

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

**COMPARACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS
PARA LA DELIMITACIÓN DE REGIONES
HOMOGÉNEAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

MAGALY SORAYA FRAGOSO DÍAZ

ASESOR

DR. JOSÉ LUIS HERRERA ALANÍS

SANTA CRUZ ACATLÁN, ESTADO DE MÉXICO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mi mamá por todo el amor, los valores inculcados, por alentarme a mejorar, apoyarme y creer siempre en mí.

A mi papá por los sacrificios realizados para mi formación.

A mi asesor de tesis, Dr. José Luis Herrera por su tiempo, apoyo, conocimientos y paciencia.

Al M. I. Eliseo Carrizosa y al Dr. Ramón Domínguez por el apoyo económico y las asesorías que me otorgaron en mi estancia en el Instituto de Ingeniería.

A mis hermanas Adriana, Lizeth y Areli por su cariño y comprensión.

A mis sobrinos Arisbeth, Yosgarth y Maite que tanto quiero.

A mis amigos Alán, Ismael, Yazmín, Marisela, Daniel, Flor y Luis fue un gusto compartir clases y aventuras.

A mis compañeros y amigos, los ingenieros Mario, Olaf, Patricia, Mauricio, Guillermo, Cecilia, Alejandro, Eduardo y Adam por los consejos, orientarme y hacer amena la elaboración de esta tesis.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de tener educación de calidad.

A todos ¡Gracias!, su apoyo ha sido muy valioso.

Índice

Objetivos	1
Introducción.....	2
Capítulo 1. Conceptos Básicos	4
1.1 Estadística	4
1.1.1 Pruebas de homogeneidad regional	7
1.2 Hidrología.....	11
Capítulo 2. Funciones de distribución de probabilidad	13
2.1 Técnicas de estimación de parámetros.....	15
2.1.1 Método de los momentos.....	15
2.1.2 Método de máxima verosimilitud.....	15
2.1.3 Método de momentos de probabilidad pesada	16
2.1.4 Método de los momentos-L	17
2.2 Funciones de distribución de probabilidad	19
2.2.1 Distribución Normal.....	19
2.2.2 Distribución Log Normal con dos parámetros	19
2.2.3 Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel)	20
2.2.4 Distribución general de valores extremos (GVE)	22
2.2.5 Distribución Doble Gumbel	25
2.2.6 Distribución Gamma con tres parámetros.....	25
Capítulo 3. Delimitación de regiones homogéneas	28
3.1 Método del coeficiente de variación	28
3.2 Método del parámetro de forma de la GVE.....	28
3.3 Momentos-L	28
3.4 Trazos Multidimensionales (Curva de Andrews)	30
3.5 Método de la región de influencia.	30
Capítulo 4. Técnicas de estimación regional	32
4.1 Técnica de las estaciones-año.....	32
4.2 Método de Darlymple	32

4.3 Correlación y regresión múltiple.....	33
4.4 Método regional de la transformación de Box-Cox	34
4.5 Método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada.....	35
Capítulo 5. Aplicación para el estado de Zacatecas.....	37
5.1 Zona de estudio	37
5.2 Estaciones climatológicas disponibles	39
5.2.1 Depuración de información	42
5.3 Delimitación de regiones homogéneas	49
5.3.1 Coeficiente de variación.....	49
5.3.2 Método del parámetro de forma de la GVE	54
5.3.3 Momentos- L.....	57
5.3.4 Trazos multidimensionales (Curvas de Andrews).....	62
5.3.5 Método de la región de influencia	66
5.3.6 Comparación y elección del mejor método	70
5.4 Análisis regional.....	72
5.4.1 Técnica de las estaciones-año	72
5.4.2 Método de Darlymple.....	77
5.4.3 Correlación y regresión múltiple	77
5.4.4 Método regional de la transformación de Box-Cox	79
5.4.5 Método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada	85
Capítulo 6. Análisis de resultados	91
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.....	111
Referencias	113
Anexos	115

Objetivos

Comparar diferentes técnicas para delimitar regiones homogéneas en el estado de Zacatecas, empleando registros diarios de lluvia.

Ajustar diferentes distribuciones de probabilidad a los registros de precipitaciones máximas anuales de las estaciones en la zona de estudio.

Aplicar métodos regionales para estimar precipitaciones de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, y 10,000 años.

Introducción

En la historia de México se han presentado desastres asociados a fenómenos meteorológicos que han causado inundaciones, provocado afectaciones al patrimonio de la población, de la infraestructura local y pérdidas humanas. Por mencionar una de las inundaciones más conocidas e históricas que afectó a un tercio de la población de la Ciudad de México en el año de 1951 (Páramo, 2014) . Por lo que planear, diseñar y crear obras hidráulicas seguras y con costos no tan elevados se ha vuelto una necesidad para la sociedad y su desarrollo.

El diseño de obras hidráulicas requiere de la estimación de un evento asociado a un periodo de retorno a través de un análisis de frecuencia pero la falta de información hidrométrica y climatológica, aunado a que muchas de las estaciones con las que cuenta el país han dejado de operar, crean incertidumbre sobre dichas estimaciones. Es decir, si fuera necesario un periodo de retorno grande y se cuenta con poca información el error del valor estimado podría ser elevado e ineficiente. Es así, que esta tesis aborda la temática de regionalización: una herramienta de gran ayuda para enfrentar la problemática de escasez de información. La regionalización consiste en un conjunto de herramientas que exploran al máximo la información existente, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad y calidad (Ganancias, 2010).

Para llevar a cabo una regionalización confiable, es preciso contar con agrupamientos de estaciones climatológicas que proporcionen homogeneidad, es decir, que las estaciones cumplan con ciertas semejanzas estadísticas, hidrológicas o fisiográficas. Por tal motivo esta tesis de licenciatura exploró y evaluó diferentes metodologías para la delimitación de regiones homogéneas, enfocada a precipitaciones máximas en 24 horas del estado de Zacatecas. Con el objetivo de poder señalar que metodología es la más práctica, conveniente y útil de emplear.

La información usada para cualquier análisis hidrológico debe cumplir ciertos estándares para obtener mejores resultados y más precisos. Este trabajo no fue la excepción ya que la información de los registros pluviométricos fue sometida a filtros. Dichos registros los proporciona organismos operadores como la Comisión Nacional del Agua o la Comisión Federal de Electricidad.

A partir de las hipótesis de las regiones homogéneas formadas se realizó una prueba para verificar lo dicho y dar paso a las técnicas de regionalización.

La presente tesis está estructurada en 7 capítulos.

El capítulo 1 está constituido por conceptos básicos acerca de Estadística e Hidrología que serán empleados a lo largo de este trabajo, así como una prueba para verificar las hipótesis de las regiones homogéneas realizadas.

El capítulo 2 describe cinco distribuciones de probabilidad usadas en la Hidrología y diferentes métodos que permiten obtener sus parámetros para el cálculo de eventos de diseño. Entre ellos: el método de momentos, de máxima verosimilitud, momentos de probabilidad pesada y momentos-L.

El capítulo 3, uno de los más importantes, aborda las bases teóricas de diferentes métodos para delimitar regiones homogéneas.

En el capítulo 4 se hace referencia teórica de las técnicas de regionalización que fueron aplicados en esta tesis, entre ellos: la técnica de estaciones-año, el método de Darlymple, Correlación y regresión múltiple, el método regional de la transformación de Box-Cox y el método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada.

En el capítulo 5 inicialmente se presenta una breve descripción de la zona de estudio, la ubicación geográfica de las estaciones utilizadas y señala como fueron depurados los registros de las estaciones climatológicas. También contiene la aplicación de los métodos de delimitación de regiones homogéneas y la comparación entre ellos. Al terminar el capítulo con las regiones homogéneas que se eligieron del análisis de comparación, se desarrollaron las técnicas de regionalización para la estimación de factores regionales para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, y 10,000 años.

En el capítulo 6 se efectúa una evaluación y comparación entre los resultados del análisis regional y puntual. El análisis puntual se realizó al elegir aleatoriamente una estación climatológica de cada región homogénea y efectuar un análisis de frecuencia con la distribución de mejor ajuste.

En el capítulo 7 se presenta las principales conclusiones y recomendaciones que surgieron del desarrollo de esta tesis de licenciatura.

Capítulo 1. Conceptos Básicos

1.1 Estadística

Los fenómenos hidrológicos debido a su complejidad, son considerados de carácter aleatorio, es decir, que se rigen por las leyes de azar o de probabilidad. Por tal motivo la estadística es una herramienta importante para poder realizar juicios frente a cierta incertidumbre y a la variación de dichos fenómenos (lluvia y escurrimientos).

El objetivo de la estadística es extraer la información esencial de un conjunto de datos, reduciendo un conjunto grande de números a un conjunto pequeño de números. La estadística son números calculados de una muestra los cuales resumen sus características más importantes (Chow, 1994). Es necesario saber que una muestra: es un subconjunto que representa a la población, y por población debe entenderse el total de elementos de un grupo que se estudia.

Existen estadísticos muestrales y parámetros de la población que son clasificados por medidas como del punto medio o tendencia central, la variabilidad y la simetría.

La tendencia central de un conjunto de datos es la disposición de estos para agruparse ya sea alrededor del centro o de ciertos valores numéricos. La variabilidad de un conjunto de datos es la dispersión de las observaciones en el conjunto (Canavos, 1988). En este capítulo se abordará la estimación de estadísticos muestrales.

Existen principalmente tres medidas de tendencia central: la media, la mediana y la moda.

Media

La media de las observaciones x_1, x_2, \dots, x_n es el promedio aritmético de estas y se denota por:

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

Es uno de los valores más importantes que describen el comportamiento de la muestra además puede afectarse de manera desproporcionada por la existencia de algunos valores extremos.

Mediana

La mediana de un conjunto de observaciones es el valor para el cual, cuando todas las observaciones se ordenan de manera creciente, la mitad de estas es menor que este valor y la otra mitad mayor. Por lo tanto la mediana divide a la muestra en dos partes cada una con el 50% de probabilidad.

Moda

La moda de un conjunto de observaciones el valor de la observación que ocurre con mayor frecuencia en el conjunto.

Una medida de tendencia central proporciona información acerca de un conjunto de datos pero no proporciona ninguna idea de la variabilidad de las observaciones en dicho conjunto, por lo que las medidas de dispersión nos indican que tan cercanos o alejados se encuentran los datos de la muestra de los valores centrales.

Las medidas más útiles de dispersión o variación son: la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

Varianza

La varianza es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media del conjunto de observaciones. La varianza se denota por:

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

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

Cuando la muestra tiene pocos datos (menos de 30) tiende a estar sesgada por lo que se recomienda usar las ecuaciones insesgadas.

El valor de la varianza puede sufrir un cambio muy desproporcionado, aún más que la media, por la existencia de algunos valores extremos en el conjunto.

Desviación estándar

La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza.

$$S = \sqrt{S^2} \quad (4)$$

Coefficiente de variación

El coeficiente de variación es una sencilla medida que permite comparar el grado de dispersión, es decir, que tan diferentes son, en valor relativo, dos o más conjuntos de datos. Se obtiene dividiendo la desviación estándar entre la media (Sánchez Corona, 2004). Se denota por:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \quad (5)$$

Existen medidas de simetría como lo son: el coeficiente de asimetría y la curtosis.

Coefficiente de asimetría

La asimetría o sesgo de una distribución de frecuencias expresa su deformación respecto al eje vertical (Sánchez Corona, 2004). Es decir, si una distribución se puede doblar a lo largo de un eje vertical de manera que ambos lados coincidan podemos decir que es simétrica, en caso contrario presenta asimetría o sesgo.

$$g_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(S_{sesg}^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

$$g_{insesg} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} g_{sesg} \quad (7)$$

Coefficiente de curtosis

La deformación respecto al eje horizontal de una distribución de frecuencias se conoce como curtosis o aplastamiento. Una medida cualitativa de la forma de las distribuciones de frecuencias las clasifican en:

Leptocúrticas: Sus datos se concentran en un reducido intervalo de valores.

Mesocúrticas: Éstas presentan una concentración de valores alrededor de la media, y una reducción de estos hacia los extremos. A éstas se les conoce también como distribuciones normales o campanas de Gauss.

Platicúrticas: En ellas los datos se distribuyen de manera relativa uniforme en todo el rango de valores.

En la figura 1.1 se muestra lo anteriormente descrito.

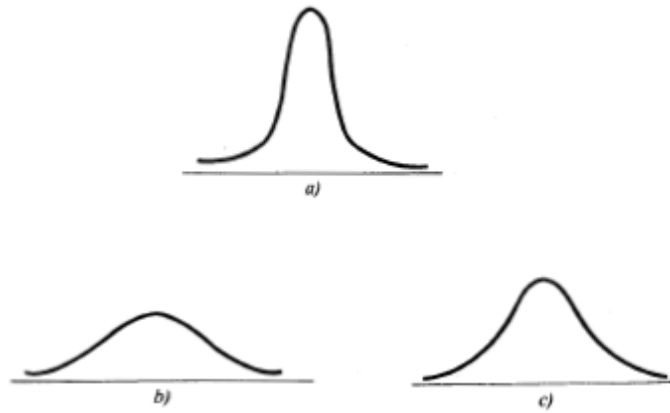


Figura 1.1 Tipos de curtosis: a) leptocúrticas, b)platicúrticas y c)mesocúrticas (Canavos, 1988).

El coeficiente de curtosis puede calcularse con las siguientes ecuaciones:

$$k_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(S^2)^2} \quad (8)$$

$$k_{insesg} = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} k_{sesg} \quad (9)$$

1.1.1 Pruebas de homogeneidad regional

La hipótesis de homogeneidad establece que, en una determinada región, que se supone homogénea, la distribución de frecuencias en cada sitio es la misma excepto por un factor de escala (Hosking y Wallis, 1993). Por lo que es necesario realizar pruebas que confirmen las hipótesis de los grupos homogéneos formados y poder evaluar que tan homogéneo o heterogéneo puede llegar a ser la región planteada. Para ello en este apartado se aborda algunas pruebas para garantizar la homogeneidad de las regiones homogéneas propuestas.

Prueba de Fisher

La distribución F de Fisher, llamada así por el profesor Sir Ronald A. Fisher, comúnmente utilizada en la teoría de probabilidad y estadística, es empleada cuando se requiere probar si las varianzas de dos poblaciones normales son iguales, partiendo de la comparación de la varianza de dos muestras extraídas aleatoriamente de esas poblaciones. En otras palabras, su aplicación se basa en la comparación de varianzas muestrales (Alcalá, 2016).

En la hidrología se emplea la distribución F cuando se requiere probar si dos o más series climatológicas, o hidrométricas, pertenecen a una misma población, es decir, forman parte de la misma región homogénea. Para determinar si dos muestras pertenecen a la misma población, es necesario aplicar una prueba de significancia estadística o prueba de hipótesis. A la prueba que utiliza la distribución F se le denomina prueba de Fisher. En esta prueba se calcula el estadístico F , definido por el cociente:

$$F = \frac{S_1^2 \sigma_2^2}{S_2^2 \sigma_1^2} \quad (10)$$

Donde S_1^2 y S_2^2 son las varianzas de las muestras aleatorias independientes de tamaño n_1 y n_2 tomadas de poblaciones normales con varianzas σ_1^2 y σ_2^2 , respectivamente, con $v_1 = n_1 - 1$ y $v_2 = n_2 - 1$ grados de libertad.

En esta prueba, la hipótesis nula a probar es: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$, con una hipótesis alternativa $H_1: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$. Considerando la hipótesis nula el estadístico F se calcula:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (11)$$

Cuando se calcula el estadístico S_2^2/S_1^2 , el recíproco de F , se tiene una distribución $1/F$ con $v_1 = n_2 - 1$ y $v_2 = n_1 - 1$. Como en ambos casos se tiene una distribución F , conviene tomar a la varianza mayor como el numerador y a la menor como el denominador.

Para aceptar o rechazar la hipótesis nula es necesario comparar el estadístico de prueba F con el valor F crítico (F_c) para un nivel de significancia dado (α), generalmente del 1 o 5 %. Ver figura 1.2.

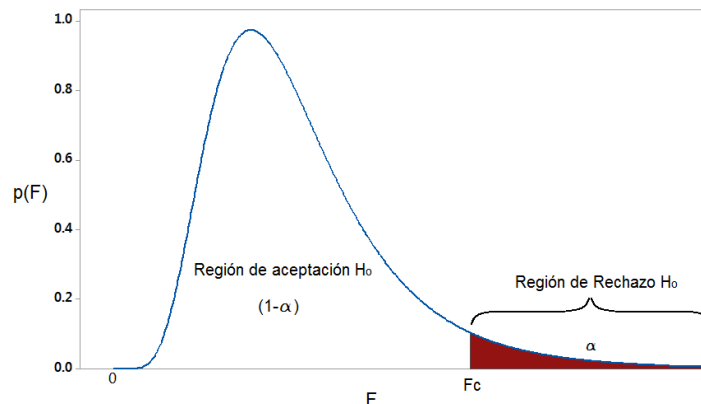


Figura 1.2 Región de rechazo para la hipótesis nula. Distribución F. (Alcalá, 2016).

En la Tabla 1.1 y Tabla 1.2 se muestran algunos valores críticos de F para un nivel de significancia del 1 y 5 %, respectivamente.

Tabla 1.1 Valores inverso de la distribución F para un nivel de significacia del 1% (Alcalá, 2016).

		Grados de libertad numerador																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	40	60	80
Grados de libertad denominador	1	4052	5000	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6023	6056	6106	6143	6170	6192	6209	6287	6313	6326
	2	98.5	99	99.2	99.2	99.3	99.3	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5	99.5
	3	34.1	30.8	29.5	28.7	28.2	27.9	27.7	27.5	27.3	27.2	27.1	26.9	26.8	26.8	26.7	26.4	26.3	26.3
	4	21.2	18	16.7	16	15.5	15.2	15	14.8	14.7	14.5	14.4	14.2	14.2	14.1	14	13.7	13.7	13.6
	5	16.3	13.3	12.1	11.4	11	10.7	10.5	10.3	10.2	10.1	9.9	9.8	9.7	9.6	9.6	9.3	9.2	9.2
	6	13.7	10.9	9.8	9.1	8.7	8.5	8.3	8.1	8	7.9	7.7	7.6	7.5	7.5	7.4	7.1	7.1	7
	7	12.2	9.5	8.5	7.8	7.5	7.2	7	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	6.3	6.2	6.2	5.9	5.8	5.8
	8	11.3	8.6	7.6	7	6.6	6.4	6.2	6	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.4	5.1	5	5
	9	10.6	8	7	6.4	6.1	5.8	5.6	5.5	5.4	5.3	5.1	5	4.9	4.9	4.8	4.6	4.5	4.4
	10	10	7.6	6.6	6	5.6	5.4	5.2	5.1	4.9	4.8	4.7	4.6	4.5	4.5	4.4	4.2	4.1	4
	12	9.3	6.9	6	5.4	5.1	4.8	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4	3.9	3.9	3.6	3.5	3.5
	14	8.9	6.5	5.6	5	4.7	4.5	4.3	4.1	4	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1
	16	8.5	6.2	5.3	4.8	4.4	4.2	4	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.3	3	2.9	2.9
	18	8.3	6	5.1	4.6	4.2	4	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.1	3.1	2.8	2.7	2.7
	20	8.1	5.8	4.9	4.4	4.1	3.9	3.7	3.6	3.5	3.4	3.2	3.1	3.1	3	2.9	2.7	2.6	2.6
	40	7.3	5.2	4.3	3.8	3.5	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.1	2	2
	60	7.1	5	4.1	3.6	3.3	3.1	3	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	1.9	1.8	1.8
80	7	4.9	4	3.6	3.3	3	2.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	1.8	1.7	1.7	

Tabla 1.2 Valores inversos de la distribución F para un nivel de significancia del 5%(Alcalá, 2016).

		Grados de libertad numerador																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	40	60	80
Grados de libertad denominador	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.4	246.5	247.3	248	251.1	252	252.7
	2	18.5	19	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.6	9.3	9.1	9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.6	8.6	8.6
	4	7.7	6.9	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6	6	6	5.9	5.9	5.8	5.8	5.8	5.7	5.7	5.7
	5	6.6	5.8	5.4	5.2	5.1	5	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.6	4.5	4.4	4.4
	6	6	5.1	4.8	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	4	4	3.9	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7
	7	5.6	4.7	4.3	4.1	4	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3
	8	5.3	4.5	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3	3	3
	9	5.1	4.3	3.9	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3	3	3	2.9	2.8	2.8	2.8
	10	5	4.1	3.7	3.5	3.3	3.2	3.1	3.1	3	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6
	12	4.7	3.9	3.5	3.3	3.1	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4
	14	4.6	3.7	3.3	3.1	3	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2
	16	4.5	3.6	3.2	3	2.9	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1
	18	4.4	3.6	3.2	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2	2
	20	4.4	3.5	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2	1.9	1.9
	40	4.1	3.2	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6
	60	4	3.2	2.8	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2	2	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5
80	4	3.1	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	2.1	2	2	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.5	1.4	

Prueba de homogeneidad mediante la generación de registros sintéticos

Al utilizar la prueba de Fisher para delimitar regiones homogéneas, se supone que las muestras pertenecen a una población normal, lo cual ocurre muy pocas veces en los fenómenos climatológicos e hidrométricos, por lo que a continuación se plantea una prueba que permite evaluar la hipótesis de homogeneidad cuando las muestras no pertenecen a una población Normal (Domínguez *et al.*, 2017).

Cuando se considera que las muestras provienen de una población que no se comporta como una Normal, se busca probar si cada muestra puede provenir de dicha población. En otras palabras, cuando, por ejemplo, los gastos máximos anuales en los sitios que conforman una supuesta región homogénea son representados por una distribución Gumbel, se estiman los coeficientes de variación en cada muestra realizando M simulaciones de la región N , con número de estaciones i , donde cada simulación tiene el tamaño original de los registros históricos.

Para cada una de las M simulaciones se calcula el CV del conjunto de muestras simuladas. Este estadístico es comparado con el observado en las muestras históricas. Se considera que la región es homogénea si los CV simulados son consistentes con los observados, es decir, si la variación observada en cada muestra es debida al azar.

A continuación, se presenta el procedimiento a seguir.

- Se obtienen los parámetros de la función de distribución $F(x)$ que describe a la región homogénea a probar.
- Se simulan M registros de tamaño igual al de los registros históricos utilizando números aleatorios con distribución $F(x)$.
- Para cada simulación M se determinan los CV de las muestras generadas.

Finalmente, se comparan los CV generados con los observados, ordenándolos de mayor a menor y asignándoles una frecuencia empírica igual a m/N , donde m es el número de orden y N el número total de valores como se muestra en la figura 1.3.

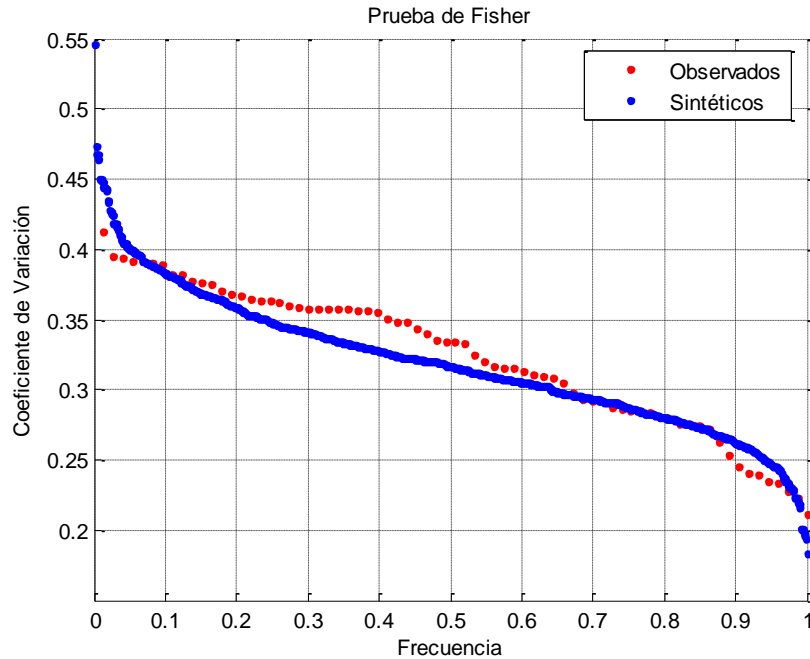


Figura 1.3 Comparación de los CV sintéticos con los observados

Cuando el rango de valores de los CV observados está comprendido dentro de los obtenidos de la simulación, la hipótesis de homogeneidad se puede aceptar, ya que los valores observados son estadísticamente consistentes con los simulados, y sus diferencias se deben al azar.

1.2 Hidrología

La *precipitación* es el fenómeno principal de aportación de agua a la superficie terrestre. Incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre tales como el granizo y nevisca. La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow, 1994).

El enfriamiento de la atmósfera se logra por la elevación del aire. De acuerdo con la condición que provoca dicha elevación, la precipitación puede ser por convección, orográfica y ciclónica.

Precipitación por convección

Se origina por el levantamiento de masas del aire más ligero y cálido al encontrarse a su alrededor con masas de aire densas y frías, o por el desigual calentamiento de la superficie terrestre y la masa de aire. Al irse elevando dichas masas de aire, se expanden y se enfrían dinámicamente, originando la condensación y precipitación.

Precipitación orográfica

La precipitación debida al levantamiento del aire producido por las barreras montañosas se denomina orográfica.

Precipitación ciclónica

La precipitación ciclónica está asociada al paso de ciclones y está ligada con los planos de contacto (superficies frontales) entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. El levantamiento del aire se origina por convergencia horizontal de la entrada de la masa de aire en un área de baja presión (Springall G.).

La precipitación es medida en términos de altura de lámina de agua y se expresa en milímetros para esto se emplean instrumentos como el pluviómetro y pluviógrafo; el primero consiste en un dispositivo que cuenta con un embudo donde se capta el agua cuya área es A y la descarga a un recipiente cilíndrico graduado con un área transversal a que es diez veces menor que A , con el objetivo de que por cada milímetro de lluvia el recipiente mide un centímetro; los pluviógrafos son dispositivos con los cuales se obtiene un registro de altura de lluvia contra tiempo que es conocido como pluviograma.

Capítulo 2. Funciones de distribución de probabilidad

La función de distribución asociada a una variable aleatoria X , que puede tomar valores en el campo de los números reales, se define como la probabilidad de que dicha variable tome valores menores o iguales a un valor fijo x (Domínguez et al, s.f.).

$$F_X(x) = \text{Prob}\{X \leq x\} \quad ; X, x \in R \quad (12)$$

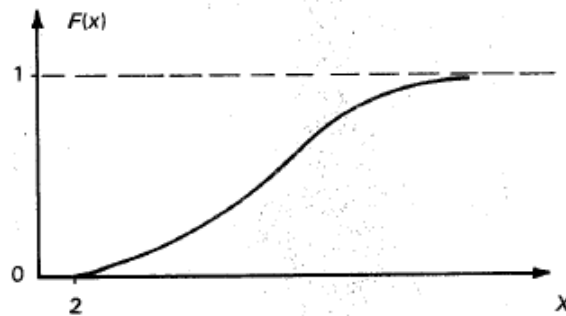


Figura 2.1 Función de distribución, (Domínguez et al, s.f.).

Las propiedades principales de las funciones de distribución son:

$$F(\infty) = 1 \quad (13)$$

$$F(-\infty) = 0 \quad (14)$$

$$F(x + \Delta x) \geq F(x) \quad ; \quad \text{si } \Delta x \geq 0 \quad (15)$$

De acuerdo con la definición, si se conoce la función de distribución de probabilidad de una variable aleatoria, la probabilidad de que la variable tome valores en un intervalo (a, b) , se calcula como:

$$\text{Prob}(a \leq u \leq b) = F_X(b) - F_X(a) \quad (16)$$

La función de densidad de probabilidad se define como la derivada parcial de su función de distribución de probabilidad:

$$f(x) = \frac{\delta F(x)}{dx} \quad (17)$$

La gráfica de la función de densidad se muestra en la figura 2.2, donde el área bajo la curva y entre las rectas a y b da la probabilidad de que la variable aleatoria x se encuentre entre a y b , lo que se puede representar por

$$Prob(a < x < b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx - \int_{-\infty}^a f(x)dx = \int_a^b f(x)dx \quad (18)$$

La principal propiedad de esta función consiste en que el área bajo la curva definida por ella es igual a la unidad, esto es:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (19)$$

Otra propiedad es que siempre es mayor o igual a cero

$$f(x) \geq 0 \quad (20)$$

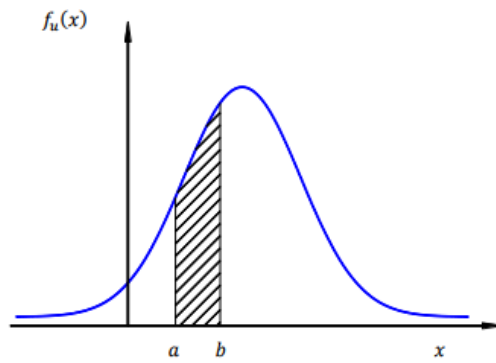


Figura 2.2 Función de densidad, (Domínguez et al, s.f.).

Periodo de retorno

En la hidrología el periodo de retorno se define como el promedio de número de años que transcurren para que un evento de determinada magnitud pueda ser igualado o excedido (Stedinger, Vogel, & Foufoula, 1993). Puede estimarse con la fórmula de Weibull:

$$Tr = \frac{n + 1}{m} \quad (21)$$

Donde se ordena los valores en orden descendente y se asigna un número de orden m y n corresponde al número total de datos.

El periodo de retorno es utilizado para estimar la probabilidad de no excedencia de un evento.

$$P(X \leq x) = F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} \quad (22)$$

2.1 Técnicas de estimación de parámetros

Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos, una gran cantidad de información probabilística contenida en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados (Chow, 1994). Dichos parámetros son características de una población. A continuación se presenta diferentes técnicas para la estimación de parámetros.

2.1.1 Método de los momentos

Este método fue desarrollado en 1902 por Karl Pearson, que consideró que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra (Chow, 1994). El cálculo de los momentos muestrales (media, varianza, etc.) se aborda en el capítulo 1.

2.1.2 Método de máxima verosimilitud

Sea $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$ una función de densidad de probabilidad de x con parámetros a_i , $i = 1, \dots, m$. Si existe una muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de esta función de densidad. Entonces, su función de densidad conjunta es $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Debido a que la muestra a es aleatoria, la función de densidad conjunta se puede escribir como:

$$f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (23)$$

Interpretando en forma conceptual, la probabilidad de obtener un valor dado de x , digamos x_1 , es proporcional a $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Por otro lado, la probabilidad de obtener la muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n a partir de la población de x es proporcional al producto de sus densidades de probabilidad individual. Esta función conjunta es llamada es llamada la función de verosimilitud L

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (24)$$

Los parámetros $a_i, i = 1, 2, \dots, m$ son desconocidos.

El método de máxima verosimilitud estima los parámetros al maximizar L , esto es, maximizando la verosimilitud de que la muestra bajo consideración es la única que puede obtenerse al seleccionar n observaciones aleatorias a partir de $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Los valores de los parámetros obtenidos se conocen como los

estimadores por máxima verosimilitud. Debido a que con $\ln L$ se alcanza también su máximo para valores específicos de $a_i, i = 1, 2, \dots, m$ como lo hace L , entonces, la función de verosimilitud se puede expresar como:

$$\ln L = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m) \quad (25)$$

El procedimiento para estimar los parámetros o la determinación del punto donde la función alcanza su máximo, implica la diferenciación de L o de $\ln L$ parcialmente con respecto a cada parámetro e igualando a cero. Por lo que se genera m ecuaciones con m incógnitas pueden resolverse para los m parámetros desconocidos:

$$\frac{\partial L(a_1, a_2, \dots, a_m)}{\partial a_1} = 0 \quad (26)$$

$$\frac{\partial L(a_1, a_2, \dots, a_m)}{\partial a_2} = 0 \quad (27)$$

$$\frac{\partial L(a_1, a_2, \dots, a_m)}{\partial a_m} = 0 \quad (28)$$

2.1.3 Método de momentos de probabilidad pesada

Greenwood et al. (1979) introdujeron el método de momentos de probabilidad pesada y mostraron su utilidad en la estimación de parámetros de distribuciones cuyas formas inversas $x = x(F)$ se definen explícitamente (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008). Si $F(x) = P(X \leq x)$, entonces, los momentos de probabilidad pesada son

$$M_{i,j,k} = E[x^i F^j (1 - F)^k] = \int_0^1 [x(F)]^i F^j (1 - F)^k dF \quad (29)$$

Donde $M_{i,j,k}$ es el momento de probabilidad pesada del orden (i, j, k) , $E[.]$ es el operador esperanza, e i, j, k son números reales. Si $j = k = 0$ e i es un entero no negativo, entonces $M_{i,0,0}$ representa el momento convencional de orden i con respecto al origen.

$$M_r = \int_{-\infty}^{\infty} x^r f(x) dx = E(x^r) \quad (30)$$

Si $M_{i,0,0}$ existe y x es una función continua de F , entonces $M_{i,j,k}$ existe para todos los número reales no negativos j y k . Para valores no negativos de j, k se tiene

$$M_{i,0,k} = \sum_{j=0}^k \binom{k}{j} (-1)^j M_{i,j,0} \quad (31)$$

$$M_{i,j,0} = \sum_{k=0}^j \binom{j}{k} (-1)^k M_{i,0,k} \quad (32)$$

Si $M_{i,0,k}$ existe y x es una función continua de F , entonces $M_{i,j,0}$ también existe. Si $M_{1,0,k} = M_k$ se puede obtener un estimador no sesgado para M_k y $k =$ entero no negativo si x_j , $i = 1, \dots, n$ son los valores ordenados de mayor a menor como

$$\hat{M}_{(k)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} \binom{n-i}{k} / \binom{n-1}{k} \quad (33)$$

$$\hat{M}_{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (34)$$

$$\hat{M}_{(1)} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} x_i (n-i) \quad (35)$$

$$\hat{M}_{(2)} = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-2} x_i (n-i)(n-i-1) \quad (36)$$

$$\hat{M}_{(3)} = \frac{1}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^{n-3} x_i (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \quad (37)$$

2.1.4 Método de los momentos-L

Los momentos-L son análogos a los momentos convencionales, sin embargo, tiene cierta ventaja sobre ellos, ya que son capaces de caracterizar a un mayor número de distribuciones, además de estar virtualmente libres de sesgo aún para muestras pequeñas (Hosking, 1990) y surgen de combinaciones lineales de los momentos ponderados probabilísticamente introducidos por Greenwood (1979).

El primer estimador por momentos-L es la media, definida como

$$\lambda_1 = E[X] \quad (38)$$

Sea $x_{(i|n)}$ la i -ésima observación de una muestra de tamaño n , ordenada de mayor a menor, entonces, para cualquier distribución de probabilidad el segundo momento-L es una descripción de escala basada en la diferencia esperada entre dos observaciones de forma aleatoria

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E[X_{(1|2)} - X_{(2|2)}] \quad (39)$$

De forma similar, el sesgo y la curtosis se pueden obtener como

$$\lambda_3 = \frac{1}{2} E[X_{(1|3)} - 2X_{(2|3)} + X_{(3|3)}] \quad (40)$$

$$\lambda_4 = \frac{1}{2} E[X_{(1|4)} - 3X_{(2|4)} + 3X_{(3|4)} - X_{(4|4)}] \quad (41)$$

Así como la varianza o el coeficiente de asimetría de una distribución son función de las esperanzas $E[X], E[X^2], E[X^3]$, los momentos-L pueden ser estimarse en función de los momentos de probabilidad pesada

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (42)$$

Los primeros cuatro momentos-L son

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (43)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (44)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (45)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (46)$$

Una vez conocidas $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3,$ y λ_4 se puede obtener de las relaciones de los momentos-L

$$\text{Coeficiente de variación} - L = \tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (47)$$

$$\text{Coeficiente de sesgo} - L = \tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (48)$$

$$\text{Coeficiente de curtosis} - L = \tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (49)$$

2.2 Funciones de distribución de probabilidad

A continuación se describe las funciones de distribución de probabilidad más usadas en la Hidrología.

