



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

**Distribuciones Exponenciadas (Weibull y Gumbel) en
procesos estacionarios para mínimos**

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Yaridalia Ramírez Abundis

TUTOR PRINCIPAL
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL (FACULTAD DE INGENIERÍA)

COMITÉ TUTOR
M.I. VÍCTOR FRANCO (INSTITUTO DE INGENIERÍA)
DRA. LILIA REYES CHÁVEZ (FACULTAD DE INGENIERÍA)
M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS (FACULTAD DE INGENIERÍA)
M.I. ALBA BEATRÍZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ (FACULTAD DE INGENIERÍA)

Ciudad de México Septiembre 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. VÍCTOR FRANCO
Secretario: DRA. LILIA REYES CHÁVEZ
1 er. Vocal: DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
2 do. Vocal: M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS
3 er. Vocal: M.I. ALBA BEATRÍZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ

Lugar donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA

TUTOR DE TESIS:
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL



FIRMA

Dedicatoria

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mis hijas: Zazil y Camila, que han sido fuente de motivación e inspiración para superarme día a día.

Agradecimientos

Las memorias del corazón se resumen en reconocer el encanto de los demás y una de las principales características de esta acción es poderla compartir, por esto mismo, mediante estos agradecimientos de tesis, quiero exaltar la labor de: CONACYT por el gran apoyo recibido, la UNAM y toda la planta docente e investigadora que representa, la Facultad de ingeniería por albergar tanto conocimiento y compartirlo, al Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval por su disposición siempre para la enseñanza, su enorme calidad humana y por supuesto científica.

Agradezco el amor y la paciencia de Zazil y Camila, así como Manuel por el apoyo durante este tiempo, la enseñanza de René y su gran disposición, a mis padres Fernando y Esperanza por su cariño, mis hermanos Fernando, Mayte y Alexia, mis amigos que de alguna u otra manera me han acompañado en este trayecto llamado vida y por supuesto al Creador del Universo, donde quiera que se encuentre.

Índice

Introducción	1
1. Zona de Estudio	3
2. Análisis de la sequía meteorológica	7
2.1 Definición de sequía	7
2.2 Clasificación de las sequías	8
2.3 Impactos de las sequías	9
2.4 Caracterización de las sequías	10
2.4.1 Porcentaje de la Normal	11
2.4.2 Deciles de la precipitación	11
2.4.3 Propiedades de la Sequía Meteorológica	12
3. Análisis de frecuencias de eventos extremos mínimos	14
3.1 Independencia de una serie de tiempo	15
3.2 Pruebas de Homogeneidad y Tendencia	16
3.2.1 Prueba de Pettitt	17
3.2.2. Prueba Normal Estándar	18
3.2.3. Prueba de Buishand	19
3.2.4. Prueba de Von Newman	20
3.2.5. Prueba estadística de Helmer	21
3.2.6. Prueba estadística t de Student	21
3.2.7 Prueba de Mann-Kendall	22
3.2.8 Prueba del coeficiente de correlación de Spearman	23
3.3 Estadísticos que caracterizan a una serie de tiempo	24
4. Distribuciones de probabilidad para el análisis de eventos extremos	26

mínimos

4.1 Distribución Gumbel (G)	26
4.2 Distribución Weibull con tres parámetros (W3)	26
4.3 Distribución Log Normal con tres parámetros (LN3)	26
4.4 Distribución Gamma con tres parámetros (G3)	27
4.5 Gumbel Exponenciada (GE)	27
4.6 Weibull exponenciada (WE)	27
4.7 Distribución Gumbel Mixta (GG)	28
4.8 Distribución Mezclada Gumbel-Weibull (GW3)	28
4.9 Distribución Mezclada Weibull-Gumbel (W3G)	28
4.10 Distribución Mezclada Weibull-Weibull (W3W3)	29
4.11 Distribución Gumbel exponenciada mezclada (GEM)	29
4.12 Distribución Weibull exponenciada mezclada (WEM)	30
4.13 Estimación de parámetros por máxima verosimilitud	30
4.14 Prueba de bondad de ajuste	31

5. Aplicación a la zona de estudio **32**

5.1 Información disponible	32
5.2 Prueba de Anderson para determinar la Independencia de la serie de tiempo	37
5.3 Pruebas de Homogeneidad y Tendencia	42
5.4 Características estadísticas de las series de lluvia	52
5.5 Aplicación del Análisis de Frecuencias	52
5.6 Selección de la mejor distribución	65
5.7 Estimación de los deciles de la lluvia acumulada anual	73
5.8 Caracterización de la sequía meteorológica	90

6. Conclusiones **125**

Referencias **127**

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Clasificación de la sequía por magnitud y efectos.	9
Tabla 2.2 Clasificación de los deciles de la precipitación.	12
Tabla 3.1 Valores críticos de la Prueba de Pettitt.	17
Tabla 3.2 Valores críticos de la prueba Normal Estándar.	19
Tabla 3.3 Valores críticos de la prueba de Buishand para Q/\sqrt{N} .	20
Tabla 3.4 Valores críticos de la prueba de Buishand para R/\sqrt{N} .	20
Tabla 3.5 Valores críticos de la prueba de Von Newman.	11
Tabla 5.1 Coordenadas geográficas y porcentaje de información disponible de cada estación analizada.	32
Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora.	33
Tabla 5.3 Resultados de la prueba de Anderson para determinar la independencia de las series.	41
Tabla 5.4 Resultados de la prueba de Pettitt.	42
Tabla 5.5 Resultados de la prueba Normal Estándar.	43
Tabla 5.6 Resultados de la prueba de Buishand.	44
Tabla 5.7 Resultados de la prueba de Von Newman.	45
Tabla 5.8 Resultados de la prueba de Helmert.	46
Tabla 5.9 Resultados de la prueba de t de Student.	47
Tabla 5.10 Resultados de la prueba de Mann-Kendall.	48
Tabla 5.11 Resultados de la prueba de Spearman.	49
Tabla 5.12 Decisión final sobre si una serie es o no estacionaria.	50
Tabla 5.13 Estadísticos muestrales de las series estacionarias.	52
Tabla 5.14 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel (G).	53
Tabla 5.15 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull con tres parámetros (W3).	54
Tabla 5.16 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Log Normal con tres parámetros (LN3).	55
Tabla 5.17 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gamma con tres parámetros (G3).	56
Tabla 5.18 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Exponenciada (GE).	57
Tabla 5.19 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull Exponenciada (WE).	58
Tabla 5.20 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Mixta (GG).	59
Tabla 5.21 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Gumbel-Weibull (GW3).	60

Tabla 5.22 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Weibull-Gumbel (W3G).	61
Tabla 5.23 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Weibull-Weibull (W3W3).	62
Tabla 5.24 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Exponenciada Mezclada (GEM).	63
Tabla 5.25 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull Exponenciada Mezclada (WEM).	64
Tabla 5.26 Distribución de probabilidad que mejor ajusta a cada una de las estaciones de la zona en estudio.	65
Tabla 5.27 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26001.	74
Tabla 5.28 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26007.	75
Tabla 5.29 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26024.	75
Tabla 5.30 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26034.	76
Tabla 5.31 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26038.	76
Tabla 5.32 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26068.	76
Tabla 5.33 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26092.	77
Tabla 5.34 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26093.	77
Tabla 5.35 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26096.	77
Tabla 5.36 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26098.	78
Tabla 5.37 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26099.	78
Tabla 5.38 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26102.	78
Tabla 5.39 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26103.	79
Tabla 5.40 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26115.	79

Tabla 5.41 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26139.	79
Tabla 5.42 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26180.	80
Tabla 5.43 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26206.	80
Tabla 5.44 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26297.	80
Tabla 5.45 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26298.	81
Tabla 5.46 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26403.	81
Tabla 5.47 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico en el Estado.	81
Tabla 5.48 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26001.	92
Tabla 5.49 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26007.	93
Tabla 5.50 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26024.	94
Tabla 5.51 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26034.	95
Tabla 5.52 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26038.	96
Tabla 5.53 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26068.	97
Tabla 5.54 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26092.	98
Tabla 5.55 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26093.	99
Tabla 5.56 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26096.	100
Tabla 5.57 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26098.	101
Tabla 5.58 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26099.	102
Tabla 5.59 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26102.	103
Tabla 5.60 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26103.	104
Tabla 5.61 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26115.	105
Tabla 5.62 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26139.	106
Tabla 5.63 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26180.	107
Tabla 5.64 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26206.	108
Tabla 5.65 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26297.	109
Tabla 5.66 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26298.	110
Tabla 5.67 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26403.	111

Índice de Figuras

Figura 1.1 Ubicación del estado de Sonora en la República Mexicana.	4
Figura 2.1 Parámetros fundamentales de las secuencias de una serie.	13
Figura 3.1 Correlograma de una serie de tiempo Independiente.	16
Figura 5.1 Ubicación de las 25 estaciones climatológicas analizadas.	32
Figura 5.2 Correlogramas de las series de tiempo analizadas.	38
Figura 5.3 Ubicación de las estaciones cuyas láminas de lluvia anual se consideran como estacionarias.	51
Figura 5.4 Isoyetas de lluvia acumulada media anual (mm).	66
Figura 5.5 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 2$ años.	67
Figura 5.6 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 5$ años.	68
Figura 5.7 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 10$ años.	69
Figura 5.8 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 20$ años.	70
Figura 5.9 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 50$ años.	71
Figura 5.10 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 100$ años.	72
Figura 5.11 Distribución empírica y ajustada de la serie de lluvias acumuladas anuales estación 26001.	74
Figura 5.12 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición de Superávit.	83
Figura 5.13 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición Normal.	84
Figura 5.14 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición de Déficit.	85
Figura 5.15 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el cuarto decil.	86
Figura 5.16 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el tercer decil.	87
Figura 5.17 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el segundo decil.	88
Figura 5.18 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el primer decil.	89
Figura 5.19 Periodicidad promedio (años) de la ocurrencia de una sequía multianual.	113
Figura 5.20 Duración promedio (años) de una sequía multianual.	114
Figura 5.21 Porcentaje promedio de la Intensidad de la sequía respecto a su media anual.	115
Figura 5.22 Lámina de lluvia promedio anual (mm) disponible en un periodo de sequía multianual.	116
Figura 5.23 Periodo de retorno (años) de la lámina de lluvia promedio anual disponible en un periodo de sequía multianual.	117
Figura 5.24 Periodicidad promedio (años) de la ocurrencia de una sequía multianual, considerando su desviación estándar.	118
Figura 5.25 Duración promedio (años) de una sequía multianual, considerando su desviación estándar.	119
Figura 5.26 Porcentaje promedio de la Intensidad de la sequía respecto a su media anual, considerando su desviación estándar.	120
Figura 5.27 Lámina de lluvia promedio anual (mm) disponible en un periodo de sequía multianual, considerando su desviación estándar.	121
Figura 5.28 Periodo de retorno (años) de la lámina de lluvia promedio anual disponible en un periodo de sequía multianual, considerando su desviación estándar.	122

Introducción

México es un país con una gran diversidad de climas y condiciones geográficas que genera una gran variación estacional en la lluvia generada, lo cual tiene un gran impacto en la disponibilidad del recurso hídrico. Dicha disponibilidad varía ampliamente, desde las condiciones de escasez de las regiones áridas y semiáridas del norte del país, hasta las regiones húmedas del sur y sureste.

La sequía es uno de los fenómenos más devastadores de la naturaleza, y cuya presencia genera la reducción del agua almacenada en las presas y la disminución de la recarga en los acuíferos, con los consecuentes efectos económicos y sociales.

El país sufre en promedio, un periodo de sequía cada cuatro años, con duración de dos años, e intensidades que van desde un déficit del 10% menor a la lluvia media anual, en el sureste del país, hasta un 40% en las regiones áridas y semiáridas del norte del México (Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez, 2005).

Las condiciones extraordinarias de este fenómeno se experimentan, en promedio, cada 14 años, tales son los casos de 1957, 1969, 1982 y 1997. El último episodio ocurrió en el periodo 2010-2012, donde se afectó cerca de dos tercios de su territorio. Los estados que sufrieron los mayores estragos en los sectores agrícola y ganadero fueron Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa y Zacatecas, (Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez, 2005).

Una de las más importante de las estrategias para mitigar los efectos de las sequías es el contar con un plan que incluya acciones preventivas para el manejo adecuado de los recursos hídricos disponibles. Generalmente, estos planes solo consideran la disponibilidad media o esperada de cada región, sin embargo, no toman en cuenta la variabilidad en la disponibilidad del recurso, dada la presencia de las sequías. Es por ello que se deberá estimar la lluvia disponible en periodo de déficit, (Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez, 2013).

Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez (2013) obtuvieron que la lámina de lluvia que equivale a la sequía esperada corresponde a aquella asociada con un periodo de retorno de 5 años.

Para obtener los estimadores $\hat{h}_{T=5 \text{ años}}$ se deberán utilizar distribuciones de probabilidad que ajusten las series de lluvia acumulada anual, considerando que es una serie para mínimos, esto es, dado que se está estudiando la escasez, entre menor sea la lluvia, su probabilidad de excedencia será menor, con el límite físico de $T \rightarrow \infty \hat{h}_T \rightarrow 0$.

Además, de las ya conocidas distribuciones para mínimos (Escalante-Sandoval y Orsini-Zegada, 2012), en esta tesis se aplicarán cuatro nuevas distribuciones, que son la exponenciada Gumbel, la exponenciada Weibull, la mixta con componentes exponenciada Gumbel y la mixta con componentes exponenciada Weibull (Escalante-Sandoval, 2007).

La metodología propuesta se aplicará al registro de lluvias acumuladas anuales de 25 estaciones climatológicas ubicadas en el estado de Sonora.

La tesis se desarrollará de la siguiente forma: en el capítulo 1 se presentará el medio físico donde se aplicará la metodología; en el capítulo 2 se hablará del fenómeno de la sequía, en particular de la meteorológica; en el capítulo 3 se presentará la metodología para desarrollar el análisis de frecuencias de eventos extremos para series de mínimos, y en el capítulo 4 las distribuciones de probabilidad que se emplearán para el ajuste de las series de lluvia anual. En el capítulo 5 se mostrará la aplicación de los modelos propuestos, y finalmente, en el capítulo 6 se darán las conclusiones de esta tesis.

1. Zona de Estudio

México tiene una superficie de 1,964 millones de km², con una gran diversidad de condiciones climáticas y geográficas que tiene un gran impacto en la disponibilidad de los recursos hídricos. La precipitación media anual es de 760 mm, pero existen diferencias importantes en su distribución, así, en las regiones áridas y semiáridas en el norte y noroeste apenas alcanza los 500 mm, en tanto, que, en las regiones húmedas del sur y sureste, puede superar los 2000 mm.

El 77% del agua utilizada en México es para uso agrícola, el 14% para uso público y el 9% para las industrias que obtienen agua de ríos y acuíferos. El área dedicada a la agricultura en México es de aproximadamente 21 millones de hectáreas, de las cuales 6.5 millones se riegan y 14.5 son de temporal. La productividad en las áreas irrigadas es, en promedio, 3.7 veces mayor que en las de temporal.

México tiene muy bajas eficiencias en el uso del agua; en el sector agrícola, fluctúan entre 33% y 55%, mientras que en las ciudades oscilan entre 50% y 70%. Debido a esto, junto con el crecimiento incesante de la población, y la baja disponibilidad de agua en los ríos y lagos, las fuentes de suministro de agua subterránea están siendo sobreexplotadas a un ritmo incesante. Todos los factores mencionados han provocado una creciente competencia por el agua, que se ha traducido en conflictos en diferentes áreas de México y está comenzando a afectar negativamente el bienestar social y el desarrollo económico.

La sequía es uno de los fenómenos naturales más devastadores y su presencia puede provocar conflictos entre diferentes usuarios y generar pobreza crónica. Las sequías reducen drásticamente los volúmenes de agua almacenados en presas y también disminuyen la recarga de los acuíferos, lo que afecta las actividades agrícolas, ganaderas e industriales, así como la generación de energía eléctrica, además del impacto que esto tiene en la flora y la fauna.

México sufre una sequía en promedio cada cuatro años con una duración de dos años. La zona más afectada es el norte debido a su ubicación en el cinturón desértico de este hemisferio. En los últimos años, la sequía ocurrida en el periodo 2010-2012 causó daños cuantiosos, por lo que fue denominada “la peor de los últimos 70 años”, y aunque afectó a dos tercios del territorio nacional, los mayores daños a los cultivos y al ganado ocurrieron en los estados del norte del país (Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Baja California, Sonora, Sinaloa y Zacatecas).

En particular, el estado de Sonora se localiza entre los $108^{\circ} 27'$ y $115^{\circ} 03'$ de longitud este y los $26^{\circ} 14'$ y $32^{\circ} 29'$ de latitud norte (Figura 1.1). Tiene una extensión territorial de 179,503 km² dividida en 72 municipios (CONAGUA, 2015).

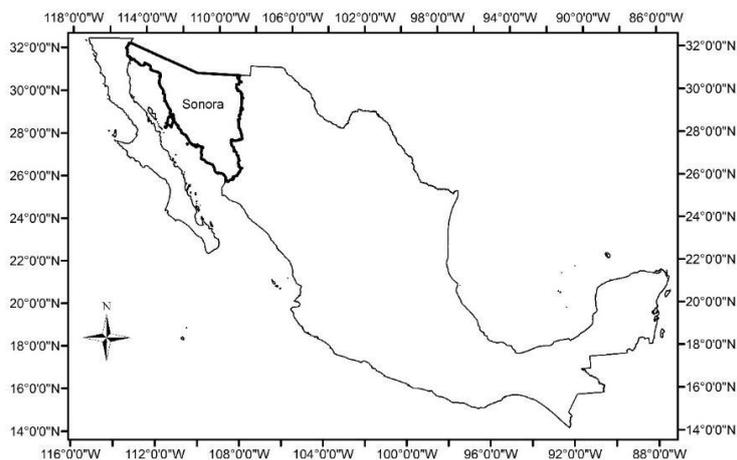


Figura 1.1 Ubicación del estado de Sonora en la República Mexicana.

En el 90% del estado de Sonora predomina el clima seco y semiseco con poca disponibilidad de agua. La temperatura media anual varía de los 12.7°C a los 26°C , en tanto que las temperaturas extremas promedio mínima es de 5.9°C y la máxima 35.2°C . la precipitación media anual en el estado es de 445 mm (CONAGUA, 2015).

La hidrología en Sonora está compuesta por un sistema de ríos y acuíferos que son el resultado de la lluvia proveniente de las precipitaciones sobre la Sierra Madre Occidental. Esta agua corre río abajo hacia el oeste de las montañas a lo largo de los cañones y valles hasta las praderas y la costa del Golfo de California. Sonora tiene siete ríos principales: Colorado, Concepción, San Ignacio, Sonora, Mátape, Yaqui y Mayo, además de un conjunto de presas tales como: Álvaro Obregón (Oviáchic), Adolfo Ruíz Cortines (Mocúzari), Plutarco Elías Calles (Novillo), Abelardo L. Rodríguez y Lázaro Cárdenas (La Angostura). Por otra parte, los acuíferos más grandes se encuentran principalmente entre Hermosillo y la costa, el valle de Guaymas y el área alrededor de Caborca. Muchos de estos han tenido problemas debido a la sobre explotación para el riego en la agricultura.

A pesar del terreno árido y clima extremo, Sonora es rico en recursos naturales, gran parte de la economía estatal está relacionada con la ganadería. El estado tiene una fuerza laboral altamente calificada y fuertes lazos con la economía de Estados. Su aporte al PIB Nacional es del 4.0%, mayor al promedio nacional que es del 3.3%.

La mayor parte de la industria estatal está relacionada con la agricultura y la pesca, en el procesamiento de comida y su empaquetamiento. En los años 1980, se instalaron en el estado un gran número de plantas industriales llamadas "maquiladoras", la mayoría situadas a lo largo de la frontera y en la capital, Hermosillo.

Además de la ganadería, la minería es otro elemento tradicional de la economía de Sonora, que comenzó con un hallazgo importante cerca de la ciudad de Álamos. Sonora sigue jugando un papel importante en México como uno de los quince productores de minerales más importantes del mundo, liderando en plata, celestina y bismuto. Sonora es el productor líder en oro, cobre, grafito, molibdeno y wollastonita. Todavía hay depósitos de plata en la Sierra Madre Occidental. Sonora además tiene una de las reservas de carbón más grandes del país. El estado tiene la superficie para la minería más grande de México, y tres de las minas más importantes del país: La Caridad, Cananea y Minería María. También es hogar de la mina de cobre más vieja de América del Norte, localizada en Cananea. Grupo México, con operaciones de minería principalmente en Cananea, es el tercer productor de cobre a nivel mundial, sin olvidar que las empresas mineras requieren de 12

000 millones de litros de agua al año para llevar a cabo sus actividades productivas. Lo cual es alarmante debido el poco suministro que se tiene en el estado

El estado presenta Aridez, lo cual no es lo mismo que sequía, ya que esta última es una situación temporal siendo una característica del clima en algunos sitios es normal y en otros es recurrente, mientras que la aridez es la escasez de lluvias como característica permanente del clima, así, se concluye que el estado de Sonora es árido con sequías recurrentes.

Dado el carácter agrícola-ganadero-minero del estado de Sonora, y su relevancia en la economía nacional, es indispensable plantear una estrategia para mitigar los efectos de las sequías, que se sustente en un plan de contingencia que incluya acciones preventivas y de mitigación. El conocimiento de los volúmenes utilizados por los usuarios, junto con la disponibilidad de agua de lluvia, agua superficial y subterránea, debe constituir la base para hacer que este recurso sea más sostenible.

El objetivo de esta tesis es el de obtener la disponibilidad de agua basado en el procesamiento estadístico de la información de la lluvia acumulada anual, y que tomará en cuenta la presencia de las sequías.

2. Análisis de la sequía meteorológica

2.1 Definición de sequía

Las sequías son manifestaciones de las fluctuaciones climáticas asociadas con las anomalías de gran escala de los patrones de circulación atmosférica, las cuales provocan la disminución de precipitación por largos periodos de tiempo.

La vulnerabilidad a la sequía está en relación inversa al grado de desarrollo económico y social de las poblaciones, y es sinónimo de conflictos sociales, hambruna, enfermedad, y migración o muerte de personas y animales, la reducción en la generación de energía y la recarga de los mantos acuíferos.

Se considera que una sequía meteorológica se presenta cuando la precipitación durante un cierto período de tiempo es significativamente más pequeña que el promedio a largo plazo o que un valor crítico. Se caracterizan por la presencia de altas temperaturas, baja humedad en el ambiente y vientos fuertes.

Una sequía hidrológica ocurre cuando existe un déficit de agua, tanto de precipitación como de escurrimiento superficial y subterráneo. Esta sequía puede causar severos daños a la población, ya que sus efectos y su recuperación son a largo plazo.

Una sequía agrícola ocurre cuando no existe en cierto tiempo la suficiente humedad en el suelo que satisfaga las necesidades para el desarrollo óptimo de un cultivo. Las áreas de temporal son las que resienten más este tipo de eventos.

Debido a que los mayores impactos son del tipo económico, se deberán usar sus principios generales para definir a las sequías. Estos principios ayudan a encontrar una única definición de sequía al aplicar los conceptos de suministro y demanda de agua, ya sea para un usuario individual o conjunto de usuarios. En este contexto una sequía se definirá por el déficit en el suministro de agua, y se obtendrá mediante las diferencias entre las series de tiempo (diaria, semanal, mensual, estacional o anual) de suministro de agua y las de demanda. Esto es válido para cualquier usuario, sitio o periodo de tiempo.

2.2 Clasificación de las sequías

Las sequías pueden clasificarse por el clima o por su magnitud de la siguiente forma:

Por Clima

Permanentes: se producen en zonas de climas áridos.

Estacionales: se observan en sitios con temporadas lluviosas y secas bien definidas.

Contingentes: se presentan en cualquier época del año debido a períodos prolongados de calor, a falta de lluvias o a la coincidencia de ambos.

Invisibles: ocurren cuando las lluvias del verano no cubren las pérdidas de humedad por evaporación.

Por Magnitud

Leves: son aquellas que tienen como causa la escasez parcial de lluvias y no repercuten de manera importante en la producción ni en la economía.

Moderadas: son las originadas por una disminución significativa en la precipitación pluvial que afecta a la producción agrícola.

Severas: son las que se producen por la disminución general o total de lluvias, con daños cuantiosos a la producción.

Extremadamente severas: son producto del proceso permanente de escasez de agua que provoca crisis en la agricultura y en la ganadería, con los consiguientes efectos al conjunto de la economía y la sociedad.

Adicionalmente, de acuerdo con el Monitor de Sequia de América del Norte, las sequias también se podría clasificar debida a su magnitud y efectos de la siguiente forma (Tabla 2.1):

Tabla 2.1 Clasificación de la sequía por magnitud y efectos.

D0 Anormalmente seco	D1 Sequía moderada	D2 Sequía severa	D3 Sequía extrema	D4 Sequía excepcional
Sequedad de corta duración (de 1 a 3 años). De intensidad leve. Crecimiento lento de los cultivos. Recuperación lenta de los pastizales y riesgo de incendios superior al promedio.	De 1 a 5 años. Bajo nivel en ríos y presas. Escasez moderada de agua. Se recomiendan restricciones voluntarias en el uso de agua. Riesgo alto de incendios forestales.	De 1 a 10 años. Probables pérdidas de cultivos y áreas de pastizal. Escasez de agua. Restricción voluntaria en el uso de agua. Riesgo muy alto de incendios forestales.	De 1 a 20 años. Las pérdidas de cultivos y pastizales son comunes. Escasez de agua generalizada. Imposición en las restricciones de uso de agua. Riesgo extremo de incendios forestales.	De 1 a 50 años. Pérdidas extremas y generalizadas de cultivos y pastizales. Escasez de agua en presas, ríos y pozos. Medidas de emergencia en restricción de uso del agua.

2.3 Impactos de las sequías

Los impactos que provocan las sequías son generalmente no estructurales, y están en función de la afectación a los diversos sectores económicos y productivos asociados con la oferta y demanda de bienes y servicios que aquellos que ofrecen.

Cuando se declara la presencia de una sequía, los daños que causa dependen de su duración e intensidad, y de la necesidad de agua de la sociedad y de las actividades económicas en desarrollo. Así, sus efectos se manifiestan como

Impactos ambientales

Degradación y pérdida de nutrientes de los suelos debido a la erosión eólica e hídrica

Desertización de los suelos

Degradación y/o destrucción de los bosques

Deshidratación y muerte de la flora

Migración y/o muerte de la fauna

Disminución en la recarga de acuíferos

Sobreexplotación de acuíferos

Reducción en el nivel de agua almacenada en los embalses

Afectación en la calidad del agua, por la alta concentración de sales y contaminantes

Afectación en la calidad del aire (polvo y concentración de contaminantes)

Impactos económicos

Disminución o pérdida total del hato ganadero debido al alto costo y baja disponibilidad de agua y alimentos

Daño perenne a los cultivos y reducción de la producción agrícola, lo que genera el fenómeno de escasez, especulación y encarecimiento de alimentos

Pérdidas económicas de la industria que es directamente dependiente de la producción agrícola (empresas de fertilizantes, maquinaria agrícola y procesadores de alimentos)

Reducción en la producción de madera debido a los incendios forestales y a la infestación de insectos

Reducción en la producción pesquera debido a la insuficiencia de agua para el desarrollo de la vida de las especies

Reducción en la generación de energía hidroeléctrica

Reducción de la actividad industrial generada por cortes en la producción y descenso en la calidad de los productos, lo cual repercute en la economía y en la generación de empleos

Distracción de fondos públicos para mitigar los efectos de las sequías

Impactos sociales

Conflictos entre los diferentes usuarios del agua

Deterioro en la salud pública debido a epidemias, hambruna y mortandad

Migración campesina del área rural hacia condiciones negativas de subsistencia con el consecuente

Empobrecimiento de los campesinos

Reducción significativa de la demanda de empleos debido a la reducción de los procesos productivos

Decremento de la calidad de vida de los sectores más desprotegidos

2.4 Caracterización de las sequías

Con el fin de definir y comparar las características de las sequías se han propuesto un conjunto de índices, los cuales son descritos por un simple número. Los más simples hacen uso únicamente de la precipitación media anual.

2.4.1 Porcentaje de la Normal

El porcentaje de la precipitación Normal es una de las más simples medidas de lluvia para un sitio en estudio. Este índice se obtiene al dividir primero la precipitación de diferentes tiempos de escala entre la precipitación Normal, la cual se establece como la precipitación media obtenida para un registro de al menos 30 años, y posteriormente multiplicarse por 100%. Usualmente los tiempos de escala que se utilizan son anual, estacional (formada por un grupo de meses) o para un mes en particular.

2.4.2 Deciles de la precipitación

Otro índice que permite encontrar las características de una sequía lo constituye el k-ésimo decil de la precipitación anual o mensual. Gibbs y Maher (1967) emplearon esta técnica para obtener la distribución espacial de las sequías en Australia, estableciendo áreas donde la lluvia esta comprendida dentro del rango del primer decil, el cual es la cantidad de lluvia que no es excedida por el 10% más bajo de la precipitación que ocurre en un sitio particular. El segundo decil es la cantidad de precipitación que no es excedida por el 20% más bajo de las ocurrencias. Estos deciles continúan hasta que la cantidad de lluvia identificada por el décimo decil es la precipitación más grande registrada. Por definición, el quinto decil es la mediana, y es la cantidad de precipitación que no es excedida por el 50% de las ocurrencias en el periodo de registro. Los límites de cada decil se calculan ordenando la muestra de tamaño N de menor a mayor magnitud, así el valor más grande registrado se le asigna la variable $Hp(N)$ y al más pequeño $Hp(1)$. Posteriormente, el valor de cada decil se obtiene de la forma:

$$decil(1) = Hp(1) + constante \quad (2.1)$$

$$decil(i) = decil(i - 1) + constante \quad \text{para } i = 2 \text{ hasta } 10 \quad (2.2)$$

$$constante = \frac{Hp(N) - Hp(1)}{10} \quad (2.3)$$

De acuerdo con este criterio, la precipitación anual puede clasificarse como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Clasificación de los deciles de la precipitación.

Clasificación	Límites de Frecuencia (%)	Decil
Mucho muy arriba del promedio	90 - 100	10
Muy arriba del promedio	80 - 90	9
Arriba del promedio	70 - 80	8
Ligeramente arriba del promedio	60 - 70	7
Normal	50 - 60	6
Normal	40 - 50	5
Ligeramente abajo del promedio	30 - 40	4
Abajo del promedio	20 - 30	3
Muy abajo del promedio	10 - 20	2
Mucho muy abajo del promedio	0 - 10	1

Una desventaja de este índice radica en que se requiere de una cantidad importante de información para establecer adecuadamente los deciles.

2.4.3 Propiedades de la Sequía Meteorológica

El modelado de la sequía meteorológica juega un papel fundamental en la mitigación de los impactos de las sequías sobre la disponibilidad de los recursos hídricos

Las propiedades de la sequía meteorológica son obtenidas de acuerdo con la teoría de secuencias propuesta por Zelenhasic y Salvai (1987). La sequía meteorológica define la periodicidad, el grado y duración del déficit de precipitación de una región específica, definida por un umbral X_0 , llamado “normal climatológica”. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, la “normal” corresponde al promedio calculado para un periodo uniforme y relativamente largo de tiempo, de al menos 30 años, lo cual es considerado como el mínimo periodo de representación del clima en el sitio analizado.

Una vez establecido el umbral X_0 , se observa que la serie se corta en diferentes sitios, y su relación con los valores X definen los parámetros de las secuencias. Estos parámetros son la suma total de la secuencia (desviación acumulada desde X_0), la Intensidad de la secuencia (desviación promedio desde X_0), y la longitud de la secuencia (distancia o tiempo entre cruces sucesivos de X_0). En la

terminología de las sequías estos tres términos son conocidos como Severidad (S), Intensidad (I) y Duración (D).

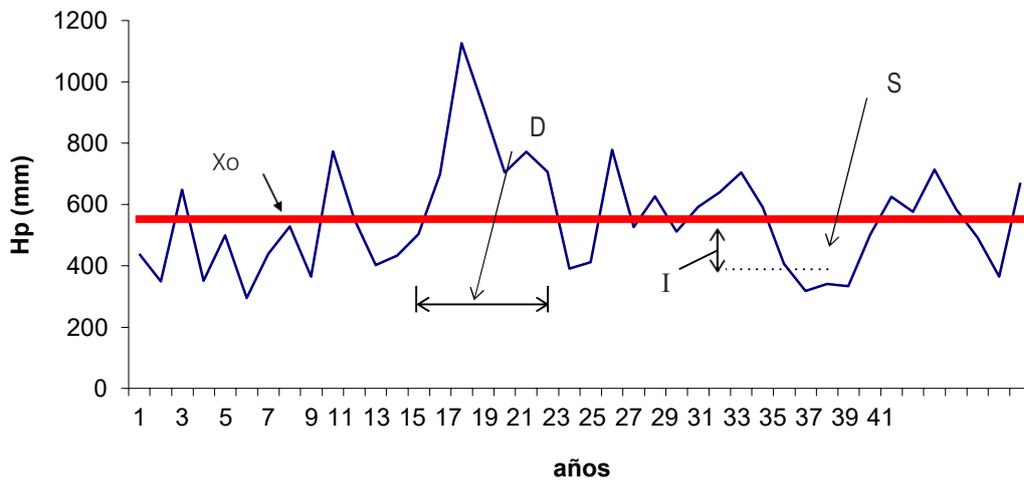


Figura 2.1 Parámetros fundamentales de las secuencias de una serie.

El como se determinan las características de la sequía a partir de esta metodología, se desarrollará en el capítulo de aplicaciones.

3. Análisis de frecuencias de eventos extremos mínimos

El análisis de frecuencias de las lluvias acumuladas anuales se emplea para proveer la magnitud de un evento \hat{h}_T , de cierto periodo de retorno T, para determinar disponibilidad del recurso hídrico con propósitos de planeación.

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

$$T = \frac{1}{P(X>x)} = \frac{1}{[1-P(X\leq x)]} \quad (3.1)$$

La secuencia de análisis es la siguiente:

Paso 1. Recabar, a partir de la información pluviométrica, las lluvias acumuladas anuales de cada estación disponible en la zona de estudio. En este punto se debe verificar la calidad y cantidad de la información (Grubbs y Beck, 1972). A falta de información, se deberá completar el registro mediante alguna las técnicas disponibles en la práctica hidrológica (Teegavarapu, R. and Chandramouli, V., 2005).

Paso 2. A cada una de las series de lluvia acumulada anual se le deberá aplicar la prueba de independencia de Anderson (subcapítulo 3.1), tal que se verifique que la serie está formada por variables aleatorias.

Paso 3. Con el objetivo de verificar si la serie es estacionaria, a cada una de las series de lluvia acumulada anual se le deberán aplicar las pruebas de homogeneidad y tendencia (subcapítulo 3.2).

Paso 4. A cada una de las series de lluvia acumulad anual se les deberán obtener sus características estadísticas como la media, varianza, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis y coeficiente de variación (subcapítulo 3.3).

Paso 5. La serie de lluvias máximas diarias se ordena de mayor a menor, se le asigna un periodo de retorno T , mediante la ley empírica de Weibull, y una probabilidad de excedencia.

$$T = \frac{N+1}{N+1-m} \quad (3.2)$$

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad (3.3)$$

Donde

N tamaño de la muestra analizada en años.

m número de orden del registro.

$P(X \geq x)$ probabilidad de excedencia.

Paso 6. A cada una de las series de lluvia acumulada anual se le ajustarán las diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de mínimos (subcapítulos 4.1 a 4.12) por el Método de estimación de parámetros de Máxima Verosimilitud (subcapítulo 4.13), y se seleccionará aquella que tenga las mejores condiciones provistas por la prueba de bondad de ajuste (subcapítulo 4.14)

Paso 7. Una vez que se obtiene la distribución de mejor ajuste del registro, es posible calcular los eventos \hat{X}_T para los periodos de retorno utilizados en el análisis de sequías $T = 2, 5, 10, 20, 50$, y 100 años.

3.1 Independencia de una serie de tiempo

La prueba de Anderson se utiliza para determinar si una serie de tiempo está formada por variables aleatorias, esto es, que la ocurrencia del evento de un año es independiente de la ocurrencia de los eventos en tiempos de retraso $k = 1, 2, 3, \dots, N/3$. Para probar esto, se deben obtener los coeficientes de auto-correlación serial, r_k , de los valores de la serie registrada X_t , utilizando la siguiente expresión (Salas et al., 1980):

$$r_k = \frac{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.4)$$

$N \ i=1$

Y cuyos valores deberán estar dentro de sus límites de confianza:

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (3.5)$$

Donde N es la longitud de registro disponible.

La gráfica de los valores estimados para r_k (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra, Figura 3.1.

Si y solo si, el 10% de los valores r_k sobrepasan los límites de confianza, se dice que la serie de lluvia H_p es independiente, y, por lo tanto, sus elementos siguen las leyes de la probabilidad.



Figura 3.1 Correlograma de una serie de tiempo Independiente.

3.2 Pruebas de Homogeneidad y Tendencia

Una serie de tiempo se considera como estacionaria si sus propiedades estadísticas no se afectan por la selección de su origen en el tiempo. Cuando una serie presenta cambios abruptos o tendencias se dice que existen inconsistencia o no-homogeneidades (Yevjevich y Jeng, 1969).

En esta tesis se utilizarán las pruebas de Pettitt, Normal Estándar, Buishand, Von Neuman, Helmert, t de Student y Cramer, para el análisis de los puntos de cambio, y las pruebas de Mann-Kendall y del coeficiente de correlación de Spearman para detectar la presencia de tendencias monotónicas.

3.2.1 Prueba de Pettitt

Para una secuencia de variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_T , la prueba de Pettitt compara los rangos r_i basados en las observaciones hechas antes ($t = 1, \dots, \tau$) y después ($t = \tau + 1, \dots, T$) de una posición temporal t , considerando un punto de cambio en τ , vía el estadístico $U_{t,T}$, (Pettitt, 1979):

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T D_{ij} \quad (3.6)$$

donde D_{ij} es el signo de la diferencia para cada par de valores de la secuencia ($X_i - X_j$), y el $\text{signo}(y) = 1$ si $y > 0$, $\text{signo}(y) = 0$ si $y = 0$, y finalmente $\text{signo}(y) = -1$ si $y < 0$.

El valor $K_T = \max|U_{t,T}|$ da la posición del posible punto de cambio τ para $1 \leq \tau < T$. La probabilidad asociada con K_T es

$$\rho \approx 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad (3.7)$$

Si ρ es más pequeño que el nivel de significancia, por ejemplo, 0.05, la hipótesis nula ($H_0 =$ no hay un cambio abrupto en la serie) se rechaza, y se acepta la hipótesis alternativa ($H_1 =$ hay un cambio abrupto en la serie).

También es posible comparar el estadístico K_T con los valores críticos K_T crítico de la Tabla 3.1 (Sahin y Cigizoglu, 2010).

Tabla 3.1 Valores críticos de la Prueba de Pettitt.

Nivel de Confianza	Tamaño de muestra N					
	20	30	40	50	70	100
1%	71	133	208	293	488	841
5%	57	107	167	235	393	677

Si K_T es más grande que el valor crítico obtenido, para cierto nivel de confianza y tamaño de muestra, de la Tabla 3.1 se rechaza la hipótesis nula (H_0 = no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay un cambio abrupto en la serie).

3.2.2. Prueba Normal Estándar

Para una serie Hp_i para $i = 1, 2, \dots, N$, con media \bar{Hp} y desviación estándar S_{Hp} , la prueba

estadística $T(k)$ es definida por Alexanderson (1986) como

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (N - k)\bar{z}_2^2 \text{ para } k = 1, \dots, N \quad (3.8)$$

Donde

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{(Hp_i - \bar{Hp})}{S_{Hp}} \quad (3.9)$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=k+1}^N \frac{(Hp_i - \bar{Hp})}{S_{Hp}} \quad (3.10)$$

$$\bar{Hp} = \sum_{i=1}^N \frac{Hp_i}{N} \quad (3.11)$$

$$S_{Hp} = \left[\frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (Hp_i - \bar{Hp})^2 \right]^{1/2} \quad (3.12)$$

La media de los primeros k años, \bar{z}_1 , y los últimos $N - k$ años, \bar{z}_2 , del registro se comparan. $T(k)$ alcanza un máximo cuando hay un cambio localizado en el año k . la distribución de $T(k)$ de la serie se observa al graficar los resultados de cada año. El estadístico de prueba T_0 se define como:

$$T_0 = \max T(k) \text{ para } 1 \leq k \leq N \quad (3.13)$$

Si T_0 es superior al valor crítico de la Tabla 3.2, se rechaza la hipótesis nula (H_0 = no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay un cambio abrupto en la serie).

Los valores críticos dependen del tamaño de muestra N , tal y como se muestra en la Tabla 3.2 (Sahin y Cigizoglu, 2010).

Tabla 3.2 Valores críticos de la prueba Normal Estándar.

Nivel de Confianza	Tamaño de muestra N					
	20	30	40	50	70	100
1%	7.0	7.7	8.1	8.5	8.8	9.2
5%	9.6	10.5	11.0	11.4	11.9	12.3

3.2.3. Prueba de Buishand

La prueba se basa en considerar las desviaciones acumuladas de cada elemento de la serie respecto a su valor medio (Buishand, 1981, 1982)

$$S^* = \sum_{i=1}^k (Hp_i - \bar{hp}) \quad \text{para valores de } k = 1, \dots, N \quad (3.14)$$

Donde la media de la serie \bar{hp} se obtiene con la ecuación (3.11).

La serie S_k^* se estandariza mediante la expresión

$$S_k^{**} = S_k^* / S_{Hp} \quad \text{para valores de } k = 1, \dots, N \quad (3.15)$$

Donde la desviación estándar de la serie S_{Hp} , se obtiene con la ecuación (3.12).

Finalmente, el estadístico para medir la homogeneidad de la serie es

$$Q = \max |S_k^{**}| \quad (3.16)$$

O también,

$$R = \max_k |S_k^{**}| - \min_k |S_k^{**}| \quad (3.17)$$

Los valores $\frac{Q}{\sqrt{N}}$ y $\frac{R}{\sqrt{N}}$ deberán compararse con los valores críticos de las Tablas 3.3 y 3.4 (Buishand, 1982).

Si el valor de $\frac{Q}{\sqrt{N}}$ o $\frac{R}{\sqrt{N}}$ es superior al valor crítico de su correspondiente tabla, se rechaza la hipótesis nula (H_0 = no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay un cambio abrupto en la serie).

Tabla 3.3 Valores críticos de la prueba de Buishand para Q/\sqrt{N} .

Nivel de Confianza	Tamaño de muestra N						
	10	20	30	40	50	100	1000
1%	1.29	1.42	1.46	1.5	1.52	1.55	1.63
5%	1.14	1.22	1.24	1.26	1.27	1.29	1.36

Tabla 3.4 Valores críticos de la prueba de Buishand para R/\sqrt{N} .

Nivel de Confianza	Tamaño de muestra N						
	10	20	30	40	50	100	1000
1%	1.38	1.60	1.70	1.74	1.78	1.86	2.00
5%	1.28	1.43	1.50	1.53	1.55	1.62	1.75

3.2.4. Prueba de Von Newman

El estadístico de prueba se obtiene a partir de la siguiente expresión

$$Nw = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (Hp_i - Hp_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^N (Hp_i - \bar{H})^2} \quad (3.18)$$

Donde la media de la serie \bar{H} se obtiene con la ecuación (3.11).

Si el valor de Nw es superior al valor crítico de la Tabla 3.5 (Sahin y Cigizoglu, 2020), se rechaza la hipótesis nula (H_0 = no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay un cambio abrupto en la serie).

Tabla 3.5 Valores críticos de la prueba de Von Newman.

Nivel de Confianza	Tamaño de muestra N					
	20	30	40	50	70	100
1%	1.04	1.20	1.29	1.36	1.45	1.54
5%	1.30	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

3.2.5. Prueba estadística de Helmert

Esta prueba consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento Hp_i de la serie para $i = 1, 2, \dots, N$, con respecto a su valor medio \bar{h} . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia S , de lo contrario se considera como un cambio C . La serie se considera homogénea si se cumple (Campos-Aranda, 1998):

$$-\sqrt{N-1} \leq (S - C) \leq +\sqrt{N-1} \quad (3.19)$$

Si el valor de $(S - C)$ se encuentra fuera de los límites establecidos por la expresión (3.19), se rechaza la hipótesis nula (H_0 = no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay un cambio abrupto en la serie).

3.2.6. Prueba estadística t de Student

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

Si se considera una serie Hp_i para $i = 1, 2, \dots, N$, la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{N}{2}$ entonces, el estadístico de prueba se define con la expresión (Campos-Aranda, 1998)

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}} \quad (3.20)$$

Donde

\bar{x}_1, S_1^2 son la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1 .

\bar{x}_2, S_2^2 son la media y varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 .

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas, y con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y un nivel de confianza $\alpha = 0.05$, y si $|t_d| > t$ Student se rechaza la hipótesis nula ($H_0 =$ no hay un cambio abrupto en la serie), y se acepta la hipótesis alternativa ($H_1 =$ hay un cambio abrupto en la serie).

3.2.7 Prueba de Mann-Kendall

Para un conjunto de observaciones x_i y x_j con $j > i$ el estadístico de Mann-Kendall es (Kundzewics and Robson, 2004):

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{signo}(x_j - x_i) \quad (3.21)$$

donde N es la longitud de registro, y

$$\text{signo}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (3.22)$$

Cuando $N \geq 30$ el estadístico S esta normalmente distribuido, con media y varianza:

$$E(S) = 0 \quad (3.23)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18} \quad (3.24)$$

Para el caso en que existan valores repetidos en la serie, la varianza $\text{Var}(S)$ es:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^g t_i(t_i-1)(t_i+5)] \quad (3.25)$$

Donde g es el número de grupos que tienen valores repetidos, y t_i es el número de vínculos en el grupo i

El estadístico de prueba de Mann-Kendal para $N \geq 30$ años es

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{[Var(S)]^{1/2}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{[Var(S)]^{1/2}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (3.26)$$

Por otro lado, el estadístico de prueba de Mann-Kendal para $N < 30$ años es

$$Z_{MK} = \frac{2S}{N(N-1)} \quad (3.27)$$

La hipótesis nula (H_0 = no hay tendencia significativa en la serie) se rechaza cuando $Z_{MK} > Z_{\alpha/2}$ o $Z_{MK} < -Z_{\alpha/2}$, donde $Z_{\alpha/2}$ es la variable normal estándar para un nivel de confianza $\alpha = 0.05$, y por tanto se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay una tendencia significativa en la serie).

