizar los parámetros de la distribución Gumbel Doble, sirve para mostrar el comportamiento de estos en el estado y se pueden utilizar los valores para construir una distribución de sitios que no cuentan con registros.

Recomendaciones:

Para realizar un estudio apropiado que represente las características de la zona, se debe contar la información necesaria sobre las variables hidrológicas. Por tal motivo, es importante mejorar y ampliar la red hidrométrica debido a que 35 de las 65 estaciones climatológicas en Querétaro cuentan con poca información.

Desarrollar el análisis con otras funciones de probabilidad diferentes a las utilizadas en este estudio para ampliar las funciones de distribución mezcladas para realizar comparaciones correspondientes entre estas.

Si bien, el análisis se realizó en dos zonas con características muy diferentes, debido a que en Querétaro no se presenta directamente los huracanes por su posición geográfica. Para estudios posteriores, es importante analizar otra zona con otro tipo de características como lo es el norte del país y representar mejor los efectos a lo largo de la republica mexicana.

Es importante desarrollar metodologías para disminuir el error en la zona de división de la muestra, debido a que al realizar el análisis como dos muestras independientes, se presenta traslape entre datos de las poblaciones. Es decir, en algunos casos se tienen dos valores de variable reducida o periodo de retorno para un valor de precipitación.

REFERENCIAS

- Adlouni S. El, Chebana F.; And Bobée B. (2010), Generalized Extreme Value Versus Halphen System: Exploratory Study, J. Hydrologic Engrg. Volume 15, Issue 2, Pp. 79-89.
- Álvarez M., Puertas J., Soto B. And Díaz-Fierros F. (1999), Análisis Regional De Las Precipitaciones Máximas En Galicia Mediante El Método Del Índice De Avenida, Ingeniería Del Agua Vol.6 Num.4, Páginas 283-290.
- Aparicio M, F. (1987), Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa
- Ashkar Fahim, Mahdi Smail (2006), Fitting The Log-Logistic Distribution By Generalized Moments. Journal Of Hydrology 328, 694– 703.
- Bhuyan Abhijit, Borah Munindra, Kumar Rakesh (2010), Regional Flood Frequency Analysis Of North-Bank Of The River Brahmaputra By Using LH-Moments, Water Resour Manage 24:1779–1790.
- Boni G., Parodi A. And Rudari R. (2006), Extreme Rainfall Events: Learning From Raingauge Time Series, Journal Of Hydrology, Volume 327, Issues 3-4, Pages 304-314.
- Burgueno, A., Martinez, M.D., Lana, X., Serra, C. (2005), Statistical Distributions Of The Daily Rainfall Regime In The Catalonla (Northeastern Spain) For The Years 1950–2000. International Journal Of Climatology 25, 1381–1403.
- Campos-Aranda Daniel F. (2008), Ajuste Regional De La Distribución GVE En 34 Estaciones Pluviométricas De La Zona Huasteca De San Luis Potosí, México, Agrociencia 42: 57-70.
- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W.(1994) Hidrología aplicada, Editorial Mc Graw Hill, México.
- Corotis Ross B., Dougherty Anne M. And Xu Wei(2008), Extreme Value Index And Tail Probability Estimates For Mixed Distributions, Probabilistic Engineering Mechanics, Volume 23, Issue 4, Pages 385-392.
- Dalrymple T(1960), Flood Frequency Analyses, Water Supply Paper 1543-A, US Geological Survey, Reston, Va.
- De Michele C., Grimaldi S., Canossi M., Petaccia A., Rosso R. (2005), Bivariate Statistical Approach To Check Adequacy Of Dam Spillway. Journal Of Hydrologic Engineering ASCE 10 (1), 50–57.

- Ellouze Manel And Abida Habib(2008), Regional Flood Frequency Analysis In Tunisia: Identification Of Regional Distributions, *Water Resour Manage* 22:943–957.
- Endreny, T.A., Pashiardis, S. (2007), The Error And Bias Of Supplementing A Short, Arid Climate, Rainfall Record With Regional Vs. Global Frequency Analysis. *Journal Of Hydrology* 334, 174–182.
- Escalante-Sandoval C.A. (2007), Application Of Bivariate Extreme Value Distribution To Flood Frequency Analysis: A Case Study Of Northwestern Mexico, *Nat Hazards* 42:37–46, DOI.
- Escalante-Sandoval C.A. (2009), Mixed Distributions In Low-Flow Frequency Analysis, *RIIT Vol. X. Num 3*, 247-253, ISSN1405-7743 FI-UNAM.
- Escalante-Sandoval Carlos Y Raynal-Villaseñor A José (1998), Multivariate Estimation Of Floods: The Trivariate Gumbel Distribution, *J. Statist. Comput. Simul.*, Vol. 61, Pp. 313-340.
- Esparza Orta José Luis, La influencia de la Longitud del Registro en la Estimación de Gastos de Diseño en México, tesis de maestría, UNAM, México.
- Favre, A.-C., El Adlouni S., Perreault L., Thiémonge N., Bobee, B. (2004), Multivariate Hydrological Frequency Analysis Using Cópulas. *Water Resources Research* 40, W01101.
- Fowler H. J. And Kilsby C.G. (2003a), A Regional Frequency Analysis Of United Kingdom Extreme Rainfall From 1961 To 2000. *Int. J. Climatol.*, 23, 1313–1334.
- Fowler H. J. And Kilsby C.G. (2003b), Implications Of Changes In Seasonal And Annual Extreme Rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1720.
- G.W. Kite (1988), *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*, Water Resources Publications, Colo St. Univ Fort Collins.
- Gaál L., Kysely J., And Szolgay J. (2008), Region-Of-Influence Approach To A Frequency Analysis Of Heavy Precipitation In Slovakia, *Hydrology And Earth System Sciences Discussions.*, 12, 825-839.
- Gaál, L., Kysely J. (2009), Regional Frequency Analysis Of Heavy Precipitation In The Czech Republic By Improved Region-Of-Influence Method. *Hydrology And Earth System Sciences Discussions* 6, 273–317.
- Gellens Daniel(2002), Combining Regional Approach And Data Extension Procedure For Assessing GEV Distribution Of Extreme Precipitation In Belgium, *Journal Of Hydrology* Volume 268, Issues 1-4, Pages 113-126.