2.2.1 Distribución Normal

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (50)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (51)$$

Donde μ parámetro de ubicación

σ parámetro de escala

Estimadores por momentos y máxima verosimilitud

$$\hat{\mu} = \bar{x} \quad (52)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (53)$$

Estimadores por momentos-L

$$\hat{\mu} = \lambda_1 \quad (54)$$

$$\hat{\sigma} = 1.772\lambda_2 \quad (55)$$

2.2.2 Distribución Log Normal con dos parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}, \quad x > 0 \quad (56)$$

Donde μ_y parámetro de ubicación

σ_y parámetro de escala

$\gamma > 0$

Estimadores por momentos y máxima verosimilitud

$$\hat{\mu}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (57)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu_y)^2}{n} \quad (58)$$

2.2.3 Distribución de valores extremos tipo I (Gumbel)

Esta distribución es usada para valores máximos.

$$F(x) = e^{-e^{-\left[\frac{x-v}{\alpha}\right]}} \quad (59)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-v}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-v}{\alpha}\right)}} \quad -\infty < x < \infty, \quad \alpha > 0 \quad (60)$$

Donde v parámetro de ubicación

α parámetro de escala

$$E(x) = \hat{v} + 0.57772\hat{\alpha} \quad (61)$$

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2 \hat{\alpha}^2}{6} \quad (62)$$

$$\gamma = 1.1396 \quad (63)$$

$$\kappa = 5.4002 \quad (64)$$

La variable reducible Gumbel es

$$y_i = \frac{x_i - v}{\alpha} \quad (65)$$

Estimadores por momentos

$$\hat{v} = \bar{x} - 0.45S \quad (66)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S = 0.78S \quad (67)$$

Estimadores por máxima verosimilitud

Considerando la variable reducida (ecuación 65) se tiene el siguiente proceso iterativo

$$P = n - \sum_{i=1}^n e^{-y_i} \quad (68)$$

$$R = n - \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i e^{-y_i} \quad (69)$$

El criterio de convergencia es

$$\frac{P}{\hat{\alpha}} \approx 0 \quad y \quad \frac{-R}{\hat{\alpha}} \approx 0 \quad (70)$$

Incrementos

$$\delta_{vj} = (1.11P_j - 0.26R_j) \frac{\alpha_i}{n} \quad (71)$$

$$\delta_{\alpha j} = (0.26P_j - 0.61R_j) \frac{\alpha_i}{n} \quad (72)$$

Nuevos valores

$$\hat{v}_{j+1} = \hat{v}_j + \delta_{vj} \quad (73)$$

$$\hat{\alpha}_{j+1} = \hat{\alpha}_j + \delta_{\alpha j} \quad (74)$$

Estimadores por momentos-L

$$\hat{v} = \lambda_1 - 0.577216\hat{\alpha} \quad (75)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\lambda_2}{\ln(2)} \quad (76)$$

2.2.4 Distribución general de valores extremos (GVE)

$$F(x) = e^{-\left[1 - \left(\frac{x-v}{\alpha}\right)\beta\right]^{\frac{1}{\beta}}} \quad (77)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left[1 - \left(\frac{x-v}{\alpha}\right)\beta\right]^{\frac{1}{\beta}}} \left(1 - \left(\frac{x-v}{\alpha}\right)\beta\right)^{\frac{1}{\beta}-1} \quad (78)$$

Si $\beta = 0$	$-\infty < x < \infty$	la distribución es tipo I (Gumbel)
Si $\beta < 0$	$v + \frac{\alpha}{\beta} \leq x < \infty$	la distribución es tipo II (Fréchet)
Si $\beta > 0$	$-\infty < x \leq v + \frac{\alpha}{\beta}$	la distribución es tipo III (Weibull)

Donde

v parámetro de ubicación

α parámetro de escala, $\alpha > 0$

β parámetro de forma

La variable reducida GVE es:

$$y = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 - \left(\frac{x-v}{\alpha}\right)\beta\right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (79)$$

Estimadores por momentos

Para $-11.35 < g < 1.1396$

$$\hat{\beta} = 0.279434 - 0.333535g + 0.048306g^2 + 0.023314g^3 + 0.00376g^4 - 0.000263g^5 \quad (80)$$

Para $1.14 < g < 18.95$

$$\hat{\beta} = 0.25031 - 0.29219g + 0.075357g^2 + 0.010883g^3 + 0.000904g^4 - 0.000043g^5 \quad (81)$$

$$\hat{A} = \mu_x - \hat{B}E[y] = \bar{x} - \hat{B}E[y] \quad (82)$$

$$\hat{B} = \left[\frac{Var(x)}{Var(y)}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (83)$$

$$Var(x) = \sigma_x^2 = S_x^2 \quad (84)$$

$$E[y] = \Gamma(1 + \hat{\beta}) \quad (85)$$

$$Var(y) = \Gamma(1 + 2\hat{\beta}) - \Gamma^2(1 + \hat{\beta}) \quad (86)$$

Para $\hat{B} < 0$ distribución tipo II

$$\hat{\alpha} = -\hat{\beta}\hat{B} \quad (87)$$

$$\hat{v} = \hat{A} + \hat{B} \quad (88)$$

Para $\hat{B} > 0$ distribución tipo III

$$\hat{\alpha} = \hat{\beta}\hat{B} \quad (89)$$

$$\hat{v} = \hat{A} - \hat{B} \quad (90)$$

Para $\hat{B} = 0$ distribución tipo I

$$\hat{v} = \bar{x} - 0.45S \quad (91)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}S = 0.78S \quad (92)$$

Estimadores por máxima verosimilitud

Considerando la variable reducida (ecuación 79) se tiene el siguiente proceso iterativo

$$P = n - \sum_{i=1}^n e^{-y_i} \quad (93)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n e^{(\beta-1)y_i} - (1-\beta) \sum_{i=1}^n e^{\beta y_i} \quad (94)$$

$$R = n - \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i e^{-y_i} \quad (95)$$

El criterio de convergencia es

$$-\frac{\delta LL}{\delta v} = \frac{Q}{\hat{\alpha}} \approx 0 \quad (96)$$

$$-\frac{\delta LL}{\delta \alpha} = \frac{1}{\hat{\alpha}} \left(\frac{P + Q}{\hat{\beta}} \right) \approx 0 \quad (97)$$

$$-\frac{\delta LL}{\delta \beta} = \frac{1}{\hat{\beta}} \left[R - \left(\frac{P + Q}{\hat{\beta}} \right) \right] \approx 0 \quad (98)$$

Incrementos

$$\delta_{\hat{v}_j} = -\frac{\hat{\alpha}_j}{n} \left\{ bQ_j + \frac{h(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} + \frac{f}{\hat{\beta}_j} \left[R_j - \frac{(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} \right] \right\} \quad (99)$$

$$\delta_{\hat{\alpha}_j} = -\frac{\hat{\alpha}_j}{n} \left\{ hQ_j + a \frac{(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} + \frac{gs}{\hat{\beta}_j} \left[R_j - \frac{(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} \right] \right\} \quad (100)$$

$$\delta_{\hat{\beta}_j} = -\frac{1}{n} \left\{ fQ_j + gs \frac{(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} + \frac{c}{\hat{\beta}_j} \left[R_j - \frac{(P_j + Q_j)}{\hat{\beta}_j} \right] \right\} \quad (101)$$

Donde a, b, c, f, gs y h son los elementos de la matriz de varianza-covarianza de los parámetros de la distribución GVE para $-1.5 < \beta < 1$ (Raynal, 1982).

$$a = 0.661437 - 0.562798\beta + 0.985803\beta^2 - 0.059011\beta^3 \quad (102)$$

$$b = 1.235356 - 0.162161\beta - 0.115137\beta^2 + 0.009577\beta^3 \quad (103)$$

$$c = 0.4711 - 0.77627\beta + 0.295825\beta^2 - 0.009645\beta^3 \quad (104)$$

$$f = 0.244435 - 0.10287\beta - 0.19583\beta^2 - 0.016837\beta^3 \quad (105)$$

$$gs = 0.15373 - 0.411923\beta - 0.479209\beta^2 - 0.075004\beta^3 \quad (106)$$

$$h = 0.338937 - 1.209555\beta - 0.109822\beta^2 - 0.019801\beta^3 \quad (107)$$

Nuevos valores

$$\hat{v}_{j+1} = \hat{v}_j + \delta_{v_j} \quad (108)$$

$$\hat{\alpha}_{j+1} = \hat{\alpha}_j + \delta_{\alpha_j} \quad (109)$$

$$\hat{\beta}_{j+1} = \hat{\beta}_j + \delta_{\beta j} \quad (110)$$

2.2.5 Distribución Doble Gumbel

$$F(x) = p \left[e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right] + \left[(1-p)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right] \quad (111)$$

$$f(x) = p \alpha_1 e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} + (1-p)\alpha_2 e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \quad (112)$$

Donde α_1 parámetro de forma de la primera población

β_1 parámetro de escala de la primera población

α_2 parámetro de forma de la segunda población

β_2 parámetro de escala de la segunda población

p parámetro de asociación (probabilidad de tener eventos no ciclónicos)

$$p = \frac{\text{número de gastos no ciclónicos}}{\text{número total de datos}} = \frac{Nn}{Nt} \quad (113)$$

Para obtener los parámetros se recurre a técnicas de optimización, las cuales no se abordaran en este trabajo.

2.2.6 Distribución Gamma con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} \quad (114)$$

$$\alpha > 0 \quad (115)$$

$$x_0 \leq x < \infty \quad (116)$$

$$\gamma > 0 \quad (117)$$

Donde

x_0 parámetro de ubicación

α parámetro de escala

β parámetro de forma

Además

$$\mu = x_0 + \alpha\beta \quad (118)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta \quad (119)$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (120)$$

$$\kappa = 3 \left(1 + \frac{\gamma^2}{2} \right) \quad (121)$$

Estimadores por momentos

$$\hat{\beta} = \frac{4}{g^2} \quad (122)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{S}{\sqrt{\hat{\beta}}} \quad (123)$$

$$\hat{x}_0 = \bar{x} - S\sqrt{\hat{\beta}} \quad (124)$$

Estimadores por máxima verosimilitud

$$\hat{\beta} = \frac{1}{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_0) \sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{(x_i - \hat{x}_0)} \right]}{n^2}} \quad (125)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_0) - \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{(x_i - \hat{x}_0)} \right]} \quad (126)$$

El estimador \hat{x}_0 se obtiene al resolver

$$\frac{\delta \text{Ln}L}{\delta \beta} = F(\hat{x}_0) = \sum_{i=1}^n \text{Ln}(x_i - \hat{x}_0) - n \text{Ln}(\hat{\alpha}) - n\psi(\beta) = 0 \quad (127)$$

Error estándar de ajuste

Para poder elegir la mejor función de distribución de probabilidad que represente el comportamiento de la muestra de datos que se tiene, es necesario obtener error estándar de ajuste y la probabilidad con menor error es la seleccionada. Se expresa:

$$EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ie})^2}{n - m} \right]^{1/2} \quad (128)$$

Donde

x_i valor i -ésimo de la muestra

x_{ie} valor i -ésimo estimado

n número de datos de la muestra

m número de parámetros de la función de distribución utilizada

Capítulo 3. Delimitación de regiones homogéneas

Las técnicas de delimitación de regiones homogéneas tienen como objetivo agrupar zonas con características similares, estas características pueden ser fisiográficas o hidrológicas.

A las técnicas que ubican estaciones en forma iterativa, con base en un algoritmo puramente matemático se les denomina técnicas de racimo. Con esta metodología no es necesario que una cuenca se encuentre dentro de un grupo que sea geográficamente contiguo. Estas regiones podría decirse, serán comunes respecto a su series de datos en un espacio variable multidimensional antes que en un espacio geográfico (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

A continuación se presenta cinco criterios usados para la identificación de regiones homogéneas. Estas técnicas no son excluyentes unas de otras ya que pueden ser complementarias entre ellas y así definir regiones más confiables.

3.1 Método del coeficiente de variación

Esta técnica hace uso de los estadísticos muestrales de los registros correspondientes a la media (\bar{x}) y al coeficiente de variación (CV). Los grupos se forman por la concentración de puntos alrededor de determinado valor del coeficiente de variación (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

3.2 Método del parámetro de forma de la GVE

Esta técnica hace uso de la distribución General de Valores Extremos, de la cual se obtiene el parámetro de forma (β) de cada estación por máxima verosimilitud. Las regiones se agrupan tomando un rango de dicho parámetro. En el apartado 2.2.4 se aborda la metodología empleada en la distribución General de Valores Extremos.

3.3 Momentos-L

La homogeneidad hidrológica de una región requiere que todos los sitios sean capaces de compartir una distribución poblacional (Hosking y Wallis, 1997). La similitud estadística entre las distribuciones de cada sitio i se puede evaluar utilizando los momentos L, los cuales incluyen los siguientes estadísticos: coeficiente de variación L (L-CV), $\hat{t}_2^{(i)}$; sesgo (L-sesgo), $\hat{t}_3^{(i)}$; y curtosis (L-curtosis), $\hat{t}_4^{(i)}$.

La prueba de homogeneidad compara la variabilidad entre las relaciones observadas y simuladas de los momentos L de cada sitio. Las relaciones simuladas

se obtienen de regiones generadas de cada paso de un proceso de búsqueda iterativo (Escalante Sandoval & Arriaga Fuentes, 2017).

La medida de variabilidad empleada es:

$$V = \left\{ \sum_{i=1}^{N_s} n_i^* (\hat{t}_2^{(i)} - \bar{t}_2)^2 / \sum_{i=1}^{N_s} n_i^* \right\} \quad (129)$$

Donde $\hat{t}_2^{(i)}$ representa el estimado de L-CV del sitio i

\bar{t}_2 es el promedio regional de los L-CV

n_i^* la longitud de registro en el sitio i

N_s es el número de sitios en la región

Medidas de heterogeneidad como la estadística H_1 han sido desarrolladas por Hosking y Wallis (1997) como un indicador de grado de heterogeneidad en los Momentos-L para un grupo de estaciones. La estadística H_1 mide la variabilidad relativa del coeficiente de variación (L-CV) observado a partir de la muestra, y es utilizada para medir la heterogeneidad en cada una de las regiones homogéneas propuestas (Wallis et al, 2007) y se expresa como:

$$H = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (130)$$

Donde V representa la variabilidad en el sitio obtenida de la ecuación 129

μ_v y σ_v son la media y desviación estándar de los N_{sim} valores simulados, respectivamente, lo cuales se obtienen utilizando la distribución Kappa.

De acuerdo con Hosking and Wallis una región se considera homogénea si $H < 1$, posiblemente heterogénea si $1 \leq H < 2$, y definitivamente heterogénea si $H \geq 2$. Wallis sugiere otro criterio de rangos, fundamentando que los límites propuestos originalmente por Hosking y Wallis sólo tenían en cuenta la variabilidad estadística. Sin embargo, las mediciones de precipitación habitualmente contienen otras fuentes de variación, tales como cambio de operador, datos faltantes surgidos de reportes inconsistentes, falta de atención para medir la precisión, todos los factores que incrementen en algún grado la heterogeneidad natural de las regiones. Por ello propuso los siguientes rangos: se considera homogénea si $H < 2$, posiblemente heterogénea si $2 \leq H < 3$, y definitivamente heterogénea si $H \geq 3$.

3.4 Trazos Multidimensionales (Curva de Andrews)

La heterogeneidad de los grupos que se forman de manera preliminar se evalúa mediante una técnica de posicionamiento propuesta por Andrews (1972), en la cual un punto en el espacio multidimensional se representa por una curva en dos dimensiones vía la función

$$f(t) = \frac{x_1}{\sqrt{2}} + x_2 \text{sen}(t) + x_3 \cos(t) + x_4 \text{sen}(2t) + x_5 \cos(2t) + \dots \quad (131)$$

Donde x_1, x_2, \dots son las características fisiográficas y/o meteorológicas obtenidas del análisis de regresión y la función se evalúa en el rango $-\pi \leq t \leq \pi$ (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

Esta técnica es visual ya que las regiones con comportamiento similar aparecen como una banda de curvas muy próximas.

Los resultados que se obtienen con este método dependen del tipo y del ordenamiento de las variables seleccionadas. Las primeras variables son asociadas con componentes cíclicas de baja frecuencia y las últimas de alta frecuencia.

Una vez que se han desarrollado las funciones del tipo $f(t)$ para cada uno de los sitios involucrados, se generan envolventes que formen conjuntos de curvas de comportamiento similar y se deriva una curva media que representa los atributos físicos de cada grupo formado.

3.5 Método de la región de influencia.

En esta técnica cada sitio se considera el centro de su propia región (Burn, 1988, 1990). La identificación de una región de influencia se apoya en la medición en la medición de la distancia Euclidiana en un espacio de atributos multidimensionales. El conjunto de atributos (características fisiográficas y climatológicas) se relaciona las características de los eventos extremos (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

La distancia Euclidiana D_{jb} entre una estación cualquiera j y la estación base b , para la cual se genera la región de influencia, se expresa como:

$$D_{jb} = \left[\sum_{i=1}^p (C_j^i - C_b^i)^2 \right]^{1/2} \quad (132)$$

$$C_j^i = \frac{X_j^i}{S(X^i)} \quad (133)$$

$$C_b^i = \frac{X_b^i}{S(X^i)} \quad (134)$$

Donde:

p número de atributos considerados

C_j^i y C_b^i valores estandarizados del atributo i para los sitios j y la estación base b

X_j^i valores del atributo i del sitio j

X_b^i valores del atributo i de la estación base b

$S(X^i)$ desviación estándar del atributo i considerando todos los sitios j y la estación b

El proceso de estandarización elimina las unidades de cada atributo y reduce cualquier diferencia de escala dentro del rango de valores.

EL grupo de atributos seleccionados son función de la información disponible en la red de estaciones. La elección de los atributos requiere cierto juicio ingenieril.

El próximo paso dentro del proceso de identificación de la región de influencia indica proponer un valor de tolerancia que acote la medida de la distancia. Así, se pudieran excluir todas aquellas estaciones que tengan una distancia más grande que el valor promedio \bar{D}_{jb} desde el sitio base.

Capítulo 4. Técnicas de estimación regional

4.1 Técnica de las estaciones-año

Este método considera el tratamiento de una sola muestra de datos conformada por un registro estandarizado de eventos, el cual una vez que se construye se ajusta a un conjunto de distribuciones de probabilidad. Esta técnica regional a diferencia de otras no requiere que las muestras tengan una longitud de registro común. Con referencia al tamaño de muestra aceptable en cada muestra participante en el análisis, se recomienda que el menos sea de 10 años (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008). La secuencia del procedimiento es el siguiente:

1. Cada serie es modulada, es decir, dividida entre su media correspondiente.
2. Se forma un registro llamado estaciones-año, con todos los eventos modulados.
3. El registro se ordena de mayor a menor y se ajusta a las diferentes distribuciones de probabilidad y se selecciona la que proporcione menor error estándar.
4. Es posible estimar los eventos regionales para diferentes periodos de retorno con la distribución de mejor ajuste.

4.2 Método de Darlymple

Este método es del tipo de avenida índice y considera que las muestras se ajustan a la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel). Un requisito para esta técnica es que las muestras tengan igual longitud de registro (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008). La secuencia de cálculo es la siguiente:

1. Recabar la información sobre los eventos por ser analizados en cada una de las estaciones de la región y proponer una longitud de registro $n_{común}$.
2. El registro se ordena de mayor a menor y se le asigna un periodo de retorno (ecuación 21) y una probabilidad de no excedencia (ecuación 22).
3. Cada una de las estaciones es ajustada a la distribución Gumbel y se estiman los eventos para $Tr=2.33$ años y para los periodos de retorno asignados a la muestra.
4. Cada una de las series se estandariza, dividiendo cada valor entre $\hat{X}_{2.33}$.
5. Para cada Tr se obtiene el valor de la mediana \tilde{X}_T del conjunto $SX = \{X_T^1, X_T^2, \dots, X_T^{ms}\}$. Para obtener la mediana de cada periodo, el conjunto SX se debe ordenar de mayor a menor. Si ms es par, entonces la mediana será el promedio de los dos valores que dividen la muestra ordenada. Si ms es impar la mediana es el valor que queda exactamente dividiendo a la muestra.

6. Los valores \tilde{X}_T se ubican con sus correspondientes periodos de retorno en papel de probabilidad Gumbel.
7. Los puntos ubicados en el paso 6, son ajustados mediante una curva suavizada para generar la curva regional $X_{Tr}^R - Tr$
8. Una vez obtenida la curva regional es posible estimar los eventos X_{Tr}^R para los periodos de retorno $Tr= 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$ años.

4.3 Correlación y regresión múltiple

En esta técnica los eventos máximos anuales pueden expresarse en términos de algunos índices geomorfológicos y factores climatológicos de la región.

La dependencia o independencia de las variables se estima para cada sitio mediante un proceso de correlación y regresión discriminadamente, donde la aportación de cada variable independiente es probada hasta lograr un modelo de regresión, en el cual todas la variables que en él intervengan sean estadísticamente significativas para la estimación de la variable dependiente analizada (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

El modelo de regresión puede ser del tipo

$$Y = a + b_1X_1 + \dots + b_sX_s \quad (135)$$

Donde

Y variable dependiente

X_k características fisiográficas y climatológicas ($k = 1, \dots, s$)

a, b_k conjunto de parámetros a estimarse de los datos

La secuencia de cálculo es la siguiente:

1. Se ajusta a una distribución de probabilidad para cada una de las estaciones y se obtiene los eventos de diseño para cada periodo de retorno $Tr=2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$ años.
2. Para cada periodo de retorno analizado se plantea un sistema de ecuaciones, por ejemplo si $Tr= 2$ años tiene seis estaciones y cuatro características el sistema es:

$$hp_2^1 = a + b_1x_1^1 + b_2x_2^1 + b_3x_3^1 + b_4x_4^1 \quad (136)$$

$$hp_2^2 = a + b_1x_1^2 + b_2x_2^2 + b_3x_3^2 + b_4x_4^2 \quad (137)$$

$$hp_2^3 = a + b_1x_1^3 + b_2x_2^3 + b_3x_3^3 + b_4x_4^3 \quad (138)$$

$$hp_2^4 = a + b_1x_1^4 + b_2x_2^4 + b_3x_3^4 + b_4x_4^4 \quad (139)$$

$$hp_2^5 = a + b_1x_1^5 + b_2x_2^5 + b_3x_3^5 + b_4x_4^5 \quad (140)$$

$$hp_2^6 = a + b_1x_1^6 + b_2x_2^6 + b_3x_3^6 + b_4x_4^6 \quad (141)$$

3. Finalmente se resuelve el sistema de ecuaciones para obtener una ecuación regional por periodo de retorno.

4.4 Método regional de la transformación de Box-Cox

Este método hace uso de la transformación normalizante propuesta por Chander (1978) para la estimación de eventos, dada por las ecuaciones 142 y 143.

$$y_i = \frac{(x_i)^\lambda - 1}{\lambda} \quad \lambda \neq 0, y_i > 0 \quad (142)$$

$$y_i = \ln(x_i) \quad \lambda = 0, y_i > 0 \quad (143)$$

Donde

λ es el factor de transformación normalizante, tal que $g = 0$, siendo g el coeficiente de asimetría.

A partir de las ecuaciones 142 y 143 los eventos se obtienen:

$$\hat{X}_T = \hat{\mu}_x + \hat{\sigma}_x U_T \quad (144)$$

$$hp_T = (1 + \hat{\lambda} \hat{X}_T)^{1/\lambda} \quad (145)$$

La técnica se puede aplicar con los siguientes pasos:

1. Para cada serie se obtiene el valor de la transformación normalizante $\hat{\lambda}_j$.
2. Debido a la variabilidad del coeficiente $\hat{\lambda}_j$ se obtiene un valor regional $\hat{\lambda}_r$.

$$\hat{\lambda}_r = \bar{\lambda} = \frac{1}{ms} \sum_{i=1}^{ms} \hat{\lambda}_j \quad (146)$$

3. Se generan las series y_i^j con $i = 1, 2, 3, \dots, n$ y con $j = 1, 2, 3, \dots, ms$, usando el valor regional $\hat{\lambda}_r$.

$$y_i^j = \frac{(x_i^j)^{\hat{\lambda}_r} - 1}{\hat{\lambda}_r} \quad \hat{\lambda}_r \neq 0 \quad (147)$$

$$y_i^j = \ln x_i^j \quad \hat{\lambda}_r = 0 \quad (148)$$

4. Para cada una de las series y_i^j se calcula la media y desviación estándar.

5. Se calculan los eventos para los periodos de retorno $T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$ años con las siguientes expresiones:

$$\hat{X}_T^j = \hat{\mu}_x^j + \hat{\sigma}_x^j U_T \quad (149)$$

$$hp_T^j = (\hat{\lambda}_r \hat{X}_T^j + 1)^{1/\hat{\lambda}_r} \quad \hat{\lambda}_r \neq 0 \quad (150)$$

$$hp_T^j = \exp(\hat{X}_T^j) \quad \hat{\lambda}_r = 0 \quad (151)$$

Donde

U_T variable Normal estándar.

4.5 Método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada

Este método sigue los siguientes pasos:

1. Para cada serie se obtiene los momentos de probabilidad pesada $(\hat{M}_{(0)}^j, \hat{M}_{(1)}^j, \hat{M}_{(2)}^j, \hat{M}_{(3)}^j)$ empleando las ecuaciones 34, 35, 36 y 37 del capítulo dos.
2. Para cada estación j se estandarizan los momentos de probabilidad pesada

$$\hat{m}_k^j = \frac{\hat{M}_{(k)}^j}{\hat{M}_{(0)}^j} \quad (152)$$

3. Se estiman los momentos regionales de la forma

$$m_{(k)}^R = \frac{1}{n_T} \sum_{j=1}^{ms} \hat{m}_k^j n_j \quad (153)$$

Donde

n_j longitud de registro en la estación j

n_T longitud total de las estaciones-año de la región

4. Los momentos regionales se emplean para para estimar los parámetros por momentos-L de las distribuciones Gamma-3, Gumbel o GVE y obtener \hat{X}_T^j , con las ecuaciones:

$$\lambda_1 = m_{(0)}^R \quad (154)$$

$$\lambda_2 = 2m_{(1)}^R - m_{(0)}^R \quad (155)$$

$$\lambda_3 = 6m_{(2)}^R - 6m_{(1)}^R + m_{(0)}^R \quad (156)$$

$$\lambda_4 = 20m_{(3)}^R - 30m_{(2)}^R + 12m_{(1)}^R - m_{(0)}^R \quad (157)$$

5. Una vez que se obtiene la distribución con mejor ajuste para cada uno de los sitios $j = 1, 2, \dots, m_s$, es posible calcular los eventos de diseño para los periodos de retorno $T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000$ años, como:

$$\widehat{h p}_T^j = \overline{h p}^j \widehat{X}_T^j \quad (158)$$

Capítulo 5. Aplicación para el estado de Zacatecas

5.1 Zona de estudio

Zacatecas se ubica en la región centro norte del país. Conformado por 58 municipios, cuenta con una extensión territorial de 74,619.454 km que representa el 3.8% de la superficie del país. Cuenta con una población de 1, 579, 209 habitantes.

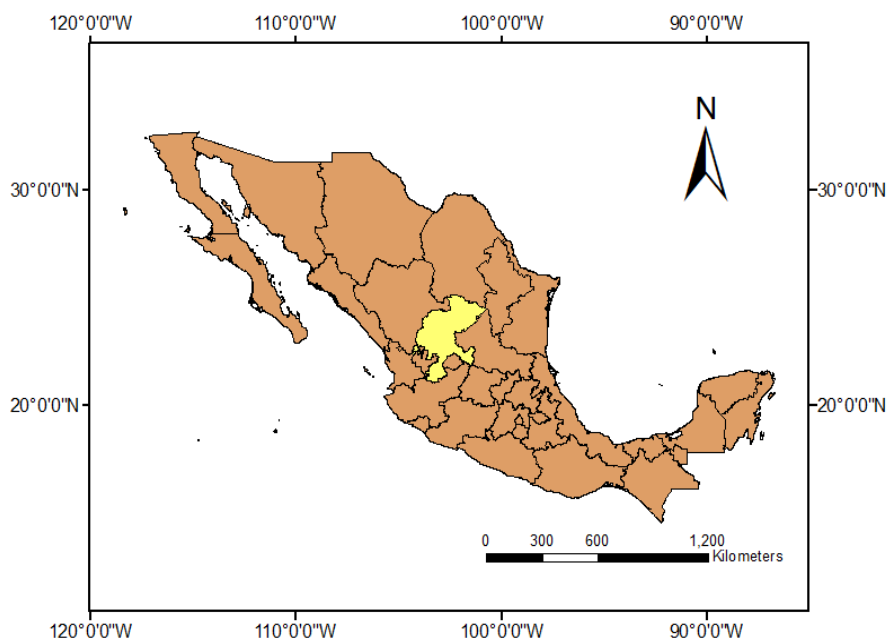


Figura 5. 1 Ubicación del estado de Zacatecas

La superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Mesa del centro, figura 5.2. Al occidente y suroccidente existen sierras, algunas son mesetas con una altitud máxima de 2,900 metros sobre el nivel del mar. La mayor elevación con la que cuenta la entidad es el Cerro de los Pelones con una altitud de 3,160 metros sobre el nivel del mar.

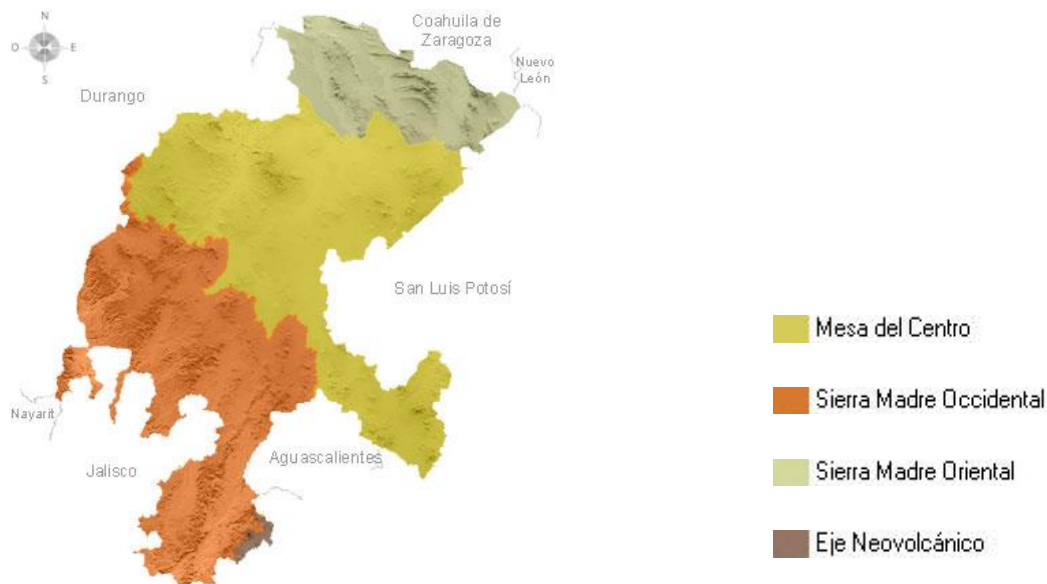


Figura 5. 2 Orografía de Zacatecas

El 73% de la entidad presenta clima seco y semiseco, el 17% presenta clima templado subhúmedo y se localiza hacia el oeste del estado; el 6% es muy seco se presenta hacia la región norte y noreste, el 4% restante presenta clima cálido subhúmedo y se encuentra hacia el sur y suroeste de la entidad.

La temperatura media anual es de 17° C, la temperatura máxima promedio es alrededor del 30° C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 3° C y se presenta en el mes de enero. Las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre.

Se han presentado en el estado de Zacatecas eventos que han afectado como en el 2002 la presencia del huracán Kenna categoría 4, afectando también a los estados de Nayarit, Jalisco, Sinaloa y Durango. En 1996 el huracán categoría 2 Dolly impactó el 20 de agosto afectando además de Zacatecas a Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí. Uno de los eventos de mayor intensidad fue el huracán Anita que impactó el 2 de septiembre de 1977 con vientos máximos de 280 km/h, afectando a los estados de Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes y Zacatecas.

5.2 Estaciones climatológicas disponibles

La recolección de datos climatológicos así como hidrométricos forman parte esencial de cualquier estudio hidrológico por lo que este capítulo aborda la selección de información para poder aplicar métodos de análisis.

En ocasiones las estaciones se encuentran suspendidas debido a diversos factores, el estado de Zacatecas no es la excepción, ya que de las 161 estaciones existentes 23 de ellas se encuentran suspendidas y 138 operando como se muestra en la tabla 5.1, además de poder observar la clave, nombre y municipio de la estación climatológica.

Tabla 5. 1 Estaciones climatológicas de Zacatecas, base de datos Climatológica Nacional (CLICOM)

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	SITUACION
32001	AGUA NUEVA	VILLA DE COS	OPERANDO
32002	BOCA DEL TESORERO	JEREZ	OPERANDO
32003	CALERA	CALERA	OPERANDO
32004	CAMACHO (SMN)	MAZAPIL	OPERANDO
32005	CAÑITAS DE FELIPE PESCADOR	CAÑITAS DE FELIPE PESCADOR	OPERANDO
32006	EL CAZADERO	SAIN ALTO	OPERANDO
32007	CEDROS	MAZAPIL	OPERANDO
32009	JEREZ DE GARCIA SALINAS (SMN)	JEREZ	SUSPENDIDA
32010	CAOPAS	MAZAPIL	OPERANDO
32011	CONCEPCION DE LA NORMA	MAZAPIL	OPERANDO
32012	CHALCHIHUITES (DGE)	CHALCHIHUITES	SUSPENDIDA
32013	EL CHIQUE	TABASCO	OPERANDO
32014	EL ENCINAL	VILLA DE COS	SUSPENDIDA
32015	EL RUSIO	VILLA HIDALGO	OPERANDO
32016	EL PLATANITO	VALPARAISO	OPERANDO
32017	EL TECOMATE	JALPA	SUSPENDIDA
32018	EL SAUZ	FRESNILLO	OPERANDO
32019	EXCAME	TEPECHITLAN	OPERANDO
32020	FRESNILLO	FRESNILLO	OPERANDO
32021	COLONIA GONZALEZ ORTEGA	SOMBRERETE	OPERANDO
32022	GRUÑIDORA	MAZAPIL	OPERANDO
32023	GUADALUPE DE LAS CORRIENTES	VILLA DE COS	SUSPENDIDA
32024	GUADALUPE VICTORIA	NORIA DE ANGELES	OPERANDO
32025	HUANUSCO	HUANUSCO	OPERANDO
32026	JEREZ DE GARCIA SALINAS (DGE)	JEREZ	OPERANDO
32027	JIMENEZ DEL TEUL	JIMENEZ DEL TEUL	OPERANDO
32028	JUAN ALDAMA	JUAN ALDAMA	OPERANDO
32029	JUCHIPILA (SMN)	JUCHIPILA	OPERANDO
32030	LA FLORIDA	VALPARAISO	OPERANDO
32031	LA BUFA (OBS)	ZACATECAS	OPERANDO
32032	LA VILLITA	TEPECHITLAN	OPERANDO
32033	LORETO	LORETO	OPERANDO
32034	PUERTO SAN FRANCISCO	SOMBRERETE	OPERANDO
32036	MAZAPIL	MAZAPIL	OPERANDO

Continuación

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	SITUACION
32037	MONTE ESCOBEDO	MONTE ESCOBEDO	OPERANDO
32038	NIEVES	GENERAL FRANCISCO R. MURGUIA	OPERANDO
32039	NOCHISTLAN	NOCHISTLAN DE MEJIA	OPERANDO
32040	NUEVO MERCURIO	MAZAPIL	OPERANDO
32041	OJOCALIENTE	OJOCALIENTE	OPERANDO
32042	PALOMAS	VILLANUEVA	OPERANDO
32043	PINOS (DGE)	PINOS	SUSPENDIDA
32044	ESCUELA DE AGRONOMIA UAZ	ZACATECAS	OPERANDO
32045	RIO GRANDE (SMN)	RIO GRANDE	OPERANDO
32046	SAIN ALTO	SAIN ALTO	OPERANDO
32047	SAN ANTONIO DEL CIPRES	PANUCO	OPERANDO
32048	SAN BENITO	MAZAPIL	OPERANDO
32049	SAN FRANCISCO (SMN)	GENERAL FRANCISCO R. MURGUIA	OPERANDO
32050	SAN GIL	GENERAL FRANCISCO R. MURGUIA	OPERANDO
32051	SAN PEDRO PIEDRA GORDA -CIUDAD CUAUHTEMOC-	CUAUHTEMOC	OPERANDO
32052	SAN RAFAEL	MAZAPIL	OPERANDO
32053	SANTA ROSA	FRESNILLO	OPERANDO
32054	SOMBRETERE (DGE)	SOMBRETERE	OPERANDO
32055	TAYAHUA	VILLANUEVA	OPERANDO
32056	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA (SMN)	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA	SUSPENDIDA
32057	TLALTENANGO SANCHEZ ROMAN	TLALTENANGO DE SANCHEZ ROMAN	OPERANDO
32058	TRANCOSO	TRANCOSO	OPERANDO
32059	VILLA DE COS (SMN)	VILLA DE COS	OPERANDO
32060	VILLA GARCIA (SMN)	VILLA GARCIA	SUSPENDIDA
32061	VILLA HIDALGO	VILLA HIDALGO	OPERANDO
32062	VILLANUEVA (SMN)	VILLANUEVA	SUSPENDIDA
32063	ZACATECAS (SMN)	ZACATECAS	SUSPENDIDA
32065	CHALCHIHUITES (SMN)	CHALCHIHUITES	OPERANDO
32067	JUCHIPILA (DGE)	JUCHIPILA	SUSPENDIDA
32068	PINOS (SMN)	PINOS	OPERANDO
32069	SAN JUAN CAPISTRANO	VALPARAISO	OPERANDO
32070	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA (DGE)	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA	OPERANDO
32071	VILLA DE COS (DGE)	VILLA DE COS	SUSPENDIDA
32072	VILLA GARCIA (DGE)	VILLA GARCIA	OPERANDO
32073	VILLANUEVA (DGE)	VILLANUEVA	OPERANDO
32074	HACIENDA DE ZARAGOZA	SOMBRETERE	SUSPENDIDA
32076	COLONIA GREVER LA COLORADA	VILLA DE COS	OPERANDO
32077	SAN TIBURCIO (SMN)	MAZAPIL	SUSPENDIDA
32078	SAN TIBURCIO (DGE)	MAZAPIL	OPERANDO
32080	SAN ANTONIO DE TRIANA	VILLA DE COS	SUSPENDIDA
32084	SAN ANDRES	VILLA DE COS	OPERANDO
32085	SANTA LUCIA	VALPARAISO	OPERANDO
32086	ZACATECAS (DGE)	ZACATECAS	OPERANDO
32087	CONCEPCION DEL ORO	CONCEPCION DEL ORO	OPERANDO
32088	PETUCHE	VILLA DE COS	SUSPENDIDA
32089	E.T.A. 143 MIGUEL AUZA	MIGUEL AUZA	SUSPENDIDA
32090	E.T.A. 144 COLONIA GONZALEZ ORTEGA	SOMBRETERE	SUSPENDIDA
32091	E.T.A. 145 EL SALVADOR	EL SALVADOR	OPERANDO
32092	CAMACHO (DGE)	MAZAPIL	SUSPENDIDA
32093	EL ARENAL	SOMBRETERE	OPERANDO
32095	PAJARITOS DE LA SIERRA	VALPARAISO	OPERANDO
32096	RIO GRANDE (DGE)	RIO GRANDE	SUSPENDIDA
32097	TENAYUCA	APULCO	OPERANDO
32098	VALPARAISO	VALPARAISO	OPERANDO
32099	MALPASO	VILLANUEVA	OPERANDO
32100	SAN ISIDRO DE LOS GONZALEZ	VALPARAISO	OPERANDO

Continuación

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	SITUACION
32101	SAN JOSE DE LOS LLANETES	VALPARAISO	OPERANDO
32102	TONALA	VALPARAISO	SUSPENDIDA
32103	AMECA LA VIEJA	VALPARAISO	OPERANDO
32104	RANCHO DE EN MEDIO	MONTE ESCOBEDO	SUSPENDIDA
32105	TLACHICHILA	NOCHISTLAN DE MEJIA	OPERANDO
32106	CUEVA GRANDE	VALPARAISO	OPERANDO
32107	SIERRA HERMOSA	VILLA DE COS	OPERANDO
32108	CORRALES	SOMBRERETE	OPERANDO
32109	SAN PEDRO DE LA SIERRA	VALPARAISO	OPERANDO
32110	COLONIA GREVER PURISIMA SIFUENTES	VILLA DE COS	OPERANDO
32111	JALPA	JALPA	OPERANDO
32112	MILPILLAS DE ALLENDE	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA	OPERANDO
32113	PASTORIA	MONTE ESCOBEDO	OPERANDO
32114	VILLA GONZALEZ ORTEGA	VILLA GONZALEZ ORTEGA	OPERANDO
32115	SOMBRERETE (OBS)	SOMBRERETE	OPERANDO
32116	ADJUNTAS DEL REFUGIO	VILLANUEVA	OPERANDO
32117	LAS ANIMAS	VALPARAISO	OPERANDO
32118	LOS CAMPOS	VILLA GARCIA	OPERANDO
32119	FELIPE ANGELES	VILLANUEVA	OPERANDO
32120	GENARO CODINA	GENARO CODINA	OPERANDO
32121	GUADALUPE	GUADALUPE	OPERANDO
32122	LUIS MOYA	LUIS MOYA	OPERANDO
32123	MESILLAS	SOMBRERETE	OPERANDO
32124	MOMAX	MOMAX	OPERANDO
32125	MOYAHUA DE ESTRADA	MOYAHUA DE ESTRADA	OPERANDO
32126	PALMILLAS	OJOCALIENTE	OPERANDO
32127	PINO SUAREZ	PINOS	OPERANDO
32129	PRESA SUSTICACAN	SUSTICACAN	OPERANDO
32130	EL ROMERILLO	VALPARAISO	OPERANDO
32131	SAN GERONIMO	OJOCALIENTE	OPERANDO
32132	TEPETONGO	TEPETONGO	OPERANDO
32133	FELIPE ANGELES	SOMBRERETE	OPERANDO
32134	MILPILLAS DE LA SIERRA	VALPARAISO	OPERANDO
32135	POTRERO DE GALLEGOS	VALPARAISO	OPERANDO
32136	VICENTE GUERRERO	MONTE ESCOBEDO	OPERANDO
32137	CHICHIMEQUILLAS	FRESNILLO	OPERANDO
32138	CANOAS	GENARO CODINA	SUSPENDIDA
32139	HUITZILA	TEUL DE GONZALEZ ORTEGA	OPERANDO
32140	MEZQUITAL DEL ORO	MEZQUITAL DEL ORO	OPERANDO
32141	EL SALVADOR	EL SALVADOR	OPERANDO
32142	TIERRA Y LIBERTAD	VILLA DE COS	OPERANDO
32143	GARCIA DE LA CADENA	TRINIDAD GARCIA DE LA CADENA	OPERANDO
32144	SAN FRANCISCO (DGE)	GENERAL FRANCISCO R. MURGUIA	OPERANDO
32145	LA BUFA (DGE)	ZACATECAS	OPERANDO
32148	LAS HUERTAS	CONCEPCION DEL ORO	OPERANDO
32150	SAN GERONIMO	GUADALUPE	OPERANDO
32151	SIERRA VIEJA	VILLA DE COS	OPERANDO
32152	APOZOL	APOZOL	OPERANDO
32153	FLORENCIA DE BENITO JUAREZ	BENITO JUAREZ	OPERANDO
32154	CERRO DE LA VIRGEN OBS.ASTR.	ZACATECAS	OPERANDO
32156	MORELOS	MORELOS	OPERANDO
32157	PRESA MORALEÑOS	HUANUSCO	OPERANDO

Continuación

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	SITUACION
32158	PRESA SANTIAGO	MIGUEL AUZA	OPERANDO
32171	MIGUEL AUZA	MIGUEL AUZA	OPERANDO
32172	RANCHO GRANDE	FRESNILLO	OPERANDO
32173	EL PEÑASCO	GENERAL ENRIQUE ESTRADA	OPERANDO
32174	LLANO BLANCO	PANUCO	OPERANDO
32175	PRESA JULIAN ADAME	VILLANUEVA	OPERANDO
32176	SAUCEDA DE LA BORDA	VETAGRANDE	OPERANDO
32177	NUEVO TAMPICO	MAZAPIL	OPERANDO
32179	SAN JERONIMO	MELCHOR OCAMPO	OPERANDO
32180	GENERAL JOAQUIN AMARO	EL PLATEADO DE JOAQUIN AMARO	OPERANDO
32181	LA PITAYA	JALPA	OPERANDO
32182	PALMA CUATA	APOZOL	OPERANDO
32183	ATOLINGA	ATOLINGA	OPERANDO
32184	LOS FRESNOS	TLALTENANGO DE SANCHEZ ROMAN	OPERANDO
32186	EL SALADILLO	GENERAL PANFILO NATERA	OPERANDO
32187	ESPIRITU SANTO	PINOS	OPERANDO
32188	EL NIGROMANTE	PINOS	OPERANDO
32189	PRESA SANTA TERESA	MONTE ESCOBEDO	OPERANDO
32191	CAMPO LA ONDA	MIGUEL AUZA	OPERANDO

5.2.1 Depuración de información

La información utilizada para este trabajo fue de precipitaciones diarias, la cual se extrajo de la base de datos Climatológica Nacional (CLICOM), con clave 005.

