



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Regionalización para la obtención
de lluvias de diseño en el estado
de Nuevo León**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Andrés Olaf Santana Soto

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Ramón Domínguez Mora



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/095/16

Señor
ANDRÉS OLAF SANTANA SOTO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

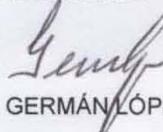
"REGIONALIZACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LLUVIAS DE DISEÑO EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN"

- INTRODUCCIÓN
- I. CONCEPTOS BÁSICOS
- II. FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EMPLEADAS EN HIDROLOGÍA
- III. METODOLOGÍA
- IV. APLICACIÓN PARA EL ESTADO DE NUEVO LEÓN
- V. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 23 de noviembre del 2016.
EL PRESIDENTE


M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

Agradecimientos

A mis padres por ese apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, por formarme con valores y con quienes comparto una bonita profesión.

A mis abuelas Elba y Victoria por todo el cariño que me han brindado.

A Fabián por todos esos momentos que compartimos como hermanos.

A mi novia Ilse por siempre apoyarme a lo largo de este camino en cada una de mis buenas y malas decisiones

A todos y cada uno de mis maestros que gracias a sus conocimientos recibidos he logrado concluir una formación educativa sólida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la Facultad de Ingeniería, el Instituto de Ingeniería y demás instituciones que me brindaron su apoyo para mi formación profesional.

Al Dr. Ramón Domínguez y el M.I. Eliseo Carrizosa por su apoyo, paciencia y asesoría durante el desarrollo de esta tesis.

A todos mis compañeros y amigos que me han aconsejado y por su ayuda recibida durante mi vida como estudiante.

ÍNDICE

Capítulo I:	
Introducción.....	1
Capítulo II: Conceptos Básicos.....	4
II.1 Conceptos básicos de estadística.....	4
II.1.1 Medidas de tendencia central.....	4
II.1.1.1 Media.....	4
II.1.1.2 Mediana.....	4
II.1.1.3 Moda.....	4
II.1.2 Medidas de Dispersión.....	5
II.1.2 Varianza.....	5
II.1.3 Desviación estándar.....	6
II.1.4 Coeficiente de variación.....	6
II.2 Conceptos básicos de hidrología.....	7
II.2.1 Precipitación.....	7
II.2.1.1 Tipos de precipitación.....	7
II.2.2 Precipitación media.....	7
II.2.2.1 Métodos para estimar la precipitación media.....	8
II.2.2.1.1 Método de la media aritmética.....	8
II.2.2.1.2 Método de los polígonos de Thiessen.....	8
II.2.2.1.3 Método de las Isoyetas.....	9
Capítulo III: Funciones de Distribución de probabilidad empleadas en hidrología.....	10
III.1 Función de distribución de probabilidad, densidad de probabilidad y periodo de retorno.....	10
III.1.1 Distribución normal.....	13
III.1.2 Distribución Gumbel.....	14
III.1.3 Distribución Doble Gumbel.....	15

Capítulo IV: Metodología.....	18
IV.1 Métodos para la delimitación de regiones homogéneas.....	18
IV.1.1 Trazos multidimensionales (curva de Andrews).....	19
IV.1.2 Región de influencia (distancia Euclidiana).....	20
IV.1.3 Coeficiente de variación.....	21
IV.2 Técnicas de estimación regional.....	22
IV.2.1 Avenida índice.....	22
IV.2.2 Estaciones - Año.....	22
Capítulo V: Aplicación para el estado de Nuevo León.....	24
V.1 Zona de estudio (descripción del estado).....	24
V.1.1 Ubicación del estado.....	26
V.1.2 Estaciones climatológicas disponibles en NL.....	27
V.1.3 Localización de las estaciones empleadas.....	33
V.2 Bibliografía de datos y estudios previos en Nuevo León.....	34
V.3 Metodología aplicada.....	38
V.3.1 Estaciones con un mínimo de 20 años de registro.....	38
V.3.2 Análisis de los registros de las estaciones actualizadas.....	41
V.3.3 Cálculo de los parámetros estadísticos.....	56
V.3.4 Conformación de regiones homogéneas.....	60
V.3.5 Aplicación del método del coeficiente de variación para la delimitación de regiones homogéneas.....	66
V.3.6 Obtención de los valores estandarizados aplicando la técnica de estaciones año.....	72
V.3.7 Obtención de las funciones de distribución para cada región..	78
V.3.8 Eventos estimados para diferentes periodos de retorno.....	82
V.3.9 Cálculo de las precipitaciones de diseño para duración de un día para cada estación.....	83

Capítulo VI Análisis de resultados.....	87
Capítulo VII Conclusiones.....	89
Bibliografía.....	95

Índice de Tablas:

Tabla V.1 Estaciones disponibles en Nuevo León. Estación, nombre, localización, organismo.....	28
Tabla V.2 Eventos ocurridos en el estado de Nuevo León.....	34
Tabla V.3 Estaciones tomadas por estado.....	35
Tabla V.4 Número de estaciones y coeficientes de variación extremos en cada región.....	36
Tabla V.5 Estaciones totales con un mínimo de 20 años de registro.....	38
Tabla V.6 Registros de precipitaciones máximas anuales.....	42
Tabla V.7 Parámetros estadísticos por estación.....	56
Tabla V.8 Estaciones de la Región I.....	64
Tabla V.9 Estaciones de la Región II.....	64
Tabla V.10 Estaciones de la Región III.....	65
Tabla V.11 Coeficientes estaciones Región I.....	67
Tabla V.12 Coeficientes estaciones Región II.....	67
Tabla V.13 Coeficientes estaciones Región III.....	67
Tabla V.14 Tabla de Fisher para $\alpha = 0.01$	68
Tabla V.15 Estaciones- año y estadísticos muestrales.....	73
Tabla V.16 Valores estandarizados para los valores máximos anuales de las estaciones de la Región I.....	75
Tabla V.17 Valores estimados para la Región I.....	82
Tabla V.18 Valores estimados para la Región II.....	82
Tabla V.19 Valores estimados para la Región III.....	83
Tabla V.20 Precipitaciones de diseño para la Región I.....	84
Tabla V.21 Precipitaciones de diseño para la Región II.....	85
Tabla V.22 Precipitaciones de diseño para la Región III.....	87
Tabla V.23 Relaciones entre las precipitaciones máximas asociadas a diferentes duraciones y los correspondientes a un día.....	88
Tabla VI.1 Resultados anteriores.....	89
Tabla VI.1 Resultados actualizados.....	90

Índice de Figuras:

Figura III.1 Función de densidad.....	12
Figura V.1 Localización del estado de Nuevo León en la República Mexicana.....	26
Figura V.2 Referencia de las regiones hidrológicas con las que se intersecta el estado de Nuevo León.....	27
Figura V.3 Localización de las estaciones climatológicas de Nuevo León.....	33
Figura V.4 Regiones homogéneas de Nuevo León propuestas.....	37
Figura V.5 Estaciones que cuentan con 20 años de registro o más.....	40
Figura V.6 Características topográficas del estado de Nuevo León.....	60
Figura V.7 Estaciones y topografía del estado de Nuevo León.....	61
Figura V.8 Coeficientes de variación y topografía del estado de Nuevo León.....	61
Figura V.9 Nueva delimitación de las regiones de Nuevo León.....	62
Figura V.10 Estaciones, topografía y nuevas regiones de Nuevo León.....	63
Figura V.11 Coeficientes de variación, topografía y nuevas regiones de Nuevo León	63
Figura V.12 Comparación de los C.V. históricos vs C.V. sintéticos.....	70
Figura V.13 Comparación de los C.V. históricos y la los C.V. obtenidos con las muestras generadas.....	71
Figura V.14 Gumbel Región I.....	78
Figura V.15 Doble Gumbel Región I con $P=0.95$	79
Figura V.16 Gumbel Región II.....	80
Figura V.17 Doble Gumbel Región II con $P=0.95$	80
Figura V.18 Gumbel Región III.....	81
Figura V.19 Doble Gumbel Región III con $P= 0.95$	81
Figura VI.1 Comparaciones de regiones propuestas.....	91
Figura VI.2 Mapa de isoyetas de precipitación media.....	92
Figura VI.3 Punto A ejemplo.....	93
Figura VI.4 Hietograma de diseño, ejemplo.....	94

Capítulo I. Introducción.

El objetivo principal de un especialista de hidrología es estimar un gasto de diseño a partir del cual se podrá dimensionar una obra hidráulica; para esto es necesario saber cuanto llueve y cuanto escurre, entre otros datos, para el área donde se necesite construir, sin embargo, estos datos de lluvia y escurrimiento son bastante escasos para obtener una muestra del tamaño apropiado y realizar los estudios pertinentes.

Tanto en México como en otros países, el problema radica en que aunque hay un número considerable de estaciones hidrométricas y climatológicas no hay personal capacitado para tomar las lecturas registradas o éstas se encuentran en zonas de difícil acceso, aunado a esto, el desconocimiento de la población sobre la importancia de las mismas hace que estas sean deterioradas frecuentemente sin darles el mantenimiento adecuado para su óptimo funcionamiento.

Pese a los esfuerzos que se realizan aún, sigue siendo persistente la falta de información hidrológica en varios sitios, o bien puede existir dicha información pero es relativamente nueva y por lo tanto no cuenta con registros hidrológicos extensos o como ocurre en algunos casos, la información presentada puede llegar a tener errores o no tener registros completos (Aguilar, 2014).

La información necesaria para poder realizar un estudio de este tipo puede ser registrada de las siguientes maneras:

- Climatológica: conformada por datos de precipitación, vientos, temperatura, humedad, entre otros.
- Hidrométrica: basadas en la información de los aforos realizados en las estaciones hidrométricas.
- Datos fisiográficos: Hace referencia a los datos topográficos como área, perímetro, y curvas de nivel con que cuentan las diferentes regiones y subregiones hidrológicas del país.
- Datos Generales: Se refiere a los datos conocidos de manera histórica como eventos meteorológicos registrados o avenidas máximas de diseño registradas en una cierta región.

En la República Mexicana existe información de lluvias diarias medidas en más de 5000 estaciones; el análisis de estos registros muestra que en muchas estaciones los datos disponibles son escasos de manera que los análisis estadísticos que se realicen no resultan confiables (Domínguez, 2015). En esta tesis se dará atención a los datos de lluvias que se han registrado en el país, los cuales servirán para poder realizar un estudio hidrológico en la zona del estado de Nuevo León.

Es importante conocer el mayor número de datos posibles de una cierta localidad, para que a partir de éstos se obtenga una lluvia de diseño y un tránsito de avenidas que ayudará en el dimensionamiento de cualquier tipo de obra hidráulica que se necesite construir. Entre mayor sea el número de datos que se disponen, el estudio realizado podrá ser más sensible y los gastos de diseño a los que se requiere llegar serán más acertados.

Algunas bases de datos de las que podemos obtener la información son las siguientes:

- Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA): Esta base de datos cuenta con información referente a: (CONAGUA, 2016)
 - Catálogo de estaciones Hidrométricas
 - Descripción de campos hidrometría
 - Bases de datos hidrométricas
 - Planos hidrológicos
 - Catálogo de presas
 - Bases de datos de presas
- CLICOM de la Comisión Nacional del Agua: Es la base de datos del clima con carácter oficial en México, siendo el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) el encargado de mantener y actualizar dicha base. Cuenta en promedio con alrededor de 5000 estaciones de observación (CFE, 2014).
- Mapa de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) del Sistema Meteorológico Nacional (SMN):
 - Una Estación Meteorológica Automática, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunos datos para generar archivos cada 10 minutos

de todas las variables, esta información es enviada vía satélite en intervalos de 1 o 3 horas por estación. .

El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, excepto en terreno montañoso (SMN, 2016).

En un país en desarrollo como México el cual está expuesto a diferentes eventos hidrometeorológicos, es necesario pensar en obras que sirvan para mitigar los efectos adversos causados por estos. Estas obras deberán ser eficientes y para un buen diseño de las mismas se necesita de un buen estudio hidrológico.

Es a partir de esto que surge el concepto de regionalización el cual tiene como objetivo proporcionar todos los registros hidrológicos necesarios para poder construir una muestra apropiada. Estos registros se obtienen relacionando dos regiones entre sí; se requiere tener un buen conocimiento de una región para poder extrapolar los datos de ésta a otra en la que no se cuente con datos suficientes. Para poder extrapolar dichos datos es necesario que las dos regiones cuenten con ciertas similitudes hidrológicas como datos de precipitación, características fisiográficas, tiempo de concentración entre otros parámetros.

Con este enfoque de regionalización se busca incorporar los datos de varias estaciones, ya sean hidrométricas o climatológicas, para así poder contar con mayor información en un área donde ésta sea escasa, permitiendo estimar avenidas y gastos más aproximados que los que se podrían obtener estudiando cada estación por separado.

La metodología más usual para la determinación de estos caudales máximo, es en función de la estadística, la cual ajusta los datos registrados en una estación hidrométrica a una función de distribución y determina los valores para diferentes periodos de retorno (Aguilar, 2014).

Capítulo II: Conceptos básicos

II.1 Conceptos básicos de estadística.

La estadística es la ciencia encargada de analizar e interpretar los datos numéricos recopilados y organizados de una población, de forma tal que se logren obtener conclusiones numéricas basadas en el cálculo de probabilidades.

La estadística se divide en dos ramas que son:

- Estadística descriptiva: Tiene como objetivo ordenar, describir y sintetizar la información recogida. Se refiere únicamente a la descripción de los datos.
- Estadística inferencial: Su objetivo es extraer conclusiones generales sobre el fenómeno que han producido los datos bajo estudio.

II.1.1 Medidas de tendencia central.

Se denominan medidas de tendencia central a los parámetros que nos indican los valores promedios de los datos, o entorno a que valor se distribuyen éstos.

II.1.1.1 Media aritmética:

También conocida como promedio, es igual a la suma de todos los valores dividido entre el número de sumandos que intervienen. Por lo general la media es uno de los parámetros numéricos más importantes para la descripción de una muestra.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} Representa la media

n Representa el tamaño de la muestra

x_i Representa cada uno de los valores de la muestra

II.1.1.2 Mediana.

Se define como una medida central tal que, con los datos ordenados de menor a mayor, el 50 % de los datos son inferiores a su valor y el 50 % de los datos tienen valores superiores. Es decir, la mediana divide en dos partes iguales la distribución de frecuencias o, gráficamente, divide el histograma en dos partes de áreas iguales.

II.1.1.3 Moda.

Se define la moda M_o de una muestra como aquel valor de la variable que tiene una frecuencia máxima. En otras palabras, es el valor que más se repite. Hay que indicar que puede suceder que la moda no sea única, es decir que aparezcan varios máximos en la distribución de frecuencias. En ese caso se tendrá una distribución bimodal.

II.1.2 Medidas de dispersión.

Las medidas de tendencia central vistas anteriormente reducen la información obtenida de la muestra a un solo valor central. Las medidas dispersión nos indican que tan cerca o lejos se encuentran los demás valores de la muestra de los valores centrales indicando la variabilidad de los datos entorno a su centro.

II.1.2.1. Varianza.

La varianza es la medida más utilizada para estimar la dispersión de los datos de la muestra. Es aconsejable utilizar la varianza cuando se utiliza la media como medida de tendencia central. La varianza está basada en un valor promedio de las desviaciones respecto a la media. Se utilizan los cuadrados de las desviaciones para evitar que se compensen desviaciones positivas y negativas. Se define entonces la varianza como:

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

II.1.2.2 Desviación estándar.

Evidentemente la varianza no tiene las mismas unidades que los datos de la muestra. Para conseguir las mismas unidades, se define la desviación estándar como la raíz cuadrada de la varianza. Representa la distancia media a la que se encuentran los datos respecto de la media aritmética, es necesario conocer la desviación estándar para tener una visión más amplia del conjunto de datos que se analiza y poder interpretarlos de una mejor manera en la toma de decisiones que estos impliquen.

$$S_x = \sqrt{S_x^2} \quad (3)$$

Donde:

S_x es la desviación estándar de la muestra

II.1.2.3 Coeficiente de variación.

Un problema que plantean las medidas de dispersión vistas es que vienen expresadas en las unidades en que se ha medido la variable. Es decir, son medidas absolutas y con el único dato de su valor no es posible decir si tenemos una dispersión importante o no.

Para solucionar esto, se definen unas medidas de dispersión relativa, independiente de las unidades usadas. Estas dispersiones relativas van a permitir además, comparar la dispersión entre diferentes muestras (con unidades diferentes). Entre estas medidas hay que destacar el coeficiente de variación, definido como el cociente entre la desviación estándar y la media aritmética (Garcia, 2011).

$$CV = \frac{S_x}{\bar{x}} \quad (4)$$

II.2 Conceptos Básicos de Hidrología:

II.2.1 Precipitación.

De acuerdo con la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre; con sus mediciones se tiene el punto de partida de la mayor parte de los estudios relativos al uso y control del agua; es importante estudiar dos aspectos fundamentales de la precipitación:

- 1) La manera en que se produce y algunos métodos en que puede predecirse dadas ciertas condiciones atmosféricas.
- 2) La manera en que se mide y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos (Aparicio, 1989).

Con la precipitación se inicia propiamente el ciclo hidrológico. Se denomina precipitación al agua que llega a la superficie terrestre proveniente de la atmósfera y es un componente fundamental del ciclo hidrológico (Franco, et al., 2007).

Existen tres tipos de precipitación, estos dependen del tipo de mecanismo que hace ascender el aire húmedo a la atmosfera:

- **Precipitación convectiva:** Se origina por el calentamiento del suelo, que provoca corrientes ascendentes de aire húmedo. La precipitación asociada a este tipo de fenómeno afecta áreas reducidas, del orden de 25 a 50 kilómetros cuadrados.
- **Precipitación ciclónica:** Está asociada al paso de ciclones, resulta del levantamiento del aire por convergencia de la masa de aire en una zona de baja presión. En general, afecta zonas muy extensas.
- **Precipitación orográfica:** Es consecuencia del ascenso del aire producido por las barreras montañosas; su distribución en el espacio está relacionada con las pendientes del terreno.

II.2.2 Precipitación Media.

Por lo general los datos obtenidos en cada estación difieren entre sí, debido a que esta lectura es puntual dependiendo del sitio donde se coloque el aparato de medición. Para poder realzar los cálculos ingenieriles es necesario conocer la lluvia media que describa una zona en particular como lo puede ser una cuenca (Aparicio 1992). Existen diferentes métodos para poder estimar la precipitación media, algunos de estos toman en cuenta diferentes características de la cuenca como son caracterizas topográficas o áreas de influencia de cada estación.

Métodos para la estimación de la precipitación media:

- Media aritmética: Se calcula el promedio aritmético de las precipitaciones registradas en cada estación. No toma en cuenta la distribución espacial de la tormenta, ni la distribución de las estaciones. Es decir se le da el mismo peso a todas las alturas de precipitación. Puede servir para una estimación gruesa en topografías suaves y con variación uniforme en las condiciones atmosféricas.
- Polígonos de Thiessen: Es necesario conocer la ubicación de las estaciones en la zona de estudio. Para determinar el área de influencia de cada estación dentro de dicha zona se trazan triángulos que unen las estaciones cercanas, después en cada lado del triángulo se trazan las medianas y donde se intersectan dichas líneas se forman los polígonos que representan el área de influencia de cada estación. Por último, se utiliza un promedio pesado para determinar la precipitación media tomando en cuenta el área de influencia de cada estación.

$$\bar{P} = \frac{\sum a_i P_i}{A_T} \quad (5)$$

Donde:

a_i - Área del polígono correspondiente a la estación i , en km^2 .

A_T - Área total de la cuenca en km^2 .

P_i - Precipitación registrada en la estación i en mm .

- Mapa de Isoyetas: Se trazan líneas que engloben puntos comprendidos en los intervalos elegidos. El valor de las isocurvas depende del periodo considerado y de la extensión de la zona en estudio.

Al trazar las isocurvas, si no se cuenta con datos de precipitación que ayuden al trazo, las curvas de nivel del terreno pueden ser de utilidad si previamente se considera la relación entre la precipitación y la altitud.

Para calcular la precipitación media (P_m) se requiere un mapa con la localización de las estaciones, en cada una de ellas se anota el valor de precipitación registrada y se trazan las curvas de igual precipitación, denominadas isoyetas. La ecuación representativa es:

$$P_m = \frac{\sum(P_i A_i)}{A} \quad (6)$$

Donde:

P_m .- Precipitación media

P_i .- Precipitación media entre dos isoyetas

A_i .- Área entre dos isoyetas consecutivas y el parteaguas de la cuenca.

A .- Área total de la cuenca en km^2 .

Capítulo III: Funciones de Distribución de probabilidad empleadas en hidrología.

III.1 Función de distribución de probabilidad, densidad de probabilidad y periodo de retorno.

Se define a la función de distribución de probabilidad de una variable aleatoria u , que puede tomar valores en el campo de los números reales, como la probabilidad de que dicha variable tome valores menores o iguales a un valor dado x , para toda x comprendida en los reales, esto es:

$$Fu(x) = \text{prob} \{u \leq x\} \quad u \text{ y } x \in \mathbb{R} \quad (7)$$

Sus principales propiedades son:

$$Fu(\infty) = 1 \quad (8)$$

$$Fu(-\infty) = 0 \quad (9)$$

$$Fu(x + \Delta x) \geq Fu(x) \quad \text{si } \Delta x \geq 0 \quad (10)$$

Debido a que en los problemas de hidrología es común que lo que interese sean la probabilidad de que la variable exceda un determinado valor y a que frecuentemente se trabaja con probabilidad de excedencia muy cercana a cero, se ha introducido el concepto de periodo de retorno (**Tr (x)**), que se define como el tiempo promedio en años que se requiere para que la variable en cuestión exceda un determinado valor x .

Si como es común en hidrología, la variable u representa a los valores máximos anuales y el valor que tome dicha variable en un año es independiente de él que tome en los otros, los conceptos anteriores se pueden relacionar mediante la siguiente expresión (Carrizosa 1997).

$$T(x) = \frac{1}{1-F(x)} \quad (11)$$

Donde

$T(x)$ Periodo de retorno, en años, asociado a un valor

$F(x)$ Función de distribución de los valores máximos anuales

Para una serie de valores medidos x_1, x_2, \dots, x_n el método más común para estimar el período de retorno $T(x)$ asociado a cada uno de esos valores es como sigue:

- Se ordenan los valores en orden descendente según su magnitud y se asigna a cada uno un número de orden m , correspondiendo $m = 1$ al valor máximo.
- Para calcular el periodo de retorno suele utilizarse la fórmula de Weibull:

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \quad (12)$$

Donde:

n Número de años de registro

T_r Periodo de retorno estimado para el valor x que ocupa el lugar m en la secuencia ordenada de mayor a menor

Función de densidad de probabilidad.

En correspondencia con el histograma de frecuencias, se define la función de densidad de probabilidad asociada a la variable aleatoria x como:

$$f(x) = \frac{\partial F(x)}{\partial x} \quad (13)$$

Es decir, matemáticamente la función de densidad de la variable aleatoria x es la derivada parcial de su función de distribución de probabilidad.