- González-Villarreal, F.J., Contribución al Análisis de Frecuencias de Valores Extremos de Gastos Máximos en un Río, Reporte # 277, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., Mex. (1970).
- Greenwood, J., Landwehr, J., Mátalas, N., Wallis, J. (1979), Probability Weighted Moments: Definition And Relation To Parameters Of Several Distributions Expressed In Inverse Form. *Water Resources Research*. 15(6), Pp. 1049-1054.
- Griffis V. W., ASCE M. And Stedinger J. R. (2007), Log-Pearson Type 3 Distribution And Its Application In Flood Frequency Analysis. I: Distribution Characteristics, *J. Hydrologic Engrg.* Volume 12, Issue 5, Pp. 482-491.
- Grimaldi S., And Serinaldi F. (2006), Asymmetric Copula In Multivariate Flood Frequency Analysis, *Advances In Water Resources*, Volume 29, Issue 8, Pages 1155-1167.
- Grimaldi S., Serinaldi F., Napolitano F., Ubertini L. (2005), A 3-Cóputa Function Application For Design Hyetograph Analysis, Vol. 293. IAHS Publication, Pp. 1–9.
- Gutiérrez A., Ramírez A. (2005), Predicción Hidrológica Mediante El Método De La Avenida Índice Para Dos Poblaciones, *Ingeniería Hidráulica En México*, Vol. XX, Num. 2, Pp.37-47.
- Gutiérrez-López A., Lebel, T., y Mejía R., (2005). “Estudio espacio-temporal del régimen pluviométrico en la zona meridional de la república mexicana”. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*, IMTA Vol. XX No.1 pp.57-65.
- H.H. Rosenbrock (1996). An automatic Method of finding the greatest or least value of a function. *Computer Journal*, Vo.3, pp. 52-60.
- Heffernan, J.E., Tawn, J.A. (2004), A Conditional Approach For Multivariate Extreme Values (With Discussion). *J. Roy. Stat. Soc. B* 66, 1–34.
- Heo J.H., Boes, D.C. Y Salas, J.D. (2001a), Regional Flood Frequency Analysis Based On A Weibull Model: Part 1. Estimation And Asymptotic Variances. *Journal Of Hydrology*. Vol. 242, Núm.3-4, Pp. 157-170.
- Heo J.H., Salas, J.D. Y Boes, D.C. (2001b), Regional Flood Frequency Analysis Based On A Weibull Model: Part 2. Simulations And Applications. *Journal Of Hydrology*. Vol. 242, Núm.3-4, Pp. 171-182.
- Herr, H.D., Krzysztofowicz, R. (2005), Generic Probability Distribution Of Rainfall In Space: The Bivariate Model. *Journal Of Hydrology* 306, 237–264.
- Hosking, J.R., Wallis, J.R. (1997), *Regional Frequency Analysis: An Approach Based On L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Hosking, J.R.M. (1990), L-Moments: Analysis And Estimation Of Distributions Using Linear Combinations Of Order Statistics. J. R. Statist. Soc.. Ser. B, 52(1), Pp. 105-124.

[Http://cuentame.inegi.org.mx](http://cuentame.inegi.org.mx) (2011).

Hussain Z, Pasha GR. (2009), Regional Flood Frequency Analysis Of The Seven Sites Of Punjab, Pakistan, Using L-Moments. Water Resour Manag 23:1917–1933.

Interagency Advisory Committee on Water Data (1982) “Guidelines for Determining Flood Flow Frequency”, Bull. 17 B of the Hidrology SubComittee, Office of Water Data Coordination, Geological Survey, U.S. Department of the Interior, Whashington, D.C.

Kao Shih-Chieh, Govindaraju Rao S. (2007), A Bivariate Frequency Analysis Of Extreme Rainfall With Implications For Design, Journal Of Geophysical Research, Vol. 112, D13119, 15 Pp.

Kao Shih-Chieh, Govindaraju Rao S. (2008), Trivariate Statistical Analysis Of Extreme Rainfall Events Via The Plackett Family Of Cópulas, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 44, W02415, 19 PP.

Katz Richard W., Parlange Marc B. And Naveau Philippe(2002), Statistics Of Extremes In Hydrology , Advances In Water Resources 25, Pp. 1287–1304.

Keef Caroline, Svensson Cecilia, Tawn Jonathan A. (2009), Spatial Variations In The Diurnal Patterns Of Winter Precipitation In India, Journal Of Hydrology 378, 240–252.

Keef, C., Tawn, J.A., Svenson, C. (2009), Spatial Risk Assessment For Extreme River Flows. Appl Stat 58 (5).

Kumar R, Chatterjee C. (2005), Regional Flood Frequency Analysis Using L-Moments For North Brahmaputra Region Of India. J Hydrol Eng 4(3):240–244.

Kyselý J., Pícek J., Huth R. (2007), Formation Of Homogeneous Regions For Regional Frequency Analysis Of Extreme Precipitation Events In The Czech Republic, Stud. Geophys. Geod., 51,Pp 327-344.

Lebel, T. y Laborde, J. (1988) A geostatistical approach for areal rainfall statistics assessment. Stochastic Hydrology and Hydraulics. 2, pp. 245-261.

Linsey K.R., Kohler A.M. y Joseph L.H., 1977, Hidrología para ingenieros, Editorial Mc Graw Hill latinoamericana, S.A. Capítulo 11.

- Lopardo A. R., Seoane R., and Paoli C. (2003), Taller sobre el agua, Una visión Científico Tecnológica de los Desastres por Excesos Hídricos, http://www.ancefn.org.ar/actividades/Agua_esp.doc.
- Maidment David R. (1992), Handbook of hydrology./David R Maidment, editor in chief.
- Meshgi A, Khalili D. (2007a), Comprehensive Evaluation Of Regional Flood Frequency Analysis By L- And LH-Moments. I. A Re-Visit To Regional Homogeneity. Stoch Environ Res Risk Assess 23:119–135.
- Meshgi A, Khalili D. (2007b), Comprehensive Evaluation Of Regional Flood Frequency Analysis By L- And LH-Moments. II. Development Of LH-Moments Parameters For The Generalized Pareto And Generalized Logistic Distributions. Stoch Environ Res Risk Assess 23:137–152.
- Norbiato Daniele, Borga Marco, Sangati Marco, Zanon Francesco (2007), Regional Frequency Analysis Of Extreme Precipitation In The Eastern Italian Alps And The August 29, 2003 Flash Flood, Journal Of Hydrology 345, 149– 166.
- Noto LV, Loggia GL. (2008), Use Of L-Moments Approach For Regional Flood Frequency Analysis In Sicily, Italy. Water Resour. Manag 23:2207–2229.
- Ott R. F. (1971), Streamflow Frequency Using Stochastically Generated Hourly Rainfall, Stanford Univ. Dept. Civ. Eng. Tech. Rep.151.
- Poulin Annie, Huard David, Favre Anne-Catherine, And Pugin Stéphane (2007), Importance Of Tail Dependence In Bivariate Frequency Analysis, J. Hydrologic Engrg. Volume 12, Issue 4, Pp. 394-403.
- Saaks, E. H. y Srivastava, R. (1989). Applied Geostatistics, Oxford University Press, New York, 561 p.
- Saf B. (2009), Regional Flood Frequency Analysis Using L-Moments For The West Mediterranean Region Of Turkey. Water Resour Manag 23:531–551.
- Salvadori, G., De Michele C.(2004), Frequency Analysis Via Cópulas: Theoretical Aspects And Applications To Hydrological Events. Water Resources Research 40 (12), W12511.
- Schaefer, M.G. (1990), Regional Analysis Of Precipitation Annual Maximum In Washington State. Water Resources Research 26, 119–131.
- Serinaldi Francesco And Grimaldi Salvatore(2007), Fully Nested 3-Cópula: Procedure And Application On Hydrological Data J. Hydrologic Engrg. Volume 12, Issue 4, Pp. 420-430.