Fue necesario limpiar la información que nos proporcionaba CLICOM ya que contenía números negativos (-999) y letras. Una vez que ya no contenía caracteres extraños se obtuvo los valores máximos anuales para todas las series.

La información de cada estación se depuró para poder aplicar los métodos de regionalización. Uno de los filtros que se realizó fue verificar que cumpliera con mínimo 20 años y contara con los meses importantes de registro: junio, julio, agosto y septiembre donde se presenta mayores precipitaciones. En la figura 5.3 se muestra la ubicación de las 117 estaciones que cumplieron este filtro, dejando fuera del análisis 44.

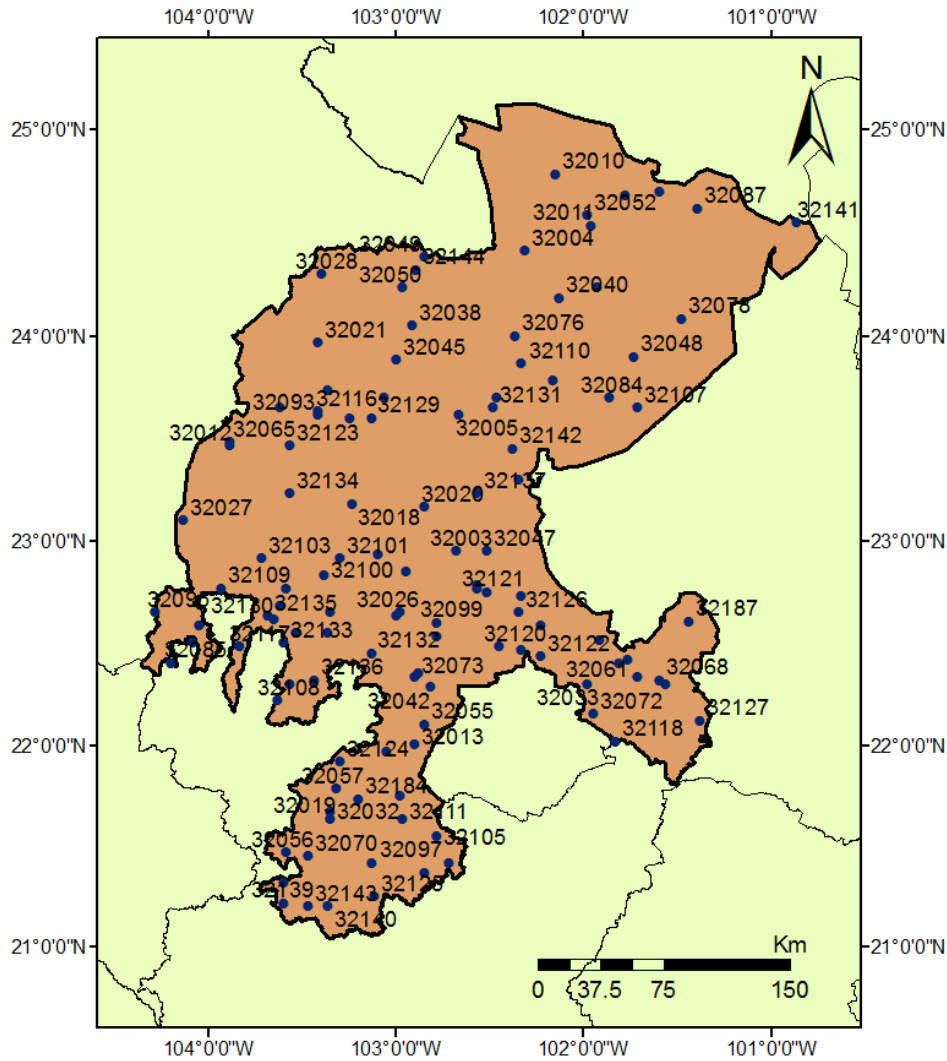


Figura 5.3 Estaciones con más de 20 años de registro

Al obtener las series de lluvias máximas en 24 horas para cada estación se observaron datos muy pequeños en relación con los datos de la muestra por lo que se propusieron dos criterios para poder eliminarlos: el primero fue considerar que el registro presenta una distribución normal donde el valor es rechazado si:

$$x_i < \bar{x} - ZS = x_{min} \tag{159}$$

Donde

\bar{x} es la media de muestra

S la desviación estándar de la muestra

Z la variable estándar

Se consideró aceptable el 97.5% de datos de cada muestra, por lo que la variable normalizada (Z) corresponde a 1.96 que se obtuvo de la tabla 5.2 de probabilidades normal estándar. Se aplicó la ecuación 159 para todos los registros y los valores menores x_{min} fueron eliminados y de nuevo se calcularon los estadísticos de cada registro sin los valores sospechosos.

Tabla 5.2 Probabilidades de la distribución Normal.

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9725	.9730	.9735	.9740	.9745	.9750	.9755	.9760
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

El segundo criterio fue establecido ya que algunos valores seguían siendo muy pequeños y pasaban el umbral de 97.5% aceptable de la muestra. Este criterio consistía en obtener la diferencia entre la lectura dudosa y la siguiente lectura mínima del registro, si esta diferencia era mayor al valor propuesto de 10 se eliminaba dicha lectura. Los dos criterios de eliminación de lecturas dudosas se ejemplifica a continuación con la estación 32001, donde la lectura de la cual se tiene duda es 5 y obteniendo x_{min} se observa que: $x_{min} < 5$ por lo que no se pudo eliminar y se hizo uso del segundo criterio donde la siguiente lectura a 5 es 17.7, la diferencia entre ellos es de 12.1 por lo que puso ser eliminado, ver tabla 5.3. Una vez que las series fueron depuradas se obtuvieron sus estadísticos como se muestra en la tabla 5.4.

Tabla 5. 3 Registro pluviométrico de la estación 32001

Año	32001	Año	32001
1964	29	1988	21
1965	25	1989	38
1966	42	1990	142
1967	37	1991	42
1968	38	1992	45.5
1969	31	1993	49.2
1970	41	1994	40.7
1971	52	1995	29
1972	36	1996	21.5
1973	28	1997	17.7
1974	51	1998	25.8
1975	40	1999	
1976	51	2000	18.8
1977	25	2001	17.1
1978	38	2002	37.5
1979	23	2003	43
1980	40	2004	
1981	25	2005	20.8
1982	30	2006	34
1983	28	2007	
1984	35	2008	
1985	17.5	2009	41.5
1986		2010	76
1987	5	2011	25.5
		2012	65.2

Media	36.80
Desviación estándar	20.95
Z	1.96
x_{min}	-4.26

Tabla 5. 4 Estadísticos muestrales de las estaciones con registro mayor a 20 años

Estación	\bar{x}	S^2	S	Cs	k	CV
32001	37.54	424.70	20.61	3.21	16.62	0.55
32002	42.42	143.60	11.98	0.04	2.78	0.28
32003	40.93	283.41	16.83	2.04	10.46	0.41
32004	33.21	283.79	16.85	1.09	3.30	0.51
32005	39.38	273.51	16.54	0.89	3.73	0.42
32006	40.18	212.84	14.59	0.92	3.55	0.36
32007	34.11	234.30	15.31	1.77	6.60	0.45
32009	38.26	130.00	11.40	0.22	2.15	0.30
32010	40.24	143.36	11.97	0.43	2.59	0.30
32011	43.96	424.07	20.59	1.19	4.85	0.47
32012	40.99	215.90	14.69	0.37	2.17	0.36
32013	44.76	152.04	12.33	0.36	2.85	0.28
32015	40.98	237.95	15.43	0.41	1.91	0.38
32016	50.65	243.55	15.61	1.10	5.00	0.31
32017	43.55	153.38	12.38	0.38	2.70	0.28
32018	38.24	125.24	11.19	0.43	2.62	0.29
32019	53.70	225.28	15.01	0.64	3.09	0.28
32020	42.07	269.42	16.41	0.71	3.51	0.39
32021	45.56	402.55	20.06	1.52	4.96	0.44
32022	40.76	526.27	22.94	1.25	4.73	0.56
32023	40.65	310.10	17.61	0.92	2.88	0.43
32024	44.51	240.57	15.51	1.31	4.56	0.35
32025	45.61	177.59	13.33	-0.09	2.68	0.29
32026	40.39	221.59	14.89	0.67	2.24	0.37
32027	36.15	203.57	14.27	1.03	3.63	0.39
32028	42.81	276.10	16.62	0.55	2.83	0.39
32030	45.26	151.80	12.32	0.99	3.98	0.27
32032	52.67	138.61	11.77	0.23	3.17	0.22
32033	48.24	295.12	17.18	0.64	2.94	0.36
32034	41.97	91.18	9.55	0.18	2.54	0.23
32036	35.61	204.77	14.31	0.83	3.66	0.40
32037	48.10	174.71	13.22	0.56	2.79	0.27
32038	35.82	299.52	17.31	0.84	2.97	0.48
32039	45.84	360.05	18.98	0.40	3.08	0.41
32040	34.92	225.49	15.02	1.01	3.54	0.43
32041	40.74	317.50	17.82	0.61	3.04	0.44
32042	46.35	117.31	10.83	0.88	3.68	0.23
32043	48.20	231.30	15.21	0.68	3.90	0.32
32045	40.30	498.97	22.34	2.16	9.32	0.55
32046	44.14	301.85	17.37	1.05	4.10	0.39
32047	42.64	341.80	18.49	0.51	3.43	0.43
32048	38.04	295.25	17.18	1.25	4.22	0.45
32049	38.80	216.38	14.71	0.94	3.38	0.38
32050	34.22	201.17	14.18	0.87	3.61	0.41

Continuación

Estación	\bar{x}	S^2	S	C_s	k	CV
32051	42.33	146.13	12.09	0.26	3.33	0.29
32052	32.57	393.76	19.84	1.13	3.48	0.61
32053	42.28	321.78	17.94	1.62	7.37	0.42
32054	45.01	463.63	21.53	2.19	11.48	0.48
32055	44.55	233.59	15.28	2.40	12.13	0.34
32056	60.00	160.76	12.68	-0.15	2.53	0.21
32057	52.91	339.60	18.43	0.83	3.78	0.35
32058	42.90	170.87	13.07	-0.14	2.33	0.30
32059	46.68	278.94	16.70	1.19	4.17	0.36
32061	44.51	289.44	17.01	0.88	3.80	0.38
32062	54.02	1214.22	34.85	1.44	5.28	0.65
32063	44.04	205.00	14.32	0.76	3.58	0.33
32065	47.12	531.69	23.06	0.74	2.69	0.49
32067	49.09	247.86	15.74	1.12	4.09	0.32
32068	48.93	366.84	19.15	0.57	3.10	0.39
32069	41.52	225.73	15.02	0.77	2.75	0.36
32070	50.73	346.43	18.61	1.45	6.86	0.37
32072	50.40	384.12	19.60	1.06	4.74	0.39
32073	40.63	183.71	13.55	0.80	3.29	0.33
32076	37.41	226.35	15.04	0.13	2.29	0.40
32078	39.36	254.20	15.94	0.65	3.09	0.41
32084	43.92	443.59	21.06	0.54	2.67	0.48
32085	54.49	422.29	20.55	0.87	2.87	0.38
32086	45.42	201.95	14.21	0.14	2.45	0.31
32087	34.73	230.04	15.17	0.41	2.32	0.44
32093	50.52	411.32	20.28	0.57	2.69	0.40
32095	49.52	425.43	20.63	1.92	8.02	0.42
32097	47.77	289.06	17.00	0.54	2.82	0.36
32098	41.85	96.25	9.81	0.41	3.19	0.23
32099	37.99	267.20	16.35	0.51	2.45	0.43
32100	39.17	126.80	11.26	0.91	3.59	0.29
32101	36.82	179.23	13.39	0.96	4.02	0.36
32103	41.16	163.78	12.80	0.65	2.94	0.31
32104	41.00	206.72	14.38	0.17	2.54	0.35
32105	52.24	213.99	14.63	1.05	4.79	0.28
32106	38.13	311.52	17.65	0.16	2.20	0.46
32107	45.04	452.70	21.28	0.98	3.04	0.47
32108	42.49	230.84	15.19	1.20	4.71	0.36
32109	40.16	132.43	11.51	0.57	2.75	0.29
32110	39.52	421.20	20.52	1.07	4.12	0.52
32111	49.03	154.12	12.41	0.12	3.32	0.25
32112	47.81	226.81	15.06	0.09	2.46	0.32
32113	47.38	287.27	16.95	0.34	2.11	0.36
32114	40.36	223.25	14.94	0.42	2.42	0.37

Continuación

Estación	\bar{x}	S^2	S	Cs	k	CV
32116	42.63	299.36	17.30	0.77	3.36	0.41
32117	40.98	189.52	13.77	0.11	3.23	0.34
32118	47.70	294.04	17.15	1.08	4.16	0.36
32119	43.21	262.42	16.20	1.59	6.25	0.37
32120	38.86	168.33	12.97	0.29	2.26	0.33
32121	41.72	267.13	16.34	0.78	3.97	0.39
32122	50.30	283.04	16.82	0.67	2.88	0.33
32123	37.75	179.26	13.39	0.06	2.24	0.35
32124	45.35	237.50	15.41	0.99	3.40	0.34
32125	50.98	148.37	12.18	0.63	2.58	0.24
32126	41.50	251.85	15.87	0.47	3.33	0.38
32127	43.88	246.08	15.69	1.34	5.10	0.36
32129	48.26	160.98	12.69	0.12	2.46	0.26
32130	46.42	352.39	18.77	1.32	5.23	0.40
32131	39.75	158.30	12.58	0.38	2.65	0.32
32132	41.89	233.95	15.30	0.59	2.96	0.37
32133	42.20	302.87	17.40	0.50	2.19	0.41
32134	38.65	327.32	18.09	0.93	3.00	0.47
32135	44.67	162.81	12.76	1.02	3.89	0.29
32136	45.22	154.99	12.45	0.15	2.55	0.28
32137	42.49	282.13	16.80	0.76	2.78	0.40
32139	60.20	311.27	17.64	0.53	2.21	0.29
32140	56.23	189.87	13.78	1.72	6.26	0.25
32141	48.40	258.73	16.09	1.19	3.31	0.33
32142	45.14	261.30	16.16	0.57	2.60	0.36
32143	57.82	193.35	13.90	0.09	2.39	0.24
32144	39.88	182.79	13.52	0.53	2.49	0.34
32184	39.35	999.57	31.62	2.56	9.27	0.80
32187	49.54	610.82	24.71	1.84	7.30	0.50

5.3 Delimitación de regiones homogéneas

5.3.1 Coeficiente de variación

Los coeficientes de variación obtenidos de cada una de las estaciones fueron ubicados en un Sistema de Información Geográfica donde se observó que los CV más grandes se agrupaban en la parte norte del estado y los de menores al sur. Por lo que se formaron dos regiones con el criterio de que dichos coeficientes no variaran mucho entre ellos, además de tomar en cuenta la orografía del estado como se muestra en la figura 5.4. Es así, que las estaciones que resultaron con coeficiente de variación mayor a 0.4 corresponden a una región denominada “Región I” y los menores a otra, denominada “Región II”. En la tabla 5.5 y 5.6 se observa las estaciones correspondientes a cada grupo así como sus estadísticos.

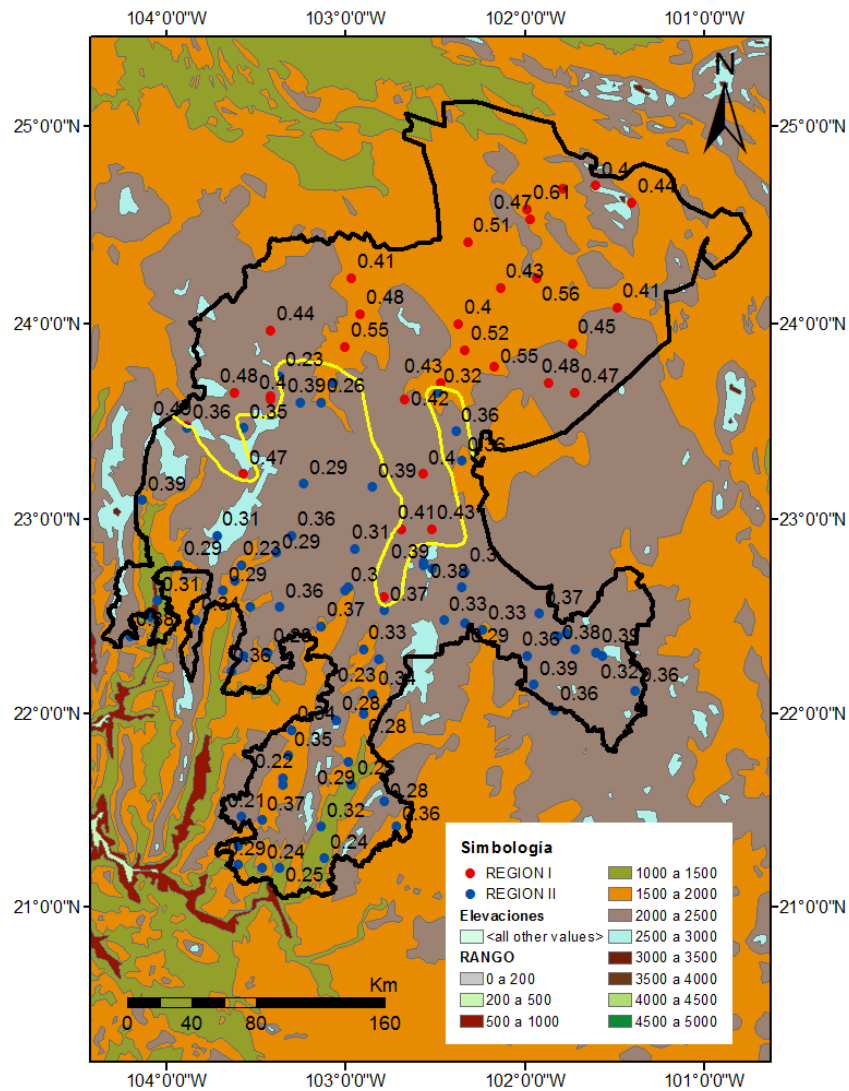


Figura 5.4 Delimitación de regiones homogéneas por CV

Tabla 5. 5 Estaciones climatológicas de la Región I

Región I					
Estación	Nombre	Años de registro	Media	Desviación estándar	CV
32001	AGUA NUEVA, VILLA DE COS	43	37.54	20.61	0.55
32003	VICTOR ROSALES, CALERA	54	40.93	16.83	0.41
32004	CAMACHO, MAZAPIL	48	33.21	16.85	0.51
32005	CAÑITAS FELIPE PESCADOR	61	39.38	16.54	0.42
32007	CEDROS, MAZAPIL	35	34.11	15.31	0.45
32011	CONCEPCION DE LA NORMA	64	43.96	20.59	0.47
32021	GONZALEZ ORTEGA	40	45.56	20.06	0.44
32022	GRUÑIDORA, MAZAPIL	47	40.76	22.94	0.56
32023	GPE. DE LAS CORRIENTES	24	40.65	17.61	0.43
32036	MAZAPIL, MAZAPIL	62	35.61	14.31	0.40
32038	NIEVES, GRAL.FCO.MURGUIA	65	35.82	17.31	0.48
32040	NUEVO MERCURIO, MAZAPIL	43	34.92	15.02	0.43
32045	RIO GRANDE,RIO GDE.(SMN)	41	40.30	22.34	0.55
32047	SAN ANTONIO DEL CIPRES	42	42.64	18.49	0.43
32048	SAN BENITO, MAZAPIL	43	38.04	17.18	0.45
32050	SAN GIL,GRAL.FCO.MURGUIA	44	34.22	14.18	0.41
32052	SAN RAFAEL, MAZAPIL	61	32.57	19.84	0.61
32054	SOMBRERETE, SOMBRERETE	55	45.01	21.53	0.48
32065	CHALCHIHUITES	49	47.12	23.06	0.49
32076	COL. GREVER LA COLORADA	34	37.41	15.04	0.40
32078	SAN TIBURCIO, MAZAPIL	39	39.36	15.94	0.41
32084	SAN ANDRES, VILLA DE COS	40	43.92	21.06	0.48
32087	CONCEPCION DEL ORO	44	34.73	15.17	0.44
32093	EL ARENAL, SOMBRERETE	38	50.52	20.28	0.40
32099	MALPASO, VILLANUEVA	36	37.99	16.35	0.43
32107	SIERRA HERMOSA, V.DE COS	35	45.04	21.28	0.47
32110	COL. GREVER PURISIMA S	20	39.52	20.52	0.52
32116	ADJUNTAS DEL REFUGIO	29	42.63	17.30	0.41
32134	MILPILLAS DE LA SIERRA	27	38.65	18.09	0.47
32137	CHICHIMEQUILLAS	31	42.49	16.80	0.40

Tabla 5. 6 Estaciones climatológicas de la Región II

Región II					
Estación	Nombre	Años de registro	Media	Desviación estándar	CV
32002	BOCA DEL TEZORO, JEREZ	38	41.60	12.86	0.31
32006	CAZADERO II, RIO GRANDE	44	40.18	14.59	0.36
32009	JEREZ DE G. S. (SMN)	24	38.26	11.40	0.30
32012	CHALCHIHUITES (DGE)	24	40.99	14.69	0.36
32013	EL CHIQUE, TABASCO	50	44.76	12.33	0.28
32015	EL RUSIO, VILLA HIDALGO	45	40.98	15.43	0.38
32016	EL PLATANITO, VALPARAISO	54	50.65	15.61	0.31
32017	EL TECOMATE, JALPA	53	43.55	12.38	0.28
32018	EL SAUZ, FRESNILLO	64	38.24	11.19	0.29
32019	EXCAME III, TEPECHITLA	64	53.70	15.01	0.28
32020	FRESNILLO, FRESNILLO	56	42.07	16.41	0.39
32024	GPE. VICTORIA A.LA HONDA	41	44.51	15.51	0.35
32025	HUANUSCO, HUANUSCO	44	45.61	13.33	0.29
32026	JEREZ DE GARCIA SALINAS	23	40.39	14.89	0.37
32027	JIMENEZ DE TEUL	48	36.15	14.27	0.39
32030	LA FLORIDA, VALPARAISO	58	45.26	12.32	0.27
32032	LA VILLITA, TEPECHITLAN	54	52.67	11.77	0.22
32033	LORETO, LORETO	45	48.24	17.18	0.36
32034	LOS PUERTOS(PTO.SAN FCO)	43	41.97	9.55	0.23
32037	MONTE ESCOBEDO	49	48.10	13.22	0.27
32042	PALOMAS, VILLANUEVA	44	46.35	10.83	0.23
32043	PINOS, PINOS	35	48.20	15.21	0.32
32046	SAIN ALTO, SAIN ALTO	66	44.14	17.37	0.39
32051	SAN PEDRO PIEDRA GORDA	63	42.33	12.09	0.29
32055	TAYAHUA, VILLANUEVA	43	44.55	15.28	0.34
32056	TEUL DE GLEZ. ORTEGA SMN	25	60.00	12.68	0.21
32057	TLALTENANGO DE SANCHEZ R	49	52.91	18.43	0.35
32058	TRANCOSO. GUADALUPE	50	42.90	13.07	0.30
32059	VILLA DE COS, V.DE COS	47	46.68	16.70	0.36
32061	VILLA HIDALGO,VILLA HGO.	46	44.51	17.01	0.38
32063	ZACATECAS, ZAC. (SMN)	30	44.04	14.32	0.33
32067	JUCHIPILA (DGE)	61	49.09	15.74	0.32
32068	PINOS, PINOS (SMN)	38	48.93	19.15	0.39
32069	SAN JUAN CAPISTRANO	34	41.52	15.02	0.36
32070	TEUL DE GLEZ. ORTEGA	48	50.73	18.61	0.37
32072	VILLA GARCIA (DGE)	52	50.40	19.60	0.39

Continuación

Región II					
Estación	Nombre	Años de registro	Media	Desviación estándar	CV
32073	VILLANUEVA, VILLANUEVA	35	40.63	13.55	0.33
32085	SANTA LUCIA, VALPARAISO	34	54.49	20.55	0.38
32086	ZACATECAS, ZACATECAS	37	45.42	14.21	0.31
32097	TENAYUCA, APULCO	38	47.77	17.00	0.36
32098	VALPARAISO, VALPARAISO	35	41.85	9.81	0.23
32100	SAN ISIDRO DE LOS GLEZ.	35	39.17	11.26	0.29
32101	SAN JOSE DE LLANETES	32	36.82	13.39	0.36
32103	AMECA LA VIEJA	32	41.16	12.80	0.31
32104	RANCHO DE ENMEDIO	24	41.00	14.38	0.35
32105	TLACHICHILA, NOCHISTLAN	27	52.24	14.63	0.28
32108	CORRALES, SOMBRERETE	32	42.49	15.19	0.36
32109	SAN PEDRO DE LA SIERRA	28	40.16	11.51	0.29
32111	JALPA, JALPA	31	49.03	12.41	0.25
32112	MILPILLAS DE ALLENDE	33	47.81	15.06	0.32
32113	PASTORIA, MONTE ESCOBEDO	32	47.38	16.95	0.36
32114	VILLA GONZALEZ ORTEGA	34	40.36	14.94	0.37
32117	LAS ANIMAS, VALPARAISO	29	40.98	13.77	0.34
32118	LOS CAMPOS, VILLA GARCIA	33	47.70	17.15	0.36
32119	F. ANGELES, VILLANUEVA	29	43.21	16.20	0.37
32120	GENARO GODINA, CUAUHTEMOC	32	38.86	12.97	0.33
32121	GUADALUPE, GUADALUPE	28	41.72	16.34	0.39
32122	LUIS MOYA, LUIS MOYA	32	50.30	16.82	0.33
32123	MESILLAS, SOMBRERETE	31	37.75	13.39	0.35
32124	MOMAX, MOMAX	26	45.35	15.41	0.34
32125	MOYAHUA DE ESTRADA	31	50.98	12.18	0.24
32126	PALMILLAS, OJO CALIENTE	34	41.50	15.87	0.38
32127	PINO SUAREZ, PINO	34	43.88	15.69	0.36
32129	PRESA SUSTICACAN	31	48.26	12.69	0.26
32131	SAN JERONIMO	31	39.75	12.58	0.32
32132	TEPETONGO, TEPETONGO	29	41.89	15.30	0.37
32135	POTRERO DE GALLEGOS	29	44.67	12.76	0.29
32136	VICENTE GUERRERO	23	45.22	12.45	0.28
32139	HUITZILA, TEUL GLEZ. O.	25	60.20	17.64	0.29
32140	MEZQUITAL DEL ORO	29	56.23	13.78	0.25
32142	TIERRA Y LIBERTAD	29	45.14	16.16	0.36
32143	GARCIA DE LA CADENA	26	57.82	13.90	0.24

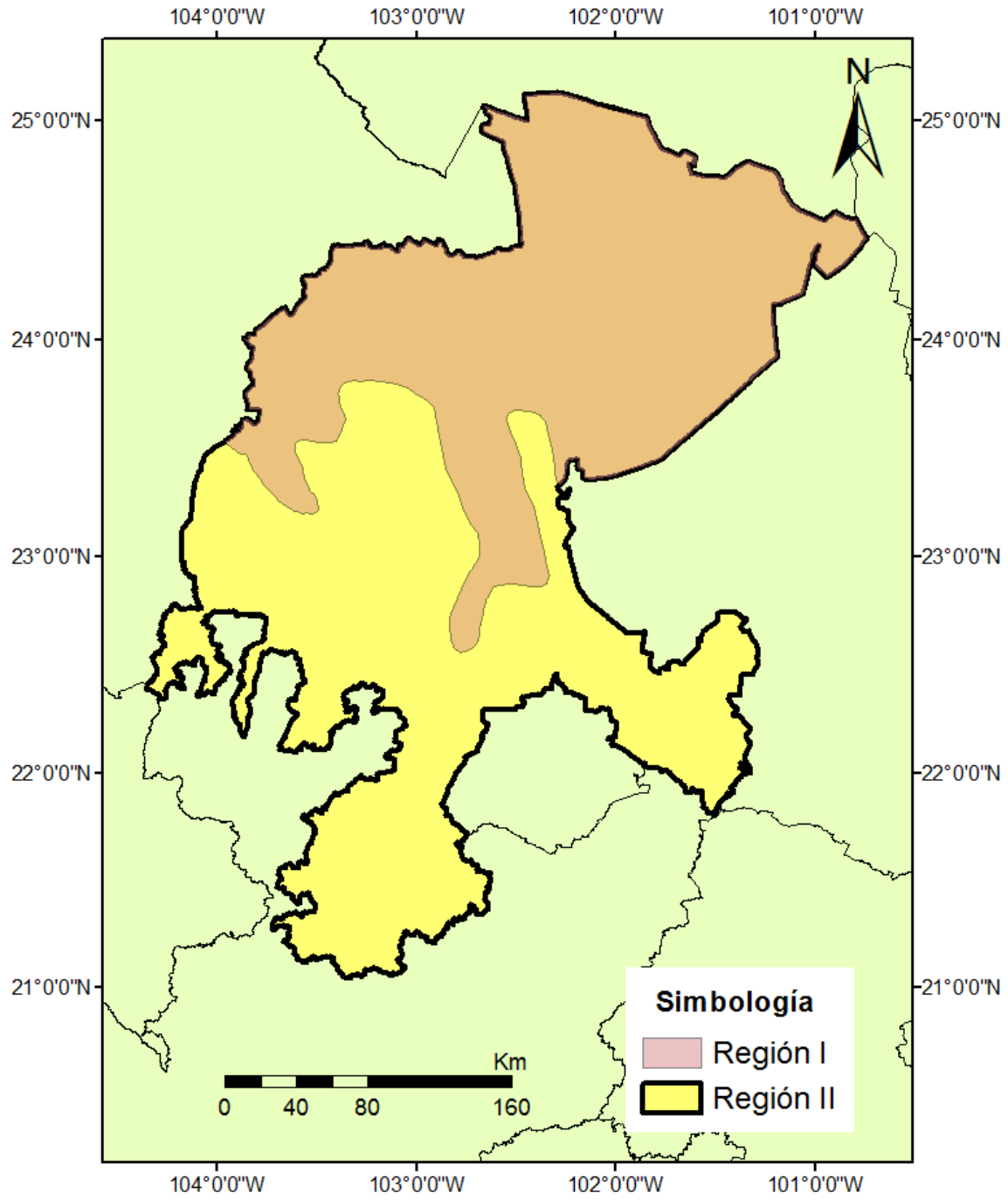


Figura 5.5 Regiones formadas por el método de CV

5.3.2 Método del parámetro de forma de la GVE

Para aplicar este método es necesario contar con un registro en común lo cual no se cumplió para todas las estaciones por lo que propuso un grupo intentando incluir la mayoría. Se encontraron 104 estaciones con un periodo en común de 6 años (de 1991 a 1996), no se incluyeron 13 estaciones debido a no contar con información completa para el periodo utilizado. Se buscó ampliar el número de años de registro pero las estaciones eran cada vez menos las que cumplían con dicho periodo. Para cada serie se obtuvo el parámetro de forma β de la distribución General de Valores Extremos que se muestran en la tabla 5.7.

Tabla 5. 7 Parámetro beta de la distribución General de Valores Extremos.

Periodo común: 1991 a 1996							
Estación	β	Estación	β	Estación	β	Estación	β
32004	-1.25	32037	-0.39	32073	0.23	32026	0.96
32135	-1.21	32018	-0.37	32122	0.24	32118	1.03
32058	-1.20	32010	-0.31	32042	0.26	32126	1.08
32120	-1.19	32070	-0.28	32111	0.26	32028	1.25
32030	-1.16	32027	-0.25	32052	0.27	32144	1.32
32117	-1.15	32068	-0.20	32095	0.29	32106	1.55
32133	-1.14	32109	-0.18	32045	0.31	32119	1.59
32024	-1.14	32006	-0.17	32141	0.32	32087	1.61
32098	-1.13	32072	-0.15	32053	0.32	32017	1.70
32011	-1.11	32005	-0.10	32116	0.34	32093	3.79
32137	-1.11	32108	-0.08	32065	0.35	32134	4.10
32139	-1.10	32051	-0.08	32022	0.37	32085	4.18
32039	-1.10	32019	-0.08	32097	0.39	32040	4.35
32001	-1.09	32013	-0.05	32132	0.45	32025	4.59
32129	-1.09	32099	-0.03	32016	0.46	32047	4.67
32103	-1.07	32140	-0.03	32034	0.50	32055	4.81
32032	-1.07	32123	-0.03	32050	0.50	32078	4.94
32101	-1.04	32067	0.00	32187	0.52	32121	4.99
32112	-1.01	32107	0.00	32104	0.63	32020	5.01
32007	-0.60	32125	0.05	32021	0.64	32046	5.18
32059	-0.57	32114	0.05	32057	0.67	32127	0.87
32142	-0.56	32131	0.07	32038	0.71	32143	0.90
32086	-0.51	32069	0.14	32184	0.73	32049	0.92
32130	-0.51	32061	0.15	32003	0.80	32113	0.23
32015	-0.51	32036	0.19	32054	0.83	32002	-0.40
32136	-0.50	32048	0.21	32084	0.23	32100	-0.41

Considerando el parámetro de forma de la GVE se formaron tres regiones: betas positivas, negativas y mayores a 3 como se muestra en la figura 5.6.