La gráfica de la función de densidad se muestra en la figura III.1, donde el área bajo la curva y entre las rectas a y b (área achurada en la figura) da la probabilidad de que la variable aleatoria x se encuentre entre a y b , lo que se puede representar por:

$$Prob(a < x < b) = \int_{-\infty}^b f(x) dx - \int_{-\infty}^a f(x) dx = \int_a^b f(x) dx \quad (14)$$

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

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (15)$$

Otra propiedad es que siempre es mayor o igual a cero

$$f(x) \geq 0$$

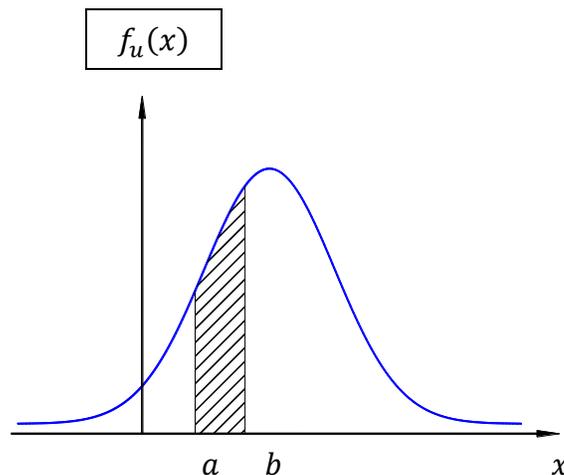


Figura III.1. Función de densidad

La función de densidad es la derivada de la función de distribución y corresponde a la idea de frecuencias relativas asociada al caso de una muestra, aunque para el caso continuo, las ordenadas de la función de densidad no son probabilidades, sino que éstas están asociadas con áreas bajo la función.

III.1.1 Distribución normal.

Una distribución muy importante y mayormente usada es la distribución normal y la ecuación matemática es la siguiente:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (16)$$

Y la función de densidad se define de la siguiente manera:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad ; \quad -\infty < X < \infty \quad (17)$$

Dónde:

μ = media

e = 2.7182...

π = 3.1415...

σ = desviación estándar

x = variable aleatoria

La distribución normal es una curva con forma de campana, con eje de simetría en el punto correspondiente al promedio del universo μ . La distancia entre el eje de simetría de la campana y el punto de inflexión de la curva es igual a σ , la desviación estándar de la población. El área total debajo de la curva es igual a 1.

III.1.2 Distribución Gumbel.

Cuando se analizan datos máximos ya sean de precipitación, gastos, etc. Se ha demostrado teóricamente que la función que más se ajusta en hidrología es la función Gumbel y por tanto esta función de distribución es utilizada para determinar la probabilidad de que ocurran grandes avenidas. Esta distribución también es conocida como función de valores extremos debido a lo antes mencionado.

La función de distribución de probabilidad se representa por la siguiente ecuación:

$$F(X) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (18)$$

La función de densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(X) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (19)$$

Dónde:

- α Parámetro de forma
- β Parámetro de escala
- x Variable aleatoria

Los parámetros α y β se estiman por el método de momentos como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad (20)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45S \quad (21)$$

Dónde:

S es la desviación estándar que se calcula con la ecuación siguiente:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (22)$$

\bar{X} Representa la media de la muestra, la cual se calcula con la expresión siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (23)$$

La distribución de probabilidad Gumbel se utiliza para el estudio de los gastos máximos anuales en un río o de precipitaciones máximas anuales en un sitio, y por lo tanto para la determinación de avenidas de diseño. (Muñoz, 2015)

III.1.3 Distribución Doble Gumbel

Debido a la ubicación geográfica de nuestro país, hay ciertas zonas que están expuestas a diferentes eventos meteorológicos como son ciclones o tormentas tropicales, debido a esto, se presentan precipitaciones relacionadas con dichos fenómenos y por tanto estas precipitaciones están consideradas como una segunda población en la zona de estudio.

Debido a lo anterior es necesario desarrollar una función de distribución que tome en cuenta el efecto producido por las dos poblaciones en conjunto, la función Doble Gumbel, está dada por la siguiente ecuación:

$$F(X) = p \left(e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right) + (1 - p) \left(e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right) \quad (24)$$

Donde

- α_1 y β_1 son los parámetros correspondientes a la población no ciclónica
- α_2 y β_2 corresponden a la ciclónica
- p es la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto máximo no sea producido por una tormenta ciclónica.
- Los valores α_1 y β_1 se obtienen ajustando por momentos una función Gumbel a los datos de la primera población
- los valores de α_2 y β_2 ajustando otra función de Gumbel a los datos de la segunda población.
- Los parámetros α_1 y α_2 definen una cierta inclinación de las curvas, entre más pequeñas más fuerte es la inclinación.
- β_1 y β_2 son parámetros de escala, el valor más grande que pueden tomar es el máximo valor de la muestra obtenido para las poblaciones 1 y la 2.

Para estimar los parámetros se recomienda minimizar el error cuadrático como:

$$Z = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

Donde

- x_i y \bar{x}_i son los valores medidos y los valores estimados con la función de distribución de probabilidad,
- n es el número de valores que contiene la muestra.

Para obtener la combinación de valores p , α_1 , β_1 , α_2 y β_2 que hacen mínima la función Z , se recomienda hacer primero una gráfica en la que se dibujen los puntos correspondientes a las parejas de valores $[Q_i, F(Q_i)]$. Para dibujar los puntos en la gráfica se utiliza el papel de Gumbel.

El papel de Gumbel tiene en el eje de las abscisas los valores de:

$$Y = -\text{LnLn} \left[\frac{F(x)}{F(x)-1} \right] \quad (26)$$

Y en las ordenadas los de x.

Con esto se logra separar a las dos poblaciones que se agrupan en sendas rectas (Muñoz, 2015).

Capítulo IV. Metodología.

IV.1 Delimitación de las regiones homogéneas

Debido a la poca información disponible para poder realizar un estudio hidrológico en el país, es necesario emplear técnicas de regionalización para poder estimar una lluvia de diseño más acertada. De esta manera las estaciones que cuentan con información suficiente servirán para compensar al menos en una parte, la poca cantidad de datos en un sitio particular.

Varios estudios han demostrado que el uso adecuado de las técnicas de regionalización permite obtener una mejor estimación de gastos y lluvias de diseño, en algunos casos con hasta la mitad del error estándar (Stedinger, 1991).

Para poder realizar una regionalización correcta, es necesario que la región considerada como zona de estudio sea homogénea de alguna forma cuantificable. Las técnicas de delimitación de regiones homogéneas y los modelos regionales hacen uso de las características fisiográficas de las cuencas.

De todas las etapas del análisis regional, la más complicada es el poder delimitar dichas regiones, definir la homogeneidad de dichas regiones no es siempre la tarea más sencilla debido a que se deben tomar decisiones subjetivas. La formación de grupos es una de las tareas más importantes en las técnicas de regionalización (Burn y Goel, 2000), es altamente dependiente de la variables empleadas para su delimitación.

Los requerimientos para asegurar una efectiva transferencia de información de una región a otra son los siguientes (Burn y Goel, 2000):

1. Que la región sea hidrológicamente homogénea. Este requerimiento se deriva de la necesidad de asegurar que los eventos extremos que son transferidos al sitio objetivo son similares a los que se han presentado en el sitio.
2. La región debe ser identificable. Esto implica que se pueda definir una región para una nueva cuenca, la cual puede no estar aforada.
3. La región puede ser suficientemente grande. Sin embargo, grandes regiones implican que una mayor cantidad de información de gastos extremos sea incorporada al análisis.

A medida que el tamaño de la región se incrementa, la homogeneidad tiende a decrecer. Algunas cuencas son similares con respecto a cierta variable, como la

cubierta forestal o la lluvia anual, pero no a otras, como las características fisiográficas.

Además, con el análisis por grupos, literalmente cualquier conjunto de variables es capaz de generar grupos. Lo cual es muy útil ya que de esta manera se podrá seleccionar las variables de acuerdo con la importancia del problema (Nathan y McMahon, 1990).

La medida de la similitud de los grupos es altamente dependiente de la escala de las variables empleadas para su formación (Nathan y McMahon, 1990). Así, por ejemplo, es posible que variables como el área tengan una mayor importancia en la medida de la similitud del grupo, que variables como la precipitación media anual o la pendiente del cauce principal.

A continuación se presentan algunos métodos para una correcta agrupación de datos.

IV.1.1 Trazos multidimensionales (curva de Andrews)

Nathan y McMahon (1990) propusieron una técnica para la formación de grupos en regiones homogéneas basada en los trazos multidimensionales propuestos por Andrews (1972). Para esta técnica, un punto en el espacio multidimensional se presenta por una curva en dos dimensiones por medio de la función:

$$f(t) = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 \sin(t) + X_3 \cos(t) + X_4 \sin(2t) + X_5 \cos(2t) + \dots \quad (27)$$

Donde:

X_1, X_2, \dots son las variables fisiográficas y/o climáticas definidas para el análisis de formación de grupos.

La función se evalúa en el rango $-\pi \leq t \leq \pi$.

El hecho de que esta función preserve las distancias la hace una técnica ideal de comparación visual para la formación de grupos homogéneos (Escalante y Reyes, 2008). Los grupos de cuencas con comportamientos similares aparecen como una banda de curvas muy próximas unas de otras.

Los resultados obtenidos dependen de las variables seleccionadas, las primeras variables se asocian con componentes cíclicas de baja frecuencia y las últimas de alta frecuencia.

Las bajas frecuencias son más fáciles de observar, de esta manera X_1 representará a aquella variable que, por ejemplo, en el análisis de regresión resultó ser más significativa desde el punto de vista estadístico, X_2 a la segunda y así sucesivamente.

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

Para las curvas donde se tenga duda sobre si pertenece o no a un grupo particular se hará la siguiente prueba:

$$SS = \sum_{t=-\pi}^{\pi} \{ [f^j(t)] - [\bar{f}(t)]_k \}^2 \quad (28)$$

Donde:

SS es la suma de las diferencias al cuadrado entre los puntos que forman la curva en el sitio j .

La curva característica $\bar{f}(t)$ de cada uno de los k grupos ya formados.

La cuenca se localizará en la región k donde se haya obtenido el menor valor de SS .

IV.1.2 Región de influencia (distancia Euclidiana)

En esta técnica cada sitio se considera el centro de su propia región (Burn, 1988, 1990; Zrinji y Burn, 1996). La identificación de una región de influencia se apoya en la medición de la distancia Euclidiana en un espacio de atributos multidimensionales.

El conjunto de atributos (características fisiográficas y/o climatológicas) se relaciona con las características de los eventos extremos. También se define una función de peso que refleja la importancia relativa de cada sitio dentro de la región. 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:

$$D_{jb} = \left[\sum_{i=1}^p w_i (c_j^i - c_b^i)^2 \right]^{1/2} \quad (29)$$

$$C_j^i = \frac{x_j^i}{s(x^i)} \quad (30)$$

$$C_b^i = \frac{x_b^i}{s(x^i)} \quad (31)$$

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 Son valores del atributo i del sitio j

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

$S(X_i)$ es la desviación estándar del atributo i considerando todos los sitios j y la estación b .

W_i es el peso asociado con el atributo i .

El proceso de estandarización elimina las unidades de cada atributo y reduce cualquier diferencia de escala 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, sin embargo, pueden obtenerse como en la técnica de delimitación multidimensional al examinar la correlación entre las características estadísticas de los eventos extremos y las características fisiográficas y/o climatológicas.

El próximo paso dentro del proceso de identificación de la región de influencia implica proponer un valor de tolerancia que acote la media de la distancia. Así, se pudieran excluir todas aquellas estaciones que tengan una distancia más grande que el valor promedio $D_{\bar{j}b}$ desde el sitio base.

IV.1.3 Coeficiente de variación

Para determinar una región empleado el criterio del coeficiente de variación, es necesario obtener dichos coeficiente descritos en el capítulo II para cada estación de cada región, posteriormente estos son ordenados de mayor a menor y agrupados, esto de acuerdo a la cercanía de los valores obtenidos para que después de aplicar la siguiente fórmula, los resultados no excedan el límite que establece la distribución de Fisher para un límite de confianza del 95 o el 99%.

No importa el número de grupos que se puedan llegar a formar, se debe tratar que el cociente de cada uno no sea mayor a 2, considerando solamente los valores mayores como se expresa en la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de grupo homogéneo} = \left(\frac{CV_i}{CV_f} \right)^2$$

Donde:

CV_i: es el coeficiente de variación que ocupa el primer lugar en la lista.

CV_f: es el coeficiente de variación que ocupa el último lugar en la lista

IV.2. Técnicas de estimación regional

El análisis regional hidrológico suministra la forma de inferir eventos para cierto periodo de retorno en sitios con escasa o nula información, a través del empleo de las características fisiográficas y climatológicas de la cuenca en el sitio de estudio y o de sus cuencas vecinas (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2008). Algunos métodos suponen que la región es un conjunto de sitios de medición cuyo comportamiento de la frecuencia de las precipitaciones máximas es homogénea de alguna manera cuantificable. El análisis de frecuencia regional explica esta homogeneidad para estimar los eventos de diseño que, en la mayoría de los casos, son más confiables que los estimados a partir del análisis en el sitio (Cunnane, 1988).

IV.2.1 Avenida índice

Este método considera que las muestras se ajustan a la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel). Para la correcta utilización del método es necesario que las muestras tengan igual longitud de registros. En esta técnica los eventos máximos instantáneos son estandarizados con el gasto o lluvia de diseño para un periodo de retorno de 2.33 años (Dalrymple, 1960).

IV.2.2 Estaciones - Año

Este método sirve para estimar eventos de largos periodos de retorno, busca evitar la necesidad de extrapolar valores para la distribución ajustada. Este método combina los registros de sitios individuales, para formar un solo registro de longitud igual a la suma de las longitudes de los registros individuales.

Al igual que otros métodos de regionalización, el método supone que la distribución de frecuencias de las precipitaciones máximas anuales es idéntica en cada sitio una vez que los eventos máximos anuales han sido estandarizados por la división de una variable índice, generalmente la media de las precipitaciones máximas anuales (Buishand.1991; Stewart.1999). Además, el método de las estaciones-año, supone que registros en los sitios son independientes entre sí.

Con referencia al tamaño de muestra aceptable para el análisis de éstas, se recomienda que al menos sea de 20 años. Esta recomendación no es del todo estricta, ya que si se tiene un sitio con menos años de registro pero dentro de este se encuentran eventos extremos que puedan afectar el comportamiento del fenómeno en la región, deberán ser incluidos en el estudio (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2008).

Capítulo V: Aplicación para el estado de Nuevo León

V.1 Zona de estudio (descripción del estado)

El estado de Nuevo León representa el 3.27 % de la superficie del país, está dividido en 51 municipios, cuenta con una población total de 5 119 504 habitantes los cuales representan el 4.3 % de la población nacional.

Nuevo León es el tercer estado que más aporta al Producto Interno Bruto Nacional (PIB) con un 7.3% solo por debajo de las entidades de la Ciudad de México y el Estado de México.

La superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Oriental, Grandes Llanuras de Norteamérica y Llanura Costera del Golfo Norte.

Al norte hay extensos lomeríos, interrumpidos por algunas sierras aisladas, que forman valles entre serranías, localmente se les denomina potreros. Asimismo, hay una gran llanura conocida como población Anáhuac, la altura más baja es de 100 metros y se localiza al este en el límite con estado de Tamaulipas.

El 68 % del estado presenta clima seco y semiseco, el 20% cálido subhúmedo, se encuentra en la región perteneciente a la llanura costera del Golfo norte, el 7 % es templado subhúmedo y se localiza en las partes altas de la sierras y el restante 5 % presenta clima muy seco hacia la Sierra madre Occidental.

La temperatura media anual es alrededor de 20°C, la temperatura máxima promedio es de 32°C y se presenta en los meses de mayo a agosto, la temperatura mínima promedio es de 5°C y se presenta en el mes de enero. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de agosto y septiembre.

El clima seco y semiseco que predomina en el estado es una limitante para la agricultura, sin embargo se cultiva maíz, sorgo, trigo, frijol avena y cebada principalmente con riego.

El estado cuenta con distintos cuerpos de agua que son:

Ríos

- Bravo
- San Juan
- Sabinas
- El Salado
- Encadenado
- Garrapatas

- Potosí
- Salado
- Pesquería
- El Pílon
- Conchos
- Santa Catarina
- La Boquilla
- El Álamo
- Magueyes
- Salinas
- La Negra
- Los Monfort
- Las Norias
- El Madroño
- Doctor González
- Hualahuises
- Candela
- El Blanquillo
- Tlahualilo
- Atongo
- Chiquito
- Blanco
- Los Nogales
- El Pinole

L a g u n a s

- Salinillas
- El Negro

P r e s a s

- El Cuchillo
- José López Portillo (Cerro Prieto)
- Rodrigo Gómez (La Boca)
- Agualeguas
- Sombreretillo
- El Porvenir
- Loma Larga

Debido al crecimiento poblacional, la importancia económica del estado y la disposición de recursos hidráulicos, es necesario construir nuevas obras de infraestructura para una mejor calidad de vida de la población. Estas obras de infraestructura contemplan nuevas obras hidráulicas que sirvan para el aprovechamiento del recurso hidráulico, su saneamiento y su depósito final del mismo en el ciclo hidrológico.

Para un buen diseño de cualquier obra hidráulica es necesario conocer cuánto llueve y cuanto escurre en el área donde se desea construir, es por esto que esta tesis muestra los estudios y la metodología aplicada que servirán para poder estimar una lluvia de diseño para cualquier parte del estado.

V.1.1 Ubicación del estado.

Nuevo León está localizado al norte de la República Mexicana, colinda con los estados de Tamaulipas, Coahuila, Zacatecas y San Luis Potosí. De las 32 regiones hidrológicas con las que cuenta el país tres se intersectan en el estado las cuales son Bravo-Conchos al norte, San Fernando-Soto la Marina al sureste y El salado al suroeste. La ubicación del estado se puede observar en las figuras V.1 y V.2



Figura V.1. Localización del estado de Nuevo León en la República Mexicana

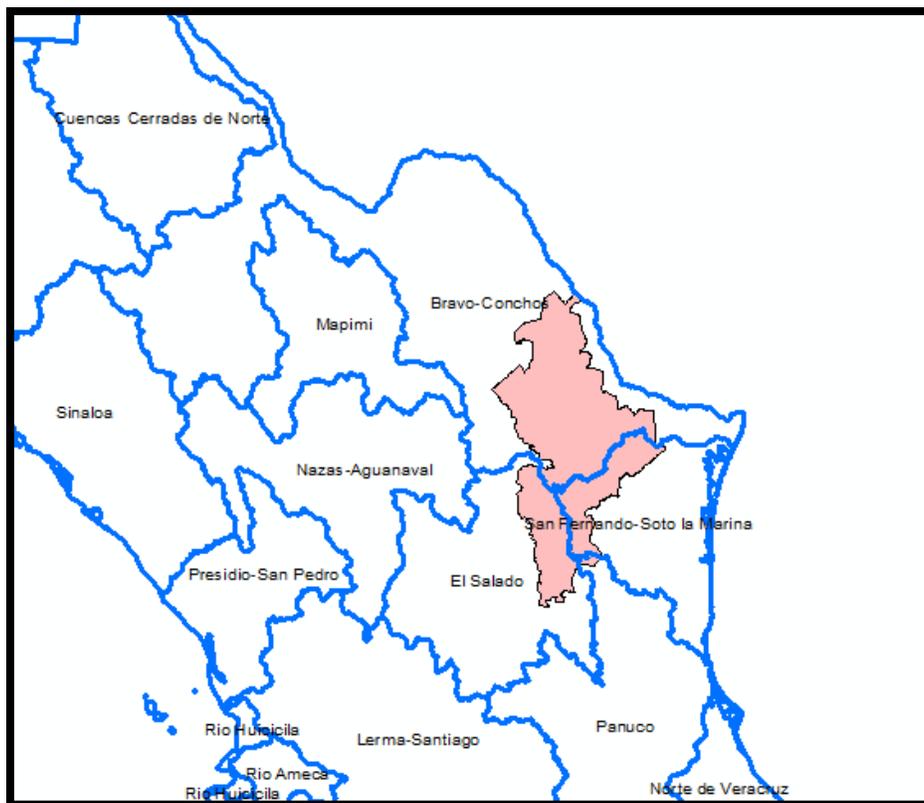


Figura V.2. Referencia de las regiones hidrológicas con las que se intersecta el estado de Nuevo León

V.1.2 Estaciones climatológicas disponibles en NL

El estado cuenta con 200 estaciones climatológicas, las cuales registran la información de la lluvia diaria en el estado. Estas estaciones tienen información climatológica de precipitación, así como sus coordenadas geográficas de latitud, longitud y elevación. (Tabla V.1)

Tabla V.1 Estaciones disponibles en Nuevo León. Estación, nombre, localización, organismo

CLAVE	NOMBRE	LATG	LATM	LATS	LONG	LONM	LONS	ALTURA	ORGANISMO
19001	LAS ADJUNTAS	25	18	0	100	8	27	740	CONAGUA-DGE
19002	AGUA BLANCA	25	32	39	100	31	23	2193	CONAGUA-DGE
19003	ALLENDE	25	17	1	100	1	13	454	CONAGUA-DGE
19004	APODACA	25	47	37	100	11	50	430	CONAGUA-DGE
19005	ARAMBERRI II	24	6	11	99	49	6	1080	CONAGUA-DGE
19006	BUSTAMANTE	26	33	0	100	31	0	1981	CONAGUA-DGE
19007	CABEZONES	24	59	28	99	44	31	460	CONAGUA-DGE
19008	CADEREYTA	25	35	25	99	58	30	330	CONAGUA-DGE
19009	CASILLAS	25	11	47	100	12	51	1279	CONAGUA-DGE
19010	CERRALVO (DGE)	26	5	24	99	37	3	280	CONAGUA-DGE
19011	CERRO PRIETO	24	56	17	99	23	7	261	CONAGUA-DGE
19012	CIENEGA DE FLORES	25	57	8	100	10	20	380	CONAGUA-DGE
19013	CIENEGA DEL TORO	25	5	5	100	20	0	2140	CONAGUA-DGE
19014	DULCES NOMBRES	24	0	7	99	34	30	675	CONAGUA-DGE
19015	EL CERRITO	25	30	36	100	11	36	510	CONAGUA-DGE
19016	EL CUCHILLO	25	43	5	99	15	21	145	CONAGUA-DGE
19017	EL MARRUBIAL (CFE)	25	27	40	100	18	14	1070	CFE
19018	EL PAJONAL	25	29	23	100	23	20	2576	CONAGUA-DGE
19019	EL REALITO	25	17	49	99	20	56	230	CONAGUA-DGE
19020	EL POTOSI	24	50	36	100	19	15	1890	CONAGUA-DGE
19021	GARZA AYALA	26	29	29	100	3	30	257	CONAGUA-DGE
19022	GENERAL BRAVO (DGE)	25	48	5	99	10	32	106	CONAGUA-DGE
19023	CAMPO EXPERIMENTAL INIA	25	15	0	99	41	0	317	INIA
19024	ANAHUAC	27	14	18	100	7	53	194	CONAGUA-DGE
19025	HIGUERAS (SMN)	25	57	0	100	1	0	520	CONAGUA-SMN
19026	ICAMOLE	25	56	28	100	41	13	640	CONAGUA-DGE
19027	ITURBIDE	24	43	31	99	54	17	1462	CONAGUA-DGE
19028	LAMPAZOS (SMN)	27	4	41	100	29	27	285	CONAGUA-SMN
19029	LA ARENA	25	44	36	99	52	28	280	CONAGUA-DGE
19030	LA CIENEGA DE GONZALEZ	25	22	27	100	14	2	1507	CFE
19031	LA CRUZ	25	32	47	100	31	23	2224	CONAGUA-DGE
19032	CARBONERA	24	48	36	100	47	12	2035	CONAGUA-DGE
19033	LAGUNA DE SANCHEZ	25	20	46	100	16	48	1879	CONAGUA-DGE
19034	PABLILLO (SMN)	24	51	25	99	33	20	346	CONAGUA-SMN
19035	CAMACHO	24	52	19	99	34	44	350	CONAGUA-DGE
19036	LA POPA	26	9	50	100	49	40	945	CONAGUA-DGE
19037	LAS PRESAS	24	18	49	100	1	55	1840	CONAGUA-DGE
19038	LAS COMITAS	25	30	48	100	21	21	973	CONAGUA-DGE