- Sveinsson, O.G.B., Salas, J.D., Duane, C.B. (2002), Regional Frequency Analysis Of Extreme Precipitation In Northeastern Colorado And Fort Collins Flood Of 1997. *Journal Of Hydrologic Engineering* 7 (1), 49–63.
- Touw Anduin E. (2009), Bayesian Estimation Of Mixed Weibull Distributions, *Reliability Engineering & System Safety* Volume 94, Issue 2, Pages 463-473.
- Trefry CM, Watkins DW Jr, Johnson D. (2005), Regional Rainfall Frequency Analysis For The State Of Michigan. *J Hydrol Eng* 10(6):437–449.
- Um Myoung-Jin, Yun Hyeseon, Um Myoung-Jin, Yun Hyeseon(2010), Analysis Of Orographic Precipitation On Jeju-Island Using Regional Frequency Analysis And Regression, *Water Resour. Manage.* 24:1461–1487.
- United States Water Resources Council, 1976, USA. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Pág. 1-25.
- Varas E., Y Lara S. (1998), Métodos Regionales Para Estimar La Probabilidad De Frecuencia De Crecida. *Ingeniería Del Agua*. Vol. 5, Num. 3, Pp.51-57.
- Viessman W. y Lewis G. (2002), *Introduction to Hydrology*, 5a Edition, Prentice Hall.
- Wallis J. R., Schaefer M. G., Barker B. L., And Taylor G. H. (2007), Regional Precipitation-Frequency Analysis And Spatial Mapping For 24-Hour And 2-Hour Durations For Washington State, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(1), 415-442.
- Wang QJ. (1997), LH-Moments For Statistical Analysis Of Extreme Events. *Water Resour Res* 33(12):2841–2848.
- www.ceaqueretaro.gob.mx (2011).
- www.conagua.gob.mx (2011).
- Yang Tao, Shao Quanxi, Hao Zhen-Chun, Chen Xi, Zhanf Zengxin, Xu Chong-Yu, Limun (2010), Regional Frequency Analysis And Spatio-Temporal Pattern Characterization Of Rainfall Extremes In The Pearl River Basin, China, *Journal Of Hydrology* 380, 386-405.
- Yue Sheng (2000), The Gumbel Mixed Model Applied To Storm Frequency Analysis, *Water Resours Management* 14: 377-389.
- Yue Sheng. (1999), Applying Bivariate Normal Distribution To Flood Frequency Analysis, *Water International* 24 (3), 248–254.
- Yue, Sheng (2000a), Joint Probability Distribution Of Annual Maximum Storm Peaks And Amounts As Represented By Daily Rainfalls. *Hydroscience Journal* 45 (2), 315–326.

- Yue, Sheng (2000b), The Gumbel Logistic Model For Representing A Multivariate Storm Event. *Advances In Water Resources* 24 (2), 179–185.
- Yue, Sheng (2000c), The Gumbel Mixed Model Applied To Storm Frequency Analysis. *Water Resources Management* 14 (5), 377–389.
- Zhang L. And Singh V.P. (2006), Bivariate Flood Frequency Analysis Using The Copula Method, *J. Hydrologic Engrg.* Volume 11, Issue 2, Pp. 150-164.
- Zhang L. And Singh V.P. (2007), Gumbel–Hougaard Copula For Trivariate Rainfall Frequency Analysis, *J. Hydrologic Engrg.* Volume 12, Issue 4, Pp. 409-419.
- Zhang L., Singh Vijay P. (2007), Bivariate Rainfall Frequency Distributions Using Archimedean Copulas, *Journal Of Hydrology* (2007) 332, 93– 109.

ANEXOS

ANEXO I Valores de precipitación asociados a huracanes, Querétaro.

No	Estación	P Max. /24 horas(mm)	Fecha de P max./24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
1	Amealco	36.0	25-ago-44	25-ago-44	Sin nombre
		25.2	29-sep-55	29-sep-55	Janet
2	Ayutla	71.5	16-sep-71	13-sep-71	Edith
		78.0	14-sep-84	15-sep-84	Edouard
		117.5	03-sep-88	04-sep-88	Debby
		63.0	13-sep-90	09-sep-90	Diana
		162.5	20-sep-93	21-sep-93	Gert
3	Cadereyta	60.0	26-jun-68	23-jun-68	Candy
		79.0	15-sep-71	14-sep-71	Edith
		46.8	20-sep-93	20-sep-93	Gert
4	El Batán	60.3	08-ago-95	11-ago-95	Gabrielle
5	El Doctor	75.0	28-sep-55	30-sep-55	Janet
		64.0	10-jun-59	15-jun-59	Beulah
		38.0	23-jun-68	23-jun-68	Candy
		45.0	16-sep-71	13-sep-71	Edith
		49.5	02-sep-88	04-sep-88	Debby
		148.5	07-ago-90	08-ago-90	Diana
128.0	20-sep-93	21-sep-93	Gert		
6	El Pueblito	84.0	14-sep-71	13-sep-71	Edith
7	Jalpan (DGE)	108.0	16-ago-47	16-ago-47	Sin nombre
		62.0	22-ago-51	22-ago-51	Charlie
		187.0	29-sep-55	29-sep-55	Janet
		46.5	07-sep-56	12-sep-56	Dora
		94.0	03-sep-88	03-sep-88	Debby
		158.0	25-sep-93	20-sep-93	Gert
69.8	23-ago-96	23-ago-96	Dolly		
8	La Palma	66.7	14-oct-66	12-oct-66	Inez
		49.3	17-sep-71	14-sep-71	Edith
		40.6	12-ago-90	08-ago-90	Diana
9	Pedro Escobedo	43.0	27-jun-68	23-jun-68	Candy
10	Peñamiller (SMN)	38.7	10-ago-78	10-ago-78	Bess
		57.5	07-ago-90	07-ago-90	Diana
		47.5	20-sep-93	20-sep-93	Gert
13	Villa Corregidora	71.0	21-ago-44	25-ago-44	Sin nombre
		31.2	12-sep-56	12-sep-56	Dora
14	La Lagunita	53.3	02-sep-77	02-sep-77	Anita
		65.0	09-ago-90	09-ago-90	Diana
		80.8	19-sep-93	21-sep-93	Gert
15	San Juan del Río	56.0	13-ago-95	11-ago-95	Gabrielle
16	Tres Lagunas	126.0	03-sep-88	03-sep-88	Debby
		212.0	20-sep-93	20-sep-93	Gert
		52.0	05-oct-00	05-oct-00	Keith
17	Presa Centenario	47.0	20-sep-55	20-sep-55	Hilda
		31.0	20-sep-93	20-sep-93	Gert
		48.0	13-ago-95	13-ago-95	Gabrielle
19	Huimilpan	66.2	13-jul-79	09-jul-79	Bob
21	San Pablo	62.0	03-sep-77	03-sep-77	Anita
		61.0	14-ago-95	14-ago-95	Gabrielle
22	Villa Bernal	54.3	11-ago-78	11-ago-78	Bess
23	Vizarrón	136.0	07-ago-90	07-ago-90	Diana
		112.5	20-sep-93	20-sep-93	Gert
24	Arroyo Seco	47.0	02-sep-77	03-sep-77	Anita
		91.0	03-sep-88	04-sep-88	Debby
		30.0	05-sep-90	09-sep-90	Diana
25	La Llave	32.0	20-sep-93	20-sep-93	Gert
28	Presa el Capulín	41.4	21-sep-93	21-sep-93	Gert
		71.8	13-ago-95	13-ago-95	Gabrielle
30	Higuerillas	79.5	08-ago-90	08-ago-90	Diana
		60.9	20-sep-93	21-sep-93	Gert

ANEXO 2. Parámetros de la función Doble Gumbel optimizada, Querétaro.