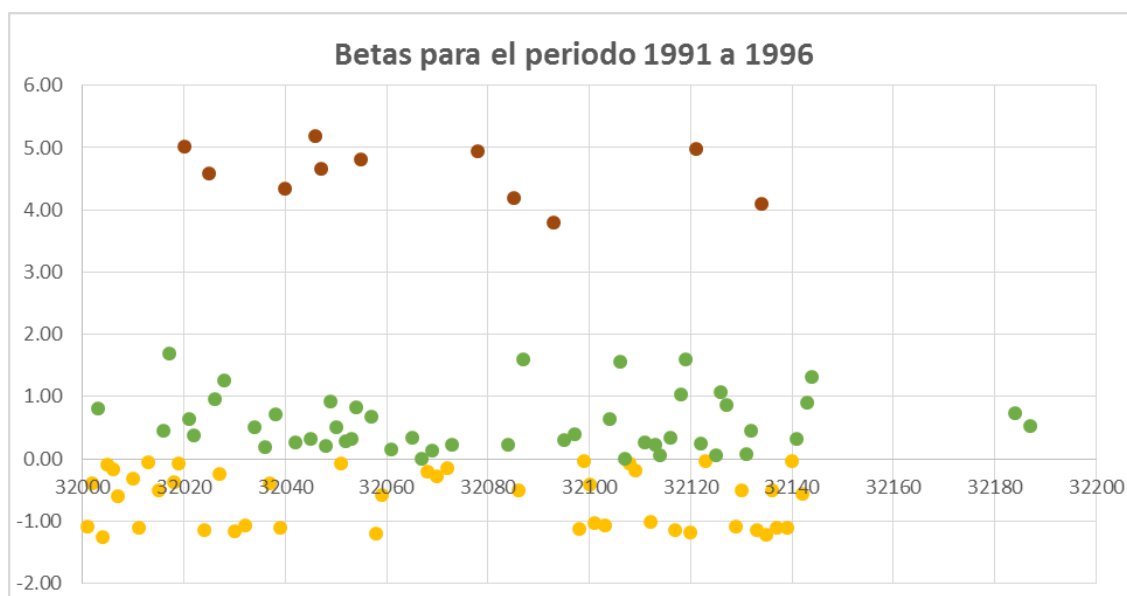


Figura 5.6 Parámetro de forma de la GVE

En la tabla 5.8 se observan las estaciones pertenecientes a la región I, considerando betas negativos. La tabla 5.9 muestra las estaciones que conforman la región II con betas mayores a cero. Y la región III con betas mayores a 3 se muestra en la tabla 5.10. En la figura 5.7 se muestra la localización de las regiones formadas.

Tabla 5. 8 Región I formada con el método del parámetro de forma de la GVE

Región I
32004, 32135, 32058, 32120, 32030, 32117, 32133, 32024, 32098, 32011, 32137, 32139, 32039, 32001, 32129, 32103, 32032, 32101, 32112, 32007, 32059, 32142, 32086, 32130, 32015, 32136, 32100, 32002, 32037, 32018, 32010, 32070, 32027, 32068, 32109, 32006, 32072, 32005, 32108, 32051, 32019, 32013, 32099, 32140, 32123.

Tabla 5. 9 Región II formada con el método del parámetro de forma de la GVE

Región II
32067, 32107, 32125, 32114, 32131, 32069, 32061, 32036, 32048, 32084, 32113, 32073, 32122, 32042, 32111, 32052, 32095, 32045, 32141, 32053, 32116, 32065, 32022, 32097, 32132, 32016, 32034, 32050, 32187, 32104, 32021, 32057, 32038,

Continuación

Región II
32184, 32003, 32054, 32127, 32143, 32049, 32026, 32118, 32126, 32028, 32144, 32106, 32119, 32087, 32017.

Tabla 5. 10 Región III formada con el método del parámetro de forma de la GVE

Región III
32093, 32134, 32085, 32040, 32025, 32047, 32055, 32078, 32121, 32020, 32046.

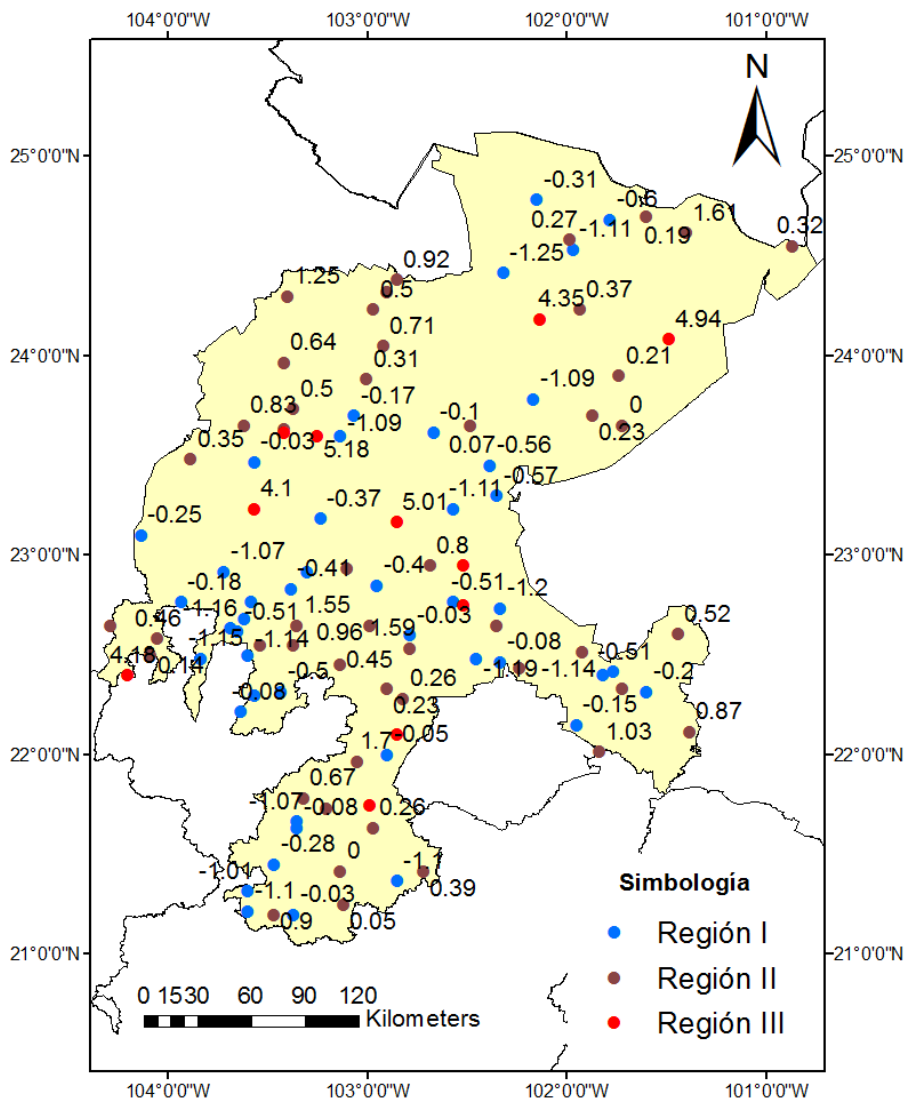


Figura 5. 7 Regiones por el método del parámetro β de la GVE

5.3.3 Momentos- L

Se calcularon los momentos-L para obtener la relación coeficiente de variación-L (τ_2) de cada registro siguiendo el procedimiento explicado en el capítulo 2.1.4 (ver tabla 5.11). Los grupos homogéneos fueron formados respecto a τ_2 que se ubicaron en un Sistema de Información Geográfica (ArcGis) donde se observó que la mayoría de los valores más grandes de τ_2 se ubican al norte de Zacatecas y los de menor valor al sur. Por lo que se propuso dos regiones: el primer grupo denominado Región I pertenecen las estaciones con τ_2 mayor a 0.22 y el segundo grupo denominado Región II con τ_2 menores a 0.22 como se muestra en la figura 5.8.

Tabla 5. 11 Valores estimados de los momentos-L

Estación	Años de registro	β_0	β_1	λ_1	λ_2	τ_2
32001	43	37.542	23.365	37.542	9.189	0.245
32002	38	41.603	24.452	41.603	7.302	0.176
32003	54	40.930	24.654	40.930	8.378	0.205
32004	48	33.208	21.147	33.208	9.086	0.274
32005	61	39.375	24.239	39.375	9.102	0.231
32006	44	40.184	24.086	40.184	7.988	0.199
32007	35	34.106	20.929	34.106	7.753	0.227
32009	24	38.258	22.442	38.258	6.626	0.173
32010	41	40.244	23.538	40.244	6.832	0.170
32011	64	43.958	27.538	43.958	11.117	0.253
32012	24	40.988	24.746	40.988	8.505	0.207
32013	50	44.758	25.873	44.758	6.988	0.156
32015	45	40.984	24.914	40.984	8.844	0.216
32016	54	50.652	29.576	50.652	8.500	0.168
32017	53	43.549	25.312	43.549	7.074	0.162
32018	64	38.238	22.307	38.238	6.377	0.167
32019	64	53.703	31.085	53.703	8.466	0.158
32020	56	42.068	25.587	42.068	9.106	0.216
32021	40	45.563	27.983	45.563	10.404	0.228
32022	47	40.757	26.551	40.757	12.344	0.303
32023	24	40.646	25.201	40.646	9.756	0.240
32024	41	44.507	26.396	44.507	8.285	0.186
32025	44	45.611	26.607	45.611	7.602	0.167
32026	23	40.387	24.409	40.387	8.430	0.209
32027	48	36.150	21.988	36.150	7.826	0.216
32028	48	42.810	26.054	42.810	9.297	0.217
32030	58	45.255	25.967	45.255	6.678	0.148

Continuación

Estación	Años de registro	β_0	β_1	λ_1	λ_2	τ_2
32032	54	52.670	29.644	52.670	6.618	0.126
32033	45	48.240	28.947	48.240	9.654	0.200
32034	43	41.970	23.727	41.970	5.483	0.131
32036	62	35.608	21.775	35.608	7.942	0.223
32037	49	48.098	27.777	48.098	7.456	0.155
32038	65	35.825	22.724	35.825	9.624	0.269
32039	59	45.842	28.290	45.842	10.737	0.234
32040	43	34.919	21.494	34.919	8.069	0.231
32041	45	40.740	25.388	40.740	10.036	0.246
32042	44	46.348	26.166	46.348	5.983	0.129
32043	35	48.203	28.352	48.203	8.501	0.176
32045	41	40.295	25.694	40.295	11.093	0.275
32046	66	44.139	26.760	44.139	9.381	0.213
32047	42	42.638	26.508	42.638	10.378	0.243
32048	43	38.042	23.600	38.042	9.158	0.241
32049	51	38.804	23.445	38.804	8.086	0.208
32050	44	34.220	21.058	34.220	7.896	0.231
32051	63	42.335	24.575	42.335	6.816	0.161
32052	61	32.567	21.605	32.567	10.642	0.327
32053	64	42.278	25.819	42.278	9.360	0.221
32054	55	45.015	27.890	45.015	10.766	0.239
32055	43	44.551	26.014	44.551	7.477	0.168
32056	25	60.000	33.654	60.000	7.308	0.122
32057	49	52.912	31.497	52.912	10.081	0.191
32058	50	42.896	25.213	42.896	7.531	0.176
32059	47	46.683	27.840	46.683	8.996	0.193
32061	46	44.509	26.943	44.509	9.378	0.211
32062	26	54.019	36.207	54.019	18.395	0.341
32063	30	44.037	26.000	44.037	7.964	0.181
32065	49	47.124	30.018	47.124	12.911	0.274
32067	61	49.092	28.786	49.092	8.480	0.173
32068	38	48.934	29.803	48.934	10.673	0.218
32069	34	41.524	24.975	41.524	8.427	0.203
32070	48	50.731	30.153	50.731	9.575	0.189
32072	52	50.402	30.584	50.402	10.766	0.214
32073	35	40.629	24.100	40.629	7.571	0.186
32076	34	37.415	23.059	37.415	8.703	0.233
32078	39	39.359	24.139	39.359	8.918	0.227

Continuación

Estación	Años de registro	β_0	β_1	λ_1	λ_2	τ_2
32084	40	43.920	27.954	43.920	11.987	0.273
32085	34	54.488	32.934	54.488	11.381	0.209
32086	37	45.424	26.789	45.424	8.154	0.180
32087	44	34.730	21.716	34.730	8.702	0.251
32093	38	50.516	31.037	50.516	11.558	0.229
32095	31	49.516	29.958	49.516	10.401	0.210
32097	38	47.766	28.681	47.766	9.596	0.201
32098	35	41.854	23.696	41.854	5.538	0.132
32099	36	37.989	23.614	37.989	9.239	0.243
32100	35	39.166	22.713	39.166	6.259	0.160
32101	32	36.819	21.997	36.819	7.176	0.195
32103	32	41.159	24.168	41.159	7.177	0.174
32104	24	41.004	24.638	41.004	8.272	0.202
32105	27	52.244	30.100	52.244	7.955	0.152
32106	30	38.127	24.195	38.127	10.263	0.269
32107	35	45.043	28.367	45.043	11.691	0.260
32108	32	42.488	25.342	42.488	8.197	0.193
32109	28	40.161	23.345	40.161	6.530	0.163
32110	20	39.520	25.397	39.520	11.274	0.285
32111	31	49.029	27.948	49.029	6.866	0.140
32112	33	47.806	28.239	47.806	8.672	0.181
32113	32	47.375	28.557	47.375	9.740	0.206
32114	34	40.356	24.459	40.356	8.562	0.212
32116	29	42.634	26.103	42.634	9.571	0.224
32117	29	40.979	24.359	40.979	7.738	0.189
32118	33	47.703	28.476	47.703	9.249	0.194
32119	29	43.214	25.871	43.214	8.528	0.197
32120	32	38.863	23.183	38.863	7.503	0.193
32121	28	41.721	25.343	41.721	8.965	0.215
32122	32	50.300	29.896	50.300	9.493	0.189
32123	31	37.745	22.751	37.745	7.756	0.205
32124	26	45.350	26.874	45.350	8.399	0.185
32125	31	50.981	28.940	50.981	6.899	0.135
32126	34	41.497	25.210	41.497	8.923	0.215
32127	34	43.879	26.053	43.879	8.227	0.187
32129	31	48.258	27.790	48.258	7.322	0.152
32130	32	46.419	28.245	46.419	10.071	0.217

Continuación

Estación	Años de registro	β_0	β_1	λ_1	λ_2	τ_2
32131	31	39.748	23.472	39.748	7.195	0.181
32132	29	41.893	25.229	41.893	8.566	0.204
32133	31	42.197	26.098	42.197	10.000	0.237
32134	27	38.648	24.276	38.648	9.904	0.256
32135	29	44.666	25.834	44.666	7.003	0.157
32136	23	45.217	26.178	45.217	7.140	0.158
32137	31	42.494	25.972	42.494	9.450	0.222
32139	25	60.200	35.162	60.200	10.124	0.168
32140	29	56.234	31.618	56.234	7.002	0.125
32141	23	48.404	28.511	48.404	8.617	0.178
32142	29	45.141	27.181	45.141	9.220	0.204
32143	26	57.823	32.876	57.823	7.929	0.137
32144	27	39.878	23.812	39.878	7.747	0.194
32184	26	39.354	26.605	39.354	13.857	0.352
32187	29	49.541	31.081	49.541	12.621	0.255

En la tabla 5.12 y 5.13 se muestra las estaciones que conforman la Región I y la Región II respectivamente.

Tabla 5. 12 Región I formada por el método de momentos-L

Región I
32001, 32004, 32005, 32007, 32011, 32021, 32022, 32023, 32036, 32038, 32040, 32041, 32045, 32047, 32048, 32050, 32052, 32053, 32054, 32065, 32076, 32078, 32084, 32087, 32093, 32107, 32110, 32116, 32137

Tabla 5. 13 Región II formada por el método de momentos-L

Región II
32002, 32003, 32006, 32009, 32012, 32013, 32015, 32016, 32017, 32018, 32019, 32020, 32024, 32025, 32026, 32027, 32030, 32032, 32033, 32034, 32037, 32042, 32043, 32046, 32051, 32055, 32056, 32057, 32058, 32061, 32063, 32067, 32068, 32069, 32070, 32072, 32073, 32085, 32086, 32095, 32097, 32098, 32100, 32101, 32103, 32104, 32105, 32108, 32109, 32111, 32112, 32113, 32114, 32117, 32118, 32119, 32120, 32121, 32122, 32123, 32124, 32125, 32126, 32127, 32129, 32130, 32132, 32135, 32136, 32139, 32140, 32143.

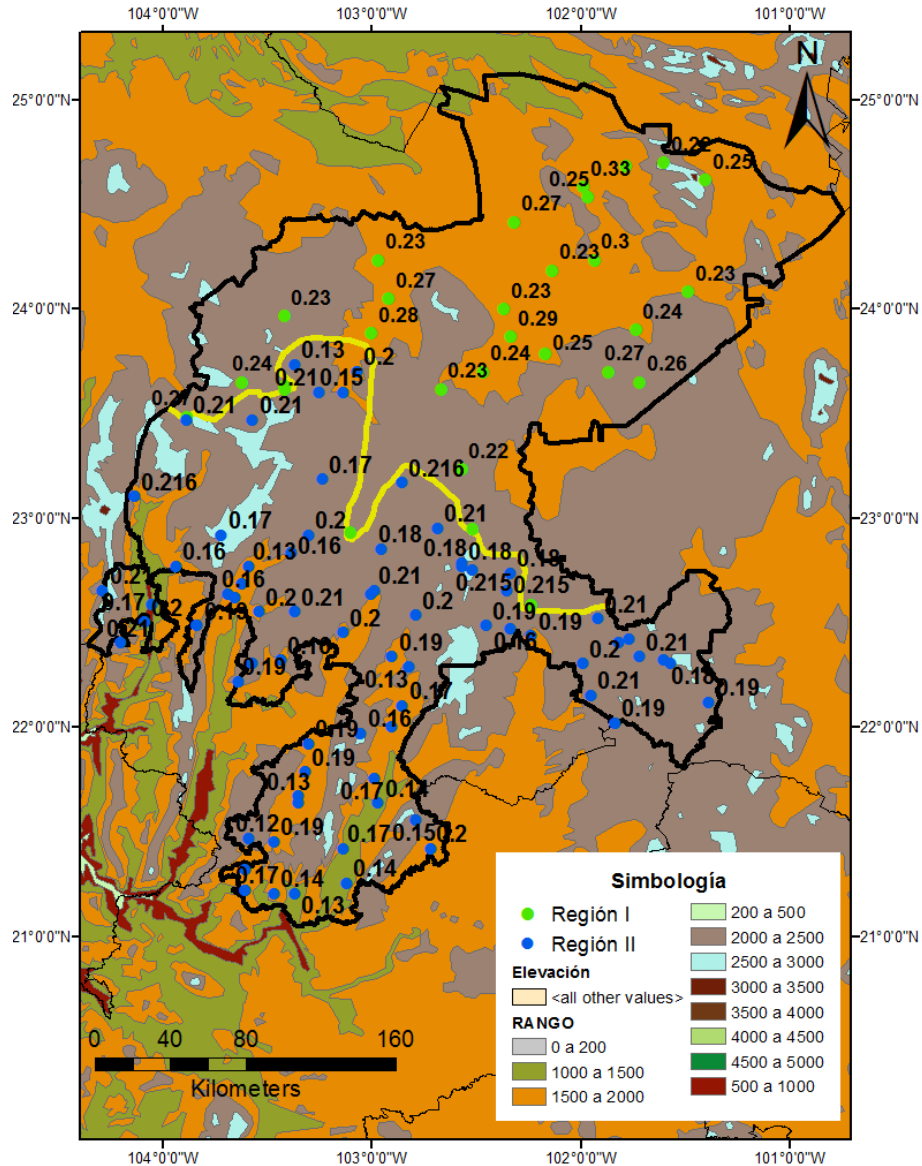


Figura 5. 8 Regiones formadas por el método de momentos-L

En este método se realizó la prueba de homogeneidad para cada grupo formado utilizando la medida estadística de la homogeneidad (H) de Hosking y Wallis. Cabe mencionar que al aplicar la ecuación 130, para el cálculo de H se tomó en cuenta la media y desviación estándar del grupo homogéneo ya que no se obtuvo información acerca de la distribución kappa como lo requería la ecuación. Es así que la región I presentó una variabilidad de 0.00073 y homogeneidad igual a -2.104; la región II una variabilidad de 0.00022 y homogeneidad igual a -2.219. Y de acuerdo con los criterios de rango de Wallis ambas regiones son consideradas homogéneas ya que $H < 2$.

En la tabla 5.14 se muestra el promedio regional de los momentos coeficiente de variación-L ($\bar{\tau}_2$), la media regional (μ), la desviación estándar regional (σ), la variabilidad (V) y la homogeneidad (H) de cada región.

Tabla 5.14 Medida estadística de la homogeneidad de Hosking y Wallis

	$\bar{\tau}_2$	μ	σ	V	H	$H < 2$	$2 \leq H < 3$	$H \geq 3$
Región I	0.249	18.923	39.810	0.00073	-2.104	X		
Región II	0.180	15.553	45.400	0.00022	-2.919	X		

5.3.4 Trazos multidimensionales (Curvas de Andrews)

Al aplicar este método para series de precipitaciones se utilizó los estadísticos muestrales de las 117 estaciones como las variables x_1, x_2 y x_3 para ser sustituidos en la función de Andrews, evaluado de π a $-\pi$. Las variables con las que se trabajó fueron la media (\bar{x}), la desviación estándar (S), la curtosis (k) y el coeficiente de asimetría (g) correspondientes a cada registro; con las cuales se hicieron diferentes combinaciones de ordenamiento como lo son:

$$f_t = \frac{\bar{x}}{\sqrt{2}} + S \sin(t) + k \cos(t) \text{ primera combinación}$$

$$f_t = \frac{\bar{x}}{\sqrt{2}} + g \sin(t) + k \cos(t) \text{ segunda combinación}$$

$$f_t = \frac{\bar{x}}{\sqrt{2}} + k \sin(t) + g \cos(t) \text{ tercera combinación}$$

$$f_t = \frac{S}{\sqrt{2}} + \bar{x} \sin(t) + k \cos(t) \text{ cuarta combinación}$$

$$f_t = \frac{S}{\sqrt{2}} + k \sin(t) + \bar{x} \cos(t) \text{ quinta combinación}$$

$$f_t = \frac{g}{\sqrt{2}} + \bar{x} \sin(t) + k \cos(t) \text{ sexta combinación}$$

$$f_t = \frac{g}{\sqrt{2}} + k \sin(t) + \bar{x} \cos(t) \text{ séptima combinación}$$

Al ser sustituidas las variables en las funciones, algunas combinaciones generaron curvas donde la mayoría de las estaciones se juntaban en un solo grupo por lo que no se pudo visualizar la formación de grupos homogéneos. Se trató de encontrar una tendencia de curvas pero era muy variable su comportamiento y no se podía percibir la trayectoria para poder formar grupos de curvas con comportamiento similar. A continuación se muestra las curvas de Andrews de las combinaciones anteriores.

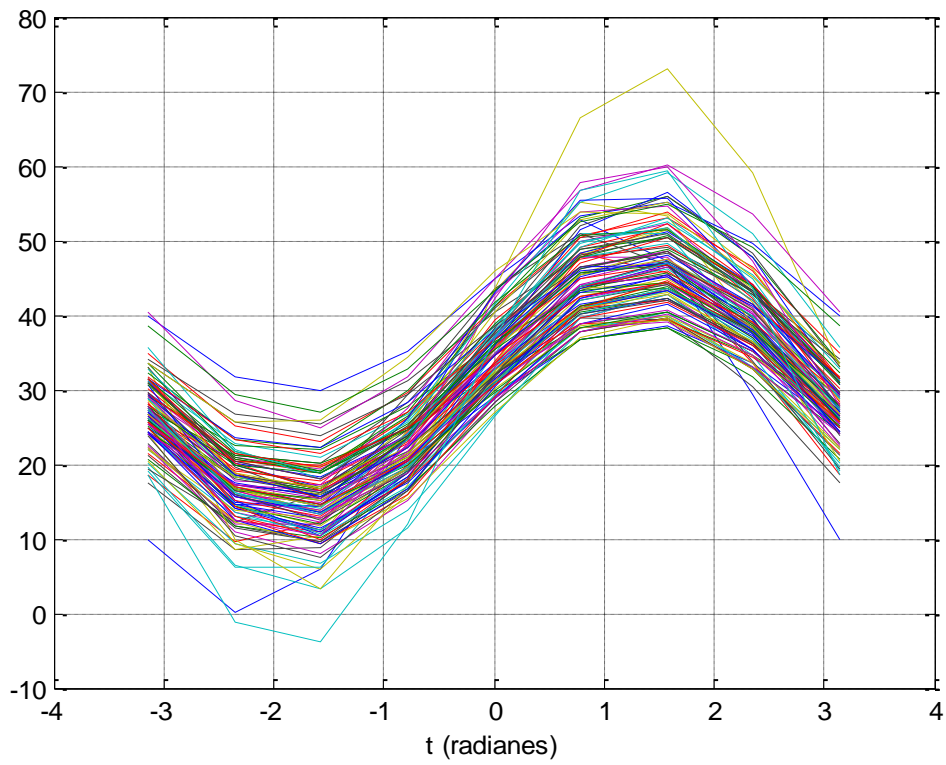


Figura 5. 9 Trazos multidimensionales primera combinación

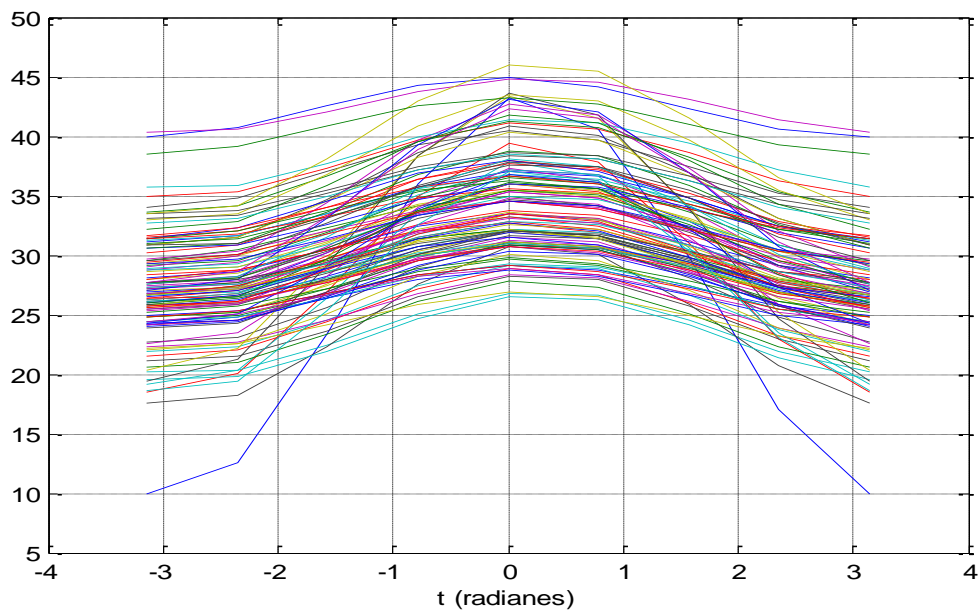


Figura 5. 10 Trazos multidimensionales segunda combinación

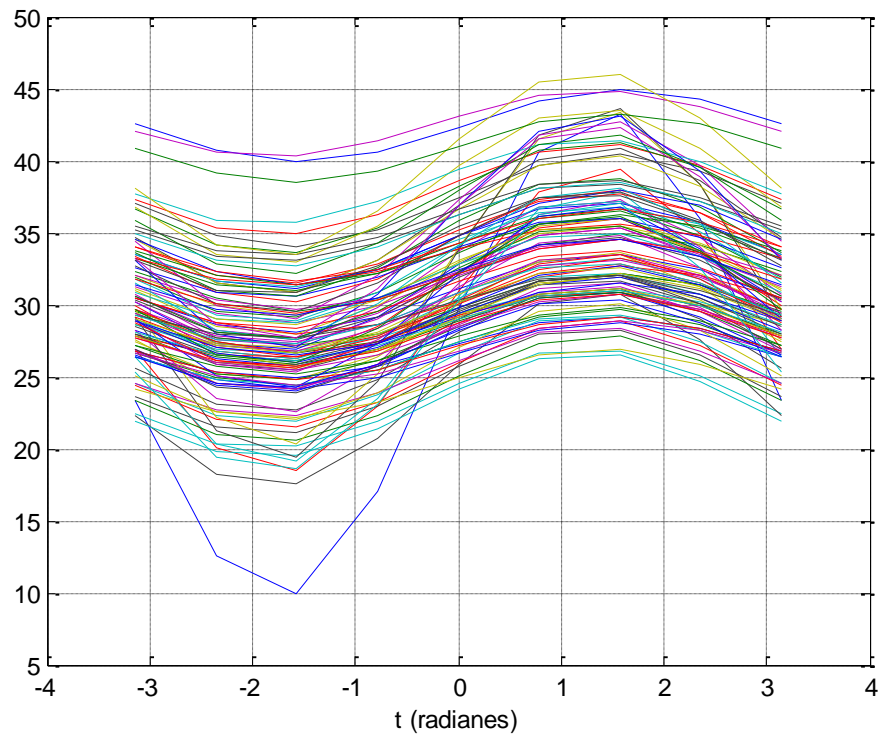


Tabla 5.11 Trazos multidimensionales tercera combinación

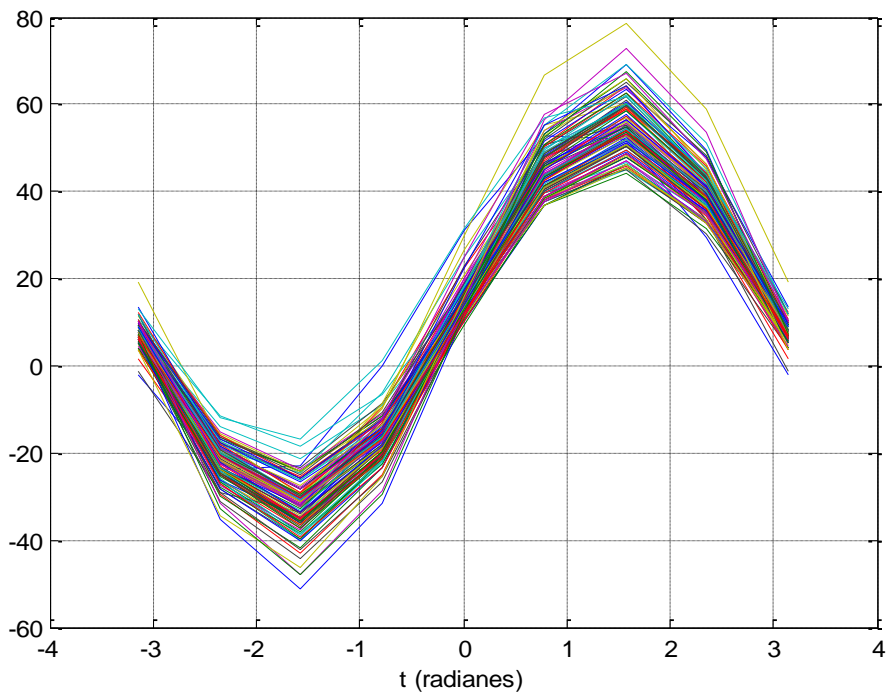


Figura 5.13 Trazos multidimensionales cuarta combinación

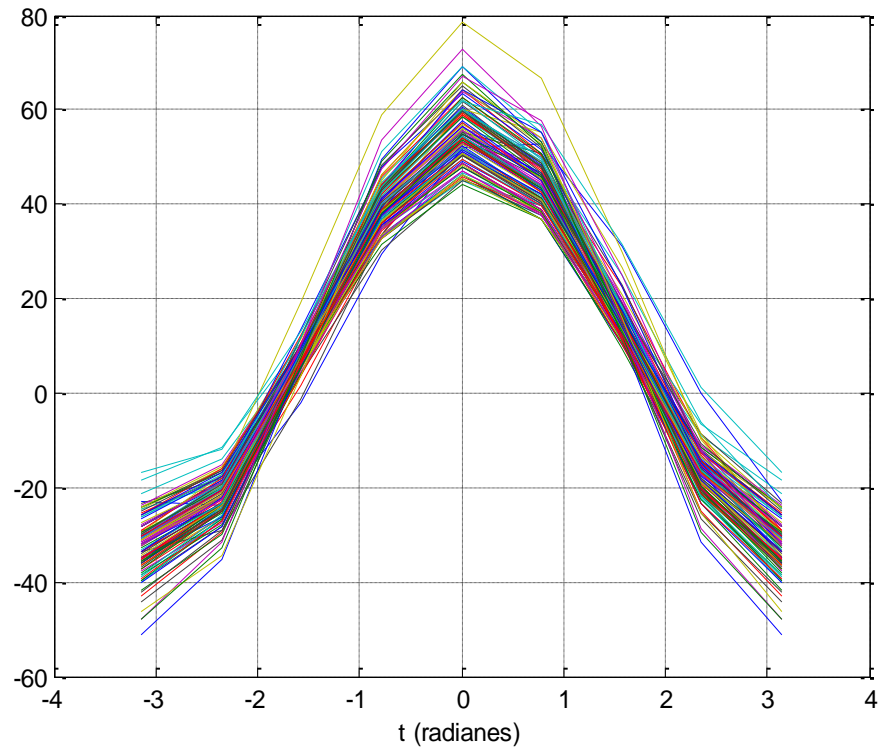


Figura 5.14 Trazos multidimensionales quinta combinación

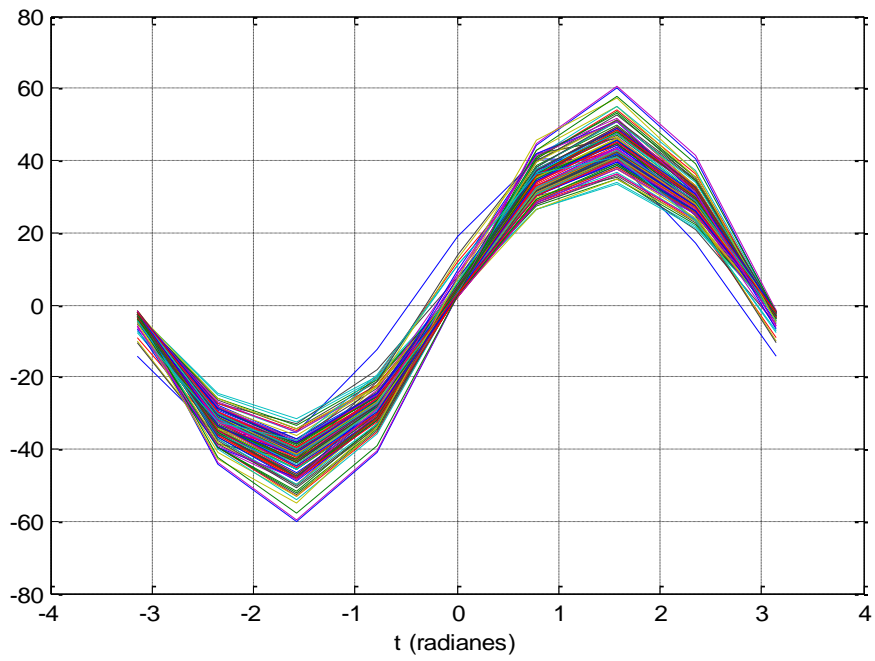


Figura 5.15 Trazos multidimensionales sexta combinación

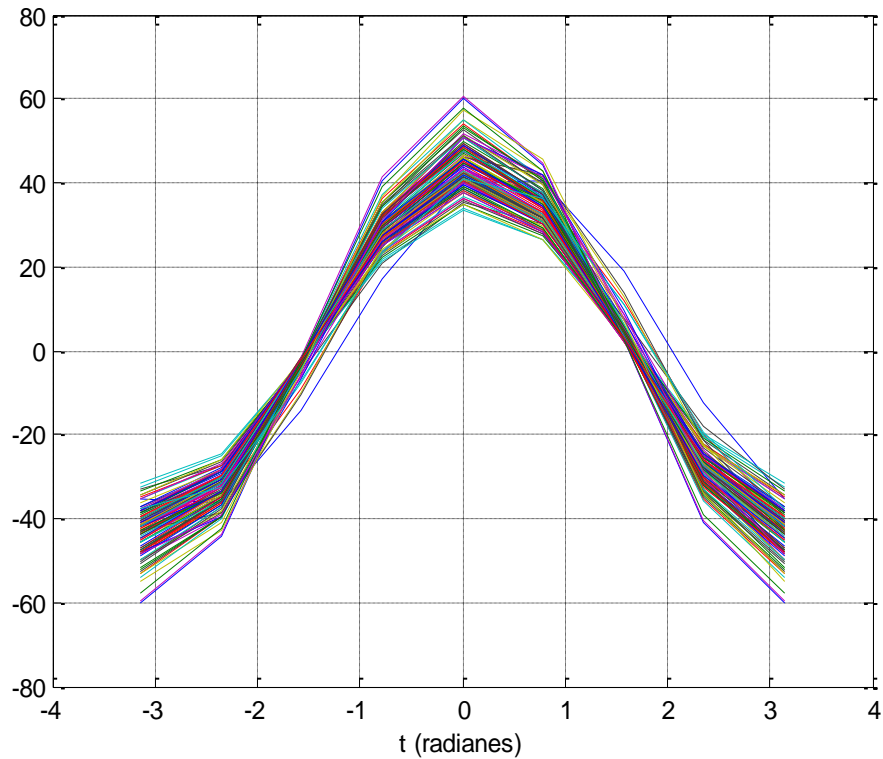


Figura 5.16 Trazos multidimensionales séptima combinación

5.3.5 Método de la región de influencia

En este método se obtuvieron distancias Euclidianas donde cada una de las 117 estaciones fue la base, para ello se tomó en cuenta cuatro atributos: la media, desviación estándar, coeficiente de curtosis y el coeficiente de variación, que tuvieron que ser modulados para calcular su distancia (D_{jb}). El rango de la región de influencia que se propuso fue el valor medio de las distancias, por lo que las distancias mayores pertenecían a un grupo y las menores a otro, este criterio se tomó para analizar las 117 estaciones base. Como ejemplo en la tabla 5.15 se muestra los valores modulados de los atributos (C_b y C_j) y las distancias tomando como base la estación 32001 para algunas estaciones.