CLAVE	NOMBRE	LATG	LATM	LATS	LONG	LONM	LONS	ALTURA	ORGANISMO
19039	LAS ENRAMADAS	25	30	5	99	31	17	230	CONAGUA-DGE
19040	LOS ALDAMAS	26	3	52	99	11	48	103	CONAGUA-SMN
19041	LOS HERRERAS	25	53	51	99	24	3	140	CONAGUA-DGE
19042	LOS RAMONES	25	41	29	99	37	50	210	CONAGUA-DGE
19043	MADERO	26	1	20	99	11	48	103	CONAGUA-DGE
19044	MAMULIQUE	26	7	2	100	13	42	538	CONAGUA-DGE
19045	MINA	26	0	8	100	32	0	590	CONAGUA-DGE
19046	MIER Y NORIEGA (SMN)	23	25	21	100	7	5	1678	CONAGUA-SMN
19047	MIMBRES	24	58	26	100	15	31	2331	CONAGUA-DGE
19048	MONTEMORELOS	25	10	55	99	49	56	421	CONAGUA-DGE
19049	MONTERREY	25	40	57	100	16	1	495	CONAGUA-DGE
19050	SAN JOSE DE RAICES	24	34	0	100	14	18	1870	CONAGUA-SMN
19051	POTRERO REDONDO	25	15	44	100	9	38	1316	CONAGUA-DGE
19052	MONTERREY (OBS)	25	44	1	100	18	17	515	CONAGUA-SMN
19053	RAYONES	25	1	15	100	4	38	848	CONAGUA-DGE
19054	RINCONADA	25	40	52	100	43	3	1000	CONAGUA-DGE
19055	SALINILLAS	27	25	45	100	22	26	240	CONAGUA-DGE
19056	SAN JUAN	25	32	36	99	50	25	260	CONAGUA-DGE
19057	SAN RAFAEL	25	1	35	100	32	55	1887	CONAGUA-DGE
19058	SANTA CATARINA	25	39	26	100	26	44	700	CONAGUA-DGE
19059	SANTA ROSA	24	10	21	100	17	14	1664	CONAGUA-DGE
19060	SOMBRERETILLO	26	20	29	99	56	24	310	CONAGUA-DGE
19061	TOPO CHICO	25	43	5	100	19	21	550	CONAGUA-DGE
19062	TUNEL DE SAN FRANCISCO	25	24	24	100	11	0	720	CONAGUA-DGE
19063	VALLECILLO (DGE)	26	39	29	99	59	11	265	CONAGUA-DGE
19064	VAQUERIAS	25	7	42	99	2	25	145	CONAGUA-DGE
19065	SANTIAGO	25	26	0	100	10	0	497	CONAGUA-DGE
19066	ZARAGOZA (SMN)	23	59	0	99	45	0	1777	CONAGUA-SMN
19067	EL RUCIO	24	41	47	100	26	31	1940	CONAGUA-DGE
19068	DOCTOR ARROYO (SMN)	23	39	0	100	11	0	1713	CONAGUA-SMN
19069	LA BOCA	25	25	46	100	7	44	460	CONAGUA-DGE
19070	LAMPAZOS (DGE)	27	2	0	100	31	0	308	CONAGUA-DGE
19071	PARAS	26	29	36	99	31	27	150	CONAGUA-DGE
19072	CAMARON	27	17	0	100	5	0	204	CONAGUA-SMN
19073	GALEANA (SMN)	24	49	0	100	4	0	1609	CONAGUA-SMN
19074	GENERAL BRAVO (SMN)	25	47	34	99	10	51	129	CONAGUA-SMN
19075	DOCTOR ARROYO II (DGE)	23	40	18	100	10	29	1737	CONAGUA-DGE
19077	VALLECILLO (SMN)	26	39	35	99	59	13	805	CONAGUA-SMN
19079	EL REFUGIO DE LOS IBARRA	24	26	28	100	21	26	1858	CONAGUA-DGE
19082	ARAMBERRI I	24	10	0	99	50	0	1156	CONAGUA-DGE

CLAVE	NOMBRE	LATG	LATM	LATS	LONG	LONM	LONS	ALTURA	ORGANISMO
19083	EJIDO ACUÑA	23	39	0	100	5	0	2168	CONAGUA-DGE
19084	E.T.A. 044 SABINAS HIDALGO	26	30	0	100	5	0	267	CONAGUA-SMN
19085	GALEANA (DGE)	24	48	52	100	4	29	1644	CONAGUA-DGE
19086	MIER Y NORIEGA (DGE)	23	25	23	100	7	4	1680	CONAGUA-DGE
19087	ZARAGOZA (DGE)	23	58	50	99	46	45	1395	CONAGUA-DGE
19088	DOCTOR ARROYO I (DGE)	23	40	20	100	10	49	1720	CONAGUA-DGE
19091	PABLILLO (DGE)	24	35	39	99	59	49	2073	CONAGUA-DGE
19092	SAN FELIPE DE CIENEGUILLAS	24	35	0	100	0	0	2108	CONAGUA-DGE
19093	SAN JUANITO DE RESENDIZ	24	16	6	99	51	30	2000	CONAGUA-DGE
19095	OJO DE AGUA	26	30	0	99	55	0	224	CONAGUA-DGE
19096	LA HUASTEQUITA	25	38	19	100	27	18	720	CONAGUA-DGE
19097	COLOMBIA	27	42	8	99	45	34	137	CONAGUA-DGE
19098	GENERAL TREVIÑO	26	13	21	99	28	57	153	CONAGUA-DGE
19099	CERRALVO (SMN)	26	5	0	99	37	0	296	CONAGUA-SMN
19100	SAN FRANCISCO LA CARRERA	24	41	39	99	40	3	514	CONAGUA-DGE
19101	SAN DIEGO	25	13	49	99	15	15	180	CONAGUA-DGE
19102	COLA DE CABALLO	25	21	58	100	9	45	785	CONAGUA-DGE
19104	LA ESCONDIDA	26	15	29	99	45	38	300	CONAGUA-DGE
19105	DOCTOR GONZALEZ	25	51	16	99	56	36	370	CONAGUA-DGE
19106	LA PAMONA	24	59	33	99	12	48	195	CONAGUA-DGE
19107	SAN NICOLAS	27	32	2	99	58	33	239	CONAGUA-DGE
19108	SAN CRISTOBAL PURISIMA	24	55	8	99	15	17	210	CONAGUA-DGE
19109	UÑA DE GATO	25	58	8	99	41	21	330	CONAGUA-DGE
19110	EL ALAMO	26	29	31	99	46	15	180	CONAGUA-DGE
19111	LA ASCENCION	24	19	22	99	54	37	1980	CONAGUA-DGE
19112	BENITEZ	24	43	32	99	28	16	300	CONAGUA-DGE
19113	EL BRASIL	25	52	36	98	59	29	134	CONAGUA-DGE
19114	EL CUERVITO	25	53	13	98	48	33	167	CONAGUA-DGE
19115	EL CUIJE	25	6	28	100	39	45	1875	CONAGUA-DGE
19117	EJIDO MARIN	25	51	31	100	1	20	403	CONAGUA-DGE
19119	ESPINAZO	26	16	1	100	36	33	954	CONAGUA-DGE
19120	FRESNILLO	26	25	46	99	53	14	230	CONAGUA-DGE
19121	GATOS GÑEROS	25	6	11	99	21	4	258	CONAGUA-DGE
19123	GRUTAS DE GARCIA	25	51	1	100	31	27	1043	CONAGUA-DGE
19124	HIGUERAS (DGE)	25	57	44	100	0	56	494	CONAGUA-DGE
19125	JARITAS	27	25	56	99	48	6	198	CONAGUA-DGE
19126	LA LAJA	24	54	39	99	41	9	410	CONAGUA-DGE
19127	EL OASIS	26	52	58	99	49	37	132	CONAGUA-DGE
19128	OBREGON	24	42	3	100	24	59	1991	CONAGUA-DGE
19129	EL PEÑUELO	24	33	50	100	46	22	1840	CONAGUA-DGE

CLAVE	NOMBRE	LATG	LATM	LATS	LONG	LONM	LONS	ALTURA	ORGANISMO
19130	POBLADORES	25	22	39	98	45	29	302	CONAGUA-DGE
19131	PUERTO DEL EBANO	26	20	55	100	2	40	310	CONAGUA-DGE
19133	SABINAS HIDALGO	26	30	2	100	9	14	291	CONAGUA-DGE
19134	SALINAS VICTORIA	25	57	33	100	17	34	445	CONAGUA-DGE
19135	SAN FRANCISCO DE BERLANGA	24	21	56	100	6	49	1880	CONAGUA-DGE
19136	SAN ISIDRO	24	57	31	99	19	47	235	CONAGUA-DGE
19137	SAN JORGE	24	34	41	100	26	49	1890	CONAGUA-DGE
19138	SANTA ANA	24	5	32	100	23	16	1689	CONAGUA-DGE
19140	TEPEHUAJE	25	30	19	99	46	15	250	CONAGUA-DGE
19141	VILLALDAMA	26	30	5	100	25	19	420	CONAGUA-DGE
19142	AGUALEGUAS	26	18	33	99	32	57	717	CONAGUA-DGE
19143	LA CARDONA	23	24	18	99	58	48	1910	CONAGUA-DGE
19144	CIENEGUITAS Y CRUCITAS	24	31	4	99	58	47	2530	CONAGUA-DGE
19146	CONGREGACION CALLES	25	12	53	99	56	18	455	CONAGUA-DGE
19147	LAS CRUCITAS	24	46	52	99	41	52	500	CONAGUA-DGE
19148	EJIDO DIECIOCHO DE MARZO	24	53	23	100	10	49	1814	CONAGUA-DGE
19149	LA GRANJA	24	38	51	99	32	39	374	CONAGUA-DGE
19150	LOS LERMA	25	40	48	100	12	20	445	CONAGUA-DGE
19151	LAS MARGARITAS	24	15	44	100	25	5	1760	CONAGUA-DGE
19152	EJIDO NUEVO RODRIGUEZ	27	3	50	100	0	48	161	CONAGUA
19154	EL POPOTE	24	54	3	99	29	51	300	CONAGUA-DGE
19155	LA POZA	24	42	57	100	0	57	1750	CONAGUA-DGE
19156	LAS PRESITAS	25	30	50	98	43	47	132	CONAGUA-DGE
19158	RANCHO DE GOMAS	26	10	11	100	27	52	565	CONAGUA-DGE
19159	SAN ANTONIO PEÑA NEVADA	23	44	46	99	58	55	1491	CONAGUA-DGE
19160	SAN IGNACIO DE TEXAS	24	18	38	100	11	22	1680	CONAGUA-DGE
19162	VISTA HERMOSA	25	46	15	99	38	2	199	CONAGUA-DGE
19163	LAS BRISAS	25	23	45	99	32	44	229	CONAGUA-DGE
19164	BUENAVISTA	25	12	50	99	49	30	400	CONAGUA-DGE
19165	CHUPADEROS DEL INDIO	25	48	49	100	47	24	900	CONAGUA-DGE
19166	EJIDO HORCONES	27	10	19	100	24	38	242	CONAGUA-DGE
19168	LAS ESTACAS	26	20	13	100	54	22	658	CONAGUA-DGE
19169	GARZA GONZALEZ	25	49	55	99	37	28	200	CONAGUA-DGE
19170	EL HOJASE	26	6	55	100	21	38	500	CONAGUA-DGE
19171	LAMPACITOS	25	6	38	99	53	57	500	CONAGUA-DGE
19172	LAS MONITAS	26	7	54	99	44	40	400	CONAGUA-DGE
19173	PALMITOS (GE)	25	25	2	99	59	50	368	GE
19174	SAN BARTOLO	25	32	32	100	0	31	326	CONAGUA-DGE
19176	OJO DE AGUA	26	32	20	100	32	54	540	CONAGUA-DGE
19177	POZOS MINA	26	0	42	100	32	41	600	CONAGUA-DGE

CLAVE	NOMBRE	LATG	LATM	LATS	LONG	LONM	LONS	ALTURA	ORGANISMO
19178	SIERRA MORENA	26	32	12	100	32	0	500	CONAGUA-DGE
19179	CERRITO DEL AIRE	23	35	19	100	13	58	1630	CONAGUA-DGE
19180	SAN ANTONIO EL SALERO	24	27	49	100	14	53	1832	CONAGUA-DGE
19181	SAN ISIDRO DE CIENEGA	25	12	3	100	30	43	2190	CONAGUA-DGE
19182	SAN ROBERTO	24	42	36	100	18	12	522	CONAGUA-DGE
19185	EL CANADA	25	2	48	99	56	29	788	CONAGUA
19187	CALIFORNIA	25	18	23	99	44	2	324	CONAGUA
19188	EL CARMEN DE LOS ELIZONDO	24	58	34	99	26	22	280	CONAGUA
19189	EL PASTOR	25	9	6	99	55	36	495	CONAGUA
19190	GUADALUPE LA JOYA	25	9	57	99	19	6	227	CONAGUA
19192	PRESA VAQUERIAS	25	14	57	99	34	19	275	CONAGUA
19193	SANTA ROSA	24	42	1	99	51	19	1600	CONAGUA-DGE
19197	LA MORITA	25	15	17	99	55	50	420	CONAGUA
19199	SAN CARLOS	26	34	11	99	47	47	176	CONAGUA
19200	LA CIENEGA	25	32	10	100	7	15	440	CONAGUA

V.1.3 Localización de las estaciones disponibles.

A partir de las coordenadas de las estaciones, éstas se localizaron en un mapa utilizando un sistema de información geográfica (SIG) como el ArcGis. De aquí se obtuvo un mapa con la localización de las 200 estaciones climatológicas que se encuentran en el estado, como el que se muestra en la figura V.3.

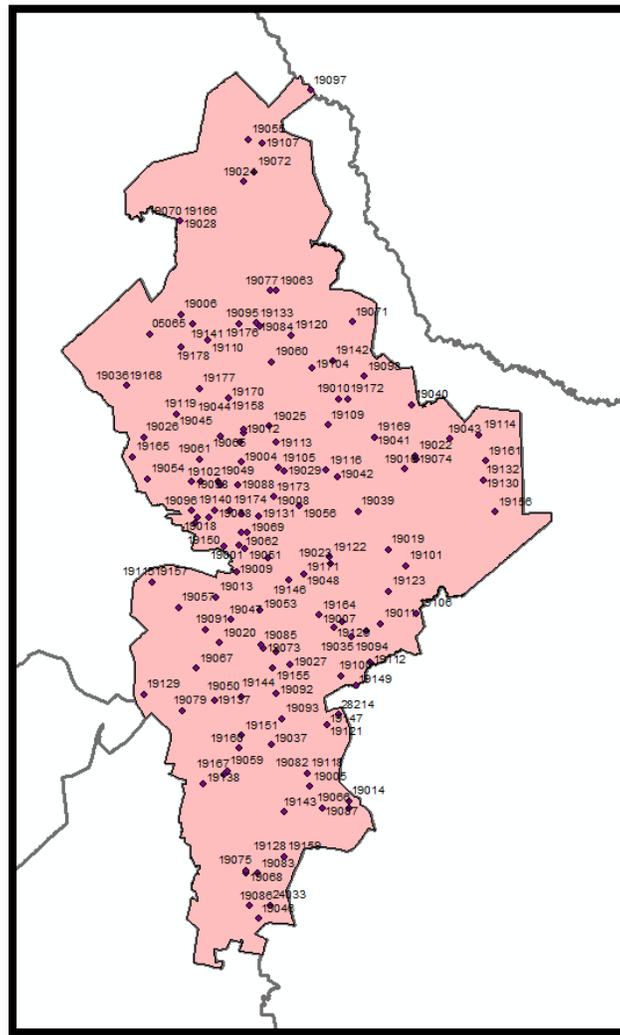


Figura V.3 Localización de las estaciones climatológicas de Nuevo León

V.2 Bibliografía de datos y estudios previos en Nuevo León.

Para poder realizar un correcto análisis de la información disponible, fue necesario basarse en un estudio previo realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en febrero del año 2016 el cual lleva por nombre “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” realizado para la Comisión Nacional del Agua.

En la tabla 1.1 del informe se muestran los datos de los principales eventos de inundaciones publicados por el CENAPRED, complementados con datos no publicados, también del CENAPRED y con datos recopilados por el Instituto de Ingeniería.

De dicha tabla solo se muestra en resumen los eventos que afectaron al estado de Nuevo León o a Tamaulipas por su cercanía (Tabla V.2)

Tabla V.2 Eventos ocurridos en el estado de Nuevo León

Año	Evento	Estado	Población afectada
1933	Ciclón	Tamaulipas	-
1962	Nevada	NL (monterrey)	-
1967	Huracán Beulah	Nuevo León	25000
1988	Huracán Gilbert	Nuevo León	139374
2000	Huracán Keith	Nuevo León	-
2005	Huracán Emily	Nuevo León	178682
2005	Tornado	Nuevo León	-
2008	Huracán Dolly	Tamaulipas	647.3
2010	Huracán Alex	Nuevo León	37624
2013	Ciclón Tropical Ingrid	Nuevo León	55532

Es de esperar que en dichos años donde se presentó algún evento extraordinario, las precipitaciones máximas registradas en cada estación sean mayores.

En el año 2016 se hizo otro estudio en el Instituto de Ingeniería realizado para el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) que lleva por título “Análisis regional para la estimación de precipitaciones de diseño en la república mexicana” el cual tiene como propósito presentar los resultados de un análisis regional de las lluvias registradas en más de 2000 estaciones del país.

Se analizaron los datos de un total de 2293 estaciones, tomando en cuenta el promedio de los años de registro y la información completa para dichos años, en el

cuadro se muestran las estaciones seleccionadas por estado así como su promedio de años de registro.(Tabla V.3)

Tabla V.3 (Estaciones Tomadas por Estado)

Entidad Federativa	Número de estaciones al	*Promedio de años de registro	Entidad Federativa	Número de estaciones al	*Promedio de años de registro
	2010			2010	
Aguascalientes	50	35.18	Morelos	44	33.68
Baja California Norte	37	32.68	Nayarit	25	30.32
Baja California Sur	72	33.03	Nuevo León	55	31.27
Campeche	42	32.64	Oaxaca	130	29.93
Chiapas	109	33.55	Puebla	98	38.56
Chihuahua	58	30.84	Querétaro	34	32.24
Coahuila	28	33.76	Quintana Roo	20	30.8
Colima	17	46.76	San Luis	103	32.23
Distrito Federal	30	28.9	Sinaloa	51	31.1
Durango	83	42.39	Sonora	79	32.75
Estado de México	114	27.7	Tabasco	42	35.79
Guanajuato	108	37.86	Tamaulipas	109	30.28
Guerrero	125	39.75	Tlaxcala	20	32.6
Hidalgo	66	44.2	Veracruz	190	31.1
Jalisco	180	39.74	Yucatán	30	29.97
Michoacán	93	34.37	Zacatecas	51	30.08
			Total	2293	33.94

Para cada una de las estaciones se obtuvieron los valores diarios máximos anuales y se calculó su media, desviación estándar, coeficiente de variación, valor máximo y valor mínimo.

Tomando en cuenta el coeficiente de variación de cada estación, así como la topografía de cada estado y los eventos extraordinarios a los cuales están expuestos, se definieron regiones homogéneas las cuales están indicadas en la tabla V.4.

Tabla V.4. Número de estaciones y coeficientes de variación extremos en cada región.

Entidad Federativa	Región	N° de Estaciones	Coeficiente Variación	
			Máximo	Variación Mínimo
Aguascalientes	Aguascalientes	50	0.46	0.24
Baja California Norte	Baja California Norte	37	1.31	0.41
Baja California Sur	Baja California Sur	72	1.36	0.46
Campeche	Campeche	42	0.93	0.26
Chiapas	Angostura	36	0.88	0.22
	Malpaso	17	0.66	0.24
	Chicoasen	21	0.79	0.22
	Peñitas	4	0.51	0.26
	Almandro	11	0.82	0.24
	Pichucalco	3	0.35	0.29
	Teapa	3	0.50	0.23
	Costa	28	0.57	0.23
Chihuahua	Bajos	18	0.43	0.22
	Restantes	40	0.96	0.24
Coahuila	Coahuila	28	1.04	0.31
Colima	Colima	17	0.68	0.39
Distrito Federal	Distrito Federal	30	0.50	0.21
Durango	Durango	83	1.07	0.23
Estado de México	Estado de México	114	0.50	0.20
Guanajuato	Guanajuato	108	0.49	0.22
Guerrero	Norte	36	0.48	0.18
	Centro	56	0.68	0.32
	Costa	37	0.61	0.21
Hidalgo	menores	57	0.70	0.22
	mayores	5	0.52	0.43
Jalisco	Interior	153	0.53	0.20
	Costa	23	0.58	0.30
Michoacán	Michoacán	93	0.65	0.18
Morelos	Morelos	44	0.64	0.20
Nayarit	Costa	14	0.40	0.25
	Sierra	11	0.33	0.19
Nuevo León	I	10	0.93	0.29
	II	7	0.63	0.39
	III	38	1.01	0.38
Oaxaca	Golfo	29	0.53	0.26
	Altiplano	82	0.74	0.18
	Istmo	14	0.56	0.37
	Pacífico	4	0.59	0.43
Puebla	Norte	49	0.79	0.26
	Centro	34	0.67	0.21
	Sur	14	0.52	0.19
Querétaro	Zona Alta	7	0.49	0.26
	Zona Baja	27	0.64	0.24
Quintana Roo	Quintana Roo	20	0.64	0.28
San Luis	San Luis	103	0.94	0.27
Sinaloa	ZONA I	21	0.77	0.39
	ZONA II	30	0.62	0.20
Sonora	ZONA I	57	0.85	0.17
	ZONA II	21	0.77	0.33
	ZONA III	2	0.77	0.77

Entidad Federativa	Región	N° de Estaciones	Coficiente Variación Máximo	Coficiente Variación Mínimo
Tabasco	Tabasco	32	0.53	0.24
Tamaulipas	ZONA I	81	0.87	0.27
	ZONA II	20	0.91	0.35
	ZONA III	8	0.51	0.31
Tlaxcala	Tlaxcala	22	0.44	0.22
Veracruz	Veracruz	190	0.79	0.20
Yucatán	Yucatán	30	0.68	0.30
Zacatecas	ZONA I	11	0.54	0.28
	ZONA II	39	0.45	0.22
	TOTAL	2293		

De la tabla anterior se observa que el estado de Nuevo León se dividió en tres regiones homogéneas que contemplan un total de 55 estaciones. Región 1 con 10 estaciones, región 2 con 7 y la región 3 con 38 estaciones. En la figura V.4 se pueden apreciar las regiones propuestas.