No	Estación	α_1	β_1	α_2	β_2	P
1	Amealco	0.1282	23.94	0.7261	55.52	0.61
2	Ayutla	0.0461	52.45	0.0704	115.38	0.72
3	Campo Cadereyta	0.0732	14.18	0.0916	49.45	0.20
4	El Batán	0.1163	30.58	0.1061	55.69	0.38
5	El Doctor	0.0929	46.07	0.0326	109.02	0.91
6	El Pueblito	0.0903	20.91	0.0961	49.74	0.21
7	Jalpan (SMN)	0.0693	52.45	0.0551	167.87	0.93
8	La Palma	0.1000	42.20	0.0590	85.29	0.92
9	Pedro Escobedo	0.0760	42.13	0.2173	87.25	0.90
10	Peñamiller (SMN)	0.0943	30.49	0.1884	58.45	0.86
11	San Juan del Río(SMN)	0.1069	40.87	0.0069	85.43	0.89
12	Tolimán	0.3070	20.57	0.0994	35.65	0.20
13	Villa Corregidora	0.0698	3.94	0.2303	76.62	0.83
14	La Lagunita	0.0677	36.48	0.1128	91.96	0.85
15	San Juan del Río	0.1026	23.33	0.0790	43.19	0.20
16	Tres Lagunas	0.0440	41.05	0.0151	138.65	0.88
17	Presa Centenario	0.1726	31.80	0.0872	49.74	0.20
18	Colón	0.1656	26.93	0.0919	45.87	0.22
19	Huimilpan	0.0965	42.31	0.1849	71.18	0.77
20	Presa Paso de Tablas	0.1294	29.03	0.0970	53.82	0.32
21	San Pablo	0.0669	48.04	0.2443	100.55	0.89
22	Villa Bernal	0.1305	18.58	0.0752	45.67	0.24
23	Vizarrón	0.0778	35.06	0.0278	100.66	0.89
24	Arroyo Seco	0.0845	21.47	0.0634	63.74	0.37
25	La Llave	0.0900	32.48	0.0846	72.00	0.83
26	Juriquilla	0.0745	15.13	0.1180	45.89	0.21
27	Nogales	0.1479	19.46	0.1010	41.90	0.20
28	Presa el Capulín	0.1014	50.83	0.0187	88.12	0.85
29	El Zamorano	0.0812	30.93	0.0532	92.91	0.86
30	Higuerillas	0.0732	14.18	0.0916	49.45	0.71

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas.

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
1	Abasolo Chiapas,Ocosingo	86	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
2	Abelardo Rodriguez,Comit	73	26-ago	21-ago-73	Brenda
3	Acala, Acala	80 120	10-sep 02-nov	08-Sep-70 1 y 2-nov-98	Orlene Mitch
6	Amatenango Del Valle	71.5 50.2 73 93 106 119	12-jun 26-sep 18-jun 29-sep 02-nov 05-oct	11 y 12-jun-65 22 y 23-sep-71 21-jun-88 27, 28 y 29-sep-97 1 y 2-nov-98 04-oct-05	Sin nombre Olivia Bud Olaf Mitch Stan
7	Angel Albino Corzo	71 80.9	28-ago 19-sep	31-ago-73 23 y 24-ago-80	Eather Hermine
8	Aquespala, Comalapa	124 46.1 63.5	21-sep 29-sep 23-ago	20 y 21-sep-82 27, 28 y 29-sep-97 21 y 22-ago-01	Paul Olaf Chantal
9	Arco De Piedra, V.C.	69.5 90.5	24-sep 20-oct	28-sep-49 a 01-oct-49 19-oct-68	Sin nombre Simone
11	Finca Argovia, Tapachula	109 126	01-nov 07-jun	1, 2 y 3-nov-61 11 y 12-jun-65	Simone Sin nombre
12	Belizario Dominguez,Moto	106 90	31-ago 22-sep	31-ago-73 20 y 21-sep-82	Eather Paul
13	Bochil, Bochil	80.5	20-sep	22-sep-44	Sin nombre
14	Bonbana, Bochil	54.5	15-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
15	Cacahoatan, Cacahoatan	200 190 200 260	20-sep 01-nov 20-sep 05-oct	20 y 21-sep-74 1, 2 y 3-nov-61 20 y 21-sep-74 04-oct-05	Fifi Simone Fifi Stan
17	Catarinitas,La Concordia	109 75 110	24-oct 07-oct 06-oct	27-oct-69 4,5,6 y 7-oct-03 04-oct-05	Laurie Larry Stan
18	Playas Catazaja,Catazaja	196	21-ago	21-ago-73	Brenda
19	Cintalapa,Cintalapa Smn	79 95 77 88 86 68.2	20-oct 18-ago 17-sep 21-sep 17-jun 15-jul	22-oct-22 16 y 17-ago-31 23-ago-39 22-sep-44 18-jun-54 16-jul-60	Sin nombre Sin nombre Sin nombre Sin nombre Sin nombre Abby
20	Comalapa, Bellavista	124 118	23-nov 18-sep	21-nov-71 23 y 24-ago-80	Laura Hermine
22	Copainala, Copainala	80 47 42 68.5	30-sep 04-oct 21-jun 26-oct	29 y 30-sep-41 4 y 5-oct-45 18-jun-54 27-oct-69	Sin nombre Sin nombre Sin nombre Laurie
23	Chamula, Chamula	92.5 106 65.4	20-ago 19-sep 23-ago	21-ago-73 20 y 21-sep-74 21 y 22-ago-01	Brenda Fifi Chantal
24	Chanal, Chenalho	50 62	21-ago 20-sep	21-ago-73 20 y 21-sep-74	Brenda Fifi
25	Chapultenango	213	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
26	Chenalho, Chenalho	82	01-sep	01-sep-45	Sin nombre
27	Chiapilla,Chiapilla(Smn)	48 101 80	03-nov 24-ago 05-oct	1, 2 y 3-nov-61 21-ago-73 04-oct-05	Simone Brenda Stan
28	Chicoasen, Chicoasen	53.4 49 116 70.9 66.3 116	10-jun 11-sep 20-ago 20-sep 17-jun 22-oct	11 y 12-jun-65 08-sep-70 21-ago-73 20 y 21-sep-82 21-jun-88 16 y 17-oct-98	Sin nombre Orlene Brenda Paul Bud Lester
29	Chilil, Huixtan	64.5 75.5	jun-17 09-nov	21-jun-88 10-nov-97	Bud Rick

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas(continuación).