3.2.8 Prueba del coeficiente de correlación de Spearman

Para el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman ρ (rho), los datos son ordenados de menor a mayor y son reemplazados por su respectivo orden.

El estadístico ρ se obtiene a través de la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2-1)} \quad (3.28)$$

Donde D es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden x-y. N es el número de pares de datos.

En esta prueba se debe considerar la existencia de valores repetidos en el momento de ser ordenados, esto es, si existen dos valores cuya magnitud es 420 mm, y cuyos ordenes son 12 y 23,

a ambos se les pondrá el orden promedio $(12+23) / 2 = 17.5$. Para muestras mayores a 20 registros, se puede obtener el estadístico de prueba

$$t_s = \frac{\rho}{\sqrt{(1-\rho^2)/(N-2)}} \quad (3.29)$$

La hipótesis nula (H_0 = no hay tendencia significativa en la serie) se rechaza cuando $t_s > t_{critico}$, donde $t_{critico}$ es el valor de la distribución t de Student de dos colas con $v = N - 2$ grados de libertad, y un nivel de confianza $\alpha = 0.05$, y por tanto se acepta la hipótesis alternativa (H_1 = hay una tendencia significativa en la serie).

3.3 Estadísticos que caracterizan a una serie de tiempo

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias de las series de lluvia anual es necesario obtener los valores estadísticos. Para este propósito, se aplicarán las siguientes expresiones

Media

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.30)$$

Varianza

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.31)$$

Desviación estándar

$$S = \sqrt{S^2} \quad (3.32)$$

Coficiente de asimetría

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) S^3} \quad (3.33)$$

Coeficiente de Kurtosis

$$K = 3 + \left\langle \left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S} \right)^4 \right\} - \left\{ \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \right\} \right\rangle \quad (3.34)$$

Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3.40)$$

4. Distribuciones de probabilidad para el análisis de eventos extremos mínimos

Para cada estación analizada, es posible describir el comportamiento de la disponibilidad de lluvia acumulada anual en términos del ajuste de diferentes distribuciones de probabilidad para valores mínimos (Gumbel, 1958; Chow, 1964; Al-Mashidani et al. 1980; Kroll and Vogel, 2002).

4.1 Distribución Gumbel (G)

$$F(x) = \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)}} \quad (4.1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)}} \exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)} \quad (4.2)$$

donde v y α son los parámetros de ubicación y escala

4.2 Distribución Weibull con tres parámetros (W3)

$$F(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-\psi}{\beta-\psi} \right)^\eta \right] \quad (4.3)$$

$$f(x) = \frac{\eta}{\beta-\psi} \left(\frac{x-\psi}{\beta-\psi} \right)^{\eta-1} \exp \left[- \left(\frac{x-\psi}{\beta-\psi} \right)^\eta \right] \quad (4.4)$$

donde ψ , β y η son los parámetros de ubicación, escala y forma

4.3 Distribución Log Normal con tres parámetros (LN3)

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y} \right]^2} \quad (4.5)$$

donde x_0 , σ_y y μ_y son los parámetros de ubicación, escala y forma.

4.4 Distribución Gamma con tres parámetros (G3)

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right) \quad (4.6)$$

donde x_0 , α y β son los parámetros de ubicación, escala y forma.

Gupta y Kundu (2001) introdujeron la distribución exponenciada exponencial como una generalización de la distribución exponencial estándar. A partir de ese modelo, Nadarajah y Kotz propusieron las distribuciones:

4.5 Gumbel Exponenciada (GE):

$$F(x) = 1 - \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - \nu)/\alpha]\} \rangle^\gamma \quad (4.7)$$

$$f(x) = (\gamma/\alpha) \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - \nu)/\alpha]\} \rangle^{\gamma-1} \exp[-(x - \nu)/\alpha] \exp\{-\exp[-(x - \nu)/\alpha]\} \quad (4.8)$$

donde ν y α son los parámetros de ubicación y escala; γ es la enésima potencia de la distribución Gumbel estándar.

4.6 Weibull exponenciada (WE)

$$F(x) = \{1 - \exp[-(x/\varphi)^\kappa]\}^\theta \quad (4.9)$$

$$f(x) = (\kappa\theta/\varphi)(x/\varphi)^{\kappa-1} \exp[-(x/\varphi)^\kappa] \{1 - \exp[-(x/\varphi)^\kappa]\}^{\theta-1} \quad (4.10)$$

Con la finalidad de alcanzar mayor flexibilidad en el modelado de las series de lluvia se ha propuesto la aplicación de distribuciones mezcladas para mínimos (Escalante y Orsini, 2012). El modelo general para ajustar muestras provenientes de dos poblaciones es (Mood et al, 1974):

$$F(x) = pF_1(x) + (1 - p)F_2(x) \quad (4.11)$$

Donde p es la proporción de x en la mezcla ($0 < p < 1$), y $F(x)$ es la mezcla de distribuciones.

En particular, las distribuciones G y W3 se pueden emplear en la ecuación (4.11) para generar un conjunto más flexible de distribuciones, tal que se pueden tener las combinaciones mezcladas: GG, GW3, W3G y W3W3 (Escalante-Sandoval y Orsini, 2012):

4.7 Distribución Gumbel Mixta (GG)

$$F(x) = p \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v_1-x}{\alpha_1}\right)}} + (1 - p) \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v_2-x}{\alpha_2}\right)}} \quad (4.12)$$

$$f(x) = p \left[\frac{1}{\alpha_1} \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v_1-x}{\alpha_1}\right)}} \exp^{-\left(\frac{v_1-x}{\alpha_1}\right)} \right] + (1 - p) \left[\frac{1}{\alpha_2} \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v_2-x}{\alpha_2}\right)}} \exp^{-\left(\frac{v_2-x}{\alpha_2}\right)} \right] \quad (4.13)$$

4.8 Distribución Mezclada Gumbel-Weibull (GW3)

$$F(x) = p \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)}} + (1 - p) \exp \left[-\left(\frac{x-\psi}{\beta-\psi}\right)^\eta \right] \quad (4.14)$$

$$f(x) = p \left[\frac{1}{\alpha} \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)}} \exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)} \right] + (1 - p) \left\{ \frac{\eta}{\beta - \psi} \left(\frac{x - \psi}{\beta - \psi}\right)^{\eta-1} \exp \left[-\left(\frac{x - \psi}{\beta - \psi}\right)^\eta \right] \right\} \quad (4.15)$$

4.9 Distribución Mezclada Weibull-Gumbel (W3G)

$$F(x) = p \exp \left\{ -\left[\frac{x-\psi}{\beta-\psi}\right]^\eta \right\} + (1 - p) \exp^{-\exp^{-\left(\frac{v-x}{\alpha}\right)}} \quad (4.16)$$

$$f(x) = p \left\{ \frac{\eta}{\beta - \psi} \left(\frac{x - \psi}{\beta - \psi} \right)^{\eta-1} \exp \left[- \left(\frac{x - \psi}{\beta - \psi} \right)^\eta \right] \right\} + (1 - p) \left[\frac{1}{\alpha_1} \exp^{-\exp^{-\left(\frac{\nu-x}{\alpha} \right)}} \exp^{-\left(\frac{\nu-x}{\alpha} \right)} \right] \quad (4.17)$$

4.10 Distribución Mezclada Weibull-Weibull (W3W3)

$$F(x) = p \exp \left\{ - \left[\frac{x - \psi_1}{\beta_1 - \psi_1} \right]^{\eta_1} \right\} + (1 - p) \exp \left\{ - \left[\frac{x - \psi_2}{\beta_2 - \psi_2} \right]^{\eta_2} \right\} \quad (4.18)$$

$$f(x) = p \left\{ \frac{\eta_1}{\beta_1 - \psi_1} \left(\frac{x - \psi_1}{\beta_1 - \psi_1} \right)^{\eta_1-1} \exp \left[- \left(\frac{x - \psi_1}{\beta_1 - \psi_1} \right)^{\eta_1} \right] \right\} \\ + (1 - p) \left\{ \frac{\eta_2}{\beta_2 - \psi_2} \left(\frac{x - \psi_2}{\beta_2 - \psi_2} \right)^{\eta_2-1} \exp \left[- \left(\frac{x - \psi_2}{\beta_2 - \psi_2} \right)^{\eta_2} \right] \right\} \quad (4.19)$$

Escalante-Sandoval (2007) propuso la aplicación de las distribuciones exponenciadas mezcladas para el análisis de lluvias, las cuales tienen la forma:

4.11 Distribución Gumbel exponenciada mezclada (GEM)

$$F(x) = p \langle 1 - \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - v_1)/\alpha_1]\}\rangle^{\gamma_1} \rangle \\ + (1 - p) \langle 1 - \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - v_2)/\alpha_2]\}\rangle^{\gamma_2} \rangle \quad (4.20)$$

$$f(x) = p \left\{ \frac{(\gamma_1/\alpha_1) \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - v_1)/\alpha_1]\}\rangle^{\gamma_1-1}}{\exp[-(x - v_1)/\alpha_1] \exp\{-\exp[-(x - v_1)/\alpha_1]\}} \right\} \\ + (1 - p) \left\{ \frac{(\gamma_2/\alpha_2) \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - v_2)/\alpha_2]\}\rangle^{\gamma_2-1}}{\exp[-(x - v_2)/\alpha_2] \exp\{-\exp[-(x - v_2)/\alpha_2]\}} \right\} \quad (4.21)$$

4.12 Distribución Weibull exponenciada mezclada (WEM)

$$F(x) = p \{1 - \exp[-(x/\varphi_1)^{\kappa_1}]\}^{\theta_1} + (1 - p) \{1 - \exp[-(x/\varphi_2)^{\kappa_2}]\}^{\theta_2} \quad (4.22)$$

$$f(x) = p(\kappa_1\theta_1/\varphi_1)(x/\varphi_1)^{\kappa_1-1} \exp[-(x/\varphi_1)^{\kappa_1}] \{1 - \exp[-(x/\varphi_1)^{\kappa_1}]\}^{\theta_1-1} \\ + (1 - p)(\kappa_2\theta_2/\varphi_2)(x/\varphi_2)^{\kappa_2-1} \exp[-(x/\varphi_2)^{\kappa_2}] \{1 - \exp[-(x/\varphi_2)^{\kappa_2}]\}^{\theta_2-1} \quad (4.23)$$

4.13 Estimación de parámetros por máxima verosimilitud

La función de verosimilitud de n variables aleatorias, X_1, X_2, \dots, X_n , se define, en función de sus parámetros, como su densidad conjunta:

$$L(x, \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (4.24)$$

Y su función logarítmica de verosimilitud es

$$\text{Log}L(x, \theta) = \log \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (4.25)$$

Sado que el máximo de las expresiones (4.24) y (4.25) se alcanza en el mismo punto, y que las expresiones al derivar la ecuación (4.25) son más fáciles de manipular, es que se utiliza ésta última para resolver y obtener sus parámetros.

El procedimiento consiste en obtener y resolver un sistema de ecuaciones formado por:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta_i} = 0 \quad (4.26)$$

Para $i=1$ hasta mp número de parámetros de la distribución.

Dada la complejidad de las expresiones obtenidas al derivar parcialmente con respecto a los parámetros en (4.26), se propone aplicar el método de optimización multivariable restringido de Rosenbrock (Kuester y Mize, 1973) para la directa maximización de la expresión (4.25), para todas las distribuciones propuestas en este capítulo.

4.14 Prueba de bondad de ajuste

Kite (1988) propuso un estadístico que permite elegir la mejor distribución de probabilidad que ajuste a una serie de tiempo Hp_i , para $i = 1, 2, \dots, N$. Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y tiene la forma

$$EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{h}_T - Hp_i)^2}{n_j - mp} \right]^{1/2} \quad (3.35)$$

donde Hp_T son los eventos Hp_i ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado $T = \frac{n+1}{m}$ y una probabilidad de excedencia $P = \frac{1}{T}$; N es la longitud del registro; m es el número

de orden del registro ($m = 1$ para el evento más grande y $m = n$ para el evento más chico); \hat{h}_T son los eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asignado a la muestra ordenada Hp_i ; mp es el número de parámetros de la distribución ajustada. La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico EE . Si una o más distribuciones tienen valores similares del EE , entonces, se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros.

5. Aplicación a la zona de estudio

5.1 Información disponible

La CONAGUA (2018) cuenta con registros de lluvia diaria de cerca de 300 estaciones climatológicas en el estado de Sonora, sin embargo, en este estudio solo se considera los datos de 25 estaciones (Tabla 5.1) que cuentan con información del periodo 1950-2016 (CLICOM, 2018). La ubicación de las estaciones seleccionadas se presenta en la Figura 5.1.

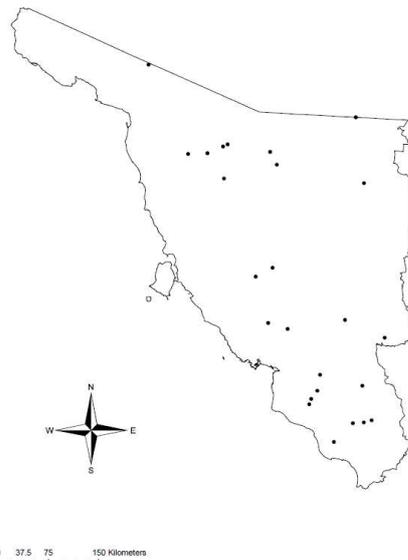


Figura 5.1 Ubicación de las 25 estaciones climatológicas analizadas.

Tabla 5.1 Coordenadas geográficas y porcentaje de información disponible de cada estación analizada.

Clave	Longitud°	Latitud°	Clave	Longitud°	Latitud°
26001	-109.5	31.3	26099	-109.2	27.7
26007	-110.2	30.6	26101	-109.6	28.6
26024	-109.1	27.2	26102	-109.2	27.2
26032	-110.7	29.2	26103	-111.5	30.4
26034	-109.6	26.9	26109	-108.9	28.4
26038	-111.6	30.8	26115	-110.9	30.8
26068	-109.9	27.8	26139	-111.0	29.1
26069	-109.4	30.4	26180	-110.7	29.5
26073	-110.4	28.4	26206	-111.8	30.7
26092	-111.5	30.9	26297	-109.6	30.3
26093	-112.1	30.7	26298	-110.0	27.4
26096	-112.9	31.9	26403	-110	27.5
26098	-109.4	27.2			

La lluvia acumulada anual de cada una de las 25 estaciones disponibles se muestra en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora.

<u>Año</u>	<u>26001</u>	<u>2600'</u>	<u>26024</u>	<u>26032</u>	<u>26034</u>	<u>Año</u>	<u>26001</u>	<u>26007</u>	<u>26024</u>	<u>26032</u>	<u>26034</u>
1950	435.5	323.9	488.7	177.2	629.4	1984	579.4	785.6	967.7	613.8	777.9
1951	405.8	470.0	456.9	368.5	303.0	1985	496.5	779.6	424.9	519.7	368.1
1952	404.8	472.8	551.3	279.1	183.0	1986	448.9	593.2	593.4	476.9	298.3
1953	278.0	391.5	454.7	270.8	182.0	1987	354.6	376.4	308.0	188.0	217.5
1954	445.0	506.8	607.0	332.5	309.2	1988	577.7	866.3	421.4	527.1	274.1
1955	366.2	494.3	698.0	381.1	617.7	1989	287.2	558.0	509.5	386.1	339.7
1956	241.3	486.1	416.2	358.7	524.6	1990	425.5	531.5	787.5	729.5	555.4
1957	452.2	536.1	686.5	352.4	259.5	1991	448.5	668.2	556.0	440.4	389.5
1958	753.1	1173.3	939.3	512.1	811.7	1992	379.4	658.1	664.0	749.1	410.6
1959	499.6	524.4	957.9	295.3	719.2	1993	346.8	681.9	507.8	371.7	374.5
1960	306.2	330.6	634.5	455.0	485.5	1994	412.3	718.8	646.2	498.0	400.9
1961	350.5	787.0	756.5	437.7	360.3	1995	268.0	420.7	556.6	380.4	381.0
1962	306.2	593.8	572.0	349.1	321.2	1996	323.4	494.5	466.9	366.0	334.3
1963	433.1	638.8	595.5	376.2	327.2	1997	297.0	565.7	542.5	374.7	604.5
1964	323.0	399.6	499.0	296.7	312.8	1998	339.4	607.4	373.5	315.8	435.6
1965	374.0	608.5	571.4	251.7	330.5	1999	292.3	438.4	493.0	374.6	316.7
1966	441.7	511.0	540.0	327.6	380.9	2000	514.1	927.0	510.0	680.2	299.3
1967	473.2	719.9	600.1	393.7	364.0	2001	311.6	443.1	537.7	414.7	585.0
1968	304.8	443.5	631.8	655.2	620.7	2002	342.6	375.7	384.5	356.1	239.9
1969	271.5	571.1	420.6	461.7	240.0	2003	187.4	402.7	495.6	426.9	316.5
1970	211.0	397.5	411.9	245.5	300.1	2004	322.0	496.1	662.3	355.1	469.4
1971	354.0	573.8	452.2	385.0	452.6	2005	290.2	493.3	391.2	340.2	279.4
1972	392.1	430.0	792.4	270.3	817.4	2006	345.5	491.5	546.9	564.3	279.6
1973	455.8	415.0	513.5	284.3	222.2	2007	432.8	412.2	654.5	438.2	419.6
1974	311.8	491.5	715.3	341.6	313.4	2008	223.0	536.3	822.2	399.6	812.3
1975	291.2	435.9	364.2	453.8	234.3	2009	194.1	597.4	505.9	404.3	407.6
1976	282.6	436.2	638.4	438.3	284.8	2010	404.7	502.4	465.9	574.0	410.8
1977	491.0	742.6	358.4	342.3	150.2	2011	521.0	369.7	500.1	622.5	502.5
1978	492.5	619.2	555.0	463.6	217.2	2012	325.7	313.9	459.3	401.8	458.8
1979	306.5	374.8	296.3	257.6	296.6	2013	417.1	412.9	515.1	418.2	386.1
1980	305.0	341.0	380.6	284.2	248.3	2014	339.5	604.2	476.4	520.7	333.5
1981	366.0	503.9	642.8	746.4	542.5	2015	300.5	783.1	784.1	507.6	444.1
1982	365.5	431.6	611.5	377.1	250.2	2016	229.5	340.1	470.4	453.5	350.3
1983	<u>596.8</u>	<u>586.</u>	<u>668.8</u>	<u>589.2</u>	<u>388.5</u>						

Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora (continuación).

<u>Año</u>	<u>26038</u>	<u>26068</u>	<u>26069</u>	<u>26073</u>	<u>26092</u>	<u>Año</u>	<u>26038</u>	<u>26068</u>	<u>26069</u>	<u>26073</u>	<u>26092</u>
1950	269.5	219.9	363.1	786.5	307.5	1984	597.0	497.4	539.3	556.4	590.7
1951	447.2	234.3	423.6	586.4	431.7	1985	376.5	296.8	528.4	451.0	250.3
1952	415.0	296.5	435.9	558.5	324.2	1986	463.5	451.5	660.1	407.4	438.8
1953	243.0	197.7	250.3	438.1	235.5	1987	388.0	186.8	274.8	289.0	395.8
1954	457.5	327.8	441.7	650.3	377.4	1988	513.2	354.0	421.4	408.0	309.8
1955	327.8	486.0	359.1	616.8	372.7	1989	319.9	320.5	444.5	429.3	313.2
1956	188.5	322.3	212.3	756.4	226.8	1990	362.3	720.5	688.6	585.2	341.5
1957	277.5	571.9	411.6	813.0	310.0	1991	314.7	371.0	434.6	571.7	362.8
1958	400.0	786.1	434.2	726.0	467.4	1992	621.0	269.0	328.1	631.8	544.7
1959	490.9	564.4	324.5	403.1	561.3	1993	481.8	394.0	621.8	428.7	401.2
1960	337.0	472.9	285.8	487.0	376.1	1994	477.4	459.2	516.5	472.1	524.8
1961	349.7	423.5	343.1	403.4	389.4	1995	362.1	386.6	323.5	447.8	361.0
1962	192.5	407.2	411.0	362.6	218.1	1996	252.5	471.7	304.2	390.4	396.5
1963	877.0	594.9	287.5	348.0	944.8	1997	480.1	496.6	599.6	451.5	505.2
1964	1033.5	232.0	433.3	392.7	1140.6	1998	247.6	469.7	504.4	342.4	467.8
1965	382.5	354.2	435.2	341.3	435.5	1999	409.7	379.6	383.2	401.7	525.6
1966	532.7	496.6	481.0	420.2	419.5	2000	691.9	261.0	736.6	465.7	669.5
1967	503.2	444.5	455.8	458.3	336.2	2001	565.4	374.0	502.2	628.1	562.9
1968	203.5	610.0	557.0	575.1	195.0	2002	294.5	342.0	488.2	454.6	298.2
1969	316.5	469.1	378.1	375.5	292.9	2003	374.4	368.7	251.1	518.9	374.2
1970	360.0	409.7	421.6	453.5	341.2	2004	450.5	679.0	452.6	524.4	452.7
1971	483.5	305.8	554.3	387.7	425.3	2005	351.3	393.4	360.9	270.3	356.8
1972	302.6	499.8	453.3	375.2	186.6	2006	215.1	316.6	427.3	491.0	214.6
1973	269.0	244.0	433.6	354.2	279.3	2007	280.4	388.9	603.2	558.9	280.1
1974	338.5	386.0	420.5	555.0	274.6	2008	310.1	453.0	343.3	397.5	311.0
1975	257.0	294.9	523.1	350.8	303.2	2009	205.8	508.1	415.9	356.2	205.9
1976	299.4	513.1	581.3	285.9	263.2	2010	414.8	295.1	405.6	369.0	417.0
1977	415.0	284.5	497.7	225.7	374.3	2011	326.3	352.7	536.8	671.7	323.8
1978	618.0	493.3	665.3	537.6	503.5	2012	401.0	529.3	298.5	510.2	409.9
1979	355.3	340.8	402.7	251.5	322.0	2013	239.2	358.3	329.3	473.2	233.0
1980	307.4	463.0	450.2	314.8	290.8	2014	544.5	414.0		395.3	665.0
1981	384.0	547.8	713.2	375.9	349.2	2015	302.8	508.2		353.9	382.7
1982	419.0	482.7	310.4	382.6	361.4	2016	175.6	243.6			246.2
1983	<u>781.0</u>	<u>598.6</u>	<u>489.</u>	<u>451.8</u>	<u>682.4</u>						

Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora (continuación).

Año	26093	26096	26097	26099	26101	Año	26093	26096	26098	26099	26101
1950	272.2	402.6	791.3	708.1	932.8	1984	362.2	322.6	971.8	1105.1	618.5
1951	428.8	482.9	367.8	387.8	653.4	1985	180.2	234.9	418.7	801.4	781.5
1952	345.9	347.9	329.5	732.3	653.0	1986	236.7	163.3	658.6	762.6	1186.8
1953	222.6	252.4	261.1	616.6	627.5	1987	147.0	193.2	311.7	525.3	728.7
1954	331.8	278.5	490.1	1088.9	730.3	1988	274.1	256.2	366.4	970.8	703.5
1955	244.4	199.8	655.1	864.5	622.2	1989	161.2	121.9	488.1	702.9	1109.4
1956	225.6	198.2	432.0	692.9	730.6	1990	233.1	252.6	793.1	1163.6	1266.8
1957	198.8	123.7	403.0	733.3	1007.2	1991	226.3	186.6	489.2	693.6	816.7
1958	577.2	214.2	766.8	1042.1	943.4	1992	363.0	400.5	536.2	820.7	848.2
1959	632.5	373.0	554.0	782.7	760.1	1993	392.2	299.6	581.9	859.8	942.2
1960	232.3	214.5	472.1	684.4	450.5	1994	246.7	249.6	581.9	842.8	606.2
1961	313.8	329.8	537.6	1019.0	935.9	1995	258.2	126.2	531.4	678.4	847.9
1962	189.3	272.2	404.9	762.0	523.5	1996	216.8	187.7	421.8	846.9	437.5
1963	284.3	196.3	648.6	728.7	456.5	1997	251.6	336.8	621.5	753.4	708.8
1964	261.9	235.0	413.1	733.1	624.0	1998	361.3	211.5	352.2	446.8	406.3
1965	289.0	240.9	446.9	632.8	663.0	1999	336.6	97.4	370.6	631.5	404.3
1966	332.9	205.0	460.5	667.9	664.5	2000	214.1	177.8	447.3	748.2	602.2
1967	381.0	224.7	467.7	629.7	738.0	2001	300.3	200.4	501.9	714.4	455.2
1968	188.7	272.2	436.1	897.8	914.0	2002	205.4	208.2	376.5	546.9	446.7
1969	232.2	186.0	522.5	464.5	715.1	2003	285.4	231.1	458.6	727.2	514.0
1970	248.9	228.5	473.3	841.8	628.9	2004	198.2	221.7	516.9	982.0	781.5
1971	262.5	109.6	539.2	798.5	505.5	2005	219.1	286.4	373.5	497.9	760.7
1972	212.0	211.1	542.4	568.0	909.4	2006	264.8	136.4	450.0	615.3	519.8
1973	210.4	118.4	387.4	649.9	452.4	2007	238.8	144.7	580.3	769.7	871.7
1974	220.6	190.6	454.2	622.3	792.0	2008	174.1	232.4	764.5	936.5	667.0
1975	183.3	126.2	409.4	692.1	725.7	2009	159.4	156.7	655.0	599.4	347.0
1976	308.9	193.8	500.6	646.2	650.5	2010	320.2	232.0	413.0	585.9	597.9
1977	201.3	186.8	288.3	623.2	640.7	2011	280.9	368.7	582.7	704.0	781.3
1978	297.8	313.5	495.4	730.7	761.4	2012	281.9	295.5	232.8	530.3	744.6
1979	183.6	245.4	333.6	444.4	588.0	2013	282.1	309.9	233.4	590.6	623.8
1980	126.5	97.4	590.8	648.0	896.0	2014	417.6	178.8	536.7	638.0	513.4
1981	213.5	173.6	623.5	951.7	805.6	2015	208.0	181.1	460.4	867.4	592.7
1982	264.3	231.0	524.8	721.8	631.5	2016	167.8	148.3	323.9		
1983	<u>493.9</u>	<u>486.3</u>	<u>684.8</u>	<u>1156.3</u>	<u>1057.5</u>						

Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora (continuación).

<u>Año</u>	<u>26102</u>	<u>26103</u>	<u>26109</u>	<u>26115</u>	<u>26139</u>	<u>Año</u>	<u>26102</u>	<u>26103</u>	<u>26109</u>	<u>26115</u>	<u>26139</u>
1950	459.9	288.5	1083.9	281.7	232.0	1984	956.1	395.0	1253.5	725.4	512.7
1951	465.3	303.3	1189.3	436.3	463.8	1985	552.3	382.8	683.8	486.4	382.9
1952	554.6	221.5	1227.5	369.2	354.0	1986	614.5	279.0	541.6	485.2	449.1
1953	469.1	269.2	1088.0	312.1	346.9	1987	344.3	188.6	389.9	277.6	219.5
1954	613.6	491.7	1726.0	473.9	421.9	1988	546.6	249.4	315.6	411.5	464.0
1955	653.1	437.6	2142.0	416.8	476.3	1989	666.0	369.1	661.4	579.8	296.6
1956	419.8	251.8	1518.1	319.1	455.8	1990	940.0	412.1	1003.6	458.8	578.2
1957	609.3	299.1	2206.0	339.9	446.8	1991	638.2	162.4	292.9	503.4	333.1
1958	941.6	515.0	2268.0	688.6	644.4	1992	637.0	202.8	238.5	701.9	570.2
1959	912.7	493.8	2469.8	501.9	370.1	1993	621.4	143.5	1538.8	596.4	505.1
1960	570.1	272.6	2519.8	421.7	569.0	1994	551.6	574.9	1745.4	619.2	546.6
1961	697.0	398.0	432.2	561.9	550.9	1995	586.2	549.5	1523.9	397.8	383.4
1962	450.5	350.7	521.6	552.7	439.4	1996	532.1	203.0	1510.8	300.6	305.8
1963	547.3	147.7	821.1	461.4	471.3	1997	609.6	337.1	2200.0	423.3	411.1
1964	456.1	309.5	822.9	697.0	374.9	1998	367.5	335.0	1337.0	409.4	278.4
1965	525.8	170.2	1041.9	550.2	404.4	1999	389.0	301.0	1112.5	349.4	321.6
1966	573.7	240.9	941.1	772.8	416.1	2000	417.0	453.6	1760.3	612.3	531.6
1967	571.9	301.3	809.0	777.8	318.9	2001	489.7	282.0	1496.2	452.3	298.5
1968	624.3	177.4	1477.4	412.2	373.8	2002	515.5	150.0	1431.6	225.2	422.8
1969	462.3	305.2	798.0	625.8	393.9	2003	586.0	377.7	1646.6	369.4	414.4
1970	545.7	305.4	853.5	397.6	334.5	2004	751.4	273.3	2127.4	497.0	304.8
1971	507.1	380.5	930.0	381.8	457.4	2005	602.6	229.1	2017.9	462.7	288.1
1972	588.9	317.4	1684.9	407.8	248.3	2006	484.5	221.0	1506.5	377.0	569.9
1973	448.7	233.0	898.0	375.3	207.8	2007	711.2	220.4	2170.4	381.0	359.4
1974	787.8	367.6	2023.0	398.8	303.2	2008	901.5	263.2	728.9	640.0	413.4
1975	561.8	238.5	2020.5	407.5	269.8	2009	405.6	227.7	1057.9	336.4	185.6
1976	416.3	207.4	1122.0	498.0	278.1	2010	551.2	230.7	1126.2	580.0	264.4
1977	417.7	216.2	841.0	379.9	291.3	2011	747.0	291.9	958.3	314.6	445.1
1978	611.7	444.0	1175.3	694.8	325.1	2012	382.1	497.2	1042.6	472.7	355.7
1979	503.9	172.9	555.0	461.1	306.1	2013	404.9	294.9	917.9	408.9	405.9
1980	534.2	194.5	870.4	329.7	253.9	2014	427.5	470.3	825.2	696.0	431.6
1981	602.5	421.6	1039.3	454.7	291.7	2015	736.5	398.6	1216.4	513.0	607.9
1982	702.8	333.5	964.8	450.0	221.5	2016	368.9	194.6	731.3	317.3	298.6
<u>1983</u>	<u>800.7</u>	<u>754.9</u>	<u>1950.7</u>	<u>713.9</u>	<u>598.2</u>						

Tabla 5.2 Lámina de lluvia acumulada anual de las 25 estaciones analizadas del estado de Sonora (continuación).

Año	26180	26206	26297	26298	26403	Año	26180	26206	26297	26298	26403
1950	272.1	285.9	365.9	389.8	388.4	1984	678.4	539.2	691.2	372.2	433.6
1951	457.4	449.3	184.1	184.0	156.0	1985	462.9	193.2	262.2	243.7	230.6
1952	356.7	377.8	254.8	207.6	206.6	1986	468.0	282.2	358.4	237.5	264.6
1953	358.7	239.7	277.1	252.4	267.8	1987	229.4	333.2	320.8	144.3	266.9
1954	423.6	399.2	532.7	494.9	532.0	1988	632.6	308.0	343.1	224.0	210.9
1955	451.7	291.8	576.1	494.2	532.5	1989	370.8	367.0	427.3	491.2	437.1
1956	459.6	230.7	456.6	392.0	433.4	1990	824.8	392.8	521.8	450.7	380.0
1957	449.6	235.5	400.4	289.5	275.1	1991	441.4	282.8	442.3	424.0	476.1
1958	625.3	544.2	831.2	665.6	725.5	1992	750.9	254.6	509.0	441.5	534.2
1959	353.5	614.7	600.7	499.7	535.4	1993	431.7	567.3	270.3	162.5	184.2
1960	537.3	281.2	510.0	422.7	452.4	1994	577.1	228.9	608.4	332.5	340.7
1961	546.7	280.5	352.9	309.5	316.3	1995	317.5	410.0	398.7	278.5	237.7
1962	438.8	201.3	371.4	407.4	444.0	1996	335.7	281.3	419.5	406.3	391.5
1963	452.3	351.1	516.3	272.4	291.6	1997	372.6	475.2	368.5	399.5	387.5
1964	384.2	574.5	280.6	354.9	338.0	1998	320.4	434.0	469.3	246.5	191.2
1965	326.5	363.0	243.6	301.9	322.1	1999	391.9	445.5	412.6	192.7	215.2
1966	423.7	543.8	363.8	483.9	531.8	2000	594.5	389.6	518.8	221.5	145.2
1967	495.1	356.5	518.4	266.7	288.3	2001	431.2	420.1	345.5	371.4	247.7
1968	585.4	200.6	669.4	224.6	282.0	2002	261.2	392.3	331.1	213.7	186.3
1969	462.0	314.5	422.9	420.2	368.5	2003	392.9	436.4	330.0	259.8	202.7
1970	292.5	472.7	185.0	236.4	197.0	2004	351.6	394.1	430.4	537.7	383.5
1971	443.9	566.5	300.2	257.0	276.0	2005	308.8	388.1	364.0	305.2	379.3
1972	338.1	484.9	394.5	603.5	422.5	2006	434.9	250.3	332.0	237.6	256.1
1973	329.5	401.5	214.8	387.5	234.0	2007	358.3	270.6	489.2	323.1	205.7
1974	397.5	281.0	503.9	517.8	344.5	2008	358.0	148.0	428.2	291.3	349.7
1975	212.3	429.2	487.6	149.5	153.0	2009	368.8	146.6	541.0	559.5	437.2
1976	560.1	336.0	593.8	411.1	238.0	2010	386.1	296.0	205.5	247.8	188.2
1977	437.6	426.2	269.1	150.0	213.5	2011	540.0	388.4	271.5	233.5	261.0
1978	589.2	498.0	303.5	413.0	327.6	2012	426.0	309.8	530.6	585.8	562.5
1979	381.6	440.0	190.1	192.5	128.2	2013	350.5	318.6	569.7	497.0	449.7
1980	292.7	195.1	242.0	184.8	147.3	2014	409.4	447.7	478.5	320.0	302.7
1981	463.3	325.1	405.0	377.8	391.0	2015	461.7	266.9	571.5	241.0	335.0
1982	389.5	388.8	292.8	263.0	321.5	2016		239.8	169.0	291.5	205.7
1983	<u>691.6</u>	<u>681.3</u>	<u>644.9</u>	<u>542.0</u>	<u>482.5</u>						

5.2 Prueba de Anderson para determinar la Independencia de la serie de tiempo

Para cada una de las series analizadas, y con el empleo de la expresión (3.4) se pudieron construir sus correspondientes correlogramas, que se muestran en la Figura 5.2

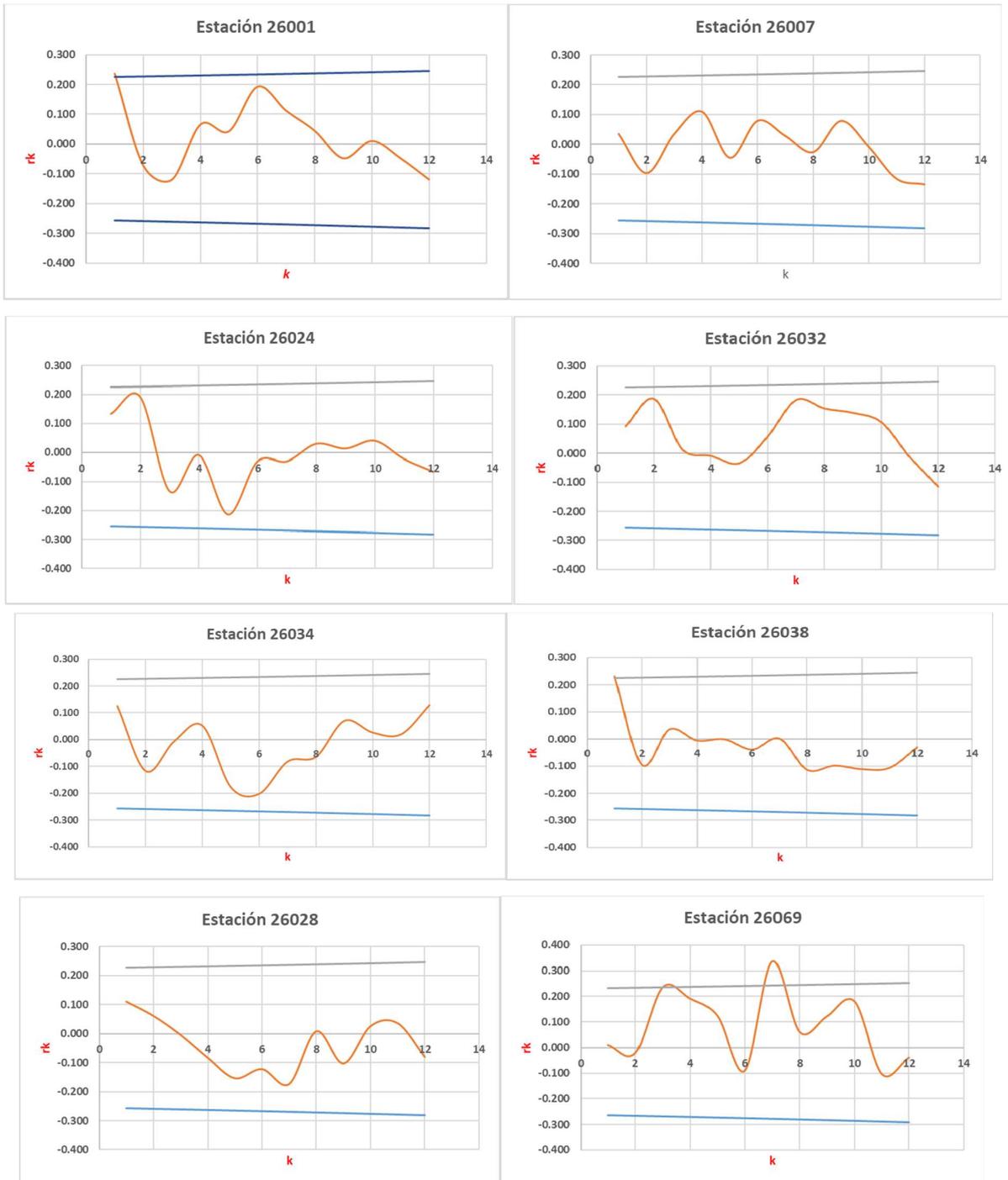


Figura 5.2 Correlogramas de las series de tiempo analizadas.

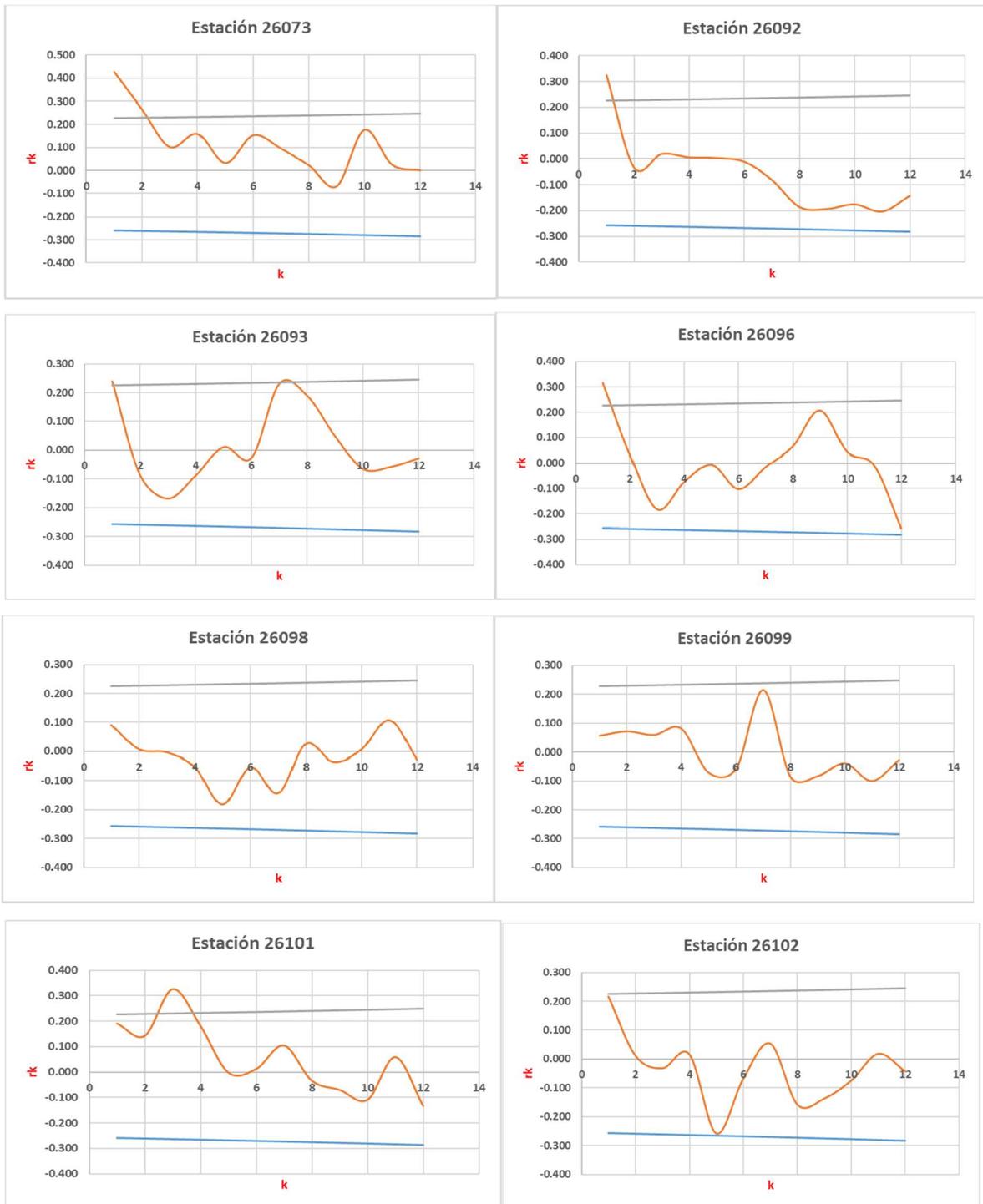


Figura 5.2 Correlogramas de las series de tiempo analizadas (Continuación).



Figura 5.2 Correlogramas de las series de tiempo analizadas (Continuación).

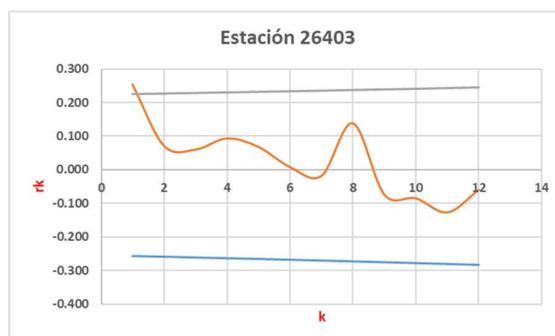


Figura 5.2 Correlogramas de las series de tiempo analizadas (Continuación).

Después del análisis de los resultados obtenidos por la prueba, se concluye que las muestras son independientes, con excepción del registro de la estación 26109 (Tabla 5.3), ya que presenta tres puntos por fuera de los límites de confianza establecidos. Así, esta serie de tiempo no se puede considerar formada por variables aleatorias.

Tabla 5.3 Resultados de la prueba de Anderson para determinar la independencia de las series.

m	Estación	Decisión	m	Estación	Decisión
1	26001	Serie independiente	14	26099	Serie independiente
2	26007	Serie independiente	15	26101	Serie independiente
3	26024	Serie independiente	16	26102	Serie independiente
4	26032	Serie independiente	17	26103	Serie independiente
5	26034	Serie independiente	18	26109	Serie dependiente
6	26038	Serie independiente	19	26115	Serie independiente
7	26068	Serie independiente	20	26139	Serie independiente
8	26069	Serie independiente	21	26180	Serie independiente
9	26073	Serie independiente	22	26206	Serie independiente
10	26092	Serie independiente	23	26297	Serie independiente
11	26093	Serie independiente	24	26298	Serie independiente
12	26096	Serie independiente	25	26403	Serie independiente
13	26098	Serie independiente			

5.3 Pruebas de Homogeneidad y Tendencia

Prueba de Pettitt

Al aplicar las expresiones (3.6) y (3.7), además de la Tabla 3.1, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Resultados de la prueba de Pettitt.

m	Estación	K_T	K_T crítico	Decisión	Año Cambio
1	26001	390	366	Hay un cambio abrupto en la serie	1994
2	26007	266	366	No hay cambio abrupto en la serie	
3	26024	268	366	No hay cambio abrupto en la serie	
4	26032	602	366	Hay un cambio abrupto en la serie	1980
5	26034	320	366	No hay cambio abrupto en la serie	
6	26038	280	366	No hay cambio abrupto en la serie	
7	26068	258	366	No hay cambio abrupto en la serie	
8	26069	403	341	Hay un cambio abrupto en la serie	1964
9	26073	441	358	Hay un cambio abrupto en la serie	1960
10	26092	244	366	No hay cambio abrupto en la serie	
11	26093	338	366	No hay cambio abrupto en la serie	
12	26096	344	366	No hay cambio abrupto en la serie	
13	26098	210	366	No hay cambio abrupto en la serie	
14	26099	278	358	No hay cambio abrupto en la serie	
15	26101	474	358	Hay un cambio abrupto en la serie	1995
16	26102	246	366	No hay cambio abrupto en la serie	
17	26103	206	366	No hay cambio abrupto en la serie	
18	26109	386	366	Hay un cambio abrupto en la serie	1960
19	26115	260	366	No hay cambio abrupto en la serie	
20	26139	322	366	No hay cambio abrupto en la serie	
21	26180	347	358	No hay cambio abrupto en la serie	
22	26206	298	366	No hay cambio abrupto en la serie	
23	26297	164	366	No hay cambio abrupto en la serie	
24	26298	248	366	No hay cambio abrupto en la serie	
25	26403	342	366	No hay cambio abrupto en la serie	

Con base en los resultados de esta prueba, se tienen 6 estaciones que presenta un cambio abrupto de la serie de tiempo, definido en el año mostrado en la última columna de la Tabla 5.4, sin embargo, se deberán confirmar o rechazar estos cambios, a partir de comparar los resultados con aquellos obtenidos con las otras pruebas disponibles.