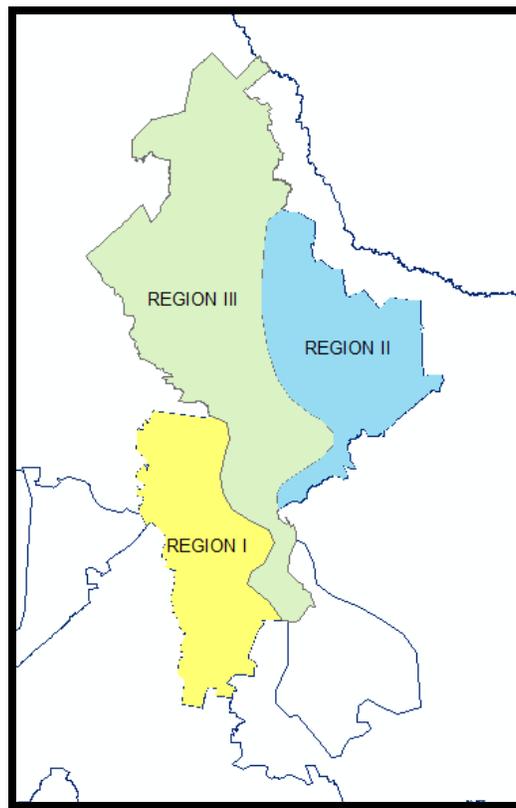


Figura V.4. Regiones homogéneas de Nuevo León propuestas

V.3 Metodología aplicada

V.3.1 Estaciones con un mínimo de 20 años de registro

Cada una de las estaciones antes mostrada (Tabla V.1) tiene un registro diario de precipitación, de la cual podemos obtener los máximos anuales; sin embargo la cantidad de valores (años) no es el mismo para todas las estaciones ya que algunas dejaron de funcionar por ciertos periodos debido a la falta de mantenimiento o simplemente no cuentan con los registros necesarios.

Es importante que los años cuenten con datos de registros de precipitación para los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre ya que en estos meses se presentan las lluvias más fuertes del estado y al no contar con dichos valores se afectaría la estadística para poder obtener las regiones de estado en estudio.

Después de revisar las estaciones con que cuenta en el estado y los años que tienen registros de precipitaciones para cada estación, se depuraron las estaciones que no contaban con un mínimo de 20 años para ser tomadas en el estudio.

De las 200 estaciones con que cuenta el estado solamente las siguientes cumplieron con los requisitos necesarios, dejando un total de 99 estaciones (Tabla V.5).

Tabla V.5 Estaciones totales con un mínimo de 20 años de registro

ESTACION	NOMBRE
19001	ADJUNTAS, V. DE SANTIAGO
19002	AGUA BLANCA, STA. CATARINA
19003	ALLENDE, ALLENDE
19004	APODACA, APODACA
19005	ARAMBERRI, ARAMBERRI
19006	BUSTAMANTE, BUSTAMANTE
19007	CABEZONES, MONTEMORELOS
19008	CADEREYTA JIMENEZ,
19009	CASILLAS, RAYONES
19010	CERRALVO, CERRALVO
19011	CERRO PRIETO, LINARES
19012	CIENEGA DE FLORES
19013	CIENEGA DEL TORO, GALEANA
19014	DULCES NOMBRES,
19015	EL CERRITO, V. DE SANTIAGO
19016	EL CUCHILLO, CHINA
19017	EL MARRUBIAL,
19018	EL PAJONAL, STA. CATARINA
19019	EL REALITO, GRAL. TERAN
19020	EL POTOSI, GALEANA
19021	GARZA AYALA, SABINAS H.

ESTACION	NOMBRE
19022	GENERAL BRAVO, (DGE)
19023	CAMPO EXP. GRAL. TERAN,
19024	GRANJA EXPERIMENTAL,
19025	HIGUERAS, HIGUERAS (SMN)
19026	ICAMOLE, GARCIA
19027	ITURBIDE, ITURBIDE
19028	LAMPAZOS, L. DE NARANJO
19029	LA ARENA, PESQUERIA
19030	CIENEGA DE G., SANTIAGO
19031	LA CRUZ, STA. CATARINA
19033	LAGUNA DE SANCHEZ, STGO.
19034	LINARES, LINARES (SMN)
19035	LINARES, LINARES (DGE)
19036	LA POPA, MINA
19037	LAS PRESAS, ARAMBERRI
19038	LAS COMITAS, STA. CATARINA
19039	LAS ENRAMADAS,
19040	LOS ALDAMAS, LOS ALDAMAS
19041	LOS HERRERAS, L. HERRERAS
19042	LOS RAMONES, LOS RAMONES
19043	MADERO, DR. COSS

Tabla V.5 Estaciones totales con un mínimo de 20 años de registro

ESTACION	NOMBRE
19044	MAMULIQUE, SALS.VICTORIA
19045	MINA, MINA
19046	MIER Y NORIEGA (SMN)
19047	MIMBRES, GALEANA
19048	MONTEMORELOS
19049	MONTERREY, MONTERREY(DGE)
19050	RAICES, GALEANA
19051	POTRERO REDONDO, SANTIAGO
19052	MONTERREY, MONTERREY (SMN)
19053	RAYONES, RAYONES
19054	RINCONADA, GARCIA
19055	SALINILLAS, ANAHUAC
19056	SAN JUAN, CADEREYTA
19057	SAN RAFAEL, GALEANA
19058	SANTA CATARINA
19059	SANTA ROSA, DR. ARROYO
19060	SOMBRERETILLO, SABINAS H.
19061	TOPO CHICO, MONTERREY
19062	TUNEL SAN FRANCISCO
19063	VALLECILLO (DGE)
19065	SANTIAGO, SANTIAGO
19066	GENERAL ZARAGOZA
19067	EL RUSIO, GALEANA
19068	DOCTOR ARROYO (SMN)
19069	LA BOCA, SANTIAGO
19070	LAMPAZOS (DGE)
19071	PARAS, PARAS
19072	CAMARON, ANAHUAC
19073	GALEANA, GALEANA (SMN)
19074	GENERAL BRAVO (SMN)
19075	DOCTOR ARROYO (DGE)
19077	VALLECILLO (SMN)
19079	EL REFUGIO, GALEANA
19082	ARAMBERRI 2, ARAMBERRI
19083	EJIDO ACUÑA, DR. ARROYO
19084	E.T.A. 44 SABINAS HGO.
19085	GALEANA, GALEANA (DGE)
19086	MIER Y NORIEGA (DGE)
19087	ZARAGOZA, ZARAGOZA
19088	DOCTOR ARROYO 2, (DGE)
19091	PABLILLO, GALEANA
19092	SAN FPE. DE CIENEGUILLAS
19093	SAN JUANITO RESENDIZ
19094	E.T.A. 43, LINARES
19095	OJO DE AGUA DE SABINAS
19096	LA HUASTECA, STA. CATARINA
19097	COLOMBIA, COLOMBIA
19098	GENERAL TREVÍÑO, GRAL.T.

ESTACION	NOMBRE
19100	SAN FRANCISCO, LINARES
19101	SAN DIEGO, GENERAL TERAN
19102	COLA DE CABALLO
19104	LA ESCONDIDA, AGUALEGUAS
19105	DOCTOR GOZALEZ
19106	LA POMONA, LINARES
19107	SAN NICOLAS, CD. ANAHUAC
19109	UÑA DE GATO, CERRALVO
19110	EL ALAMO, V. DE SANTIAGO
19112	BENITEZ, LINARES
19113	EL BRASIL, DOCTOR COSS
19114	EL CUERVITO, GRAL. BRAVO
19115	EL CUIJE, GALEANA
19116	EJIDO LAS FLORES, CHINA
19118	LA ESCONDIDA, ARAMBERRI
19119	ESPAZAZO, MINA
19120	FRESNILLO, VALLECILLO
19121	GATOS GUEROS, LINARES
19122	GENERAL TERAN, GRAL. TERAN
19123	GRUTAS DE GARCIA
19126	LA LAJA, HUALAHUISES
19128	OBREGON, DR. ARROYO
19129	EL PEÑUELO, GALEANA
19130	POBLADORES, CHINA
19131	PTO. EL EBANO, SABINAS H.
19132	EL QUEMADO, CHINA
19133	SABINAS HIDALGO (DGE)
19134	SALINAS VICTORIA
19135	SAN FCO. DE BERLANGA
19135	SAN FCO. DE BERLANGA
19136	SAN ISIDRO, LINARES
19137	SAN JORGE, GALEANA
19138	SANTA ANA, DR. ARROYO
19140	TEPEHUAJE, CEDEREYTA
19141	VILLALDAMA, VILLALDAMA
19142	AGUALEGUAS, AGUALEGUAS
19143	LA CARDONA, MIER Y N.
19144	CIENEGUILLAS Y CRUCITAS
19146	CONGREGACION CALLES
19147	LAS CRUCITAS, LINARES
19148	DIECIOCHO DE MARZO
19149	LA GRANJA, LINARES
19150	LOS LERMAS, GUADALUPE
19151	LAS MARGARITAS, DR. ARROYO
19154	EL POPOTE, LINARES
19155	LA POZA, GALEANA
19156	LAS PRESITAS, CHINA
19157	EL CUIJE, GALEANA

19158	RANCHO DE GOMAS
19159	SAN ANTONIO PEÑA NEVADA
19160	SAN ANTONIO DE TEXAS
19161	LA UNINON, GENERAL BRAVO
19164	BUENAVISTA, MONTEMORELOS
19165	CHUPADEROS DEL INDIO
19166	HORCONES, LAMPAZOS DE N.
19167	LAGUNA DE SANTA ROSA
19168	LAS ESTACAS, MINAS
19169	GARZA GONZALEZ, HERRERAS
19170	EL HOJASE, SALINAS V.
19171	LAMPACITOS, MONTEMORELOS
19172	LAS MONITAS, CERRALVO
19173	LOS PALMITOS, CADEREYTA
19174	SAN BARTOLO, C. JIMENEZ
19175	SANTA CRUZ, STA. CATARINA
19176	OJO DE AGUA, BUSTAMANTE
19177	POZOS MINA, MINA
19178	SIERRA MORENA, BUSTAMANTE

Estas estaciones que cuenta con los años de registros mínimos para ser tomadas en cuenta se encuentran localizadas en la figura V.5

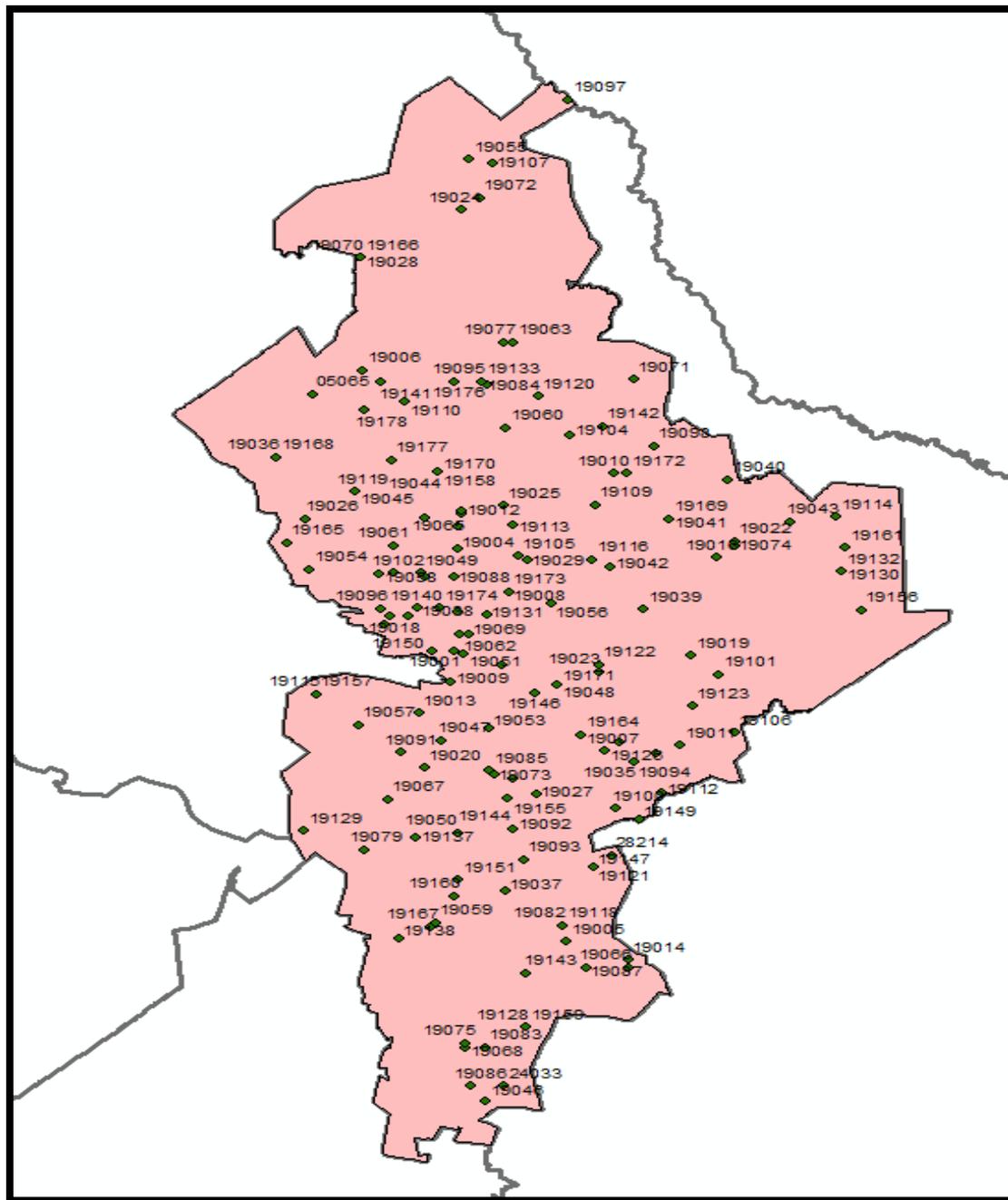


Figura V.5. Estaciones que cuentan con 20 años de registro o más

V.3.2 Análisis de los registros de las estaciones actualizadas

Una vez identificadas las estaciones que en total cumplen con un registro mínimo de 20 años de registro, éstas se ordenaron en una tabla donde se puede observar la estación, y la precipitación máxima para cada año que se registró.

Es importante recordar que estos años deben tener registros durante los meses donde se presentan las lluvias que son de junio a diciembre, si el año no cuenta con registros para alguno de estos meses, el máximo no se tomara en cuenta para la estadística, a excepción de que se presente un valor de precipitación muy alta debido a algún evento extraordinario que afecte a la región.

Se marcaron con azul los valores que parecieron extremadamente grandes y que fueron verificados en el registro original, proporcionado por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR), los cuales pueden tener algún error de captura, adicionalmente, se muestran marcados con amarillo, los valores mínimos que parecieron ilógicos, los cuales pueden ser valores nulos o de solo unos pocos milímetros en zonas lluviosas.

Se puede observar en la tabla V.6 que muchas veces los valores grandes (marcados en azul) coinciden varios en un mismo año, esto puede deberse a la presencia de algún evento extraordinario que haya afectado a la región como se ve en la tabla V.2 de este capítulo.

Fueron eliminados los valores que representan registros de apenas unos pocos milímetros de lluvia, ya que estos valores afectan la media de la precipitación en la estación y esto afectaría directamente para poder formar las regiones.

Del mismo modo, muchos de los valores marcados en amarillo representan registros que se repitieron exactamente igual durante varios años, estos registros fueron eliminados y no se tomaron en cuenta ya que es atípico que el mismo valor se presente

Para varios años consecutivos en una misma estación, pudiéndose deber a un mal funcionamiento de la misma, o a un mal registro de captura de los datos.

Las estaciones y los registros correspondientes a cada año se muestran en la tabla V.6.

Tabla V.6 Registros de precipitaciones máximas anuales

AÑO	19020	19032	19037	19046	19047	19050	19057	19059	19067	19075	19079	19129	19137	19138	19143
1924															
1925															
1926															
1927															
1928															
1929															
1930															
1931															
1932															
1933															
1934															
1935															
1936															
1937															
1938															
1939															
1940															
1941															
1942						29									
1943				53											
1944				60		45									
1945				72		28.5									
1946				85.5		21									
1947				39.5		28									
1948				100		22									
1949				32		20									
1950				44		20									
1951				61											
1952				41		20									
1953				40		21									
1954				30.5		20									
1955				56											
1956				38											
1957	24	28		56		22	27		31.5						
1958	52	48		59		20			34						
1959	35	60		33		29			34						
1960				33.5											
1961				45		50									
1962				29.5		50		60							
1963	35	20.5	27		26	28	22	33	40						
1964	67		29			27		42	22						
1965	80	40	22	49.5	31	24		20	30						
1966	37	65	52	40		50	35	58	33						
1967		35		67	40	42	100	35	33		66				
1968		35	22	38	30	40		97	30						
1969	28	20			29			44	36						

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970	20.6	30		47	40	24	28	30	31									
1971		52	29	61.5		77		17	30									
1972		70	30	52.5	83.5	24		25	36									
1973		53		30	80	48			41									
1974		96		18.5	47	22	33	33	25		30							
1975	39.5	45.5	60	28.2	45	35	30.5		28									
1976	53.5	72	32		42		59	45.6	30		50							
1977	50	22	eliminar	38.5	46	34	26	48	36		eliminar							
1978	25	51	33	55	89	24	30	30	29									
1979	22	61.5	22	40	48	20	67	80	36		eliminar							
1980	23	35	21	34.5	39.5	32	58	62	20.1		20	31					24.9	
1981	35.2	67		53.5	48.6	25		43.2	54.1			43.1					74.5	50.2
1982		62.5		24	38	33		55	21									
1983		27		20	52	43		40	20.4			55	eliminar					
1984				33	75	28		51	39			52	15.7				45	28.5
1985	40			45.7				45	84		28		eliminar				48	
1986	46	56.5			68	66		34	150		36	40					28	83.6
1987	28					41		60	30	37		50	eliminar				43	64.7
1988	123				45	60	36	40	45	72.6	50	30	eliminar				39	75.3
1989	24				42	28	25		31	29	90		eliminar				18	
1990	55.5	48		64	40	33	31	40	35	47								
1991	52	25			44	53	33	30	26	38	48	51					34	36
1992	40.5	eliminar		65	42	42	39	80	29		27	33	eliminar					22.5
1993	28.5	35			52		18	25	50	44.5	26	30	eliminar				38	22.6
1994	62.2	27			46		51	35	29	60	20	38	24				62	40.2
1995	19.5	32			60	49	39		24.5	43	24	70	20.1					38.8
1996	38	22		62	52	41	38		26	52	40	12	45	20.3				20.8
1997	28	26	18		34	42	109	20	53.5	38	20	39	27.8				35	
1998	16	16		36	48	42	30.5	20	18	40	32	43	18.3				25	24.1
1999	17	32		75	28	28	16	20	37.5	41	18	40					33	23.5
2000	23	20	75	55	34	25	48	19	46	48	25	25	14.6				19	26
2001	30		53	37	43	25	56	32	43	41	20	42	20.3				55	20.9
2002	43	20	43.8	25	48	66	44	44	31	53	24		26.4				33	20
2003	42	38	88.6	40	73	24		40			25	63	48.3				58	57.2
2004		20	30.1	60	29	60	44	39		68	22	22	29.1				64	44.6
2005	62	75	38	38	44	90	30	41	42	40	38	60	85.2				58	31
2006	87	26	34.6	60	60			40	34	70			26.3				37	28.6
2007	20	32		71.5	37	39	41	40	23	43			20.3				58	
2008	60	21	40.3	56	60	36	30	35		62	28		25.3				100	
2009	56			29				68					20				45	20.4
2010	28						41.5	67	90		38	21	66					30
2011			20								54	22	20				30	31
2012			35.5								26		20.5				28	33
2013			55.5								80	15	20				50	21

AÑO	19151	19159	19160	19180	19182	19004	19007	19008	19010	19011	19012	19015	19016	19019	19021
1924															
1925															
1926															
1927															
1928															
1929															
1930															
1931															
1932															
1933															
1934															
1935															
1936															
1937															
1938															
1939													61.2		
1940													51.6		
1941													212.8		
1942											73.5				
1943											145.7				
1944											160.5		112		
1945											38.5		76.5		
1946											78		76.6		
1947											85.7		90.4		
1948								88			90.7		200		
1949								126.5			67.8		68.5		
1950								26.2					52.7		
1951								168.4			118		116.5		
1952								53.6			eliminado		43.5		
1953								139.6			255		275.5		
1954								68			92.4		61.6		
1955								65.4			52.8		74.6		
1956								46.8			40.8		45		
1957								108			60.3		77.2		
1958								120.4			81		79.5		
1959								98.8		41	70.5		77.7		
1960								151.5		52	101		45.7		
1961							390	41.5	83.6		78		81.8		
1962							75	42.3	73.1	116	143		34.5	26	
1963							63.5	63.5		107	170.8		25.4	37	
1964						78	61.5	83	51.3	45	45.7	80.5	66.6	60	
1965						74	42	123	55.2	50	67.8		75	80	
1966						58	69.5	95	69	80	67		91.5	92	
1967							119.4	110.5	246.3	54			236	190	
1968						48.5	90.5	103.4		60	45.8	80.5	36	90	
1969						38		95.3		80	43.2	61		80	