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
30	Custepeques,La Concordia	92	12-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
		120	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		206	23-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		103	09-nov	10-nov-97	Rick
		514	06-oct	04-oct-05	Stan
31	Despoblado,Villa De Com.	130	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		152	19-sep	19-sep-78	Greta
32	El Boqueron, Suchiapa	91.5	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
33	El Burrero, Ixtapa	71	22-oct	19-oct-68	Simone
		118	20-ago	21-ago-73	Brenda
		93	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		75	04-nov	1 y 2-nov-98	Mitch
34	El Cedro, Ocosingo	108	11-sep	08-sep-70	Orlene
		125	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
35	El Dorado, Suchiate	111	12-oct	12,13 y 14-oct-54	Sin nombre
		144	19-sep	19-sep-78	Greta
		328	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		107	10-nov	10-nov-97	Rick
		198	05-oct	04-oct-05	Stan
37	El Progreso,Ocozocoautla	125	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		100	20-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		81	22-oct	24 y 25-oct-88	Miriam
38	Escuintla, Escuintla	135	28-ago	31-ago-73	Eather
		146	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		181	19-sep	19-sep-78	Greta
		138	30-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
		331	05-oct	04-oct-05	Stan
39	Finca A.Prusia,A.A.Corzo	88.2	02-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		300	05-oct	04-oct-05	Stan
40	Finca Chayabe,Margaritas	126	24-ago	21-ago-73	Brenda
		104	19-sep	19-sep-78	Greta
41	Finca Chiripa, Tapachula	117	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		117	31-ago	31-ago-73	Eather
		210	20-sep	20 y 21/09/1974	Fifi
42	Finca Chicharras, Tapachu	145	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		134	04-sep	31-ago-73	Eather
		246	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		87.3	02-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		242	04-oct	04-oct-05	Stan
43	El Peru, Tapachula	89	11-jul	12-jul-54	Sin nombre
		131	22-ago	21-ago-73	Brenda
		204	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
44	Finca Hamburgo, Tapachula	114	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		139	03-jul	03-jul-96	Cristina
		338	04-oct	04-oct-05	Stan
45	F.La Soledad,Las Margari	89	19-sep	21-ago-73	Fifi
		59.5	10-jun	09-jun-97	Blanca
46	Finca Liquidambar.A.A.C.	84	11-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
		81	20-ago	21-ago-73	Brenda
47	Amatenango Frontera A.F.	21	08-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
		40.1	30-ago	31-ago-73	Eather
		180	02-oct	03-oct-00	Keith
		77.4	05-oct	04-oct-05	Stan
48	Frontera Hidalgo F.H.	148	31-ago	31-ago-73	Eather
		134	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		128	19-sep	19-sep-78	Greta
		93	02-oct	03-oct-00	Keith
		215	04-oct	04-oct-05	Stan
49	Grijalva, Chicoasen	58.5	11-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
		86	07-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas(continuación).

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
50	Gpe. Grijalva, Comoloapan	137	24-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		114	03-jul	03-jul-96	Cristina
51	Guaquitepec, Chilon	100	22-ago	21-ago-73	Brenda
52	Hacienda San Cristobal	114	13-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
53	Horcones, Tonalá	156	31-ago	31-ago-73	Eather
		152	22-sep	20,21 y 22-sep-78	Olivia
		88	23-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		380	04-oct	04-oct-05	Stan
54	Huehuetan, Huehuetan	311	03-oct	04-oct-05	Stan
55	Huistan, Huistan	58.5	01-jun	4 y 5-jun-97	Andrés
		56.5	15-oct	16 y 17-oct-98	Lester
56	Huixtla, Huixtla	136	20-ago	21-ago-73	Brenda
		200	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		157	19-sep	19-sep-78	Greta
57	Ignacio Lopez R. Suchiate	142	30-ago	31-ago-73	Eather
		118	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		101	20-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		64	02-oct	04-oct-05	Stan
58	I.M.P.A. Tuxtla Chico	156	02-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		110	12-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
59	Ixtapa, Ixtapa (Smn)	35	20-ago	21-ago-73	Brenda
60	Jesus Chiapas, Pijijiapan	214	23-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
61	Km. 336, Palenque	86.4	10-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
63	La Catarata, Las Margarit	78.5	22-ago	21-ago-73	Brenda
		106	24-sep	20 y 21-sep-82	Paul
64	La Escalera, Chiapa De C.	55	30-ago	31-ago-73	Eather
		107	18-jun	21-jun-88	Bud
		77.2	01-nov	1 y 2-nov-98	Mitch
		57.6	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		65.8	05-oct	04-oct-05	Stan
65	La Mesilla, Socoltenango	65.2	07-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
66	La Providencia, Cintalapa	56	26-oct	27-oct-69	Laurie
		125	10-nov	10-nov-97	Rick
67	La Trinitaria, Zapaluta	70	25-ago	21-ago-73	Brenda
68	Las Flores, Jiquipilas	87	14-jul	12-jul-54	Sin nombre
		80	30-ago	29 y 30-ago-60	Estelle
		61.8	06-sep	08-sep-70	Orlene
		94.5	23-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		59.7	09-nov	10-nov-97	Rick
		97.2	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
124	04-oct	04-oct-05	Stan		
69	Las Margaritas, Las Marga	53.5	25-sep	20 y 21-sep-82	Paul
70	Las Nubes, Salto De Agua	229	21-ago	21-ago-73	Brenda
71	Las Peñitas, Ostuacan	150	22-oct	19-oct-68	Simone
		124	20-ago	21-ago-73	Brenda
		159	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
72	Livingston, Altamirano	70.8	19-sep	19-sep-78	Greta
73	Malpaso, Tecpatan	140	21-oct	19-oct-68	Simone
		123	04-oct	04-oct-05	Stan
74	Mapastepec, Mapastepec	161	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		129	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		166	19-sep	19-sep-78	Greta
		324	05-oct	04-oct-05	Stan
75	Yaquintela, Ocosingo	108	22-ago	21-ago-73	Brenda
		100	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		50.9	18-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		40.5	29-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
76	Margaritas, Pijijiapan	130	09-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
		145	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		200	19-sep	19-sep-78	Greta
		155	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		109	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		148	30-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas(continuación).