Tabla 5.15 Distancias Euclidianas tomando de base estación 32001

	Base	j		
	32001	32002	Cb	Cj
Media	37.54	41.60	6.75	7.48
Desviación estándar	20.61	12.86	5.48	3.42
Coefficiente de curtosis	16.62	2.78	7.49	1.26
CV	0.55	0.31	5.98	3.37
D_{jb}	7.11			

	Base	j		
	32001	32004	Cb	Cj
Media	37.54	33.21	6.75	5.97
Desviación estándar	20.61	16.85	5.48	4.48
Coefficiente de curtosis	16.62	3.30	7.49	1.49
CV	0.55	0.51	5.98	5.53
D_{jb}	6.16			

	Base	j		
	32001	32003	Cb	Cj
Media	37.54	40.93	6.75	7.36
Desviación estándar	20.61	16.83	5.48	4.47
Coefficiente de curtosis	16.62	10.46	7.49	4.71
CV	0.55	0.41	5.98	4.48
D_{jb}	3.37			

	Base	j		
	32001	32005.00	Cb	Cj
Media	37.54	39.38	6.75	7.08
Desviación estándar	20.61	16.54	5.48	4.39
Coefficiente de curtosis	16.62	3.73	7.49	1.68
CV	0.55	0.42	5.98	4.58
D_{jb}	6.09			

En forma de ejemplo en la tabla 5.16 se muestra los resultados de las distancias medidas y el valor medio (\bar{D}_{jb}) de algunas estaciones (la fila superior indica la estación base).

Continuación

Estación: j / base	32001	32002	32003	32004	32005	32006	32007	32009	32010	32011	32012	32013	32015	32016	32017
32076	6.82	1.41	3.77	1.52	0.86	0.88	2.09	1.50	1.50	2.33	0.81	2.06	0.73	2.87	1.84
32078	6.43	1.40	3.34	1.59	0.37	0.64	1.91	1.74	1.60	1.82	0.79	1.97	0.69	2.45	1.79
32084	6.44	2.89	3.80	2.27	1.66	2.27	2.95	3.40	3.19	1.00	2.22	3.22	1.97	2.85	3.14
32085	7.16	3.18	4.33	4.20	2.98	3.04	4.34	3.91	3.54	2.32	2.91	3.01	2.82	1.92	3.10
32086	7.24	0.79	3.91	3.15	1.81	1.20	3.15	1.50	1.12	2.64	0.96	0.68	1.13	1.53	0.68
32087	6.74	1.97	3.87	1.03	1.12	1.39	1.93	1.92	2.00	2.50	1.42	2.64	1.32	3.41	2.42
32093	6.89	2.73	4.01	3.45	2.29	2.46	3.72	3.43	3.09	1.70	2.33	2.72	2.19	1.91	2.76
32095	4.66	3.64	2.14	3.89	2.87	3.13	3.19	4.34	3.97	1.83	3.49	3.66	3.47	2.25	3.71
32097	6.89	1.64	3.71	3.10	1.72	1.54	3.19	2.37	2.01	1.93	1.40	1.61	1.37	1.28	1.64
32098	7.57	1.16	4.24	3.84	2.75	1.92	3.45	1.14	0.98	3.93	1.94	0.97	2.23	2.49	0.95
32099	6.62	1.75	3.65	1.27	0.64	1.07	2.02	1.96	1.90	1.94	1.05	2.34	0.87	2.88	2.16
32100	6.99	0.75	3.70	3.02	2.01	1.22	2.63	0.68	0.54	3.33	1.40	1.10	1.69	2.46	0.93
32101	6.33	1.19	3.17	1.96	1.14	0.72	1.64	1.25	1.21	2.60	1.18	1.82	1.33	2.66	1.62
32103	7.04	0.11	3.72	2.79	1.62	0.81	2.65	0.75	0.35	2.87	0.80	0.76	1.10	2.08	0.54
32104	6.94	0.63	3.69	2.33	1.13	0.50	2.47	1.11	0.87	2.40	0.21	1.20	0.49	2.13	1.01
32105	6.82	2.19	3.61	4.32	2.86	2.41	3.83	2.92	2.48	2.99	2.49	1.72	2.63	0.50	1.92
32106	6.62	2.21	3.80	1.14	0.91	1.53	2.20	2.45	2.39	1.77	1.47	2.77	1.23	3.13	2.60
32107	6.33	2.93	3.68	2.46	1.74	2.32	3.00	3.48	3.24	0.86	2.30	3.20	2.07	2.70	3.14
32108	6.01	1.20	2.71	2.46	1.05	0.69	2.00	1.83	1.49	1.90	1.18	1.50	1.31	1.57	1.43
32109	7.30	0.51	3.99	3.07	2.03	1.22	2.89	0.46	0.19	3.33	1.19	0.86	1.49	2.41	0.65
32110	5.66	3.15	3.25	1.55	1.52	2.34	2.17	3.54	3.39	1.02	2.51	3.61	2.31	3.34	3.49
32111	7.44	1.49	4.10	4.14	2.75	2.07	3.81	2.08	1.69	3.40	2.01	0.83	2.22	1.32	1.08
32112	7.27	1.27	3.98	3.41	2.02	1.55	3.42	1.99	1.60	2.57	1.32	1.02	1.42	1.26	1.10
32113	7.16	1.62	3.98	3.07	1.75	1.58	3.21	2.30	1.97	2.07	1.30	1.63	1.24	1.57	1.63
32114	6.88	0.91	3.69	2.07	0.92	0.53	2.36	1.29	1.12	2.24	0.22	1.49	0.29	2.29	1.30
32116	6.31	1.61	3.22	2.03	0.66	0.97	2.23	2.18	1.92	1.32	1.06	1.99	0.93	1.99	1.89
32117	6.75	0.44	3.46	2.47	1.23	0.42	2.35	1.02	0.71	2.49	0.59	1.03	0.86	2.00	0.85
32118	6.33	1.79	3.14	3.09	1.65	1.54	2.89	2.55	2.16	1.67	1.64	1.76	1.65	0.95	1.81
32119	5.28	1.96	1.99	2.67	1.42	1.41	1.85	2.56	2.23	1.68	1.94	2.16	2.01	1.63	2.14
32120	7.18	0.61	3.95	2.42	1.49	0.83	2.55	0.58	0.56	2.91	0.65	1.28	0.90	2.57	1.03
32121	6.11	1.40	2.94	2.01	0.54	0.65	1.93	1.96	1.69	1.51	1.00	1.81	0.98	1.91	1.71
32122	7.08	1.91	3.90	3.61	2.21	1.96	3.60	2.65	2.26	2.29	1.81	1.68	1.83	1.05	1.78
32123	7.09	0.90	3.91	2.12	1.32	0.81	2.37	0.82	0.87	2.80	0.68	1.58	0.84	2.74	1.34
32124	6.68	1.05	3.39	2.87	1.42	0.99	2.75	1.81	1.42	2.09	1.00	1.11	1.11	1.24	1.10
32125	7.90	1.86	4.58	4.52	3.14	2.49	4.29	2.39	2.03	3.73	2.32	1.19	2.51	1.61	1.43
32126	6.42	1.16	3.24	2.03	0.61	0.47	2.11	1.70	1.45	1.77	0.67	1.62	0.66	1.98	1.49
32127	5.86	1.45	2.56	2.66	1.25	1.01	2.13	2.12	1.76	1.78	1.44	1.63	1.54	1.33	1.60
32129	7.66	1.31	4.31	3.97	2.62	1.95	3.81	1.87	1.50	3.35	1.76	0.67	1.96	1.53	0.89
32130	5.63	2.35	2.61	2.81	1.56	1.81	2.52	3.04	2.70	0.97	2.07	2.48	2.02	1.55	2.48
32131	7.13	0.36	3.84	2.66	1.62	0.84	2.61	0.51	0.28	2.97	0.79	1.01	1.08	2.37	0.77
32132	6.67	0.89	3.44	2.24	0.89	0.45	2.34	1.47	1.20	2.03	0.43	1.36	0.52	1.93	1.21
32133	6.78	1.68	3.74	1.99	0.89	1.16	2.55	2.14	1.95	1.62	0.95	2.08	0.70	2.33	1.96
32134	6.25	2.29	3.46	1.13	0.75	1.52	1.97	2.60	2.49	1.43	1.60	2.82	1.38	2.99	2.66
32135	6.87	0.78	3.50	3.36	2.01	1.27	2.95	1.45	1.02	2.92	1.39	0.49	1.65	1.43	0.58
32136	7.47	0.76	4.11	3.54	2.25	1.50	3.39	1.32	0.93	3.20	1.34	0.16	1.58	1.73	0.32
32137	6.60	1.41	3.48	2.08	0.76	0.87	2.39	1.96	1.72	1.61	0.79	1.81	0.63	2.04	1.69
32139	8.20	3.59	5.25	5.41	4.06	3.81	5.40	4.28	3.89	3.77	3.61	3.13	3.62	2.20	3.31
32140	6.88	3.15	3.88	5.27	3.83	3.39	4.58	3.82	3.40	3.80	3.54	2.62	3.69	1.43	2.84
32141	6.84	1.53	3.60	3.34	1.90	1.57	3.23	2.30	1.90	2.18	1.50	1.36	1.56	0.91	1.44
32142	6.90	1.21	3.67	2.72	1.34	1.08	2.87	1.90	1.57	1.98	0.86	1.37	0.86	1.57	1.32
32143	8.30	3.03	5.15	5.37	3.96	3.48	5.20	3.63	3.26	4.09	3.30	2.42	3.40	1.95	2.64
32144	7.04	0.50	3.79	2.39	1.32	0.62	2.48	0.79	0.62	2.68	0.45	1.17	0.73	2.33	0.94
32184	5.23	7.91	5.83	5.85	6.30	7.08	6.00	8.34	8.17	5.15	7.35	8.29	7.16	7.42	8.21
32187	4.88	4.51	3.12	4.03	3.37	3.89	3.79	5.18	4.85	1.88	4.14	4.64	4.02	3.36	4.65
\bar{D}_{jb}	6.54	1.94	3.58	2.92	1.90	1.76	2.89	2.41	2.15	2.42	1.83	2.12	1.87	2.28	2.07

Se trató de identificar grupos homogéneos de acuerdo con el rango de influencia propuesto. Es así, que se analizó todas aquellas estaciones que la mayoría de veces sus distancias presentaron un valor mayor a \bar{D}_{jb} y en el caso contrario para

valores menores, estos resultados no se tomaron como grupos homogéneos ya que se presentó mucha variación al realizar bloques de distancias y no se observaba claramente la tendencia de agrupamiento de las estaciones. Además de no ser contiguas geográficamente. Los registros realizados se presentan en la tabla 5.17 y 5.18.

Tabla 5. 17 Estaciones que presentaron distancias menores al valor medio

Estaciones con D_{jb} menores a \bar{D}_{jb}
32002, 32005, 32006, 32010, 32012, 32013, 32015, 32017, 32020, 32021, 32023, 32024, 32025, 32026, 32027, 32028, 32030, 32033, 32036, 32037, 32039, 32040, 32041, 32043, 32046, 32047, 32048, 32049, 32051, 32058, 32059, 32061, 32063, 32067, 32068, 32069, 32073, 32076, 32078, 32086, 32097, 32099, 32101, 32103, 32104, 32108, 32109, 32112, 32113, 32114, 32116, 32117, 32118, 32119, 32120, 32121, 32122, 32123, 32124, 32126, 32127, 32130, 32131, 32132, 32133, 32134, 32135, 32136, 32137, 32141, 32142, 32144.

Tabla 5. 18 Estaciones que presentaron distancias mayores al valor medio

Estaciones con D_{jb} mayor a \bar{D}_{jb}
32003, 32004, 32007, 32009, 32011, 32016, 32018, 32019, 32022, 32032, 32034, 32038, 32042, 32045, 32050, 32052, 32053, 32054, 32055, 32056, 32057, 32062, 32065, 32070, 32072, 32084, 32085, 32087, 32093, 32095, 32098, 32100, 32105, 32106, 32107, 32110, 32111, 32125, 32129, 32139, 32140, 32143, 32184.

5.3.6 Comparación y elección del mejor método

De los cinco métodos utilizados se pudo obtener grupos homogéneos solo con tres como se presenta en la tabla 5.19. Del método de región de influencia y trazos multidimensionales no se obtuvo resultados satisfactorios para la formación de regiones homogéneas.

En la tabla 5.19 se puede observar que las regiones formadas por el método de coeficientes de variación y momentos-L son parecidas, por lo que se decidió realizar el análisis regional con los grupos homogéneos determinados por coeficientes de variación, además se ha comprobado la homogeneidad de cada grupo con una prueba de generación de registros sintéticos. Además Hosking y Wallis (1997) demostró que el método de momentos-L puede producir resultados muy fiables con tamaños de muestra pequeñas e incluso con valores atípicos (Lujano Laura & Felipe Obando, 2015).

Se descartó el método del parámetro beta de la GVE porque no tomaba en cuenta en el análisis todas las estaciones y el registro en común era muy pequeño lo que lo hace un método poco confiable, además de notarse que el parámetro beta puede ser muy variable. Un motivo más para confirmar que no se usaría este método fue que no presentan cercanía geográfica los grupos formados.

Tabla 5. 19 Regiones formadas por tres métodos

CV	Parámetro β , GVE	Momentos-L
32001, 32003, 32004, 32005, 32007, 32011, 32021, 32022, 32023, 32036, 32038, 32040, 32045, 32047, 32048, 32050, 32052, 32054, 32065, 32076, 32078, 32084, 32087, 32093, 32099, 32107, 32110, 32116, 32134, 32137	32001, 32002, 32004, 32005, 32006, 32007, 32010, 32011, 32013, 32015, 32018, 32019, 32024, 32027, 32030, 32032, 32037, 32039, 32051, 32058, 32059, 32068, 32070, 32072, 32086, 32098, 32099, 32100, 32101, 32103, 32108, 32109, 32112, 32117, 32120, 32123, 32129, 32130, 32133, 32135, 32136, 32137, 32139, 32140, 32142	32001, 32004, 32005, 32007, 32011, 32021, 32022, 32023, 32036, 32038, 32040, 32041, 32045, 32047, 32048, 32050, 32052, 32053, 32054, 32065, 32076, 32078, 32084, 32087, 32093, 32107, 32110, 32116, 32137
32002, 32006, 32009, 32012, 32013, 32015, 32016, 32017, 32018, 32019, 32020, 32024, 32025, 32026, 32027, 32030, 32032, 32033, 32034, 32037, 32042, 32043, 32046, 32051, 32055, 32056, 32057, 32058, 32059, 32061, 32063, 32067, 32068, 32069, 32070, 32072, 32073, 32085, 32086, 32097, 32098, 32100, 32101, 32103, 32104, 32105, 32108, 32109, 32111, 32112, 32113, 32114, 32117, 32118, 32119, 32120, 32121, 32122, 32123, 32124, 32125, 32126, 32127, 32129, 32131, 32132, 32135, 32136, 32139, 32140, 32142, 32143	32003, 32016, 32017, 32021, 32022, 32026, 32028, 32034, 32036, 32038, 32042, 32045, 32048, 32049, 32050, 32052, 32053, 32054, 32057, 32061, 32065, 32067, 32069, 32073, 32084, 32087, 32095, 32097, 32104, 32106, 32107, 32111, 32113, 32114, 32116, 32118, 32119, 32122, 32125, 32126, 32127, 32131, 32132, 32141, 32143, 32144, 32184, 32187	32002, 32003, 32006, 32009, 32012, 32013, 32015, 32016, 32017, 32018, 32019, 32020, 32024, 32025, 32026, 32027, 32030, 32032, 32033, 32034, 32037, 32042, 32043, 32046, 32051, 32055, 32056, 32057, 32058, 32061, 32063, 32067, 32068, 32069, 32070, 32072, 32073, 32085, 32086, 32095, 32097, 32098, 32100, 32101, 32103, 32104, 32105, 32108, 32109, 32111, 32112, 32113, 32114, 32117, 32118, 32119, 32120, 32121, 32122, 32123, 32124, 32125, 32126, 32127, 32129, 32130, 32132, 32135, 32136, 32139, 32140, 32143
	32020, 32025, 32040, 32046, 32047, 32055, 32078, 32085, 32093, 32121, 32134	

5.4 Análisis regional

A lo largo de este capítulo se desarrolla cinco técnicas de regionalización a partir de las regiones homogéneas definidas con la metodología de coeficientes de variación.

5.4.1 Técnica de las estaciones-año

En esta técnica se forma el registro estaciones-año constituido por las series moduladas. El proceso de modulación se efectúa dividiendo cada uno de los valores de cada serie entre su respectiva media. Ya que se tiene las series moduladas se agrupan los registros en una sola serie para ordenarla de forma descendente y se asigna un periodo de retorno y una probabilidad de no excedencia. El siguiente paso consiste en encontrar el mejor ajuste a una distribución de probabilidad.

En la tabla 5.20 se presenta los valores resultantes de la estadística de las series estación-año de cada región. La distribución Gumbel calibrada por momentos presenta el menor error estándar, es así que es aceptada como la distribución más representativa para ambas regiones, como se puede observar en la figura 5.15 y 5.16. En la tabla 5.21 se ejemplifica los resultados del ajuste a la distribución Gumbel para la región I dando a entender que se elaboró el mismo análisis para la región II y que no muestra todo el registro estación-año debido a que es extenso.

Figura 5.20 Estadística de la serie estandarizada para el método estaciones-año

	Región I	Región II
n=	1294	2793
Media (\bar{x})=	1	1
Varianza (S^2)=	0.213	0.104
Desv. Estándar (S) =	0.461	0.323

Figura 5.17 Ajuste a la distribución Gumbel de la Región I

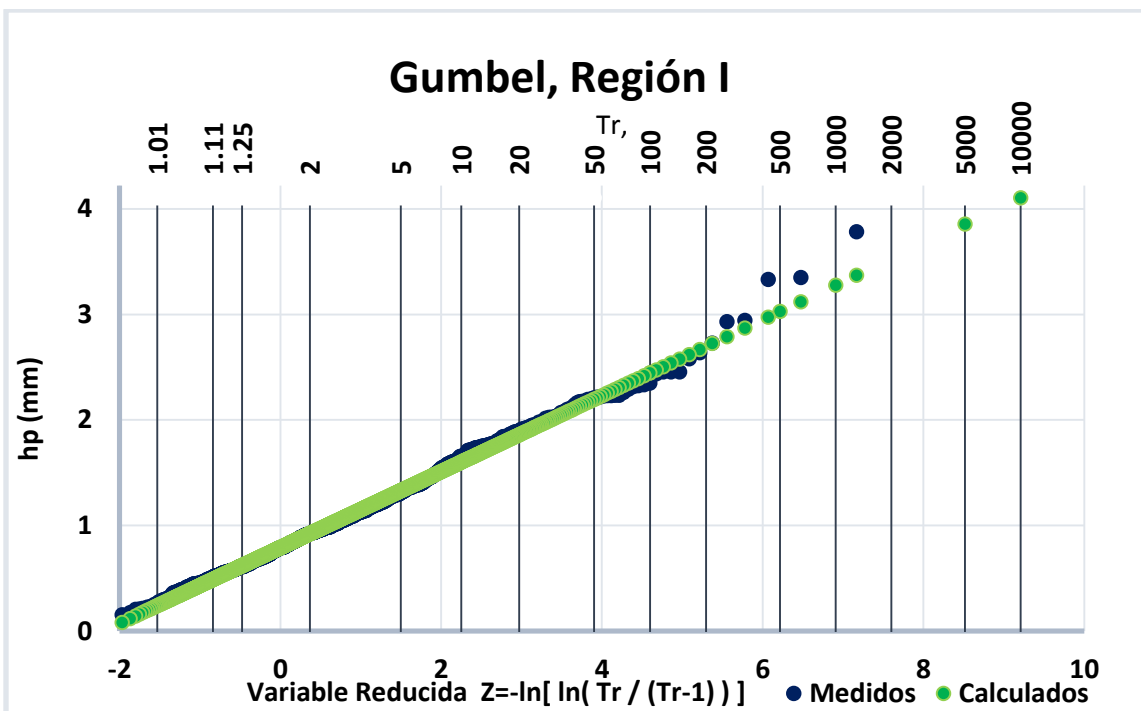


Figura 5.18 Ajuste a la distribución Gumbel de la Región II

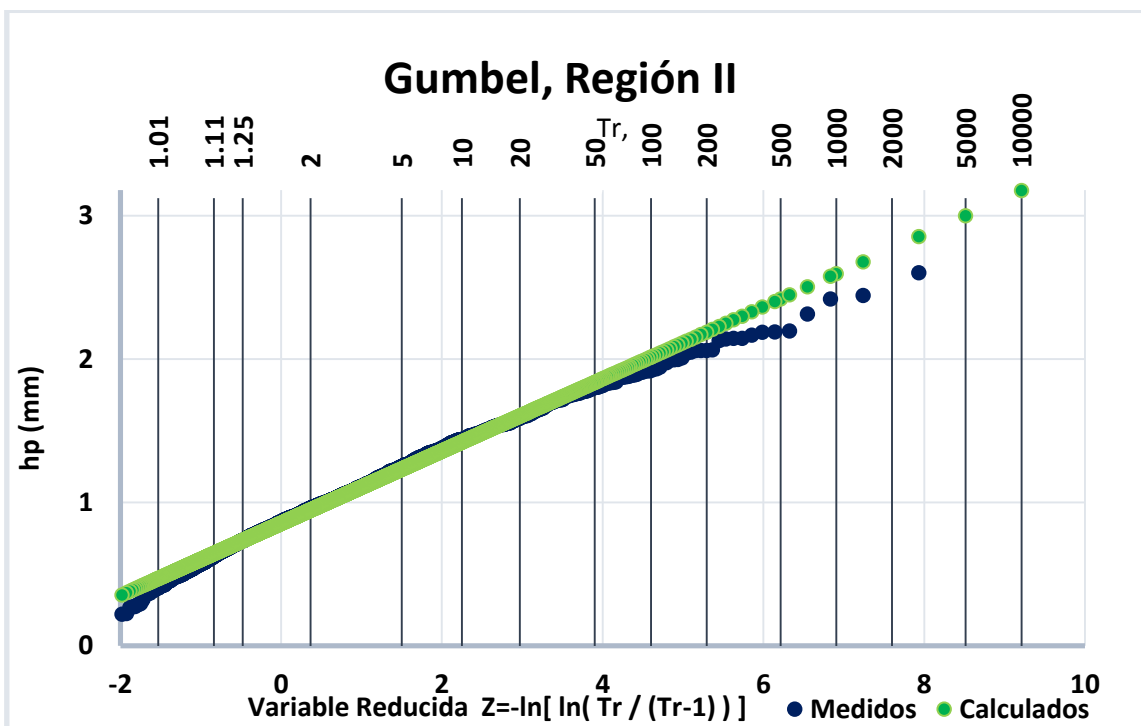


Figura 5.21 Distribución Gumbel, con la serie estaciones-año de la región I

Estimadores por momentos	
$\hat{\alpha} =$	0.360
$\hat{\mu} =$	0.792
EE=	0.0287

Estimadores por máxima Verosimilitud	
$\hat{\alpha} =$	0.358
$\hat{\mu} =$	0.793
EE=	0.0290

Función de Distribución Gumbel					
hp	m	hp	Tr	\hat{x}_T	$(x_T - \hat{x}_T)^2$
0.772	1.000	3.782	1295.000	3.370	0.170136
0.666	2.000	3.350	647.500	3.121	0.052794
1.119	3.000	3.332	431.667	2.975	0.127966
0.986	4.000	2.944	323.750	2.871	0.005377
1.012	5.000	2.932	259.000	2.791	0.019978
0.826	6.000	2.730	215.833	2.725	0.000026
1.092	7.000	2.639	185.000	2.669	0.000922
1.385	8.000	2.579	161.875	2.621	0.001744
0.959	9.000	2.456	143.889	2.579	0.014904
0.746	10.000	2.456	129.500	2.541	0.007063
1.358	11.000	2.456	117.727	2.506	0.002462
1.065	12.000	2.437	107.917	2.475	0.001437
1.358	13.000	2.349	99.615	2.446	0.009391
0.666	14.000	2.334	92.500	2.419	0.007273
1.012	15.000	2.326	86.333	2.394	0.004554
0.613	16.000	2.317	80.938	2.371	0.002891
1.065	17.000	2.292	76.176	2.349	0.003254
0.666	18.000	2.261	71.944	2.328	0.004528
0.799	19.000	2.234	68.158	2.308	0.005475
0.746	20.000	2.234	64.750	2.290	0.003165
0.932	21.000	2.233	61.667	2.272	0.001520
0.466	22.000	2.233	58.864	2.255	0.000506
0.559	23.000	2.228	56.304	2.239	0.000122
1.012	24.000	2.221	53.958	2.224	0.000008
3.782	25.000	2.218	51.800	2.209	0.000076
1.119	26.000	2.210	49.808	2.195	0.000223
1.212	27.000	2.199	47.963	2.181	0.000336
1.311	28.000	2.197	46.250	2.168	0.000851
1.084	29.000	2.182	44.655	2.155	0.000726
0.772	30.000	2.176	43.167	2.143	0.001153
0.573	31.000	2.176	41.774	2.131	0.002035
0.471	32.000	2.161	40.469	2.119	0.001775
0.687	33.000	2.142	39.242	2.108	0.001196
0.501	34.000	2.117	38.088	2.097	0.000422
0.455	35.000	2.108	37.000	2.086	0.000464
0.999	36.000	2.103	35.972	2.076	0.000721
1.145	37.000	2.085	35.000	2.066	0.000359
0.554	38.000	2.073	34.079	2.056	0.000285
0.906	39.000	2.070	33.205	2.047	0.000532
1.105	40.000	2.047	32.375	2.038	0.000095
2.024	41.000	2.039	31.585	2.029	0.000106

Una vez que se determinó que los registros regionales se ajustaron a la distribución Gumbel, se estiman los factores regionales para diferentes periodos de retorno como se muestra en la tabla 5.22.

Figura 5.22 Factores regionales para diferentes Tr

	Región I	Región II
Tr	\hat{x}_T	\hat{x}_T
2	0.92	0.95
5	1.33	1.23
10	1.60	1.42
20	1.86	1.60
50	2.20	1.84
100	2.45	2.01
500	3.03	2.42
1000	3.28	2.60
5000	3.86	3.00
10000	4.11	3.18

Prueba de homogeneidad mediante la generación de registros sintéticos

Al conocer la distribución de ajuste, se utilizó para comprobar la homogeneidad de las regiones obtenidas mediante la metodología de coeficientes de variación.

Se generaron 10 series de números aleatorios que se ajustaron a la distribución Gumbel, usando los parámetros de la serie original. El tamaño de las series sintéticas es del mismo tamaño al total de años de cada estación perteneciente a la región, a estos registros se les calculó el coeficiente de variación para ser comparados con los originales u observados, fueron graficados ordenándolos de mayor a menor conformando una sola serie y posteriormente se asignó una frecuencia, este procedimiento se realizó para las dos regiones.

En la figura 5.17 correspondiente a la región I se observa que los CV observados se encuentran comprendidos dentro de los sintéticos, es decir, que hay valores simulados más grandes que el CV observado de mayor valor, lo mismo sucede para el CV observado de menor valor por este motivo podemos afirmar que es una región homogénea. El mismo caso se presenta para la región II que se muestra en la figura 5.18.

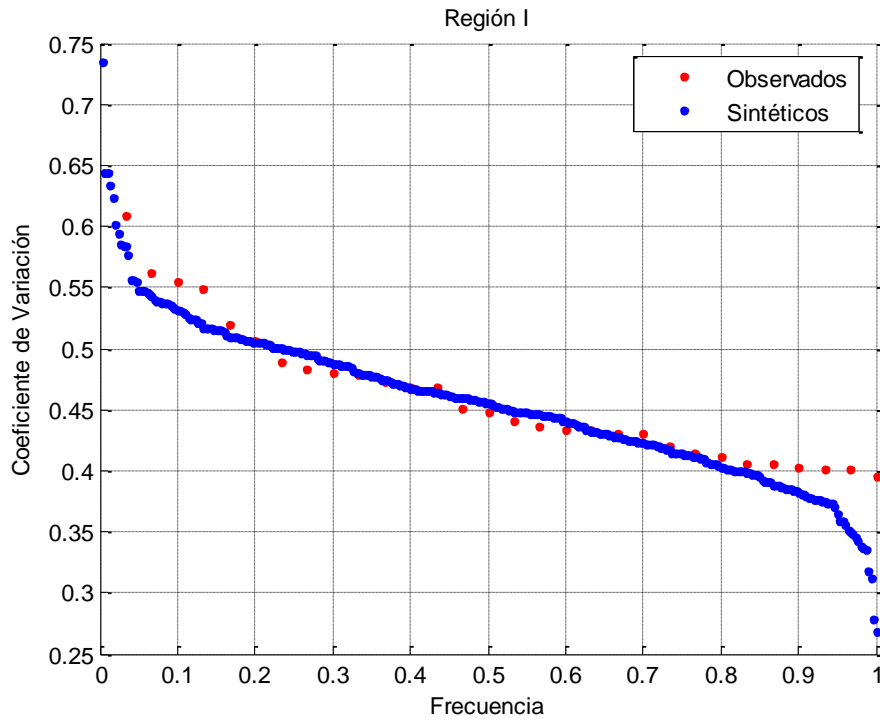


Figura 5.17 Frecuencia vs CV de 10 series sintéticas

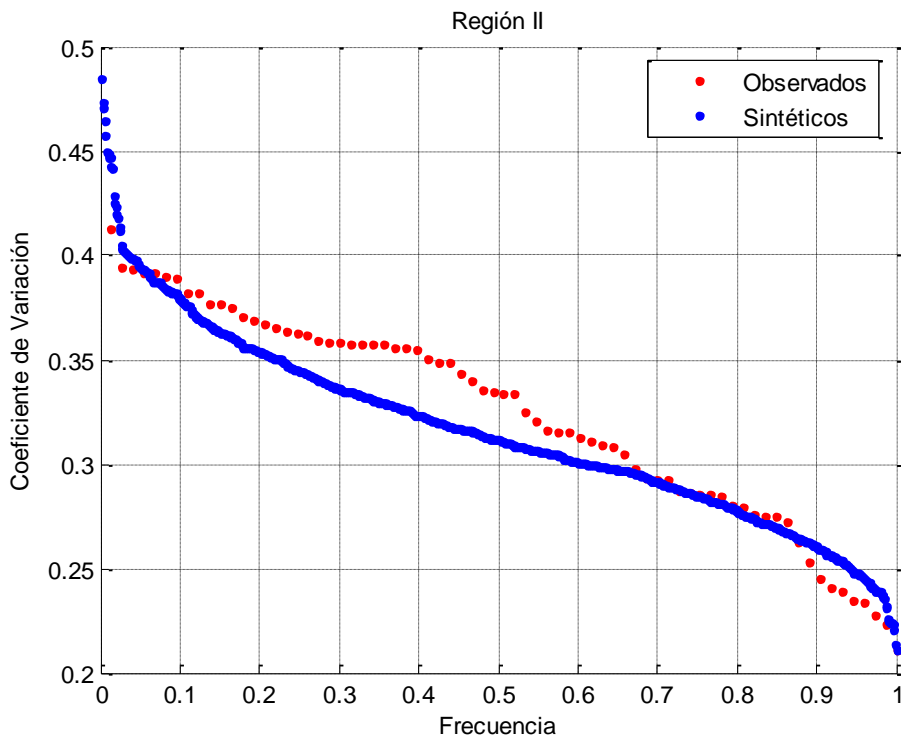


Tabla 5.18 Frecuencia vs CV de 10 series sintéticas

5.4.2 Método de Darlymple

Este método de regionalización no fue desarrollado dado que un requisito indispensable es que las muestras tengan un periodo común de registro lo cual no se cumple para ninguna de nuestras dos regiones.

5.4.3 Correlación y regresión múltiple

En esta técnica se consideró como variables independientes x_1, x_2 y x_3 : la media, la desviación estándar y el coeficiente de curtosis respectivamente (los estadísticos empleados en este método se pueden consultar en la tabla 5.4). Tomando en cuenta el ajuste a la distribución Gumbel, se consideró como variable dependiente los eventos para los periodos de retorno igual 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años, esto para cada estación que conforma la región I y II. De esta manera se construye un sistema de ecuación lineal por cada periodo de retorno.

Para la región I se muestra a continuación en forma de ejemplo el sistema de ecuaciones conformado para el periodo de retorno igual a dos años. El cual es resuelto con ayuda de Excel.

$$\begin{aligned} 34.16 &= a + 37.54b_1 + 20.61b_2 + 16.62 b_3 \\ 38.17 &= a + 40.93b_1 + 16.83b_2 + 10.46 b_3 \\ 29 &= a + 33.21b_1 + 16.85b_2 + 3.3 b_3 \\ 36.66 &= a + 39.38b_1 + 16.54b_2 + 3.73 b_3 \\ 28.3 &= a + 34.11b_1 + 15.31b_2 + 6.6 b_3 \\ 40.58 &= a + 43.96b_1 + 20.59b_2 + 4.85 b_3 \\ 34.94 &= a + 45.56b_1 + 20.06b_2 + 4.96 b_3 \\ 32.35 &= a + 40.76b_1 + 22.94b_2 + 4.73 b_3 \\ 27.26 &= a + 40.65b_1 + 17.61b_2 + 2.88 b_3 \\ 32.63 &= a + 35.61b_1 + 14.31b_2 + 3.66 b_3 \\ 32.98 &= a + 35.82b_1 + 17.31b_2 + 2.97 b_3 \\ 27.13 &= a + 34.92b_1 + 15.02b_2 + 3.54 b_3 \\ 28.82 &= a + 40.3b_1 + 22.34b_2 + 9.32 b_3 \\ 30.95 &= a + 42.64b_1 + 18.49b_2 + 3.43 b_3 \\ 28.83 &= a + 38.04b_1 + 17.18b_2 + 4.22 b_3 \\ 26.91 &= a + 34.22b_1 + 14.18b_2 + 3.61 b_3 \\ 28.19 &= a + 32.57b_1 + 19.84b_2 + 3.48 b_3 \\ 36.04 &= a + 45.01b_1 + 21.53b_2 + 11.48 b_3 \\ 35.07 &= a + 47.12b_1 + 23.06b_2 + 2.69 b_3 \\ 26.33 &= a + 37.41b_1 + 15.04b_2 + 2.29 b_3 \\ 27.68 &= a + 39.36b_1 + 15.94b_2 + 3.09 b_3 \\ 29.9 &= a + 43.92b_1 + 21.06b_2 + 2.67 b_3 \\ 25.8 &= a + 34.73b_1 + 15.17b_2 + 2.32 b_3 \end{aligned}$$

$$31.81 = a + 50.52b_1 + 20.28b_2 + 2.69 b_3$$

$$25.04 = a + 37.99b_1 + 16.35b_2 + 2.45 b_3$$

$$27.64 = a + 45.04b_1 + 21.28b_2 + 3.04 b_3$$

$$22.91 = a + 39.52b_1 + 20.52b_2 + 4.12 b_3$$

$$25.19 = a + 42.63b_1 + 17.3b_2 + 3.36 b_3$$

$$22.94 = a + 38.65b_1 + 18.09b_2 + 3 b_3$$

$$25.67 = a + 42.49b_1 + 16.8b_2 + 2.78 b_3$$

Una vez resuelta la regresión múltiple de cada periodo de retorno se obtienen los coeficientes a , b_1 , b_2 y b_3 , como se observa en la tabla 5.23 y 5.24, con los cuales si se requiere conocer un evento para un Tr determinado sólo es necesario sustituir en x_1 la media, x_2 la desviación estándar y en x_3 el coeficiente de curtosis del sitio.

Figura 5.23 Coeficientes regionales por regresión múltiple. Región I

Región I												
Tr	a_1			b_1			b_2			b_3		
2	$\gamma =$	13.11	+	0.37	x_1	+	-0.05	x_2	+	0.61	x_3	
5	$\gamma =$	8.92	+	0.57	x_1	+	0.63	x_2	+	0.63	x_3	
10	$\gamma =$	6.15	+	0.69	x_1	+	1.08	x_2	+	0.65	x_3	
20	$\gamma =$	3.49	+	0.82	x_1	+	1.52	x_2	+	0.66	x_3	
50	$\gamma =$	0.05	+	0.98	x_1	+	2.08	x_2	+	0.68	x_3	
100	$\gamma =$	-2.52	+	1.09	x_1	+	2.49	x_2	+	0.69	x_3	
500	$\gamma =$	-8.48	+	1.37	x_1	+	3.46	x_2	+	0.72	x_3	
1000	$\gamma =$	-11.04	+	1.49	x_1	+	3.88	x_2	+	0.73	x_3	
5000	$\gamma =$	-16.98	+	1.76	x_1	+	4.85	x_2	+	0.76	x_3	
10000	$\gamma =$	-19.54	+	1.88	x_1	+	5.26	x_2	+	0.77	x_3	

Figura 5.24 Coeficientes regionales por regresión múltiple. Región II

Región II												
Tr	a_1			b_1			b_2			b_3		
2	$\gamma =$	15.33	+	0.47	x_1	+	-0.11	x_2	+	0.29	x_3	
5	$\gamma =$	9.09	+	0.70	x_1	+	0.47	x_2	+	0.36	x_3	
10	$\gamma =$	4.96	+	0.85	x_1	+	0.85	x_2	+	0.41	x_3	
20	$\gamma =$	1.00	+	0.99	x_1	+	1.22	x_2	+	0.46	x_3	
50	$\gamma =$	-4.13	+	1.18	x_1	+	1.69	x_2	+	0.52	x_3	
100	$\gamma =$	-7.97	+	1.32	x_1	+	2.05	x_2	+	0.56	x_3	
500	$\gamma =$	-16.85	+	1.65	x_1	+	2.87	x_2	+	0.67	x_3	
1000	$\gamma =$	-20.67	+	1.79	x_1	+	3.23	x_2	+	0.71	x_3	
5000	$\gamma =$	-29.53	+	2.11	x_1	+	4.05	x_2	+	0.81	x_3	
10000	$\gamma =$	-33.34	+	2.25	x_1	+	4.41	x_2	+	0.86	x_3	

5.4.4 Método regional de la transformación de Box-Cox

En este método se aplica el proceso de normalización de Box-Cox, donde es necesario calcular λ para cada estación, asegurando que el coeficiente de asimetría de la serie sea cero. Una vez que se cuenta con los λ de las estaciones que pertenecen a cada región se calcula $\lambda_{regional}$ (el promedio de los valores de λ). En tabla 5.25 se observa $\lambda_{regional}$ de la región I es de 0.051 y el de la región II es de 0.190 además se muestra el λ de cada estación. Con los valores regionales se elaboraron las series y_i siguiendo la ecuación 147.