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970						61.5	103.5	60	75	72.5	320		129	106
1971						96	74	83.3	84.3	42	138	35	101.5	88.5
1972						42.5	147	73.5	186	93	60.8	75	68.8	94
1973						42	86	146	150.5	68	146.7	246	65.5	107
1974						129	140	115.5	45.5	50	55	128	27.5	52
1975						102.5	88	83.9	102.3	75	63	132	142.3	107
1976						121	114	71.3		76	143	175	64.8	82
1977						63	123	82.6	98.3	75	63.5	187.5	96.8	100
1978						72.5	201.5	68.2	55.7	93	109	112	115.5	77
1979						53.5	75	140	52	64	48.3	89	33.7	95
1980						51	54		49.5	56		114	85.5	110
1981						51	101.5		111.7		63.5	82	78.2	
1982									153		33.2		73	86
1983						49			100.4			116	112.5	53.2
1984			19.5			25								62
1985	20	54				17.5	63	160				95		57
1986						45.3	57.5	105		105.3	108	73.4	228	88
1987	20	36	61.3	30		34.7	52.5	100		155		50	83	93.3
1988	40		31	37.7		42.8	253	296		227			330.5	130
1989		40	26	19		34.6	32			56.5		92	38.1	68
1990	45	49	32			40.1		168		57.5	76		40	
1991		25	21	35		25.6				74	76		43.3	60
1992		20	35	32		34.1		51.6		68	60.5		59.5	72
1993	40	34	29.5	25		21.2		107.2		75	149.7		108	54.5
1994	50	60	21.3	50		32.1			eliminado	41	67.2		66.5	99
1995		40	38.2	64		41.8			eliminado			143	68.2	
1996	20	39	20.2	28		46.7				48		97	34.6	
1997	40	36	31.4	40						176			79.8	
1998	20	40	61.2	35						54	78		192	40
1999	25	40	25	20		22.8				90	54		43	36.5
2000	25	42	35.4	10						119	61		170	75
2001	60	29	48.4	40		27	58.1			112	90		118	172.5
2002	40	65	30.4	40		54.2	120			65	82		114	
2003	60	55	65.5	82		93	72			266	102		99.1	152
2004	40	50	25.3	60			100			280	144		135.5	125.5
2005		60	40.3			54.5	165			350	285.5		230	162
2006	60	57	41.4	40		28				85.5	133	65	96	
2007	60		45.3	eliminado	eliminado	eliminado								eliminado
2008	80	36	40.6	60			63	105		186	109.8		90	70
2009						65	42.6			174	72		57	54.6
2010	25	76	35.4	60		80	160			169.3	192.7		315	130.9
2011	30	52	20.4	20		22.1	75							
2012	40		38.3	50		44	50							
2013	60	62	110.6	80		62.5	103							

AÑO	19022	19024	19025	19026	19028	19029	19034	19035	19036	19040	19041	19042	19043	19044	19045
1924							51								
1925							104.5								
1926															
1927							111.2								
1928							62.2								
1929							49.6								
1930							70.2								
1931							58.4								
1932							46.4								
1933							172								
1934							78.9								
1935		90.2			85.5		99.5								
1936		40					78								
1937		32					86.4								
1938		88.7					245								
1939		60					67.7								
1940		82.5					86								
1941		119					113.2								
1942					66.5		87.9								
1943					40		78			82	70.2				
1944		67			170		81.2				149.5				
1945		82			115		93.9				37.8				
1946		73.5			65		120.5			49	60				
1947		44			90		66.9			76	65				
1948		93	92		45		196.5	190		92	251.5	125			
1949		99	80				75.7	79		69.5	47	168			
1950		45	55		65			83			58	126.5			
1951		40	124		22			157			105	175			
1952		55	eliminado		52			47			34.4	49			
1953		54.5	100		48			113.5			84.6	98			
1954		52.5	45		72			83			131.4	60			
1955		73	63	31	255			94.5		100	74.5	40			
1956		50	50		38		77	71		24	eliminar	109			20
1957		65.3	49		62.5		150	127	20	120	113	36			20
1958		113.5	43	53.5	80		75	57	64	75	80	70			88.5
1959		94.5	53	20	57			50	68	115	28	54			57
1960		33.5	94	33	59.8		160	54.8	33	69	260	147			23.5
1961		92.5	118	20	132		47.9	148	30	77.5	62.5	60			46
1962			53	22	47.5		42	42.5		37	60.5	50			
1963		60	66	42	71		84	79.5	62	30	48	71			36
1964		105	40	18.5	100		82	80	56	48	84.5	120			20.5
1965		68	120	24	92		115	106.1	20	49	78.5	155			52.5
1966		69	62	33.5	110.5		120	100.1	38	140	45	81			23.5
1967		77.5	300	50.2	111	275.8	85	80	53	160		160			107
1968		76.5	106		53	105		85.3	28	115		135		47	
1969			40		35		55		37						34

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970		40.5	90		58	87.5	72		27	77		180	91.5	93	45.5
1971			170		266	81			24	100	81.5	69	125.7		100
1972			60		112				30	65		102	128.6		34
1973		67.5	65		80	114.5		128	190	33		80	112		64.5
1974		118.5	60		80	107			60	75		62	51	60	27
1975		59.5	100	38	77	46.5		175	45.5		159.2	120	70	83	47.5
1976		84.5	65	56.2	57	94		120	74.5		107.7	74	200	241.5	81.5
1977		45.5	30	28.5	57	64		92.5	20	90	124.2	109	190	60	28
1978		150	39		88	58		103.5		100	99.8	160	90.5	104	48
1979		61.5		25	61	37		82	54.5	25	47.5	101.6	55	64	21
1980		73		80.2	84	57.5		47.1		60	52	59	43	60	41.5
1981		112.5		54	104	94				60	98	94		54	57.5
1982		62		50.7	70	35.4		49		85	52	61			22.5
1983		49.5			58.5	73.7		112.7		75	70	83.5		80.5	60
1984					43	47.2		81.8							
1985					98			63.8	54		57.5				
1986	49.5	149			95	56.7		98				141.4			95
1987	47	74			48.5	45.5		65	60	90		72.5		112.6	27
1988	180	103			81.2	141.8		280	60	175.9					
1989	66	eliminado			75	106.2		46.3	22			80		81	75
1990	41.7	62		28	32	66		62.3	73			48			62
1991	58	58.5		54	45	51		56.1	eliminado			80			46
1992	66.1	69		25	40	46		90.6	eliminado			42			
1993	93	63		33	29	99.5		138	40			146		45.7	41
1994	60	60		18	44	63		58.8	41			113			20
1995	46.5	56		41	32.5	70		124.2				101			37
1996	35.7	59.5		20	85	87		56.5	34.5			186		60.3	48.5
1997		74		56	77			65.4				72		60.4	29.7
1998	80	38		30	119			101.7			62.5	31	51.2	60.5	34.7
1999	57	127.5		34	71.5			175.3			26.5	43	32	47.4	32.4
2000	28.7	69.5		28	49			57.8					66.5		61.3
2001	67			eliminado					30			48	110.5	eliminado	28.5
2002	56.2				111				60			81	112.8	100.1	72.4
2003	80				92				68			50	74	67.2	37.6
2004	134				29.5							80	102		30.3
2005	65				175				76			175	265.8	70.9	146.2
2006	126				33				36			110	81.5	73.1	
2007	eliminado					eliminado									
2008	212.5			50					35		80	228	49	90.1	124.3
2009	55			23					30		45	73.5	38.5	49.1	32.2
2010	95			136	152				156		70	171	102.9	125.2	145.5
2011	63												60	72.6	
2012	48												56.5	30.2	
2013	76												51	70.2	

AÑO	19048	19049	19055	19056	19058	19060	19061	19063	19065	19069	19070	19071	19074	19077	19099
1924									136.2						
1925									118						
1926															
1927	60								85						
1928									112.5						
1929	eliminado	57							75.8						
1930		45.3							153.7						
1931		87							76.2						
1932		48.7							167						
1933		120													
1934		125													
1935															
1936															
1937															
1938															
1939															
1940															
1941			105												127.5
1942														84	
1943	96.5		43											30	
1944	81		137											60	
1945	105				137							96			
1946	74		58												
1947	81.2		57											29	115
1948	75.8	114.3	54.5	136.5	66.6		108		120.5					25	292
1949	55.4	45.1	104	66.7	64		66		68			110.5			56
1950	52.4	33	62.5	132.5			40		76.5			127.2		20	
1951	129	109	41.5	90	80				116					28	94.6
1952	67	29.7	49	42	32.2		eliminado		86			78.2		25	50.4
1953	97		66	88	40.8		75		143					20	137
1954	76.5	33	48	130	36.5		40		180			101.2		25	160
1955	110	90	77	58	48		65		90			42.5		65	68.5
1956	109	33	eliminado	38	47		33		108			17			54.3
1957	124	27	77	65	45.5				109			63.5		180	86.2
1958	96	102.7	102	100	96		60		96			67.5		40	118.5
1959	71	41.2	50	34.5	67		eliminado					44.5		29.5	58.7
1960	114	53.8	38		40.5		50		71			59		eliminado	56.4
1961	82.5	48	49		40		91	60	110			87.5		eliminado	83.6
1962	89	147	100	45	84		107	83	126			60.5		eliminado	73.1
1963	108	103.7	43	59	57		60	57	200.5			41		eliminado	
1964	80		82		97.5				82.3			27	105.5	eliminado	
1965	105	49	105	49.5	68		48	75	108.5			20	95.2	150	55.2
1966	66	105	64	46.5	44		47	53	266			105.8		50	69
1967	175		86	84	155	320	116	150	332.2			118		90	
1968	97	73	50	196.5	65	80	38	80	87.5			67.5		33	125.2
1969	102	64	72	75		150						58		40	56.5

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970	60	71	55	119		160		72	108.5				92.3	72	76.4
1971	88	82	140	71	69.5	200		130	80.5				115	130	
1972	97	72	80	65	42.5	160	67.5	43.5			112	87	167	43.5	
1973	122	140	66	130.5	87		134	47		98.5	34		72	54.5	
1974	126	148		82		108				95	70	89	75	40.1	
1975	94.5	45.5	54	53		92				128	65	70	75	150	
1976	88	101.5	80	100	68.2	98	54	68		123.7	55	56	90	60	
1977	146	118	81	67	80.1	48	124	36.5		148	70	53.3	77	50.2	
1978	153	180	87.5		93.5		110			222.5		96	86	60	
1979	67	63.5	115	143.5			48	78		89.5			40		
1980	54	76.2	34	50			83.5	175		94.2	85	55	83		
1981	72	59.5	118	100.3	61.4		88.5			101		140	82	70.4	
1982	54	120.3	55	55	48.9		41.5			140.9	eliminado	70.5	75	25.4	
1983	132	109	69	144	107.5	60.3	86			89.5	44	59	122.5	40.5	
1984	100												36.5	70.2	
1985	81	61	60	111.5	52	80	68.3			59.7	90	75	42.5	60.4	
1986		56.5	42.5	133	84.4	233.3	180	49		61	94	47.3	49.5	27.4	
1987		47	98.5	68.7	70.7	80	34	54.5		70	90	80		30.5	
1988		183.9	152	170.3		190.5	260	145		327.5	200	109.5			
1989		78	55	71.3		100.2	88.5	74			125	57.2			
1990	52	100.5	54	59.5	eliminado	45	75.5	35.5		110.9	34.5				
1991		53		64.8	57.5	60.2	69	69.5			45				
1992		38	60	56.3	20	60.1	60	50.5			80				
1993		77.7	42	81.5	105	140.1	68	46.5		182.2					
1994	68	59	73	61		60	171.6	101.6			44				
1995		113	47	97.8		130.1	30	56.5			32.5	108			
1996	89	125.2	76	64.3			134.5	55.1		120.5	85	44.1			
1997	100		142.5	85.2	65.2	100		92.7		139	77	115			
1998			109	92	69.5	70.1		62.5		160	119				
1999	121.5	74.4	84	85.5	82	60		96.1				59.2			
2000				130		120.2		78.5				41.4			
2001			71	80.7	167			36				97.5			
2002	200.7		73	73	98.6		74.5					124.3			
2003	94		75	112	121.8		113.4					109.8			
2004	87.3			64	47			35		96					
2005	221			135			30			328		57.6			
2006				52						98.5					
2007															
2008	190		145	40		110		80		135.5		155			
2009	140.5		88			60		80		79		42.5			
2010	280		76	161				194		389.3		104.5			
2011								70				57			
2012								40				40			
2013								120				68.5			

AÑO	19100	19104	19105	19107	19108	19113	19117	19119	19124	19126	19131	19133	19134	19140	19141
1924															
1925															54
1926															
1927															eliminado
1928															53
1929															
1930															60
1931															42.2
1932															
1933															
1934															
1935															
1936															
1937															
1938															
1939															
1940															
1941															
1942															
1943															
1944															
1945															
1946															
1947															
1948															
1949															
1950															
1951															
1952															
1953															
1954															
1955															
1956															
1957															
1958															
1959															
1960															
1961															
1962															
1963															
1964															
1965															
1966															
1967															
1968															
1969															

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970																		
1971																		
1972																		
1973																		
1974																		
1975																		
1976																		
1977	120																	
1978	140				100													
1979	59			53	66	34	40.1		60			46						
1980	73	165		73	58	55	56.5	22.7	86	47		63			48.5	57.2		
1981	90	70		55	100	65.5	86.5	63.5	55	62.5		70			95	72.5		
1982	58.5			42	70.5	80	43		49.5		72.5	42		80	58	160		
1983	83				108.5	69	67		58.5	80.5		52		53	88	40		
1984									63	90								
1985	92	190	53	80	112		82.5		59		48	40		46.5	81	33		
1986			105	100			78	20	160		103.5	55		54.5	114	60		
1987			93	102			58.5	78	48		75	58		40	78	113		
1988		151	62	84		152	56.3	132	180	301.8	181	157	143	178	222			
1989		113	61	87		45	33	65.5	62	60	111	47	65	76	40			
1990			24	98			82	24	51	56	49.5	48.5	36	33	47.5			
1991		58	57	46		57	39	27		65	78	58	80	106.5	52			
1992		80	68	60		76	26			55	62	111.5	35.5	55	55			
1993		56	106	54		120.3	66	32	52	80.5	105	52.2	59	49	52			
1994		70.6				87.2	57	33		66.5	47	82.3	47	69	56			
1995		91	47	88		106.8	54	38	49	140	83	48.5	70.5	109	63			
1996		49	106			58.6	46	48		62.5	75	62.6	36.5	71.5	98			
1997	114.5	125	49		22	78.9		26.5	45	57.5	80	103.3	40.5	60	155			
1998	128.5	123	50			73.5	35	45.5	51	80	38	74.3	39.5	106	95			
1999		76	82		59		93.5	31.5	108	72	87	72.7	129	95.2	60			
2000	108		112		75		86.5	29.5	58	155	188	184.5	68.5	168	104			
2001	95.3	66	97	43	72	80	43.5	36.5	107	120	85	77.1	37.5	71				
2002	135	62.5	82	76	155	93.5	77.5	45			115	95.8	104.5	147				
2003	120	190	82	256	122	43	57	29.5			60	94.2	40	173				
2004	73.5	95	70.3		68	97	89					141	59	134	104			
2005	121	340	170.2	48	175	88	90.5				213		140	197.3	212			
2006			65.4	77		80	45.5							95	62			
2007																		
2008	81.5	97	75.1	170	92	55	142.5		200	127	99	105	76	121	81			
2009	70.5	86	77.1	100	48.7	45	50.5	35	32	61.7	125	90	48.7	142				
2010	179	154	150.1	115	111.2	170	96.5	69	113	204		194	156.5	153.5				
2011	91		120.2	34	55.1	20.8	113	17	60	80	50		62					
2012	103		45.3	100	58.5				54	28	64.8		85	52				
2013			55.3		79		44.5	37	46	80.6	125		59					

AÑO	19146	19158	19170	19171	19173	19174	19178	19002	19005	19009	19013	19018	19027	19031	19033
1924															
1925															
1926															
1927															
1928															
1929															
1930															
1931															
1932															
1933															
1934															
1935															
1936															
1937															
1938															
1939															
1940															
1941													76		
1942													74		
1943															
1944															
1945															
1946															
1947															
1948													51.8		86.5
1949													47		52
1950													78		39.5
1951													110		80
1952													40		77
1953													38		77
1954													97		79
1955												35.4	54.3		55
1956												127	60	100	129
1957										eliminado	29		53	38	36.5
1958											40	51	49.2		78.5
1959											42	57	37	33.5	38
1960												54	58	33	34.5
1961												50	101	51.5	67.5
1962												70	63	eliminado	65.5
1963											25	101	73.9	74	65
1964												63	48.6		
1965											26	58	44.7		eliminado
1966										72	35	60	53.5	eliminado	115
1967								126			27	101	95.5	132	170
1968								46				26	45.7	50	
1969										32.5	23	45	38.5	60	

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970								70		48	24	83	52.7	78	55.5
1971								eliminado	38	43	40	40	33.7	40	54.5
1972									50	eliminado	20	eliminado	36.8		46.5
1973									80	91	82	80	63.5		109
1974								80	84	37	39	40	48	60	160
1975								eliminado	62		38	80	74.7	40	
1976								48	41		184	60	56	63	66
1977								70	136		40.4	113	180	70	260
1978									155	120	52.1	62	163.5	400	300
1979									36.5		50.1	86	53.5		
1980									52	57	56	98.3		75	70
1981	67.5								105		20	85	78	54	
1982	53.7								38.5		50.2		80	40	
1983							87							54.5	
1984				66					44		106			84	
1985				80.5	eliminado	48.1	43.5	40	37		90	54	36.5		eliminado
1986	116	65	65.7				45.4		85			42	49	43	57
1987		80			54.4	105	60.5		56		43	83	48.5	59	40
1988		140	140	53	95.3	37	147		44		140	326	252	188	345
1989	55	30	60			51.5	110.4	eliminado	32			56.5	58	54.8	60
1990	125	31	79	40	42.3	62	26	33.5	52		40	74	96		47
1991	55	60	75			118	33.4	44	68	42	22	36	42	45.2	40
1992		34	27	75	70.1	49	38.3	42.5	31	57	48	30	31.5	45.3	50
1993	116		25	66	69.8	65.5	125	55	308	69	35	47	90		40.5
1994	60.6	33	55	75	70.5	66.5	62	46.5	45	34	51	80	61.5	80	32
1995	116	47	21		81.2	62.5	60.5				40	48	110	102	48
1996	115	40	67	89	63	94	82			36	37	32	80	104	98
1997	72.5	54	34	32	77.2	127.3	37.5			38	31	48.8	120	80	50
1998	64	42	125	20	40.6	149.4	52.5	83	32	32	31	78	75	60	60
1999	89		59	eliminado	194.2			39	70	49.5	38	23	59.5	40.5	70
2000	133	55	24	30	52.2	92.5	93	65	91.5	64	23		73.5		
2001	117.5	33	66	197	98.5	78.5		68	174.5	110	66	83	70	eliminado	151
2002	110	80	96	100.4	99	93.5	60	135	35	55		102	84.5	65	145
2003	100	38	40	113	152.5	136	85		58.5	113	35	95	231	60	48
2004	110			94	216		63			26.5	42	27	32	43.5	
2005	187	120	115	237	217.2	218	32	250	62	243	24	293	158		
2006		40	60		88.5		40	126				60		60	65
2007															
2008	124	72	103	151	94.9	82	72	69	100	47		66	45.5	60	92
2009	65	54	83	85	70.02		75	42		39		41	84.8	40	57
2010	164	146	123	eliminado	180.2	224.5	260	400	145	324		260	336		310
2011	87	40	53	80	69.4	61	50								
2012	57	40	64		69.3	50.8	43								
2013		76	83		79.2	107.8	35								

AÑO	19038	19053	19054	19066	19085	19091	19096	19135	19144	19155	19181
1924											
1925											
1926											
1927											
1928											
1929											
1930											
1931											
1932											
1933											
1934											
1935											
1936											
1937											
1938											
1939											
1940											
1941											
1942											
1943											
1944											
1945											
1946											
1947											
1948	78	80	40								
1949	33		eliminado								
1950		20.2	eliminado	42							
1951	103	66.5	77	140.7							
1952		41	52	45							
1953	57	60.4		40.7							
1954	78	49.3	eliminado								
1955	55	42	30	166							
1956	117	80	eliminado	70							
1957	33	30.2	eliminado	200							
1958	50	60	40	250							
1959	60	40	eliminado	310							
1960	37	82	eliminado	70							
1961	62	70	eliminado	60							
1962	65	60	eliminado	100							
1963	55		62	140							
1964		29	eliminado	100							
1965	23	52	eliminado	200							
1966	25	25	eliminado	245							
1967	82	42	120	70							
1968	42	20		50							
1969	111	20	eliminado								

Continuación de las estaciones anteriores del año 1970 al año 2013

1970	35	30	38	60								
1971			76									
1972	42		30	45								
1973	95		65	40								
1974	82			40								
1975	85	101	34	40	48	48.5			54			
1976	43	40	60	40	30	35						
1977	128	124	60	75	100	83			75			
1978	31	117	140	60	121	112	42					
1979	49	41	24	25	48	60	73					
1980	57.4	62	42	45	26	42	26	40				
1981	92.5	49	35		41	108	60					
1982	59.8	91	38	35			35				31	
1983	64.8	60.1	40	25	35	71.5	98	40				
1984					31.5	45.5		25	eliminar			
1985		55	56	50	57	71.5	27	33	53	42		
1986		43	25		48	45.5	60	31				
1987	50.5	54	61		39.3	35	60	26	21.3			
1988	358.5	33.5	287		197	160.5	135.5	90	56.6	50	160	
1989		29.5	eliminado		46.5	31	62	25	38.6	28	47	
1990		82	eliminado		68	67.6	63	32	45.8	48	28	
1991		50	26		66	38		40	39.4	40	28	
1992	60.5	55.5	29		40	76.8	38	36	52.6	30	28	
1993	65.5	68	46		72.5	109.5	42	24	68.1	26	24	
1994	40.7	44	eliminado		35	39	35	25	37.4	48	28	
1995					107	150	143	22	45.1	24	24	
1996		75	23		56.5	96.5	109	18	69.7	20	28	
1997		35	31		30	48	82	24	40.4	95	44	
1998		50	79		68.5	36.8	92	21	40.4		37.5	
1999			64		29	92	125	10	18.8	30.8	50	
2000			35			100	125	15	58.8	39.9	40	
2001			24		34.5	76	205	22	57.8	60	40	
2002		65	67			52	76	21	79.8	30	24	
2003		156	100			63.5	114	89.9	43.8	95	24	
2004		40			43	38.5	75	15	46.5	37	15	
2005		230	173		70	104.5	236	eliminar	135.8	39	20	
2006			52			55	69		76.4		eliminado	
2007						68.5					eliminado	
2008		79	33			49	87		59.1	40.3	31	
2009		74	24			97.5	24				eliminado	
2010		58	231	37		266	315		240.8	60		
2011							110	23	94	109		
2012							60	46.5	42.1	20		
2013							149		109.5	127		

V.3.3 Cálculo de los parámetros estadísticos

Una vez analizados cada uno de los registros, confirmando los registros altos por GASIR y eliminando los valores muy pequeños, se obtuvo la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación, el valor máximo, el valor mínimo, y los años de registro de cada estación para poder explicar mejor la muestra de nuestras estaciones. Los resultados de la estadística se muestran en la tabla V.7.