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
77	Medio Monte,Tuxtla Chico	151	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		168	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		130	19-sep	19-sep-78	Greta
		214	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		340	04-oct	04-oct-05	Stan
78	Motozintla, Motozintla	79	22-sep	22-sep-44	Sin nombre
		46	30-sep	28-sep-49 a 01-oct-49	Si nombre
		57.2	19-jun	18-jun-54	Sin nombre
		36	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		36	01-nov	20 y 21-sep-74	Fifi
		155	10-nov	10-nov-97	Rick
320	05-oct	04-oct-05	Stan		
79	Nueva Esperanza,Ocosingo	95	13-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
		92.9	26-oct	27-oct-69	Laurie
80	Ocosingo, Ocosingo (Smn)	97	20-ago	21-ago-73	Brenda
		58	17-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
81	Ocozocuaulla	98	20-ago	21-ago-73	Brenda
		97	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		60.7	09-jun	09-jun-97	Blanca
		120	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		120	05-oct	03-oct-00	Keith
64.4	04-oct	04-oct-05	Stan		
82	Oxchuc, Oxchuc	78	22-sep	22 y 23-sep-71	Olivia
		56.8	23-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
83	Palenque, Palenque	155	10-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
68	27-ago	31-ago-73	Eather		
84	Pichucalco, Pichucalco	144	21-oct	19-oct-68	Simone
85	Pijijiapan, Pijijiapan	124	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		102	24-ago	21-ago-73	Brenda
		239	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		188	19-sep	19-sep-78	Greta
		155	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		86	07-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
458	05-oct	04-oct-05	Stan		
86	Presa Netzahualcoyotl.Te	85	17-sep	20 y 21-sep-82	Paul
87	Puente Colgante	94	20-ago	21-ago-73	Brenda
		61.7	23-jun	21-jun-88	Bud
		560	25-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
88	Puente Concordia,Comalapa	101	21-sep	20 y 21-sep-82	Paul
89	Pto.Madero, Tapachula Smn	280	22-sep	22-sep-44	Sin nombre
		56	26-sep	28-sep-49 a 01-oct-49	Sin nombre
		155	11-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
		180	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
100	18-sep	19-sep-78	Greta		
90	Reforma, Reforma	114	20-ago	21-ago-73	Brenda
91	Rio Blanco, V. Carranza	51.5	11-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
92	Sabanas, Salto De Agua	85	15-jul	16-sep-60	Abby
		218	21-ago	21-ago-73	Brenda
		179	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
93	Salto De Agua (Dge)	111	10-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
		203	21-ago	21-ago-73	Brenda
94	San Fco., La Concordia	140	30-ago	31-ago-73	Eather
		84.6	20-jun	21-jun-88	Bud
		121	03-oct	04-oct-05	Stan
95	San Jeronimo, Union J.	330	04-oct	04-oct-05	Stan
96	San Joaquin, Pichucalco	213	18-sep	20 y 21-sep-82	Paul
97	Santa María, Cintalapa	84.6	22-oct	19-oct-68	Simone
		92.7	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
98	Santo Domingo,U.Juarez	170	22-sep	22-sep-44	Sin nombre
		130	17-jun	13 y 14-jun-58	Sin nombre
		165	24-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		132	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		176	24-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
		130	07-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas(continuación).

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
99	Simojovel De A. S. De A.	80	20-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		80	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
100	Soyaló, Soyaló	77	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		147	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		110	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
101	Suchiate, Suchiate	104	19-sep	19-sep-78	Greta
		84	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		309	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		214	03-oct	04-oct-05	Stan
102	Talisman, Tuxtla Chico	162	04-oct	4 y 5-oct-45	Sin nombre
		173	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		140	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
103	Tapilula, Tapilula	127	21-oct	19-oct-68	Simone
		201	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		62.3	21-oct	16 y 17-oct-98	Lester
104	Tonala, Tonala (Dge)	151	31-ago	31-ago-73	Eather
		143	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		258	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		165	09-nov	10-nov-97	Rick
		270	05-oct	04-oct-05	Stan
105	Tumbala, Tumbala	110	11-jun	11 y 12-jun-65	Sin nombre
		252	21-ago	21-ago-73	Brenda
		212	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
106	Union Juarez, U. Juarez	133	30-ago	31-ago-73	Eather
		174	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		160	19-sep	19-sep-78	Greta
		125	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		350	04-oct	04-oct-05	Stan
107	Villa Flores (Smn)	135	22-sep	22-sep-44	Sin nombre
		60	02-sep	01-sep-45	Sin nombre
		44	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		116	05-oct	04-oct-05	Stan
108	Yajalon, Yajalon	84.5	20-oct	19-oct-68	Simone
		112	24-oct	24 y 25-oct-88	Miriam
109	Yamonho, Tecpatan	91.5	20-oct	19-oct-68	Simone
		180	23-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		55.5	28-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
110	Jaltenango,A.A.Corzo(Cfe)	71	28-ago	31-ago-73	Eather
		80.9	19-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		92	16-oct	16 y 17-oct-98	Lester
		122	09-oct	09-oct-01	Iris
		92	03-oct	04-oct-05	Stan
111	Escuintla, Mapaxtepec	164	30-sep	28-sep-49 a 01-oct-49	Sin nombre
		142	01-nov	1, 2 y 3-nov-61	Simone
		129	27-ago	31-ago-73	Eather
		140	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
112	Finca El Escalon, Amatan	90.5	24-sep	28-sep-49 a 01-oct-49	Sin nombre
		148	15-jul	16-jul-60	Abby
		156	20-oct	19-oct-68	Simone
113	Ixtapa, Ixtapa (Cfe)	80.5	03-jul	03-jul-96	Cristina
		45.2	09-jun	09-jun-97	Blanca
114	La Trinitaria,La Trinita	60.3	07-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
115	Malpaso, Tapachula	124	06-sep	08-sep-70	Orlene
		104	24-sep	22 y 23-sep-71	Olivia
		110	30-ago	31-ago-73	Eather
		208	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		141	19-sep	19-sep-78	Greta
		149	21-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
		273	04-oct	04-oct-05	Stan
116	Sabanilla, Sabanilla	164	21-ago	21-ago-73	Brenda
		133	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
118	Simojovel De A. (Smn)	103	21-oct	19-oct-68	Simone

ANEXO 3 Valores de precipitación asociados a huracanes, Chiapas(continuación).

No	Estación	P max/24 horas(mm)	Fecha de Pmax/24 horas	Fecha de huracán	Nombre de huracán
119	Tapachula, Tapachula	104	30-ago	31-ago-73	Eather
		101	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		194	19-sep	19-sep-78	Greta
		146	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		113	11-nov	10-nov-97	Rick
		156	05-oct	04-oct-05	Stan
120	Tonala, Tonala (Smn)	138	13-oct	13-oct-23	Sin nombre
		185	31-ago	31-ago-73	Eather
		148	20-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
		271	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
121	Tuxtla Gutierrez (Dge)	87.7	20-ago	21-ago-73	Brenda
		66.3	17-jun	21-jun-88	Bud
		48.7	08-jun	09-jun-97	Blanca
		85.3	06-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
122	Venustino Carranza (Smn)	100	18-jul	16-jul-60	Abby
		164	03-oct	04-oct-05	Stan
123	Villa Flores (Dge)	56.4	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
124	Larrainzar, Larrainzar	117	19-sep	20 y 21-sep-74	Fifi
125	El Novillero, Mapastepec	334	05-oct	04-oct-05	Stan
126	Tres Picos, Tonala	140	22-sep	20,21 y 22-sep-78	Olivia
		281	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		82	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		332	05-oct	04-oct-05	Stan
127	Revolucion Mexicana	139	05-oct	04-oct-05	Stan
128	San Fernando, S.Fernando	65	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		131	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		90	03-oct	04-oct-05	Stan
129	Salvacion, V.Comaltitlan	200	05-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		380	03-oct	04-oct-05	Stan
130	Mazatan, Mazatan	74.2	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		210	06-jun	4 y 5-jun-97	Andrés
		95	01-oct	04-oct-05	Stan
		253	04-oct	04-oct-05	Stan
131	Ursulo Galvan, V. Flores	74	24-sep	23 y 24-ago-80	Hermine
		64.5	09-nov	10-nov-97	Rick
		381	02-oct	04-oct-05	Stan
132	Cascajal, V. Carranza	62	06-jul	03-jul-96	Cristina
		170	30-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
133	Soyatitan, V. Carranza	86.5	23-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
134	Villa Las Rosas	89.5	22-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		80	05-oct	04-oct-05	Stan
135	Buenos Aires, Motozintla	181	04-oct	04-oct-05	Stan
136	Queretaro, A. A. Corzo	100	04-oct	04-oct-05	Stan
137	Plan De Iguala,Huehuetan	86.3	19-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		200	20-jun	21-jun-88	Bud
		80	01-nov	1 y 2-nov-98	Mitch
		214	02-oct	04-oct-05	Stan
138	El Porvenir, El Porvenir	136	24-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		38.5	02-nov	1 y 2-nov-98	Mitch
		22	04-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		375	03-oct	04-oct-05	Stan
139	Benito Juarez,La Concord	120	05-oct	04-oct-05	Stan
140	Cuahutemoc, Ixtapa	79.5	09-jun	09-jun-97	Blanca
141	Ejido Ibarra, Mapastepec	80.2	04-ago	03-oct-00	Keith
142	Independencia, Escuintla	154	02-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		477	05-oct	04-oct-05	Stan
143	Monterrey, Angel A.Corzo	240	05-oct	04-oct-05	Stan
144	Union Zaragoza, Jitotol	59	30-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
145	Flores Magon, V.Carranza	65	17-oct	16 y 17-oct-98	Lester
		65.6	26-ago	21 y 22-ago-01	Chantal
146	Luis Espinoza, Tecpatan	157	01-nov	1 y 2-nov-98	Mitch
147	Paso Hondo, F. Comalapa	83	22-sep	20 y 21-sep-82	Paul
		441	03-oct	04-oct-05	Stan
148	Rosendo Salazar,Cintalap	120	28-sep	27, 28 y 29-sep-97	Olaf
		58.6	08-oct	4,5,6 y 7-oct-03	Larry
		334	04-oct	04-oct-05	Stan