Prueba Normal Estándar

Al aplicar las expresiones (3.8) a (3.13), además de la Tabla 3.2, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados de la prueba Normal Estándar.

m	Estación	T(k)	Tcrítico	Decisión	Año Cambio
1	26001	6.303	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
2	26007	3.397	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
3	26024	4.109	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
4	26032	12.759	8.763	Hay un cambio brusco en la serie	1980
5	26034	2.220	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
6	26038	4.060	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
7	26068	8.591	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
8	26069	9.885	8.708	Hay un cambio brusco en la serie	1963
9	26073	24.909	8.745	Hay un cambio brusco en la serie	1958
10	26092	2.022	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
11	26093	8.216	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
12	26096	14.103	8.763	Hay un cambio brusco en la serie	1952
13	26098	5.107	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
14	26099	3.329	8.745	No hay cambio brusco en la serie	
15	26101	10.761	8.745	Hay un cambio brusco en la serie	1995
16	26102	3.185	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
17	26103	1.813	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
18	26109	11.171	8.763	Hay un cambio brusco en la serie	1960
19	26115	5.641	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
20	26139	4.710	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
21	26180	4.457	8.745	No hay cambio brusco en la serie	
22	26206	6.685	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
23	26297	4.263	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
24	26298	2.732	8.763	No hay cambio brusco en la serie	
25	26403	7.351	8.763	No hay cambio brusco en la serie	

Con base en los resultados de esta prueba, nuevamente se tienen 6 estaciones que presentan un cambio abrupto de la serie de tiempo, definido en el año mostrado en la última columna de la Tabla 5.5, sin embargo, al igual que la prueba anterior, se deberán confirmar o rechazar los hallazgos, a partir de comparar los resultados de las otras pruebas disponibles.

Prueba de Buishand

Al aplicar las expresiones (3.14) a (3.17), además de la Tabla 3.3, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Resultados de la prueba de Buishand.

m	Estación	Q	Qcrítico	Decisión	Año Cambio
1	26001	1.179	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
2	26007	0.786	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
3	26024	0.855	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
4	26032	-0.034	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
5	26034	0.590	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
6	26038	0.829	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
7	26068	0.400	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
8	26069	0.480	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
9	26073	1.713	1.280	Hay un cambio brusco en la serie	1954
10	26092	0.619	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
11	26093	1.186	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
12	26096	0.980	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
13	26098	0.660	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
14	26099	0.813	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
15	26101	1.508	1.280	Hay un cambio brusco en la serie	1954
16	26102	0.621	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
17	26103	0.532	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
18	26109	1.238	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
19	26115	0.805	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
20	26139	0.914	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
21	26180	0.983	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
22	26206	0.958	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
23	26297	0.459	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
24	26298	0.799	1.280	No hay cambio brusco en la serie	
25	26403	1.180	1.280	No hay cambio brusco en la serie	

En comparación con las dos pruebas anteriores, esta opción solo identificó 2 estaciones que presentan un cambio abrupto de la serie de tiempo, definido en el año mostrado en la última columna de la Tabla 5.6.

Prueba de Von Newman

Al aplicar las expresiones (3.14) a (3.17), además de la Tabla 3.5, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Resultados de la prueba de Von Newman.

m	Estación	N	Ncrítico	Decisión	Año Cambio
1	26001	0.639	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
2	26007	0.513	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
3	26024	0.532	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
4	26032	0.512	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
5	26034	0.559	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
6	26038	0.660	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
7	26068	0.564	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
8	26069	0.480	1.585	No hay cambio brusco en la serie	
9	26073	0.864	1.592	No hay cambio brusco en la serie	
10	26092	0.730	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
11	26093	0.645	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
12	26096	0.745	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
13	26098	0.552	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
14	26099	0.440	1.592	No hay cambio brusco en la serie	
15	26101	0.576	1.592	No hay cambio brusco en la serie	
16	26102	0.616	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
17	26103	0.566	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
18	26109	1.014	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
19	26115	0.594	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
20	26139	0.535	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
21	26180	0.460	1.592	No hay cambio brusco en la serie	
22	26206	0.616	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
23	26297	0.633	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
24	26298	0.499	1.596	No hay cambio brusco en la serie	
25	26403	0.654	1.596	No hay cambio brusco en la serie	

Como se observa en la Tabla 5.7, la prueba de Von Newman no pudo detectar ningún cambio abrupto en las series de tiempo analizadas.

Prueba de Helmert

A través de la expresión (3.19) se determinó la homogeneidad o no homogeneidad de las series de tiempo, los resultados se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8 Resultados de la prueba de Helmert.

m	Estación	S-C	Limites	Decisión
1	26001	8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
2	26007	10.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
3	26024	6.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
4	26032	8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
5	26034	8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
6	26038	-2.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
7	26068	2.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
8	26069	15.000	7.937	Hay un cambio brusco en la serie
9	26073	15.000	8.062	Hay un cambio brusco en la serie
10	26092	14.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
11	26093	8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
12	26096	12.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
13	26098	-8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
14	26099	7.000	8.062	No hay cambio brusco en la serie
15	26101	-1.000	8.062	No hay cambio brusco en la serie
16	26102	2.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
17	26103	10.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
18	26109	38.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
19	26115	6.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
20	26139	-6.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
21	26180	11.000	8.062	Hay un cambio brusco en la serie
22	26206	6.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
23	26297	14.000	8.124	Hay un cambio brusco en la serie
24	26298	-4.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie
25	26403	-8.000	8.124	No hay cambio brusco en la serie

Esta prueba considera que existen 9 estaciones con registros con cambios bruscos que la hacen no homogénea, y que, a diferencia de las anteriores, no se define el año en que se da este cambio.

Prueba de t de Student

A través de la expresión (3.20) se determinó la homogeneidad o no homogeneidad de las series de tiempo, los resultados se muestran en la Tabla 5.9.

Tabla 5.9 Resultados de la prueba de t de Student.

m	Estación	td	tcritico	Decisión
1	26001	0.455	1.980	No hay cambio brusco en la serie
2	26007	-1.217	1.980	No hay cambio brusco en la serie
3	26024	0.844	1.980	No hay cambio brusco en la serie
4	26032	-4.306	1.980	Hay un cambio brusco en la serie
5	26034	-1.080	1.980	No hay cambio brusco en la serie
6	26038	-0.167	1.980	No hay cambio brusco en la serie
7	26068	0.407	1.980	No hay cambio brusco en la serie
8	26069	-1.144	1.980	No hay cambio brusco en la serie
9	26073	0.626	1.980	No hay cambio brusco en la serie
10	26092	-1.011	1.980	No hay cambio brusco en la serie
11	26093	0.900	1.980	No hay cambio brusco en la serie
12	26096	0.139	1.980	No hay cambio brusco en la serie
13	26098	-0.606	1.980	No hay cambio brusco en la serie
14	26099	-0.913	1.980	No hay cambio brusco en la serie
15	26101	0.144	1.980	No hay cambio brusco en la serie
16	26102	-0.463	1.980	No hay cambio brusco en la serie
17	26103	-0.651	1.980	No hay cambio brusco en la serie
18	26109	0.680	1.980	No hay cambio brusco en la serie
19	26115	-0.016	1.980	No hay cambio brusco en la serie
20	26139	-1.552	1.980	No hay cambio brusco en la serie
21	26180	-0.789	1.980	No hay cambio brusco en la serie
22	26206	1.109	1.980	No hay cambio brusco en la serie
23	26297	-1.166	1.980	No hay cambio brusco en la serie
24	26298	0.678	1.980	No hay cambio brusco en la serie
25	26403	0.953	1.980	No hay cambio brusco en la serie

Con esta prueba solo se detectó una serie de tiempo que se considera como No Homogénea.

Prueba de Mann-Kendall

Considerando las expresiones (3.21) a (3.27), además de un nivel de confianza del 95%, donde el valor de la $Z_{crítica}$ es igual a 1.96, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10 Resultados de la prueba de Mann-Kendall.

m	Estación	Zmk	Zcrítico	Decisión
1	26001	1.629	1.960	Sin tendencia significativa
2	26007	0.070	1.960	Sin tendencia significativa
3	26024	1.191	1.960	Sin tendencia significativa
4	26032	3.204	1.960	Con tendencia significativa
5	26034	1.126	1.960	Sin tendencia significativa
6	26038	0.449	1.960	Sin tendencia significativa
7	26068	0.092	1.960	Sin tendencia significativa
8	26069	1.269	1.960	Sin tendencia significativa
9	26073	0.985	1.960	Sin tendencia significativa
10	26092	0.541	1.960	Sin tendencia significativa
11	26093	1.212	1.960	Sin tendencia significativa
12	26096	1.531	1.960	Sin tendencia significativa
13	26098	0.114	1.960	Sin tendencia significativa
14	26099	0.874	1.960	Sin tendencia significativa
15	26101	1.400	1.960	Sin tendencia significativa
16	26102	0.465	1.960	Sin tendencia significativa
17	26103	0.455	1.960	Sin tendencia significativa
18	26109	0.476	1.960	Sin tendencia significativa
19	26115	0.108	1.960	Sin tendencia significativa
20	26139	0.725	1.960	Sin tendencia significativa
21	26180	0.675	1.960	Sin tendencia significativa
22	26206	0.942	1.960	Sin tendencia significativa
23	26297	0.487	1.960	Sin tendencia significativa
24	26298	0.736	1.960	Sin tendencia significativa
25	26403	1.429	1.960	Sin tendencia significativa

De acuerdo con esta prueba, solo el registro de lluvias acumuladas anuales presenta una tendencia significativa desde el punto de vista estadístico, por lo que se podría considerar que la serie es No estacionaria.

Prueba de Spearman

Considerando las expresiones (3.28) a (3.29), además de un nivel de confianza del 95%, donde el valor de la *t* crítica es aquella de la distribución *t* de Student de dos colas con $v = N - 2$ grados de libertad, y $\alpha = 0.05$, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11 Resultados de la prueba de Spearman.

m	Estación	rho	td	tcrítico	Decisión
1	26001	-0.2012	1.656	1.990	Sin tendencia significativa
2	26007	-0.0040	0.032	1.990	Sin tendencia significativa
3	26024	-0.1338	1.088	1.990	Sin tendencia significativa
4	26032	0.4104	3.628	1.990	Con tendencia significativa
5	26034	0.1308	1.064	1.990	Sin tendencia significativa
6	26038	-0.0450	0.363	1.990	Sin tendencia significativa
7	26068	0.0374	0.302	1.990	Sin tendencia significativa
8	26069	0.1469	1.170	1.990	Sin tendencia significativa
9	26073	-0.1364	1.101	1.990	Sin tendencia significativa
10	26092	0.0620	0.501	1.990	Sin tendencia significativa
11	26093	-0.1445	1.177	1.990	Sin tendencia significativa
12	26096	-0.1792	1.469	1.990	Sin tendencia significativa
13	26098	-0.0360	0.291	1.990	Sin tendencia significativa
14	26099	-0.1062	0.854	1.990	Sin tendencia significativa
15	26101	-0.1854	1.510	1.990	Sin tendencia significativa
16	26102	-0.0658	0.532	1.990	Sin tendencia significativa
17	26103	-0.0635	0.513	1.990	Sin tendencia significativa
18	26109	-0.0590	0.477	1.990	Sin tendencia significativa
19	26115	-0.0169	0.136	1.990	Sin tendencia significativa
20	26139	-0.0770	0.623	1.990	Sin tendencia significativa
21	26180	-0.1049	0.843	1.990	Sin tendencia significativa
22	26206	-0.0966	0.782	1.990	Sin tendencia significativa
23	26297	0.0389	0.314	1.990	Sin tendencia significativa
24	26298	-0.0794	0.642	1.990	Sin tendencia significativa
25	26403	-0.1722	1.409	1.990	Sin tendencia significativa

De acuerdo con esta prueba, se confirma que el registro de lluvias acumuladas anuales de la estación 26032 presenta una tendencia significativa desde el punto de vista estadístico, por lo que se afirma que la serie es No estacionaria.

Como ya se había mencionado en el subcapítulo 3.2, una serie de tiempo para considerarse como estacionaria, no deberá presentar cambios abruptos o tendencias estadísticamente significativas, por lo que después de realizar las pruebas correspondientes, cuyo resumen se muestra en la Tabla 5.12, se concluye que solo 20 de las 25 series de lluvia acumulada anual analizadas, se pueden considerar como estacionarias, condición necesaria para llevar a cabo el análisis de frecuencias de eventos extremos mínimos y la generación y pronóstico estocástico (Figura 5.3).

Tabla 5.12 Decisión final sobre si una serie es o no estacionaria.

m	Estación	¿Independiente?	¿Hay un punto de quiebre?							¿Hay Tendencia?		La Series es
			Prueba							Prueba		
			1	2	3	4	5	6	#	7	8	
1	26001	Si	Si						1			Estacionaria
2	26007	Si				Si			1			Estacionaria
3	26024	Si										Estacionaria
4	26032	No	Si	Si				Si	3	Si	Si	No Estacionaria
5	26034	Si										Estacionaria
6	26038	Si										Estacionaria
7	26068	Si										Estacionaria
8	26069	Si	Si	Si		Si			3			No Estacionaria
9	26073	Si	Si	Si	Si	Si			4			No Estacionaria
10	26092	Si				Si			1			Estacionaria
11	26093	Si										Estacionaria
12	26096	Si		Si		Si			2			Estacionaria
13	26098	Si										Estacionaria
14	26099	Si										Estacionaria
15	26101	Si	Si	Si	Si				3			No Estacionaria
16	26102	Si										Estacionaria
17	26103	Si				Si			1			Estacionaria
18	26109	Si	Si	Si		Si			3			No Estacionaria
19	26115	Si										Estacionaria
20	26139	Si										Estacionaria
21	26180	Si				Si			1			Estacionaria
22	26206	Si										Estacionaria
23	26297	Si				Si			1			Estacionaria
24	26298	Si										Estacionaria
25	26403	Si										Estacionaria

Pruebas: (1) Pettitt, (2) Normal Estándar, (3) Buishand, (4) Von Newman, (5) Helmert, (6) *t* de Student, (7) Mann-Kendall y (8) Spearman, además, # es el número de veces que la prueba es afirmativa.

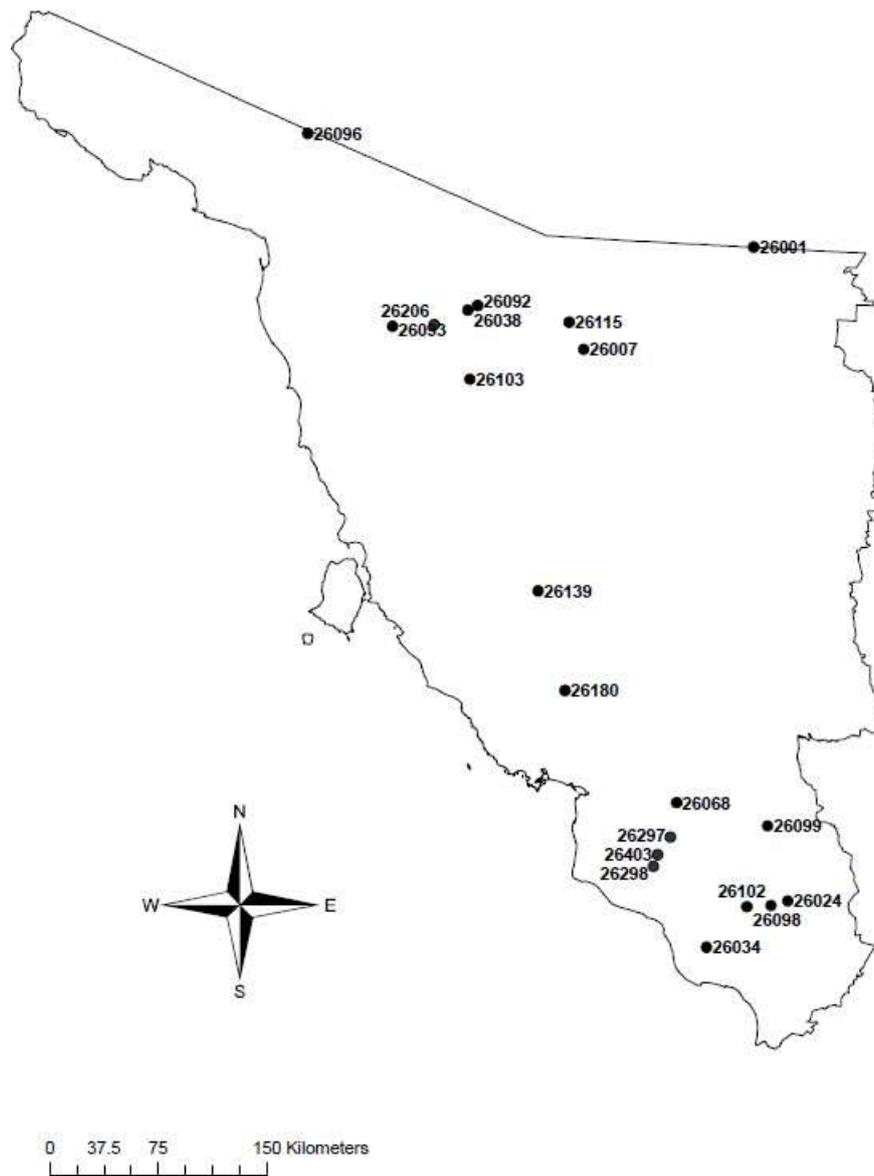


Figura 5.3 Ubicación de las estaciones cuyas láminas de lluvia anual se consideran como estacionarias.

5.4 Características estadísticas de las series de lluvia

A partir de aquí, solo se considerarán aquellos registros que resultaron ser estacionarios, por lo que de acuerdo con las expresiones (3.35) a (3.40) se obtuvieron las características estadísticas (Tabla 5.13).

Tabla 5.13 Estadísticos muestrales de las series estacionarias.

Estadístico	26001	26007	26024	26034	26038	26068	26092	26093	26096	26098
Media	374.1	537.4	559.4	395.1	397.7	413.2	394.8	269.8	231.5	494.2
S	104.6	159.2	146.9	158.4	159.0	125.3	163.2	93.5	84.8	140.7
g	0.88	1.37	0.83	1.13	1.61	0.53	2.17	1.66	0.95	0.78
K	4.54	5.89	3.74	3.88	6.82	3.34	10.03	6.84	4.07	4.22
Cv	0.28	0.30	0.26	0.40	0.40	0.30	0.41	0.35	0.37	0.28
Max	753.1	1173.3	967.7	817.4	1033.5	786.1	1140.6	632.5	486.3	971.8
Min	187.4	313.9	296.3	150.2	175.6	186.8	186.6	126.5	97.4	232.8
Rango	565.7	859.4	671.4	667.2	857.9	599.3	954.0	506.0	388.9	739.0
Estadístico	26099	26102	26103	26115	26139	26180	26206	26297	26298	26403
Media	736.7	576.8	313.3	473.2	389.1	435.1	363.6	410.2	340.4	326.0
S	171.0	146.9	119.2	132.7	110.2	120.9	116.9	139.6	126.4	124.9
g	0.57	0.88	1.08	0.60	0.35	0.96	0.42	0.43	0.50	0.67
K	3.25	3.54	4.66	2.60	2.40	4.16	2.82	3.01	2.42	3.21
Cv	0.23	0.25	0.38	0.28	0.28	0.28	0.32	0.34	0.37	0.38
Max	1163.6	956.1	754.9	777.8	644.4	824.8	681.3	831.2	665.6	725.5
Min	387.8	344.3	143.5	225.2	185.6	212.3	146.6	169.0	144.3	128.2
Rango	775.8	611.8	611.4	552.6	458.8	612.5	534.7	662.2	521.3	597.3

5.5 Aplicación del Análisis de Frecuencias

A continuación, se presentarán los resultados de los ajustes de las diferentes distribuciones de probabilidad, mostrando en las diferentes tablas, sus parámetros, el error estándar de ajuste y los eventos asociados a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

Distribución Gumbel

Considerando la función de densidad (4.2) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel (G).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	415.393	88.251		43.281	383.0	283.0	216.8	153.3	71.0	9.4
26007	603.435	128.790		79.465	556.2	410.3	313.6	220.9	100.9	11.0
26024	620.943	116.556		58.697	578.2	446.1	358.6	274.7	166.1	84.8
26034	464.095	122.952		77.116	419.0	279.7	187.4	98.9	-15.7	-101.5
26038	466.897	123.388		83.131	421.7	281.8	189.2	100.4	-14.6	-100.7
26068	467.274	97.245		42.147	431.6	321.4	248.4	178.4	87.8	19.9
26092	465.919	126.654		97.102	419.5	275.9	180.9	89.7	-28.3	-116.7
26093	310.334	72.558		50.054	283.7	201.5	147.1	94.8	27.2	-23.4
26096	265.344	73.320		38.111	238.5	155.4	100.3	47.6	-20.7	-71.9
26098	552.262	113.866		53.071	510.5	381.5	296.0	214.1	108.0	28.5
26099	803.661	142.204		61.356	751.5	590.4	483.6	381.3	248.8	149.5
26102	639.671	114.024		62.418	597.9	468.6	383.1	301.0	194.8	115.1
26103	358.990	103.219		57.456	321.2	204.2	126.7	52.4	-43.8	-115.8
26115	534.743	133.539		64.262	485.8	334.4	234.2	138.1	13.7	-79.6
26139	451.936	107.341		42.641	412.6	290.9	210.4	133.1	33.1	-41.8
26180	483.877	100.000		52.400	447.2	333.9	258.8	186.9	93.7	23.9
26206	409.874	105.392		42.456	371.2	251.8	172.7	96.8	-1.4	-74.9
26297	463.814	119.374		48.200	420.1	284.8	195.2	109.3	-2.0	-85.3
26298	393.626	117.392		54.072	350.6	217.5	129.5	44.9	-64.4	-146.4
26403	376.556	112.334		53.460	335.4	208.1	123.8	42.9	-61.8	-140.2

Un problema que tiene el ajuste a los valores extremos mínimos con la distribución Gumbel, es que predice, más que otras distribuciones, valores negativos para periodos de retorno pequeños, y lo que se busca es reproducir el fenómeno físico del proceso de lluvia acumuladas anual, esto es, $\hat{h} \rightarrow 0$ conforme $T \rightarrow \infty$. Es así, que solo se seguirán considerando aquellos ajustes proporcionados por la distribución G, de las estaciones que **No** están sombreadas de la Tabla 5.14.

Distribución Weibull (W3)

Considerando la función de densidad (4.4) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull con tres parámetros (W3).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	160.408	393.045	2.418	26.469	360.3	285.5	252.1	228.5	206.7	195.1
26007	304.517	546.027	1.674	46.930	498.5	403.1	367.5	345.5	328.0	320.0
26024	272.566	581.628	2.253	35.093	535.2	431.4	386.4	355.3	327.2	312.7
26034	142.416	408.056	1.793	43.864	359.0	257.5	218.2	193.1	172.6	162.8
26038	160.509	399.968	1.896	65.072	357.9	269.1	233.6	210.5	191.1	181.7
26068	154.812	438.693	2.338	22.140	397.5	304.3	263.2	234.5	208.3	194.5
26092	174.919	393.257	1.818	79.377	353.4	270.6	238.3	217.5	200.5	192.3
26093	118.021	274.056	2.134	39.625	249.4	195.3	172.4	156.8	143.1	136.1
26096	86.329	244.113	1.862	16.942	215.9	156.8	133.5	118.3	105.7	99.7
26098	185.637	520.357	2.625	35.618	476.7	374.6	327.6	293.6	261.3	243.6
26099	355.207	774.578	2.546	33.867	718.4	587.9	528.5	485.8	445.8	424.1
26102	334.204	594.865	1.779	30.619	546.3	446.4	407.8	383.3	363.3	353.8
26103	135.893	323.551	1.609	25.206	285.3	209.8	182.2	165.5	152.5	146.6
26115	211.746	502.695	2.144	22.220	457.0	356.3	313.6	284.5	258.9	245.8
26139	165.506	415.670	2.197	12.772	377.2	291.9	255.3	230.2	207.9	196.3
26180	193.456	454.215	2.334	32.464	416.3	330.6	292.9	266.5	242.5	229.8
26206	115.397	391.486	2.348	15.310	351.6	261.2	221.3	193.3	167.8	154.3
26297	129.993	439.416	2.244	21.406	392.8	288.6	243.5	212.3	184.4	169.8
26298	132.299	360.212	1.693	17.578	315.8	226.3	192.6	171.7	155.0	147.4
26403	117.670	344.507	1.778	20.717	302.3	215.3	181.7	160.4	142.9	134.7

Distribución LogNormal-3

Considerando la función de densidad (4.5) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Log Normal con tres parámetros (LN3).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	-13.484	0.245	5.915	21.839	357.2	288.3	257.5	234.4	210.8	196.4
26007	180.024	0.387	5.759	42.553	497.2	409.0	373.1	347.7	323.2	308.8
26024	20.985	0.244	6.240	31.204	533.8	438.6	396.1	364.2	331.6	311.7
26034	-15.402	0.328	5.920	46.954	357.0	267.1	229.1	201.5	174.3	158.0
26038	-2.124	0.315	5.886	58.806	357.9	274.2	238.5	212.5	186.6	171.1
26068	-302.786	0.162	6.552	20.816	398.1	308.7	266.6	234.0	199.5	177.8
26092	25.509	0.319	5.792	76.217	353.2	276.0	243.2	219.4	195.7	181.5
26093	48.739	0.339	5.292	32.827	247.6	198.3	177.6	162.6	147.9	139.2
26096	-44.888	0.281	5.566	16.450	216.4	161.4	137.4	119.7	101.8	91.0
26098	-114.021	0.206	6.376	30.292	473.7	380.3	337.5	305.0	271.2	250.2
26099	-179.536	0.168	6.798	33.752	716.1	597.9	542.4	499.6	454.5	426.1
26102	175.455	0.339	5.912	30.308	544.9	453.2	414.7	386.9	359.5	343.3
26103	-13.458	0.327	5.709	26.018	288.1	215.6	184.9	162.7	140.6	127.5
26115	-16.458	0.255	6.151	24.224	452.9	362.2	321.9	291.9	261.4	242.7
26139	-547.027	0.113	6.833	14.888	381.0	296.8	255.8	223.5	188.7	166.4
26180	15.702	0.254	5.988	28.245	414.3	337.5	303.5	278.1	252.2	236.3
26206	-471.157	0.132	6.714	16.433	352.8	266.0	224.3	191.7	156.8	134.5
26297	-568.202	0.133	6.871	21.883	395.9	293.7	244.7	206.2	165.2	139.1
26298	-205.183	0.221	6.269	20.368	322.9	233.3	192.7	162.0	130.2	110.6
26403	-72.245	0.298	5.928	21.165	303.2	219.9	184.0	157.7	131.3	115.4

Distribución Gamma con tres parámetros (G3)

Considerando la función de densidad (4.6) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gamma con tres parámetros (G3).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	51.889	27.188	11.615	23.924	358.7	288.4	256.3	232.2	207.3	192.1
26007	280.674	78.088	3.084	42.574	496.4	405.9	370.8	347.3	326.2	315.0
26024	197.167	49.246	7.160	30.132	533.6	437.2	395.0	364.2	333.5	315.3
26034	119.879	71.011	3.659	43.049	356.8	264.7	227.9	202.7	179.4	166.5
26038	110.640	55.277	4.793	59.778	357.6	272.6	237.2	212.2	188.2	174.6
26068	-57.277	29.049	15.998	20.555	397.8	308.1	266.2	234.2	200.7	179.9
26092	134.363	54.135	4.354	76.162	352.5	274.1	241.9	219.3	198.0	186.0
26093	90.746	29.471	5.671	36.188	248.2	198.0	176.6	161.3	146.3	137.6
26096	50.112	35.086	5.047	15.603	215.7	160.1	136.7	120.1	104.1	95.0
26098	-1.349	31.317	15.540	31.929	474.9	379.7	335.4	301.5	266.1	244.2
26099	166.509	42.609	13.218	32.568	715.6	597.2	542.6	501.2	458.4	432.0
26102	296.559	69.400	3.897	29.362	544.5	450.9	413.0	386.8	362.5	348.9
26103	119.083	66.733	2.789	22.121	283.8	211.6	184.1	166.0	150.1	141.8
26115	173.560	54.359	5.440	23.145	451.5	361.2	322.9	295.6	269.0	253.7
26139	-212.231	18.420	32.515	15.301	380.6	297.1	256.7	225.0	191.1	169.5
26180	110.762	34.867	9.060	29.830	415.2	336.9	301.9	275.9	249.6	233.7
26206	-183.917	22.238	24.460	16.601	352.6	266.1	224.7	192.6	158.5	136.9
26297	-226.738	26.682	23.655	22.007	395.6	293.5	244.9	207.1	167.1	141.8
26298	-147.172	29.242	16.517	21.606	326.1	234.2	191.2	158.2	123.8	102.4
26403	-41.040	36.787	9.802	23.340	307.4	221.0	182.1	153.1	123.6	105.6

Gumbel Exponenciada (GE)

Considerando la función de densidad (4.8) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Exponenciada (GE).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	362.070	107.444	1.535	15.502	360.7	287.6	254.8	230.1	204.4	188.5
26007	411.650	74.767	0.512	21.538	501.9	408.7	372.8	347.7	323.5	309.1
26024	522.097	137.319	1.306	17.868	538.5	437.5	393.2	360.0	325.8	304.7
26034	275.336	79.055	0.555	24.711	361.0	267.4	230.8	205.2	180.2	165.3
26038	284.382	80.028	0.584	28.198	365.2	273.4	237.3	211.8	186.9	172.0
26068	450.187	163.687	2.308	13.730	401.2	308.0	264.5	230.9	195.4	173.0
26092	272.073	64.855	0.467	43.496	360.3	274.2	241.6	219.1	197.4	184.7
26093	205.423	47.489	0.603	18.042	251.2	197.8	176.7	161.8	147.1	138.4
26096	196.954	69.154	1.065	10.715	218.0	161.7	137.5	119.7	101.5	90.4
26098	512.764	167.488	1.988	19.671	479.1	377.5	330.8	295.0	257.4	233.8
26099	788.658	223.605	2.332	22.529	720.2	593.5	534.3	488.5	440.1	409.6
26102	495.045	104.715	0.858	21.604	550.2	454.4	414.5	385.5	356.3	338.6
26103	219.280	60.630	0.545	13.465	286.7	214.0	185.7	165.9	146.6	135.2
26115	422.545	114.741	1.118	21.213	452.2	361.0	321.7	292.5	262.8	244.6
26139	416.635	142.307	2.209	13.083	378.0	295.5	257.2	227.6	196.4	176.8
26180	402.428	110.078	1.275	17.612	417.9	335.9	300.1	273.2	245.7	228.7
26206	405.107	157.708	2.431	11.663	352.7	264.8	223.6	191.7	157.9	136.5
26297	462.710	189.940	2.475	15.033	397.5	292.4	243.1	204.8	164.3	138.6
26298	263.364	90.546	0.817	20.552	316.1	230.9	195.7	170.2	144.6	129.1
26403	256.485	92.686	0.876	17.798	303.2	219.4	184.4	158.9	133.2	117.6

Weibull Exponenciada (WE)

Considerando la función de densidad (4.10) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull Exponenciada (WE).

Estación	Parámetros			EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU	PE	PF		2	5	10	20	50	100
26001	169.733	1.418	12.400	15.70	360.7	287.0	254.4	230.0	205.0	189.7
26007	58.089	0.785	165.283	24.86	507.5	410.5	370.7	342.2	313.8	296.7
26024	207.443	1.299	21.593	18.20	538.8	437.2	392.8	359.7	325.8	305.0
26034	64.617	0.788	33.874	26.50	363.0	268.1	230.1	203.4	177.2	161.9
26038	56.260	0.763	44.767	28.66	366.2	273.7	236.7	210.6	185.1	170.0
26068	282.191	1.831	4.307	14.10	401.4	306.8	263.4	230.6	196.6	175.8
26092	26.041	0.635	139.577	44.50	361.4	275.6	241.8	218.1	195.0	181.5
26093	22.187	0.699	162.027	18.04	251.4	198.0	176.5	161.2	146.2	137.3
26096	95.234	1.175	9.468	11.07	218.3	161.2	137.0	119.4	102.0	91.5
26098	282.419	1.644	7.163	19.97	478.9	376.3	329.9	294.9	258.7	236.3
26099	436.212	1.884	8.739	22.76	720.4	592.8	533.7	488.4	440.6	410.7
26102	142.139	1.085	54.416	22.36	553.1	455.0	413.1	382.3	351.1	332.0
26103	70.654	0.889	22.942	14.56	290.5	215.2	184.6	162.8	141.4	128.7
26115	175.290	1.254	18.314	20.76	453.6	361.2	321.1	291.4	261.2	242.7
26139	291.889	2.101	3.622	12.31	380.7	295.4	255.2	224.3	192.0	172.0
26180	158.445	1.259	20.270	17.86	418.0	335.5	299.7	273.1	246.0	229.4
26206	276.361	1.953	3.135	11.65	353.5	263.7	222.3	190.9	158.7	139.1
26297	324.666	1.957	2.718	14.95	398.2	290.7	241.4	204.3	166.5	143.8
26298	169.285	1.281	6.372	17.40	321.2	232.2	194.3	166.7	139.3	123.0
26403	188.110	1.395	4.761	16.77	309.0	220.6	182.5	154.7	127.2	110.9

Gumbel Mixta (GG)

Considerando la función de densidad (4.13) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Mixta (GG).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	<i>p</i>		2	5	10	20	50	100
26001	341.75	41.33		453.22	85.79		0.43	28.9	359.5	294.4	252.9	210.1	147.8	96.2
26007	506.18	97.62		698.20	129.33		0.66	62.7	510.3	387.9	310.4	236.6	140.6	68.4
26024	509.35	56.13		660.70	115.17		0.50	45.4	525.5	442.3	388.8	334.0	254.8	189.8
26034	355.91	65.92		634.42	146.82		0.72	27.1	357.0	272.4	218.2	165.0	92.3	34.1
26038	377.45	64.90		498.47	114.58		0.64	74.8	374.9	289.7	233.5	177.6	101.5	39.6
26068	428.68	86.29		579.69	116.53		0.82	29.5	412.3	309.9	243.2	179.2	96.2	33.2
26092	377.39	60.98		516.62	128.18		0.71	81.7	370.6	291.4	238.1	184.0	107.2	43.3
26093	243.74	35.73		335.60	69.69		0.62	41.7	246.2	198.1	166.7	135.4	91.7	55.7
26096	284.80	86.72		238.93	68.75		0.32	41.2	223.7	140.5	85.7	32.6	-36.5	-88.5
26098	509.22	101.42		740.16	142.89		0.86	33.8	488.6	368.9	291.1	216.4	119.8	46.0
26099	722.49	104.15		981.88	156.44		0.76	28.3	715.5	587.6	505.7	427.2	324.3	246.3
26102	560.53	72.33		810.50	138.82		0.77	25.5	555.8	465.8	408.0	351.7	277.1	217.8
26103	297.44	56.66		416.75	108.87		0.55	36.9	303.2	223.4	170.4	116.8	40.9	-21.9
26115	432.39	99.85		577.05	140.12		0.33	57.4	469.5	326.9	237.0	150.1	35.2	-53.1
26139	545.34	72.69		380.47	67.45		0.28	17.4	383.9	300.4	248.4	199.0	135.6	88.4
26180	413.43	50.70		592.17	86.67		0.75	30.1	412.7	349.6	309.5	271.1	220.6	182.6
26206	509.62	104.94		366.10	72.08		0.28	21.8	361.4	272.4	215.1	159.9	88.1	32.6
26297	376.36	105.45		476.66	118.75		0.14	46.9	418.0	283.2	195.8	112.4	3.9	-77.4
26298	471.57	102.41		306.63	89.52		0.44	38.9	329.1	213.6	142.9	76.2	-10.2	-74.8
26403	442.88	92.37		287.07	80.21		0.46	38.0	312.4	207.1	143.4	83.4	6.3	-50.9

De forma similar al caso de su versión unimodal, la distribución Gumbel Mixta predice valores negativos para periodos de retorno pequeños, por lo que solo se seguirán considerando aquellos ajustes proporcionados por la distribución GG, de las estaciones que **No** están sombreadas de la Tabla 5.20.

Otra condición que deberá respetarse, adicional a la de no valores negativos de los eventos de diseño, será aquella en que el parámetro de asociación de la mezcla, “*p*”, siempre se ubicará en el intervalo (0,1), de lo contrario, también debe rechazarse el ajuste.

Mezcla Gumbel-Weibull (GW3)

Considerando la función de densidad (4.15) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Gumbel-Weibull (GW3).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	<i>p</i>		2	5	10	20	50	100
26001	320.04	32.39		-0.10	438.19	5.10	0.35	27.51	349.5	292.4	262.1	234.1	199.3	174.8
26007	461.37	51.10		25.17	626.99	4.70	0.41	55.07	493.4	412.6	367.4	325.9	275.5	240.0
26024	495.96	50.66		-0.10	627.33	5.31	0.34	45.63	526.0	443.9	396.5	352.9	300.0	263.6
26034	341.88	56.48		21.75	527.03	3.00	0.55	29.69	353.9	275.7	229.3	187.3	137.8	103.7
26038	322.38	45.55		0.08	436.76	3.84	0.25	74.60	357.2	277.9	234.7	197.0	154.7	127.5
26068	496.20	13.52		3.47	427.17	3.72	0.16	36.10	415.8	302.1	246.6	203.6	159.1	132.5
26092	352.96	55.51		47.52	466.37	3.40	0.52	80.69	359.8	285.9	242.0	203.0	157.1	124.9
26093	217.85	19.92		5.71	299.25	4.36	0.28	42.80	241.7	199.4	177.1	155.9	129.7	112.2
26096	212.83	30.59		-0.14	281.86	3.02	0.43	15.16	216.8	168.8	138.8	112.2	82.5	64.5
26098	469.99	64.91		-0.34	580.23	4.38	0.46	32.89	478.0	388.5	334.4	285.8	228.0	188.6
26099	697.37	64.68		6.29	874.31	4.96	0.50	24.44	709.7	614.4	553.8	495.9	422.4	371.8
26102	558.18	67.50		130.44	695.30	3.42	0.59	30.80	556.9	467.5	411.9	361.7	302.3	261.2
26103	259.97	42.31		61.66	367.24	2.81	0.31	31.37	286.0	219.7	184.7	155.6	123.6	103.0
26115	431.33	56.76		-0.17	661.46	7.86	0.68	12.69	444.4	370.4	326.3	285.0	231.9	192.1
26139	298.80	34.92		0.20	458.34	4.60	0.23	11.82	381.9	286.6	251.8	221.2	184.3	158.9
26180	412.10	51.04		6.12	585.44	5.67	0.72	25.39	413.9	350.4	311.1	273.9	226.8	192.0
26206	372.70	66.42		39.74	411.07	3.09	0.31	19.98	360.6	269.9	220.2	180.2	137.8	110.7
26297	570.64	83.44		29.98	400.00	3.40	0.26	26.14	399.9	289.1	236.3	196.0	154.9	130.2
26298	457.72	89.18		21.01	255.34	5.54	0.55	20.13	297.7	223.2	192.1	165.2	129.5	95.0
26403	483.16	64.76		21.65	295.50	3.43	0.29	25.90	306.0	218.4	178.4	148.1	117.4	99.2

Todos los ajustes obtenidos con esta distribución generaron eventos de diseño no negativos, y el parámetro de asociación de la mezcla no es cero ni uno, por lo que todos ellos serán utilizados en la comparación del error estándar de ajuste, con el objetivo de seleccionar el mejor de los modelos en competencia.

Mezcla Weibull-Gumbel (W3G)

Considerando la función de densidad (4.17) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.22.

Tabla 5.22 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Weibull-Gumbel (W3G).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	p		2	5	10	20	50	100
26001	156.24	394.26	2.49	0.00	0.00		1.00	27.25	361.7	286.5	252.6	228.4	205.9	193.8
26007	303.90	546.24	1.66	609.19	124.23		1.00	47.04	498.3	402.2	366.4	344.4	327.1	319.0
26024	263.83	581.63	2.38	584.23	49.27		1.00	38.55	536.3	433.1	387.3	355.1	325.5	310.0
26034	142.43	408.09	1.79	383.77	101.77		1.00	44.88	359.0	257.5	218.2	193.2	172.7	162.8
26038	156.03	400.67	1.98	384.66	101.45		1.00	68.68	359.4	270.7	234.6	210.6	190.0	180.1
26068	146.73	432.23	2.36	482.60	52.08		0.86	26.33	405.3	307.3	263.4	232.6	204.3	189.2
26092	173.46	393.64	1.85	458.59	124.65		1.00	81.94	354.0	271.2	238.6	217.6	200.1	191.8
26093	117.50	274.25	2.16	304.49	72.05		1.00	40.88	249.8	195.7	172.8	157.1	143.2	136.2
26096	86.17	244.17	1.87	0.00	0.00		1.00	17.45	216.0	157.0	133.5	118.4	105.8	99.7
26098	176.50	521.08	2.73	0.00	0.00		1.00	37.22	477.8	375.4	327.6	292.5	259.0	240.3
26099	0.26	943.11	6.32	703.82	84.31		0.33	20.35	713.0	606.5	541.2	480.1	402.5	344.9
26102	301.77	598.70	2.23	0.00	0.00		1.00	39.92	553.6	453.2	409.8	380.0	353.1	339.3
26103	135.41	323.88	1.63	395.10	107.09		1.00	26.27	285.9	210.3	182.6	165.8	152.5	146.6
26115	0.58	646.04	6.75	428.51	56.00		0.37	12.54	445.7	371.2	327.5	286.8	234.7	195.6
26139	158.51	417.12	2.31	0.00	0.00		1.00	13.54	379.1	293.5	256.0	229.9	206.1	193.8
26180	0.36	568.08	4.87	411.10	54.23		0.33	23.09	414.0	345.2	302.7	263.1	213.1	176.6
26206	114.71	391.52	2.36	394.57	85.52		1.00	15.85	351.7	261.4	221.4	193.4	167.8	154.1
26297	144.04	411.49	2.02	538.43	100.92		0.80	24.21	391.0	282.1	237.6	207.6	180.7	166.1
26298	0.47	259.60	6.22	461.56	89.04		0.48	22.05	293.5	225.5	195.0	168.1	132.5	99.4
26403	116.35	340.74	1.79	486.79	107.06		0.97	21.42	302.1	214.6	180.7	159.1	141.3	132.8

En la mayoría de los ajustes obtenidos con esta distribución, el parámetro de asociación de la mezcla es igual a uno, por lo que todos ellos deberán rechazarse, por lo que solo se seguirán considerando aquellos ajustes proporcionados por la distribución W3G, de las estaciones que **No** están sombreadas de la Tabla 5.22.

Mezcla Weibull-Weibull (W3W3)

Considerando la función de densidad (4.19) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Mezclada Weibull-Weibull (W3W3).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	p		2	5	10	20	50	100
26001	-0.15	304.81	48.77	108.75	408.03	3.16	0.12	27.08	358.4	295.3	262.0	230.5	199.3	181.5
26007	285.32	601.15	2.24	308.73	514.55	1.53	0.38	50.03	500.7	402.3	366.2	344.4	327.5	320.1
26024	0.88	509.51	102.52	272.12	588.37	2.17	0.08	31.68	523.1	437.7	388.9	355.8	326.4	311.4
26034	93.49	342.43	3.46	109.23	555.70	2.64	0.65	30.50	351.1	272.3	236.2	208.7	181.0	165.1
26038	-2.30	334.10	6.02	125.72	428.55	2.32	0.22	65.43	359.1	276.2	237.4	208.3	180.3	164.8
26068	186.80	325.68	0.70	186.80	441.50	2.22	0.19	19.98	387.8	286.5	239.0	208.7	192.5	188.8
26092	165.37	377.56	2.14	185.78	616.05	6.53	0.93	81.58	352.8	274.4	242.0	220.0	200.7	190.9
26093	106.00	247.79	2.92	0.54	366.50	7.81	0.80	41.65	245.6	198.3	177.1	161.4	146.2	137.7
26096	41.46	222.56	8.38	88.68	248.99	1.60	0.25	12.83	215.4	163.2	135.9	118.8	105.5	99.5
26098	-69.96	472.38	7.73	132.78	560.96	3.11	0.41	33.88	476.1	386.4	337.9	298.3	255.6	230.2
26099	-0.85	698.55	10.43	166.65	859.47	3.81	0.47	25.84	710.3	614.4	557.9	506.0	443.5	400.7
26102	128.20	568.92	4.72	82.26	837.87	5.81	0.88	35.23	551.5	458.6	409.6	369.6	326.5	299.1
26103	137.20	285.05	1.59	96.16	439.82	4.01	0.76	30.18	285.2	206.9	180.3	164.5	152.4	146.9
26115	130.38	429.40	4.59	-109.98	669.70	9.52	0.68	11.23	445.0	367.1	330.1	300.6	268.9	249.5
26139	185.60	581.80	19.16	163.03	396.06	2.34	0.09	11.02	374.0	291.2	255.7	231.1	208.7	196.8
26180	0.02	408.65	7.42	27.74	588.50	5.71	0.73	26.82	410.6	347.5	313.0	283.6	249.8	226.9
26206	101.40	470.93	3.57	119.43	359.41	2.25	0.27	16.06	351.5	259.4	219.8	192.4	167.7	155.0
26297	166.80	331.69	1.23	156.42	490.57	3.16	0.40	24.03	400.8	274.5	224.7	198.6	181.5	175.1
26298	-4.32	250.14	6.18	82.12	450.69	3.77	0.43	14.84	305.9	226.6	197.7	174.8	149.6	133.2
26403	119.76	286.62	1.78	121.39	467.47	4.85	0.71	25.25	302.2	209.7	177.8	158.2	142.6	135.2

Todos los ajustes obtenidos con esta distribución generaron eventos de diseño no negativos, y el parámetro de asociación de la mezcla no es cero ni uno, por lo que todos ellos serán utilizados en la comparación del error estándar de ajuste, con el objetivo de seleccionar el mejor de los modelos en competencia.