Tabla V.7. Parámetros estadísticos por estación

Estación	19002	19003	19004	19005	19007	19008	19009	19010	19011	19012	19013	19015
Media	91.34	136.55	77.79	74.38	118.28	91.97	73.98	118.24	85.74	87.86	45.97	128.95
Desv. Est.	84.05	64.84	45.68	56.94	74.69	35.39	67.72	74.78	45.27	45.68	32.43	77.47
Coef. Var	0.92	0.47	0.59	0.77	0.63	0.38	0.92	0.63	0.53	0.52	0.71	0.60
Máximo	400.00	320.00	253.00	308.00	390.00	168.40	324.00	350.00	285.50	255.00	184.00	330.50
Mínimo	33.50	54.50	25.00	26.50	42.00	26.20	32.00	41.00	41.00	33.20	20.00	35.00
Años de registro	22.00	39.00	35.00	33.00	28.00	32.00	26.00	40.00	39.00	41.00	42.00	35.00

Estación	19016	19018	19019	19020	19021	19022	19024	19025	19026	19027	19028	19029
Media	88.82	78.62	93.06	41.37	75.68	76.42	73.40	81.07	39.26	78.45	79.23	81.88
Desv. Est.	53.66	60.41	44.83	21.61	32.16	43.16	27.08	52.31	23.05	54.75	46.17	47.15
Coef. Var	0.60	0.77	0.48	0.52	0.42	0.56	0.37	0.65	0.59	0.70	0.58	0.58
Máximo	275.50	326.00	255.00	123.00	160.00	212.50	150.00	300.00	136.00	336.00	266.00	275.80
Mínimo	25.40	26.00	26.00	16.00	20.50	28.70	32.00	30.00	18.00	31.50	22.00	35.40
Años de registro	59.00	49.00	40.00	41.00	32.00	26.00	57.00	30.00	32.00	62.00	65.00	27.00

Estación	19031	19032	19033	19034	19035	19036	19037	19038	19040	19041	19042	19043
Media	74.70	40.67	91.09	93.31	94.89	51.62	37.98	70.44	79.97	83.65	98.54	92.75
Desv. Est.	63.45	19.31	73.37	43.20	46.12	34.26	18.00	55.21	36.16	51.24	46.55	55.24
Coef. Var	0.85	0.47	0.81	0.46	0.49	0.66	0.47	0.78	0.45	0.61	0.47	0.60
Máximo	400.00	96.00	345.00	245.00	280.00	190.00	88.60	358.50	175.90	260.00	228.00	265.80
Mínimo	33.00	16.00	32.00	42.00	42.50	20.00	18.00	23.00	24.00	26.50	31.00	32.00
Años de registro	36.00	41.00	48.00	38.00	47.00	37.00	24.00	37.00	33.00	39.00	57.00	26.00

Estación	19044	19045	19046	19047	19048	19049	19050	19053	19054	19055	19056	19057
Media	77.27	51.78	47.38	47.77	102.82	81.50	35.99	61.22	64.23	75.91	86.92	41.11
Desv. Est.	38.84	32.07	16.81	15.40	43.89	38.66	15.57	36.57	55.97	29.30	37.14	20.51
Coef. Var	0.50	0.62	0.35	0.32	0.43	0.47	0.43	0.60	0.87	0.39	0.43	0.50
Máximo	241.50	146.20	100.00	89.00	280.00	183.90	90.00	230.00	287.00	152.00	196.50	109.00
Mínimo	30.20	20.00	18.50	26.00	52.00	27.00	20.00	20.00	23.00	34.00	34.50	16.00
Años de registro	28.00	47.00	54.00	41.00	56.00	52.00	56.00	50.00	40.00	59.00	56.00	32.00

Estación	19058	19059	19060	19061	19063	19065	19066	19067	19069	19070	19071	19074
Media	72.35	42.34	113.43	81.42	77.12	126.35	91.14	35.38	141.84	78.62	75.51	79.09
Desv. Est.	31.84	17.68	63.69	46.48	38.52	59.90	75.27	13.93	85.02	39.18	32.90	30.64
Coef. Var	0.44	0.42	0.56	0.57	0.50	0.47	0.83	0.39	0.60	0.50	0.44	0.39
Máximo	167.00	97.00	320.00	260.00	194.00	332.20	310.00	90.00	389.30	200.00	155.00	167.00
Mínimo	20.00	17.00	45.00	30.00	35.00	68.00	25.00	18.00	59.70	32.50	20.00	17.00
Años de registro	43.00	44.00	28.00	41.00	38.00	30.00	32.00	46.00	26.00	21.00	32.00	37.00

Estación	19075	19077	19079	19085	19091	19096	19099	19100	19104	19105	19107	19108
Media	47.76	57.39	35.41	58.83	76.39	92.50	95.91	101.73	113.09	79.69	85.04	86.07
Desv. Est.	12.33	39.76	18.82	36.92	46.26	63.56	55.30	29.95	64.98	33.64	47.29	36.24
Coef. Var	0.26	0.69	0.53	0.63	0.61	0.69	0.58	0.29	0.57	0.42	0.56	0.42
Máximo	72.60	180.00	90.00	197.00	266.00	315.00	292.00	179.00	340.00	170.20	256.00	175.00
Mínimo	29.00	20.00	12.00	26.00	31.00	24.00	50.40	58.50	49.00	24.00	34.00	22.00
Años de registro	20.00	35.00	29.00	27.00	35.00	33.00	21.00	21.00	23.00	26.00	24.00	21.00

Estación	19113	19117	19119	19124	19126	19129	19131	19133	19134	19135	19138	19140
Media	77.24	65.69	43.32	75.24	94.58	40.00	94.22	83.12	67.56	31.78	43.79	102.50
Desv. Est.	34.21	26.25	24.93	45.22	58.03	14.23	45.14	41.07	34.54	19.61	18.42	43.71
Coef. Var	0.44	0.40	0.58	0.60	0.61	0.36	0.48	0.49	0.51	0.62	0.42	0.43
Máximo	170.00	142.50	132.00	200.00	301.80	70.00	213.00	194.00	156.50	90.00	100.00	197.30
Mínimo	20.80	26.00	17.00	28.00	47.00	15.00	38.00	40.00	35.50	10.00	18.00	33.00
Años de registro	25.00	31.00	24.00	25.00	24.00	24.00	25.00	29.00	29.00	25.00	27.00	29.00

Estación	19141	19143	19144	19146	19151	19155	19158	19159	19160	19170	19171	19173
Media	82.26	35.78	64.31	98.33	40.91	48.75	60.42	45.71	38.14	69.71	88.63	97.73
Desv. Est.	49.71	17.72	42.72	35.88	17.02	29.00	33.08	13.66	19.20	33.21	55.25	53.02
Coef. Var	0.60	0.50	0.66	0.36	0.42	0.59	0.55	0.30	0.50	0.48	0.62	0.54
Máximo	222.00	83.60	240.80	187.00	80.00	127.00	146.00	76.00	110.60	140.00	237.00	217.20
Mínimo	33.00	20.00	18.80	53.70	20.00	20.00	30.00	20.00	19.50	21.00	20.00	40.60
Años de registro	28.00	25.00	28.00	24.00	22.00	24.00	24.00	24.00	27.00	25.00	19.00	24.00

Estación	19174	19178	19180	19181	19182
Media	94.48	69.30	41.64	37.92	42.16
Desv. Est.	49.08	48.28	19.08	31.04	19.18
Coef. Var	0.52	0.70	0.46	0.82	0.46
Máximo	224.50	260.00	82.00	160.00	93.00
Mínimo	37.00	26.00	10.00	15.00	17.50
Años de registro	24.00	27.00	23.00	19.00	23.00

V.3.4 Conformación de regiones homogéneas

Para conformar las regiones se tomaron en cuenta los parámetros estadísticos de las estaciones (Tabla V.7), los coeficientes de variación de los valores máximos anuales, las características topográficas del estado (figura V.6), la cercanía entre estaciones y los eventos meteorológicos a los que está expuesto que pueden provocar precipitaciones extremas.

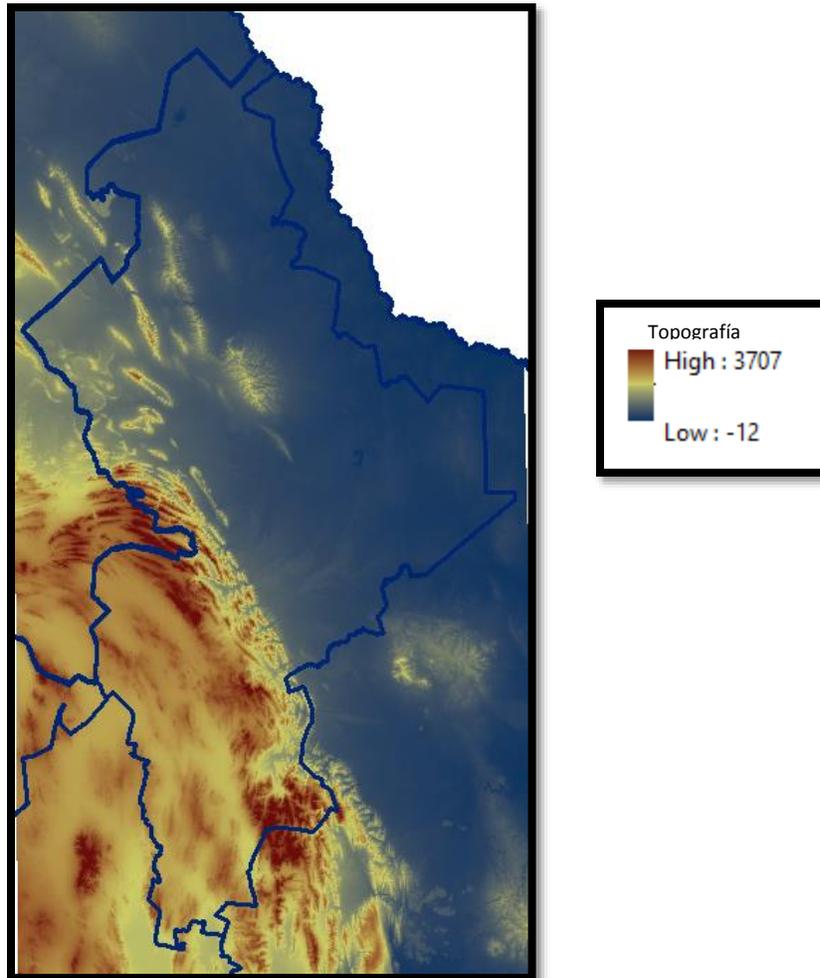


Figura V.6 Características topográficas del estado de Nuevo León

Se buscó definir regiones, de manera tal que la muestra obtenida al suponer que proviene de la misma población resulte muy grande, y por lo tanto las extrapolaciones a periodos de retorno altos sean más confiables, pero también se buscó limitar el tamaño de cada región con lo cual se tendría más confianza en la aceptación de la hipótesis de homogeneidad.

En las figuras V.7 y V.8 se pueden apreciar las estaciones y sus coeficientes de variación en relación con la topografía del estado.

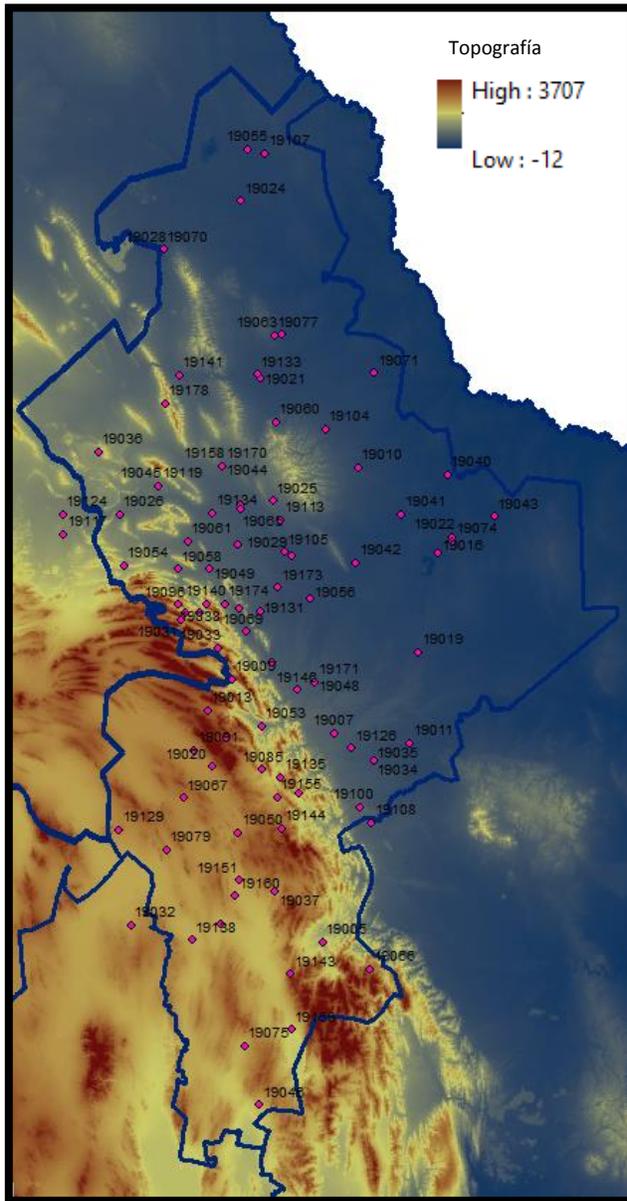


Figura V.7 Estaciones y topografía del estado de nuevo León

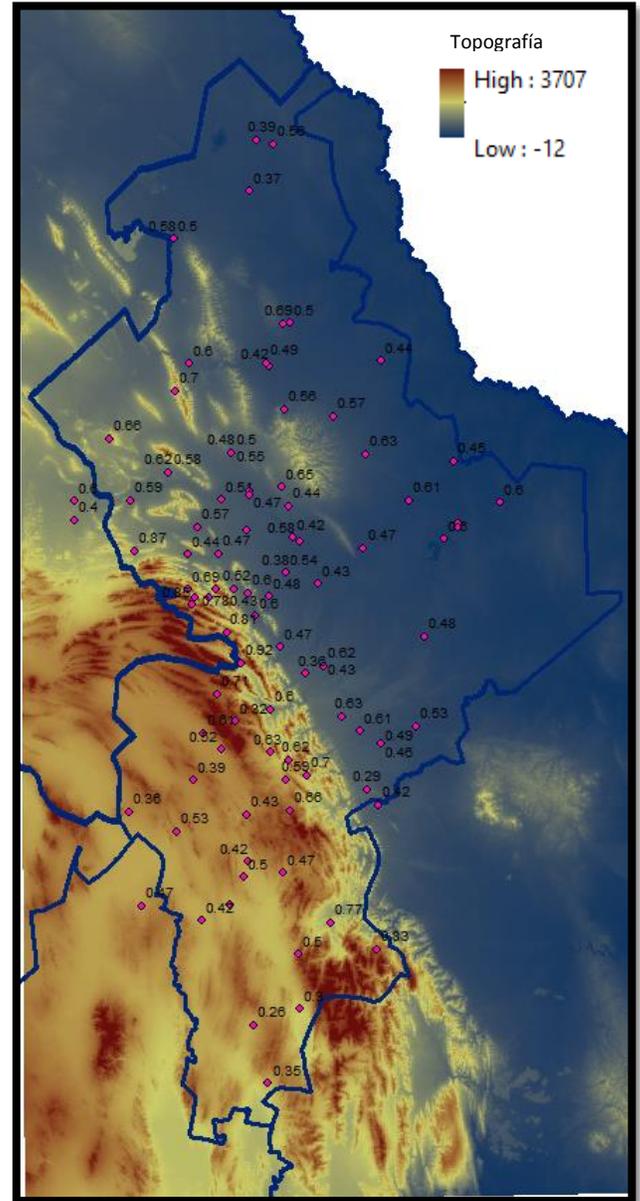


Figura V.8 Coeficientes de Variación y topografía del estado de nuevo León

Tomando en cuenta los coeficientes de variación de las estaciones, la topografía del estado y la regionalización anterior del estado, se propuso una nueva delimitación de las tres regiones para poder considerarlas más homogéneas, esta nueva delimitación propuesta se muestra en las figura V.9.

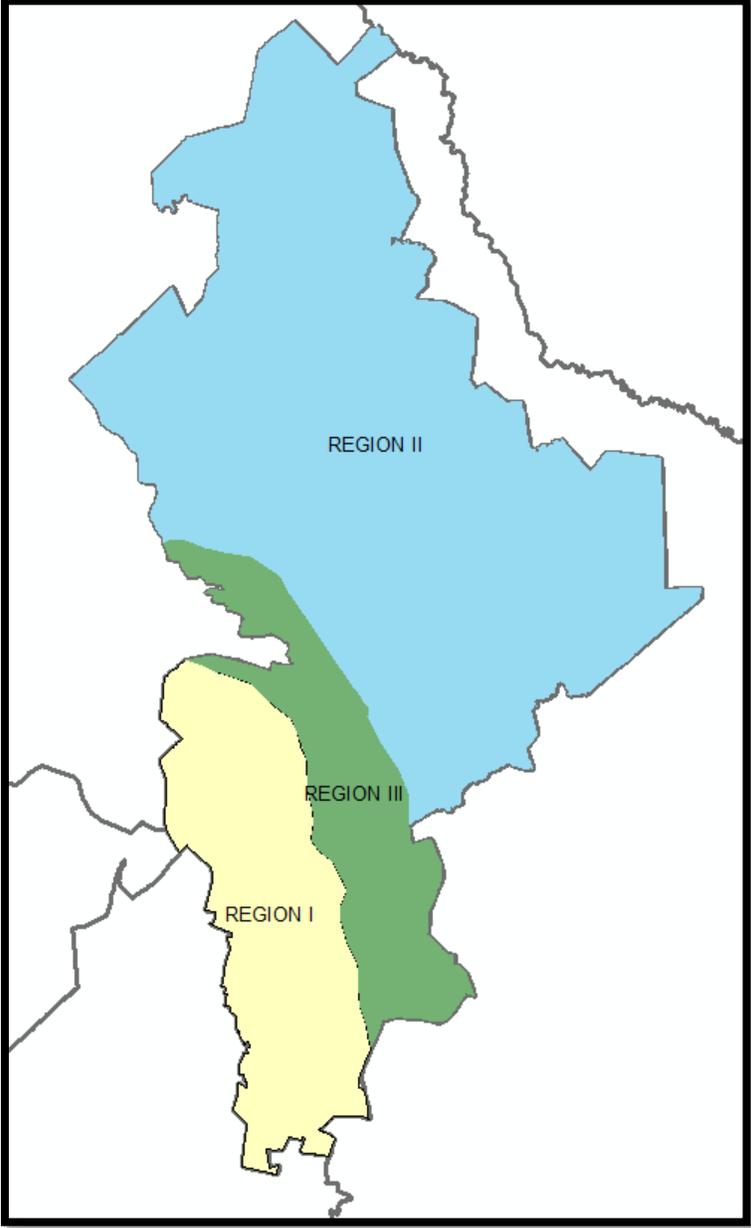


Figura V.9 Nueva delimitación de las regiones de Nuevo León.

En las figura V.10 y V.11 se aprecian los las estaciones, sus coeficientes de variación y la topografía del estado de las nuevas regiones propuestas.

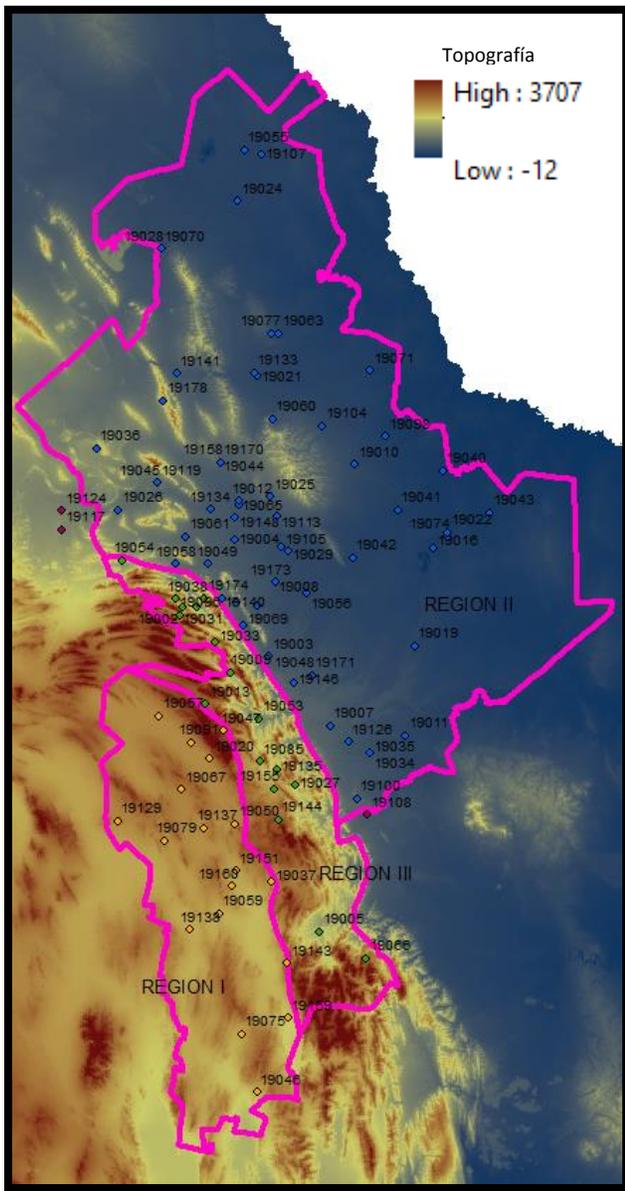


Figura V.10 Estaciones, topografía y nuevas regiones de Nuevo León

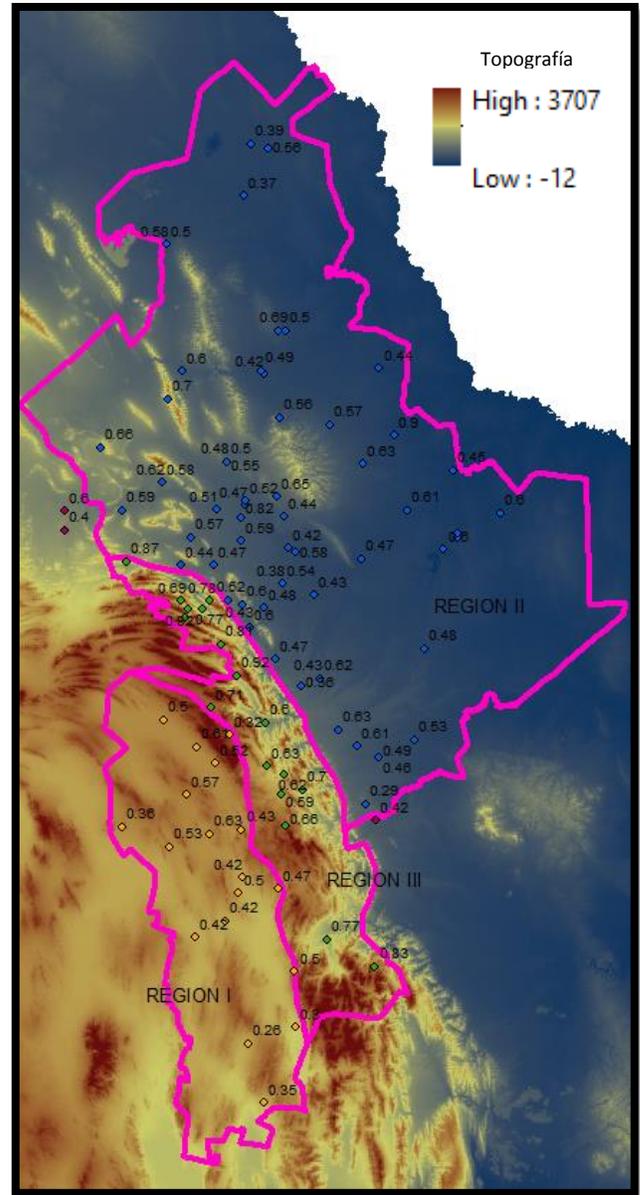


Figura V.11 Coeficientes de variación, topografía y nuevas regiones de Nuevo León

En las tablas V.8 , V.9 y V.10 se muestra como quedaron las estaciones acomodadas en cada una de las regiones.