Figura 5.25 Coeficientes λ para cada estación y regional

Región I		Región II					
Estación	λ	Estación	λ	Estación	λ	Estación	λ
32001	-0.50	32002	0.95	32063	0.17	32125	-0.50
32003	0.14	32006	-0.01	32067	-0.35	32126	0.60
32004	-0.27	32009	0.58	32068	0.55	32127	-0.21
32005	0.24	32012	0.27	32069	-0.25	32129	0.77
32007	-0.50	32013	0.53	32070	0.19	32131	0.49
32011	0.01	32015	0.09	32072	-0.06	32132	0.44
32021	-0.69	32016	-0.17	32073	0.02	32133	0.12
32022	0.00	32017	0.44	32085	-0.52	32135	-0.48
32023	-0.49	32018	0.34	32086	0.80	32136	0.77
32036	0.18	32019	-0.20	32097	0.33	32139	-0.43
32038	-0.02	32020	0.42	32098	0.38	32140	-1.34
32040	0.23	32024	-1.06	32100	-0.38	32142	0.19
32045	-0.35	32025	1.11	32101	0.33	32143	0.82
32047	0.66	32026	-0.49	32103	0.14		
32048	-0.09	32027	-0.36	32104	0.79		
32050	0.10	32030	-0.34	32105	-0.12		
32052	0.01	32032	0.71	32108	-0.29		
32054	0.16	32033	0.20	32109	0.10		
32065	0.22	32034	0.66	32111	0.87		
32076	0.84	32037	0.18	32112	0.87		
32078	0.45	32042	-0.50	32113	0.40		
32084	0.50	32043	0.25	32114	0.48		
32087	0.48	32046	0.06	32117	0.90		
32093	0.25	32051	0.72	32118	0.01		
32099	0.33	32055	-0.58	32119	-0.70		
32107	-0.62	32056	1.31	32120	0.51		
32110	0.23	32057	0.39	32121	0.35		
32116	0.37	32058	1.22	32122	0.04		
32134	-0.03	32059	-0.60	32123	0.92		
32137	-0.34	32061	0.16	32124	-0.19		
Factor regional (λ_r)	0.051			Factor regional (λ_r)	0.190		

La aplicación de la metodología de Box-Cox para la obtención de eventos para diferentes periodos de retorno hace uso de la distribución Normal. Por lo que se estima los parámetros $\hat{\mu}$ y $\hat{\sigma}$ de las series y_i y la variable normal estándar (U_T) para estimar eventos con la distribución Normal (ecuación 149). En tabla 5.26 y 5.27 se observa los resultados para la región I y región II respectivamente.

Tabla 5.26 Resultados de \hat{X}_T de la distribución Normal. Región I

Estación / Tr	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32001	3.87	4.29	4.51	4.70	4.90	5.04	5.32	5.43	5.65	5.74
32003	4.00	4.39	4.60	4.76	4.95	5.08	5.34	5.44	5.64	5.73
32004	3.70	4.18	4.43	4.64	4.87	5.02	5.33	5.45	5.71	5.81
32005	3.94	4.37	4.60	4.78	4.99	5.13	5.41	5.52	5.75	5.85
32007	3.78	4.17	4.37	4.54	4.73	4.86	5.11	5.21	5.42	5.50
32011	4.05	4.52	4.76	4.96	5.18	5.33	5.64	5.75	6.00	6.10
32021	4.12	4.52	4.72	4.89	5.09	5.21	5.47	5.57	5.78	5.87
32022	3.91	4.47	4.76	5.00	5.27	5.45	5.81	5.95	6.24	6.36
32023	3.98	4.40	4.61	4.79	5.00	5.13	5.40	5.51	5.73	5.82
32036	3.83	4.23	4.45	4.62	4.82	4.95	5.22	5.32	5.54	5.63
32038	3.80	4.28	4.53	4.74	4.97	5.13	5.45	5.57	5.83	5.93
32040	3.79	4.23	4.45	4.64	4.85	4.99	5.28	5.39	5.62	5.71
32045	3.93	4.41	4.66	4.87	5.10	5.26	5.57	5.69	5.95	6.05
32047	4.01	4.53	4.80	5.03	5.28	5.45	5.80	5.93	6.21	6.32
32048	3.89	4.32	4.55	4.73	4.94	5.08	5.36	5.47	5.69	5.79
32050	3.78	4.19	4.41	4.59	4.79	4.92	5.20	5.30	5.52	5.61
32052	3.62	4.21	4.52	4.78	5.06	5.26	5.65	5.80	6.11	6.24
32054	4.09	4.54	4.78	4.98	5.20	5.35	5.65	5.77	6.01	6.11
32065	4.12	4.63	4.90	5.12	5.38	5.54	5.88	6.01	6.29	6.40
32076	3.87	4.33	4.57	4.77	5.00	5.15	5.45	5.57	5.81	5.91
32078	3.94	4.38	4.61	4.80	5.01	5.16	5.45	5.56	5.79	5.89
32084	4.02	4.57	4.85	5.09	5.35	5.52	5.88	6.02	6.31	6.42
32087	3.77	4.24	4.49	4.70	4.93	5.08	5.39	5.51	5.77	5.87
32093	4.25	4.67	4.89	5.07	5.28	5.42	5.69	5.80	6.03	6.12
32099	3.89	4.34	4.58	4.78	5.00	5.15	5.45	5.56	5.80	5.90
32107	4.09	4.54	4.77	4.97	5.19	5.33	5.63	5.74	5.98	6.08
32110	3.90	4.43	4.71	4.95	5.21	5.38	5.73	5.87	6.15	6.27
32116	4.04	4.47	4.70	4.88	5.09	5.23	5.52	5.63	5.86	5.95
32134	3.90	4.36	4.60	4.80	5.02	5.17	5.47	5.59	5.84	5.93
32137	4.05	4.44	4.64	4.81	5.00	5.13	5.38	5.48	5.69	5.77

Tabla 5.27 Resultados de \hat{X}_T de la distribución Normal. Región II

Estación / Tr	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32002	5.33	5.92	6.22	6.47	6.76	6.95	7.33	7.48	7.79	7.91
32006	5.25	5.85	6.16	6.42	6.71	6.90	7.29	7.44	7.76	7.89
32009	5.18	5.70	5.97	6.19	6.44	6.61	6.95	7.08	7.35	7.46
32012	5.29	5.91	6.23	6.50	6.80	7.00	7.41	7.57	7.90	8.03
32013	5.51	6.00	6.25	6.46	6.70	6.86	7.18	7.30	7.56	7.67
32015	5.28	5.92	6.26	6.54	6.85	7.06	7.48	7.65	7.99	8.13
32016	5.75	6.28	6.55	6.77	7.03	7.20	7.54	7.67	7.95	8.06
32017	5.45	5.95	6.21	6.42	6.66	6.83	7.15	7.28	7.55	7.65
32018	5.18	5.68	5.94	6.15	6.40	6.56	6.88	7.01	7.27	7.38
32019	5.89	6.38	6.64	6.85	7.09	7.25	7.57	7.69	7.96	8.06
32020	5.32	6.00	6.36	6.66	7.00	7.22	7.67	7.84	8.21	8.36
32024	5.47	6.02	6.31	6.55	6.82	6.99	7.35	7.49	7.79	7.90
32025	5.53	6.09	6.39	6.63	6.91	7.09	7.46	7.60	7.90	8.02
32026	5.26	5.87	6.18	6.44	6.74	6.93	7.33	7.48	7.81	7.94
32027	5.03	5.65	5.97	6.24	6.54	6.74	7.15	7.30	7.64	7.77
32030	5.54	5.99	6.22	6.42	6.64	6.78	7.08	7.19	7.44	7.53
32032	5.87	6.28	6.49	6.67	6.87	7.01	7.28	7.38	7.60	7.69
32033	5.62	6.25	6.57	6.84	7.15	7.35	7.76	7.92	8.25	8.38
32034	5.40	5.79	6.00	6.17	6.37	6.50	6.76	6.86	7.07	7.15
32037	5.66	6.14	6.39	6.60	6.83	6.98	7.30	7.42	7.68	7.78
32042	5.60	5.99	6.20	6.37	6.56	6.68	6.94	7.04	7.25	7.33
32043	5.64	6.20	6.49	6.73	7.00	7.18	7.54	7.68	7.97	8.09
32046	5.42	6.08	6.42	6.71	7.03	7.24	7.67	7.83	8.19	8.33
32051	5.39	5.90	6.17	6.39	6.64	6.81	7.15	7.28	7.55	7.66
32055	5.48	6.00	6.27	6.49	6.74	6.91	7.24	7.37	7.65	7.76
32056	6.15	6.56	6.77	6.94	7.14	7.27	7.54	7.64	7.85	7.94
32057	5.82	6.45	6.78	7.05	7.36	7.57	7.98	8.14	8.48	8.61
32058	5.40	5.97	6.27	6.52	6.80	6.98	7.36	7.50	7.81	7.93
32059	5.56	6.14	6.44	6.69	6.98	7.16	7.54	7.69	8.00	8.12
32061	5.44	6.10	6.44	6.72	7.03	7.25	7.67	7.84	8.19	8.32
32063	5.45	6.01	6.30	6.54	6.81	6.99	7.35	7.49	7.79	7.91
32067	5.68	6.22	6.49	6.72	6.98	7.15	7.50	7.64	7.92	8.03
32068	5.62	6.35	6.74	7.06	7.41	7.65	8.13	8.32	8.71	8.87
32069	5.32	5.92	6.23	6.49	6.78	6.97	7.36	7.51	7.83	7.96
32070	5.73	6.35	6.68	6.95	7.25	7.46	7.87	8.02	8.36	8.49
32072	5.70	6.36	6.71	7.00	7.32	7.53	7.97	8.14	8.49	8.63
32073	5.29	5.84	6.13	6.37	6.64	6.82	7.18	7.32	7.62	7.74
32085	5.87	6.52	6.85	7.13	7.45	7.65	8.08	8.24	8.58	8.72
32086	5.51	6.09	6.39	6.64	6.92	7.11	7.49	7.63	7.94	8.06
32097	5.60	6.23	6.56	6.84	7.15	7.35	7.77	7.92	8.26	8.40
32098	5.39	5.79	6.00	6.18	6.38	6.51	6.77	6.87	7.09	7.17
32100	5.24	5.70	5.95	6.15	6.37	6.52	6.83	6.95	7.19	7.29
32101	5.07	5.68	6.00	6.26	6.56	6.75	7.15	7.31	7.63	7.76
32103	5.32	5.85	6.12	6.35	6.61	6.78	7.12	7.25	7.53	7.64
32104	5.29	5.93	6.26	6.54	6.85	7.05	7.47	7.64	7.98	8.11

Continuación

Estación / Tr	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32105	5.83	6.31	6.56	6.77	7.00	7.16	7.47	7.60	7.85	7.95
32108	5.37	5.95	6.25	6.50	6.77	6.96	7.34	7.48	7.79	7.91
32109	5.29	5.77	6.02	6.23	6.46	6.62	6.94	7.06	7.31	7.42
32111	5.70	6.18	6.43	6.63	6.86	7.02	7.33	7.45	7.70	7.80
32112	5.62	6.21	6.52	6.77	7.06	7.25	7.64	7.79	8.10	8.23
32113	5.58	6.22	6.56	6.84	7.15	7.36	7.78	7.94	8.28	8.42
32114	5.25	5.90	6.24	6.52	6.84	7.05	7.48	7.64	7.99	8.13
32117	5.29	5.92	6.24	6.51	6.82	7.02	7.43	7.59	7.93	8.06
32118	5.60	6.21	6.52	6.78	7.08	7.27	7.67	7.82	8.14	8.27
32119	5.40	5.98	6.29	6.54	6.82	7.01	7.39	7.53	7.84	7.97
32120	5.19	5.77	6.08	6.33	6.61	6.80	7.18	7.32	7.63	7.76
32121	5.30	5.98	6.34	6.63	6.96	7.18	7.63	7.80	8.16	8.31
32122	5.72	6.31	6.61	6.87	7.15	7.34	7.72	7.87	8.18	8.31
32123	5.12	5.76	6.10	6.38	6.69	6.90	7.32	7.48	7.83	7.96
32124	5.51	6.07	6.37	6.61	6.88	7.06	7.43	7.57	7.87	7.99
32125	5.80	6.21	6.43	6.60	6.81	6.94	7.21	7.31	7.54	7.62
32126	5.29	5.99	6.35	6.65	6.99	7.21	7.67	7.85	8.22	8.37
32127	5.44	6.01	6.31	6.56	6.84	7.02	7.40	7.54	7.85	7.97
32129	5.67	6.14	6.39	6.60	6.83	6.99	7.30	7.42	7.68	7.78
32131	5.25	5.80	6.09	6.32	6.59	6.77	7.13	7.27	7.57	7.68
32132	5.33	5.97	6.31	6.58	6.90	7.11	7.53	7.69	8.03	8.17
32133	5.31	6.02	6.40	6.70	7.05	7.28	7.75	7.93	8.31	8.46
32135	5.51	5.98	6.22	6.42	6.65	6.80	7.11	7.23	7.48	7.58
32136	5.53	6.02	6.29	6.50	6.74	6.90	7.23	7.35	7.62	7.73
32139	6.13	6.65	6.93	7.16	7.41	7.58	7.93	8.06	8.34	8.46
32140	6.01	6.41	6.62	6.79	6.98	7.11	7.37	7.47	7.69	7.77
32142	5.48	6.11	6.43	6.70	7.00	7.20	7.61	7.77	8.10	8.23
32143	6.06	6.51	6.75	6.94	7.16	7.31	7.60	7.72	7.96	8.05

Una vez estimado $\hat{\lambda}_T$ se calcula las precipitaciones de diseño, aplicando la ecuación de estimación de eventos de Box-Cox (ecuación 150 ya que $\lambda_{regional}$ son diferentes a cero) para diferentes periodos de retorno, los resultados de la región I se muestran en la tabla 5.28 y los de la región II se muestran en la tabla 5.29.

Tabla 5.28 Precipitaciones de diseño para diferentes Tr con la técnica regional Box-Cox.
Región I

Estación / Tr	\widehat{hp}_T									
	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32001	34.230	48.638	58.309	67.641	79.834	89.090	111.032	120.757	144.127	154.567
32003	38.212	52.737	62.291	71.394	83.144	91.971	112.632	121.687	143.233	152.772
32004	29.808	44.340	54.409	64.321	77.519	87.703	112.328	123.433	150.536	162.813
32005	36.268	51.807	62.276	72.402	85.660	95.744	119.704	130.345	155.963	167.425
32007	31.642	43.819	51.848	59.509	69.412	76.861	94.322	101.985	120.240	128.330
32011	39.924	58.371	71.000	83.340	99.653	112.163	142.190	155.643	188.286	202.996
32021	42.304	58.464	69.103	79.246	92.346	102.192	125.252	135.364	159.436	170.097
32022	35.496	56.072	70.932	85.945	106.433	122.578	162.641	181.118	227.119	248.335
32023	37.567	52.948	63.214	73.087	85.942	95.672	118.657	128.813	153.152	163.997
32036	33.036	46.354	55.214	63.719	74.771	83.124	102.816	111.501	132.285	141.534
32038	32.204	48.062	59.075	69.931	84.406	95.587	122.663	134.888	164.758	178.302
32040	32.131	46.072	55.488	64.612	76.576	85.688	107.375	117.020	140.270	150.685
32045	36.072	53.561	65.662	77.567	93.404	105.616	135.124	148.422	180.857	195.541
32047	38.374	59.029	73.676	88.305	108.053	123.472	161.298	178.573	221.204	240.712
32048	34.947	49.801	59.791	69.445	82.072	91.667	114.443	124.549	148.858	159.727
32050	31.649	44.704	53.431	61.831	72.777	81.070	100.677	109.347	130.142	139.414
32052	27.668	45.402	58.547	72.047	90.757	105.698	143.377	161.000	205.422	226.141
32054	41.047	59.756	72.527	84.982	101.419	114.004	144.156	157.643	190.322	205.029
32065	42.044	64.129	79.697	95.191	116.033	132.258	171.916	189.970	234.400	254.679
32076	34.273	50.244	61.199	71.916	86.099	96.986	123.147	134.881	163.377	176.229
32078	36.291	52.215	62.996	73.458	87.196	97.672	122.642	133.762	160.597	172.631
32084	38.957	60.831	76.502	92.256	113.654	130.448	171.916	190.959	238.188	259.896
32087	31.518	46.750	57.283	67.639	81.411	92.027	117.667	129.217	157.378	170.125
32093	46.792	66.092	78.994	91.412	107.596	119.856	148.844	161.662	192.404	206.112
32099	34.715	50.625	61.498	72.111	86.126	96.863	122.608	134.131	162.067	174.646
32107	41.015	59.397	71.899	84.065	100.085	112.328	141.594	154.659	186.258	200.457
32110	35.003	54.532	68.502	82.532	101.570	116.500	153.328	170.226	212.105	231.340
32116	39.430	56.258	67.585	78.536	92.868	103.763	129.639	141.125	168.766	181.130
32134	35.147	51.425	62.574	73.473	87.884	98.939	125.481	137.376	166.246	179.259
32137	39.676	54.703	64.581	73.988	86.126	95.241	116.567	125.910	148.135	157.971

Tabla 5.29 Precipitaciones de diseño para diferentes Tr con la técnica regional Box-Cox.
Región II

Estación / Tr	\widehat{hp}_T									
	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32002	39.83	52.84	60.90	68.28	77.43	84.07	98.92	105.16	119.45	125.56
32006	38.24	51.12	59.15	66.52	75.69	82.34	97.27	103.56	117.99	124.17
32009	36.90	47.58	54.08	59.98	67.24	72.45	84.02	88.84	99.81	104.47
32012	38.93	52.61	61.18	69.09	78.94	86.12	102.28	109.11	124.81	131.55
32013	43.38	54.81	61.70	67.90	75.47	80.88	92.81	97.75	108.94	113.68
32015	38.71	52.94	61.93	70.24	80.65	88.26	105.45	112.73	129.54	136.76
32016	48.90	62.39	70.57	77.95	87.00	93.48	107.82	113.78	127.30	133.03
32017	42.13	53.55	60.45	66.68	74.29	79.75	91.79	96.79	108.13	112.93
32018	36.93	47.18	53.39	59.00	65.88	70.82	81.73	86.26	96.57	100.93
32019	52.10	65.39	73.36	80.52	89.25	95.48	109.17	114.83	127.64	133.04
32020	39.50	55.05	64.97	74.21	85.85	94.40	113.82	122.09	141.25	149.52
32024	42.68	55.52	63.39	70.55	79.38	85.74	99.89	105.80	119.29	125.03
32025	43.85	57.37	65.68	73.25	82.60	89.36	104.39	110.69	125.07	131.20
32026	38.40	51.56	59.78	67.34	76.75	83.60	98.96	105.45	120.34	126.71
32027	34.15	46.47	54.22	61.38	70.33	76.86	91.59	97.83	112.19	118.36
32030	44.02	54.62	60.94	66.59	73.44	78.32	89.00	93.41	103.34	107.52
32032	51.59	62.48	68.87	74.55	81.37	86.20	96.68	100.97	110.59	114.62
32033	45.88	61.57	71.36	80.36	91.57	99.72	118.02	125.74	143.47	151.06
32034	41.09	49.84	54.99	59.55	65.05	68.94	77.39	80.85	88.60	91.85
32037	46.69	58.55	65.67	72.06	79.85	85.40	97.61	102.66	114.07	118.89
32042	45.41	54.73	60.19	65.03	70.84	74.94	83.83	87.47	95.61	99.01
32043	46.35	60.18	68.65	76.35	85.83	92.66	107.85	114.19	128.65	134.80
32046	41.63	57.00	66.70	75.69	86.94	95.17	113.76	121.64	139.83	147.65
32051	40.88	52.42	59.43	65.77	73.55	79.14	91.50	96.65	108.35	113.31
32055	42.92	54.89	62.16	68.72	76.77	82.55	95.32	100.64	112.71	117.82
32056	58.89	70.78	77.73	83.87	91.25	96.45	107.73	112.33	122.63	126.93
32057	50.40	67.51	78.18	87.98	100.17	109.03	128.92	137.30	156.55	164.78
32058	41.12	54.18	62.25	69.61	78.73	85.33	100.06	106.24	120.37	126.40
32059	44.61	58.68	67.36	75.29	85.09	92.18	108.00	114.63	129.80	136.26
32061	42.06	57.42	67.10	76.05	87.26	95.45	113.92	121.75	139.80	147.55
32063	42.28	55.17	63.09	70.30	79.20	85.62	99.90	105.88	119.53	125.33
32067	47.29	60.71	68.87	76.25	85.32	91.83	106.25	112.26	125.91	131.70
32068	45.82	64.66	76.77	88.10	102.42	112.98	137.04	147.33	171.22	181.55
32069	39.53	52.79	61.04	68.61	78.02	84.86	100.18	106.63	121.43	127.76
32070	48.27	64.61	74.80	84.15	95.79	104.25	123.21	131.21	149.56	157.41
32072	47.62	64.89	75.77	85.83	98.41	107.60	128.32	137.09	157.31	166.00
32073	38.94	51.00	58.42	65.18	73.53	79.56	93.00	98.63	111.49	116.97
32085	51.72	69.57	80.73	90.99	103.78	113.09	134.00	142.82	163.10	171.78
32086	43.55	57.31	65.80	73.55	83.15	90.08	105.57	112.06	126.91	133.24
32097	45.38	61.17	71.04	80.14	91.48	99.73	118.28	126.11	144.12	151.84
32098	40.95	49.82	55.04	59.68	65.27	69.23	77.84	81.37	89.29	92.61
32100	37.99	47.72	53.57	58.82	65.23	69.80	79.85	84.01	93.41	97.38
32101	34.98	47.24	54.93	62.01	70.84	77.27	91.75	97.86	111.93	117.96

Continuación

Estación / Tr	\widehat{hp}_T									
	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000
32103	39.65	51.16	58.18	64.55	72.38	78.01	90.50	95.71	107.57	112.61
32104	38.89	53.03	61.95	70.19	80.50	88.03	105.02	112.21	128.80	135.93
32105	50.76	63.45	71.04	77.86	86.14	92.05	105.02	110.38	122.48	127.59
32108	40.60	53.56	61.58	68.91	77.98	84.54	99.21	105.36	119.45	125.46
32109	38.91	49.23	55.46	61.06	67.91	72.82	83.61	88.09	98.24	102.53
32111	47.70	59.63	66.78	73.18	80.98	86.54	98.74	103.78	115.17	119.97
32112	45.79	60.48	69.56	77.87	88.16	95.60	112.24	119.23	135.21	142.03
32113	44.96	60.88	70.87	80.08	91.58	99.96	118.84	126.82	145.18	153.06
32114	38.12	52.36	61.37	69.72	80.19	87.85	105.18	112.53	129.51	136.81
32117	38.96	52.80	61.49	69.51	79.52	86.82	103.26	110.21	126.21	133.07
32118	45.49	60.47	69.76	78.28	88.85	96.51	113.67	120.89	137.42	144.49
32119	41.23	54.50	62.71	70.22	79.52	86.25	101.30	107.63	122.09	128.27
32120	37.12	49.33	56.92	63.87	72.49	78.75	92.75	98.63	112.13	117.90
32121	39.25	54.51	64.23	73.27	84.65	93.00	111.95	120.01	138.67	146.72
32122	48.18	63.30	72.62	81.13	91.65	99.26	116.22	123.33	139.59	146.52
32123	35.70	49.03	57.46	65.28	75.08	82.26	98.47	105.35	121.25	128.08
32124	43.49	56.83	65.02	72.49	81.70	88.35	103.16	109.35	123.50	129.53
32125	49.89	60.53	66.79	72.35	79.04	83.77	94.05	98.26	107.70	111.65
32126	38.96	54.55	64.52	73.83	85.56	94.19	113.82	122.19	141.60	149.99
32127	41.95	55.21	63.39	70.85	80.09	86.78	101.69	107.94	122.24	128.34
32129	46.90	58.76	65.86	72.24	80.01	85.55	97.73	102.76	114.14	118.94
32131	38.15	49.94	57.18	63.79	71.95	77.84	90.97	96.46	109.01	114.36
32132	39.68	54.14	63.26	71.69	82.23	89.94	107.32	114.69	131.66	138.96
32133	39.42	55.56	65.92	75.61	87.85	96.87	117.43	126.21	146.60	155.42
32135	43.36	54.29	60.84	66.72	73.88	78.98	90.19	94.82	105.29	109.71
32136	43.83	55.57	62.67	69.06	76.87	82.47	94.80	99.92	111.53	116.44
32139	58.27	73.95	83.42	91.96	102.40	109.88	126.37	133.22	148.74	155.30
32140	55.12	66.20	72.69	78.42	85.30	90.15	100.66	104.95	114.55	118.56
32142	42.92	57.73	66.98	75.50	86.11	93.82	111.16	118.48	135.29	142.50
32143	56.47	69.37	77.01	83.82	92.06	97.91	110.66	115.91	127.71	132.66

5.4.5 Método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada

Para cada estación se obtiene los momentos de probabilidad pesada y posteriormente se estandarizan dividiendo los cuatro momentos entre $\widehat{M}_{(0)}^j$. Se estiman los momentos regionales de probabilidad pesada siguiendo la ecuación 153 para calcular los parámetros de la distribución Gumbel. En la tabla 5.29 y 5.30 se presenta los resultados de los momentos de probabilidad pesada de la región I y II respectivamente además de los momentos estandarizados por el momento de orden cero correspondientes de cada estación.

Tabla 5.29 M. P. P. y M. P. P. estandarizados de la región I

	\hat{M}_0	\hat{M}_1	\hat{M}_2	\hat{M}_3	m_0	m_1	m_2	m_3
32001	37.54	23.37	17.59	14.38	1	0.62	0.47	0.38
32003	40.93	24.65	18.13	14.57	1	0.60	0.44	0.36
32004	33.21	21.15	16.05	13.10	1	0.64	0.48	0.39
32005	39.38	24.24	17.93	14.39	1	0.62	0.46	0.37
32007	34.11	20.93	15.66	12.74	1	0.61	0.46	0.37
32011	43.96	27.54	20.59	16.64	1	0.63	0.47	0.38
32021	45.56	27.98	20.95	17.01	1	0.61	0.46	0.37
32022	40.76	26.55	20.24	16.56	1	0.65	0.50	0.41
32023	40.65	25.20	18.84	15.23	1	0.62	0.46	0.37
32036	35.61	21.77	16.04	12.83	1	0.61	0.45	0.36
32038	35.82	22.72	17.08	13.83	1	0.63	0.48	0.39
32040	34.92	21.49	16.00	12.93	1	0.62	0.46	0.37
32045	40.30	25.69	19.53	16.02	1	0.64	0.48	0.40
32047	42.64	26.51	19.55	15.64	1	0.62	0.46	0.37
32048	38.04	23.60	17.66	14.32	1	0.62	0.46	0.38
32050	34.22	21.06	15.57	12.49	1	0.62	0.45	0.36
32052	32.57	21.60	16.67	13.75	1	0.66	0.51	0.42
32054	45.01	27.89	20.78	16.79	1	0.62	0.46	0.37
32065	47.12	30.02	22.57	18.26	1	0.64	0.48	0.39
32076	37.41	23.06	16.85	13.35	1	0.62	0.45	0.36
32078	39.36	24.14	17.80	14.26	1	0.61	0.45	0.36
32084	43.92	27.95	20.88	16.81	1	0.64	0.48	0.38
32087	34.73	21.72	16.07	12.85	1	0.63	0.46	0.37
32093	50.52	31.04	22.87	18.26	1	0.61	0.45	0.36
32099	37.99	23.61	17.48	13.99	1	0.62	0.46	0.37
32107	45.04	28.37	21.39	17.37	1	0.63	0.47	0.39
32110	39.52	25.40	19.20	15.67	1	0.64	0.49	0.40
32116	42.63	26.10	19.28	15.48	1	0.61	0.45	0.36
32134	38.65	24.28	18.24	14.82	1	0.63	0.47	0.38
32137	42.49	25.97	19.20	15.37	1	0.61	0.45	0.36

Tabla 5.30 M. P. P. y M. P. P. estandarizados de la región II

	\hat{M}_0	\hat{M}_1	\hat{M}_2	\hat{M}_3	m_0	m_1	m_2	m_3
32002	41.60	24.45	17.56	13.80	1	0.59	0.42	0.33
32006	40.18	24.09	17.64	14.10	1	0.60	0.44	0.35
32009	38.26	22.44	16.14	12.68	1	0.59	0.42	0.33
32010	40.24	23.54	16.95	13.35	1	0.58	0.42	0.33
32012	40.99	24.75	18.05	14.29	1	0.60	0.44	0.35
32013	44.76	25.87	18.51	14.53	1	0.58	0.41	0.32
32015	40.98	24.91	18.27	14.52	1	0.61	0.45	0.35
32016	50.65	29.58	21.37	16.92	1	0.58	0.42	0.33
32017	43.55	25.31	18.15	14.25	1	0.58	0.42	0.33
32018	38.24	22.31	16.04	12.62	1	0.58	0.42	0.33
32019	53.70	31.08	22.31	17.53	1	0.58	0.42	0.33
32020	42.07	25.59	18.77	14.97	1	0.61	0.45	0.36
32024	44.51	26.40	19.37	15.50	1	0.59	0.44	0.35
32025	45.61	26.61	19.02	14.89	1	0.58	0.42	0.33
32026	40.39	24.41	17.96	14.33	1	0.60	0.44	0.35
32027	36.15	21.99	16.26	13.06	1	0.61	0.45	0.36
32028	42.81	26.05	19.10	15.23	1	0.61	0.45	0.36
32030	45.26	25.97	18.64	14.71	1	0.57	0.41	0.33
32032	52.67	29.64	20.92	16.28	1	0.56	0.40	0.31
32033	48.24	28.95	21.13	16.81	1	0.60	0.44	0.35
32034	41.97	23.73	16.76	13.04	1	0.57	0.40	0.31
32037	48.10	27.78	19.95	15.69	1	0.58	0.41	0.33
32039	45.84	28.29	20.79	16.57	1	0.62	0.45	0.36
32041	40.74	25.39	18.78	15.05	1	0.62	0.46	0.37
32042	46.35	26.17	18.61	14.59	1	0.56	0.40	0.31
32043	48.20	28.35	20.43	16.11	1	0.59	0.42	0.33
32046	44.14	26.76	19.71	15.81	1	0.61	0.45	0.36
32049	38.80	23.44	17.26	13.83	1	0.60	0.44	0.36
32051	42.33	24.58	17.53	13.71	1	0.58	0.41	0.32
32053	42.28	25.82	19.15	15.43	1	0.61	0.45	0.37
32055	44.55	26.01	18.88	15.03	1	0.58	0.42	0.34
32056	60.00	33.65	23.61	18.27	1	0.56	0.39	0.30
32057	52.91	31.50	23.01	18.33	1	0.60	0.43	0.35
32058	42.90	25.21	18.02	14.08	1	0.59	0.42	0.33
32059	46.68	27.84	20.44	16.37	1	0.60	0.44	0.35
32061	44.51	26.94	19.79	15.83	1	0.61	0.44	0.36
32062	54.02	36.21	28.13	23.26	1	0.67	0.52	0.43
32063	44.04	26.00	18.84	14.95	1	0.59	0.43	0.34

Continuación

	\hat{M}_0	\hat{M}_1	\hat{M}_2	\hat{M}_3	m_0	m_1	m_2	m_3
32067	49.09	28.79	20.92	16.64	1	0.59	0.43	0.34
32068	48.93	29.80	21.89	17.50	1	0.61	0.45	0.36
32069	41.52	24.98	18.33	14.64	1	0.60	0.44	0.35
32070	50.73	30.15	22.02	17.61	1	0.59	0.43	0.35
32072	50.40	30.58	22.48	17.95	1	0.61	0.45	0.36
32073	40.63	24.10	17.55	13.95	1	0.59	0.43	0.34
32085	54.49	32.93	24.32	19.49	1	0.60	0.45	0.36
32086	45.42	26.79	19.26	15.14	1	0.59	0.42	0.33
32095	49.52	29.96	22.18	17.91	1	0.61	0.45	0.36
32097	47.77	28.68	20.91	16.62	1	0.60	0.44	0.35
32098	41.85	23.70	16.77	13.08	1	0.57	0.40	0.31
32100	39.17	22.71	16.39	12.96	1	0.58	0.42	0.33
32101	36.82	22.00	16.11	12.90	1	0.60	0.44	0.35
32103	41.16	24.17	17.49	13.84	1	0.59	0.42	0.34
32104	41.00	24.64	17.84	14.09	1	0.60	0.44	0.34
32105	52.24	30.10	21.61	17.05	1	0.58	0.41	0.33
32106	38.13	24.20	17.90	14.27	1	0.63	0.47	0.37
32108	42.49	25.34	18.58	14.86	1	0.60	0.44	0.35
32109	40.16	23.35	16.80	13.25	1	0.58	0.42	0.33
32111	49.03	27.95	19.86	15.55	1	0.57	0.40	0.32
32112	47.81	28.24	20.29	15.94	1	0.59	0.42	0.33
32113	47.38	28.56	20.82	16.49	1	0.60	0.44	0.35
32114	40.36	24.46	17.90	14.23	1	0.61	0.44	0.35
32117	40.98	24.36	17.50	13.75	1	0.59	0.43	0.34
32118	47.70	28.48	17.20	11.76	1	0.60	0.36	0.25
32119	43.21	25.87	19.04	15.28	1	0.60	0.44	0.35
32120	38.86	23.18	16.80	13.26	1	0.60	0.43	0.34
32121	41.72	25.34	18.51	14.74	1	0.61	0.44	0.35
32122	50.30	29.90	21.74	17.27	1	0.59	0.43	0.34
32123	37.75	22.75	16.47	0.59	1	0.60	0.44	0.02
32124	45.35	26.87	19.64	15.68	1	0.59	0.43	0.35
32125	50.98	28.94	20.64	16.18	1	0.57	0.40	0.32
32126	41.50	25.21	18.38	14.59	1	0.61	0.44	0.35
32127	43.88	26.05	19.10	15.32	1	0.59	0.44	0.35
32129	48.26	27.79	19.75	15.39	1	0.58	0.41	0.32
32130	46.42	28.24	20.91	16.80	1	0.61	0.45	0.36
32131	39.75	23.47	16.95	13.37	1	0.59	0.43	0.34
32132	41.89	25.23	18.46	14.72	1	0.60	0.44	0.35
32133	42.20	26.10	19.30	15.42	1	0.62	0.46	0.37

Continuación

	\hat{M}_0	\hat{M}_1	\hat{M}_2	\hat{M}_3	m_0	m_1	m_2	m_3
32135	44.67	25.83	18.62	14.74	1	0.58	0.42	0.33
32136	45.22	26.18	18.68	14.64	1	0.58	0.41	0.32
32139	60.20	35.16	25.39	20.01	1	0.58	0.42	0.33
32140	56.23	31.62	22.60	17.83	1	0.56	0.40	0.32
32141	48.40	28.51	20.93	16.77	1	0.59	0.43	0.35
32142	45.14	27.18	19.88	15.82	1	0.60	0.44	0.35
32143	57.82	32.88	23.25	18.10	1	0.57	0.40	0.31
32144	39.88	23.81	17.34	13.76	1	0.60	0.43	0.34
32184	39.35	26.61	21.19	18.02	1	0.68	0.54	0.46
32187	49.54	31.08	23.45	19.15	1	0.63	0.47	0.39

A partir de los momentos estandarizados se obtienen los valores regionales ($m_{(k)}^R$), con estos valores se ajusta la distribución Gumbel para estimar los factores regionales para diferentes periodos de retorno que se presentan en la tabla 5.32. Los momentos regionales de probabilidad pesada son usados para calcular los parámetros $\hat{\alpha}$ y $\hat{\mu}$ estimados por momentos-L y los resultados se observan en la tabla 5.31.

Tabla 5.31 Momentos regionales de probabilidad pesada y parámetros por momentos-L

	Región I	Región II
m_0^R	1	1
m_1^R	0.62	0.59
m_2^R	0.47	0.43
m_3^R	0.34	0.34
$\lambda_1=$	1.00	1.00
$\lambda_2=$	0.25	0.19
$\lambda_3=$	0.05	0.02
$\lambda_4=$	0.04	-0.03
$\hat{\alpha}=$	0.83	0.63
$\hat{\mu}=$	0.52	0.64

Tabla 5.32 Factores regionales para diferentes Tr por el método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada

Tr	F(x)	Región I	Región II
		\hat{x}_T	\hat{x}_T
2	0.5	0.83	0.87
5	0.2	1.77	1.58
10	0.1	2.39	2.05
20	0.05	2.98	2.50
50	0.02	3.76	3.08
100	0.01	4.34	3.52
500	0.002	5.67	4.52
1000	0.001	6.25	4.96
5000	0.0002	7.59	5.96
10000	0.0001	8.16	6.40

Capítulo 6. Análisis de resultados

Los resultados de los factores regionales para obtener precipitaciones de diseño asociado a un cierto periodo de retorno que se obtuvieron en la aplicación de cada técnica se presentan en forma de resumen en las tablas de 6.1 a 6.4.

Tabla 6. 1 Factores regionales con las técnicas: Estación-año, Box-Cox y M.E.P.P.