Gumbel exponenciada mezclada (GEM)

Considerando la función de densidad (4.21) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Gumbel Exponenciada Mezclada (GEM).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	<i>p</i>		2	5	10	20	50	100
26001	311.68	80.09	0.97	446.37	109.61	2.49	0.77	16.83	361.3	287.1	255.0	231.8	208.6	194.6
26007	421.29	79.32	0.80	603.20	102.94	0.74	0.79	25.29	504.1	408.2	372.3	347.4	323.1	308.6
26024	413.87	88.18	0.66	573.53	136.29	1.52	0.43	19.17	541.3	437.2	391.0	357.6	324.8	305.7
26034	433.04	152.44	5.28	516.46	92.68	0.71	0.76	20.66	353.4	272.2	236.5	208.9	179.2	160.3
26038	318.00	98.67	1.08	431.48	142.99	0.75	0.84	24.38	364.6	275.5	238.8	212.1	185.2	168.8
26068	288.76	75.29	0.77	501.09	117.15	2.08	0.57	14.91	406.0	300.1	257.8	229.9	203.8	188.6
26092	305.51	82.16	0.87	431.43	147.40	0.55	0.90	33.52	358.0	277.4	244.9	221.5	198.0	183.8
26093	229.21	58.97	1.24	302.47	107.18	1.00	0.82	13.88	249.7	199.2	178.1	162.5	146.6	136.7
26096	221.60	92.16	1.46	255.84	50.33	8.41	0.81	10.52	217.1	169.1	138.9	115.7	92.1	77.5
26098	345.42	96.67	0.85	581.16	191.61	2.86	0.18	23.06	483.3	377.4	327.6	290.1	252.4	229.8
26099	548.66	126.72	0.71	741.67	134.35	1.38	0.36	22.93	724.1	603.4	537.8	483.0	429.5	399.5
26102	381.09	32.53	0.38	584.49	124.84	1.27	0.28	24.41	559.0	448.2	405.6	381.1	361.3	350.9
26103	216.98	58.05	0.67	410.28	85.99	1.16	0.82	16.77	289.4	212.8	185.1	165.9	147.4	136.4
26115	382.46	84.75	0.96	594.04	75.85	0.90	0.83	17.86	444.4	354.8	320.6	296.2	272.0	257.4
26139	291.98	67.85	0.91	471.94	79.92	1.49	0.65	10.82	381.1	285.2	252.5	230.4	209.1	196.5
26180	406.86	82.55	0.92	504.61	174.30	9.06	0.76	19.27	416.8	340.5	303.9	272.8	235.9	211.5
26206	308.29	99.01	2.39	462.83	110.80	2.06	0.51	12.39	355.4	256.6	219.8	194.1	168.5	152.9
26297	391.83	146.58	1.64	558.24	37.93	10.68	0.91	17.02	398.7	293.0	247.3	213.1	177.8	155.8
26298	243.66	68.06	1.36	444.10	73.19	1.24	0.61	10.47	317.1	222.1	193.4	173.7	154.3	142.6
26403	219.27	65.53	0.84	428.99	74.69	1.23	0.71	16.04	305.7	212.0	180.9	159.7	139.2	127.1

Weibull exponenciada mezclada (WEM)

Considerando la función de densidad (4.23) y la optimización de la función (4.25), los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 5.25.

Tabla 5.25 Parámetros por máxima verosimilitud, error estándar de ajuste y eventos de diseño obtenidos mediante el ajuste de la distribución Weibull Exponenciada Mezclada (WEM).

Estación	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)					
	PU1	PE1	PF1	PU1	PE2	PF2	p		2	5	10	20	50	100
26001	231.37	1.91	6.26	394.34	2.27	3.35	0.92	15.9	361.2	288.3	255.0	229.6	203.1	186.6
26007	278.55	2.06	11.23	403.43	1.82	7.45	0.66	26.0	503.4	412.1	374.1	345.9	316.6	298.3
26024	412.61	2.84	3.94	677.37	3.62	2.41	0.80	16.6	536.9	440.1	395.0	359.8	322.0	297.8
26034	288.55	2.67	2.48	762.14	8.05	0.41	0.77	14.4	357.0	271.6	233.0	203.3	171.8	152.0
26038	186.12	1.37	8.04	474.92	2.24	50.43	0.97	16.9	367.6	277.1	238.2	209.6	180.7	163.2
26068	368.58	2.77	2.08	658.49	7.58	8.25	0.97	12.9	405.2	312.3	266.9	231.3	193.7	170.2
26092	342.56	4.81	1.27	136.49	0.97	12.43	0.46	39.6	360.6	281.9	243.4	213.0	181.2	161.5
26093	185.59	2.49	4.01	218.55	1.56	5.89	0.78	13.5	251.4	200.7	177.6	159.7	140.9	129.0
26096	239.03	17.87	0.23	153.26	1.47	4.22	0.31	9.3	218.5	165.8	138.2	116.9	95.0	81.8
26098	456.36	4.39	1.38	522.89	2.65	2.35	0.68	17.1	479.1	382.6	333.7	294.0	250.5	222.6
26099	743.32	27.55	0.23	798.07	3.78	1.67	0.46	16.0	713.9	608.3	542.2	484.2	417.8	374.0
26102	608.13	3.63	1.10	967.48	75.69	0.19	0.24	286.2	897.5	698.7	526.1	424.6	330.3	275.7
26103	166.19	2.13	5.05	289.60	2.01	3.05	0.45	17.6	288.4	213.2	184.3	163.4	142.0	128.8
26115	363.66	3.45	2.86	688.70	9.98	1.03	0.75	10.2	444.5	362.5	325.1	295.5	263.6	242.9
26139	300.63	42.11	0.68	369.85	2.82	2.05	0.11	11.2	382.8	295.1	269.3	235.6	197.3	173.4
26180	459.95	41.00	0.12	349.96	2.31	21.93	0.76	15.0	421.5	348.7	302.1	261.8	216.5	187.6
26206	290.13	44.21	0.13	364.13	2.77	1.89	0.18	12.5	354.4	260.4	226.4	197.5	165.2	144.6
26297	114.54	1.62	16.78	325.71	2.04	3.80	0.16	14.8	403.7	281.0	231.2	202.4	177.7	163.8
26298	247.77	5.55	1.10	367.26	2.92	2.99	0.46	10.5	311.7	226.7	197.2	174.1	148.9	132.6
26403	125.50	1.75	8.92	248.91	1.85	6.68	0.42	15.7	309.3	210.4	180.5	160.7	141.7	130.4

6.6 Selección de la mejor distribución

Considerando los resultados de los ajustes de las diferentes distribuciones de probabilidad presentados a lo largo de las Tablas 5.14 a 5.25, y considerando el criterio del mínimo valor del error estándar de ajuste, de la ecuación (3.35), en la Tabla 5.26 se muestra, para cada estación, la distribución seleccionada, sus parámetros, y los eventos de diseño de diferente periodo de retorno, los cuales se emplean con propósitos de planeación y manejo de la sequía meteorológica.

Tabla 5.26 Distribución de probabilidad que mejor ajusta a cada una de las estaciones de la zona en estudio.

Estación	Dist.	Parámetros							EE	Periodo de retorno (Años)						
		PU1	PE1	PF1	PU2	PE2	PF2	<i>p</i>		2	5	10	20	50	100	
26001	GE	362.1	107.4	1.5						15.5	360.7	287.6	254.8	230.1	204.4	188.5
26007	GE	411.7	74.8	0.5						21.5	501.9	408.7	372.8	347.7	323.5	309.1
26024	WEM	412.6	2.8	3.9	677.4	3.6	2.4	0.80	16.6	536.9	440.1	395.0	359.8	322.0	297.8	
26034	WEM	288.5	2.7	2.5	762.1	8.0	0.4	0.77	14.4	357.0	271.6	233.0	203.3	171.8	152.0	
26038	WEM	186.1	1.4	8.0	474.9	2.2	50.4	0.97	16.9	367.6	277.1	238.2	209.6	180.7	163.2	
26068	WEM	368.6	2.8	2.1	658.5	7.6	8.2	0.97	12.9	405.2	312.3	266.9	231.3	193.7	170.2	
26092	GEM	305.5	82.2	0.9	431.4	147.4	0.6	0.90	33.5	358.0	277.4	244.9	221.5	198.0	183.8	
26093	WEM	185.6	2.5	4.0	218.5	1.6	5.9	0.78	13.5	251.4	200.7	177.6	159.7	140.9	129.0	
26096	GEM	221.6	92.2	1.5	255.8	50.3	8.4	0.81	10.5	217.1	169.1	138.9	115.7	92.1	77.5	
26098	WEM	456.4	4.4	1.4	522.9	2.6	2.4	0.68	17.1	479.1	382.6	333.7	294.0	250.5	222.6	
26099	GE	788.7	223.6	2.3					22.5	720.2	593.5	534.3	488.5	440.1	409.6	
26102	GE	495.0	104.7	0.9					21.6	550.2	454.4	414.5	385.5	356.3	338.6	
26103	GE	219.3	60.6	0.5					13.5	286.7	214.0	185.7	165.9	146.6	135.2	
26115	WEM	363.7	3.5	2.9	688.7	10.0	1.0	0.75	10.2	444.5	362.5	325.1	295.5	263.6	242.9	
26139	GEM	292.0	67.9	0.9	471.9	79.9	1.5	0.65	10.8	381.1	285.2	252.5	230.4	209.1	196.5	
26180	WEM	459.9	41.0	0.1	350.0	2.3	21.9	0.76	15.0	421.5	348.7	302.1	261.8	216.5	187.6	
26206	WE	276.4	2.0	3.1					11.7	353.5	263.7	222.3	190.9	158.7	139.1	
26297	WE	324.7	2.0	2.7					14.9	398.2	290.7	241.4	204.3	166.5	143.8	
26298	GEM	243.7	68.1	1.4	444.1	73.2	1.2	0.61	10.5	317.1	222.1	193.4	173.7	154.3	142.6	
<u>26403</u>	<u>WEM</u>	<u>125.5</u>	<u>1.8</u>	<u>8.9</u>	<u>248.9</u>	<u>1.8</u>	<u>6.7</u>	<u>0.42</u>	<u>15.7</u>	<u>309.3</u>	<u>210.4</u>	<u>180.5</u>	<u>160.7</u>	<u>141.7</u>	<u>130.4</u>	

En las Tablas 5.4 a 5.10 se presentan las isoyetas de la lluvia media anual, y de las lluvias de periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, construidas a partir de los resultados de la Tabla 5.26.

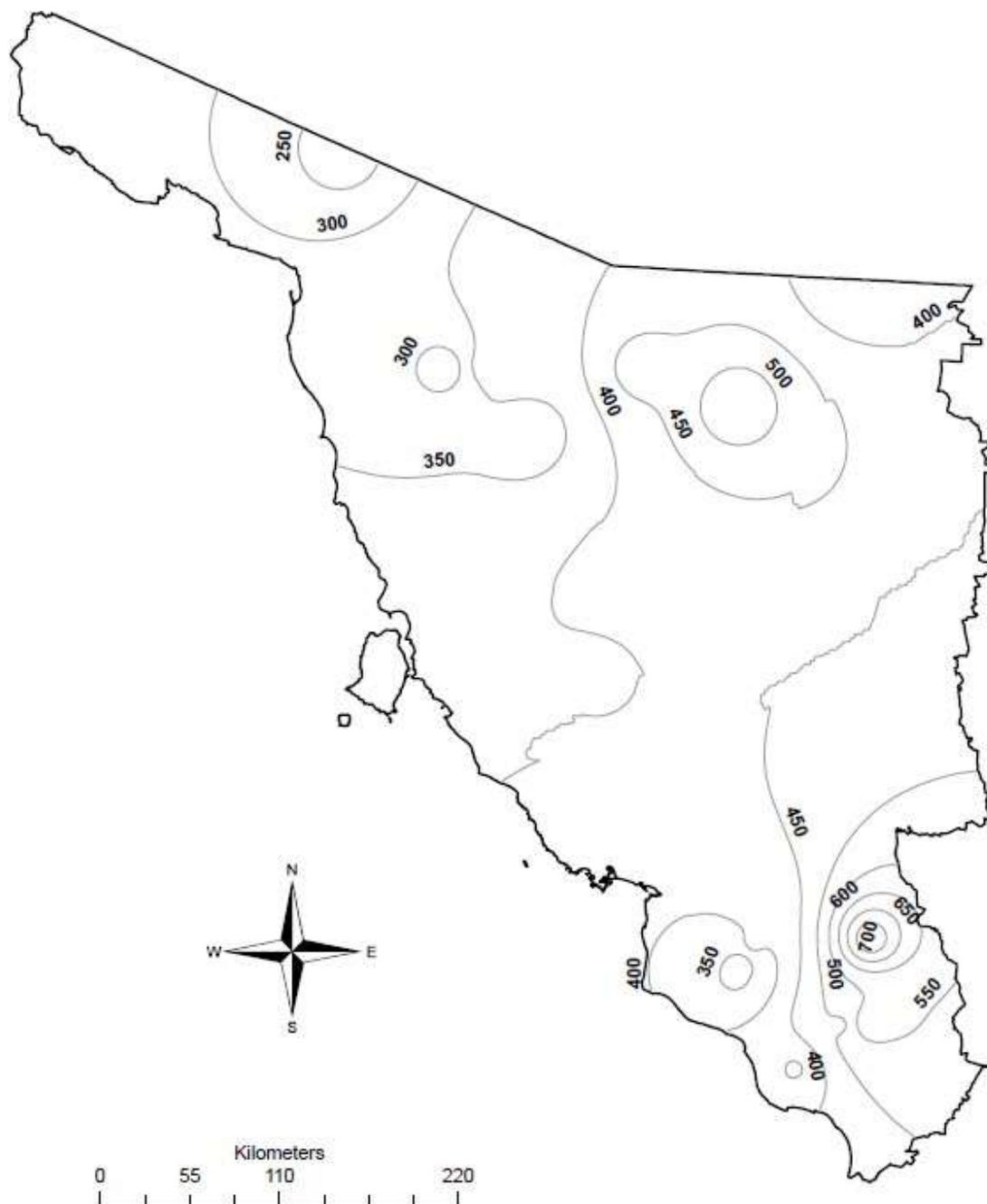


Figura 5.4 Isoyetas de lluvia acumulada media anual (mm).

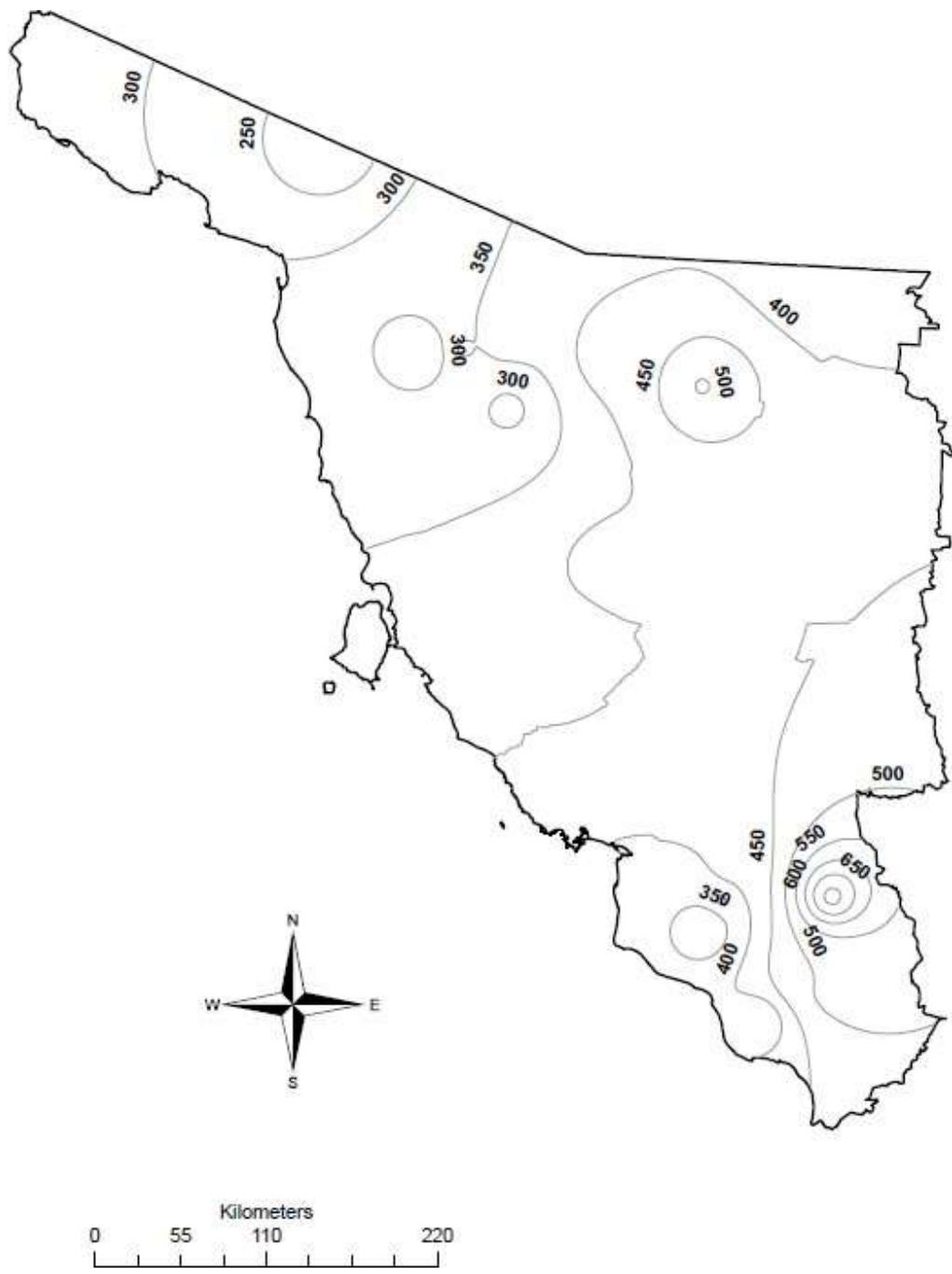


Figura 5.5 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 2$ años.

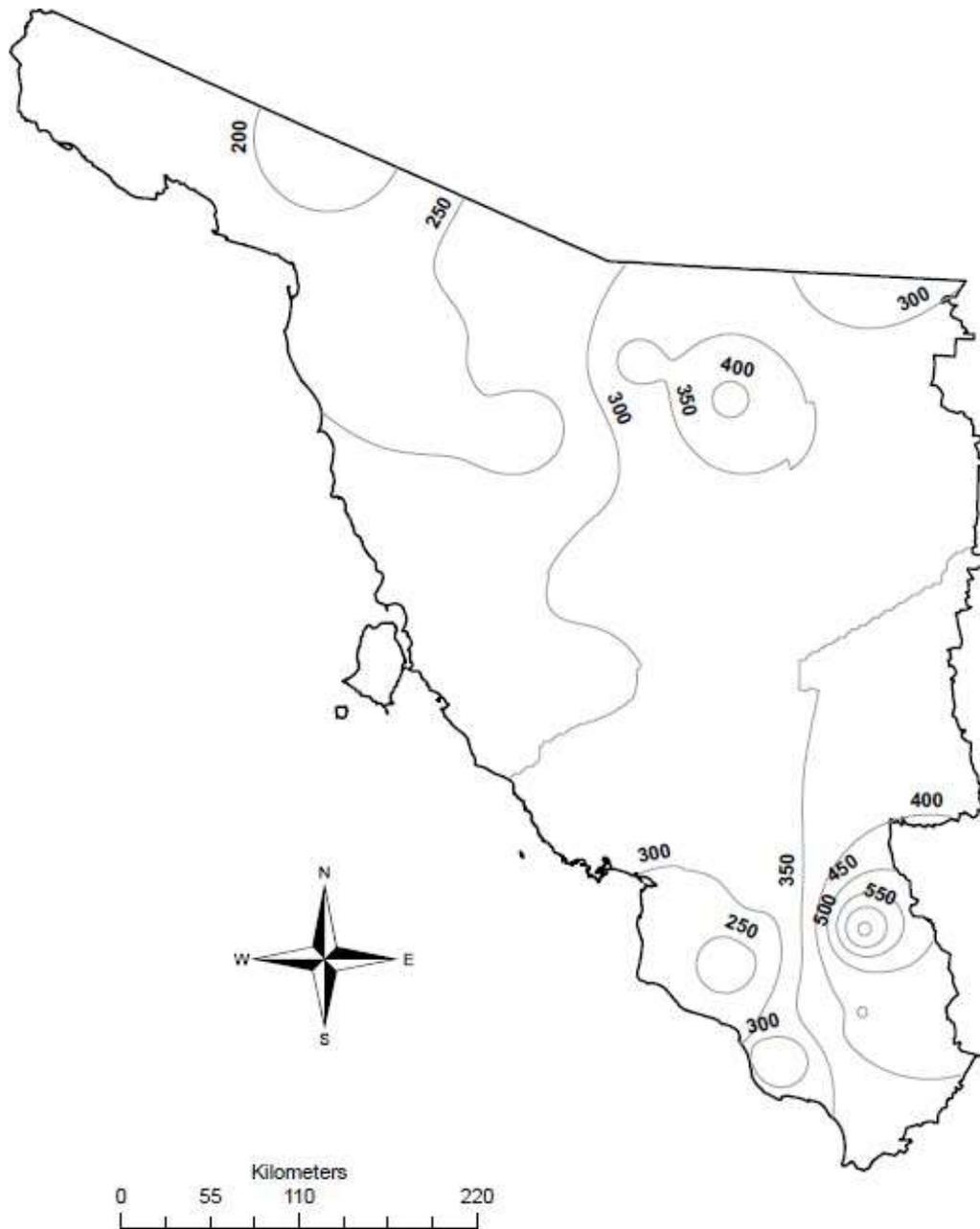


Figura 5.6 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 5$ años.

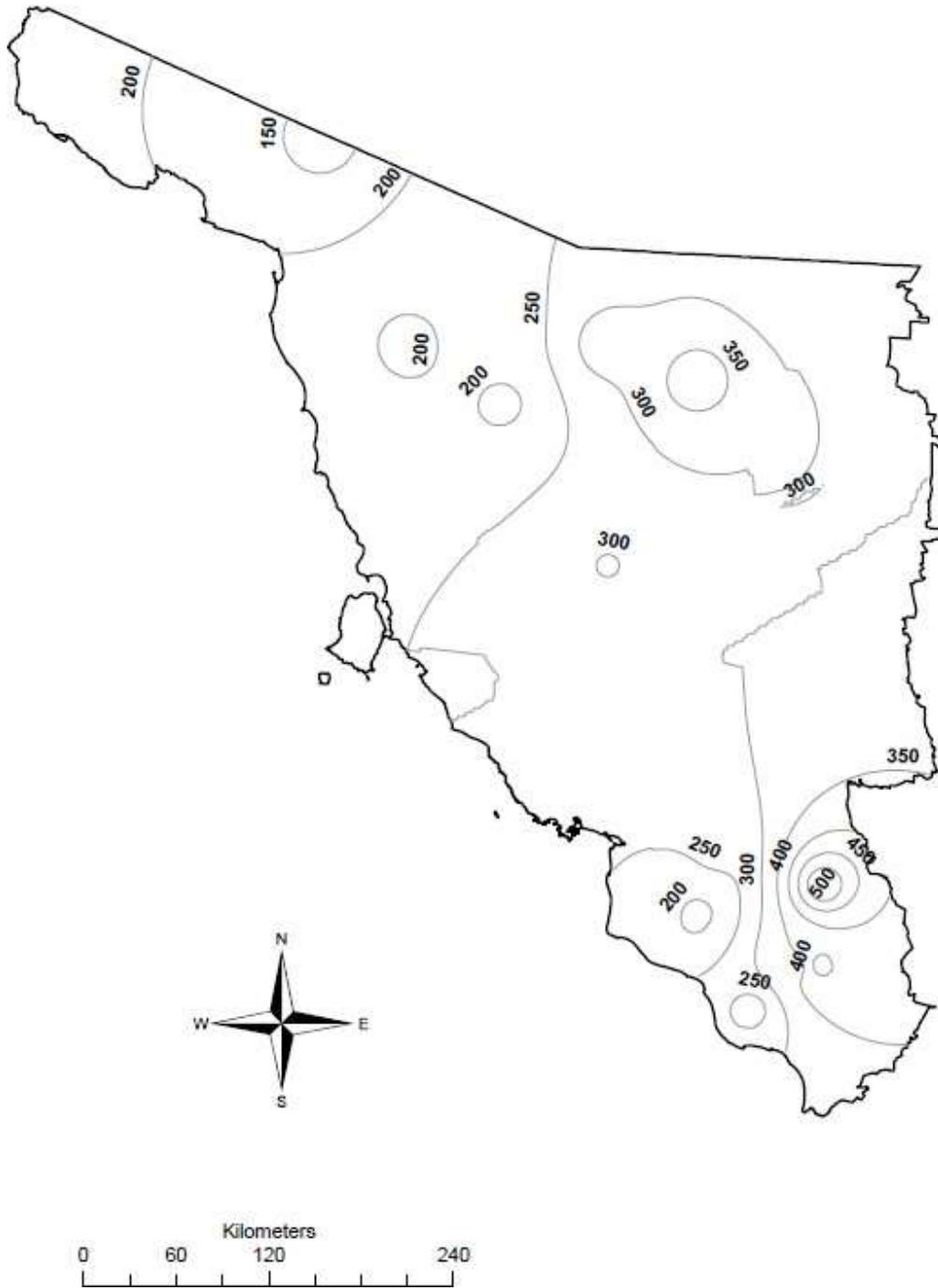


Figura 5.7 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 10$ años.

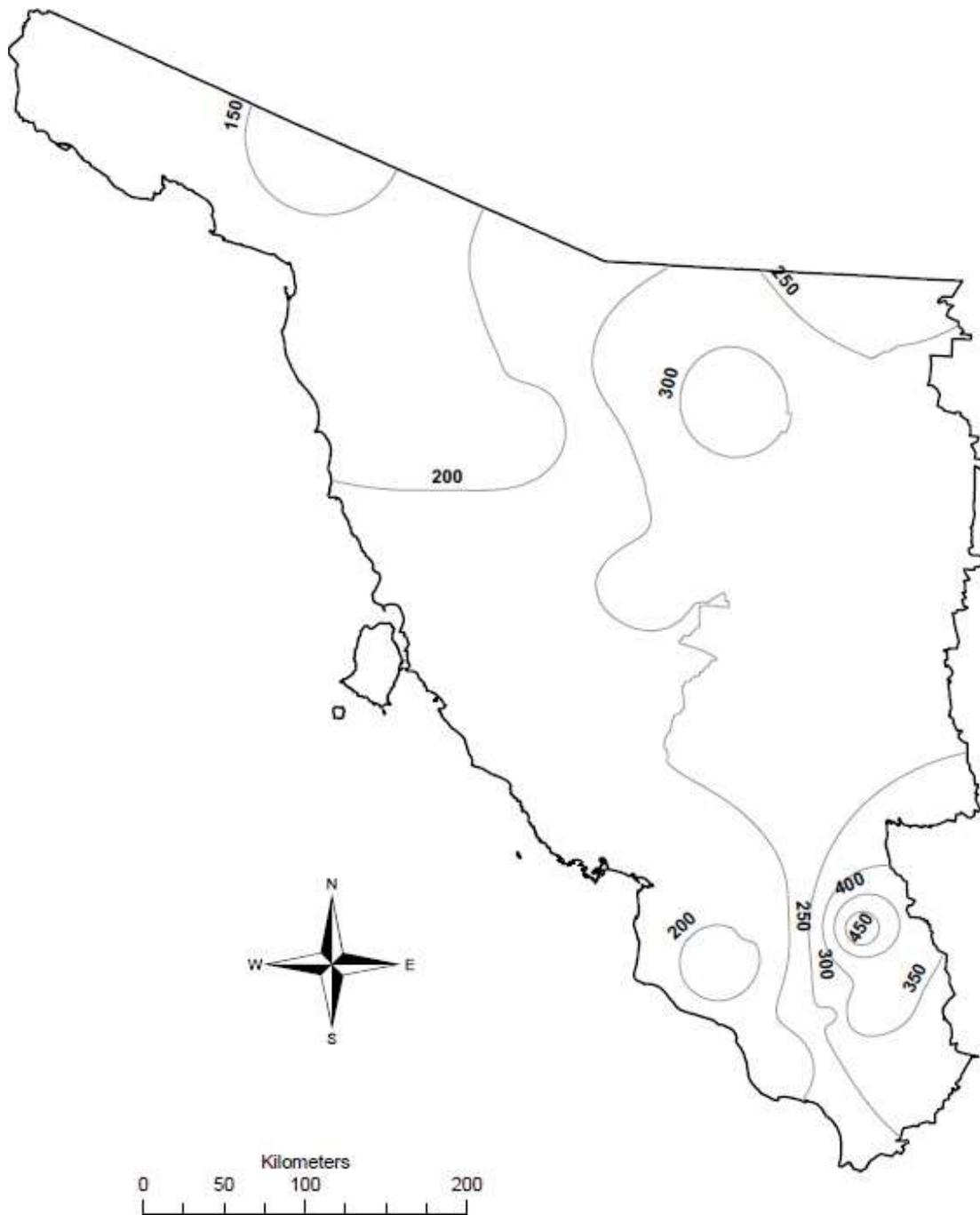


Figura 5.8 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 20$ años.

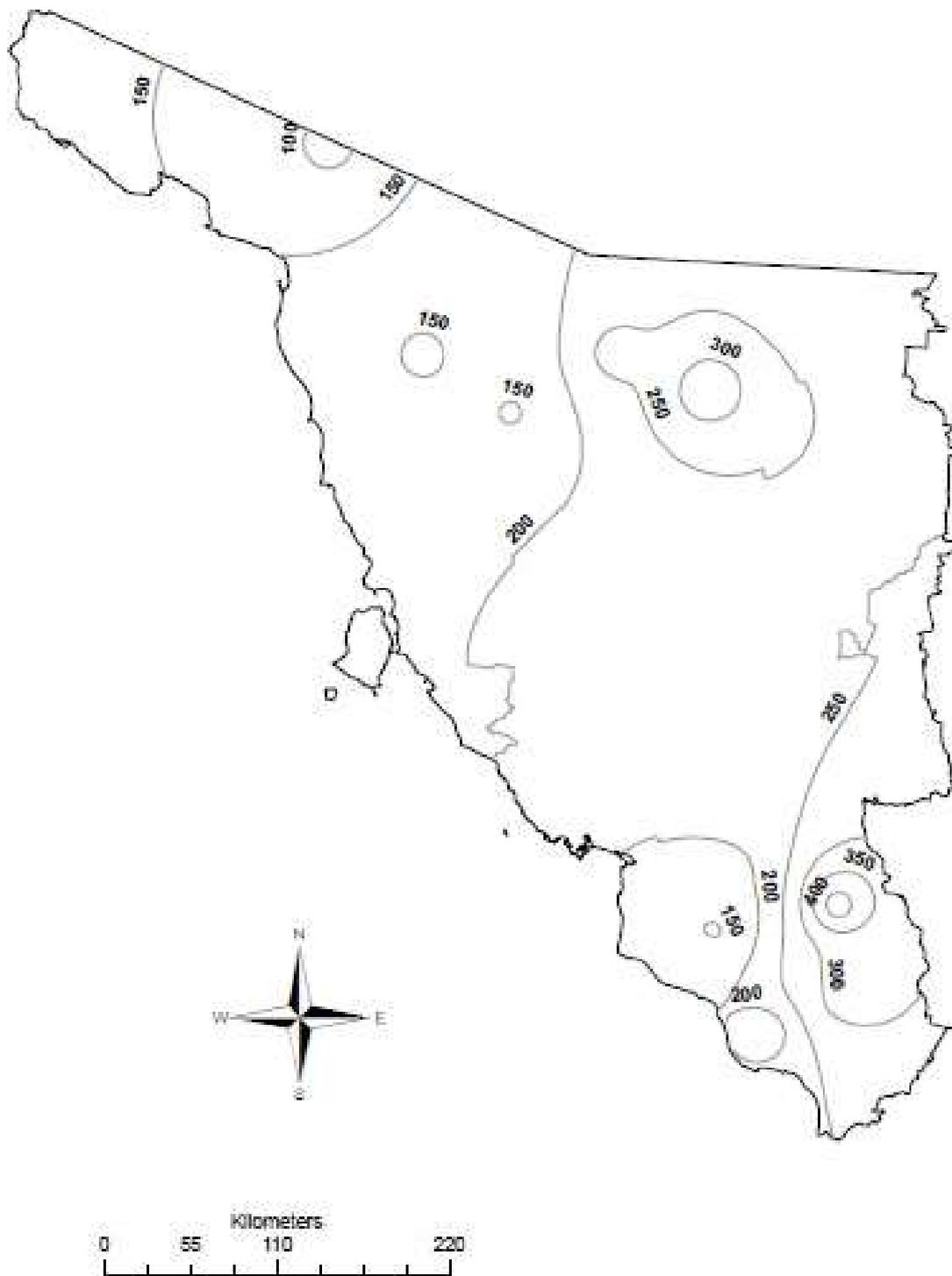


Figura 5.9 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 50$ años.

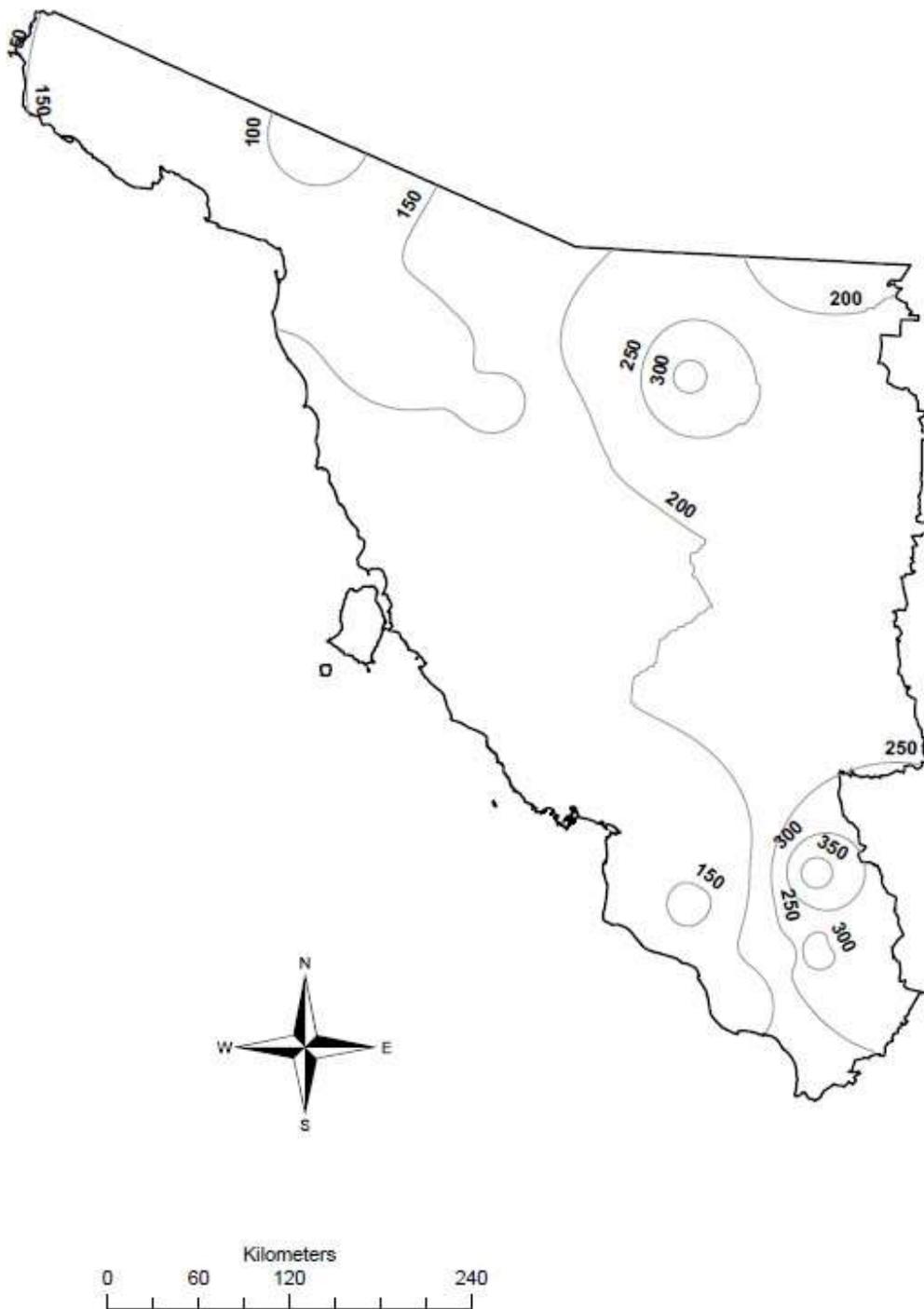


Figura 5.10 Isoyetas de lluvia acumulada anual (mm), de periodo de retorno $T = 100$ años.

5.7 Estimación de los deciles de la lluvia acumulada anual

A continuación, se presenta como a partir del uso de las expresiones (2.1) a (2.3) se pueden obtener los deciles de la lluvia acumulada anual para el caso de la estación 26001.

A partir del registro de la estación 26001, de la Tabla 5.2, se tiene que el valor más grande registrado es $Hp(N) = 753.1 \text{ mm}$ y el valor más chico $Hp(1) = 187.4 \text{ mm}$, por lo que el valor de la constante de la ecuación (2.1) es

$$\text{constante} = \frac{Hp(N) - Hp(1)}{10} = \frac{753.1 \text{ mm} - 187.4 \text{ mm}}{10} = 56.6 \text{ mm}$$

El primer decil sería (ecuación 2.1)

$$\text{decil}(1) = Hp(1) + \text{constante} = 187.4 \text{ mm} + 56.6 \text{ mm} = 244.0 \text{ mm}$$

Los deciles para $i = 2$ hasta 10, se obtienen de la ecuación (2.2), de la forma:

$$\text{decil}(2) = \text{decil}(1) + \text{constante} = 244.0 \text{ mm} + 56.6 \text{ mm} = 300.6 \text{ mm}$$

Y así sucesivamente.

Por otro lado, a partir del análisis de frecuencias de la estación 26001 se determinó que el mejor ajuste lo proporciona la distribución Gumbel exponenciada (Figura 5.11), que tiene la forma de la expresión (4.7):

$$F(x) = 1 - \langle 1 - \exp\{-\exp[-(x - 362.069979)/107.443503]\} \rangle^{1.535158} \quad (5.1)$$

$$T = \frac{1}{F(x)} \quad (5.2)$$

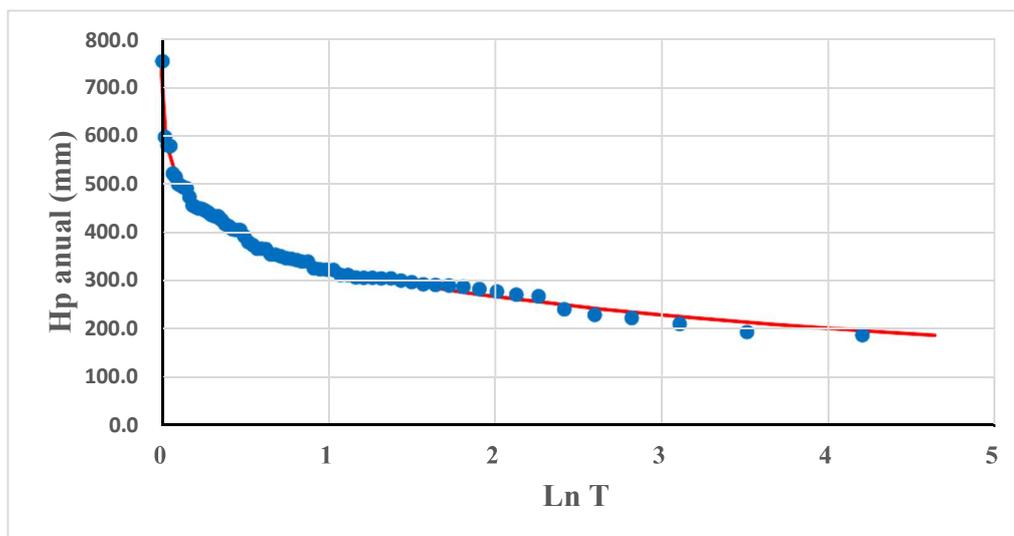


Figura 5.11 Distribución empírica y ajustada de la serie de lluvias acumuladas anuales estación 26001.

Con las expresiones (5.1) y (5.2) se puede determinar a qué periodo de retorno le corresponde los valores de los deciles de lluvia ya calculados. Además, también es posible determinar a partir del registro de lluvias acumuladas anuales, su porcentaje de ocurrencia de un decil determinado. Para el caso de la estación 26001 en la Tabla 5.27 se presentan los deciles de lluvia, sus correspondientes periodos de retorno, su probabilidad de ocurrencia de cada decil, la lluvia promedio que ocurrió dentro de ese decil con su periodo de retorno, y finalmente, la probabilidad de que cierta lluvia este en la condición de Superávit, Normal o Déficit.

Tabla 5.27 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26001.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10		753.1	1.004	1.5%	753.1	1.004	
9	Superávit	696.5	1.01	0.0%			
8		640.0	1.02	1.5%	596.8	1.03	
7		583.4	1.04	3.0%	578.5	1.04	6.0%
6	Normal	526.8	1.09	10.4%	498.3	1.13	
5		470.3	1.19	16.4%	439.6	1.30	26.9%
4	Déficit	413.7	1.44	14.9%	387.1	1.66	
3		357.1	2.06	28.4%	327.3	2.79	
2		300.5	4.02	14.9%	285.9	5.16	
1		244.0	13.28	9.0%	214.4	34.11	67.2%

De esta última Tabla se observa que la mayor frecuencia de ocurrencia la tienen las lluvias del tercer decil con un 28.4%, además, el 67.2% de las veces, el sitio donde está ubicada la estación, padece una sequía de diferentes grados de magnitud. En el caso del primer decil, la lluvia promedio

que se ha presentado es de 214.4 mm, que le corresponde a eventos que tienen un periodo de retorno de 34 años, en tanto que, para el decil con la mayor frecuencia en déficit, la lluvia promedio registrada es de 327.3 mm, a la cual le corresponde un periodo de retorno de 3 años.

En las Tablas 5.28 a la 5.46 se muestran las mismas características para el resto de las estaciones analizadas. En la Tabla 5.47 se presentan los valores promedio de las 20 estaciones analizadas.