Tabla V.8 Estaciones Región I

REGION I										
Estación	19020	19032	19037	19046	19047	19050	19057	19059	19067	19075
Media	41.37	40.67	37.98	47.38	47.77	35.99	41.11	42.34	35.38	47.76
Desv. Est.	21.61	19.31	18.00	16.81	15.40	15.57	20.51	17.68	13.93	12.33
Coef.Var.	0.52	0.47	0.47	0.35	0.32	0.43	0.50	0.42	0.39	0.26
Máximo	123	96	88.6	100	89	90	109	97	90	72.6
Mínimo	16	16	18	18.5	26	20	16	17	18	29
Años registro	41	41	24	54	41	56	32	44	46	20
Estación	19079	19129	19138	19143	19151	19159	19160	19180	19182	
Media	35.41	40.00	43.79	35.78	40.91	45.71	38.14	41.64	42.16	
Desv. Est.	18.82	14.23	18.42	17.72	17.02	13.66	19.20	19.08	19.18	
Coef.Var.	0.53	0.36	0.42	0.50	0.42	0.30	0.50	0.46	0.46	
Máximo	90	70	100	83.6	80	76	110.6	82	93	
Mínimo	12	15	18	20	20	20	19.5	10	17.5	
Años registro	29	24	27	25	22	24	27	23	23	

Tabla V.9. Estaciones Región II

REGION II										
Estación	19003	19004	19007	19008	19010	19011	19012	19015	19016	19019
Media	136.55	77.79	118.28	91.97	118.24	85.74	87.86	128.95	88.82	93.06
Desv. Est.	64.84	45.68	74.69	35.39	74.78	45.27	45.68	77.47	53.66	44.83
Coef.Var.	0.47	0.59	0.63	0.38	0.63	0.53	0.52	0.60	0.60	0.48
Máximo	320	253	390	168.4	350	285.5	255	330.5	275.5	255
Mínimo	54.5	25	42	26.2	41	41	33.2	35	25.4	26
Años registro	39	35	28	32	40	39	41	35	59	40
Estación	19021	19022	19024	19025	19026	19028	19029	19034	19035	19036
Media	75.68	76.42	73.40	81.07	39.26	79.23	81.88	93.31	94.89	51.62
Desv. Est.	32.16	43.16	27.08	52.31	23.05	46.17	47.15	43.20	46.12	34.26
Coef.Var.	0.42	0.56	0.37	0.65	0.59	0.58	0.58	0.46	0.49	0.66
Máximo	160	212.5	150	300	136	266	275.8	245	280	190
Mínimo	20.5	28.7	32	30	18	22	35.4	42	42.5	20
Años registro	32	26	57	30	32	65	27	38	47	37
Estación	19040	19041	19042	19043	19044	19045	19048	19049	19055	19056
Media	79.97	83.65	98.54	92.75	77.27	51.78	102.82	81.50	75.91	86.92
Desv. Est.	36.16	51.24	46.55	55.24	38.84	32.07	43.89	38.66	29.30	37.14
Coef.Var.	0.45	0.61	0.47	0.60	0.50	0.62	0.43	0.47	0.39	0.43
Máximo	175.9	260	228	265.8	241.5	146.2	280	183.9	152	196.5
Mínimo	24	26.5	31	32	30.2	20	52	27	34	34.5
Años registro	33	39	57	26	28	47	56	52	59	56

Estación	19058	19060	19061	19063	19065	19069	19070	19071	19074	19077
Media	72.35	113.43	81.42	77.12	126.35	141.84	78.62	75.51	79.09	57.39
Desv. Est.	31.84	63.69	46.48	38.52	59.90	85.02	39.18	32.90	30.64	39.76
Coef.Var.	0.44	0.56	0.57	0.50	0.47	0.60	0.50	0.44	0.39	0.69
Máximo	167	320	260	194	332.2	389.3	200	155	167	180
Mínimo	20	45	30	35	68	59.7	32.5	20	17	20
Años registro	43	28	41	38	30	26	21	32	37	35
Estación	19099	19100	19104	19105	19107	19108	19113	19117	19119	19124
Media	95.91	101.73	113.09	79.69	85.04	86.07	77.24	65.69	43.32	75.24
Desv. Est.	55.30	29.95	64.98	33.64	47.29	36.24	34.21	26.25	24.93	45.22
Coef.Var.	0.58	0.29	0.57	0.42	0.56	0.42	0.44	0.40	0.58	0.60
Máximo	292	179	340	170.2	256	175	170	142.5	132	200
Mínimo	50.4	58.5	49	24	34	22	20.8	26	17	28
Años registro	21	21	23	26	24	21	25	31	24	25
Estación	19126	19131	19133	19134	19140	19141	19146	19158	19170	19171
Media	94.58	94.22	83.12	67.56	102.50	82.26	98.33	60.42	69.71	88.63
Desv. Est.	58.03	45.14	41.07	34.54	43.71	49.71	35.88	33.08	33.21	55.25
Coef.Var.	0.61	0.48	0.49	0.51	0.43	0.60	0.36	0.55	0.48	0.62
Máximo	301.8	213	194	156.5	197.3	222	187	146	140	237
Mínimo	47	38	40	35.5	33	33	53.7	30	21	20
Años registro	24	25	29	29	29	28	24	24	25	19
Estación	19173	19174	19178							
Media	97.73	94.48	69.30							
Desv. Est.	53.02	49.08	48.28							
Coef.Var.	0.54	0.52	0.70							
Máximo	217.2	224.5	260							
Mínimo	40.6	37	26							
Años registro	24	24	27							

Tabla V.10. Estaciones Región III

REGION III										
Estación	19002	19005	19009	19013	19018	19027	19031	19033	19038	19053
Media	91.34	74.38	73.98	45.97	78.62	78.45	65.26	91.09	70.44	61.22
Desv. Est.	84.05	56.94	67.72	32.43	60.41	54.75	30.29	73.37	55.21	36.57
Coef.Var.	0.92	0.77	0.92	0.71	0.77	0.70	0.46	0.81	0.78	0.60
Máximo	400	308	324	184	326	336	188	345	358.5	230
Mínimo	33.5	26.5	32	20	26	31.5	33	32	23	20
Años registro	22	33	26	42	49	62	36	48	37	50
Estación	19054	19066	19085	19091	19096	19144	19155			
Media	64.23	88.24	58.83	76.39	92.50	64.31	48.75			
Desv. Est.	55.97	66.28	36.92	46.26	63.56	42.72	29.00			
Coef.Var.	0.87	0.75	0.63	0.61	0.69	0.66	0.59			
Máximo	287	250	197	266	315	240.8	127			
Mínimo	23	20	26	31	24	18.8	20			
Años registro	40	31	27	35	33	28	24			

V.3.5 Aplicación del método del Coeficiente de Variación para verificar la homogeneidad de las regiones.

Para hacer el análisis de la delimitación de regiones homogéneas con el coeficiente de variación se propusieron 3 grupos los cuales se pueden observar en las tablas V.11, V.12 y V.13 con sus respectivos coeficientes de variación ordenados de mayor a menor.

Los cocientes obtenidos aplicando la fórmula 31 por cada grupo son:

$$\text{Factor de grupo (Región I)} = \left(\frac{CV_i}{CV_f}\right)^2 = \left(\frac{0.53}{0.26}\right)^2 = \mathbf{4.2368}$$

$$\text{Factor de grupo (Región II)} = \left(\frac{CV_i}{CV_f}\right)^2 = \left(\frac{0.70}{0.29}\right)^2 = \mathbf{5.5991}$$

$$\text{Factor de grupo (Región III)} = \left(\frac{CV_i}{CV_f}\right)^2 = \left(\frac{0.92}{0.46}\right)^2 = \mathbf{3.9309}$$

Los cocientes obtenidos son comparados con la tabla de Fisher (Tabla V.14) para un grado de confiabilidad de 0.01

Tabla V.11 (Coeficientes Estaciones Región

Region I		
Estacion	Nombre	C.V.
19079	EL REFUGIO DE LOS IBARRA	0.53
19020	EL POTOSI	0.52
19160	SAN IGNACIO DE TEXAS	0.50
19057	SAN RAFAEL	0.50
19143	LA CARDONA	0.50
19032	CARBONERA	0.47
19037	LAS PRESAS	0.47
19180	SAN ANTONIO EL SALERO	0.46
19182	SAN ROBERTO	0.46
19050	SAN JOSE DE RAICES	0.43
19138	SANTA ANA	0.42
19059	SANTA ROSA	0.42
19151	LAS MARGARITAS	0.42
19067	EL RUCIO	0.39
19129	EL PEÑUELO	0.36
19046	MIER Y NORIEGA (SMN)	0.35
19047	MIMBRES	0.32
19159	SAN ANTONIO PEÑA NEVADA	0.30
19075	DOCTOR ARROYO II (DGE)	0.26

Tabla V.12 Coeficientes Estaciones Región II)

Region II		
Estacion	Nombre	C.V.
19178	SIERRA MORENA	0.70
19077	VALLECILLO (SMN)	0.69
19036	LA POPA	0.66
19025	HIGUERAS (SMN)	0.65
19010	CERRALVO (DGE)	0.63
19007	CABEZONES	0.63
19171	LAMPACITOS	0.62
19045	MINA	0.62
19126	LA LAJA	0.61
19041	LOS HERRERAS	0.61
19141	VILLALDAMA	0.60
19016	EL CUCHILLO	0.60
19124	HIGUERAS (DGE)	0.60
19015	EL CERRITO	0.60
19069	LA BOCA	0.60
19043	MADERO	0.60
19004	APODACA	0.59
19026	ICAMOLE	0.59
19028	LAMPAZOS (SMN)	0.58
19099	CERRALVO (SMN)	0.58
19029	LA ARENA	0.58
19119	ESPINAZO	0.58
19104	LA ESCONDIDA	0.57
19061	TOPO CHICO	0.57
19022	GENERAL BRAVO (DGE)	0.56
19060	SOMBRETILO	0.56
19107	SAN NICOLAS	0.56
19158	RANCHO DE GOMAS	0.55
19173	PALMITOS (GE)	0.54
19011	CERRO PRIETO	0.53
19012	CIENEGA DE FLORES	0.52
19174	SAN BARTOLO	0.52

Tabla V.13 (Coeficientes Estaciones Región

Region III		
Estacion	Nombre	C.V.
19002	AGUA BLANCA	0.92
19009	CASILLAS	0.92
19054	RINCONADA	0.87
19033	LAGUNA DE SANCHEZ	0.81
19038	LAS COMITAS	0.78
19018	EL PAJONAL	0.77
19005	ARAMBERRI II	0.77
19066	ZARAGOZA (SMN)	0.75
19013	CIENEGA DEL TORO	0.71
19027	ITURBIDE	0.70
19096	LA HUASTEQUITA	0.69
19144	CIENEGUITAS Y CRUCITAS	0.66
19085	GALEANA (DGE)	0.63
19091	PABLILLO (DGE)	0.61
19053	RAYONES	0.60
19155	LA POZA	0.59
19031	LA CRUZ	0.46

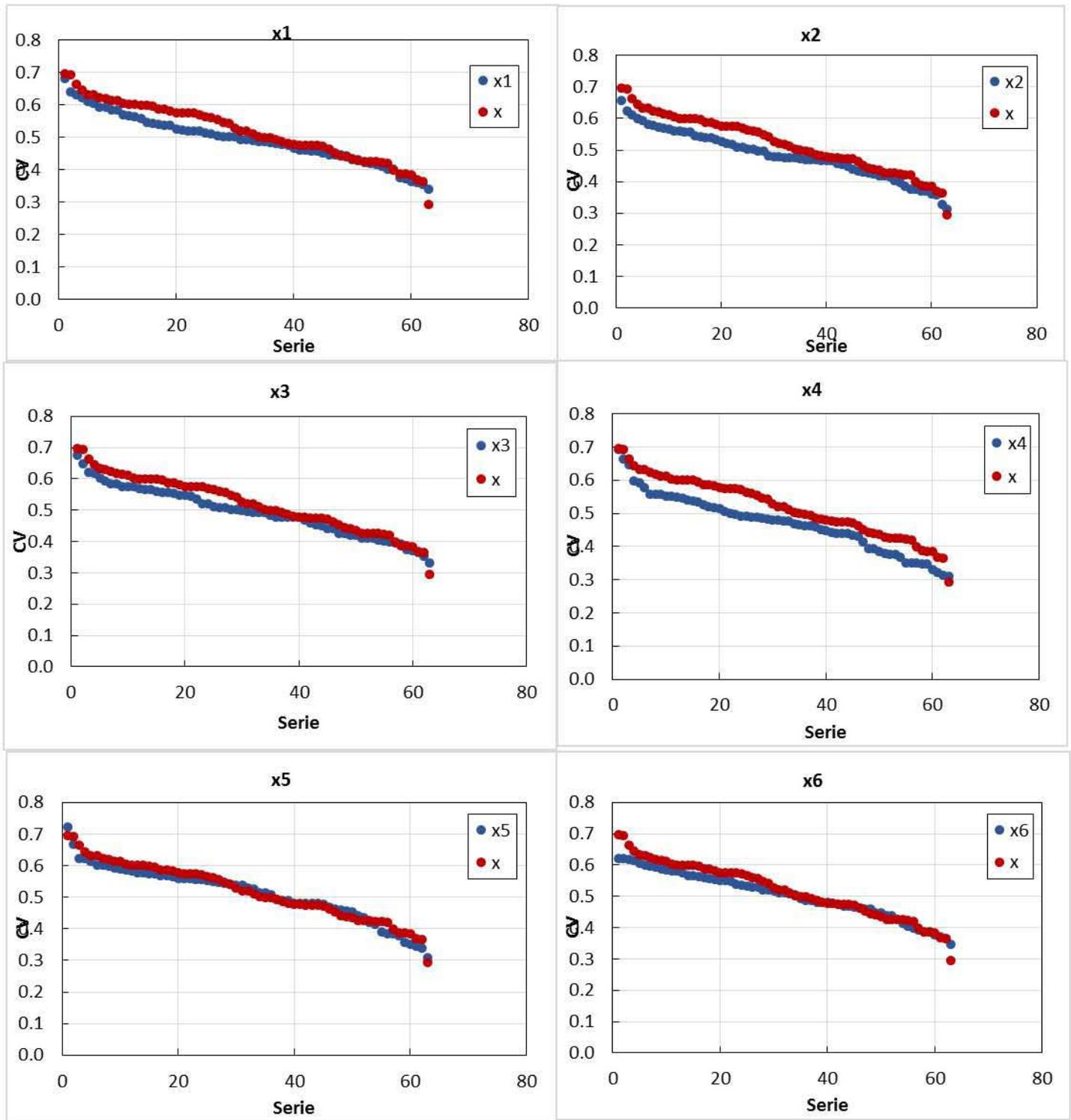
Region II		
Estacion	Nombre	C.V.
19134	SALINAS VICTORIA	0.51
19044	MAMULIQUE	0.50
19063	VALLECILLO (DGE)	0.50
19070	LAMPAZOS (DGE)	0.50
19133	SABINAS HIDALGO	0.49
19035	CAMACHO	0.49
19019	EL REALITO	0.48
19131	PUERTO DEL EBANO	0.48
19170	EL HOJASE	0.48
19003	ALLENDE	0.47
19049	MONTERREY	0.47
19065	SANTIAGO	0.47
19042	LOS RAMONES	0.47
19034	PABLILLO (SMN)	0.46
19040	LOS ALDAMAS	0.45
19113	EL BRASIL	0.44
19058	SANTA CATARINA	0.44
19071	PARAS	0.44
19056	SAN JUAN	0.43
19048	MONTEMORELOS	0.43
19140	TEPEHUAJE	0.43
19021	GARZA AYALA	0.42
19105	DOCTOR GONZALEZ	0.42
19108	SAN CRISTOBAL PURISIMA	0.42
19117	EJIDO MARIN	0.40
19074	GENERAL BRAVO (SMN)	0.39
19055	SALINILLAS	0.39
19008	CADEREYTA	0.38
19024	ANAHUAC	0.37
19146	CONGREGACION CALLES	0.36
19100	SAN FRANCISCO LA CARRE	0.29

Tabla V.14. Tabla Fisher para alfa= 0.01

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	60	100	10000
1	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6022	6056	6209	6313	6334	6366
2	98.5	99	99.16	99.25	99.3	99.33	99.36	99.38	99.39	99.4	99.45	99.48	99.49	99.5
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	26.69	26.32	26.24	26.13
4	21.2	18	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.8	14.66	14.55	14.02	13.65	13.58	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.553	9.202	9.13	9.022
6	13.75	10.93	9.78	9.148	8.746	8.466	8.26	8.102	7.976	7.874	7.396	7.057	6.987	6.881
7	12.25	9.547	8.451	7.847	7.46	7.191	6.993	6.84	6.719	6.62	6.156	5.824	5.755	5.651
8	11.26	8.649	7.591	7.006	6.632	6.371	6.178	6.029	5.911	5.814	5.359	5.032	4.963	4.86
9	10.56	8.022	6.992	6.422	6.057	5.802	5.613	5.467	5.351	5.257	4.808	4.483	4.415	4.312
10	10.04	7.56	6.552	5.994	5.636	5.386	5.2	5.057	4.942	4.849	4.405	4.082	4.014	3.91
11	9.646	7.206	6.217	5.668	5.316	5.069	4.886	4.745	4.632	4.539	4.099	3.776	3.708	3.604
12	9.33	6.927	5.953	5.412	5.064	4.821	4.64	4.499	4.388	4.296	3.858	3.536	3.467	3.362
13	9.074	6.701	5.739	5.205	4.862	4.62	4.441	4.302	4.191	4.1	3.665	3.341	3.272	3.167
14	8.862	6.515	5.564	5.035	4.695	4.456	4.278	4.14	4.03	3.939	3.505	3.181	3.112	3.005
15	8.683	6.359	5.417	4.893	4.556	4.318	4.142	4.004	3.895	3.805	3.372	3.047	2.977	2.87
16	8.531	6.226	5.292	4.773	4.437	4.202	4.026	3.89	3.78	3.691	3.259	2.933	2.863	2.754
17	8.4	6.112	5.185	4.669	4.336	4.102	3.927	3.791	3.682	3.593	3.162	2.835	2.764	2.654
18	8.286	6.013	5.092	4.579	4.248	4.015	3.841	3.705	3.597	3.508	3.077	2.749	2.678	2.567
19	8.185	5.926	5.01	4.5	4.171	3.939	3.765	3.631	3.523	3.434	3.003	2.674	2.602	2.491
20	8.096	5.849	4.938	4.431	4.103	3.871	3.699	3.564	3.457	3.368	2.938	2.608	2.535	2.422
21	8.017	5.78	4.874	4.369	4.042	3.812	3.64	3.506	3.398	3.31	2.88	2.548	2.476	2.362
22	7.945	5.719	4.817	4.313	3.988	3.758	3.587	3.453	3.346	3.258	2.827	2.495	2.422	2.307
23	7.881	5.664	4.765	4.264	3.939	3.71	3.539	3.406	3.299	3.211	2.781	2.447	2.373	2.257
24	7.823	5.614	4.718	4.219	3.895	3.667	3.496	3.363	3.256	3.168	2.738	2.404	2.329	2.212
25	7.77	5.568	4.676	4.177	3.855	3.627	3.457	3.324	3.217	3.129	2.699	2.364	2.289	2.171
26	7.721	5.526	4.637	4.14	3.818	3.591	3.421	3.288	3.182	3.094	2.664	2.327	2.252	2.133
27	7.677	5.488	4.601	4.106	3.785	3.558	3.388	3.256	3.149	3.062	2.632	2.294	2.218	2.098
28	7.636	5.453	4.568	4.074	3.754	3.528	3.358	3.226	3.12	3.032	2.602	2.263	2.187	2.066
29	7.598	5.421	4.538	4.045	3.725	3.5	3.33	3.198	3.092	3.005	2.574	2.234	2.158	2.036
30	7.562	5.39	4.51	4.018	3.699	3.474	3.305	3.173	3.067	2.979	2.549	2.208	2.131	2.008
40	7.314	5.179	4.313	3.828	3.514	3.291	3.124	2.993	2.888	2.801	2.369	2.019	1.938	1.806
50	7.171	5.057	4.199	3.72	3.408	3.186	3.02	2.89	2.785	2.698	2.265	1.909	1.825	1.685
60	7.077	4.977	4.126	3.649	3.339	3.119	2.953	2.823	2.719	2.632	2.198	1.836	1.749	1.602
70	7.011	4.922	4.074	3.6	3.291	3.071	2.906	2.777	2.672	2.585	2.15	1.785	1.695	1.542
80	6.963	4.881	4.036	3.563	3.255	3.036	2.871	2.742	2.637	2.551	2.115	1.746	1.655	1.496

Se observa que los cocientes obtenidos son mayores que los mostrados en la tabla, por lo que se necesitara de otro criterio para verificar la homogeneidad de las regiones. Para ello, se realizaron pruebas mediante la comparación entre los coeficientes de variación de las muestras y los que se obtienen al generar números aleatorios con la distribución de probabilidades ajustada a cada muestra regional.

Se obtuvieron los coeficientes de variación de 10 series sintéticas los cuales son comparados con los valores medidos históricamente como lo muestra la figura V.12 para la región II la cual posee el cociente mayor de los grupos propuestos.