Factores regionales. Región I			
Tr	Estación-año	Box-Cox	Momentos estandarizados de probabilidad pesada
2	0.92	39.68	0.83
5	1.33	54.70	1.77
10	1.60	64.58	2.39
20	1.86	73.99	2.98
50	2.20	86.13	3.76
100	2.45	95.24	4.34
500	3.03	116.57	5.67
1000	3.28	125.91	6.25
5000	3.86	148.14	7.59
10000	4.11	157.97	8.16

Tabla 6. 2 Coeficientes por correlación y regresión múltiple

Correlación y regresión múltiple. Región I				
Tr	a	b₁	b₂	b₃
2	13.11	0.37	-0.05	0.61
5	8.92	0.57	0.63	0.63
10	6.15	0.69	1.08	0.65
20	3.49	0.82	1.52	0.66
50	0.05	0.98	2.08	0.68
100	-2.52	1.09	2.49	0.69
500	-8.48	1.37	3.46	0.72
1000	-11.04	1.49	3.88	0.73
5000	-16.98	1.76	4.85	0.76
10000	-19.54	1.88	5.26	0.77

Tabla 6. 3 Factores regionales con las técnicas: Estación-año, Box-Cox y M.E.P.P.

Factores regionales. Región II			
Tr	Estación-año	Box-Cox	Momentos estandarizados de probabilidad pesada
2	0.95	5.87	5.87
5	1.23	6.52	6.52
10	1.42	6.85	6.85
20	1.60	7.13	7.13
50	1.84	7.45	7.45
100	2.01	7.65	7.65
500	2.42	8.08	8.08
1000	2.60	8.24	8.24
5000	3.00	8.58	8.58
10000	3.18	8.72	8.72

Tabla 6. 4 Coeficientes por correlación y regresión múltiple

Correlación y regresión múltiple. Región II				
Tr	a	b₁	b₂	b₃
2	15.33	0.47	-0.11	0.29
5	9.09	0.70	0.47	0.36
10	4.96	0.85	0.85	0.41
20	1.00	0.99	1.22	0.46
50	-4.13	1.18	1.69	0.52
100	-7.97	1.32	2.05	0.56
500	-16.85	1.65	2.87	0.67
1000	-20.67	1.79	3.23	0.71
5000	-29.53	2.11	4.05	0.81
10000	-33.34	2.25	4.41	0.86

Para obtener la precipitación de diseño de algún sitio dentro del estado de Zacatecas y haciendo uso de las técnicas: estaciones-año y el método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada sólo debe multiplicarse el factor regional asociado al periodo de retorno requerido por la precipitación media del sitio. De manera diferente se aplica el método regional de la transformación de Box-Cox ya que si se requiere conocer algún evento es necesario aplicar la ecuación 150 donde se hace uso de lambda regional, las precipitaciones de diseño de todas las estaciones se presentaron en capítulo 5.4.4 por lo que no se volverán a estimar en este apartado. Por último al aplicar la técnica de correlación y regresión múltiple con el mismo objetivo, sólo se debe sustituir en la ecuación regional del periodo

requerido (tabla 5.23 y 5.24) la media en x_1 , la desviación estándar en x_2 y el coeficiente de curtosis en x_3 .

Para poder evaluar el desempeño de cada uno de los métodos fue tomada de forma aleatoria una estación de cada región y se realizó un análisis de frecuencia puntual. La estación elegida para la región I es la 32137 y para la región II la 32085. Para la estación 32137 la distribución Doble Gumbel presentó menor error estándar de ajuste y para la estación 32085 la distribución Gamma con tres parámetros, además de ajustarse a la distribución Gumbel (ya que es la distribución que mejor se ajustó para ambas regiones). Con dichas distribuciones se estimaron eventos asociados periodos de retorno igual a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000 años para poder comparar la variación entre en el análisis regional y puntual y definir con que técnica se obtuvieron mejores resultados.

En la tabla 6.5 se observa en la segunda y tercera columna el análisis puntual, en las siguientes los resultados de las precipitaciones de diseño para la estación 32137 de cada técnica aplicada. Puede apreciarse que con el método regional de la transformación de Box-Cox y estaciones-año se obtienen mejores resultados comparando con los dos análisis puntuales. En la técnica de estaciones-año se observa que la diferencia entre el análisis regional y puntual aumenta cuando se refiere a un periodo de retorno mayor, donde se presenta mayor diferencia es para el Tr de 10000 años con un 27.7% lo cual se considera aceptable. Lo mismo sucede con Box-Cox donde la mayor diferencia es en el Tr=10000 años con una diferencia de 13.52%.

Tabla 6.5 Precipitaciones de diseño obtenidas con las técnicas de regionalización.

Región I. Estación 32137						
Tr	Puntual. Doble Gumbel	Puntual. Gumbel	Estación-año	Correlación y regresión múltiple	Box-Cox	Momentos estandarizados de probabilidad pesada
2	38.26	39.74	39.28	29.94	39.68	35.07
5	59.67	54.59	56.60	45.42	54.70	75.02
10	69.59	64.42	68.07	55.67	64.58	101.46
20	77.29	73.85	79.07	65.50	73.99	126.83
50	86.52	86.06	93.31	78.22	86.13	159.67
100	93.23	95.20	103.99	87.76	95.24	184.28
500	108.5	116.34	128.65	109.79	116.57	241.15
1000	115.07	125.43	139.25	119.27	125.91	265.60
5000	130.17	146.52	163.85	141.25	148.14	322.34
10000	136.61	155.60	174.45	150.72	157.97	346.77

Para la técnica de correlación y regresión múltiple podemos observar de la tabla 6.5, que entre los valores puntuales y regionales existe una mayor diferencia en los periodos de retorno menor comparado con los periodos de retorno mayor, por lo que podemos decir que esta técnica entrega valores más próximos a los puntuales en periodos de retorno grandes. Por último, la técnica de los momentos estandarizados de probabilidad pesada no consigue representar las precipitaciones de diseño de la estación, se nota una gran diferencia entre los valores regionales y puntuales haciendo a esta técnica la menos convincente.

Para la región II de manera análoga se evalúa los factores regionales obtenidos con cada metodología. En la tabla 6.6 se observa el análisis puntual y regional de la estación 32085.

Tabla 6.6 Precipitaciones de diseño obtenidas con las técnicas de regionalización.

Región II. Estación 32085						
Tr	Puntual. Distribución Gamma 3 p.	Puntual. Gumbel	Estación- año	Correlación y regresión múltiple	Box-Cox	Momentos estandarizados de probabilidad pesada
2	49.48	51.12	51.60	39.38	51.72	319.95
5	69.25	69.28	67.17	58.04	69.57	355.08
10	82.76	81.31	77.47	70.40	80.73	373.46
20	95.61	92.85	87.36	82.25	90.99	388.64
50	111.75	107.78	100.16	97.59	103.78	405.72
100	123.26	118.98	109.75	109.08	113.09	417.10
500	145.91	144.84	131.91	135.64	134.00	440.14
1000	152.75	155.96	141.44	147.06	142.82	448.99
5000	161.48	181.76	163.55	173.57	163.10	467.77
10000	162.81	192.87	173.07	184.98	171.78	475.23

De la tabla anterior se observa que la técnica de estaciones-año y Box-Cox nuevamente presentan menores diferencias respecto al análisis puntual. En la técnicas de estaciones-año la mayor diferencia entre el análisis regional y puntual se presenta para el periodo de retorno igual a 100 años con un 10.96% y para Box-Cox de 10.93% presentado en el periodo de retorno de 10000 años. La técnica de correlación y regresión múltiple tuvo el mismo comportamiento que en el análisis de la región I, ya que al comparar entre las precipitaciones de diseño puntual y regional con periodos de retorno menor la diferencia es grande y en periodos de retorno mayores los valores son próximos. En el caso del método de momentos estandarizados de probabilidad pesada los valores regionales obtenidos son totalmente diferentes al puntual por lo que esta técnica no es seleccionada como la mejor.

Una vez evaluando y comparado las técnicas de regionalización podemos decir que para ambas regiones la técnica de estaciones-año y el método regional de la transformación de Box-Cox son las más apropiadas para obtener precipitaciones de diseño para las regiones definidas en los apartados anteriores. Por lo que a continuación se presenta las precipitaciones de diseño para las estaciones usadas en esta tesis, haciendo uso de la técnica de estaciones-año. La tabla 6.7 corresponde a las estaciones que pertenecen a la Región I y la tabla 6.8 a la Región II. Las lluvias de diseño estimadas con Box-Cox pueden ser consultadas en el capítulo 5.4.4. (tabla 5.28 y 5.29).

Tabla 6.7 Precipitaciones de diseño por estaciones-año. Región I

Tr	Factor regional	32001	32003	32004	32005	32007	32011
2	0.92	34.70	37.83	30.70	36.40	31.52	40.63
5	1.33	50.01	54.52	44.23	52.45	45.43	58.55
10	1.60	60.14	65.57	53.20	63.08	54.63	70.42
20	1.86	69.86	76.16	61.80	73.27	63.46	81.80
50	2.20	82.44	89.88	72.92	86.47	74.90	96.53
100	2.45	91.87	100.16	81.26	96.36	83.46	107.57
500	3.03	113.66	123.91	100.54	119.21	103.25	133.08
1000	3.28	123.02	134.12	108.82	129.03	111.76	144.05
5000	3.86	144.76	157.82	128.05	151.83	131.51	169.50
10000	4.11	154.12	168.03	136.33	161.65	140.01	180.46

Continuación

Tr	Factor regional	32021	32022	32023	32036	32038	32040
2	0.92	42.11	37.67	37.57	32.91	33.11	32.28
5	1.33	60.69	54.29	54.14	47.43	47.72	46.51
10	1.60	72.99	65.29	65.11	57.04	57.39	55.94
20	1.86	84.78	75.84	75.64	66.26	66.66	64.98
50	2.20	100.05	89.50	89.26	78.19	78.67	76.68
100	2.45	111.50	99.74	99.46	87.14	87.67	85.45
500	3.03	137.94	123.39	123.05	107.80	108.46	105.71
1000	3.28	149.31	133.56	133.19	116.69	117.40	114.43
5000	3.86	175.69	157.16	156.73	137.30	138.14	134.65
10000	4.11	187.05	167.32	166.86	146.18	147.07	143.35

Continuación

Tr	Factor regional	32045	32047	32048	32050	32052	32054
2	0.92	37.25	39.41	35.16	31.63	30.10	41.61
5	1.33	53.67	56.79	50.67	45.58	43.38	59.96
10	1.60	64.55	68.30	60.94	54.82	52.17	72.11
20	1.86	74.98	79.34	70.79	63.68	60.60	83.76
50	2.20	88.49	93.63	83.54	75.15	71.52	98.85
100	2.45	98.61	104.34	93.09	83.74	79.70	110.16
500	3.03	121.99	129.08	115.17	103.60	98.60	136.28
1000	3.28	132.04	139.72	124.66	112.14	106.72	147.51
5000	3.86	155.38	164.41	146.69	131.95	125.58	173.58
10000	4.11	165.42	175.04	156.17	140.49	133.70	184.80

Continuación

Tr	Factor regional	32065	32076	32078	32084	32087	32093
2	0.92	43.56	34.58	36.38	40.60	32.10	46.69
5	1.33	62.77	49.84	52.43	58.50	46.26	67.29
10	1.60	75.49	59.94	63.05	70.36	55.63	80.92
20	1.86	87.69	69.62	73.24	81.73	64.63	94.00
50	2.20	103.48	82.16	86.43	96.45	76.26	110.93
100	2.45	115.32	91.56	96.32	107.48	84.99	123.62
500	3.03	142.67	113.27	119.16	132.97	105.14	152.93
1000	3.28	154.42	122.61	128.98	143.92	113.81	165.54
5000	3.86	181.71	144.27	151.77	169.35	133.92	194.79
10000	4.11	193.46	153.60	161.58	180.31	142.58	207.38

Tabla 6.8 Precipitaciones de diseño por estaciones-año. Región II

Tr	Factor regional	32002	32006	32009	32012	32013	32015	32016
2	0.95	39.52	38.17	36.35	38.94	42.52	38.94	48.12
5	1.23	51.17	49.43	47.06	50.41	55.05	50.41	62.30
10	1.42	59.08	57.06	54.33	58.20	63.56	58.20	71.93
20	1.60	66.56	64.29	61.21	65.58	71.61	65.58	81.04
50	1.84	76.55	73.94	70.40	75.42	82.35	75.41	93.20
100	2.01	83.62	80.77	76.90	82.38	89.96	82.38	101.81
500	2.42	100.68	97.25	92.59	99.19	108.31	99.18	122.58
1000	2.60	108.17	104.48	99.47	106.57	116.37	106.56	131.69
5000	3.00	124.81	120.55	114.78	122.96	134.27	122.95	151.96
10000	3.18	132.30	127.79	121.66	130.34	142.33	130.33	161.07

Continuación

Tr	Factor regional	32017	32018	32019	32020	32024	32025	32026
2	0.95	41.37	36.33	51.02	39.96	42.28	43.33	38.37
5	1.23	53.57	47.03	66.05	51.74	54.74	56.10	49.68
10	1.42	61.84	54.30	76.26	59.74	63.20	64.77	57.35
20	1.60	69.68	61.18	85.93	67.31	71.21	72.98	64.62
50	1.84	80.13	70.36	98.81	77.40	81.89	83.92	74.31
100	2.01	87.53	76.86	107.94	84.56	89.46	91.68	81.18
500	2.42	105.39	92.53	129.96	101.80	107.71	110.38	97.74
1000	2.60	113.23	99.42	139.63	109.38	115.72	118.59	105.01
5000	3.00	130.65	114.71	161.11	126.20	133.52	136.83	121.16
10000	3.18	138.49	121.60	170.78	133.78	141.53	145.04	128.43

Continuación

Tr	Factor regional	32027	32030	32032	32033	32034	32037	32042
2	0.95	34.34	42.99	50.04	45.83	39.87	45.69	44.03
5	1.23	44.46	55.66	64.78	59.34	51.62	59.16	57.01
10	1.42	51.33	64.26	74.79	68.50	59.60	68.30	65.81
20	1.60	57.84	72.41	84.27	77.18	67.15	76.96	74.16
50	1.84	66.52	83.27	96.91	88.76	77.22	88.50	85.28
100	2.01	72.66	90.96	105.87	96.96	84.36	96.68	93.16
500	2.42	87.48	109.52	127.46	116.74	101.57	116.40	112.16
1000	2.60	93.99	117.66	136.94	125.42	109.12	125.05	120.50
5000	3.00	108.45	135.77	158.01	144.72	125.91	144.29	139.04
10000	3.18	114.96	143.91	167.49	153.40	133.46	152.95	147.39

Continuación

Tr	Factor regional	32043	32046	32051	32055	32056	32057	32058
2	0.95	45.79	41.93	40.22	42.32	57.00	50.27	40.75
5	1.23	59.29	54.29	52.07	54.80	73.80	65.08	52.76
10	1.42	68.45	62.68	60.12	63.26	85.20	75.14	60.91
20	1.60	77.12	70.62	67.74	71.28	96.00	84.66	68.63
50	1.84	88.69	81.22	77.90	81.97	110.40	97.36	78.93
100	2.01	96.89	88.72	85.09	89.55	120.60	106.35	86.22
500	2.42	116.65	106.82	102.45	107.81	145.20	128.05	103.81
1000	2.60	125.33	114.76	110.07	115.83	156.00	137.57	111.53
5000	3.00	144.61	132.42	127.00	133.65	180.00	158.74	128.69
10000	3.18	153.29	140.36	134.63	141.67	190.80	168.26	136.41

Continuación

Tr	Factor regional	32059	32061	32063	32067	32068	32069	32070
2	0.95	44.35	42.28	41.83	46.64	46.49	39.45	48.19
5	1.23	57.42	54.75	54.17	60.38	60.19	51.07	62.40
10	1.42	66.29	63.20	62.53	69.71	69.49	58.96	72.04
20	1.60	74.69	71.21	70.46	78.55	78.29	66.44	81.17
50	1.84	85.90	81.90	81.03	90.33	90.04	76.40	93.35
100	2.01	93.83	89.46	88.51	98.67	98.36	83.46	101.97
500	2.42	112.97	107.71	106.57	118.80	118.42	100.49	122.77
1000	2.60	121.38	115.72	114.50	127.64	127.23	107.96	131.90
5000	3.00	140.05	133.53	132.11	147.28	146.80	124.57	152.19
10000	3.18	148.45	141.54	140.04	156.11	155.61	132.04	161.33

Continuación

Tr	Factor regional	32072	32073	32085	32086	32097	32098	32100
2	0.95	47.88	38.60	51.76	43.15	45.38	39.76	37.21
5	1.23	61.99	49.97	67.02	55.87	58.75	51.48	48.17
10	1.42	71.57	57.69	77.37	64.50	67.83	59.43	55.62
20	1.60	80.64	65.01	87.18	72.68	76.43	66.97	62.67
50	1.84	92.74	74.76	100.26	83.58	87.89	77.01	72.06
100	2.01	101.31	81.66	109.52	91.30	96.01	84.13	78.72
500	2.42	121.97	98.32	131.86	109.93	115.59	101.29	94.78
1000	2.60	131.05	105.63	141.67	118.10	124.19	108.82	101.83
5000	3.00	151.21	121.89	163.46	136.27	143.30	125.56	117.50
10000	3.18	160.28	129.20	173.27	144.45	151.90	133.10	124.55

Continuación

Tr	Factor regional	32101	32103	32104	32105	32108	32109	32111
2	0.95	34.98	39.10	38.95	49.63	40.36	38.15	46.58
5	1.23	45.29	50.63	50.44	64.26	52.26	49.40	60.31
10	1.42	52.28	58.45	58.23	74.19	60.33	57.03	69.62
20	1.60	58.91	65.86	65.61	83.59	67.98	64.26	78.45
50	1.84	67.75	75.73	75.45	96.13	78.18	73.90	90.21
100	2.01	74.01	82.73	82.42	105.01	85.40	80.72	98.55
500	2.42	89.10	99.61	99.23	126.43	102.82	97.19	118.65
1000	2.60	95.73	107.01	106.61	135.84	110.47	104.42	127.48
5000	3.00	110.46	123.48	123.01	156.73	127.46	120.48	147.09
10000	3.18	117.08	130.89	130.39	166.14	135.11	127.71	155.91

Continuación

Tr	Factor regional	32112	32113	32114	32117	32118	32119	32120
2	0.95	45.42	45.01	38.34	38.93	45.32	41.05	36.92
5	1.23	58.80	58.27	49.64	50.40	58.67	53.15	47.80
10	1.42	67.88	67.27	57.31	58.19	67.74	61.36	55.18
20	1.60	76.49	75.80	64.57	65.57	76.32	69.14	62.18
50	1.84	87.96	87.17	74.25	75.40	87.77	79.51	71.51
100	2.01	96.09	95.22	81.12	82.37	95.88	86.86	78.11
500	2.42	115.69	114.65	97.66	99.17	115.44	104.58	94.05
1000	2.60	124.30	123.18	104.93	106.55	124.03	112.36	101.04
5000	3.00	143.42	142.13	121.07	122.94	143.11	129.64	116.59
10000	3.18	152.02	150.65	128.33	130.31	151.70	137.42	123.58

Continuación

Tr	Factor regional	32121	32122	32123	32124	32125	32126	32127
2	0.95	39.64	47.79	35.86	43.08	48.43	39.42	41.69
5	1.23	51.32	61.87	46.43	55.78	62.71	51.04	53.97
10	1.42	59.24	71.43	53.60	64.40	72.39	58.93	62.31
20	1.60	66.75	80.48	60.39	72.56	81.57	66.40	70.21
50	1.84	76.77	92.55	69.45	83.44	93.80	76.35	80.74
100	2.01	83.86	101.10	75.87	91.15	102.47	83.41	88.20
500	2.42	100.97	121.73	91.34	109.75	123.37	100.42	106.19
1000	2.60	108.48	130.78	98.14	117.91	132.55	107.89	114.09
5000	3.00	125.16	150.90	113.24	136.05	152.94	124.49	131.64
10000	3.18	132.67	159.95	120.03	144.21	162.12	131.96	139.54

Continuación

Tr	Factor regional	32129	32131	32132	32135	32136	32139	32140	32142	32143
2	0.95	45.85	37.76	39.80	42.43	42.96	57.19	53.42	42.88	54.93
5	1.23	59.36	48.89	51.53	54.94	55.62	74.05	69.17	55.52	71.12
10	1.42	68.53	56.44	59.49	63.43	64.21	85.48	79.85	64.10	82.11
20	1.60	77.21	63.60	67.03	71.46	72.35	96.32	89.98	72.23	92.52
50	1.84	88.79	73.14	77.08	82.18	83.20	110.77	103.47	83.06	106.39
100	2.01	97.00	79.89	84.21	89.78	90.89	121.00	113.03	90.73	116.22
500	2.42	116.78	96.19	101.38	108.09	109.43	145.68	136.09	109.24	139.93
1000	2.60	125.47	103.35	108.92	116.13	117.57	156.52	146.21	117.37	150.34
5000	3.00	144.77	119.25	125.68	134.00	135.65	180.60	168.70	135.42	173.47
10000	3.18	153.46	126.40	133.22	142.04	143.79	191.44	178.83	143.55	183.88

Cuando es necesario conocer la precipitación de diseño en un sitio donde no se cuenta con información climatológica, la aplicación de la regionalización es de mucha ayuda ya que con un mapa de isoyetas de precipitación media como el que se muestra en la figura 6.1 se puede interpolar para conocer la precipitación media del sitio y al multiplicar por el factor regional para el periodo de retorno requerido se obtiene la precipitación de diseño. Cabe mencionar que esto solo aplica para la técnica de estaciones-año y para el método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada. Si se quisiera aplicar el método de Box-Cox se tendría que interpolar en un mapa de isoyetas del periodo de retorno requerido como los que se muestran en las figuras 6.2 a 6.11.