Tabla 5.28 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26007.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	1173.3	1.005	1.5%	1173.3	1.005	
9		1087.4	1.01	0.0%			
8		1001.4	1.02	1.5%	927.0	1.03	
7		915.5	1.03	1.5%	866.3	1.05	4.5%
6	Normal	829.5	1.06	6.0%	783.8	1.08	
5		743.6	1.11	9.0%	698.2	1.16	14.9%
4	Déficit	657.7	1.22	14.9%	602.2	1.36	
3		571.7	1.48	26.9%	516.4	1.85	
2		485.8	2.22	20.9%	433.2	3.58	
1		399.8	5.78	17.9%	361.2	13.41	80.6%

Tabla 5.29 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26024.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	967.7	1.012	4.5%	955.0	1.015	
9		900.6	1.03	0.0%			
8		833.4	1.06	6.0%	796.6	1.08	
7		766.3	1.10	3.0%	735.9	1.13	13.4%
6	Normal	699.1	1.18	14.9%	659.6	1.26	
5		632.0	1.34	11.9%	597.8	1.49	26.9%
4	Déficit	564.9	1.71	23.9%	527.9	2.12	
3		497.7	2.68	16.4%	470.9	3.46	
2		430.6	5.69	14.9%	398.9	9.34	
1		363.4	18.48	4.5%	320.9	51.47	59.7%

Tabla 5.30 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26034.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	817.4	1.018	6.0%	804.8	1.022	
9		750.7	1.05	1.5%	719.2	1.07	
8		684.0	1.09	4.5%	622.6	1.13	
7		617.2	1.14	4.5%	581.6	1.17	16.4%
6	Normal	550.5	1.19	6.0%	513.8	1.23	
5		483.8	1.28	9.0%	446.7	1.37	14.9%
4	Déficit	417.1	1.48	19.4%	386.4	1.68	
3		350.4	2.10	26.9%	316.0	2.84	
2		283.6	4.19	17.9%	246.9	7.61	
1		216.9	14.27	4.5%	171.7	50.17	68.7%

Tabla 5.31 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26038.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	1033.5	1.006	1.5%	1033.5	1.006	
9		947.7	1.01	1.5%	877.0	1.02	
8		861.9	1.03	1.5%	781.0	1.04	
7		776.1	1.04	1.5%	691.9	1.05	6.0%
6	Normal	690.3	1.06	3.0%	619.5	1.08	
5		604.6	1.09	6.0%	559.9	1.13	9.0%
4	Déficit	518.8	1.19	16.4%	477.2	1.28	
3		433.0	1.46	26.9%	384.5	1.81	
2		347.2	2.31	25.4%	305.5	3.45	
1		261.4	6.43	16.4%	220.0	15.21	85.1%

Tabla 5.32 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26068.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	786.1	1.005	1.5%	786.1	1.005	
9		726.2	1.02	3.0%	699.8	1.03	
8		666.2	1.04	1.5%	610.0	1.07	
7		606.3	1.07	7.5%	575.5	1.10	13.4%
6	Normal	546.4	1.15	13.4%	504.7	1.26	
5		486.5	1.33	16.4%	465.8	1.44	29.9%
4	Déficit	426.5	1.75	19.4%	392.0	2.20	
3		366.6	2.73	14.9%	338.9	3.61	
2		306.7	5.39	11.9%	288.0	7.08	
1		246.7	14.55	10.4%	222.6	24.28	56.7%

Tabla 5.33 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26092.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	1140.6	1.007	1.5%	1140.6	1.007	
9		1045.2	1.01	0.0%			
8		949.8	1.01	1.5%	944.8	1.02	
7		854.4	1.02	0.0%			3.0%
6	Normal	759.0	1.04	4.5%	672.3	1.06	
5		663.6	1.06	1.5%	590.7	1.10	6.0%
4	Déficit	568.2	1.12	10.4%	532.6	1.16	
3		472.8	1.27	22.4%	422.1	1.45	
2		377.4	1.77	37.3%	335.7	2.39	
1		282.0	4.63	20.9%	236.4	12.58	91.0%

Tabla 5.34 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26093.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	632.5	1.007	1.5%	632.5	1.007	
9		581.9	1.01	1.5%	577.2	1.01	
8		531.3	1.02	1.5%	493.9	1.04	
7		480.7	1.04	0.0%			4.5%
6	Normal	430.1	1.07	6.0%	404.9	1.09	
5		379.5	1.12	10.4%	347.7	1.17	16.4%
4	Déficit	328.9	1.22	16.4%	295.0	1.40	
3		278.3	1.55	23.9%	251.4	2.00	
2		227.7	2.82	29.9%	205.9	4.40	
1		177.1	10.17	9.0%	156.0	23.60	79.1%

Tabla 5.35 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26096.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	486.3	1.012	3.0%	484.6	1.012	
9		447.4	1.02	0.0%			
8		408.5	1.04	4.5%	392.0	1.05	
7		369.6	1.07	4.5%	351.1	1.10	11.9%
6	Normal	330.7	1.13	9.0%	311.8	1.18	
5		291.9	1.24	7.5%	273.1	1.32	16.4%
4	Déficit	253.0	1.45	23.9%	233.8	1.65	
3		214.1	2.09	26.9%	194.1	2.99	
2		175.2	4.40	9.0%	153.8	6.96	
1		136.3	10.72	11.9%	115.1	20.40	71.6%

Tabla 5.36 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26098.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	971.8	1.004	1.5%	971.8	1.004	
9		897.9	1.01	0.0%			
8		824.0	1.03	6.0%	778.9	1.04	
7		750.1	1.06	1.5%	684.8	1.10	9.0%
6	Normal	676.2	1.11	9.0%	643.7	1.15	
5		602.3	1.22	17.9%	557.9	1.37	26.9%
4	Déficit	528.4	1.53	22.4%	488.1	1.89	
3		454.5	2.40	20.9%	424.1	3.15	
2		380.6	5.13	14.9%	350.6	7.73	
1		306.7	15.80	6.0%	253.9	46.22	64.2%

Tabla 5.37 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26099.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	1163.6	1.016	6.1%	1128.5	1.023	
9		1086.0	1.03	3.0%	1030.6	1.06	
8		1008.4	1.07	6.1%	960.3	1.11	
7		930.9	1.14	6.1%	872.4	1.24	21.2%
6	Normal	853.3	1.29	10.6%	819.3	1.39	
5		775.7	1.59	24.2%	733.3	1.88	34.8%
4	Déficit	698.1	2.25	22.7%	655.4	2.95	
3		620.5	3.88	10.6%	589.0	5.23	
2		543.0	8.91	4.5%	517.8	12.61	
1		465.4	30.21	6.1%	435.9	54.73	43.9%

Tabla 5.38 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26102.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	956.1	1.023	7.5%	930.4	1.029	
9		894.9	1.04	0.0%			
8		833.7	1.07	3.0%	794.3	1.09	
7		772.6	1.11	4.5%	745.0	1.14	14.9%
6	Normal	711.4	1.19	7.5%	686.0	1.24	
5		650.2	1.34	16.4%	616.8	1.48	23.9%
4	Déficit	589.0	1.64	23.9%	559.6	1.89	
3		527.8	2.32	10.4%	499.4	2.95	
2		466.7	4.23	17.9%	437.2	6.53	
1		405.5	12.16	9.0%	376.1	26.14	61.2%

Tabla 5.39 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26103.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	754.9	1.008	1.5%	754.9	1.008	
9		693.8	1.01	0.0%			
8		632.6	1.02	1.5%	574.9	1.04	
7		571.5	1.04	3.0%	532.3	1.06	6.0%
6	Normal	510.3	1.08	7.5%	481.3	1.10	
5		449.2	1.14	10.4%	415.3	1.20	17.9%
4	Déficit	388.1	1.27	13.4%	359.3	1.38	
3		326.9	1.57	23.9%	293.4	1.90	
2		265.8	2.40	20.9%	232.2	3.64	
1		204.6	6.10	17.9%	175.6	13.88	76.1%

Tabla 5.40 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26115.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	777.8	1.009	4.5%	758.7	1.019	
9		722.5	1.05	9.0%	698.7	1.09	
8		667.3	1.14	6.0%	624.3	1.21	
7		612.0	1.23	6.0%	579.5	1.29	25.4%
6	Normal	556.8	1.33	7.5%	524.2	1.41	
5		501.5	1.51	19.4%	470.3	1.71	26.9%
4	Déficit	446.2	1.98	19.4%	411.5	2.65	
3		391.0	3.34	14.9%	365.9	4.74	
2		335.7	8.05	10.4%	310.7	13.76	
1		280.5	30.12	3.0%	251.4	74.49	47.8%

Tabla 5.41 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26139.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	644.4	1.019	3.0%	626.2	1.026	
9		598.5	1.04	7.5%	577.1	1.06	
8		552.6	1.09	6.0%	535.5	1.11	
7		506.8	1.18	7.5%	476.1	1.28	23.9%
6	Normal	460.9	1.36	14.9%	438.6	1.49	
5		415.0	1.66	16.4%	393.5	1.86	31.3%
4	Déficit	369.1	2.15	10.4%	344.1	2.56	
3		323.2	3.06	20.9%	298.7	4.08	
2		277.4	5.74	7.5%	253.7	9.71	
1		231.5	19.25	6.0%	208.6	51.34	44.8%

Tabla 5.42 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26180.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	824.8	1.004	1.5%	824.8	1.004	
9		763.6	1.01	1.5%	750.9	1.02	
8		702.3	1.03	3.0%	685.0	1.04	
7		641.1	1.08	7.6%	605.4	1.13	13.6%
6	Normal	579.8	1.17	7.6%	552.2	1.21	
5		518.6	1.26	12.1%	466.3	1.33	19.7%
4	Déficit	457.3	1.40	22.7%	432.9	1.76	
3		396.1	2.70	27.3%	366.6	3.93	
2		334.8	6.09	10.6%	312.6	8.49	
1		273.6	16.16	6.1%	243.8	28.22	66.7%

Tabla 5.43 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26206.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	681.3	1.009	1.5%	681.3	1.009	
9		627.8	1.02	3.0%	594.6	1.04	
8		574.4	1.05	7.5%	552.2	1.07	
7		520.9	1.11	6.0%	482.7	1.18	17.9%
6	Normal	467.4	1.22	13.4%	436.5	1.33	
5		414.0	1.44	19.4%	388.7	1.62	32.8%
4	Déficit	360.5	1.91	13.4%	328.1	2.43	
3		307.0	2.96	17.9%	279.6	4.04	
2		253.5	5.81	11.9%	228.4	8.90	
1		200.1	16.04	6.0%	170.7	34.51	49.3%

Tabla 5.44 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26297.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	831.2	1.005	1.5%	831.2	1.005	
9		765.0	1.01	0.0%			
8		698.8	1.03	4.5%	668.5	1.05	
7		632.5	1.07	9.0%	586.7	1.12	14.9%
6	Normal	566.3	1.15	14.9%	520.2	1.26	
5		500.1	1.32	9.0%	470.6	1.44	23.9%
4	Déficit	433.9	1.67	17.9%	406.6	1.91	
3		367.7	2.44	17.9%	342.6	2.96	
2		301.5	4.42	16.4%	269.5	6.56	
1		235.2	11.09	9.0%	191.4	26.58	61.2%

Tabla 5.45 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26298.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	665.6	1.009	1.5%	665.6	1.009	
9		613.5	1.02	3.0%	594.7	1.03	
8		561.3	1.05	6.0%	539.3	1.07	
7		509.2	1.12	9.0%	493.5	1.15	19.4%
6	Normal	457.1	1.25	13.4%	421.9	1.40	
5		405.0	1.48	11.9%	380.6	1.62	25.4%
4	Déficit	352.8	1.77	9.0%	315.4	2.01	
3		300.7	2.16	14.9%	272.2	2.60	
2		248.6	3.31	19.4%	232.0	4.20	
1		196.4	9.15	11.9%	170.0	23.26	55.2%

Tabla 5.46 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico de la estación 26403.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	725.5	1.003	1.5%	725.5	1.003	
9		665.8	1.01	0.0%			
8		606.0	1.02	1.5%	562.5	1.04	
7		546.3	1.05	7.5%	533.2	1.07	10.4%
6	Normal	486.6	1.13	13.4%	449.6	1.21	
5		426.9	1.27	13.4%	388.0	1.43	26.9%
4	Déficit	367.1	1.55	13.4%	332.8	1.79	
3		307.4	2.02	17.9%	273.3	2.48	
2		247.7	3.05	20.9%	212.6	4.81	
1		187.9	8.13	10.4%	157.2	23.23	62.7%

Tabla 5.47 Porcentaje de ocurrencia de la lluvia acumulada anual dentro de un decil específico en el Estado.

Orden	Condición	Decil (mm)	T(años)	% Ocurrencia	Hp prom decil	T(años)	% Condición
10	Superávit	839.4	1.009	2.7%	833.1	1.011	
9		775.6	1.02	1.7%	712.0	1.04	
8		711.9	1.05	3.7%	672.0	1.07	
7		648.2	1.09	4.6%	609.6	1.13	12.8%
6	Normal	584.4	1.16	9.6%	547.1	1.23	
5		520.7	1.30	12.9%	485.0	1.42	22.6%
4	Déficit	457.0	1.58	17.4%	423.4	1.89	
3		393.2	2.31	20.6%	361.3	3.04	
2		329.5	4.50	16.9%	300.5	6.84	
1		265.8	13.63	9.8%	232.6	32.39	64.6%

De esta última Tabla se observa que la mayor frecuencia de ocurrencia, en promedio en el Estado, la tienen las lluvias del tercer decil con un 20.6%, además, el 64.6%% de las veces, el sitio donde está ubicada la estación, padece una sequía de diferentes grados de magnitud. En el caso del primer decil, la lluvia promedio que se ha presentado es de 232.6 mm, que le corresponde a eventos que tienen un periodo de retorno de 32 años, en tanto que, para el decil con la mayor frecuencia en déficit, la lluvia promedio registrada es de 361.3 mm, a la cual le corresponde un periodo de retorno de 3 años. Aunque estas son las condiciones promedio de las 20 estaciones, es importante observar su distribución espacial, por lo que en las Figuras 5.12, 5.13 y 5.14 se muestran las probabilidades de ocurrencia de que la lluvia de un año cualquiera, se encuentre en la condición de Superávit, Normal y Déficit, respectivamente.

Así mismo, aunque en las condiciones promedio de las 20 estaciones, el periodo de retorno de las lluvias del cuarto decil es casi de 2 años, y el del primer decil es de 32 años, es importante saber su comportamiento espacial, por lo que en las Figuras 5.15, 5.16, 5.17 y 5.18 se dan a conocer los periodos de retorno de la lluvia acumulada anual, para los casos donde se presenten en el cuarto, tercer, segundo o primer decil, respectivamente. Recordemos que, entre más grande sea el periodo de retorno, menor será la lluvia disponible en un sitio específico, con los consecuentes impactos económicos, sociales y ambientales.

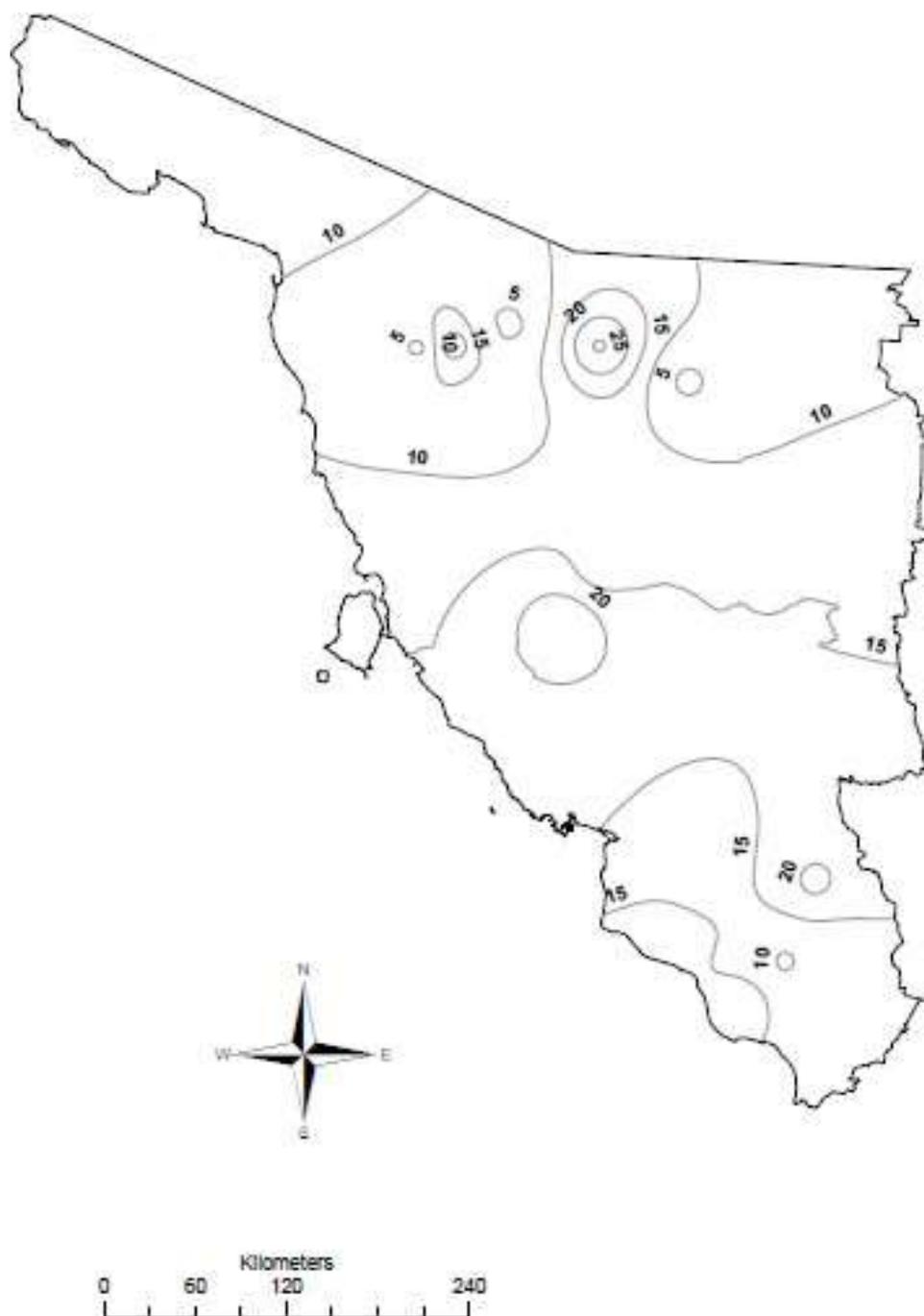


Figura 5.12 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición de Superávit.

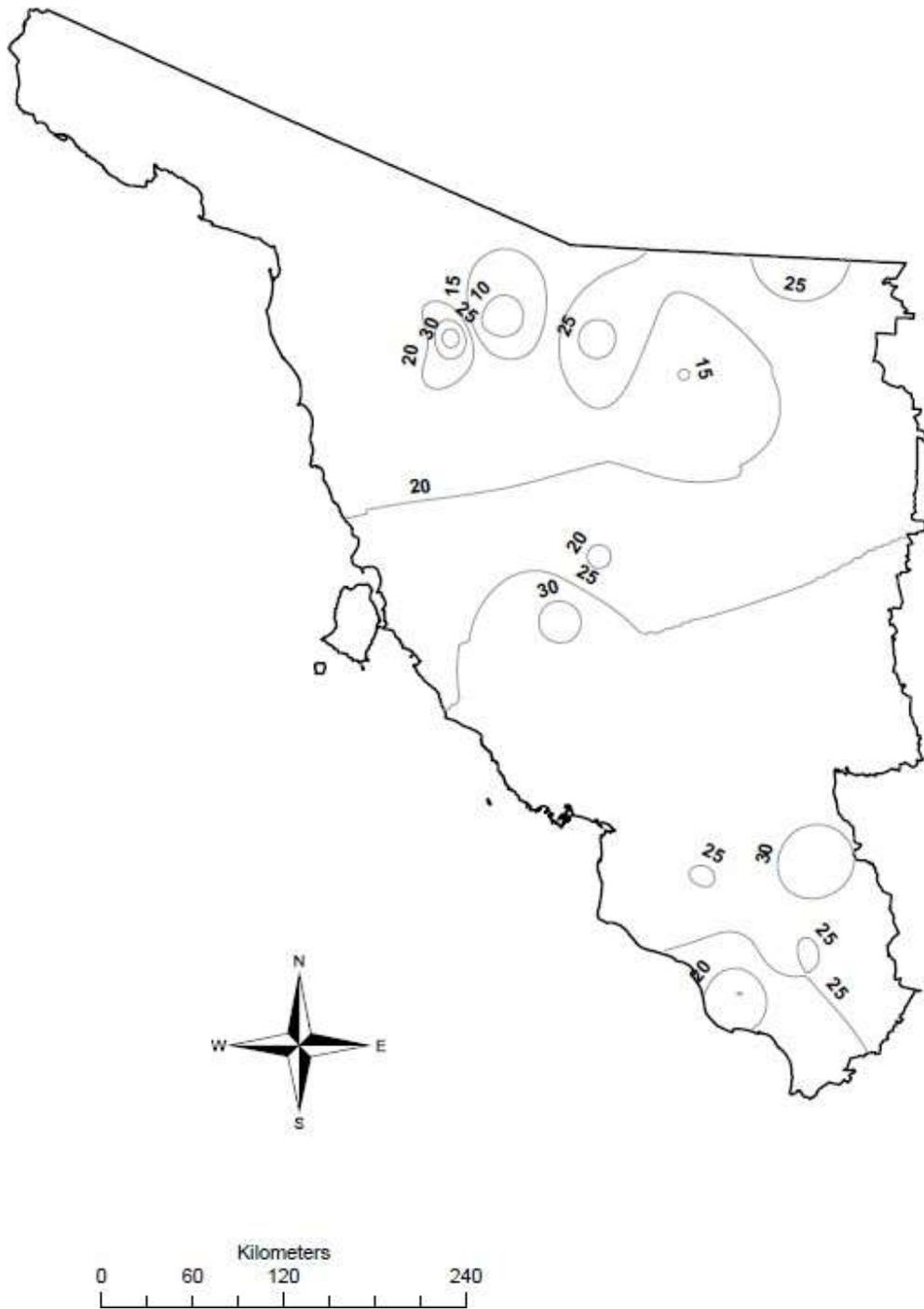


Figura 5.13 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición Normal.

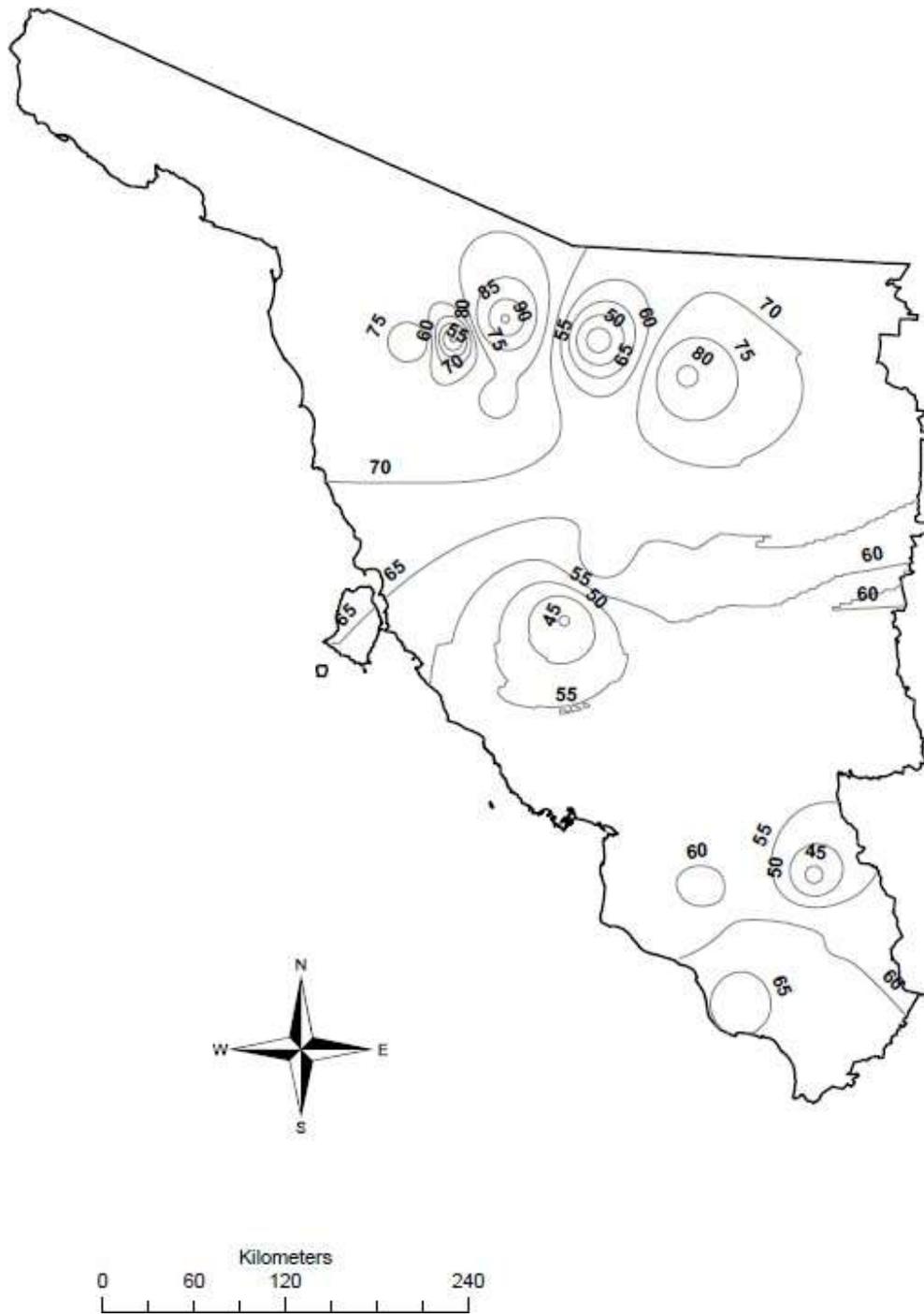


Figura 5.14 Distribución de la probabilidad de ocurrencia (%) de la lluvia anual en condición de Déficit.

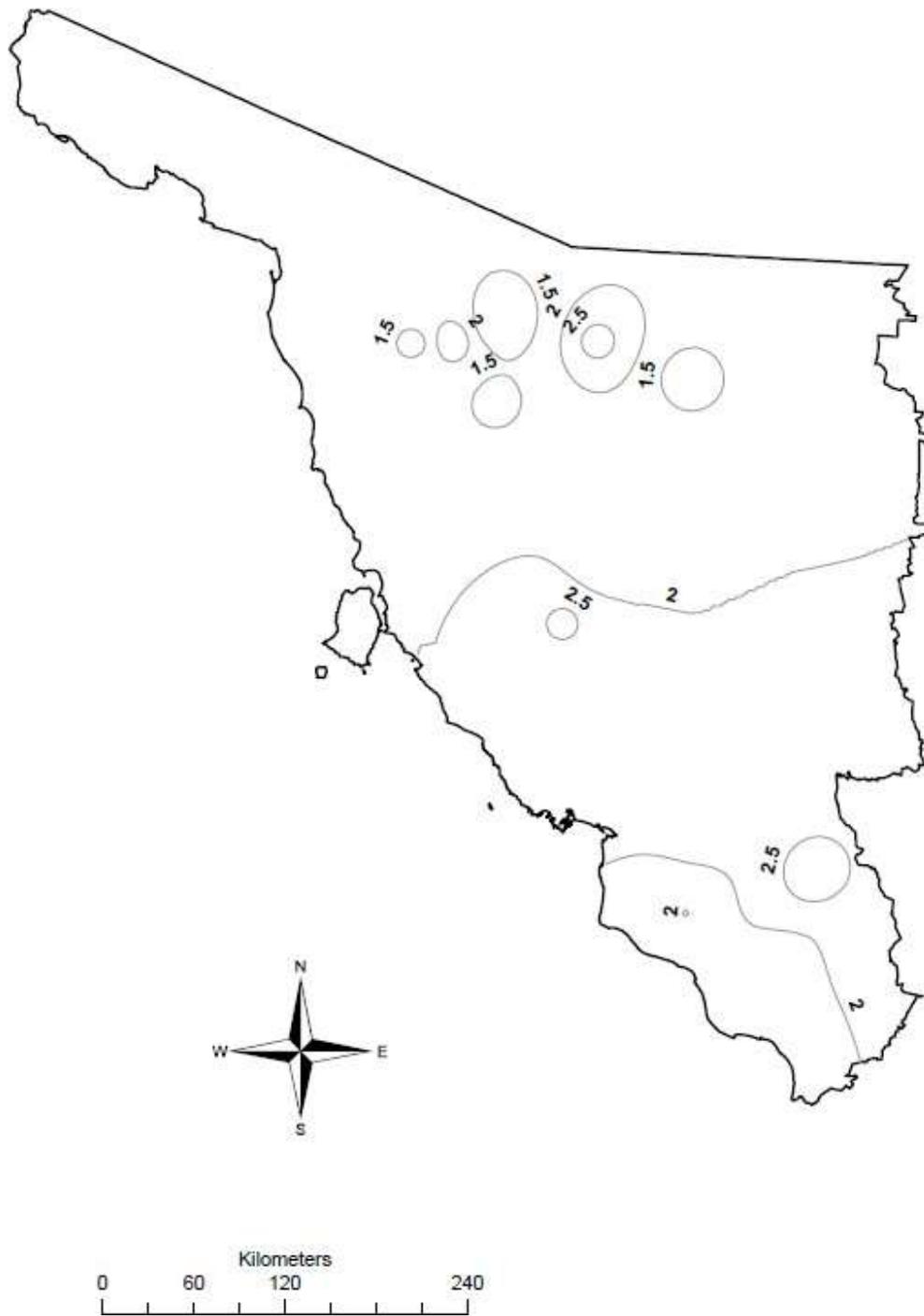


Figura 5.15 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el cuarto decil.

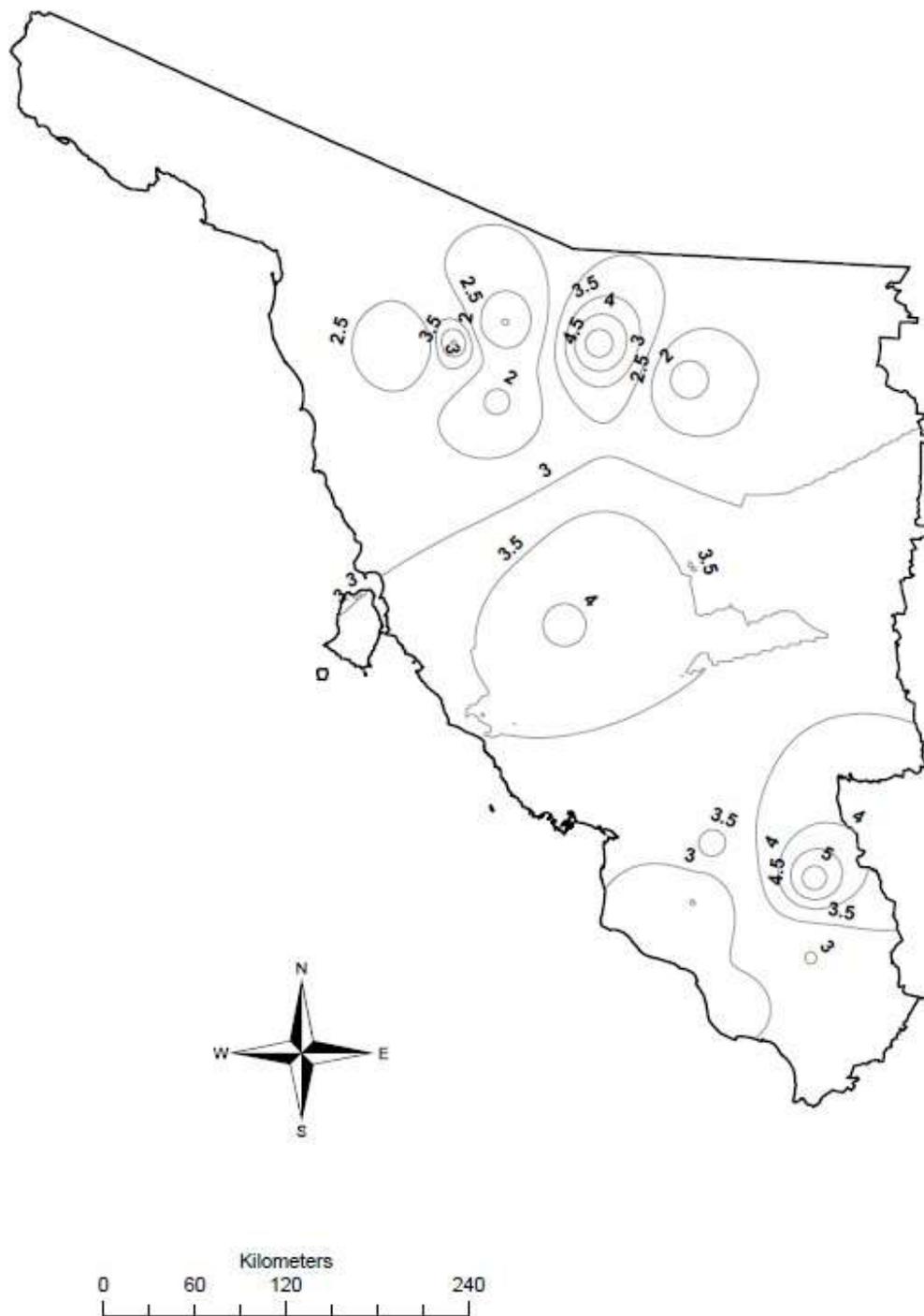


Figura 5.16 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el tercer decil.

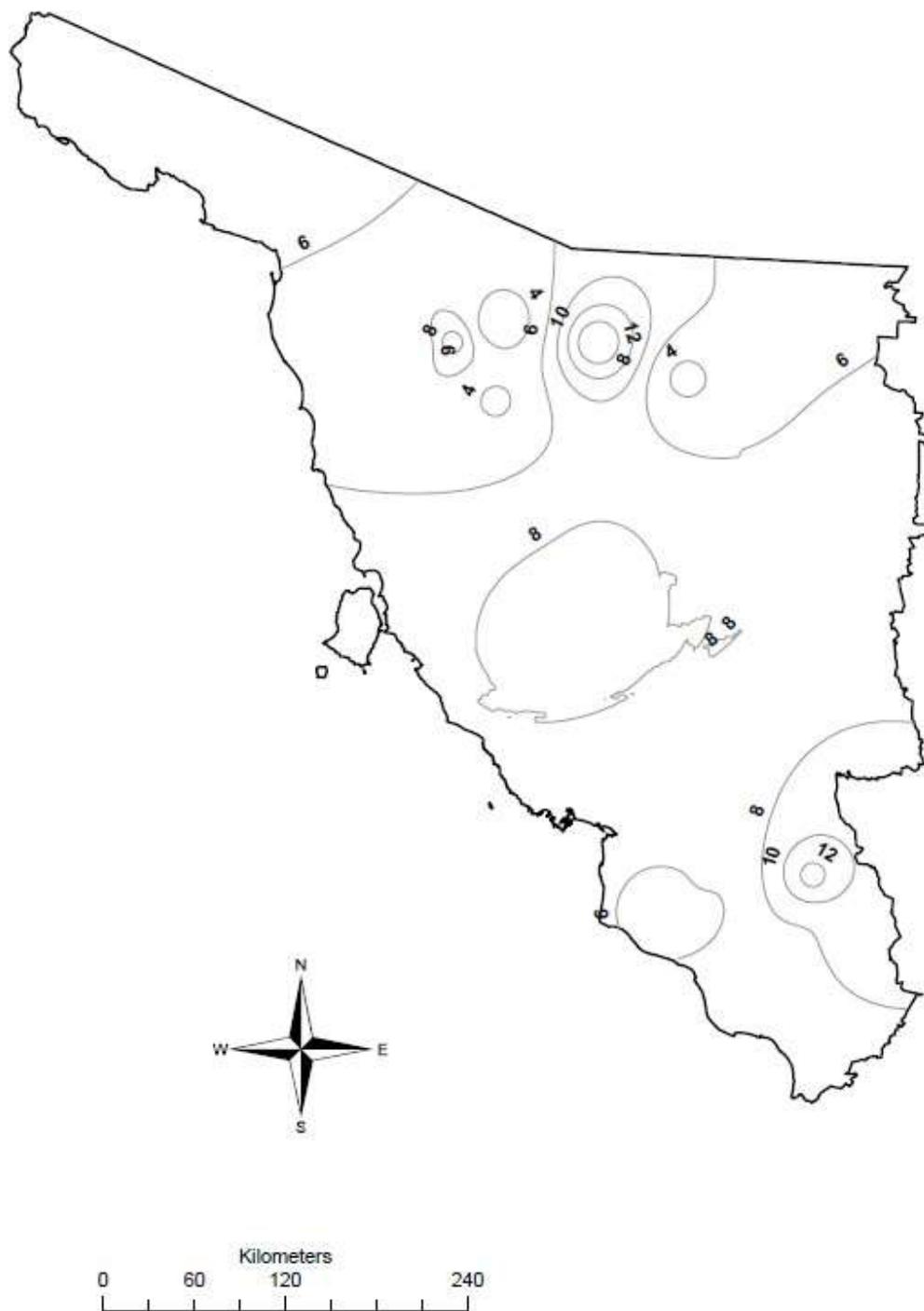


Figura 5.17 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el segundo decil.

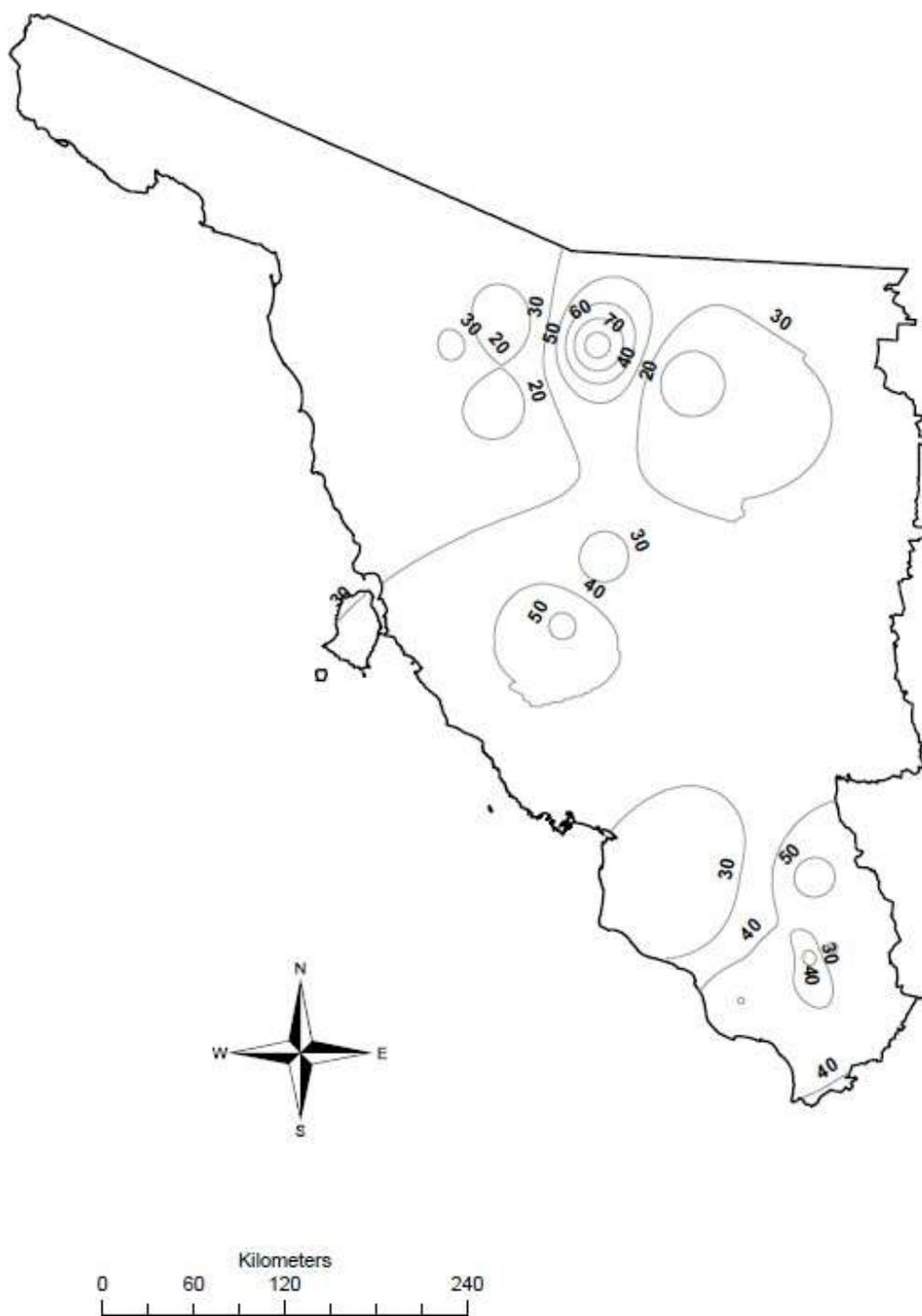


Figura 5.18 Periodo de retorno (años) de la lluvia anual ocurriendo en el primer decil.

5.8 Caracterización de la sequía meteorológica

Hasta el momento se ha determinado el comportamiento de las lluvias en función de sus deciles y periodos de retorno, sin embargo, esto se ha hecho considerando su ocurrencia año a año. A continuación, se procederá a caracterizar a la sequía de forma multianual, mediante la teoría de las secuencias, cuyo esbozo se dio en el subcapítulo 2.4.3.

En la Tabla 5.48 se muestra dicha caracterización para el caso de la serie de lluvias acumuladas anuales de la estación 26001, cuyos años de ocurrencia, magnitud, probabilidad de excedencia $F(x)$, (ecuación 6.1) y periodo de retorno T , (ecuación 6.2), se presentan en las columnas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El primer paso consiste en obtener el umbral X_0 , el cual corresponde a la normal climatológica o promedio anual de una serie continua de datos de tamaño para $N \geq 30$ años. En este caso, $N = 67$ años, por lo que $X_0 = 374.1$ mm.

El siguiente paso es obtener son las anomalías anuales, esto es, $A = X_0 - X_t$, para $t = 1$ hasta N , y cuyos valores se muestran en la columna 5. La periodicidad P , de la columna 6, se define como el número de años que transcurren desde el primer años de un periodo de sequía hasta encontrar el siguiente periodo, por ejemplo, en el año 1953 se presenta una anomalía negativa, que marcaría el inicio de un periodo de estiaje, que en este caso solo dura $D = 1$ año, el cual se ubica en la columna 7, y encontrando el inicio del siguiente periodo de estiaje en el año de 1955, por lo que han pasado 2 años, así, $P = 2$ años, como este segundo periodo de estiaje inicia en 1955 y termina en 1956, entonces, su duración es $D = 2$ años, el cual se ubica también en la columna 7.

Una vez definidos todos los periodos de estiaje con sus respectivas duraciones, se debe obtener su severidad, que no es otra cosa que la suma de las anomalías de cada periodo, así, dado que el primer periodo solo dura un año, su severidad es -96.1 mm, valor que se ubica en la columna 8. La Intensidad I de la columna 9, se obtiene dividiendo la severidad entre su duración, en este caso $I = -96.1 \text{ mm} / 1 \text{ año} = -96.1 \text{ mm/año}$. El porcentaje $\%I$ de la columna 10 indica cuanto representa anualmente la relación de la intensidad obtenida en la columna 9 respecto al umbral, así, $\%I = -96.1 \text{ mm} / 374.1 \text{ mm} = -25.7\%$.

Finalmente, en la columna 11 se da la lámina de lluvia disponible en promedio durante este periodo, obtenida como $H_p \text{ sequía} = X_o + I$, que en este caso resulta en $H_p \text{ sequía} = 374.1 \text{ mm} - 96.1 \text{ mm} = 278.0 \text{ mm}$, que al utilizar las ecuaciones 6.1 y 6.2 se tiene su correspondiente probabilidad de excedencia y periodo de retorno, mostradas en las columnas 12 y 13, respectivamente. El procedimiento descrito se lleva a cabo hasta que se analizan todos los datos de la muestra.

Al final de la tabla se marcan los valores esperados de las secuencias analizadas, así, se puede decir que se presenta una sequía en promedio cada 4.4 años, con una duración de 2.6 años y una severidad de -183.7 mm, equivalente a una intensidad de -68.5 mm/año. Cantidad que representa el -18.3% menor respecto a su umbral. Y cuya lámina disponible en déficit sería 305.6 mm, valor que tiene una probabilidad de excedencia de 0.269 y un periodo de retorno de 3.7 años.

Los valores obtenidos en la tabla 5.48 también cuentan con una dispersión respecto a sus valores esperados, por lo que, al considerar una desviación estándar (Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez, 2013), los valores que caracterizarían a la sequía en el ambiente más desfavorable serían aquellos en que se presenta una sequía en promedio cada 6.3 años, con una duración de 4.2 años y una severidad de -320.6 mm, equivalente a una intensidad de -105.2 mm/año. Cantidad que representa el -28.1% menor respecto a su umbral. Y cuya lámina disponible en déficit sería 268.9 mm, valor que tiene una probabilidad de excedencia de 0.139 y un periodo de retorno de 7.2 años.

Después de este análisis, que considera solo la información registrada, se puede concluir que en este sitio se debe considerar para propósitos de planeación una lluvia de 268.9 mm en lugar de los 374.1 mm, es decir el 71.9% de la lluvia media anual.

En las Tablas 5.49 a 5.67 se exhibe la caracterización de las sequias multianuales del resto de las estaciones en estudio.