ANEXO 4 Parámetros de la función Doble Gumbel optimizada, Chiapas.

No	Estación	α_1	β_1	α_2	β_2	P
1	Abasolo Chiapas CFE	0.1414	50.87	0.0613	71.68	0.20
2	Abelardo L. Rodríguez	0.1380	32.73	0.0830	55.79	0.20
3	Acala	0.0530	67.47	0.0258	169.18	0.92
4	Almandro CFE	0.2114	53.10	0.0446	77.70	0.20
5	Altamirano SMN	0.1402	53.89	0.0670	81.07	0.32
6	Amatenango Del Valle	0.0616	40.22	0.0595	70.38	0.20
7	Ángel Albino Corzo	0.0695	84.96	0.1383	192.55	0.92
8	Aquespala	0.0485	56.83	0.0205	134.95	0.94
9	Arco De Piedra	0.0481	42.82	0.0741	74.75	0.20
10	Argelia	0.0843	59.75	0.0410	118.07	0.88
11	Finca Argovia	0.4460	121.20	0.0060	196.08	0.94
12	Belisario Domínguez I	0.0561	75.09	0.0070	151.33	0.92
13	Bochil	0.0659	51.99	0.0082	144.27	0.94
14	Bombana CFE	0.1013	58.35	0.0521	99.89	0.92
15	Cacahoatán	0.0330	134.17	0.0445	240.01	0.94
16	Vertedor 1,2,3	0.0482	101.54	0.0150	231.86	0.88
17	Catarinitas	0.7363	60.85	0.2626	111.11	0.90
18	Playas de Catazaja	0.0350	47.58	0.0365	100.94	0.20
19	Cintalapa SMN	0.0653	59.04	0.0223	222.17	0.90
20	Comalapa CFE	0.0610	75.34	0.0395	150.91	0.88
21	Cauhtémoc CFE	0.0658	77.99	0.0277	158.86	0.88
22	Copainala	0.0397	42.33	0.0159	132.73	0.92
23	San Juan Chamula	0.0750	45.22	0.1426	89.22	0.90
24	Chanal	0.0883	24.83	0.0705	53.68	0.20
25	Chapultenango	0.0558	111.03	0.0216	171.69	0.20
26	San Pedro Chenalho SMN	0.0658	58.43	0.0113	167.63	0.88
27	Villa de Chiapilla DGE	0.0521	59.71	0.0066	174.10	0.94
28	Chicoasén CFE	0.0844	58.99	0.1098	104.06	0.88
29	Chilil	0.0745	51.39	0.0239	108.83	0.92
30	Finca Cuxtepeques	0.0352	79.40	0.0046	298.32	0.94
31	Despoblado	0.0601	111.37	0.0122	191.79	0.92
32	El Boquerón	0.0671	59.20	0.1740	138.85	0.94
33	El Burrero	0.0740	60.68	0.2442	103.76	0.90
34	El Cedro	0.0950	57.83	0.0491	95.30	0.20
35	El Dorado	0.0380	91.64	0.0105	223.74	0.94
36	Finca El Triunfo	0.0332	114.25	0.0170	289.29	0.92
37	El Progreso	0.0482	68.57	0.0109	170.97	0.94
38	Escuintla DGE	0.0287	107.94	0.0067	299.44	0.92
39	Finca A. Prusia	0.4823	83.26	0.0131	260.59	0.92
40	Finca Chayabe	0.0369	59.09	0.0548	94.06	0.20
41	Finca Chiripa	0.0509	100.12	0.0953	201.25	0.78
42	Finca Chicharras	0.0396	107.32	0.4198	241.29	0.90
43	El Perú	0.0623	108.68	0.1014	187.53	0.86
44	Finca Hamburgo	0.0381	115.09	0.0149	264.23	0.88
45	F. La Soledad	0.0739	25.41	0.0610	52.69	0.20
46	Finca Liquidambar	0.0229	49.37	0.0500	91.35	0.20
47	Frontera Amatenango	0.0699	33.28	0.0305	152.13	0.84
48	Frontera Hidalgo	0.0418	95.71	0.1411	216.56	0.94
49	Grijalva	0.0766	58.18	0.0292	101.15	0.88
50	Guadalupe Grijalva	0.1234	58.90	0.0701	87.79	0.34
51	Guaquitepec	0.0733	74.74	0.0364	129.00	0.90
52	Hacienda San Cristóbal	0.0328	83.76	0.0660	206.42	0.90
53	Horcones	0.0438	92.56	0.0048	171.07	0.92
54	Huehuetan	0.0321	95.62	0.0117	227.31	0.92
55	Huistan CFE	0.1083	42.91	0.0718	78.07	0.90
56	Huixtla	0.0513	117.00	0.0279	190.49	0.94
57	Ignacio López Rayón	0.0414	88.53	0.0134	214.30	0.94
58	Rosario Iztapa IMPA	0.0499	121.16	0.0044	262.22	0.88
59	Iztapa	0.0497	38.44	0.0154	101.57	0.88

ANEXO 4 Parámetros de la función Doble Gumbel optimizada, Chiapas (continuación)