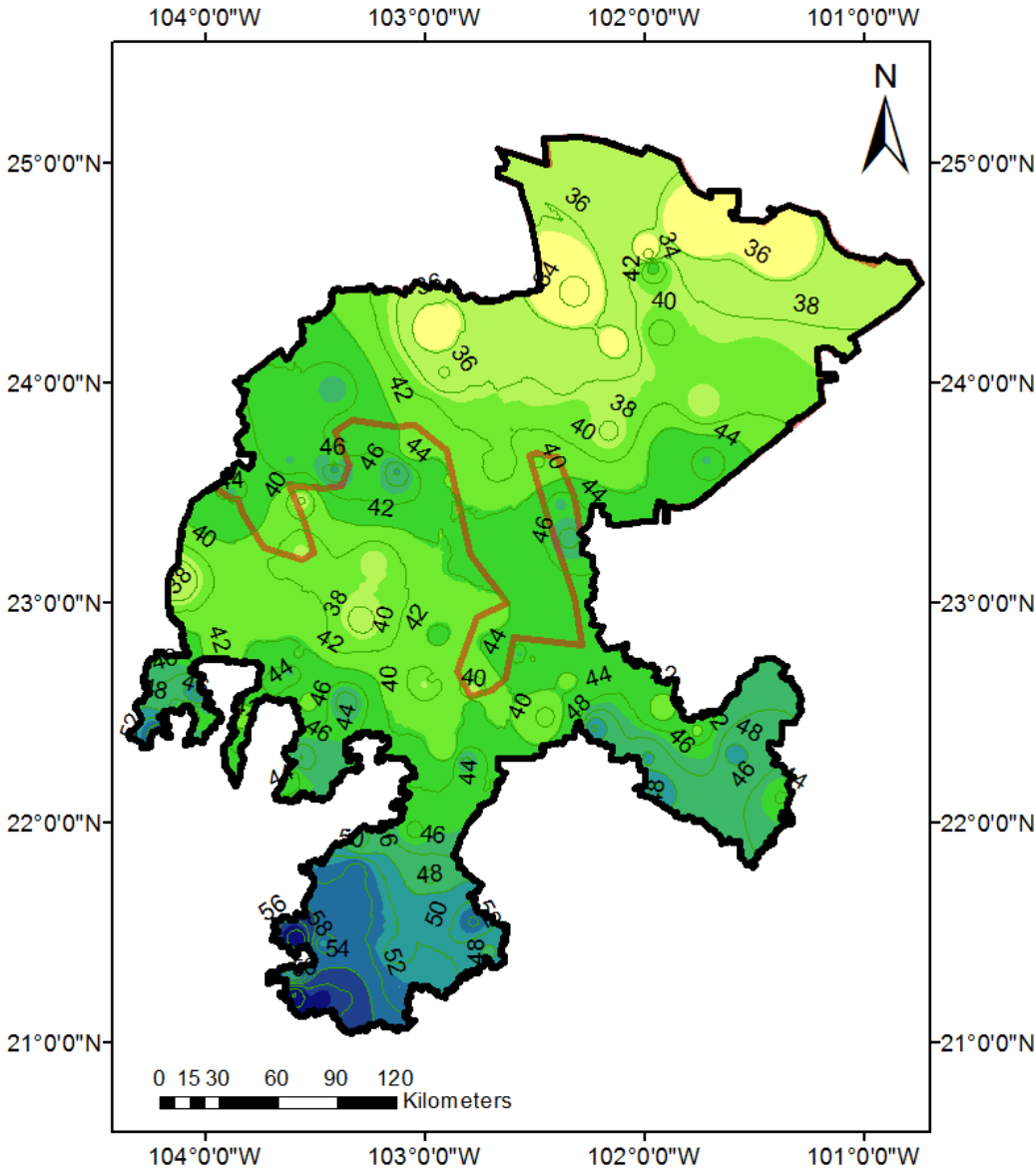


Figura 6.1 Mapa de isoyetas para precipitaciones medias máximas anuales

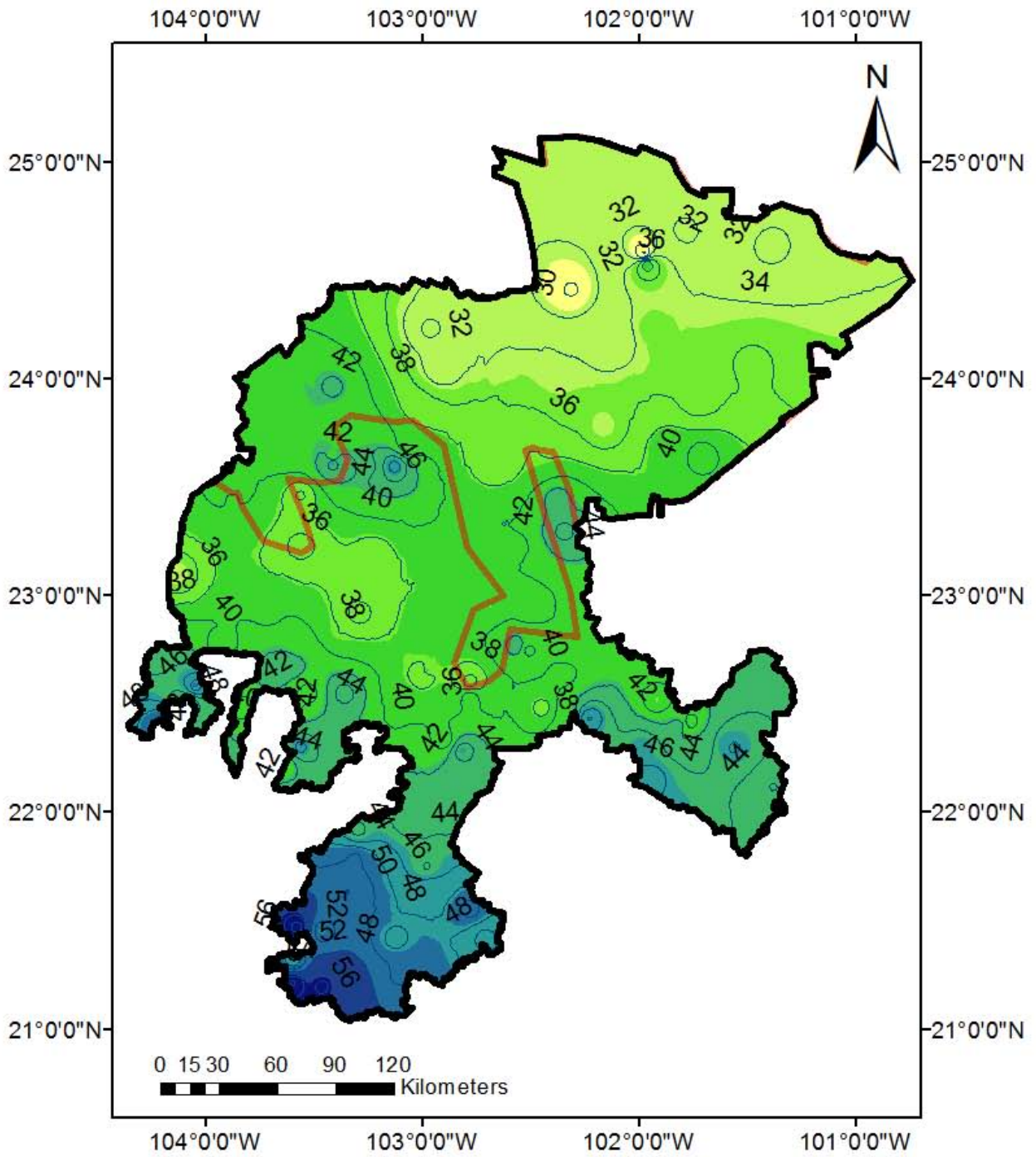


Figura 6.2 Mapa de isoyetas para $Tr=2$ años por Box-Cox

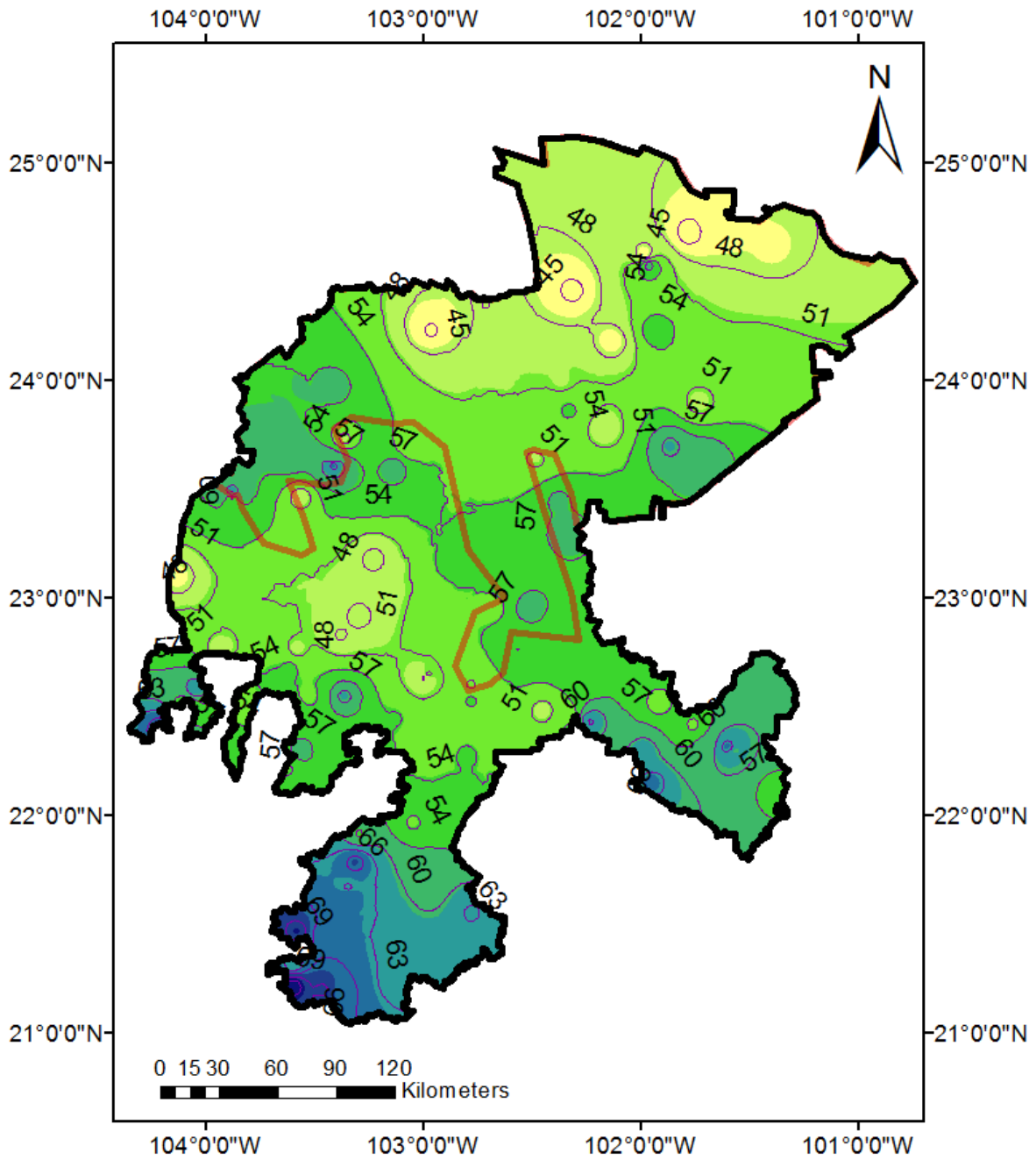


Figura 6.3 Mapa de isoyetas para $Tr=5$ años por Box-Cox

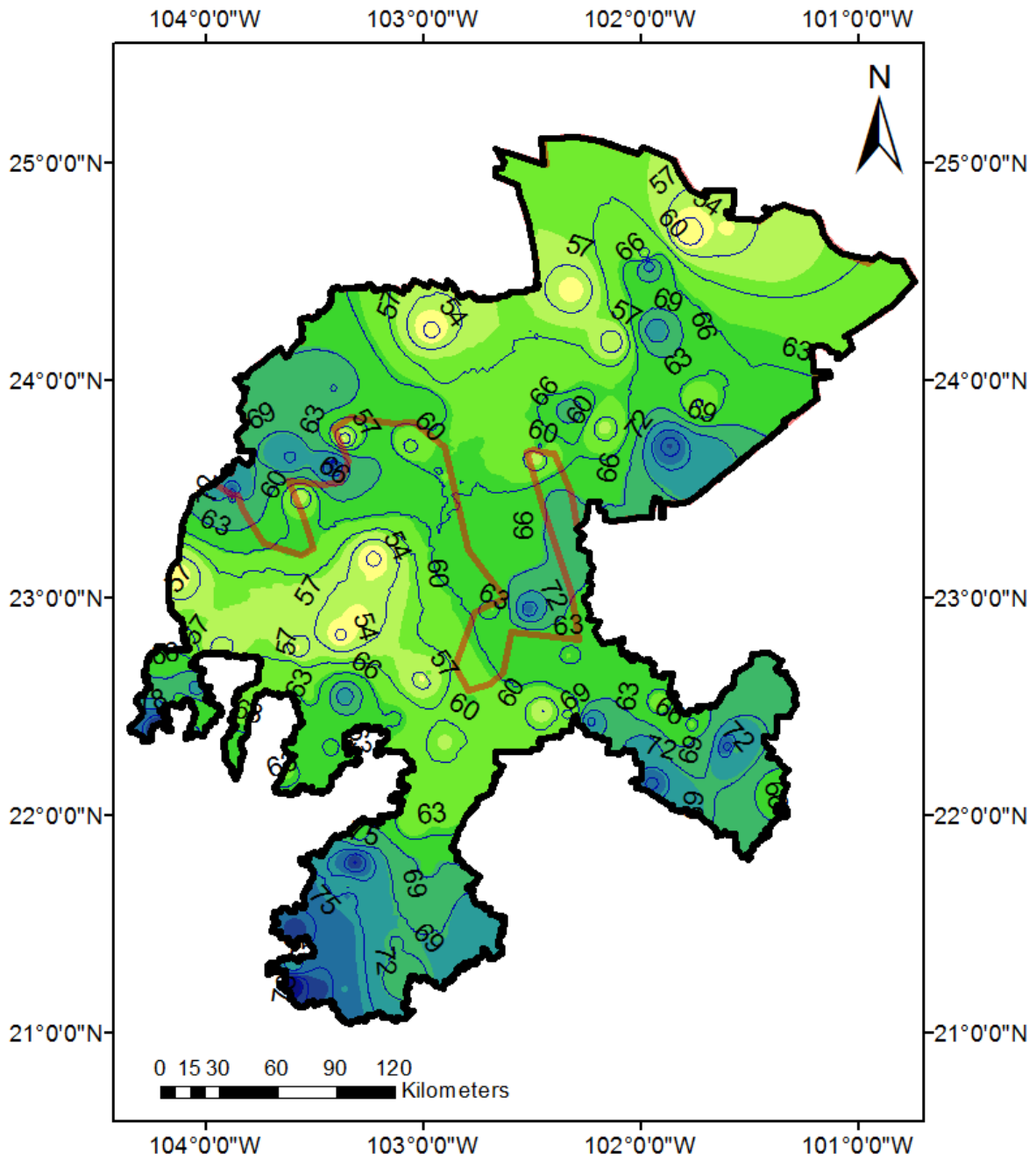


Figura 6.4 Mapa de isoyetas para Tr=10 años por Box-Cox

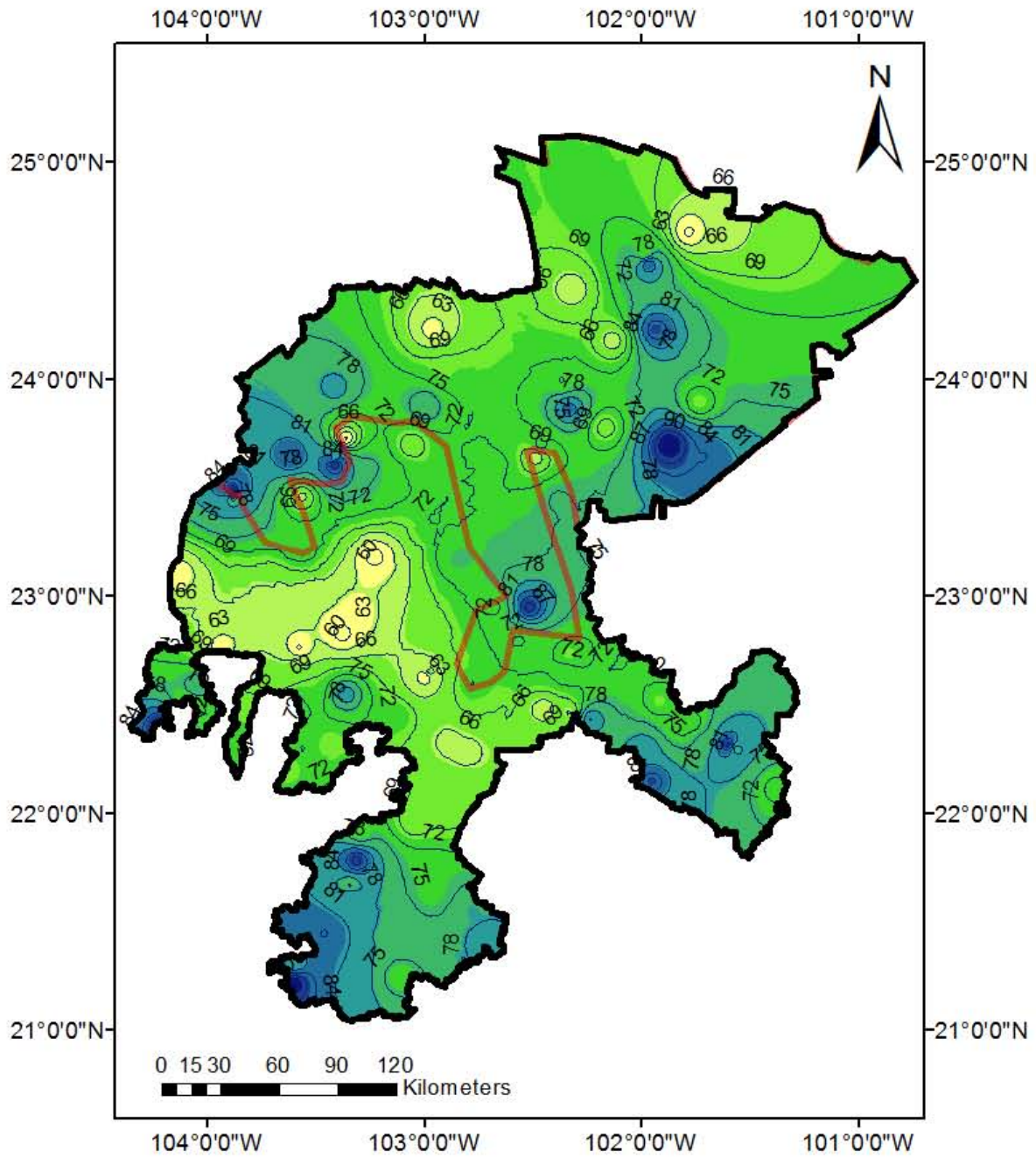


Figura 6.5 Mapa de isoyetas para $Tr=20$ años por Box-Cox

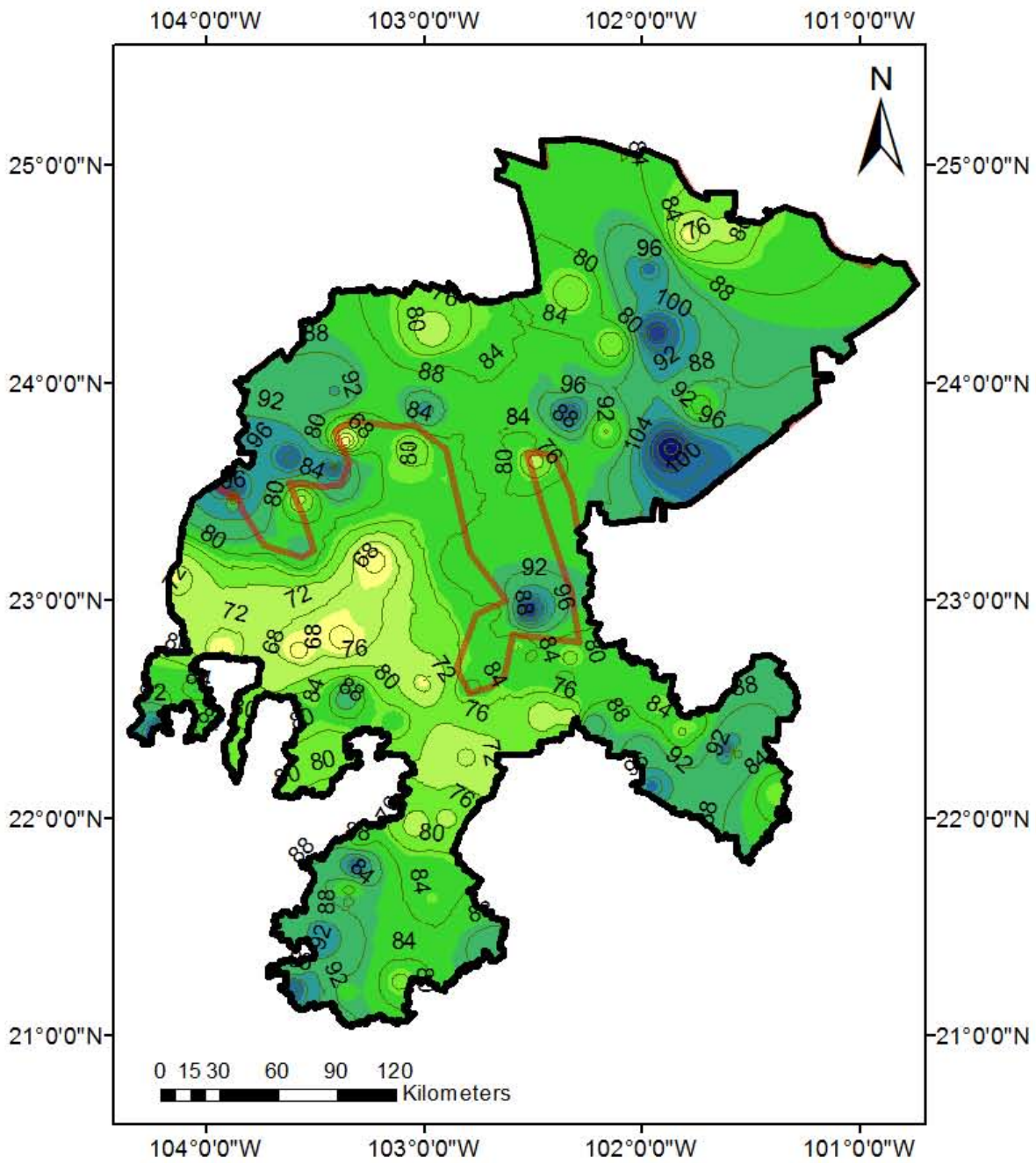


Figura 6.6 Mapa de isoyetas para $Tr=50$ años por Box-Cox

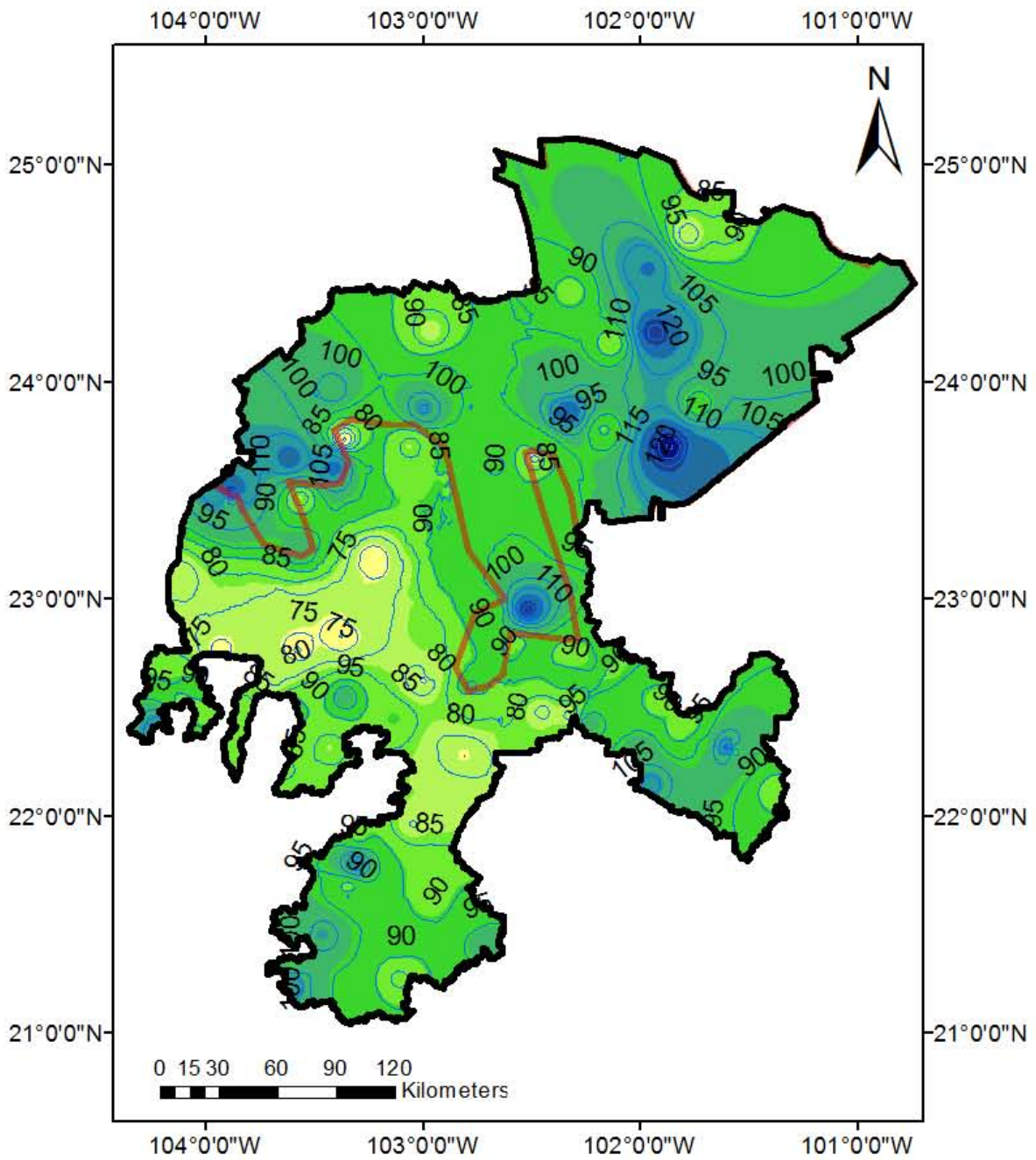


Figura 6.7 Mapa de isoyetas para $T_r=100$ años por Box-Cox

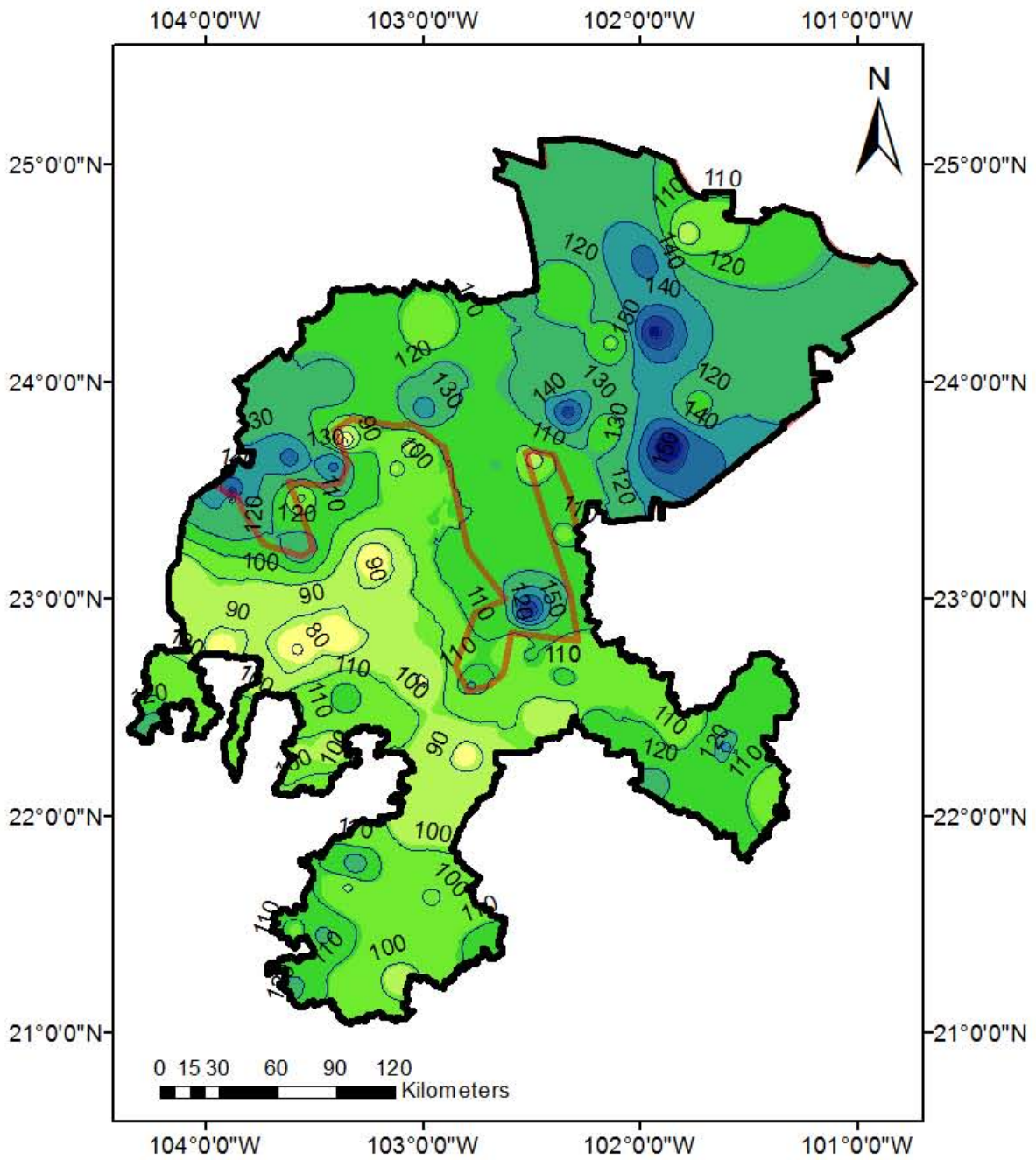


Figura 6.8 Mapa de isoyetas para $Tr=500$ años por Box-Cox

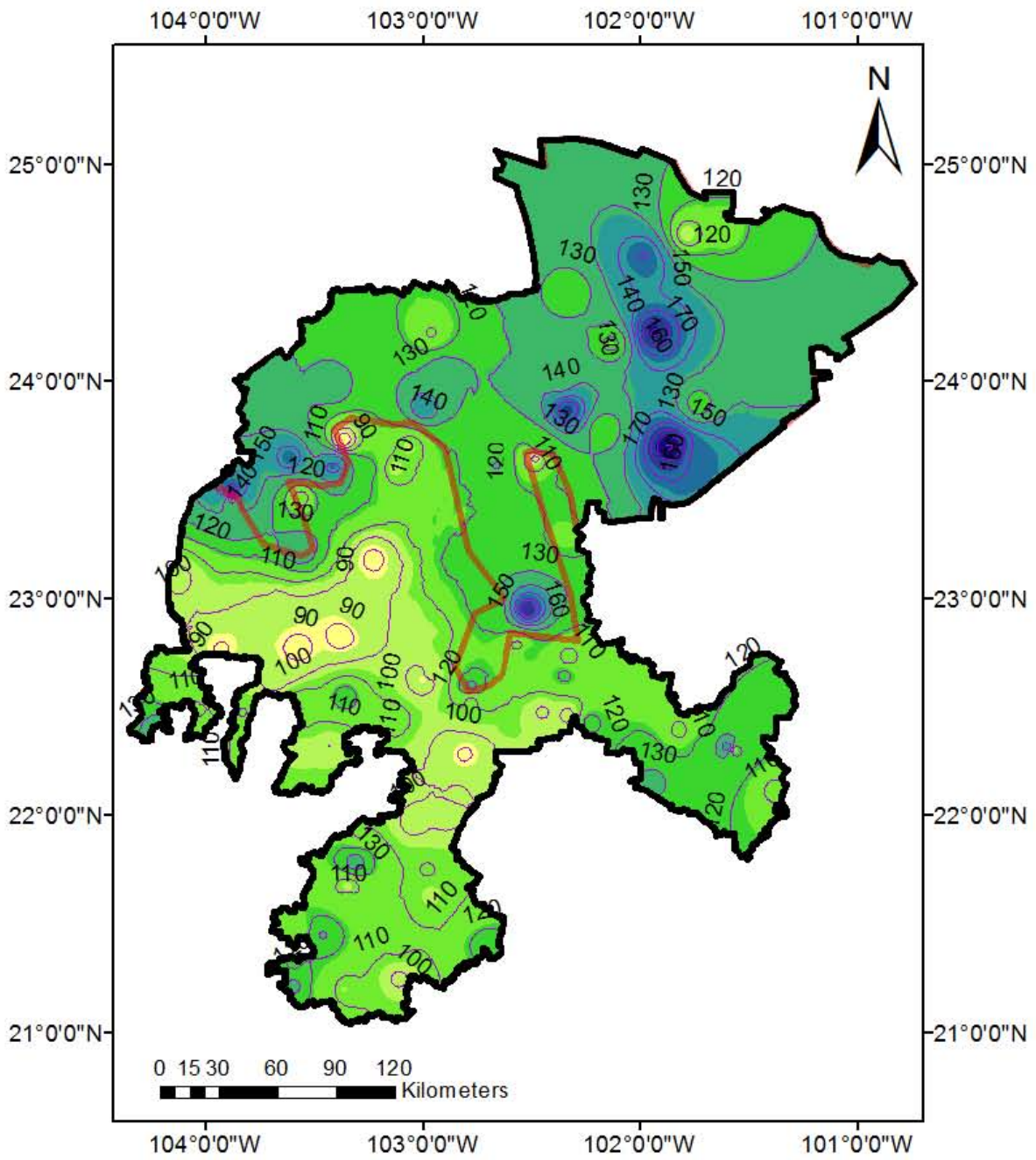


Figura 6.9 Mapa de isoyetas para $T_r=1000$ años por Box-Cox

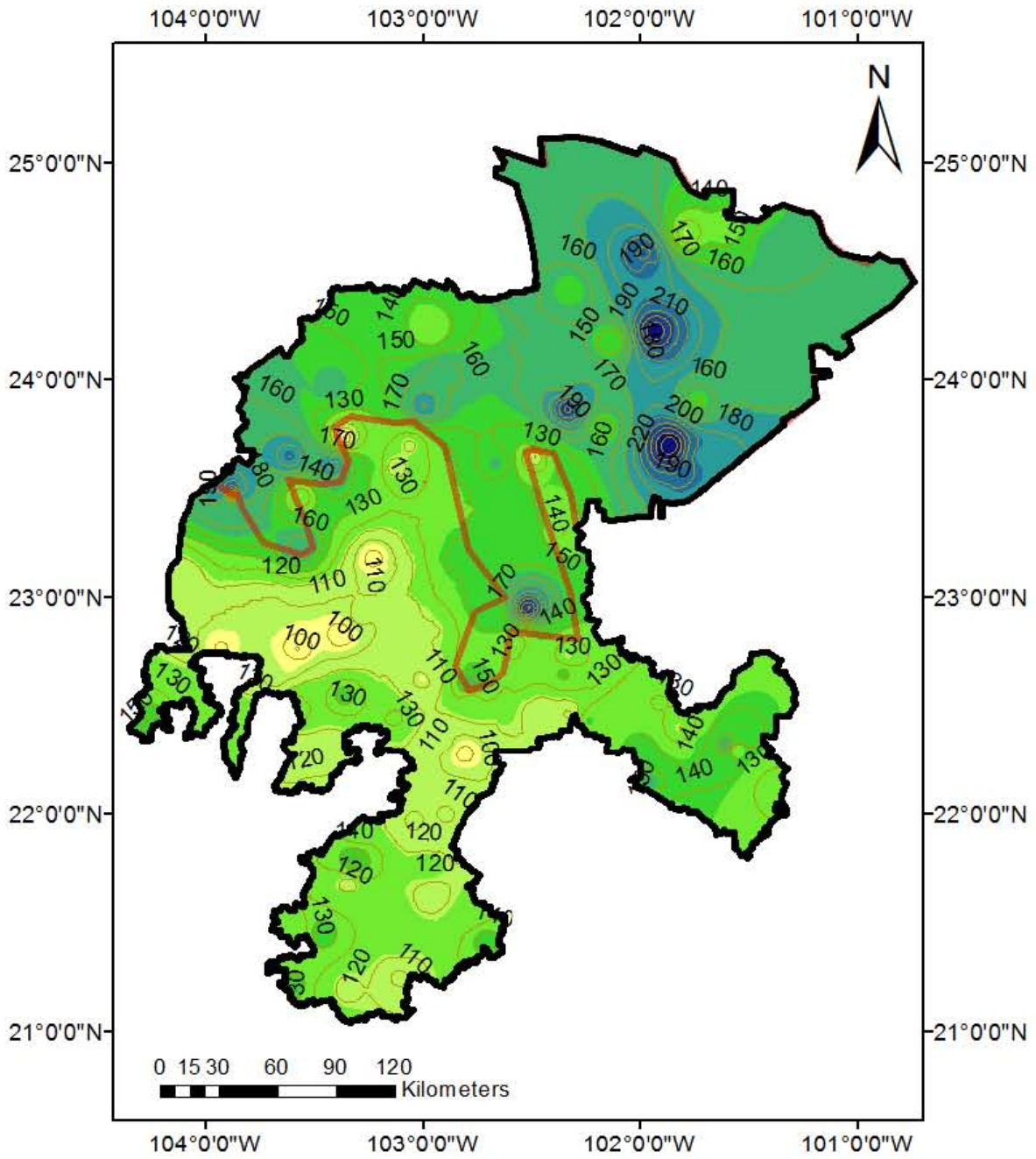


Figura 6.10 Mapa de isoyetas para $Tr=5000$ años por Box-Cox

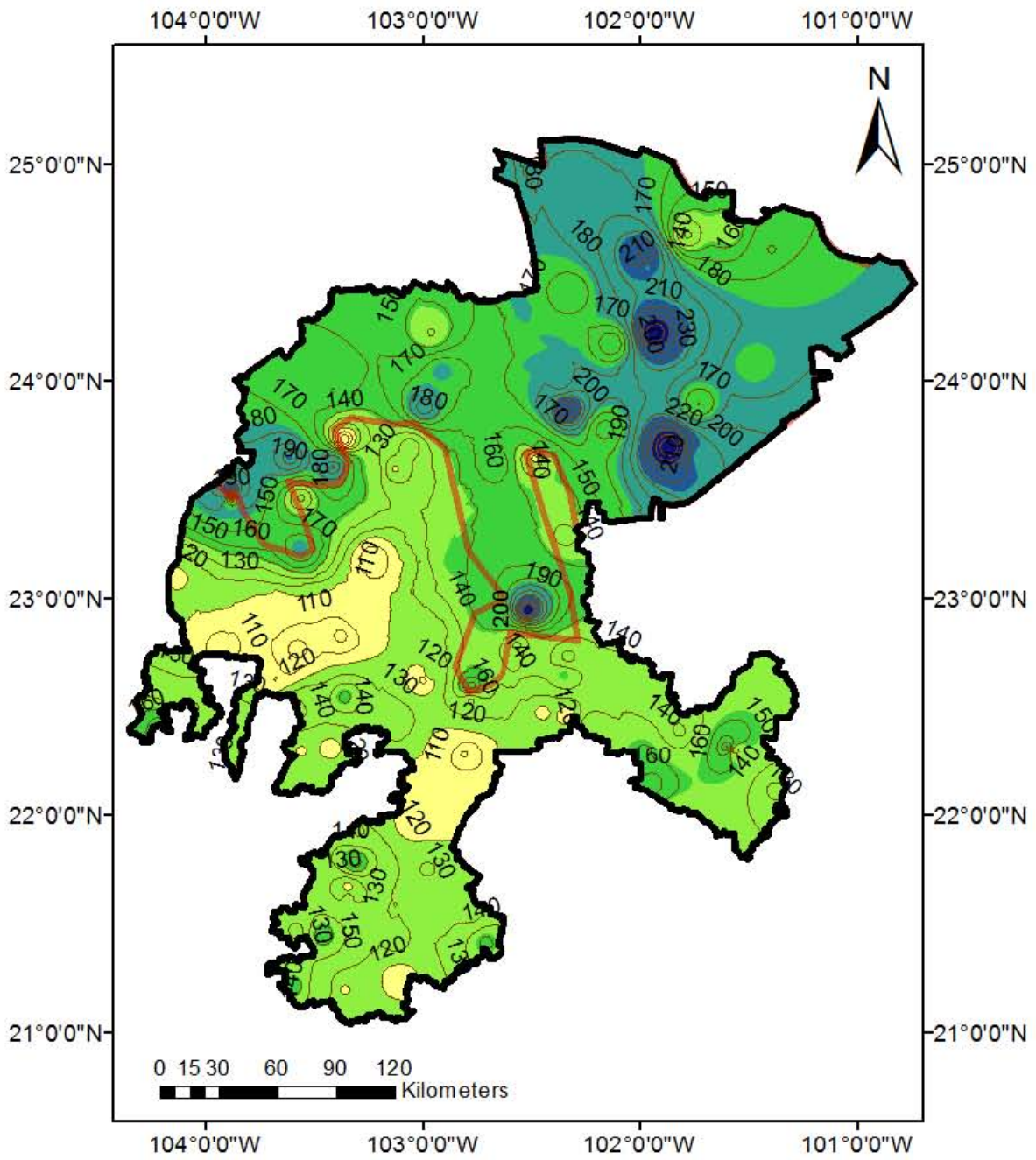


Figura 6.11 Mapa de isoyetas para $T_r=10000$ años por Box-Cox

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

Una correcta delimitación de regiones homogéneas es un factor fundamental para realizar una buena regionalización y de este modo hacer mejores estimaciones lo que con lleva a diseñar obras hidráulicas seguras. Por lo que en esta tesis de licenciatura evaluó y exploro cinco metodologías para determinar grupos de estaciones climatológicas con características similares.

Entre las metodologías desarrolladas para la delimitación de regiones homogéneas usando registros de precipitación las menos recomendables de acuerdo a este trabajo son: trazos multidimensionales ya que al no contar con características fisiográficas se optó por usar estadísticos lo cual no reflejo buenos resultados al no poder observar agrupación de estaciones. Una cuestión semejante sucede con el método de la región de influencia.

Por otro lado el método del parámetro de forma de la GVE es un tanto complicado ya que presenta restricciones para su aplicación y se observó que el parámetro β puede ser muy sensible a los datos de las series. Además de formar grupos simplemente matemáticos sin coherencia geográfica.

La verificación de homogeneidad a través de pruebas como la generación de series sintéticas para comparar CV y la medida estadística de la homogeneidad (H) de Hosking y Wallis han demostrado que CV y momentos-L son buenas metodologías en el uso registro de lluvias.

Durante la aplicación de las cinco técnicas de regionalización se puede apreciar que los mejores resultados se presentaron con la técnica de estaciones-año y el método regional de la transformación de Box-Cox, obteniendo precipitaciones de diseño muy parecidas aplicando ambas técnicas.

De acuerdo con el desarrollo de esta tesis el método de los momentos estandarizados de probabilidad pesada no se recomienda en nuestra zona de estudio para regionalización de precipitaciones ya que presentaron resultados elevados para periodos de retorno grande en comparación con el análisis puntual, esto puede traducirse como una sobrestimación.

La aplicación del método de Darlymple no se aplicó porque es necesario contar con periodo de registro en común de cada región, en el caso de esta zona de estudio no se tuvo la fortuna de contar con dichas condiciones.

Se considera importante poder realizar una prueba de significancia para poder evaluar qué tan importantes o en qué medida influyen las variables propuestas en la técnica de correlación y regresión múltiple.

El uso de la regionalización es una gran ventaja ya que ayuda a reducir incertidumbre en la estimación de precipitaciones de diseño en sitios donde se tiene poca información o inclusive en lugares donde no se tiene registro, reduciendo la posibilidad sobrestimar o subestimar si sólo se considerara un análisis puntual. Es así que al contar con mayor información la extrapolación para periodos de retorno grandes será más confiable Además de tomar en cuenta la información de zonas aledañas que pueden influir al sitio donde se requiere conocer la lluvia de diseño.

La regionalización es una solución factible e inmediata a la problemática de falta de estaciones, se considera importante la continuidad de aquellos registros que han sido suspendidos y los existentes para poder realizar actualizaciones.

Referencias

- Alcalá Ordaz, V. O. (2016). *Tesis de Maestría. Estimación regional de gastos de diseño; aplicación a las RH 27, 28 y 29 de la República Mexicana*. Ciudad de México: UNAM.
- Aparicio Mijares, F. (1989). *Hidrología de Superficie*. México: LIMUSA.
- Canavos, G. C. (1988). *Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MÉXICO S.A. DE C.V.
- Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. McGRAW-HILL.
- Domínguez Mora, R. (s.f.). *Manual de CFE. Capítulo de Estadística*. Ciudad de México.
- Domínguez Mora, R., Arganis Juárez, M., & Carrizosa Elizondo, E. (2017). *Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana: Regionalización de gastos*. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería.
- Escalante Sandoval, C. A., & Arriaga Fuentes, D. (2017). *Estimación regional de gastos máximos anuales en el Estado de Sinaloa*. Ciudad de México: XXII Congreso Nacional de Hidráulica.
- Escalante Sandoval, C., & Reyes Chávez, L. (2008). *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Ganancias Martínez, F. M. (2010). *Tesis de Maestría. Evaluación de metodologías de regionalización hidrológica: aplicación a los caudales máximos de cuencas representativas de la región Sur-Oeste de la Provincia de Córdoba*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Geografía, I. N. (2016). *Anuario estadístico y geográfico de Zacatecas 2016*. México.
- Herrera Alanís, J. L. (2008). *Segundo informe de avance de Tesis Doctoral: Análisis de las ondas de calor en la República Mexicana*. Ciudad de México: UNAM.
- Lujano Laura, E., & Felipe Obando, O. (2015). Análisis de frecuencia regional de las precipitaciones máximas diarias en la región hidrográfica del Titicaca. *Investigaciones Altoandinas*, 53-64.
- Mandujano García, K. P. (2011). *Tesis de Maestría. Bajo Pánuco, avenidas de diseño*. Ciudad de México : UNAM.

- Páramo, A. (13 de julio de 2014). Inundaciones históricas en la Ciudad de México .
El Excelsior.
- Plaza Vera, F. J. (2010). *Tesis de Maestría. Eficiencia de las técnicas regionales hidrológicas en función del tamaño de muestra disponible*. Ciudad de México : Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Ponce Soria , M. (2017). *Tesis de licenciatura. Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño del estado de Veracruz*. Ciudad de México: UNAM.
- Sánchez Corona, O. (2004). *Probabilidad y Estadística*. México: McGraw-Hill.
- Santana Soto, O. A. (2016). *Tesis de licenciatura. Regionalización para la obtención de lluvias de diseño en el estado de Nuevo León*. Ciudad de México : UNAM.
- Springall G., R. (s.f.). *Hidrología*. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Stedinger, J., Vogel, R., & Foufoula, G. (1993). *Frequency analysis of extreme events, in Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.

Anexos

A. Programas desarrollados en Matlab.

Se presentan a continuación los programas realizados para desarrollar algunos métodos para la elaboración de esta tesis.

A.1 Trazos multidimensionales

```
% Este programa realiza las curvas de Andrews
clear all

A=textread('registro.txt'); %Lee el archivo de datos
[r,c]=size(A); %Tamaño de la matriz
NR=10; %Numero de registros sintéticos
C=zeros(r,c); % Se inicia una matriz de ceros

% Se separan los datos que no tienen información, se hacen dos for, uno
% para recorrer las estaciones y otro para recorrer los años

for j=1:c %recorrido de estaciones
    n=0; %se inicia n que será un contador
    for i=2:r %se recorren los años
        if A(i,j)>0 %verifica que el valor en la lista se
mayor a 0
            n=n+1; %si la condicion anterior se cumple
            aumenta el contador
            B(n,1)=A(i,j); %los datos se agregan en la matriz
        auxiliar B
    end
end
%con los datos depurados se calculan los estadísticos
Me(1,j)=mean(B(:,1)); %Cálculo de la media por estación
Sa(1,j)=std(B(:,1)); %Cálculo de la desviación por estación
Va(1,j)=var(B(:,1)); %Cálculo de la varianza por estación
Ku(1,j)=kurtosis(B(:,1)); %Cálculo de curtosis
Ca(1,j)=skewness(B(:,1)); %Cálculo de coeficiente de asimetría
Ni(1,j)=n; %Matriz con el # de años de cada estación
C(1:n,j)=B; %Se pasa el registro depurado a C
clear B
end

x1=Sa(:, :); % Introducir variable x1
x2=Me(:, :); % Introducir variable x2
x3=Ku(:, :); % Introducir variable x3
[r,c]=size(x1);
t(1,1)=pi; %función evaluada de -pi a pi
t(2,1)=pi*3/4;
t(3,1)=pi*.5;
t(4,1)=pi*1/4;
t(5,1)=0;
t(6,1)=-pi*1/4;
```



```

t(7,1)=-pi*.5;
t(8,1)=-pi*3/4;
t(9,1)=-pi;
for j=1:c
    for i=1:9
        ft(i,j)=x1(1,j)/sqrt(2)+x2(1,j)*sin(t(i,1))+x3(1,j)*cos(t(i,1));
    end
end

end

for j=1:c
    plot(t,ft)
    grid on
    xlabel('t (radianes)')
end

```

A.2 Método del parámetro de forma de la GVE

```

%Este programa calcula el parametro de forma de la GVE
%
clear all          %limipa memoria
clc               %limpia pantalla
format compact   %formato compacto

D=textread('estaciones.txt'); %lee los registros de las estaciones con
periodo en común
[r,c]=size(D);    % Tamaño de la matriz

for i=1:c
    n=1;
    for j=2:r
        if D(j,i)>0          %condición
            E(n,1)=D(j,i);
            n=n+1;
        end
    end
    [b]=gevfit(E);          %cálculo de beta
    A(1,i)=b(1);
    clear E
end
save ParametroBeta.txt A -ascii

```

A.3 Método de la región de influencia (cálculo de distancias)

```
%% este programa calcula distancias Euclidianas
clear all          %limpia la memoria
clc               %borra la pantalla
R=textread('estacionesT.txt'); %lee los estadísticos de cada estación
[r,c]=size(R);    %Tamaño de la matriz

m=std(R(2,:));    %% desviación estándar de la media
s=std(R(3,:));    %% desviación estándar de la desviación estándar
cu=std(R(4,:));   %% desviación estándar de la curtosis
cv=std(R(5,:));   %% desviación estándar de los cv

%% Estación base, cálculo de Cb
for i=1:c
    Cb(1,1)=R(2,i)/m;
    Cb(2,1)=R(3,i)/s;
    Cb(3,1)=R(4,i)/cu;
    Cb(4,1)=R(5,i)/cv;
%% Cálculo de Cj
    Cj(1,:)=R(2,:)./m;
    Cj(2,:)=R(3,:)./s;
    Cj(3,:)=R(4,:)./cu;
    Cj(4,:)=R(5,:)./cv;
%% diferencias y al cuadrado
    d(1,:)=(Cj(1,:)-Cb(1,1)).^2;
    d(2,:)=(Cj(2,:)-Cb(2,1)).^2;
    d(3,:)=(Cj(3,:)-Cb(3,1)).^2;
    d(4,:)=(Cj(4,:)-Cb(4,1)).^2;
    D1=(sum(d)).^0.5;    %distancia de cada estación respecto con la
base
    D(:,i)=D1;
end
%Se obtiene la media para saber que regiones formar
[r,c]=size(D);
M=mean(D);
for j=1:c
    m=0;
    n=0;
    for i=2:r
        if D(i,j)<M(1,j)
            n=n+1;
            X(n,j)=R(1,i);
        else
            m=m+1;
            Y(m,j)=R(1,i);
        end
    end
end
end
```

A.4 Prueba de homogeneidad a través de series sintéticas

```
%Este programa realiza la prueba de FISHER .....
clear all          %limpia la memoria
clc               %borra la pantalla
format compact   %formato compacto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A=textread('REGION2.txt');      %Lee el archivo de datos
[r,c]=size(A);                 %Tamaño de la matriz

C=zeros(r,c);                  % es la matriz de ceros

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Separación de datos
for j=1:c
    n=0;
    for i=2:r
        if A(i,j)>0              %verifica que el valor en la lista se
mayor a 0
            n=n+1;              %si la condicion anterior se cumple le pone
un contador
            B(n,1)=A(i,j);
        end
    end
    M(1,j)=mean(B(:,1));        %Cálculo de la media por estación
    S(1,j)=std(B(:,1));         %Cálculo de la desviación
    V(1,j)=var(B(:,1));        %Cálculo de la varianza
    CVn(1,j)=S(1,j)/M(1,j);    %Cálculo de coficientes de variación
    N(1,j)=n;                  %Matriz con el # de años de cada estación
    C(1:n,j)=B;                %matriz C tiene los registros por estación
    clear B
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%datos modulados
for j=1:c
    D(:,j)=C(:,j)./M(1,j); % se dividen los registros entre cada una de
sus medias por estación
end

n=1;
for j=1:c
    for i=1:r-1
        if D(i,j)>0
            F(n,1)=D(i,j); %registro estación-año
            n=n+1;
        end
    end
end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%  Estimación de parámetros de la función GUMBEL  %%%%%%%%%
```

```

mu=mean(F)-0.45*std(F);      %Cálculo del parámetro de ubicación, mu
alfa=0.78*std(F);          %cálculo del parámetro de escala, alfa
[rf,cf]=size(F);

Al=rand(rf,10);            % generación de series de numeros aleatorios
Xsint=mu-alfa*log(-log(Al));

%%Separar la serie de registro, en tamaños igual a la muestra original
%%%%
for i=1:10
    Aux=Xsint(:,i);
    [M(i+1,:),S(i+1,.)]=EstSint(Aux,c,N,M);
end

CVn=S./M;

[r,c]=size(CVn);
CVo=CVn(1,:);
CVs=CVn(2:r,:);
CVs=CVs(:);
CVo=sort(CVo,'descend');
CVs=sort(CVs,'descend');

[r,c]=size(CVo);
CVo(:,2)=FrecCV(r)
[r,c]=size(CVs);
CVs(:,2)=FrecCV(r);

hold on
grid on
plot(CVo(:,2),CVo(:,1),'r.','MarkerSize',10)
plot(CVs(:,2),CVs(:,1),'b.','MarkerSize',10)
title('Región II')
xlabel('Frecuencia')
ylabel('Coeficiente de Variación')
legend('Observados','Sintéticos','Location','best')
hold off
disp('fin')

```