Tabla 5.48 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26001.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	435.5	0.758	1.319	61.4								
1951	405.8	0.670	1.493	31.7								
1952	404.8	0.666	1.501	30.7								
1953	278.0	0.167	5.985	-96.1		1	-96.1	-96.1	-25.7%	278.0	0.167	6.0
1954	445.0	0.783	1.278	70.9								
1955	366.2	0.522	1.914	-7.9	2	2	-140.7	-70.4	-18.8%	303.8	0.261	3.8
1956	241.3	0.070	14.312	-132.8								
1957	452.2	0.800	1.251	78.1								
1958	753.1	0.996	1.004	379.0								
1959	499.6	0.886	1.128	125.5								
1960	306.2	0.271	3.692	-67.9	5	3	-159.4	-53.1	-14.2%	321.0	0.332	3.0
1961	350.5	0.457	2.187	-23.6								
1962	306.2	0.271	3.692	-67.9								
1963	433.1	0.752	1.330	59.0								
1964	323.0	0.340	2.940	-51.1	4	2	-51.2	-25.6	-6.8%	348.5	0.449	2.2
1965	374.0	0.554	1.806	-0.1								
1966	441.7	0.774	1.291	67.6								
1967	473.2	0.843	1.186	99.1								
1968	304.8	0.265	3.769	-69.3	4	4	-355.2	-88.8	-23.7%	285.3	0.192	5.2
1969	271.5	0.146	6.832	-102.6								
1970	211.0	0.026	38.694	-163.1								
1971	354.0	0.472	2.119	-20.1								
1972	392.1	0.622	1.607	18.0								
1973	455.8	0.808	1.238	81.7								
1974	311.8	0.294	3.406	-62.3	6	3	-236.7	-78.9	-21.1%	295.2	0.228	4.4
1975	291.2	0.213	4.692	-82.9								
1976	282.6	0.183	5.478	-91.5								
1977	491.0	0.874	1.145	116.9								
1978	492.5	0.876	1.142	118.4								
1979	306.5	0.272	3.675	-67.6	5	4	-153.5	-38.4	-10.3%	335.8	0.394	2.5
1980	305.0	0.266	3.758	-69.1								
1981	366.0	0.522	1.917	-8.1								
1982	365.5	0.519	1.925	-8.6								
1983	596.8	0.968	1.033	222.7								
1984	579.4	0.959	1.042	205.3								
1985	496.5	0.882	1.134	122.4								
1986	448.9	0.792	1.263	74.8								
1987	354.6	0.474	2.108	-19.5	8	1	-19.5	-19.5	-5.2%	354.6	0.474	2.1
1988	577.7	0.959	1.043	203.6								
1989	287.2	0.199	5.034	-86.9	2	1	-86.9	-86.9	-23.2%	287.2	0.199	5.0
1990	425.5	0.731	1.368	51.4								
1991	448.5	0.791	1.264	74.4								
1992	379.4	0.575	1.740	5.3								
1993	346.8	0.442	2.265	-27.3	4	1	-27.3	-27.3	-7.3%	346.8	0.442	2.3
1994	412.3	0.691	1.448	38.2								
1995	268.0	0.136	7.363	-106.1	2	5	-350.5	-70.1	-18.7%	304.0	0.262	3.8
1996	323.4	0.342	2.925	-50.7								
1997	297.0	0.235	4.258	-77.1								
1998	339.4	0.410	2.439	-34.7								
1999	292.3	0.217	4.604	-81.8								
2000	514.1	0.905	1.105	140.0								
2001	311.6	0.293	3.416	-62.5	6	6	-445.4	-74.2	-19.8%	299.9	0.246	4.1
2002	342.6	0.424	2.360	-31.5								
2003	187.4	0.010	105.105	-186.7								
2004	322.0	0.336	2.976	-52.1								
2005	290.2	0.209	4.774	-83.9								
2006	345.5	0.436	2.294	-28.6								
2007	432.8	0.751	1.331	58.7								
2008	223.0	0.040	25.205	-151.1	7	2	-331.1	-165.6	-44.3%	208.6	0.024	42.5
2009	194.1	0.013	77.350	-180.0								
2010	404.7	0.666	1.502	30.6								
2011	521.0	0.913	1.095	146.9								
2012	325.7	0.352	2.844	-48.4	4	1	-48.4	-48.4	-12.9%	325.7	0.352	2.8
2013	417.1	0.706	1.417	43.0								
2014	339.5	0.410	2.436	-34.6	2	3	-252.8	-84.3	-22.5%	289.8	0.208	4.8
2015	300.5	0.248	4.026	-73.6								
2016	229.5	0.049	20.367	-144.6								
Media	374.1	0.554	1.805		4.4	2.6	-183.7	-68.5	-18.3%	305.6	0.269	3.7
S					1.9	1.6	-137.0	-36.7	-9.8%			
Media+S					6.3	4.2	-320.6	-105.2	-28.1%	268.9	0.139	7.2

Tabla 5.49 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26007.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	323.9	0.020	49.060	-213.5		8	-618.0	-77.2	-14.4%	460.2	0.369	2.710
1951	470.0	0.401	2.493	-67.4								
1952	472.8	0.410	2.438	-64.6								
1953	391.5	0.149	6.717	-145.9								
1954	506.8	0.514	1.945	-30.6								
1955	494.3	0.477	2.095	-43.1								
1956	486.1	0.452	2.212	-51.3								
1957	536.1	0.594	1.685	-1.3								
1958	1173.3	0.995	1.005	635.9								
1959	524.4	0.563	1.776	-13.0	9	2	-219.9	-109.9	-20.5%	427.5	0.261	3.838
1960	330.6	0.027	37.065	-206.8								
1961	787.0	0.924	1.083	249.6								
1962	593.8	0.719	1.390	56.4								
1963	638.8	0.792	1.263	101.4								
1964	399.6	0.172	5.801	-137.8	5	1	-137.8	-137.8	-25.6%	399.6	0.172	5.801
1965	608.5	0.745	1.342	71.1								
1966	511.0	0.526	1.900	-26.4	2	1	-26.4	-26.4	-4.9%	511.0	0.526	1.900
1967	719.9	0.879	1.137	182.5								
1968	443.5	0.314	3.188	-93.9	2	1	-93.9	-93.9	-17.5%	443.5	0.314	3.188
1969	571.1	0.675	1.483	33.7								
1970	397.5	0.166	6.018	-139.9	2	1	-139.9	-139.9	-26.0%	397.5	0.166	6.018
1971	573.8	0.680	1.470	36.4								
1972	430.0	0.269	3.720	-107.4	2	5						
1973	415.0	0.220	4.545	-122.4								
1974	491.5	0.469	2.133	-45.9								
1975	435.9	0.288	3.468	-101.5								
1976	436.2	0.289	3.456	-101.2								
1977	742.6	0.897	1.115	205.2								
1978	619.2	0.763	1.311	81.8								
1979	374.8	0.105	9.532	-162.6	7	4	-498.4	-124.6	-23.2%	412.8	0.213	4.693
1980	341.0	0.040	25.091	-196.4								
1981	503.9	0.506	1.977	-33.5								
1982	431.6	0.274	3.648	-105.8								
1983	586.1	0.705	1.419	48.7								
1984	785.6	0.923	1.083	248.2								
1985	779.6	0.920	1.087	242.2								
1986	593.2	0.718	1.393	55.8								
1987	376.4	0.109	9.190	-161.0	8	1	-161.0	-161.0	-30.0%	376.4	0.109	9.190
1988	866.3	0.956	1.046	328.9								
1989	558.0	0.646	1.548	20.6								
1990	531.5	0.582	1.719	-5.9	3	1	-5.9	-5.9	-1.1%	531.5	0.582	1.719
1991	668.2	0.829	1.206	130.8								
1992	658.1	0.817	1.224	120.7								
1993	681.9	0.844	1.185	144.5								
1994	718.8	0.879	1.138	181.4								
1995	420.7	0.238	4.196	-116.7	5	2	-159.7	-79.8	-14.9%	457.6	0.361	2.774
1996	494.5	0.478	2.093	-42.9								
1997	565.7	0.663	1.508	28.3								
1998	607.4	0.743	1.345	70.0								
1999	438.4	0.297	3.371	-99.0	4	1	-99.0	-99.0	-18.4%	438.4	0.297	3.371
2000	927.0	0.971	1.030	389.6								
2001	443.1	0.312	3.202	-94.3	2	8	-648.6	-81.1	-15.1%	456.4	0.356	2.806
2002	375.7	0.107	9.337	-161.7								
2003	402.7	0.182	5.504	-134.7								
2004	496.1	0.483	2.072	-41.3								
2005	493.3	0.474	2.109	-44.1								
2006	491.5	0.469	2.133	-45.9								
2007	412.2	0.211	4.737	-125.2								
2008	536.3	0.594	1.683	-1.1								
2009	597.4	0.726	1.378	60.0								
2010	502.4	0.501	1.995	-35.0	9	4	-550.8	-137.7	-25.6%	399.7	0.173	5.788
2011	369.7	0.093	10.765	-167.7								
2012	313.9	0.013	78.215	-223.5								
2013	412.9	0.213	4.688	-124.5								
2014	604.2	0.738	1.355	66.8								
2015	783.1	0.922	1.085	245.7								
2016	340.1	0.039	25.892	-197.3	6	1	-197.3	-197.3	-36.7%	340.1	0.039	25.892
Media	537.4	0.597	1.675		4.7	2.7	-254.1	-105.1	-19.6%	432.3	0.276	3.618
S					2.7	2.5	-223.2	-50.8	-9.5%			
Media+S					7.4	5.3	-477.2	-155.9	-29.0%	381.5	0.122	8.216

Tabla 5.50 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26024.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	488.7	0.345	2.902	-70.7		4	-286.0	-71.5	-12.8%	487.9	0.342	2.923
1951	456.9	0.247	4.052	-102.5								
1952	551.3	0.544	1.837	-8.1								
1953	454.7	0.240	4.160	-104.7								
1954	607.0	0.692	1.445	47.6								
1955	698.0	0.843	1.186	138.6								
1956	416.2	0.142	7.040	-143.2	6	1	-143.2	-143.2	-25.6%	416.2	0.142	7.040
1957	686.5	0.829	1.206	127.1								
1958	939.3	0.982	1.018	379.9								
1959	957.9	0.986	1.014	398.5								
1960	634.5	0.749	1.335	75.1								
1961	756.5	0.898	1.113	197.1								
1962	572.0	0.604	1.656	12.6								
1963	595.5	0.665	1.504	36.1								
1964	499.0	0.378	2.646	-60.4	8	1	-60.4	-60.4	-10.8%	499.0	0.378	2.646
1965	571.4	0.602	1.660	12.0								
1966	540.0	0.510	1.962	-19.4	2	1	-19.4	-19.4	-3.5%	540.0	0.510	1.962
1967	600.1	0.676	1.479	40.7								
1968	631.8	0.744	1.345	72.4								
1969	420.6	0.152	6.583	-138.8	3	3	-393.5	-131.2	-23.4%	428.2	0.170	5.885
1970	411.9	0.133	7.532	-147.5								
1971	452.2	0.233	4.287	-107.2								
1972	792.4	0.923	1.083	233.0								
1973	513.5	0.425	2.353	-45.9	4	1	-45.9	-45.9	-8.2%	513.5	0.425	2.353
1974	715.3	0.862	1.160	155.9								
1975	364.2	0.055	18.185	-195.2	2	1	-195.2	-195.2	-34.9%	364.2	0.055	18.185
1976	638.4	0.756	1.323	79.0								
1977	358.4	0.049	20.609	-201.0	2	4	-647.3	-161.8	-28.9%	397.6	0.105	9.560
1978	555.0	0.555	1.801	-4.4								
1979	296.3	0.010	104.763	-263.1								
1980	380.6	0.077	13.049	-178.8								
1981	642.8	0.764	1.309	83.4								
1982	611.5	0.702	1.424	52.1								
1983	668.8	0.805	1.242	109.4								
1984	967.7	0.988	1.012	408.3								
1985	424.9	0.162	6.176	-134.5	8	1	-134.5	-134.5	-24.0%	424.9	0.162	6.176
1986	593.4	0.660	1.515	34.0								
1987	308.0	0.014	73.843	-251.4	2	3	-439.3	-146.4	-26.2%	413.0	0.135	7.406
1988	421.4	0.154	6.505	-138.0								
1989	509.5	0.412	2.427	-49.9								
1990	787.5	0.920	1.087	228.1								
1991	556.0	0.558	1.791	-3.4	4	1	-3.4	-3.4	-0.6%	556.0	0.558	1.791
1992	664.0	0.798	1.253	104.6								
1993	507.8	0.406	2.460	-51.6	2	1	-51.6	-51.6	-9.2%	507.8	0.406	2.460
1994	646.2	0.770	1.299	86.8								
1995	556.6	0.560	1.786	-2.8	2	9	-674.3	-74.9	-13.4%	484.5	0.331	3.020
1996	466.9	0.276	3.617	-92.5								
1997	542.5	0.517	1.933	-16.9								
1998	373.5	0.067	15.007	-185.9								
1999	493.0	0.358	2.790	-66.4								
2000	510.0	0.414	2.417	-49.4								
2001	537.7	0.502	1.990	-21.7								
2002	384.5	0.083	12.115	-174.9								
2003	495.6	0.367	2.726	-63.8								
2004	662.3	0.796	1.257	102.9								
2005	391.2	0.093	10.705	-168.2	10	2	-180.7	-90.4	-16.2%	469.1	0.283	3.534
2006	546.9	0.531	1.884	-12.5								
2007	654.5	0.784	1.276	95.1								
2008	822.2	0.940	1.063	262.8								
2009	505.9	0.400	2.498	-53.5	4	6	-433.7	-72.3	-12.9%	487.1	0.340	2.945
2010	465.9	0.273	3.657	-93.5								
2011	500.1	0.381	2.621	-59.3								
2012	459.3	0.254	3.941	-100.1								
2013	515.1	0.430	2.324	-44.3								
2014	476.4	0.306	3.271	-83.0								
2015	784.1	0.918	1.089	224.7								
2016	470.4	0.287	3.485	-89.0	7	1	-89.0	-89.0	-15.9%	470.4	0.287	3.485
Media	559.4	0.568	1.760		4.4	2.5	-237.4	-93.2	-16.7%	466.2	0.274	3.645
S					2.7	2.3	-218.5	-53.8	-9.6%			
Media+S					7.1	4.8	-455.9	-147.0	-26.3%	412.4	0.134	7.472

Tabla 5.51 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26034.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	629.4	0.885	1.129	234.3								
1951	303.0	0.305	3.275	-92.1								
1952	183.0	0.028	35.248	-212.1		4	-603.3	-150.8	-38.2%	244.3	0.125	7.982
1953	182.0	0.028	36.328	-213.1								
1954	309.2	0.328	3.052	-85.9								
1955	617.7	0.879	1.138	222.6								
1956	524.6	0.821	1.218	129.5								
1957	259.5	0.165	6.073	-135.6	6	1	-135.6	-135.6	-34.3%	259.5	0.165	6.073
1958	811.7	0.981	1.020	416.6								
1959	719.2	0.938	1.067	324.1								
1960	485.5	0.785	1.273	90.4								
1961	360.3	0.511	1.956	-34.8	4	7	-369.0	-52.7	-13.3%	342.4	0.449	2.228
1962	321.2	0.371	2.692	-73.9								
1963	327.2	0.393	2.541	-67.9								
1964	312.8	0.341	2.935	-82.3								
1965	330.5	0.406	2.466	-64.6								
1966	380.9	0.578	1.731	-14.2								
1967	364.0	0.524	1.909	-31.1								
1968	620.7	0.880	1.136	225.6								
1969	240.0	0.115	8.677	-155.1	8	2	-250.2	-125.1	-31.7%	270.1	0.195	5.118
1970	300.1	0.295	3.389	-95.0								
1971	452.6	0.742	1.348	57.5								
1972	817.4	0.983	1.018	422.3								
1973	222.2	0.079	12.638	-172.9	4	8	-1194.1	-149.3	-37.8%	245.9	0.129	7.747
1974	313.4	0.343	2.916	-81.7								
1975	234.3	0.103	9.734	-160.8								
1976	284.8	0.242	4.125	-110.3								
1977	150.2	0.009	107.205	-244.9								
1978	217.2	0.071	14.178	-177.9								
1979	296.6	0.283	3.537	-98.5								
1980	248.3	0.135	7.405	-146.8								
1981	542.5	0.833	1.200	147.4								
1982	250.2	0.140	7.151	-144.9	9	2	-151.6	-75.8	-19.2%	319.4	0.365	2.742
1983	388.5	0.600	1.666	-6.6								
1984	777.9	0.968	1.034	382.8								
1985	368.1	0.537	1.861	-27.0	2	5	-478.0	-95.6	-24.2%	299.5	0.293	3.412
1986	298.3	0.289	3.464	-96.8								
1987	217.5	0.071	14.079	-177.6								
1988	274.1	0.208	4.811	-121.0								
1989	339.7	0.439	2.278	-55.4								
1990	555.4	0.842	1.188	160.3								
1991	389.5	0.603	1.658	-5.6	6	1	-5.6	-5.6	-1.4%	389.5	0.603	1.658
1992	410.6	0.659	1.518	15.5								
1993	374.5	0.558	1.793	-20.6	2	1	-20.6	-20.6	-5.2%	374.5	0.558	1.793
1994	400.9	0.634	1.577	5.8								
1995	381.0	0.578	1.730	-14.1	2	2	-75.0	-37.5	-9.5%	357.7	0.502	1.991
1996	334.3	0.419	2.384	-60.8								
1997	604.5	0.871	1.148	209.4								
1998	435.6	0.712	1.404	40.5								
1999	316.7	0.355	2.817	-78.4	4	2	-174.3	-87.1	-22.1%	308.0	0.323	3.093
2000	299.3	0.292	3.422	-95.8								
2001	585.0	0.860	1.163	189.9								
2002	239.9	0.115	8.694	-155.2	3	2	-233.9	-116.9	-29.6%	278.2	0.221	4.528
2003	316.5	0.354	2.823	-78.6								
2004	469.4	0.766	1.305	74.3								
2005	279.4	0.225	4.450	-115.7	3	2	-231.3	-115.6	-29.3%	279.5	0.225	4.444
2006	279.6	0.225	4.438	-115.5								
2007	419.6	0.680	1.472	24.5								
2008	812.3	0.981	1.019	417.2								
2009	407.6	0.651	1.535	12.5								
2010	410.8	0.659	1.517	15.7								
2011	502.5	0.802	1.246	107.4								
2012	458.8	0.751	1.331	63.7								
2013	386.1	0.593	1.686	-9.0	8	2	-70.7	-35.3	-8.9%	359.8	0.510	1.962
2014	333.5	0.416	2.401	-61.7								
2015	444.1	0.728	1.374	48.9								
2016	350.3	0.477	2.098	-44.9	3	1	-44.9	-44.9	-11.4%	350.3	0.477	2.098
Media	395.1	0.619	1.616		4.6	2.8	-269.2	-83.2	-21.1%	311.9	0.337	2.963
S					2.4	2.2	-307.4	-48.2	-12.2%			
Media+S					7.0	5.0	-576.6	-131.5	-33.3%	263.7	0.176	5.666

Tabla 5.52 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26038.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequia	F(X)	T
1950	269.5	0.178	5.624	-128.2		1	-128.2	-128.2	-32.2%	269.5	0.178	5.624
1951	447.2	0.720	1.389	49.5								
1952	415.0	0.641	1.559	17.3								
1953	243.0	0.110	9.061	-154.7	3	1	-154.7	-154.7	-38.9%	243.0	0.110	9.061
1954	457.5	0.742	1.348	59.8								
1955	327.8	0.366	2.735	-69.9	2	3	-399.3	-133.1	-33.5%	264.6	0.164	6.091
1956	188.5	0.026	38.063	-209.2								
1957	277.5	0.201	4.974	-120.2								
1958	400.0	0.600	1.667	2.3								
1959	490.9	0.802	1.246	93.2								
1960	337.0	0.397	2.517	-60.7	5	3	-313.9	-104.6	-26.3%	293.1	0.249	4.012
1961	349.7	0.441	2.270	-48.0								
1962	192.5	0.030	33.352	-205.2								
1963	877.0	0.977	1.024	479.3								
1964	1033.5	0.994	1.006	635.8								
1965	382.5	0.547	1.827	-15.2	5	1	-15.2	-15.2	-3.8%	382.5	0.547	1.827
1966	532.7	0.858	1.165	135.0								
1967	503.2	0.821	1.218	105.5								
1968	203.5	0.042	23.778	-194.2	3	3	-313.1	-104.4	-26.2%	293.3	0.250	3.998
1969	316.5	0.327	3.058	-81.2								
1970	360.0	0.475	2.105	-37.7								
1971	483.5	0.790	1.266	85.8								
1972	302.6	0.280	3.567	-95.1	4	5	-522.0	-104.4	-26.3%	293.3	0.250	4.000
1973	269.0	0.176	5.669	-128.7								
1974	338.5	0.402	2.485	-59.2								
1975	257.0	0.144	6.943	-140.7								
1976	299.4	0.270	3.706	-98.3								
1977	415.0	0.641	1.559	17.3								
1978	618.0	0.923	1.083	220.3								
1979	355.3	0.459	2.177	-42.4	7	3	-146.4	-48.8	-12.3%	348.9	0.438	2.284
1980	307.4	0.296	3.375	-90.3								
1981	384.0	0.552	1.812	-13.7								
1982	419.0	0.652	1.534	21.3								
1983	781.0	0.963	1.039	383.3								
1984	597.0	0.912	1.097	199.3								
1985	376.5	0.529	1.892	-21.2	6	1	-21.2	-21.2	-5.3%	376.5	0.529	1.892
1986	463.5	0.754	1.327	65.8								
1987	388.0	0.564	1.772	-9.7	2	1	-9.7	-9.7	-2.4%	388.0	0.564	1.772
1988	513.2	0.835	1.198	115.5								
1989	319.9	0.339	2.953	-77.8	2	3	-196.2	-65.4	-16.4%	332.3	0.381	2.624
1990	362.3	0.483	2.072	-35.4								
1991	314.7	0.321	3.116	-83.0								
1992	621.0	0.925	1.082	223.3								
1993	481.8	0.787	1.270	84.1								
1994	477.4	0.780	1.283	79.7								
1995	362.1	0.482	2.075	-35.6	6	2	-180.8	-90.4	-22.7%	307.3	0.296	3.379
1996	252.5	0.133	7.536	-145.2								
1997	480.1	0.784	1.275	82.4								
1998	247.6	0.121	8.271	-150.1	3	1	-150.1	-150.1	-37.7%	247.6	0.121	8.271
1999	409.7	0.627	1.595	12.0								
2000	691.9	0.948	1.055	294.2								
2001	565.4	0.890	1.124	167.7								
2002	294.5	0.254	3.939	-103.2	4	2	-126.5	-63.2	-15.9%	334.5	0.389	2.574
2003	374.4	0.522	1.916	-23.3								
2004	450.5	0.727	1.375	52.8								
2005	351.3	0.446	2.243	-46.4	3	5	-625.8	-125.2	-31.5%	272.5	0.186	5.362
2006	215.1	0.058	17.252	-182.6								
2007	280.4	0.210	4.768	-117.3								
2008	310.1	0.305	3.275	-87.6								
2009	205.8	0.045	22.250	-191.9								
2010	414.8	0.641	1.560	17.1								
2011	326.3	0.361	2.774	-71.4	6	1	-71.4	-71.4	-18.0%	326.3	0.361	2.774
2012	401.0	0.603	1.659	3.3								
2013	239.2	0.102	9.799	-158.5	2	1	-158.5	-158.5	-39.9%	239.2	0.102	9.799
2014	544.5	0.871	1.148	146.8								
2015	302.8	0.281	3.559	-94.9	2	2	-317.0	-158.5	-39.9%	239.2	0.102	9.799
2016	175.6	0.017	60.452	-222.1								
Media	397.7	0.593	1.686		3.8	2.2	-213.9	-94.8	-23.8%	302.9	0.281	3.556
S					1.7	1.3	-171.4	-49.8	-12.5%			
Media+S					5.5	3.5	-385.3	-144.6	-36.4%	253.1	0.134	7.451

Tabla 5.53 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26068.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	219.9	0.039	25.841	-193.3		5	-790.0	-158.0	-38.2%	255.2	0.081	12.351
1951	234.3	0.053	18.766	-178.9								
1952	296.5	0.161	6.226	-116.7								
1953	197.7	0.022	44.885	-215.5								
1954	327.8	0.243	4.111	-85.4								
1955	486.0	0.750	1.333	72.8								
1956	322.3	0.227	4.396	-90.9	6	1	-90.9	-90.9	-22.0%	322.3	0.227	4.396
1957	571.9	0.903	1.108	158.7								
1958	786.1	0.995	1.005	372.9								
1959	564.4	0.894	1.118	151.2								
1960	472.9	0.715	1.398	59.7								
1961	423.5	0.563	1.777	10.3								
1962	407.2	0.507	1.972	-6.0	6	1	-6.0	-6.0	-1.5%	407.2	0.507	1.972
1963	594.9	0.924	1.082	181.7								
1964	232.0	0.051	19.713	-181.2	2	2	-240.3	-120.1	-29.1%	293.1	0.153	6.547
1965	354.2	0.325	3.074	-59.0								
1966	496.6	0.776	1.289	83.4								
1967	444.5	0.631	1.584	31.3								
1968	610.0	0.935	1.069	196.8								
1969	469.1	0.705	1.419	55.9								
1970	409.7	0.516	1.939	-3.5	6	2	-111.0	-55.5	-13.4%	357.8	0.337	2.968
1971	305.8	0.183	5.457	-107.4								
1972	499.8	0.783	1.277	86.6								
1973	244.0	0.065	15.359	-169.2	3	3	-314.8	-104.9	-25.4%	308.3	0.190	5.273
1974	386.0	0.433	2.308	-27.2								
1975	294.9	0.157	6.374	-118.3								
1976	513.1	0.812	1.232	99.9								
1977	284.5	0.134	7.468	-128.7	4	1	-128.7	-128.7	-31.2%	284.5	0.134	7.468
1978	493.3	0.768	1.302	80.1								
1979	340.8	0.282	3.540	-72.4	2	1	-72.4	-72.4	-17.5%	340.8	0.282	3.540
1980	463.0	0.687	1.455	49.8								
1981	547.8	0.872	1.147	134.6								
1982	482.7	0.742	1.349	69.5								
1983	598.6	0.927	1.078	185.4								
1984	497.4	0.778	1.286	84.2								
1985	296.8	0.161	6.199	-116.4	6	1	-116.4	-116.4	-28.2%	296.8	0.161	6.199
1986	451.5	0.653	1.531	38.3								
1987	186.8	0.016	60.633	-226.4	2	3	-378.4	-126.1	-30.5%	287.1	0.139	7.172
1988	354.0	0.325	3.080	-59.2								
1989	320.5	0.222	4.496	-92.7								
1990	720.5	0.976	1.025	307.3								
1991	371.0	0.382	2.621	-42.2	4	3	-205.7	-68.6	-16.6%	344.7	0.295	3.394
1992	269.0	0.104	9.642	-144.2								
1993	394.0	0.461	2.168	-19.2								
1994	459.2	0.676	1.478	46.0								
1995	386.6	0.435	2.297	-26.6	4	1	-26.6	-26.6	-6.4%	386.6	0.435	2.297
1996	471.7	0.712	1.404	58.5								
1997	496.6	0.776	1.289	83.4								
1998	469.7	0.707	1.415	56.5								
1999	379.6	0.411	2.432	-33.6	4	5	-340.9	-68.2	-16.5%	345.1	0.296	3.380
2000	261.0	0.090	11.107	-152.2								
2001	374.0	0.392	2.552	-39.2								
2002	342.0	0.286	3.494	-71.2								
2003	368.7	0.374	2.676	-44.5								
2004	679.0	0.964	1.038	265.8								
2005	393.4	0.459	2.178	-19.8	6	3	-140.8	-46.9	-11.4%	366.3	0.366	2.735
2006	316.6	0.212	4.725	-96.6								
2007	388.9	0.443	2.255	-24.3								
2008	453.0	0.658	1.520	39.8								
2009	508.1	0.801	1.248	94.9								
2010	295.1	0.157	6.356	-118.1	5	2	-178.7	-89.3	-21.6%	323.9	0.232	4.310
2011	352.7	0.320	3.121	-60.5								
2012	529.3	0.843	1.187	116.1								
2013	358.3	0.339	2.952	-54.9	3	1	-54.9	-54.9	-13.3%	358.3	0.339	2.952
2014	414.0	0.531	1.885	0.8								
2015	508.2	0.802	1.248	95.0								
2016	243.6	0.065	15.488	-169.6	3	1	-169.6	-169.6	-41.1%	243.6	0.065	15.488
Media	413.2	0.528	1.894		4.1	2.1	-198.0	-88.4	-21.4%	324.8	0.235	4.263
S					1.5	1.4	-186.5	-44.8	-10.8%			
Media+S					5.7	3.5	-384.5	-133.3	-32.2%	280.0	0.125	8.027

Tabla 5.54 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26092.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	307.5	0.312	3.2	-87.3		1	-87.3	-87.3	-22.1%	307.5	0.312	3.2
1951	431.7	0.710	1.4	36.9								
1952	324.2	0.376	2.7	-70.6	2	6	-522.3	-87.1	-22.0%	307.8	0.313	3.2
1953	235.5	0.078	12.9	-159.3								
1954	377.4	0.565	1.8	-17.4								
1955	372.7	0.550	1.8	-22.1								
1956	226.8	0.060	16.8	-168.0								
1957	310.0	0.321	3.1	-84.8								
1958	467.4	0.780	1.3	72.6								
1959	561.3	0.889	1.1	166.5								
1960	376.1	0.560	1.8	-18.7	8	3	-200.9	-67.0	-17.0%	327.9	0.390	2.6
1961	389.4	0.601	1.7	-5.4								
1962	218.1	0.045	22.5	-176.7								
1963	944.8	0.985	1.0	550.0								
1964	1140.6	0.993	1.0	745.8								
1965	435.5	0.719	1.4	40.7								
1966	419.5	0.682	1.5	24.7								
1967	336.2	0.421	2.4	-58.6	7	4	-414.0	-103.5	-26.2%	291.3	0.250	4.0
1968	195.0	0.017	57.4	-199.8								
1969	292.9	0.256	3.9	-101.9								
1970	341.2	0.440	2.3	-53.6								
1971	425.3	0.696	1.4	30.5								
1972	186.6	0.012	86.6	-208.2	5	6	-687.7	-114.6	-29.0%	280.2	0.210	4.8
1973	279.3	0.207	4.8	-115.5								
1974	274.6	0.190	5.3	-120.2								
1975	303.2	0.295	3.4	-91.6								
1976	263.2	0.153	6.6	-131.6								
1977	374.3	0.555	1.8	-20.5								
1978	503.5	0.832	1.2	108.7								
1979	322.0	0.367	2.7	-72.8	7	4	-255.9	-64.0	-16.2%	330.9	0.401	2.5
1980	290.8	0.248	4.0	-104.0								
1981	349.2	0.469	2.1	-45.6								
1982	361.4	0.512	2.0	-33.4								
1983	682.4	0.948	1.1	287.6								
1984	590.7	0.909	1.1	195.9								
1985	250.3	0.114	8.7	-144.5	6	1	-144.5	-144.5	-36.6%	250.3	0.114	8.7
1986	438.8	0.726	1.4	44.0								
1987	395.8	0.620	1.6	1.0								
1988	309.8	0.320	3.1	-85.0	3	4	-252.0	-63.0	-16.0%	331.8	0.405	2.5
1989	313.2	0.333	3.0	-81.6								
1990	341.5	0.441	2.3	-53.3								
1991	362.8	0.517	1.9	-32.0								
1992	544.7	0.875	1.1	149.9								
1993	401.2	0.635	1.6	6.4								
1994	524.8	0.856	1.2	130.0								
1995	361.0	0.510	2.0	-33.8	7	1	-33.8	-33.8	-8.6%	361.0	0.510	2.0
1996	396.5	0.622	1.6	1.7								
1997	505.2	0.834	1.2	110.4								
1998	467.8	0.780	1.3	73.0								
1999	525.6	0.857	1.2	130.8								
2000	669.5	0.944	1.1	274.7								
2001	562.9	0.890	1.1	168.1								
2002	298.2	0.276	3.6	-96.6	7	2	-117.2	-58.6	-14.8%	336.2	0.421	2.4
2003	374.2	0.554	1.8	-20.6								
2004	452.7	0.753	1.3	57.9								
2005	356.8	0.496	2.0	-38.0	3	5	-605.7	-121.1	-30.7%	273.7	0.187	5.3
2006	214.6	0.039	25.5	-180.2								
2007	280.1	0.209	4.8	-114.7								
2008	311.0	0.325	3.1	-83.8								
2009	205.9	0.028	35.7	-188.9								
2010	417.0	0.676	1.5	22.2								
2011	323.8	0.374	2.7	-71.0	6	1	-71.0	-71.0	-18.0%	323.8	0.374	2.7
2012	409.9	0.658	1.5	15.1								
2013	233.0	0.072	13.9	-161.8	2	1	-161.8	-161.8	-41.0%	233.0	0.072	13.9
2014	665.0	0.943	1.1	270.2								
2015	382.7	0.581	1.7	-12.1	2	2	-160.7	-80.3	-20.3%	314.5	0.338	3.0
2016	246.2	0.104	9.7	-148.6								
Media	394.8	0.617	1.6		5.0	2.9	-265.3	-89.8	-22.8%	305.0	0.302	3.3
S					2.3	1.9	-209.0	-35.6	-9.0%			
Media+S					7.3	4.8	-474.4	-125.4	-31.8%	269.4	0.173	5.8

Tabla 5.55 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26093.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	272.2	0.615	1.627	2.4								
1951	428.8	0.935	1.069	159.0								
1952	345.9	0.851	1.175	76.1								
1953	222.6	0.324	3.087	-47.2		1	-47.2	-47.2	-17.5%	222.6	0.324	3.087
1954	331.8	0.824	1.214	62.0								
1955	244.4	0.458	2.184	-25.4	2	3	-140.7	-46.9	-17.4%	222.9	0.326	3.068
1956	225.6	0.342	2.922	-44.2								
1957	198.8	0.190	5.253	-71.0								
1958	577.2	0.987	1.013	307.4								
1959	632.5	0.993	1.007	362.7								
1960	232.3	0.383	2.608	-37.5	5	1	-37.5	-37.5	-13.9%	232.3	0.383	2.608
1961	313.8	0.779	1.284	44.0								
1962	189.3	0.146	6.855	-80.5	2	1	-80.5	-80.5	-29.8%	189.3	0.146	6.855
1963	284.3	0.672	1.488	14.5								
1964	261.9	0.560	1.785	-7.9	2	1	-7.9	-7.9	-2.9%	261.9	0.560	1.785
1965	289.0	0.692	1.445	19.2								
1966	332.9	0.826	1.210	63.1								
1967	381.0	0.897	1.114	111.2								
1968	188.7	0.143	6.979	-81.1	4	8	-400.0	-50.0	-18.5%	219.8	0.307	3.255
1969	232.2	0.383	2.612	-37.6								
1970	248.9	0.485	2.061	-20.9								
1971	262.5	0.563	1.775	-7.3								
1972	212.0	0.261	3.826	-57.8								
1973	210.4	0.252	3.964	-59.4								
1974	220.6	0.312	3.206	-49.2								
1975	183.3	0.121	8.258	-86.5								
1976	308.9	0.764	1.309	39.1								
1977	201.3	0.203	4.924	-68.5	9	1	-68.5	-68.5	-25.4%	201.3	0.203	4.924
1978	297.8	0.726	1.377	28.0								
1979	183.6	0.122	8.178	-86.2	2	4	-291.4	-72.8	-27.0%	197.0	0.181	5.514
1980	126.5	0.009	116.875	-143.3								
1981	213.5	0.270	3.704	-56.3								
1982	264.3	0.573	1.744	-5.5								
1983	493.9	0.966	1.035	224.1								
1984	362.2	0.876	1.142	92.4								
1985	180.2	0.109	9.145	-89.6	6	3	-245.6	-81.9	-30.3%	188.0	0.140	7.135
1986	236.7	0.411	2.435	-33.1								
1987	147.0	0.028	36.292	-122.8								
1988	274.1	0.624	1.602	4.3								
1989	161.2	0.053	18.789	-108.6	4	3	-188.9	-63.0	-23.3%	206.9	0.233	4.298
1990	233.1	0.388	2.575	-36.7								
1991	226.3	0.347	2.886	-43.5								
1992	363.0	0.877	1.141	93.2								
1993	392.2	0.908	1.101	122.4								
1994	246.7	0.472	2.119	-23.1	5	4	-106.0	-26.5	-9.8%	243.3	0.451	2.215
1995	258.2	0.539	1.854	-11.6								
1996	216.8	0.289	3.457	-53.0								
1997	251.6	0.501	1.995	-18.2								
1998	361.3	0.874	1.144	91.5								
1999	336.6	0.834	1.199	66.8								
2000	214.1	0.273	3.657	-55.7	6	1	-55.7	-55.7	-20.7%	214.1	0.273	3.657
2001	300.3	0.735	1.360	30.5								
2002	205.4	0.225	4.450	-64.4	2	1	-64.4	-64.4	-23.9%	205.4	0.225	4.450
2003	285.4	0.677	1.478	15.6								
2004	198.2	0.187	5.336	-71.6	2	6	-364.5	-60.8	-22.5%	209.1	0.245	4.085
2005	219.1	0.303	3.301	-50.7								
2006	264.8	0.576	1.736	-5.0								
2007	238.8	0.424	2.361	-31.0								
2008	174.1	0.088	11.314	-95.7								
2009	159.4	0.049	20.300	-110.4								
2010	320.2	0.796	1.256	50.4								
2011	280.9	0.657	1.523	11.1								
2012	281.9	0.661	1.513	12.1								
2013	282.1	0.662	1.511	12.3								
2014	417.6	0.928	1.078	147.7								
2015	208.0	0.239	4.186	-61.8	11	2	-163.8	-81.9	-30.4%	187.9	0.140	7.150
2016	167.8	0.070	14.350	-102.0								
Media	269.8	0.603	1.660		4.4	2.7	-150.8	-56.4	-20.9%	213.5	0.270	3.708
S					2.8	2.1	-123.2	-21.1	-7.8%			
Media+S					7.3	4.8	-274.0	-77.5	-28.7%	192.3	0.159	6.273

Tabla 5.56 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26096.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	402.6	0.958	1.04	171.1								
1951	482.9	0.988	1.01	251.4								
1952	347.9	0.908	1.10	116.4								
1953	252.4	0.689	1.45	20.9								
1954	278.5	0.773	1.29	47.0								
1955	199.8	0.374	2.67	-31.7		4	-190.2	-47.6	-20.5%			
1956	198.2	0.363	2.75	-33.3						184.0	0.272	3.67
1957	123.7	0.065	15.42	-107.8								
1958	214.2	0.479	2.09	-17.3								
1959	373.0	0.936	1.07	141.5								
1960	214.5	0.481	2.08	-17.0	5	1	-17.0	-17.0	-7.4%	214.5	0.481	2.08
1961	329.8	0.883	1.13	98.3								
1962	272.2	0.755	1.32	40.7								
1963	196.3	0.350	2.86	-35.2	3	1	-35.2	-35.2	-15.2%	196.3	0.350	2.86
1964	235.0	0.611	1.64	3.5								
1965	240.9	0.641	1.56	9.4								
1966	205.0	0.412	2.43	-26.5	3	2	-33.4	-16.7	-7.2%	214.9	0.484	2.07
1967	224.7	0.551	1.81	-6.8								
1968	272.2	0.755	1.32	40.7								
1969	186.0	0.284	3.52	-45.5	3	9	-532.8	-59.2	-25.6%	172.3	0.214	4.67
1970	228.5	0.575	1.74	-3.0								
1971	109.6	0.040	24.75	-121.9								
1972	211.1	0.457	2.19	-20.4								
1973	118.4	0.055	18.26	-113.1								
1974	190.6	0.312	3.20	-40.9								
1975	126.2	0.070	14.28	-105.3								
1976	193.8	0.333	3.00	-37.7								
1977	186.8	0.289	3.46	-44.7								
1978	313.5	0.854	1.17	82.0								
1979	245.4	0.661	1.51	13.9								
1980	97.4	0.025	39.77	-134.1	11	3	-192.6	-64.2	-27.7%	167.3	0.193	5.19
1981	173.6	0.220	4.55	-57.9								
1982	231.0	0.589	1.70	-0.5								
1983	486.3	0.988	1.01	254.8								
1984	322.6	0.871	1.15	91.1								
1985	234.9	0.611	1.64	3.4								
1986	163.3	0.177	5.65	-68.2	6	2	-106.6	-53.3	-23.0%	178.3	0.242	4.13
1987	193.2	0.329	3.04	-38.3								
1988	256.2	0.704	1.42	24.7								
1989	121.9	0.061	16.31	-109.6	3	1	-109.6	-109.6	-47.4%	121.9	0.061	16.31
1990	252.6	0.690	1.45	21.1								
1991	186.6	0.288	3.48	-44.9	2	1	-44.9	-44.9	-19.4%	186.6	0.288	3.48
1992	400.5	0.957	1.04	169.0								
1993	299.6	0.825	1.21	68.1								
1994	249.6	0.679	1.47	18.1								
1995	126.2	0.070	14.28	-105.3	4	2	-149.2	-74.6	-32.2%	157.0	0.154	6.49
1996	187.7	0.294	3.40	-43.8								
1997	336.8	0.893	1.12	105.3								
1998	211.5	0.460	2.18	-20.0	3	7	-272.6	-38.9	-16.8%	192.6	0.325	3.08
1999	97.4	0.025	39.77	-134.1								
2000	177.8	0.240	4.17	-53.7								
2001	200.4	0.379	2.64	-31.1								
2002	208.2	0.436	2.30	-23.3								
2003	231.1	0.590	1.70	-0.4								
2004	221.7	0.531	1.88	-9.8								
2005	286.4	0.794	1.26	54.9								
2006	136.4	0.094	10.68	-95.1	8	2	-182.0	-91.0	-39.3%	140.6	0.104	9.58
2007	144.7	0.116	8.63	-86.8								
2008	232.4	0.597	1.67	0.9								
2009	156.7	0.153	6.52	-74.8	3	1	-74.8	-74.8	-32.3%	156.7	0.153	6.52
2010	232.0	0.595	1.68	0.5								
2011	368.7	0.932	1.07	137.2								
2012	295.5	0.816	1.23	64.0								
2013	309.9	0.847	1.18	78.4								
2014	178.8	0.245	4.08	-52.7	5	3	-186.3	-62.1	-26.8%	169.4	0.201	4.97
2015	181.1	0.257	3.90	-50.4								
2016	148.3	0.127	7.90	-83.2								
Media	231.5	0.592	1.69		4.5	2.8	-152.0	-56.4	-24.3%	175.2	0.227	4.41
S					2.5	2.4	-133.6	-26.2	-11.3%			
Media+S					7.1	5.2	-285.5	-82.5	-35.6%	149.0	0.129	7.78

Tabla 5.57 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26098.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	791.3	0.963	1.0	297.1								
1951	367.8	0.165	6.1	-126.4		4	-528.3	-132.1	-26.7%	362.1	0.153	6.6
1952	329.5	0.093	10.7	-164.7								
1953	261.1	0.025	39.3	-233.1								
1954	490.1	0.537	1.9	-4.1								
1955	655.1	0.882	1.1	160.9								
1956	432.0	0.343	2.9	-62.2	5	2	-153.4	-76.7	-15.5%	417.5	0.297	3.4
1957	403.0	0.254	3.9	-91.2								
1958	766.8	0.953	1.0	272.6								
1959	554.0	0.722	1.4	59.8								
1960	472.1	0.477	2.1	-22.1	4	1	-22.1	-22.1	-4.5%	472.1	0.477	2.1
1961	537.6	0.681	1.5	43.4								
1962	404.9	0.260	3.8	-89.3	2	1	-89.3	-89.3	-18.1%	404.9	0.260	3.8
1963	648.6	0.876	1.1	154.4								
1964	413.1	0.284	3.5	-81.1	2	5	-246.7	-49.3	-10.0%	444.9	0.385	2.6
1965	446.9	0.392	2.6	-47.3								
1966	460.5	0.437	2.3	-33.7								
1967	467.7	0.462	2.2	-26.5								
1968	436.1	0.356	2.8	-58.1								
1969	522.5	0.638	1.6	28.3								
1970	473.3	0.481	2.1	-20.9	6	1	-20.9	-20.9	-4.2%	473.3	0.481	2.1
1971	539.2	0.685	1.5	45.0								
1972	542.4	0.693	1.4	48.2								
1973	387.4	0.212	4.7	-106.8	3	3	-231.6	-77.2	-15.6%	417.0	0.296	3.4
1974	454.2	0.416	2.4	-40.0								
1975	409.4	0.273	3.7	-84.8								
1976	500.6	0.571	1.8	6.4								
1977	288.3	0.045	22.3	-205.9	4	1	-205.9	-205.9	-41.7%	288.3	0.045	22.3
1978	495.4	0.554	1.8	1.2								
1979	333.6	0.100	10.0	-160.6	2	1	-160.6	-160.6	-32.5%	333.6	0.100	10.0
1980	590.8	0.798	1.3	96.6								
1981	623.5	0.847	1.2	129.3								
1982	524.8	0.645	1.6	30.6								
1983	684.8	0.907	1.1	190.6								
1984	971.8	0.996	1.0	477.6								
1985	418.7	0.301	3.3	-75.5	6	1	-75.5	-75.5	-15.3%	418.7	0.301	3.3
1986	658.6	0.885	1.1	164.4								
1987	311.7	0.069	14.5	-182.5	2	3	-316.4	-105.5	-21.3%	388.7	0.216	4.6
1988	366.4	0.162	6.2	-127.8								
1989	488.1	0.530	1.9	-6.1								
1990	793.1	0.964	1.0	298.9								
1991	489.2	0.534	1.9	-5.0	4	1	-5.0	-5.0	-1.0%	489.2	0.534	1.9
1992	536.2	0.677	1.5	42.0								
1993	581.9	0.782	1.3	87.7								
1994	581.9	0.782	1.3	87.7								
1995	531.4	0.664	1.5	37.2								
1996	421.8	0.310	3.2	-72.4	5	1	-72.4	-72.4	-14.6%	421.8	0.310	3.2
1997	621.5	0.845	1.2	127.3								
1998	352.2	0.133	7.5	-142.0	2	3	-312.5	-104.2	-21.1%	390.0	0.219	4.6
1999	370.6	0.171	5.8	-123.6								
2000	447.3	0.393	2.5	-46.9								
2001	501.9	0.575	1.7	7.7								
2002	376.5	0.185	5.4	-117.7	4	2	-153.3	-76.6	-15.5%	417.6	0.297	3.4
2003	458.6	0.431	2.3	-35.6								
2004	516.9	0.622	1.6	22.7								
2005	373.5	0.178	5.6	-120.7	3	2	-164.9	-82.4	-16.7%	411.8	0.280	3.6
2006	450.0	0.402	2.5	-44.2								
2007	580.3	0.779	1.3	86.1								
2008	764.5	0.952	1.0	270.3								
2009	655.0	0.882	1.1	160.8								
2010	413.0	0.284	3.5	-81.2	5	1	-81.2	-81.2	-16.4%	413.0	0.284	3.5
2011	582.7	0.784	1.3	88.5								
2012	232.8	0.013	76.7	-261.4	2	2	-522.2	-261.1	-52.8%	233.1	0.013	76.2
2013	233.4	0.013	75.6	-260.8								
2014	536.7	0.678	1.5	42.5								
2015	460.4	0.437	2.3	-33.8	3	2	-204.1	-102.1	-20.7%	392.1	0.225	4.5
2016	323.9	0.085	11.7	-170.3								
Media	494.2	0.550	1.8		3.6	1.9	-187.7	-96.4	-19.5%	397.8	0.240	4.2
S					1.4	1.2	-150.0	-61.9	-12.5%			
Media+S					5.0	3.1	-337.7	-108.1	-21.9%	386.1	0.209	4.8

Tabla 5.58 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26099.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	708.1	0.470	2.1	-28.6		4	-502.1	-125.5	-17.0%	611.2	0.237	4.2
1951	387.8	0.006	174.3	-348.9								
1952	732.3	0.529	1.9	-4.4								
1953	616.6	0.249	4.0	-120.1								
1954	1088.9	0.968	1.0	352.2								
1955	864.5	0.792	1.3	127.8								
1956	692.9	0.432	2.3	-43.8	6	2	-47.2	-23.6	-3.2%	713.1	0.482	2.1
1957	733.3	0.532	1.9	-3.4								
1958	1042.1	0.951	1.1	305.4								
1959	782.7	0.644	1.6	46.0								
1960	684.4	0.411	2.4	-52.3	4	1	-52.3	-52.3	-7.1%	684.4	0.411	2.4
1961	1019.0	0.940	1.1	282.3								
1962	762.0	0.599	1.7	25.3								
1963	728.7	0.521	1.9	-8.0	3	5	-291.4	-58.3	-7.9%	678.4	0.396	2.5
1964	733.1	0.531	1.9	-3.6								
1965	632.8	0.286	3.5	-103.9								
1966	667.9	0.370	2.7	-68.8								
1967	629.7	0.278	3.6	-107.0								
1968	897.8	0.838	1.2	161.1								
1969	464.5	0.033	30.7	-272.2	6	1	-272.2	-272.2	-36.9%	464.5	0.033	30.7
1970	841.8	0.757	1.3	105.1								
1971	798.5	0.677	1.5	61.8								
1972	568.0	0.152	6.6	-168.7	3	9	-1005.7	-111.7	-15.2%	625.0	0.268	3.7
1973	649.9	0.326	3.1	-86.8								
1974	622.3	0.262	3.8	-114.4								
1975	692.1	0.430	2.3	-44.6								
1976	646.2	0.317	3.2	-90.5								
1977	623.2	0.264	3.8	-113.5								
1978	730.7	0.526	1.9	-6.0								
1979	444.4	0.022	45.7	-292.3								
1980	648.0	0.321	3.1	-88.7								
1981	951.7	0.894	1.1	215.0								
1982	721.8	0.504	2.0	-14.9	10	1	-14.9	-14.9	-2.0%	721.8	0.504	2.0
1983	1156.3	0.983	1.0	419.6								
1984	1105.1	0.972	1.0	368.4								
1985	801.4	0.683	1.5	64.7								
1986	762.6	0.600	1.7	25.9								
1987	525.3	0.088	11.3	-211.4	5	1	-211.4	-211.4	-28.7%	525.3	0.088	11.3
1988	970.8	0.909	1.1	234.1								
1989	702.9	0.457	2.2	-33.8	2	1	-33.8	-33.8	-4.6%	702.9	0.457	2.2
1990	1163.6	0.984	1.0	426.9								
1991	693.6	0.434	2.3	-43.1	2	1	-43.1	-43.1	-5.9%	693.6	0.434	2.3
1992	820.7	0.720	1.4	84.0								
1993	859.8	0.785	1.3	123.1								
1994	842.8	0.758	1.3	106.1								
1995	678.4	0.396	2.5	-58.3	4	1	-58.3	-58.3	-7.9%	678.4	0.396	2.5
1996	846.9	0.765	1.3	110.2								
1997	753.4	0.579	1.7	16.7								
1998	446.8	0.023	43.5	-289.9	3	2	-395.1	-197.6	-26.8%	539.2	0.107	9.4
1999	631.5	0.283	3.5	-105.2								
2000	748.2	0.567	1.8	11.5								
2001	714.4	0.486	2.1	-22.3	3	3	-221.7	-73.9	-10.0%	662.8	0.358	2.8
2002	546.9	0.118	8.5	-189.8								
2003	727.2	0.517	1.9	-9.5								
2004	982.0	0.917	1.1	245.3								
2005	497.9	0.058	17.1	-238.8	4	2	-360.2	-180.1	-24.4%	556.6	0.133	7.5
2006	615.3	0.246	4.1	-121.4								
2007	769.7	0.616	1.6	33.0								
2008	936.5	0.880	1.1	199.8								
2009	599.4	0.212	4.7	-137.3	4	6	-772.1	-128.7	-17.5%	608.0	0.230	4.3
2010	585.9	0.185	5.4	-150.8								
2011	704.0	0.460	2.2	-32.7								
2012	530.3	0.095	10.6	-206.4								
2013	590.6	0.194	5.1	-146.1								
2014	638.0	0.298	3.4	-98.7								
2015	867.4	0.797	1.3	130.7								
2016												
Media	736.7	0.540	1.9		4.2	2.7	-285.4	-105.7	-14.3%	631.0	0.281	3.6
S					2.1	2.4	-291.3	-78.5	-10.7%			
Media+S					6.3	5.0	-576.7	-184.2	-25.0%	552.5	0.127	7.9