No	Estación	α_1	β_1	α_2	β_2	P
60	Jesús Chiapas	0.0450	97.09	0.0264	189.44	0.88
61	Palenque DGE	0.0353	105.29	0.0801	191.60	0.92
62	La Angostura DGE	0.0711	71.24	1.1418	110.49	0.90
63	La Catarata CFE	0.0445	82.64	0.0138	161.23	0.90
64	La Escalera	0.0931	64.94	0.3120	110.18	0.92
65	La Mesilla	0.2528	42.14	0.0805	75.26	0.20
66	La Providencia	0.0398	46.23	0.0618	170.18	0.92
67	Zapaluta	0.0557	49.51	0.0043	175.17	0.94
68	Las Flores II	0.0885	50.71	0.0589	75.37	0.20
69	Las Margaritas	0.1028	59.42	0.0044	98.30	0.92
70	Las Nubes	0.0857	90.75	0.0360	166.43	0.44
71	Las Peñitas	0.0484	97.72	0.0283	160.11	0.20
72	Livingston CFE	0.1025	58.86	0.0240	103.65	0.88
73	Malpaso II	0.0404	91.48	0.2472	243.07	0.92
74	Mapastepec	0.0375	102.99	0.0083	199.70	0.92
75	Yaquintela	0.1550	37.59	0.0493	73.92	0.28
76	Margaritas	0.0325	99.01	0.0096	212.26	0.92
77	Medio Monte	0.9415	117.74	0.0091	212.99	0.92
78	Motozintla	0.0608	32.89	0.0092	163.77	0.94
79	Nueva Esperanza	0.0801	51.95	0.3670	95.72	0.20
80	Ocosingo	0.0419	64.24	0.0212	184.45	0.92
81	Ocozocuautila	0.0543	39.92	0.0615	68.91	0.20
82	Oxchuc	0.1121	32.16	0.0893	59.06	0.20
83	Palenque SMN	0.4972	28.64	0.0223	120.61	0.38
84	Pichucalco SMN	0.0264	131.01	0.0609	238.73	0.80
85	Pijijiapan	0.2984	95.46	0.0060	262.69	0.92
86	Presa Netzahualcóyotl CFE	0.0361	81.67	0.0066	187.85	0.88
87	Puente Colgante	0.0662	63.83	0.0028	127.47	0.94
88	Puente Concordia CFE	0.2118	52.05	0.0658	70.69	0.20
89	Pto. Madero SMN	0.0364	72.08	0.0213	176.10	0.70
90	Reforma I	0.0340	86.27	0.0117	196.38	0.90
91	Rio Blanco CFE	0.0706	64.75	0.1446	139.15	0.20
92	Sabanas	0.0597	104.71	0.0342	184.49	0.64
93	Salto De Agua DGE	0.0650	138.98	0.0147	284.97	0.92
94	San Francisco II	0.0436	54.18	0.0298	150.51	0.94
95	San Jerónimo	0.0338	98.08	0.0125	234.95	0.94
96	San Joaquín	0.0402	119.72	0.0277	220.03	0.62
97	Santa María	0.0519	81.44	0.0111	162.06	0.92
98	Santo Domingo	0.0525	84.74	0.0299	135.93	0.20
99	Simojovel DGE	0.0483	73.86	0.0492	157.91	0.92
100	Soyaló CFE	0.1088	53.10	0.0028	102.52	0.90
101	Suchiate	0.0570	84.67	0.0133	190.82	0.89
102	Talismán	0.0315	124.10	0.0248	277.33	0.94
103	Tapilula	0.0274	101.14	0.8177	329.83	0.89
104	Tonalá DGE	0.0321	90.10	0.0253	241.81	0.85
105	Tumbala CFE	0.0466	115.14	0.0200	205.49	0.85
106	Unión Juárez	0.0314	105.27	0.0152	298.87	0.94
107	Villa Flores SMN	0.0637	61.89	0.0131	132.63	0.93
108	Yajalón CFE	0.1255	50.71	0.0358	101.06	0.20
109	Yamonho	0.0713	74.45	0.0188	152.75	0.37
110	Jaltenango CFE	0.0262	49.76	0.0533	86.34	0.20
111	Escuintla SMN	0.0893	92.99	0.0405	129.37	0.22
112	Finca El Escalón	0.0150	95.76	0.0644	297.35	0.83
113	Ixtapa CFE	0.0829	51.13	0.0722	94.16	0.86
114	La Trinitaria CFE	0.0831	51.05	0.0193	91.60	0.90
115	Malpaso I	0.0351	121.17	0.0329	225.90	0.92
116	Sabanilla CFE	0.0436	82.71	0.0243	175.96	0.88
117	Salto De Agua SMN	0.0434	82.71	0.2022	208.80	0.85
118	Simojovel SMN	0.0435	58.62	0.0087	190.88	0.89
119	Tapachula DGE	0.1071	84.66	0.0432	123.10	0.47
120	Tonalá SMN	0.0270	89.23	0.0069	244.08	0.94
121	Tuxtla Gutiérrez DGE	0.0780	61.55	0.0339	105.40	0.94

ANEXO 4 Parámetros de la función Doble Gumbel optimizada, Chiapas (continuación).

No	Estación	α_1	β_1	α_2	β_2	P
122	Venustiano Carranza	0.0436	43.95	0.0384	94.82	0.22
123	Villa Flores DGE	0.0829	62.28	0.0185	112.51	0.90
124	Larrainzar	0.0749	52.15	0.0262	112.14	0.91
125	El Novillero	0.0434	71.79	0.0069	117.77	0.91
126	Tres Picos	0.0427	93.58	0.0339	310.89	0.88
127	Revolución Mexicana	0.0576	34.23	0.0508	68.94	0.20
128	San Fernando	0.0523	59.65	0.0042	151.70	0.88
129	Salvación	0.0243	83.75	0.0130	302.65	0.89
130	Mazatán	0.0311	91.98	0.0371	211.03	0.88
131	Ursulo Galván	0.0714	54.37	0.0039	116.57	0.89
132	Cascajal	0.0650	0.68	0.0469	149.02	0.89
133	Soyatitán	0.0720	61.34	0.1128	112.08	0.76
134	Villa Las Rosas	0.0519	70.39	0.0088	334.41	0.89
135	Buenos Aires	0.0916	43.48	0.0092	145.40	0.87
136	Querétaro	0.0547	65.95	0.0141	127.32	0.89
137	Plan De Iguala	0.0504	73.22	0.0287	223.49	0.89
138	El Porvenir	0.0618	42.59	0.0044	125.31	0.88
139	Benito Juárez	0.0707	65.07	0.2163	105.17	0.83
140	Cauhtémoc	0.4450	16.07	0.0627	56.53	0.29
141	Ejido Ibarra	0.0572	59.58	0.0140	268.17	0.88
142	Independencia	0.0301	93.86	0.0043	240.14	0.88
143	Monterrey	0.0616	62.75	0.0144	173.09	0.88
144	Unión Zaragoza	0.1603	34.05	0.0839	65.37	0.20
145	Flores Magón	0.0568	70.03	0.0621	123.79	0.68
146	Luis Espinoza	0.0226	105.29	0.0703	233.00	0.83
147	Paso Hondo	0.0686	57.49	0.0036	135.72	0.87
148	Rosendo Salazar	0.0453	69.41	0.0175	289.97	0.86