Tabla 5.59 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26102.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	459.9	0.216	4.6	-116.9		4	-358.2	-89.5	-16.0%	469.9	0.246	4.1
1951	465.3	0.232	4.3	-111.5								
1952	554.6	0.513	1.9	-22.2								
1953	469.1	0.244	4.1	-107.7								
1954	613.6	0.669	1.5	36.8								
1955	653.1	0.751	1.3	76.3								
1956	419.8	0.111	9.0	-157.0	6	1	-157.0	-157.0	-28.1%	402.4	0.077	13.0
1957	609.3	0.659	1.5	32.5								
1958	941.6	0.974	1.0	364.8								
1959	912.7	0.968	1.0	335.9								
1960	570.1	0.558	1.8	-6.7	4	1	-6.7	-6.7	-1.2%	552.7	0.508	2.0
1961	697.0	0.820	1.2	120.2								
1962	450.5	0.189	5.3	-126.3	2	6	-335.3	-55.9	-10.0%	503.5	0.353	2.8
1963	547.3	0.491	2.0	-29.5								
1964	456.1	0.205	4.9	-120.7								
1965	525.8	0.424	2.4	-51.0								
1966	573.7	0.568	1.8	-3.1								
1967	571.9	0.563	1.8	-4.9								
1968	624.3	0.693	1.4	47.5								
1969	462.3	0.223	4.5	-114.5	7	3	-215.2	-71.7	-12.8%	487.7	0.302	3.3
1970	545.7	0.486	2.1	-31.1								
1971	507.1	0.364	2.7	-69.7								
1972	588.9	0.609	1.6	12.1								
1973	448.7	0.184	5.4	-128.1	4	1	-128.1	-128.1	-22.9%	431.3	0.138	7.2
1974	787.8	0.912	1.1	211.0								
1975	561.8	0.534	1.9	-15.0	2	3	-334.5	-111.5	-19.9%	447.9	0.182	5.5
1976	416.3	0.104	9.6	-160.5								
1977	417.7	0.107	9.4	-159.1								
1978	611.7	0.665	1.5	34.9								
1979	503.9	0.354	2.8	-72.9	4	2	-115.4	-57.7	-10.3%	501.7	0.347	2.9
1980	534.2	0.451	2.2	-42.6								
1981	602.5	0.643	1.6	25.7								
1982	702.8	0.828	1.2	126.0								
1983	800.7	0.920	1.1	223.9								
1984	956.1	0.977	1.0	379.3								
1985	552.3	0.506	2.0	-24.5	6	1	-24.5	-24.5	-4.4%	534.9	0.453	2.2
1986	614.5	0.671	1.5	37.7								
1987	344.3	0.013	79.1	-232.5	2	2	-262.6	-131.3	-23.5%	428.1	0.130	7.7
1988	546.6	0.489	2.0	-30.2								
1989	666.0	0.773	1.3	89.2								
1990	940.0	0.974	1.0	363.2								
1991	638.2	0.722	1.4	61.4								
1992	637.0	0.720	1.4	60.2								
1993	621.4	0.687	1.5	44.6								
1994	551.6	0.504	2.0	-25.2	7	1	-25.2	-25.2	-4.5%	534.2	0.451	2.2
1995	586.2	0.602	1.7	9.4								
1996	532.1	0.444	2.3	-44.7	2	1	-44.7	-44.7	-8.0%	514.7	0.389	2.6
1997	609.6	0.660	1.5	32.8								
1998	367.5	0.029	34.2	-209.3	2	5	-705.1	-141.0	-25.2%	418.4	0.108	9.2
1999	389.0	0.055	18.2	-187.8								
2000	417.0	0.105	9.5	-159.8								
2001	489.7	0.308	3.2	-87.1								
2002	515.5	0.391	2.6	-61.3								
2003	586.0	0.601	1.7	9.2								
2004	751.4	0.882	1.1	174.6								
2005	602.6	0.643	1.6	25.8								
2006	484.5	0.292	3.4	-92.3	8	1	-92.3	-92.3	-16.5%	467.1	0.238	4.2
2007	711.2	0.839	1.2	134.4								
2008	901.5	0.965	1.0	324.7								
2009	405.6	0.082	12.1	-171.2	3	2	-196.7	-98.4	-17.6%	461.0	0.219	4.6
2010	551.2	0.503	2.0	-25.6								
2011	747.0	0.878	1.1	170.2								
2012	382.1	0.046	22.0	-194.7	3	3	-515.8	-171.9	-30.7%	387.5	0.053	19.0
2013	404.9	0.081	12.3	-171.9								
2014	427.5	0.129	7.8	-149.3								
2015	736.5	0.868	1.2	159.7								
2016	368.9	0.031	32.7	-207.9	4	1	-207.9	-207.9	-37.2%	351.5	0.017	59.7
Media	576.8	0.576	1.7		4.1	2.2	-219.1	-95.0	-16.5%	481.8	0.283	3.5
S					2.1	1.6	-187.6	-56.5	-9.8%	520.3		
Media+S					6.2	3.8	-406.7	-151.5	-26.3%	425.3	0.124	8.1

Tabla 5.60 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26103.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	288.5	0.507	2.0	-24.8		4	-170.9	-42.7	-13.6%	270.6	0.437	2.3
1951	303.3	0.561	1.8	-10.0								
1952	221.5	0.230	4.3	-91.8								
1953	269.2	0.431	2.3	-44.1								
1954	491.7	0.914	1.1	178.4								
1955	437.6	0.861	1.2	124.3								
1956	251.8	0.359	2.8	-61.5	6	2	-75.8	-37.9	-12.1%	275.5	0.456	2.2
1957	299.1	0.546	1.8	-14.2								
1958	515.0	0.930	1.1	201.7								
1959	493.8	0.916	1.1	180.5								
1960	272.6	0.445	2.2	-40.7	4	1	-40.7	-40.7	-13.0%	272.6	0.445	2.2
1961	398.0	0.802	1.2	84.7								
1962	350.7	0.703	1.4	37.4								
1963	147.7	0.021	47.2	-165.6	3	8	-549.1	-68.6	-21.9%	244.7	0.328	3.0
1964	309.5	0.582	1.7	-3.8								
1965	170.2	0.059	16.9	-143.1								
1966	240.9	0.312	3.2	-72.4								
1967	301.3	0.554	1.8	-12.0								
1968	177.4	0.077	13.1	-135.9								
1969	305.2	0.567	1.8	-8.1								
1970	305.4	0.568	1.8	-7.9								
1971	380.5	0.770	1.3	67.2								
1972	317.4	0.608	1.6	4.1								
1973	233.0	0.278	3.6	-80.3	10	1	-80.3	-80.3	-25.6%	233.0	0.278	3.6
1974	367.6	0.743	1.3	54.3								
1975	238.5	0.302	3.3	-74.8	2	3	-277.9	-92.6	-29.6%	220.7	0.227	4.4
1976	207.4	0.174	5.7	-105.9								
1977	216.2	0.209	4.8	-97.1								
1978	444.0	0.868	1.2	130.7								
1979	172.9	0.065	15.3	-140.4	4	2	-259.3	-129.6	-41.4%	183.7	0.094	10.6
1980	194.5	0.128	7.8	-118.8								
1981	421.6	0.839	1.2	108.3								
1982	333.5	0.656	1.5	20.2								
1983	754.9	0.992	1.0	441.6								
1984	395.0	0.797	1.3	81.7								
1985	382.8	0.774	1.3	69.5								
1986	279.0	0.470	2.1	-34.3	7	3	-223.0	-74.3	-23.7%	239.0	0.304	3.3
1987	188.6	0.109	9.2	-124.7								
1988	249.4	0.348	2.9	-63.9								
1989	369.1	0.746	1.3	55.8								
1990	412.1	0.825	1.2	98.8								
1991	162.4	0.043	23.2	-150.9	5	3	-431.3	-143.8	-45.9%	169.6	0.058	17.3
1992	202.8	0.157	6.4	-110.5								
1993	143.5	0.017	59.7	-169.8								
1994	574.9	0.959	1.0	261.6								
1995	549.5	0.949	1.1	236.2								
1996	203.0	0.158	6.3	-110.3	5	1	-110.3	-110.3	-35.2%	203.0	0.158	6.3
1997	337.1	0.666	1.5	23.8								
1998	335.0	0.661	1.5	21.7								
1999	301.0	0.552	1.8	-12.3	3	1	-12.3	-12.3	-3.9%	301.0	0.552	1.8
2000	453.6	0.879	1.1	140.3								
2001	282.0	0.482	2.1	-31.3	2	2	-194.7	-97.3	-31.1%	216.0	0.208	4.8
2002	150.0	0.024	41.8	-163.3								
2003	377.7	0.764	1.3	64.4								
2004	273.3	0.448	2.2	-40.0	3	8	-549.4	-68.7	-21.9%	244.7	0.328	3.0
2005	229.1	0.262	3.8	-84.2								
2006	221.0	0.228	4.4	-92.3								
2007	220.4	0.226	4.4	-92.9								
2008	263.2	0.406	2.5	-50.1								
2009	227.7	0.256	3.9	-85.6								
2010	230.7	0.269	3.7	-82.6								
2011	291.9	0.520	1.9	-21.4								
2012	497.2	0.918	1.1	183.9								
2013	294.9	0.531	1.9	-18.4	9	1	-18.4	-18.4	-5.9%	294.9	0.531	1.9
2014	470.3	0.896	1.1	157.0								
2015	398.6	0.803	1.2	85.2								
2016	194.6	0.128	7.8	-118.7	3	1	-118.7	-118.7	-37.9%	194.6	0.128	7.8
Media	313.3	0.594	1.7		4.7	2.7	-207.5	-75.8	-24.2%	237.6	0.298	3.4
S					2.5	2.3	-178.4	-40.1	-12.8%			
Media+S					7.2	5.1	-385.9	-115.9	-37.0%	197.5	0.138	7.2

Tabla 5.61 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26115.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	281.7	0.034	29.1	-191.5		8	-836.8	-104.6	-22.1%	368.6	0.220	4.5
1951	436.3	0.471	2.1	-36.9								
1952	369.2	0.222	4.5	-104.0								
1953	312.1	0.075	13.3	-161.1								
1954	473.9	0.594	1.7	0.7								
1955	416.8	0.397	2.5	-56.4								
1956	319.1	0.088	11.4	-154.1								
1957	339.9	0.135	7.4	-133.3								
1958	688.6	0.907	1.1	215.4								
1959	501.9	0.664	1.5	28.7								
1960	421.7	0.416	2.4	-51.5	10	1	-51.5	-51.5	-10.9%	421.7	0.416	2.4
1961	561.9	0.758	1.3	88.7								
1962	552.7	0.747	1.3	79.5								
1963	461.4	0.557	1.8	-11.8	3	1	-11.8	-11.8	-2.5%	461.4	0.557	1.8
1964	697.0	0.918	1.1	223.8								
1965	550.2	0.744	1.3	77.0								
1966	772.8	0.989	1.0	299.6								
1967	777.8	0.991	1.0	304.6								
1968	412.2	0.380	2.6	-61.0	5	1	-61.0	-61.0	-12.9%	412.2	0.380	2.6
1969	625.8	0.827	1.2	152.6								
1970	397.6	0.324	3.1	-75.6	2	6	-470.5	-78.4	-16.6%	394.8	0.313	3.2
1971	381.8	0.266	3.8	-91.4								
1972	407.8	0.363	2.8	-65.4								
1973	375.3	0.243	4.1	-97.9								
1974	398.8	0.329	3.0	-74.4								
1975	407.5	0.362	2.8	-65.7								
1976	498.0	0.656	1.5	24.8								
1977	379.9	0.259	3.9	-93.3	7	1	-93.3	-93.3	-19.7%	379.9	0.259	3.9
1978	694.8	0.915	1.1	221.6								
1979	461.1	0.556	1.8	-12.1	2	4	-197.4	-49.3	-10.4%	423.9	0.424	2.4
1980	329.7	0.110	9.1	-143.5								
1981	454.7	0.535	1.9	-18.5								
1982	450.0	0.519	1.9	-23.2								
1983	713.9	0.940	1.1	240.7								
1984	725.4	0.953	1.0	252.2								
1985	486.4	0.628	1.6	13.2								
1986	485.2	0.625	1.6	12.0								
1987	277.6	0.031	32.7	-195.6	8	2	-257.3	-128.7	-27.2%	344.6	0.147	6.8
1988	411.5	0.377	2.7	-61.7								
1989	579.8	0.778	1.3	106.6								
1990	458.8	0.548	1.8	-14.4	3	1	-14.4	-14.4	-3.0%	458.8	0.548	1.8
1991	503.4	0.668	1.5	30.2								
1992	701.9	0.925	1.1	228.7								
1993	596.4	0.795	1.3	123.2								
1994	619.2	0.819	1.2	146.0								
1995	397.8	0.325	3.1	-75.4	5	5	-485.6	-97.1	-20.5%	376.1	0.245	4.1
1996	300.6	0.057	17.6	-172.6								
1997	423.3	0.422	2.4	-49.9								
1998	409.4	0.369	2.7	-63.8								
1999	349.4	0.160	6.2	-123.8								
2000	612.3	0.812	1.2	139.1								
2001	452.3	0.527	1.9	-20.9	6	3	-372.8	-124.3	-26.3%	349.0	0.159	6.3
2002	225.2	0.005	195.2	-248.0								
2003	369.4	0.223	4.5	-103.8								
2004	497.0	0.654	1.5	23.8								
2005	462.7	0.561	1.8	-10.5	4	3	-199.0	-66.3	-14.0%	406.9	0.359	2.8
2006	377.0	0.249	4.0	-96.2								
2007	381.0	0.263	3.8	-92.2								
2008	640.0	0.843	1.2	166.8								
2009	336.4	0.126	7.9	-136.8	4	1	-136.8	-136.8	-28.9%	336.4	0.126	7.9
2010	580.0	0.778	1.3	106.8								
2011	314.6	0.079	12.6	-158.6	2	3	-223.5	-74.5	-15.7%	398.7	0.328	3.0
2012	472.7	0.591	1.7	-0.5								
2013	408.9	0.367	2.7	-64.3								
2014	696.0	0.917	1.1	222.8								
2015	513.0	0.687	1.5	39.8								
2016	317.3	0.084	11.8	-155.9	5	1	-155.9	-155.9	-33.0%	317.3	0.084	11.8
Media	473.2	0.592	1.7		4.7	2.7	-237.8	-83.2	-17.6%	390.0	0.296	3.4
S					2.4	2.2	-223.8	-42.7	-9.0%			
Media+S					7.1	4.9	-461.6	-125.9	-26.6%	347.3	0.155	6.5

Tabla 5.62 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26139.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	232.0	0.053	18.90	-157.1		1	-157.1	-157.1	-40.4%	232.0	0.053	18.90
1951	463.8	0.746	1.34	74.7								
1952	354.0	0.421	2.38	-35.1	2	2	-77.2	-38.6	-9.9%	350.5	0.410	2.44
1953	346.9	0.400	2.50	-42.2								
1954	421.9	0.622	1.61	32.8								
1955	476.3	0.779	1.28	87.2								
1956	455.8	0.724	1.38	66.7								
1957	446.8	0.697	1.43	57.7								
1958	644.4	0.981	1.02	255.3								
1959	370.1	0.468	2.14	-19.0	7	1	-19.0	-19.0	-4.9%	370.1	0.468	2.14
1960	569.0	0.938	1.07	179.9								
1961	550.9	0.919	1.09	161.8								
1962	439.4	0.675	1.48	50.3								
1963	471.3	0.766	1.30	82.2								
1964	374.9	0.482	2.08	-14.2	5	1	-14.2	-14.2	-3.6%	374.9	0.482	2.08
1965	404.4	0.569	1.76	15.3								
1966	416.1	0.605	1.65	27.0								
1967	318.9	0.312	3.20	-70.2	3	2	-85.4	-42.7	-11.0%	346.4	0.398	2.51
1968	373.8	0.479	2.09	-15.3								
1969	393.9	0.538	1.86	4.8								
1970	334.5	0.362	2.76	-54.6	3	1	-54.6	-54.6	-14.0%	334.5	0.362	2.76
1971	457.4	0.728	1.37	68.3								
1972	248.3	0.089	11.23	-140.8	2	11	-1282.9	-116.6	-30.0%	272.4	0.158	6.32
1973	207.8	0.019	53.47	-181.3								
1974	303.2	0.260	3.84	-85.9								
1975	269.8	0.150	6.66	-119.3								
1976	278.1	0.176	5.67	-111.0								
1977	291.3	0.220	4.54	-97.8								
1978	325.1	0.332	3.01	-64.0								
1979	306.1	0.270	3.70	-83.0								
1980	253.9	0.104	9.65	-135.2								
1981	291.7	0.222	4.51	-97.4								
1982	221.5	0.035	28.38	-167.6								
1983	598.2	0.961	1.04	209.1								
1984	512.7	0.861	1.16	123.6								
1985	382.9	0.505	1.98	-6.2	13	1	-6.2	-6.2	-1.6%	382.9	0.505	1.98
1986	449.1	0.704	1.42	60.0								
1987	219.5	0.032	30.89	-169.6	2	1	-169.6	-169.6	-43.6%	219.5	0.032	30.89
1988	464.0	0.747	1.34	74.9								
1989	296.6	0.238	4.20	-92.5	2	1	-92.5	-92.5	-23.8%	296.6	0.238	4.20
1990	578.2	0.947	1.06	189.1								
1991	333.1	0.357	2.80	-56.0	2	1	-56.0	-56.0	-14.4%	333.1	0.357	2.80
1992	570.2	0.939	1.06	181.1								
1993	505.1	0.846	1.18	116.0								
1994	546.6	0.914	1.09	157.5								
1995	383.4	0.507	1.97	-5.7	4	2	-88.9	-44.5	-11.4%	344.6	0.393	2.55
1996	305.8	0.269	3.72	-83.3								
1997	411.1	0.589	1.70	22.0								
1998	278.4	0.177	5.63	-110.7	3	2	-178.1	-89.1	-22.9%	300.0	0.249	4.01
1999	321.6	0.321	3.12	-67.5								
2000	531.6	0.893	1.12	142.5								
2001	298.5	0.244	4.09	-90.6	3	1	-90.6	-90.6	-23.3%	298.5	0.244	4.09
2002	422.8	0.625	1.60	33.7								
2003	414.4	0.599	1.67	25.3								
2004	304.8	0.266	3.76	-84.3	3	2	-185.2	-92.6	-23.8%	296.5	0.238	4.21
2005	288.1	0.210	4.77	-101.0								
2006	569.9	0.939	1.06	180.8								
2007	359.4	0.437	2.29	-29.7	3	1	-29.7	-29.7	-7.6%	359.4	0.437	2.29
2008	413.4	0.596	1.68	24.3								
2009	185.6	0.005	204.09	-203.5	2	2	-328.1	-164.1	-42.2%	225.0	0.041	24.61
2010	264.4	0.134	7.49	-124.7								
2011	445.1	0.692	1.44	56.0								
2012	355.7	0.426	2.35	-33.4	3	1	-33.4	-33.4	-8.6%	355.7	0.426	2.35
2013	405.9	0.574	1.74	16.8								
2014	431.6	0.652	1.53	42.5								
2015	607.9	0.966	1.03	218.8								
2016	298.6	0.245	4.09	-90.5	4	1	-90.5	-90.5	-23.3%	298.6	0.245	4.09
Media	389.1	0.523	1.91		3.7	1.8	-160.0	-73.7	-19.0%	315.3	0.301	3.33
S					2.7	2.3	-283.0	-50.6	-13.0%			
Media+S					6.3	4.1	-443.0	-124.3	-32.0%	264.7	0.135	7.43

Tabla 5.63 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26180.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	272.1	0.060	16.6	-163.0		1	-163.0	-163.0	-37.5%	272.1	0.060	16.6
1951	457.4	0.715	1.4	22.3								
1952	356.7	0.223	4.5	-78.4	2	3	-166.4	-55.5	-12.7%	379.7	0.302	3.3
1953	358.7	0.229	4.4	-76.4								
1954	423.6	0.512	2.0	-11.5								
1955	451.7	0.684	1.5	16.6								
1956	459.6	0.726	1.4	24.5								
1957	449.6	0.671	1.5	14.5								
1958	625.3	0.908	1.1	190.2								
1959	353.5	0.214	4.7	-81.6	7	1	-81.6	-81.6	-18.8%	353.5	0.214	4.7
1960	537.3	0.813	1.2	102.2								
1961	546.7	0.822	1.2	111.6								
1962	438.8	0.604	1.7	3.7								
1963	452.3	0.687	1.5	17.2								
1964	384.2	0.319	3.1	-50.9	5	3	-171.0	-57.0	-13.1%	378.1	0.296	3.4
1965	326.5	0.145	6.9	-108.6								
1966	423.7	0.513	2.0	-11.4								
1967	495.1	0.781	1.3	60.0								
1968	585.4	0.865	1.2	150.3								
1969	462.0	0.737	1.4	26.9								
1970	292.5	0.086	11.7	-142.6	6	1	-142.6	-142.6	-32.8%	292.5	0.086	11.7
1971	443.9	0.636	1.6	8.8								
1972	338.1	0.172	5.8	-97.0	2	4	-463.2	-115.8	-26.6%	319.4	0.131	7.7
1973	329.5	0.152	6.6	-105.6								
1974	397.5	0.377	2.7	-37.6								
1975	212.3	0.018	55.0	-222.8								
1976	560.1	0.836	1.2	125.0								
1977	437.6	0.597	1.7	2.5								
1978	589.2	0.869	1.2	154.1								
1979	381.6	0.309	3.2	-53.5	7	2	-196.0	-98.0	-22.5%	337.2	0.170	5.9
1980	292.7	0.086	11.7	-142.4								
1981	463.3	0.742	1.3	28.2								
1982	389.5	0.341	2.9	-45.6	3	1	-45.6	-45.6	-10.5%	389.5	0.341	2.9
1983	691.6	0.961	1.0	256.5								
1984	678.4	0.953	1.0	243.3								
1985	462.9	0.741	1.4	27.8								
1986	468.0	0.758	1.3	32.9								
1987	229.4	0.026	37.8	-205.7	5	1	-205.7	-205.7	-47.3%	229.4	0.026	37.8
1988	632.6	0.916	1.1	197.5								
1989	370.8	0.269	3.7	-64.3	2	1	-64.3	-64.3	-14.8%	370.8	0.269	3.7
1990	824.8	0.996	1.0	389.7								
1991	441.4	0.621	1.6	6.3								
1992	750.9	0.985	1.0	315.8								
1993	431.7	0.560	1.8	-3.4	4	1	-3.4	-3.4	-0.8%	431.7	0.560	1.8
1994	577.1	0.855	1.2	142.0								
1995	317.5	0.127	7.9	-117.6	2	5	-437.6	-87.5	-20.1%	347.6	0.197	5.1
1996	335.7	0.166	6.0	-99.4								
1997	372.6	0.275	3.6	-62.5								
1998	320.4	0.133	7.5	-114.7								
1999	391.9	0.352	2.8	-43.2								
2000	594.5	0.875	1.1	159.4								
2001	431.2	0.557	1.8	-3.9	6	10	-699.7	-70.0	-16.1%	365.2	0.250	4.0
2002	261.2	0.049	20.2	-173.9								
2003	392.9	0.356	2.8	-42.2								
2004	351.6	0.208	4.8	-83.5								
2005	308.8	0.111	9.0	-126.3								
2006	434.9	0.580	1.7	-0.2								
2007	358.3	0.228	4.4	-76.8								
2008	358.0	0.227	4.4	-77.1								
2009	368.8	0.262	3.8	-66.3								
2010	386.1	0.327	3.1	-49.0								
2011	540.0	0.815	1.2	104.9								
2012	426.0	0.526	1.9	-9.1	11	3	-119.5	-39.8	-9.2%	395.3	0.367	2.7
2013	350.5	0.205	4.9	-84.6								
2014	409.4	0.434	2.3	-25.7								
2015	461.7	0.736	1.4	26.6								
2016												
Media	435.1	0.581	1.7		4.8	2.6	-211.4	-87.9	-20.2%	347.3	0.196	5.1
S					2.7	2.5	-192.5	-53.8	-12.4%			
Media+S					7.5	5.1	-403.9	-141.6	-32.5%	293.5	0.087	11.5

Tabla 5.64 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26206.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	285.9	0.267	3.7	-77.7		1	-77.7	-77.7	-21.4%	285.9	0.267	3.7
1951	449.3	0.782	1.3	85.7								
1952	377.8	0.582	1.7	14.2								
1953	239.7	0.138	7.3	-123.9	3	1	-123.9	-123.9	-34.1%	239.7	0.138	7.3
1954	399.2	0.650	1.5	35.6								
1955	291.8	0.286	3.5	-71.8	2	3	-332.8	-110.9	-30.5%	252.7	0.170	5.9
1956	230.7	0.117	8.5	-132.9								
1957	235.5	0.128	7.8	-128.1								
1958	544.2	0.929	1.1	180.6								
1959	614.7	0.974	1.0	251.1								
1960	281.2	0.252	4.0	-82.4	5	4	-340.3	-85.1	-23.4%	278.5	0.244	4.1
1961	280.5	0.250	4.0	-83.1								
1962	201.3	0.064	15.6	-162.3								
1963	351.1	0.492	2.0	-12.5								
1964	574.5	0.953	1.0	210.9								
1965	363.0	0.533	1.9	-0.6								
1966	543.8	0.928	1.1	180.2								
1967	356.5	0.510	2.0	-7.1	7	3	-219.2	-73.1	-20.1%	290.5	0.282	3.5
1968	200.6	0.063	15.8	-163.0								
1969	314.5	0.363	2.8	-49.1								
1970	472.7	0.830	1.2	109.1								
1971	566.5	0.947	1.1	202.9								
1972	484.9	0.852	1.2	121.3								
1973	401.5	0.656	1.5	37.9								
1974	281.0	0.252	4.0	-82.6	7	1	-82.6	-82.6	-22.7%	281.0	0.252	4.0
1975	429.2	0.734	1.4	65.6								
1976	336.0	0.439	2.3	-27.6	2	1	-27.6	-27.6	-7.6%	336.0	0.439	2.3
1977	426.2	0.726	1.4	62.6								
1978	498.0	0.873	1.1	134.4								
1979	440.0	0.760	1.3	76.4								
1980	195.1	0.055	18.0	-168.5	4	2	-207.0	-103.5	-28.5%	260.1	0.190	5.3
1981	325.1	0.400	2.5	-38.5								
1982	388.8	0.617	1.6	25.2								
1983	681.3	0.991	1.0	317.7								
1984	539.2	0.924	1.1	175.6								
1985	193.2	0.053	18.9	-170.4	5	4	-337.8	-84.4	-23.2%	279.2	0.246	4.1
1986	282.2	0.256	3.9	-81.4								
1987	333.2	0.429	2.3	-30.4								
1988	308.0	0.341	2.9	-55.6								
1989	367.0	0.546	1.8	3.4								
1990	392.8	0.630	1.6	29.2								
1991	282.8	0.257	3.9	-80.8	6	2	-189.8	-94.9	-26.1%	268.7	0.214	4.7
1992	254.6	0.175	5.7	-109.0								
1993	567.3	0.948	1.1	203.7								
1994	228.9	0.113	8.8	-134.7	3	1	-134.7	-134.7	-37.0%	228.9	0.113	8.8
1995	410.0	0.681	1.5	46.4								
1996	281.3	0.253	4.0	-82.3	2	1	-82.3	-82.3	-22.6%	281.3	0.253	4.0
1997	475.2	0.835	1.2	111.6								
1998	434.0	0.746	1.3	70.4								
1999	445.5	0.773	1.3	81.9								
2000	389.6	0.620	1.6	26.0								
2001	420.1	0.709	1.4	56.5								
2002	392.3	0.628	1.6	28.7								
2003	436.4	0.752	1.3	72.8								
2004	394.1	0.634	1.6	30.5								
2005	388.1	0.615	1.6	24.5								
2006	250.3	0.164	6.1	-113.3	10	5	-706.5	-141.3	-38.9%	222.3	0.100	10.0
2007	270.6	0.220	4.5	-93.0								
2008	148.0	0.014	71.9	-215.6								
2009	146.6	0.013	75.6	-217.0								
2010	296.0	0.300	3.3	-67.6								
2011	388.4	0.616	1.6	24.8								
2012	309.8	0.347	2.9	-53.8	6	2	-98.8	-49.4	-13.6%	314.2	0.362	2.8
2013	318.6	0.378	2.6	-45.0								
2014	447.7	0.778	1.3	84.1								
2015	266.9	0.209	4.8	-96.7	3	2	-220.4	-110.2	-30.3%	253.4	0.172	5.8
2016	239.8	0.138	7.3	-123.8								
Media	363.6	0.535	1.9		4.6	2.2	-212.1	-92.1	-25.3%	271.5	0.223	4.5
S					2.4	1.3	-169.9	-30.4	-8.4%			
Media+S					7.0	3.5	-382.0	-122.5	-33.7%	241.1	0.141	7.1

Tabla 5.65 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26297.

Año	Hp	F(X)	T	u	P	D	Σ	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	365.9	0.405	2.5	-44.3		4	-559.1	-139.8	-34.1%	270.5	0.155	6.5
1951	184.1	0.032	31.6	-226.1								
1952	254.8	0.124	8.1	-155.4								
1953	277.1	0.169	5.9	-133.1								
1954	532.7	0.817	1.2	122.5								
1955	576.1	0.879	1.1	165.9								
1956	456.6	0.659	1.5	46.4								
1957	400.4	0.506	2.0	-9.8	7	1	-9.8	-9.8	-2.4%	400.4	0.506	2.0
1958	831.2	0.995	1.0	421.0								
1959	600.7	0.906	1.1	190.5								
1960	510.0	0.776	1.3	99.8								
1961	352.9	0.367	2.7	-57.3	4	2	-96.2	-48.1	-11.7%	362.2	0.394	2.5
1962	371.4	0.422	2.4	-38.8								
1963	516.3	0.788	1.3	106.1								
1964	280.6	0.177	5.7	-129.6	3	3	-342.7	-114.2	-27.8%	296.0	0.213	4.7
1965	243.6	0.104	9.6	-166.6								
1966	363.8	0.399	2.5	-46.4								
1967	518.4	0.792	1.3	108.2								
1968	669.4	0.957	1.0	259.2								
1969	422.9	0.570	1.8	12.7								
1970	185.0	0.032	30.9	-225.2	6	4	-546.5	-136.6	-33.3%	273.6	0.161	6.2
1971	300.2	0.223	4.5	-110.0								
1972	394.5	0.489	2.0	-15.7								
1973	214.8	0.062	16.1	-195.4								
1974	503.9	0.765	1.3	93.7								
1975	487.6	0.731	1.4	77.4								
1976	593.8	0.899	1.1	183.6								
1977	269.1	0.152	6.6	-141.1	7	6	-758.9	-126.5	-30.8%	283.8	0.184	5.4
1978	303.5	0.231	4.3	-106.7								
1979	190.1	0.036	27.4	-220.1								
1980	242.0	0.101	9.9	-168.2								
1981	405.0	0.520	1.9	-5.2								
1982	292.8	0.205	4.9	-117.4								
1983	644.9	0.942	1.1	234.7								
1984	691.2	0.967	1.0	281.0								
1985	262.2	0.138	7.3	-148.0	8	4	-356.5	-89.1	-21.7%	321.1	0.278	3.6
1986	358.4	0.383	2.6	-51.8								
1987	320.8	0.277	3.6	-89.4								
1988	343.1	0.339	2.9	-67.1								
1989	427.3	0.582	1.7	17.1								
1990	521.8	0.798	1.3	111.6								
1991	442.3	0.622	1.6	32.1								
1992	509.0	0.775	1.3	98.8								
1993	270.3	0.154	6.5	-139.9	8	1	-139.9	-139.9	-34.1%	270.3	0.154	6.5
1994	608.4	0.913	1.1	198.2								
1995	398.7	0.501	2.0	-11.5	2	1	-11.5	-11.5	-2.8%	398.7	0.501	2.0
1996	419.5	0.561	1.8	9.3								
1997	368.5	0.413	2.4	-41.7	2	1	-41.7	-41.7	-10.2%	368.5	0.413	2.4
1998	469.3	0.689	1.5	59.1								
1999	412.6	0.541	1.8	2.4								
2000	518.8	0.793	1.3	108.6								
2001	345.5	0.346	2.9	-64.7	4	3	-224.1	-74.7	-18.2%	335.5	0.318	3.1
2002	331.1	0.305	3.3	-79.1								
2003	330.0	0.302	3.3	-80.2								
2004	430.4	0.591	1.7	20.2								
2005	364.0	0.400	2.5	-46.2	4	2	-124.5	-62.2	-15.2%	348.0	0.353	2.8
2006	332.0	0.308	3.2	-78.2								
2007	489.2	0.734	1.4	79.0								
2008	428.2	0.585	1.7	18.0								
2009	541.0	0.830	1.2	130.8								
2010	205.5	0.051	19.5	-204.7	5	2	-343.5	-171.7	-41.9%	238.5	0.095	10.5
2011	271.5	0.157	6.4	-138.7								
2012	530.6	0.813	1.2	120.4								
2013	569.7	0.871	1.1	159.5								
2014	478.5	0.711	1.4	68.3								
2015	571.5	0.873	1.1	161.3								
2016	169.0	0.021	46.7	-241.2	6	1	-241.2	-241.2	-58.8%	169.0	0.021	46.7
Media	410.2	0.534	1.9		5.1	2.5	-271.2	-100.5	-24.5%	309.7	0.247	4.0
S					2.1	1.6	-227.9	-64.9	-15.8%			
Media+S					7.2	4.1	-499.0	-165.4	-40.3%	244.8	0.106	9.5

Tabla 5.66 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26298.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	389.8	0.639	1.57	49.4								
1951	184.0	0.074	13.56	-156.4		3	-377.1	-125.7	-36.9%	214.7	0.172	5.81
1952	207.6	0.147	6.83	-132.8								
1953	252.4	0.316	3.17	-88.0								
1954	494.9	0.874	1.14	154.5								
1955	494.2	0.873	1.15	153.8								
1956	392.0	0.644	1.55	51.6								
1957	289.5	0.435	2.30	-50.9	6	1	-50.9	-50.9	-14.9%	289.5	0.435	2.30
1958	665.6	0.991	1.01	325.2								
1959	499.7	0.882	1.13	159.3								
1960	422.7	0.717	1.39	82.3								
1961	309.5	0.484	2.07	-30.9	4	1	-30.9	-30.9	-9.1%	309.5	0.484	2.07
1962	407.4	0.680	1.47	67.0								
1963	272.4	0.385	2.60	-68.0	2	1	-68.0	-68.0	-20.0%	272.4	0.385	2.60
1964	354.9	0.569	1.76	14.5								
1965	301.9	0.467	2.14	-38.5	2	1	-38.5	-38.5	-11.3%	301.9	0.467	2.14
1966	483.9	0.855	1.17	143.5								
1967	266.7	0.366	2.73	-73.7	2	2	-189.4	-94.7	-27.8%	245.7	0.291	3.44
1968	224.6	0.210	4.77	-115.8								
1969	420.2	0.711	1.41	79.8								
1970	236.4	0.255	3.92	-104.0	3	2	-187.3	-93.7	-27.5%	246.7	0.295	3.39
1971	257.0	0.333	3.01	-83.4								
1972	603.5	0.975	1.03	263.1								
1973	387.5	0.634	1.58	47.1								
1974	517.8	0.908	1.10	177.4								
1975	149.5	0.015	65.37	-190.9	5	1	-190.9	-190.9	-56.1%	149.5	0.015	65.37
1976	411.1	0.689	1.45	70.7								
1977	150.0	0.016	63.49	-190.4	2	1	-190.4	-190.4	-55.9%	150.0	0.016	63.49
1978	413.0	0.693	1.44	72.6								
1979	192.5	0.097	10.28	-147.9	2	2	-303.4	-151.7	-44.6%	188.7	0.086	11.60
1980	184.8	0.076	13.19	-155.6								
1981	377.8	0.613	1.63	37.4								
1982	263.0	0.354	2.83	-77.4	3	1	-77.4	-77.4	-22.7%	263.0	0.354	2.83
1983	542.0	0.936	1.07	201.6								
1984	372.2	0.602	1.66	31.8								
1985	243.7	0.283	3.53	-96.7	3	4	-512.0	-128.0	-37.6%	212.4	0.164	6.11
1986	237.5	0.260	3.85	-102.9								
1987	144.3	0.011	89.65	-196.1								
1988	224.0	0.207	4.82	-116.4								
1989	491.2	0.868	1.15	150.8								
1990	450.7	0.785	1.27	110.3								
1991	424.0	0.720	1.39	83.6								
1992	441.5	0.763	1.31	101.1								
1993	162.5	0.031	32.77	-177.9	8	3	-247.6	-82.5	-24.2%	257.8	0.336	2.98
1994	332.5	0.529	1.89	-7.9								
1995	278.5	0.404	2.48	-61.9								
1996	406.3	0.677	1.48	65.9								
1997	399.5	0.661	1.51	59.1								
1998	246.5	0.294	3.40	-93.9	5	3	-360.4	-120.1	-35.3%	220.2	0.193	5.18
1999	192.7	0.098	10.22	-147.7								
2000	221.5	0.198	5.06	-118.9								
2001	371.4	0.600	1.67	31.0								
2002	213.7	0.169	5.93	-126.7	4	2	-207.2	-103.6	-30.4%	236.8	0.257	3.90
2003	259.8	0.343	2.92	-80.6								
2004	537.7	0.931	1.07	197.3								
2005	305.2	0.474	2.11	-35.2	3	4	-204.3	-51.1	-15.0%	289.3	0.435	2.30
2006	237.6	0.260	3.85	-102.8								
2007	323.1	0.512	1.95	-17.3								
2008	291.3	0.440	2.27	-49.1								
2009	559.5	0.951	1.05	219.1								
2010	247.8	0.299	3.35	-92.6	5	2	-199.4	-99.7	-29.3%	240.7	0.272	3.68
2011	233.5	0.244	4.10	-106.9								
2012	585.8	0.967	1.03	245.4								
2013	497.0	0.878	1.14	156.6								
2014	320.0	0.506	1.98	-20.4	4	3	-168.6	-56.2	-16.5%	284.2	0.421	2.38
2015	241.0	0.273	3.66	-99.4								
2016	291.5	0.441	2.27	-48.8								
Media	340.4	0.543	1.84		3.7	2.1	-200.2	-97.4	-28.6%	242.9	0.280	3.57
S					1.7	1.1	-128.0	-47.3	-13.9%			
Media+S					5.4	3.1	-328.2	-144.7	-42.5%	195.6	0.107	9.37

Tabla 5.67 Caracterización de la sequía meteorológica en la estación 26403.

Año	Hp	F(X)	T	A	P	D	S	I	%I	Hp sequía	F(X)	T
1950	388.4	0.699	1.4	62.4								
1951	156.0	0.041	24.5	-170.0		3	-347.7	-115.9	-35.5%	210.1	0.199	5.0
1952	206.6	0.186	5.4	-119.4								
1953	267.8	0.388	2.6	-58.2								
1954	532.0	0.937	1.1	206.0								
1955	532.5	0.937	1.1	206.5								
1956	433.4	0.799	1.3	107.4								
1957	275.1	0.409	2.4	-50.9	6	1	-50.9	-50.9	-15.6%	275.1	0.409	2.4
1958	725.5	0.997	1.0	399.5								
1959	535.4	0.940	1.1	209.4								
1960	452.4	0.835	1.2	126.4								
1961	316.3	0.518	1.9	-9.7	4	1	-9.7	-9.7	-3.0%	316.3	0.518	1.9
1962	444.0	0.819	1.2	118.0								
1963	291.6	0.454	2.2	-34.4	2	1	-34.4	-34.4	-10.6%	291.6	0.454	2.2
1964	338.0	0.573	1.7	12.0								
1965	322.1	0.532	1.9	-3.9	2	1	-3.9	-3.9	-1.2%	322.1	0.532	1.9
1966	531.8	0.937	1.1	205.8								
1967	288.3	0.445	2.2	-37.7	2	2	-81.8	-40.9	-12.5%	285.2	0.436	2.3
1968	282.0	0.428	2.3	-44.0								
1969	368.5	0.650	1.5	42.5								
1970	197.0	0.153	6.5	-129.0	3	2	-179.1	-89.5	-27.5%	236.5	0.291	3.4
1971	276.0	0.411	2.4	-50.0								
1972	422.5	0.777	1.3	96.5								
1973	234.0	0.283	3.5	-92.0	3	1	-92.0	-92.0	-28.2%	234.0	0.283	3.5
1974	344.5	0.590	1.7	18.5								
1975	153.0	0.036	28.0	-173.0	2	3	-373.6	-124.5	-38.2%	201.5	0.169	5.9
1976	238.0	0.296	3.4	-88.0								
1977	213.5	0.211	4.7	-112.5								
1978	327.6	0.547	1.8	1.6								
1979	128.2	0.009	116.4	-197.8	4	3	-311.6	-103.9	-31.9%	222.2	0.242	4.1
1980	147.3	0.027	37.0	-178.7								
1981	391.0	0.705	1.4	65.0								
1982	321.5	0.531	1.9	-4.5	3	1	-4.5	-4.5	-1.4%	321.5	0.531	1.9
1983	482.5	0.882	1.1	156.5								
1984	433.6	0.799	1.3	107.6								
1985	230.6	0.271	3.7	-95.4	3	4	-331.2	-82.8	-25.4%	243.3	0.313	3.2
1986	264.6	0.379	2.6	-61.4								
1987	266.9	0.386	2.6	-59.1								
1988	210.9	0.202	5.0	-115.1								
1989	437.1	0.806	1.2	111.1								
1990	380.0	0.679	1.5	54.0								
1991	476.1	0.873	1.1	150.1								
1992	534.2	0.939	1.1	208.2								
1993	184.2	0.111	9.0	-141.8	8	1	-141.8	-141.8	-43.5%	184.2	0.111	9.0
1994	340.7	0.580	1.7	14.7								
1995	237.7	0.295	3.4	-88.3	2	1	-88.3	-88.3	-27.1%	237.7	0.295	3.4
1996	391.5	0.707	1.4	65.5								
1997	387.5	0.697	1.4	61.5								
1998	191.2	0.134	7.5	-134.8	3	6	-767.9	-128.0	-39.3%	198.1	0.157	6.4
1999	215.2	0.217	4.6	-110.8								
2000	145.2	0.024	41.3	-180.8								
2001	247.7	0.327	3.1	-78.3								
2002	186.3	0.118	8.5	-139.7								
2003	202.7	0.173	5.8	-123.3								
2004	383.5	0.687	1.5	57.5								
2005	379.3	0.677	1.5	53.3								
2006	256.1	0.354	2.8	-69.9	8	2	-190.3	-95.1	-29.2%	230.9	0.272	3.7
2007	205.7	0.183	5.5	-120.3								
2008	349.7	0.603	1.7	23.7								
2009	437.2	0.806	1.2	111.2								
2010	188.2	0.124	8.1	-137.8	4	2	-202.9	-101.4	-31.1%	224.6	0.250	4.0
2011	261.0	0.368	2.7	-65.0								
2012	562.5	0.959	1.0	236.5								
2013	449.7	0.830	1.2	123.7								
2014	302.7	0.483	2.1	-23.3	4	1	-23.3	-23.3	-7.2%	302.7	0.483	2.1
2015	335.0	0.565	1.8	9.0								
2016	205.7	0.183	5.5	-120.3	2	1	-120.3	-120.3	-36.9%	205.7	0.183	5.5
Media	326.0	0.543	1.8									
S					3.6	1.9	-176.6	-76.4	-23.4%	249.6	0.334	3.0
Media+S					1.9	1.4	-187.9	-45.0	-13.8%			
Media+S					5.5	3.3	-364.5	-121.4	-37.2%	204.7	0.180	5.6

Al obtener el promedio de las 20 estaciones se puede decir que se presenta una sequía cada 4.3 años, con una duración de 2.4 años y una severidad de -214,7 mm, equivalente a una intensidad de -86.0 mm/año. Cantidad que representa el -20.4% menor respecto a su umbral. Y cuya lámina disponible en déficit sería 335.6 mm, valor que tiene una probabilidad de excedencia de 0.271 y un periodo de retorno de 3.8 años, que con su dispersión alcanzaría los 4.3 años

Al considerar una desviación estándar adicional a su valor promedio, se define que una sequía se presenta cada 6.6 años, con una duración de 4.3 años y una severidad de -411 mm, equivalente a una intensidad de -132.9 mm/año. Cantidad que representa el -31.5% menor respecto a su umbral. Y cuya lámina disponible en déficit sería 288.7 mm, valor que tiene una probabilidad de excedencia de 0.140 y un periodo de retorno de 7.4 años, que con su dispersión alcanzaría los 9 años.

La distribución espacial de las características que definen a las sequías, tales como periodicidad, duración, porcentaje de la intensidad respecto a su valor medio, lluvia promedio anual durante el periodo de la sequía multianual, y periodo de retorno de esta última lluvia se presentan en las Figuras 5.19 a 5.23, para el caso donde se considera el valor esperado de estas características, en tanto que, para el caso donde se considera el valor esperado más una desviación estándar, se muestran en las Figuras 5.24 a 5.28.

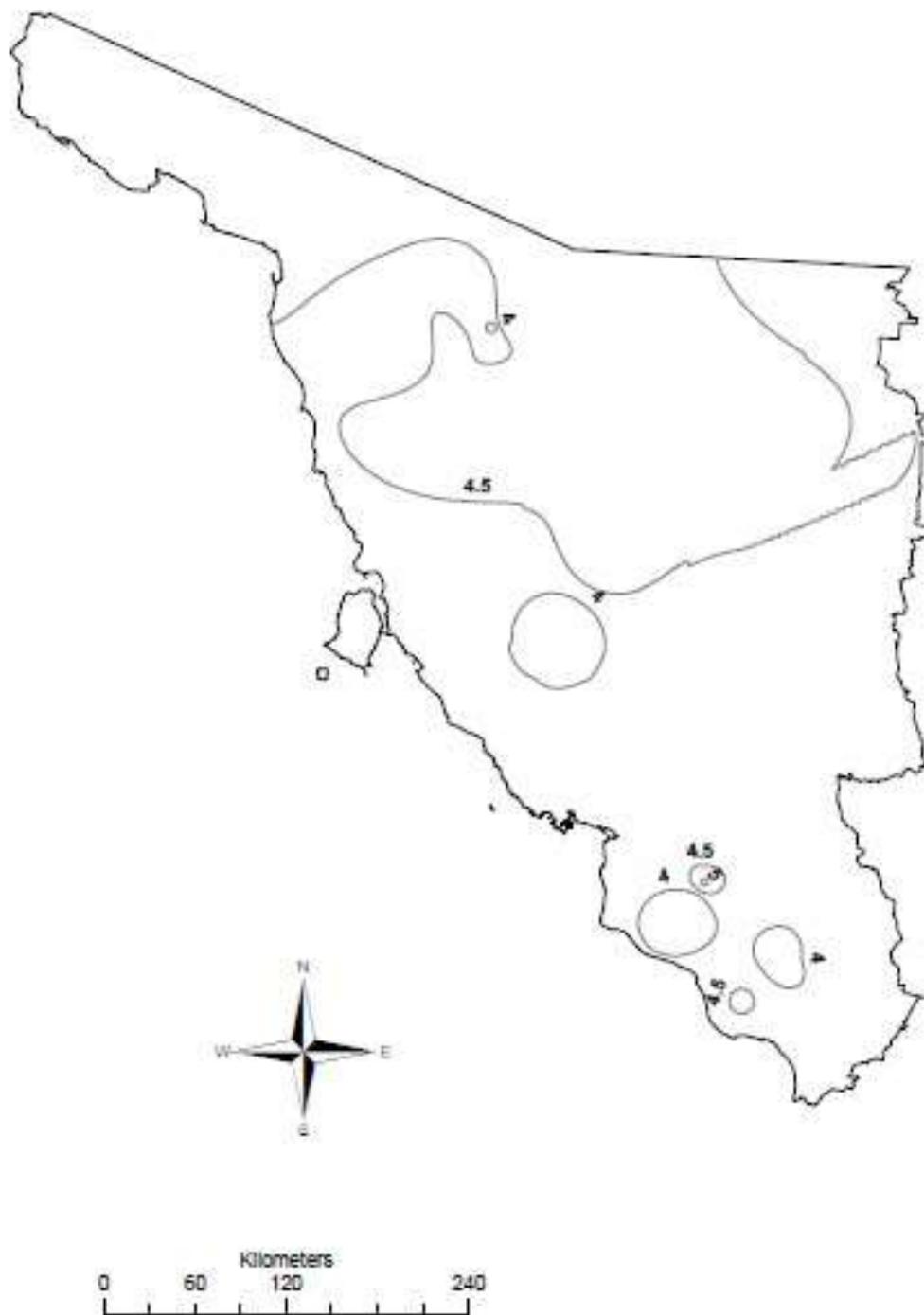


Figura 5.19 Periodicidad promedio (años) de la ocurrencia de una sequía multianual.

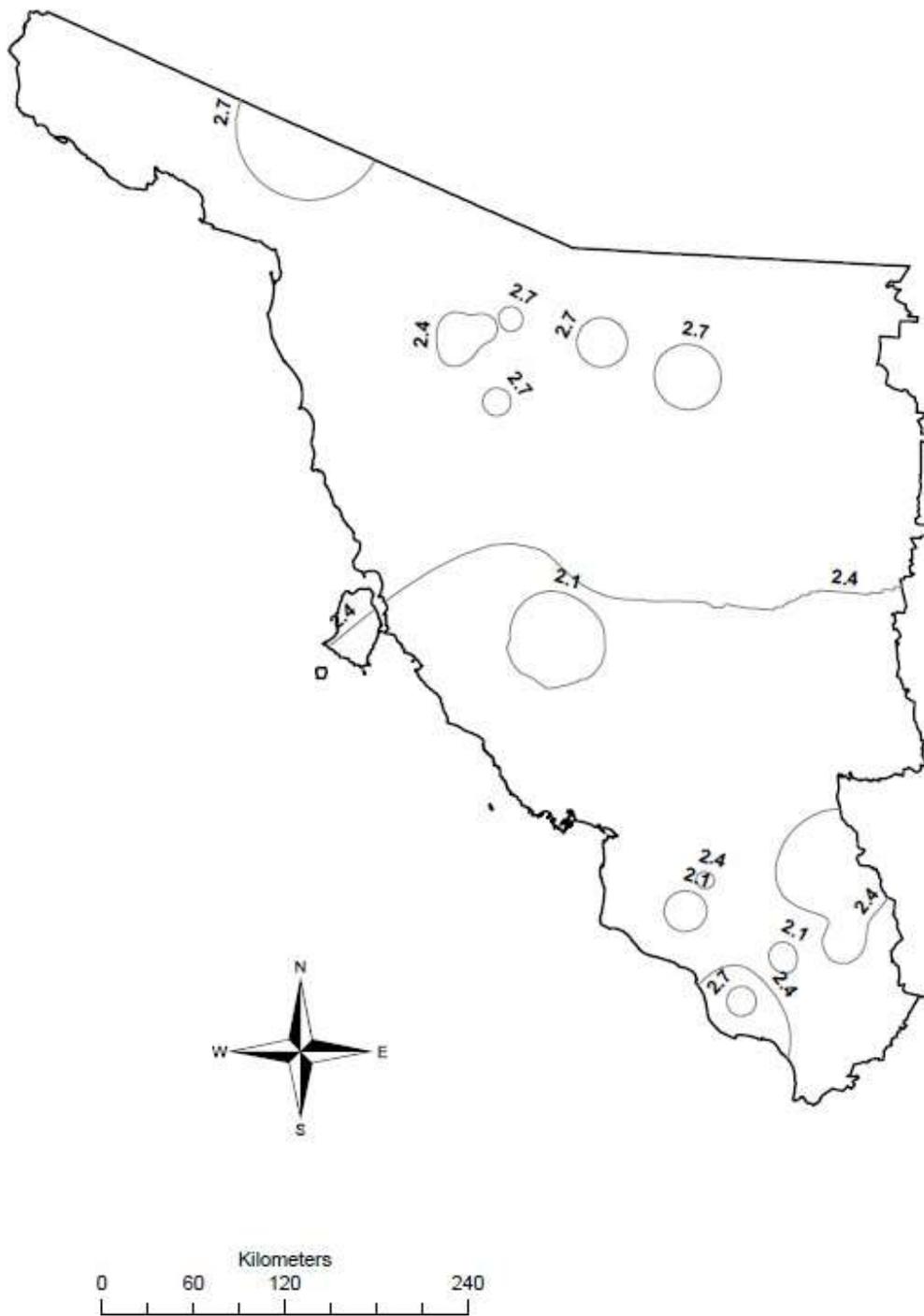


Figura 5.20 Duración promedio (años) de una sequía multianual.

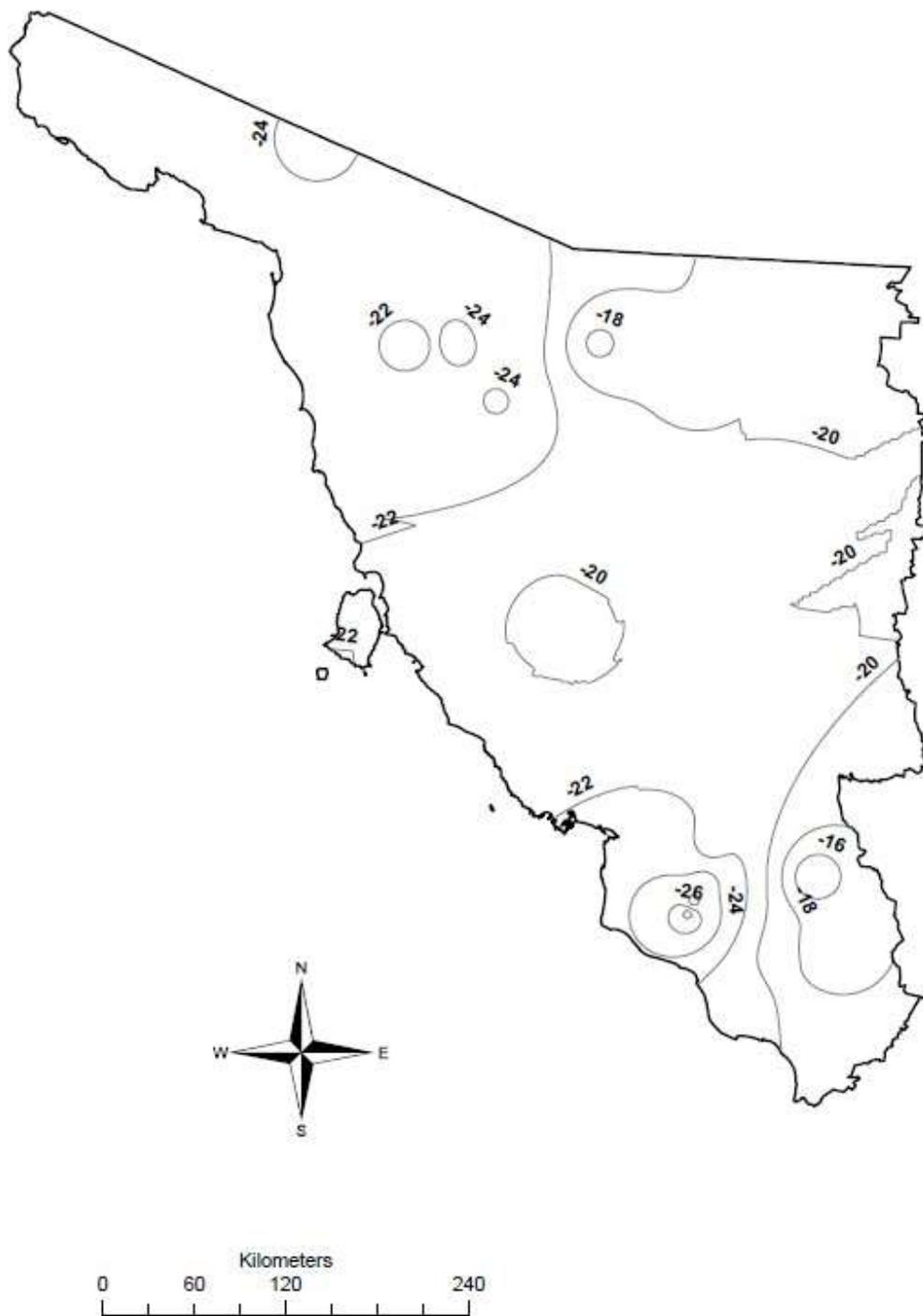


Figura 5.21 Porcentaje promedio de la Intensidad de la sequía respecto a su media anual.

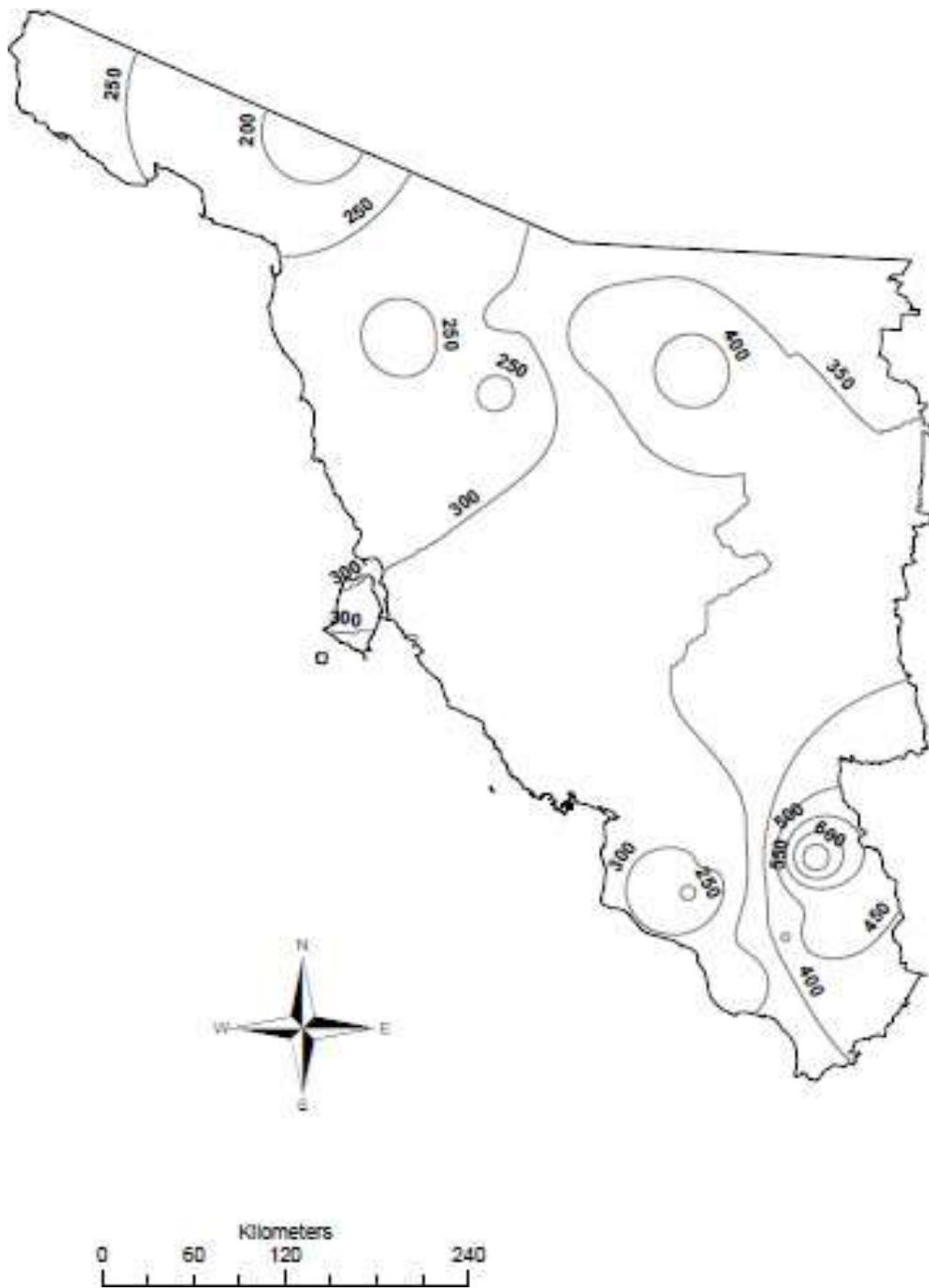


Figura 5.22 Lámina de lluvia promedio anual (mm) disponible en un periodo de sequía multianual.

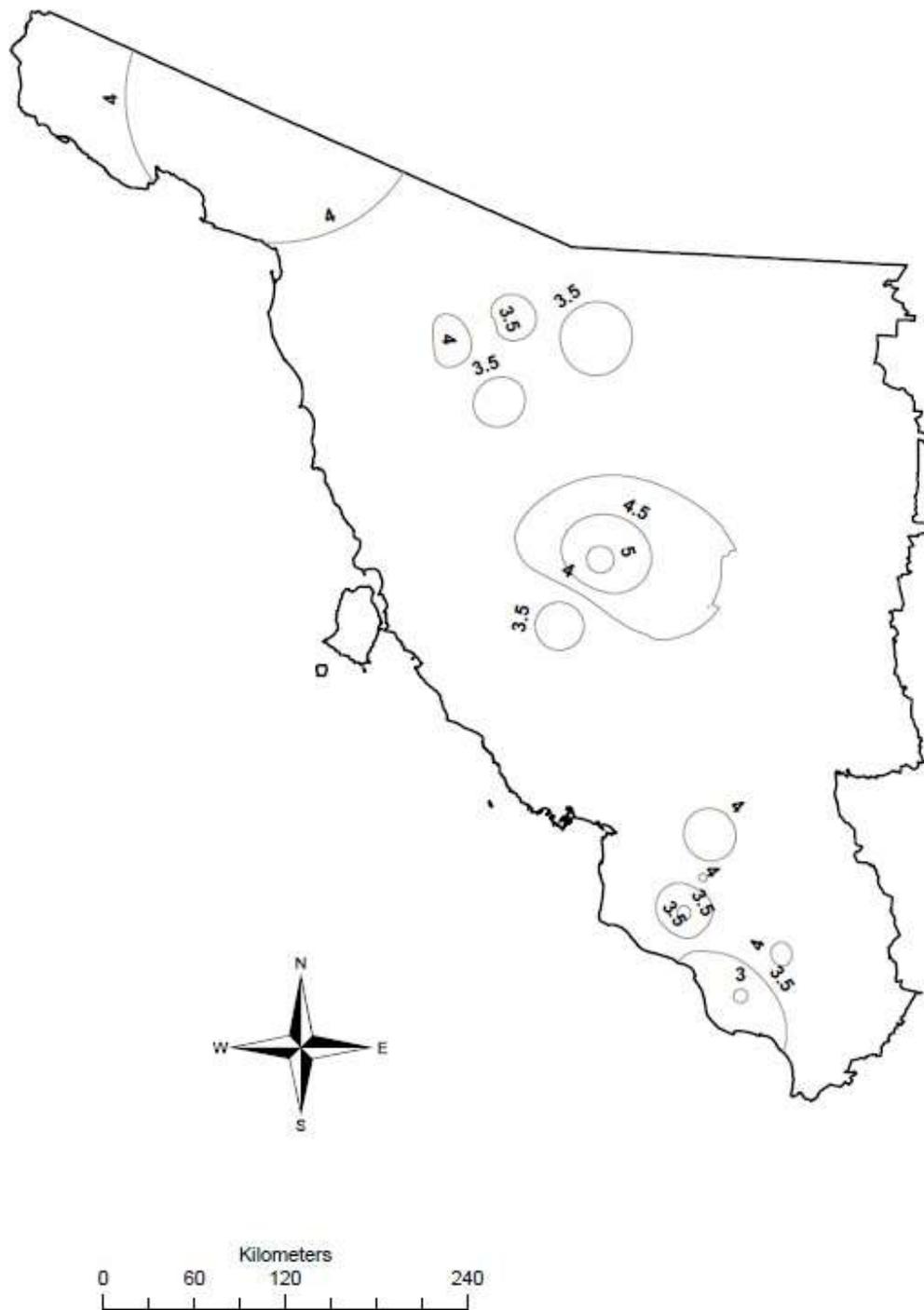


Figura 5.23 Periodo de retorno (años) de la lámina de lluvia promedio anual disponible en un periodo de sequía multianual.

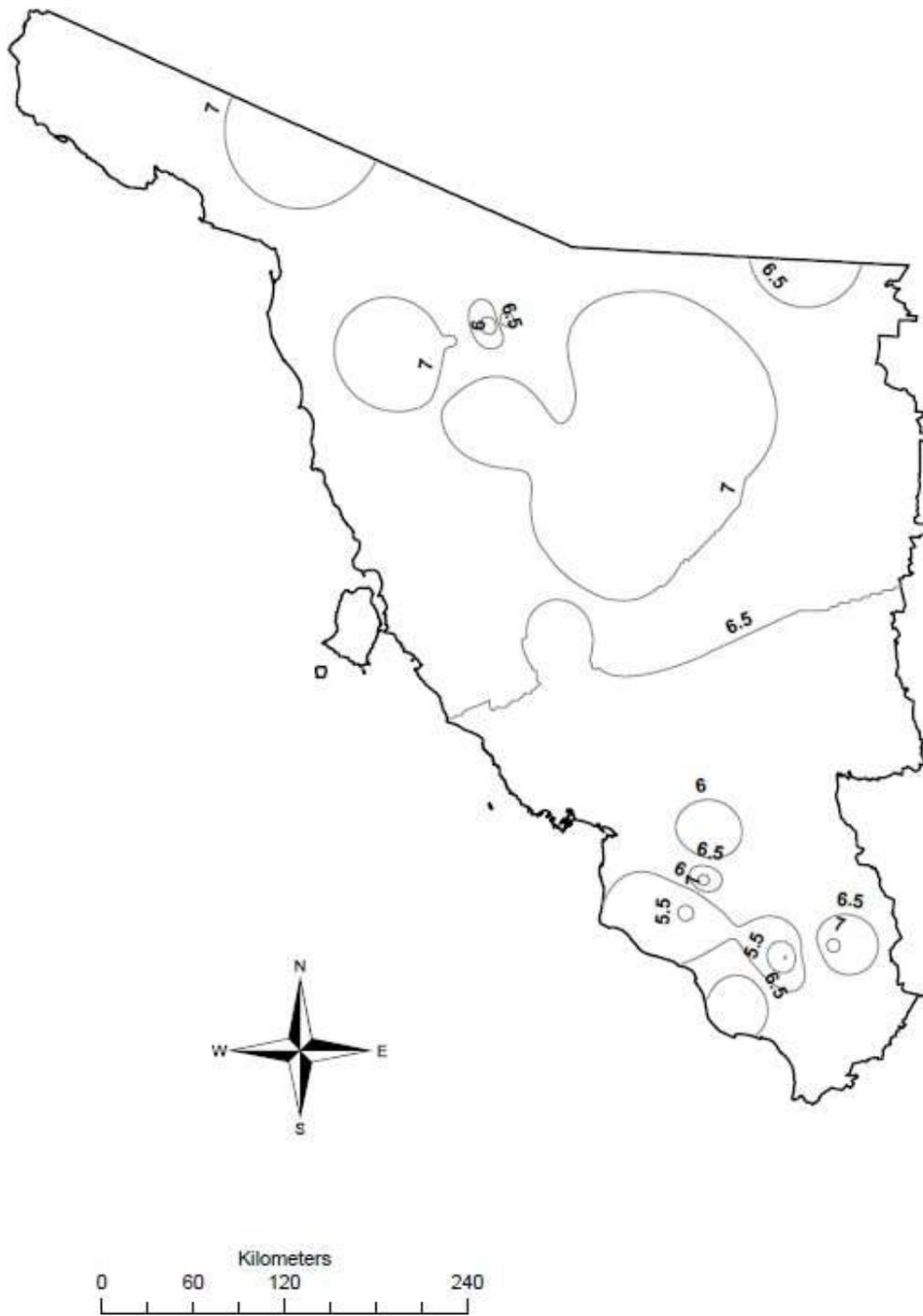


Figura 5.24 Periodicidad promedio (años) de la ocurrencia de una sequía multianual, considerando su desviación estándar.

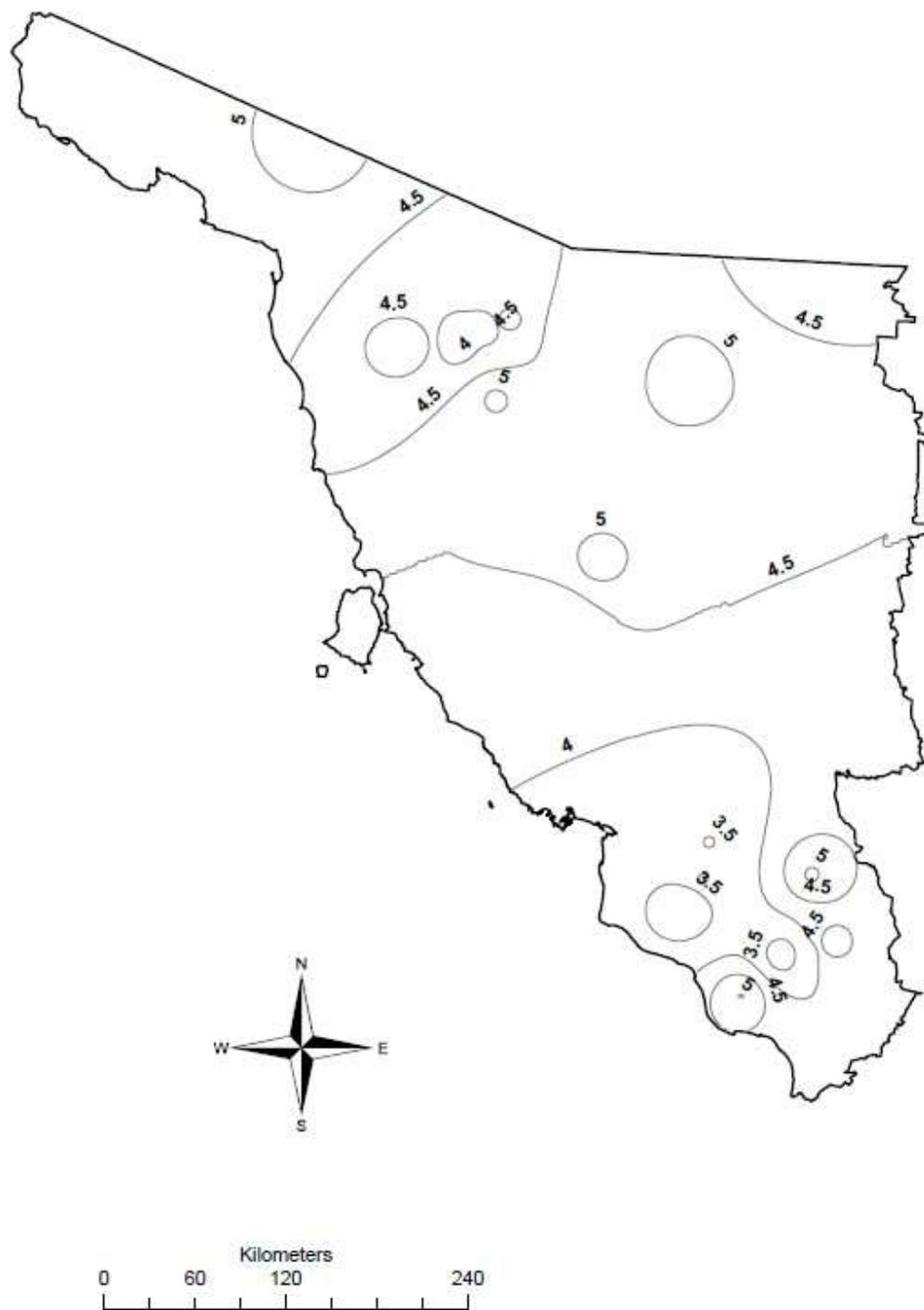


Figura 5.25 Duración promedio (años) de una sequía multianual, considerando su desviación estándar.

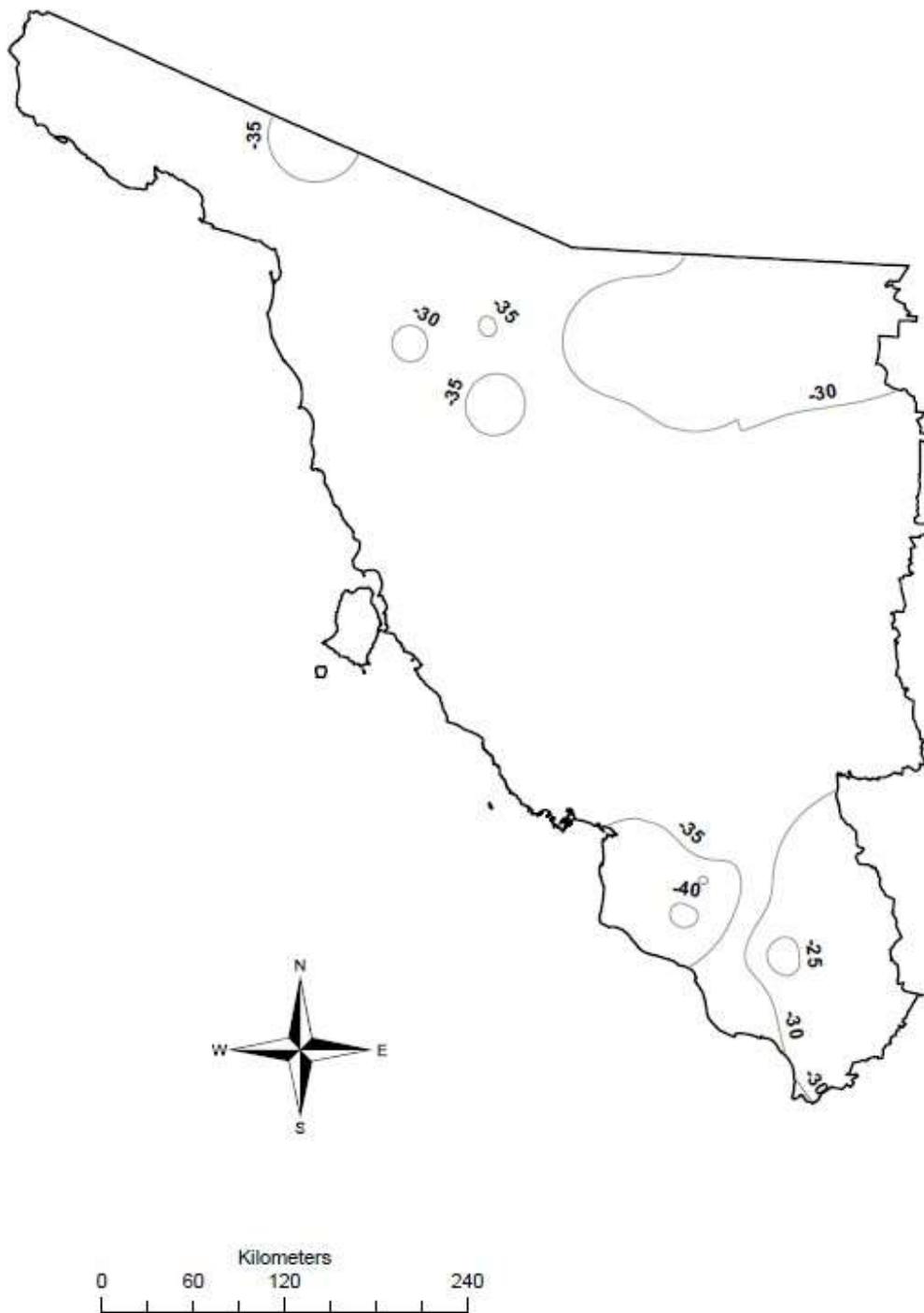


Figura 5.26 Porcentaje promedio de la Intensidad de la sequía respecto a su media anual, considerando su desviación estándar.

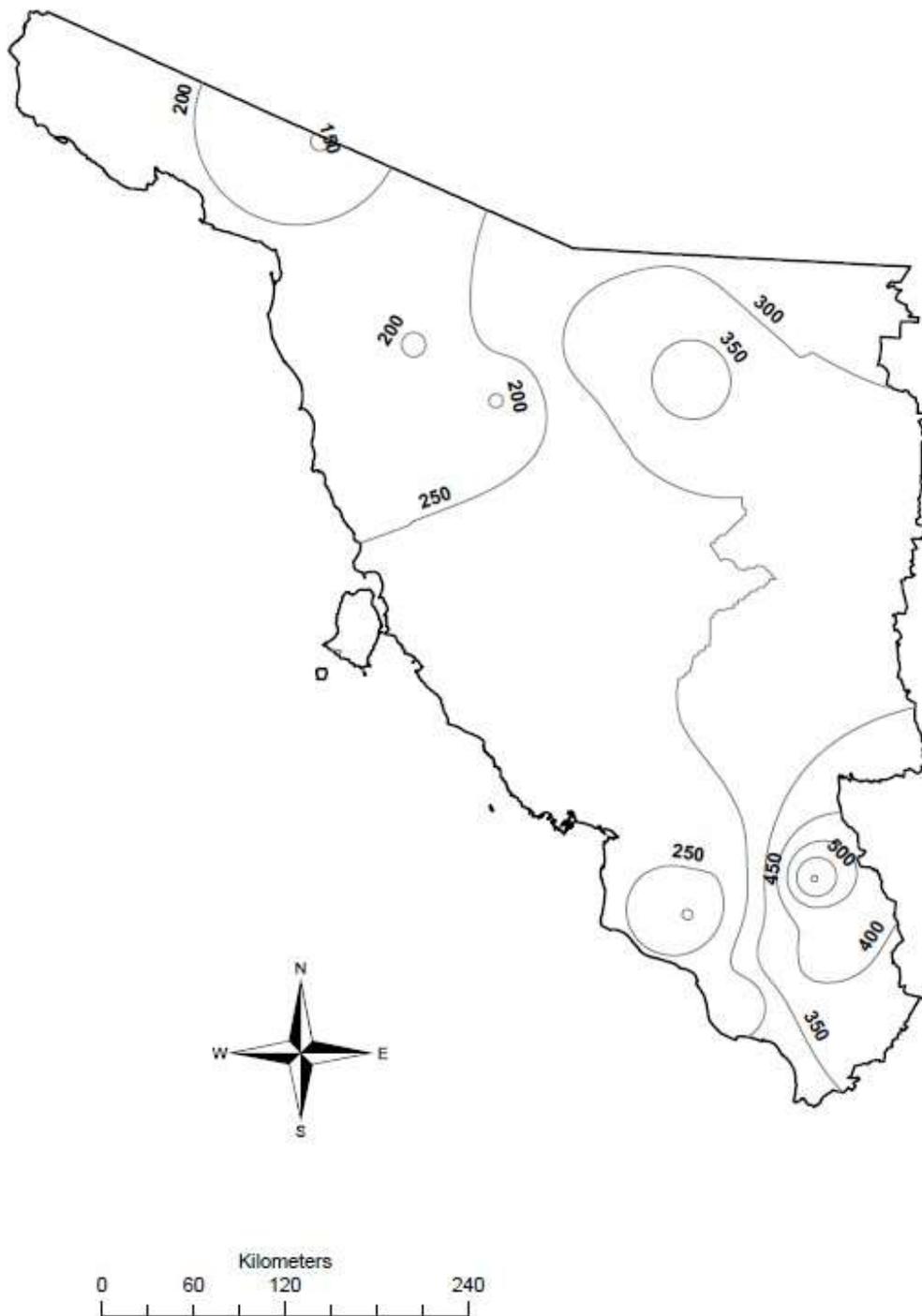


Figura 5.27 Lámina de lluvia promedio anual (mm) disponible en un periodo de sequía multianual, considerando su desviación estándar.

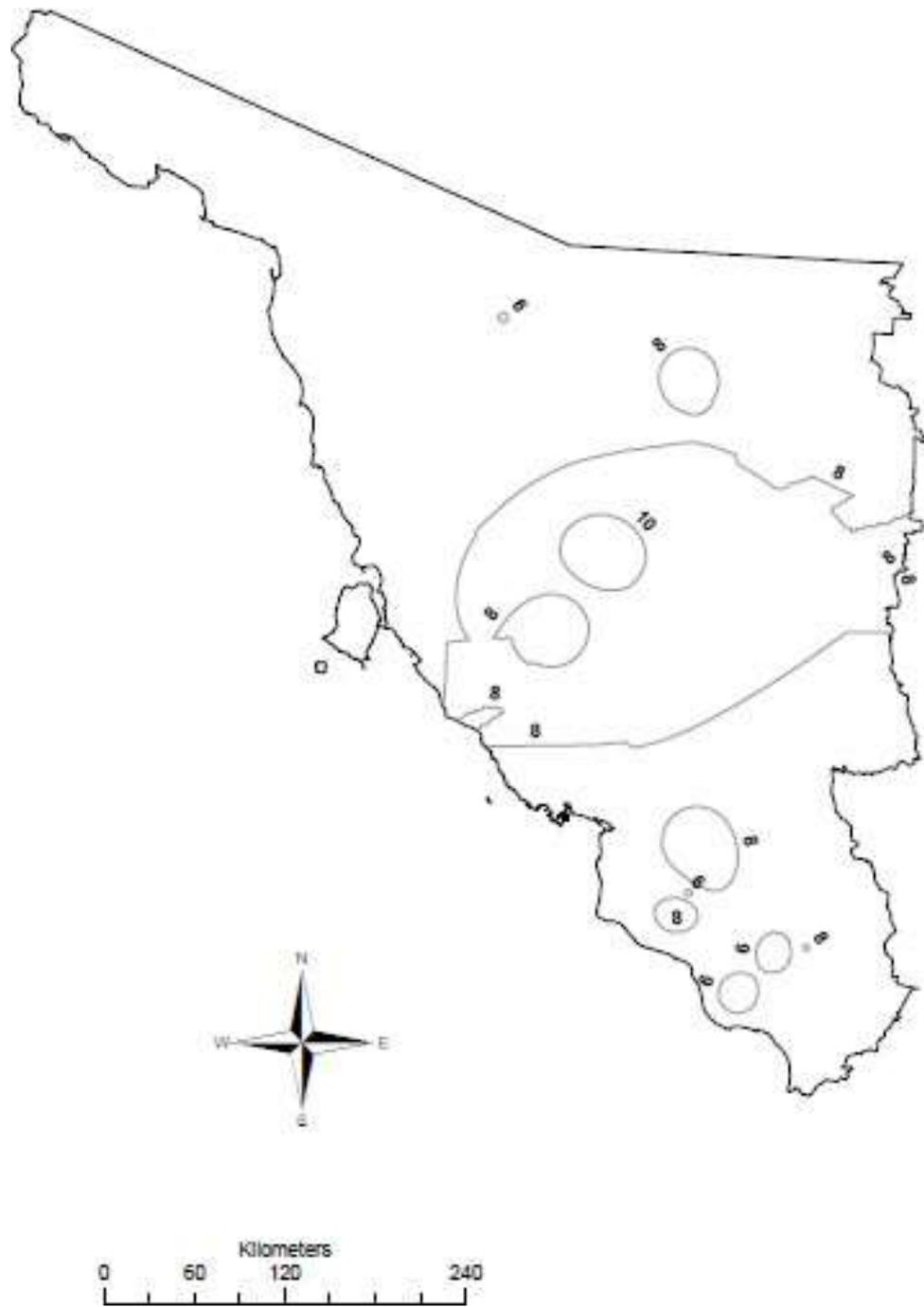


Figura 5.28 Periodo de retorno (años) de la lámina de lluvia promedio anual disponible en un periodo de sequía multianual, considerando su desviación estándar.

Los resultados que se han presentado se obtuvieron al considerar solamente las series registradas de lluvia acumulada anual en cada estación, sin embargo, se podrían mejorar al obtener las condiciones de largo plazo, aplicando los modelos de generación de muestras sintéticas, tales como los modelos autorregresivos de promedios móviles ARMA(p,q), que tienen la forma (Salas, 1988):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p+1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q+1} \quad (5.3)$$

Donde $\phi_1 \dots \phi_p$ son los parámetros autorregresivos, $\theta_1 \dots \theta_p$ son los parámetros de promedios móviles, Z_t serie estandarizada y ε_t son los residuales del modelo.

La serie de lluvias acumuladas anuales X_t se normaliza a través de la aplicación del logaritmo natural

$$Y_t = \text{Ln}(X_t) \quad (5.4)$$

que tendrá una media

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (5.5)$$

Por lo que la serie estandarizada se obtiene mediante como

$$Z_t = Y_t - Y \quad (5.6)$$

El caso del modelo ARMA (1,1) sería

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (5.7)$$

Y una vez estimados sus parámetros, el modelo de generación de muestras sintéticas sería:

$$Z_t = \hat{\phi}_1 Z_{t-1} + \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_{\varepsilon t} - \hat{\theta}_1 \varepsilon_{\varepsilon t-1} \quad (5.8)$$

Se deberán generar $(100,000/N)$ muestras sintéticas de tamaño N , donde N es el tamaño de la muestra original.

Una vez generadas las series \hat{Z}_t , se deberán desestandarizar $\hat{Y}_t = \hat{Z}_t + \bar{Y}$ y desnormalizar a través del antilogaritmo $\hat{X}_t = \exp(\hat{Y}_t)$.

Las muestras generadas tienen la misma probabilidad de ocurrencia de la original, y se selecciona aquel modelo estocástico que mejor preserve las características de la serie original.

El proceso presentado en la tesis se repite para todo el conjunto de muestras generadas, obteniéndose un nuevo conjunto de deciles, esto, porque los modelos estocásticos generan valores más chicos o más grandes que los que se tienen en la muestra original. También, al contar con un mayor número de datos, las características de periodicidad, duración, severidad, intensidad, lluvia en déficit y periodo de retorno se modifican, tal y como fue percibido por Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez (2013), quienes propusieron que las lluvias disponibles con propósitos de planeación deberían ser aquellas asociadas a periodos de retorno de 5 años, para la condición esperada de la sequía, y de 10 años para aquella que considera la lluvia esperada más una desviación estándar, esto es, la variación en el valor de la magnitud de la sequía.

6. Conclusiones

La sequía es un tema relevante para México, que debe ser analizada con el objetivo de contar con herramientas para la toma de decisiones en el manejo de los recursos hídricos del país.

Los resultados reportados solo consideraron los registros aforados de lluvias en cada una de las estaciones disponibles, con ellos, se demostró la importancia de aplicar las pruebas de independencia, cambio abrupto o tendencia en la serie, para definir si la serie es estacionaria, y cuya conclusión fue el desechar 5 de las 25 estaciones iniciales.

Al ajustar las 20 series estacionaria e independientes a la gama de distribuciones disponibles para el análisis de frecuencias para eventos extremos finos, se obtuvieron que los mejores modelos fueron, de acuerdo con el criterio de mínimo error estándar de ajuste, las versiones exponenciada y exponenciadas mezcladas.

La caracterización de las sequías tanto por la técnica de los deciles, como por la de las secuencias de lluvias demostraron que aún en una misma región, la periodicidad, duración, intensidad y magnitud pueden variar de forma significativa, por lo que los análisis de disponibilidad hídrica no deberán considerarse de gran escala, esto es, no estatal o no por región hidrológica, ya que los valores altos de lluvia suelen compensar los valores bajos de esa gran región, y dar un sentido de disponibilidad hídrica equivocada. Más aún, cuando las magnitudes de lluvia, así estimados, son utilizados para determinar la disponibilidad per cápita.

Según la técnica de los deciles, las estaciones estudiadas tienen una alta probabilidad de presentar un periodo de sequía que varían de un 43.9% hasta el 91%, con eventos cuyos periodos de retorno varía según el decil en que ocurren, esto es, 1.2 a 2.9 años en el cuarto decil, 1.5 a 5.2 años en el tercer decil, 2.4 a 13.8 años en el segundo decil, y 12.6 a 74.5 años en el primer decil. Recordemos que, entre más grande sea el periodo de retorno, menor será el valor de la lluvia disponible

En el caso del análisis de las secuencias, se determinó que en la región se presenta una sequía cada 4.3 años, con una duración de 2.4 años y una intensidad de -86.0 mm/año. Cantidad que representa el -20.4% menor respecto a su umbral. La lámina disponible en déficit sería 335.6 mm que tiene un periodo de retorno de 3.8 años.

Al considerar una desviación estándar adicional a su valor promedio, se obtuvo que una sequía se presenta cada 6.6 años, con una duración de 4.3 años y una intensidad de -31.5% menor respecto a su valor medio. La lámina disponible en déficit sería 288.7 mm con un periodo de retorno de 7.4 años.

Para estos dos últimos casos, las cifras corresponden al promedio de las 20 estaciones, pero como ya se mencionó, deberán considerarse solo como indicadores, pero para propósitos de planeación y manejo de los recursos hídricos se deberá utilizar las condiciones de cada sitio.

Sin lugar a duda, los resultados obtenidos deberán afinarse al aplicar las técnicas de generación de lluvias sintética mediante modelos estocásticos, pero a falta de estos, se podrán utilizar las sugerencias propuestas por algunos autores, donde se puede considerar como la lluvia disponible en déficit, para propósitos de planeación de los recursos hídricos, aquella asociada a un periodo de retorno de 5 años, o aquella que considera toda la variabilidad de la sequía que estaría asociada a un periodo de retorno de 10 años, ambas obtenidas a partir de la distribución de probabilidad de mejor ajuste, por lo que al proponer el uso de las distribuciones exponenciadas y exponenciadas mezcladas se ha aumentado el abanico de posibilidades de la práctica hidrológica.

Referencias

- Alexandersson, H.**, 1986. A homogeneity Test applied to Precipitation Data. *Journal of Climate*. 6: 661-675
- Al-Mashidani G., Lal B. B. and Quadri I.** 1980. Drought Flow Analysis of River Tigris in Baghdad. *Hydrological Science Journal*. 25(4): 453-459.
- Buishand, T.**, 1981. The Analysis of Homogeneity of Long-term Records in the Netherlands. *KNMI Scientific Report*, WR 81-7, De Bilt, The Neatherlands
- Buishand, T.**, 1982. Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall. *Journal of Hydrology*. 58:11-27.
- Chow V. T.** 1964. *Handbook of Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill.
- CLICOM, 2018.** CLImate COMputing project. Base de datos de estaciones climáticas administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) <http://clicom-mex.cicese.mx/>.
- Campos-Aranda, 1998.** *Procesos del Ciclo Hidrológico*, Editorial Universitaria Potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 76p.
- CONAGUA. 2015.** *Statistics on Water in Mexico*, Edition 2015. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). México, D.F.
- Escalante-Sandoval, C.** 2007. Estimación de Lluvias de Diseño con Distribuciones Exponenciadas y Exponenciadas Mezcladas en la Costa de Chiapas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22(4): 103-113.
- Escalante-Sandoval, C y Orsini-Zegada L.** 2012. Estimación de Caudales Mínimos Anuales mediante Distribuciones Mezcladas. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José de Costa Rica. 3C: 1-10.
- Escalante-Sandoval, C and Reyes-Chavez L. 2005.** *Análisis de Sequías*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 970-32-2781-3. 1110 p. En dos volúmenes.
- Escalante-Sandoval, C and Reyes-Chavez L. 2013.** Meteorological Drought Analysis in Northern Mexico. In: *Proceedings of the 35th IAHR World Congress 2013: The wise find pleasure in water meandering through water science and engineering*. 2: 1630-1641. ISBN 978-1629938141.
- Gibbs, W. J. y J. V. Maher,** 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators, Bulletin 48, *Commonwealth Bureau of Meteorology*, Melbourne, Australia.
- Grubbs, F.E. and Beck, G.** 1972. Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*, 14(4): 847-854.
- Gupta, R, and Kundu, D.** 2001. Exponentiated Exponential Family: An Alternative to Gamma and Weibull distributions. *Biometrical Journal*. 43(1): 117-130.
- Gumbel E. J. 1958.** *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York. USA.
- INEGI.2018.** Anuario Estadístico del Estado de Sonora. 2018. www.inegi.gob.mx

- Kite G. W. 1988.** *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. Water Resources Publications. USA. 257 p.
- Kroll Ch. and Vogel R. 2002.** Probability Distribution of Low Stream Flow Series in the United States. *Journal of Hydrologic Engineering*. 7(2): 137-146.
- Kuester J. L. and Mize J. H. 1973.** *Optimization Techniques with FORTRAN*, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 386-398.
- Kundzewics, Z. and Robson, A. 2004.** Change Detection in Hydrological Records – A Review of the Methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1): 7-19.
- Mood A., Graybill F. and D. Boes. 1974.** *Introduction to the Theory of Statistics*. McGraw-Hill.
- Pettitt, A. 1979.** A Non-parametric Approach to the Change-point Problem, *Journal of Royal Statistical Association*. Series C, 28(2): 126-135.
- Sahin y Cigizoglu, 2010.** Homogeneity Analysis of Turkish Meteorological data set. Hydrological Processes. <https://doi.org/10.1002/hyp.7534>
- Salas J. D., 1988.** *Applied Modelling of Hydrological Time Series*. Water Resources Publications, Colorado, USA. 484p.
- Teegavarapu, R. and Chandramouli, V. 2005.** Improved Weighting Methods, Deterministic and Stochastic Data-driven Models for Estimation of Missing Precipitation Records. *Journal of Hydrology*, 312: 91-106.
- Yevjevich, V. and Jeng, R. 1969.** *Properties of Non-homogeneous Hydrologic Time Series*. Hydrology Papers, Colorado State University, Colorado, USA.
- Zelenhasic, E. and Salvai, A. 1987.** A Method of Streamflow Drought Analysis. *Water Resources Research*. 23(1): 156–168.