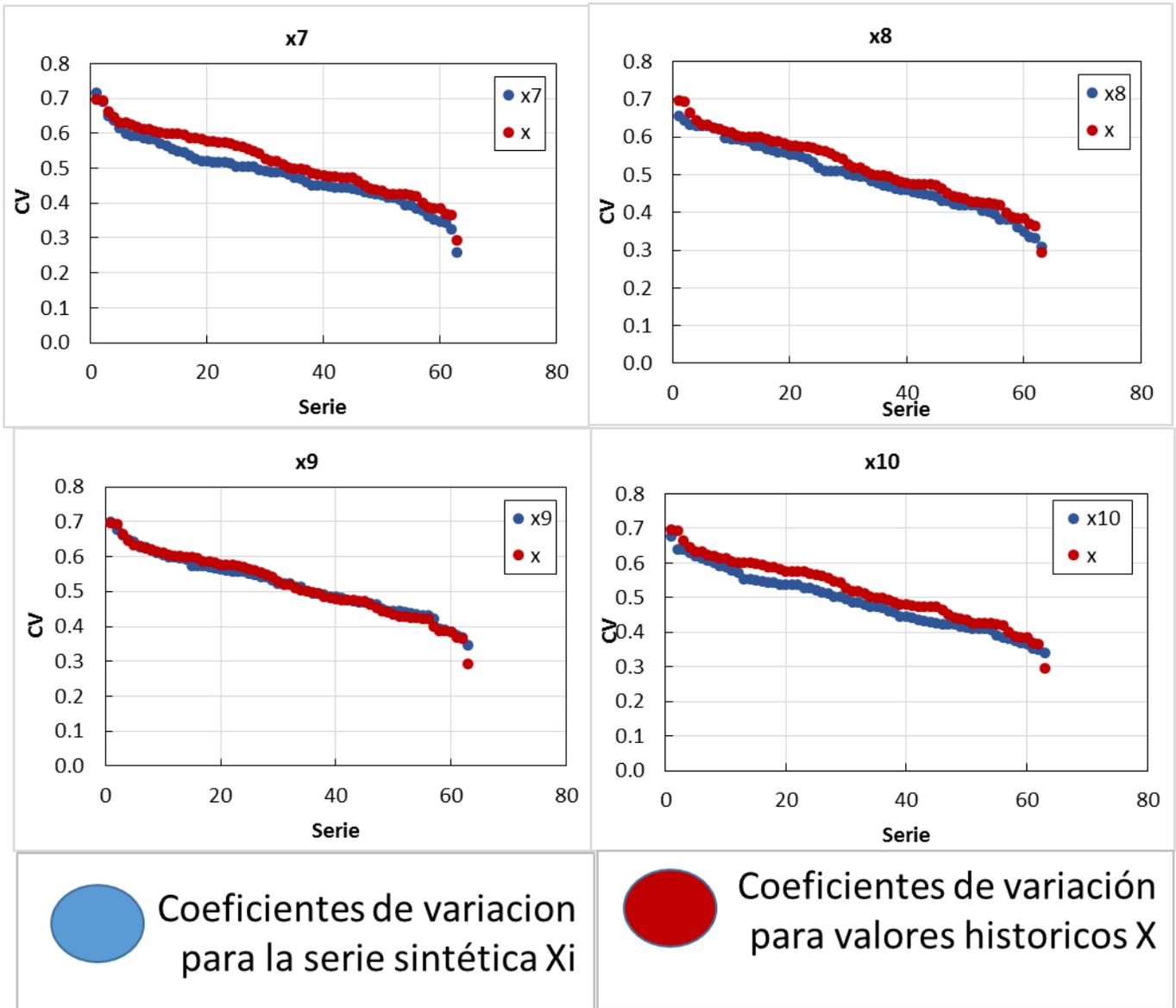


Figura V.12 Comparación de los C.V. históricos vs C.V. sintéticos

La figura V.13 muestra la comparación de todos los coeficientes de variación obtenidos mediante las series sintéticas y los obtenidos en de forma histórica para la región II.

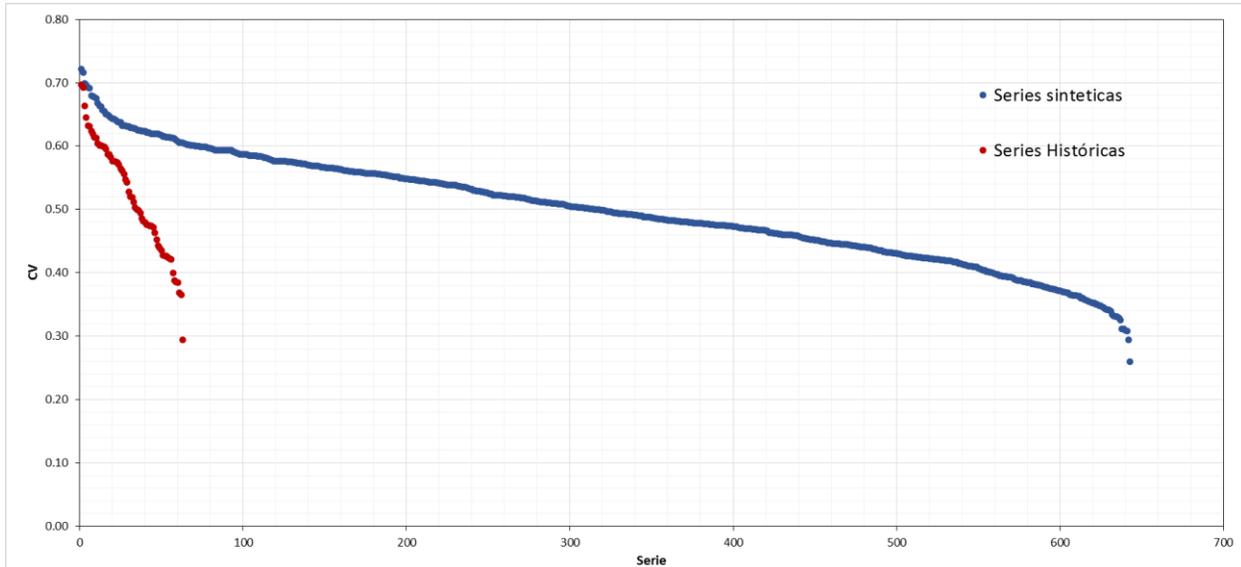


Figura V.13 Comparación de los C.V. históricos y la los C.V. obtenidos con las muestras generadas.

Podemos observar que las series sintéticas arrojan resultados mayores al coeficiente de variación máximo obtenido históricamente y también coeficientes menores al mínimo registrado históricamente. Por lo anterior podemos afirmar como válida la hipótesis de la región homogénea para la Región II.

V.3.6 Obtención de los valores estandarizados aplicando la técnica de estaciones año

La secuencia de la técnica utiliza puede resumirse como:

- 1) Probar dentro de la región analizada la homogeneidad de la serie de datos (aplicación del método de coeficiente de variación descrito en V.3.5)
- 2) Obtener los estadísticos muestrales de las series que son Q_i^j ; \bar{x}_j ; S_j^2 ; S_j ; g_j ; k_j ; CV_j ; para $i = 1 \dots n$ años y $j = 1 \dots m$ sitios.
- 3) Para cada serie j se verifica mediante la prueba de Anderson la independencia de eventos.
- 4) Para cada serie j se genera una muestra modulada de la forma

$$q_i^j = \frac{Q_i^j}{Q_j}$$

- 5) Se forma el registro de estaciones-año, de tamaño $n_T = \sum_{j=1}^{ms} n_j$ con todos los eventos modulados q_i^j
- 6) El registro se ordena de mayor a menor y se le asigna un periodo de retorno y una probabilidad de no excedencia.

$$T = \frac{n_T + 1}{m}$$

$$P(X \leq x) = P = 1 - \frac{1}{T}$$

Donde

m es el número de orden

P es la probabilidad asociada

T representa el periodo de retorno

n_T representa el tamaño de la muestra

En la tabla V.15 se observa la muestra ordenada por estaciones y años con sus respectivos estadísticos muestrales obtenidos del paso 2 para la Región 1. Esta tabla se construyó también para las regiones II y III.

Tabla V.15 Estaciones- año y estadísticos muestrales

AÑO	19020	19032	19037	19046	19047	19050	19057	19059	19067	19075	19079	19129	19138	19143	19151	19159	19160	19180	19182
1942						29													
1943				53															
1944				60		45													
1945				72		29													
1946				86		21													
1947				40		28													
1948				100		22													
1949				32		20													
1950				44		20													
1951				61															
1952				41		20													
1953				40		21													
1954				31		20													
1955				56															
1956				38															
1957	24	28		56		22	27		32										
1958	52	48		59		20			34										
1959	35	60		33		29			34										
1960				34															
1961				45		50													
1962				30		50		60											
1963	35	21	27		26	28	22	33	40										
1964	67		29			27		42	22										
1965	80	40	22	50	31	24		20	30										
1966	37	65	52	40		50	35	58	33										
1967		35		67	40	42	100	35	33		66								
1968		35	22	38	30	40		97	30										
1969	28	20			29			44	36										
1970	21	30		47	40	24	28	30	31										
1971		52	29	62		77		17	30										
1972		70	30	53	84	24		25	36										
1973		53		30	80	48			41										
1974		96		19	47	22	33	33	25		30								
1975	40	46	60	28	45	35	31		28		50								
1976	54	72	32		42		59	46	30		50								
1977	50	22		39	46	34	26	48	36										
1978	25	51	33	55	89	24	30	30	29										
1979	22	62	22	40	48	20	67	80	36										
1980	23	35	21	35	40	32	58	62	20		20	31	25						
1981	35	67		54	49	25		43	54			43	75	50					
1982		63		24	38	33		55	21										
1983		27		20	52	43		40	20			55							
1984				33	75	28		51	39			52	45	29			20		
1985	40			46				45	84		28		48		20	54			18
1986	46	57			68	66		34			36	40	28	84					45

Continuación tabla V.15 del año 1987 a 2013

1987	28					41		60	30	37		50	43	65	20	36	61	30	35
1988	123				45	60	36	40	45	73	50	30	39	75	40		31	38	43
1989	24				42	28	25		31	29	90		18			40	26	19	35
1990	56	48		64	40	33	31	40	35	47					45	49	32		40
1991	52	25			44	53	33	30	26	38	48	51	34	36		25	21	35	26
1992	41			65	42	42	39	80	29		27	33		23		20	35	32	34
1993	29	35			52		18	25	50	45	26	30	38	23	40	34	30	25	21
1994	62	27			46		51	35	29	60	20	38	62	40	50	60	21	50	32
1995	20	32			60	49	39		25	43	24	70		39		40	38	64	42
1996	38	22		62	52	41	38		26	40	12	45		21	20	39	20	28	47
1997	28	26	18		34	42	109	20	54	38	20	39	35		40	36	31	40	
1998	16	16		36	48	42	31	20	18	40	32	43	25	24	20	40	61	35	
1999	17	32		75	28	28	16	20	38	41	18	40	33	24	25	40	25	20	23
2000	23	20	75	55	34	25	48	19	46	48	25	25	19	26	25	42	35	10	
2001	30		53	37	43	25	56	32	43	41	20	42	55	21	60	29	48	40	27
2002	43	20	44	25	48	66	44	44	31	53	24		33	20	40	65	30	40	54
2003	42	38	89	40	73	24		40			25	63	58	57	60	55	66	82	93
2004		20	30	60	29	60	44	39		68	22	22	64	45	40	50	25	60	
2005	62	75	38	38	44	90	30	41	42	40	38	60	58	31		60	40		55
2006	87	26	35	60	60			40	34	70			37	29	60	57	41	40	28
2007	20	32		72	37	39	41	40	23	43			58		60		45		
2008	60	21	40	56	60	36	30	35		62	28		100		80	36	41	60	
2009	56			29				68					45	20					65
2010	28						42	67	90		38	21		30	25	76	35	60	80
2011			20								54	22	30	31	30	52	20	20	22
2012			36								26		28	33	40		38	50	44
2013			56								80	15	50	21	60	62	111	80	63
media	41.366	40.671	37.975	47.378	47.771	35.991	41.109	42.336	35.383	47.755	35.414	40.004	43.793	35.780	40.909	45.708	38.144	41.639	42.157
Desv. Est.	21.609	19.309	17.996	16.805	15.399	15.573	20.507	17.678	13.929	12.329	18.820	14.235	18.419	17.716	17.018	13.662	19.200	19.078	19.183
coef. Var	0.522	0.475	0.474	0.355	0.322	0.433	0.499	0.418	0.394	0.258	0.531	0.356	0.421	0.495	0.416	0.299	0.503	0.458	0.455
máximo	123	96	88.6	100	89	90	109	97	90	72.6	90	70	100	83.6	80	76	110.6	82	93
mínimo	16	16	18	18.5	26	20	16	17	18	29	12	15	18	20	20	20	19.5	10	17.5
años registro	41	41	24	54	41	56	32	44	46	20	29	24	27	25	22	24	27	23	23
estacion	19020	19032	19037	19046	19047	19050	19057	19059	19067	19075	19079	19129	19138	19143	19151	19159	19160	19180	19182

Con ayuda del programa CLICOM desarrollado en el Instituto de Ingeniería se obtuvieron los valores estandarizados para cada región (Tabla V.16):

$$q_i^j = \frac{Q_i^j}{Q_j}$$

Tabla V.16 Valores estandarizados para los valores máximos anuales de las estaciones de la Región I

Estacion	Año	qji												
19020	1957	0.58018868	19032	1957	0.68845577	19037	1963	0.71099408	19046	1943	1.11866792	19047	1963	0.54426631
19020	1958	1.25707547	19032	1958	1.1802099	19037	1964	0.76366603	19046	1944	1.26641651	19047	1965	0.64893291
19020	1959	0.84610849	19032	1959	1.47526237	19037	1965	0.57932851	19046	1945	1.51969981	19047	1967	0.83733279
19020	1963	0.84610849	19032	1963	0.50404798	19037	1966	1.36932192	19046	1946	1.80464353	19047	1968	0.62799959
19020	1964	1.6196934	19032	1965	0.98350825	19037	1968	0.57932851	19046	1947	0.8337242	19047	1969	0.60706627
19020	1965	1.93396226	19032	1966	1.5982009	19037	1971	0.76366603	19046	1948	2.11069418	19047	1970	0.83733279
19020	1966	0.89445755	19032	1967	0.86056972	19037	1972	0.78999342	19046	1949	0.67542214	19047	1972	1.7479322
19020	1969	0.67688679	19032	1968	0.86056972	19037	1975	1.57998683	19046	1950	0.92870544	19047	1973	1.67466558
19020	1970	0.49799528	19032	1969	0.49175412	19037	1976	0.84265964	19046	1951	1.28752345	19047	1974	0.98386603
19020	1975	0.95489387	19032	1970	0.73763118	19037	1978	0.86899276	19046	1952	0.86538462	19047	1975	0.94199939
19020	1976	1.29333726	19032	1971	1.27856072	19037	1979	0.57932851	19046	1953	0.84427767	19047	1976	0.87919943
19020	1977	1.20872642	19032	1972	1.72113943	19037	1980	0.55299539	19046	1954	0.64376173	19047	1977	0.96293271
19020	1978	0.60436321	19032	1973	1.30314843	19037	1997	0.47399605	19046	1955	1.18198874	19047	1978	1.86306545
19020	1979	0.53183962	19032	1974	2.36041979	19037	2000	1.97498354	19046	1956	0.80206379	19047	1979	1.00479935
19020	1980	0.55601415	19032	1975	1.11874063	19037	2001	1.39565504	19046	1957	1.18198874	19047	1980	0.82686613
19020	1981	0.8509434	19032	1976	1.77031484	19037	2002	1.15339039	19046	1958	1.24530957	19047	1981	1.01735934
19020	1985	0.96698113	19032	1977	0.54092954	19037	2003	2.33311389	19046	1959	0.69652908	19047	1982	0.79546615
19020	1986	1.1120283	19032	1978	1.25397301	19037	2004	0.79262673	19046	1960	0.70708255	19047	1983	1.08853263
19020	1987	0.67688679	19032	1979	1.51214393	19037	2005	1.00065833	19046	1961	0.94981238	19047	1984	1.56999898
19020	1988	2.97346698	19032	1980	0.86056972	19037	2006	0.91112574	19046	1962	0.62265478	19047	1986	1.42346574
19020	1989	0.58018868	19032	1981	1.64737631	19037	2008	1.06122449	19046	1965	1.04479362	19047	1988	0.94199939
19020	1990	1.34168632	19032	1982	1.53673163	19037	2011	0.52666228	19046	1966	0.84427767	19047	1989	0.87919943
19020	1991	1.25707547	19032	1983	0.66386807	19037	2012	0.93482554	19046	1967	1.4141651	19047	1990	0.83733279
19020	1992	0.9790684	19032	1986	1.3892054	19037	2013	1.46148782	19046	1968	0.80206379	19047	1991	0.92106607
19020	1993	0.68897406	19032	1990	1.1802099				19046	1970	0.99202627	19047	1992	0.87919943
19020	1994	1.50365566	19032	1991	0.61469265				19046	1971	1.29807692	19047	1993	1.08853263
19020	1995	0.4714033	19032	1993	0.86056972				19046	1972	1.10811445	19047	1994	0.96293271
19020	1996	0.91863208	19032	1994	0.66386807				19046	1973	0.63320826	19047	1995	1.25599918
19020	1997	0.67688679	19032	1995	0.7868066				19046	1974	0.39047842	19047	1996	1.08853263
19020	1998	0.38679245	19032	1996	0.54092954				19046	1975	0.59521576	19047	1997	0.71173287
19020	1999	0.41096698	19032	1997	0.63928036				19046	1977	0.81261726	19047	1998	1.00479935
19020	2000	0.55601415	19032	1998	0.3934033				19046	1978	1.1608818	19047	1999	0.58613295
19020	2001	0.72523585	19032	1999	0.7868066				19046	1979	0.84427767	19047	2000	0.71173287
19020	2002	1.03950472	19032	2000	0.49175412				19046	1980	0.72818949	19047	2001	0.90013275
19020	2003	1.01533019	19032	2002	0.49175412				19046	1981	1.12922139	19047	2002	1.00479935
19020	2005	1.49882075	19032	2003	0.93433283				19046	1982	0.5065666	19047	2003	1.52813234
19020	2006	2.10318396	19032	2004	0.49175412				19046	1983	0.42213884	19047	2004	0.60706627
19020	2007	0.48349057	19032	2005	1.84407796				19046	1984	0.69652908	19047	2005	0.92106607
19020	2008	1.4504717	19032	2006	0.63928036				19046	1985	0.96458724	19047	2006	1.25599918
19020	2009	1.35377358	19032	2007	0.7868066				19046	1990	1.35084428	19047	2007	0.77453283
19020	2010	0.67688679	19032	2008	0.51634183				19046	1992	1.37195122	19047	2008	1.25599918

Tabla V.16 Valores estandarizados para los valores máximos

Estacion	Año	qji															
19050	1942	0.8057554	19057	1957	0.65678449	19059	1962	1.41722139	19067	1957	0.89026788	19075	1987	0.77478798	19079	1967	1.86368062
19050	1944	1.2503101	19057	1963	0.53515773	19059	1963	0.77947176	19067	1958	0.96092406	19075	1988	1.52025966	19079	1974	0.84712756
19050	1945	0.79186306	19057	1966	0.85138731	19059	1964	0.99205497	19067	1959	0.96092406	19075	1989	0.60726625	19079	1975	1.41187926
19050	1946	0.58347805	19057	1967	2.43253516	19059	1965	0.47240713	19067	1963	1.13049889	19075	1990	0.98419014	19079	1976	1.41187926
19050	1947	0.77797073	19057	1970	0.68110984	19059	1966	1.36998067	19067	1964	0.62177439	19075	1991	0.7957282	19079	1980	0.5647517
19050	1948	0.61126271	19057	1974	0.8027366	19059	1967	0.82671248	19067	1965	0.84787417	19075	1993	0.9318396	19079	1985	0.79065239
19050	1949	0.55569338	19057	1975	0.74192322	19059	1968	2.29117458	19067	1966	0.93266159	19075	1994	1.25641294	19079	1986	1.01655307
19050	1950	0.55569338	19057	1976	1.43519574	19059	1969	1.03929568	19067	1967	0.93266159	19075	1995	0.90042927	19079	1988	1.41187926
19050	1952	0.55569338	19057	1977	0.63245914	19059	1970	0.70861069	19067	1968	0.84787417	19075	1996	0.83760863	19079	1989	2.54138267
19050	1953	0.58347805	19057	1978	0.72976055	19059	1971	0.40154606	19067	1969	1.017449	19075	1997	0.7957282	19079	1991	1.35540409
19050	1954	0.55569338	19057	1979	1.62979856	19059	1972	0.59050891	19067	1970	0.87613664	19075	1998	0.83760863	19079	1992	0.7624148
19050	1957	0.61126271	19057	1980	1.41087039	19059	1974	0.77947176	19067	1971	0.84787417	19075	1999	0.85854884	19079	1993	0.73417722
19050	1958	0.55569338	19057	1988	0.87571266	19059	1976	1.07708825	19067	1972	1.017449	19075	2000	1.00513035	19079	1994	0.5647517
19050	1959	0.8057554	19057	1989	0.60813379	19059	1977	1.13377711	19067	1973	1.15876137	19075	2001	0.85854884	19079	1995	0.67770204
19050	1961	1.38923344	19057	1990	0.7540859	19059	1978	0.70861069	19067	1974	0.70656181	19075	2002	1.10983143	19079	1996	0.33885102
19050	1962	1.38923344	19057	1991	0.8027366	19059	1979	1.88962852	19067	1975	0.79134923	19075	2004	1.42393467	19079	1997	0.5647517
19050	1963	0.77797073	19057	1992	0.94868871	19059	1980	1.4644621	19067	1976	0.84787417	19075	2005	0.83760863	19079	1998	0.90360273
19050	1964	0.75018606	19057	1993	0.43785633	19059	1981	1.0203994	19067	1977	1.017449	19075	2006	1.4658151	19079	1999	0.50827653
19050	1965	0.66683205	19057	1994	1.24059293	19059	1982	1.2991196	19067	1978	0.8196117	19075	2007	0.90042927	19079	2000	0.70593963
19050	1966	1.38923344	19057	1995	0.94868871	19059	1983	0.94481426	19067	1979	1.017449	19075	2008	1.29829337	19079	2001	0.5647517
19050	1967	1.16695609	19057	1996	0.92436336	19059	1984	1.20463818	19067	1980	0.56807569				19079	2002	0.67770204
19050	1968	1.11138675	19057	1997	2.65146332	19059	1985	1.06291604	19067	1981	1.52899975				19079	2003	0.70593963
19050	1970	0.66683205	19057	1998	0.74192322	19059	1986	0.80309212	19067	1982	0.59351192				19079	2004	0.62122687
19050	1971	2.1394195	19057	1999	0.38920563	19059	1987	1.41722139	19067	1983	0.57655444				19079	2005	1.07302824
19050	1972	0.66683205	19057	2000	1.16761688	19059	1988	0.94481426	19067	1984	1.10223642				19079	2008	0.79065239
19050	1973	1.3336641	19057	2001	1.36221969	19059	1990	0.94481426	19067	1985	2.37404768				19079	2010	1.07302824
19050	1974	0.61126271	19057	2002	1.07031547	19059	1991	0.70861069	19067	1987	0.84787417				19079	2011	1.5248296
19050	1975	0.97246341	19057	2004	1.07031547	19059	1992	1.88962852	19067	1988	1.27181126				19079	2012	0.73417722
19050	1977	0.94467874	19057	2005	0.72976055	19059	1993	0.59050891	19067	1989	0.87613664				19079	2013	2.25900682
19050	1978	0.66683205	19057	2007	0.99733941	19059	1994	0.82671248	19067	1990	0.98918653						
19050	1979	0.55569338	19057	2008	0.72976055	19059	1997	0.47240713	19067	1991	0.73482428						
19050	1980	0.8891094	19057	2010	1.00950209	19059	1998	0.47240713	19067	1992	0.8196117						
19050	1981	0.69461672				19059	1999	0.47240713	19067	1993	1.41312362						
19050	1982	0.91689407				19059	2000	0.44878677	19067	1994	0.8196117						
19050	1983	1.19474076				19059	2001	0.75585141	19067	1995	0.69243057						
19050	1984	0.77797073				19059	2002	1.03929568	19067	1996	0.73482428						
19050	1986	1.83378814				19059	2003	0.94481426	19067	1997	1.51204227						
19050	1987	1.13917142				19059	2004	0.9211939	19067	1998	0.5087245						
19050	1988	1.66708013				19059	2005	0.96843461	19067	1999	1.05984271						
19050	1989	0.77797073				19059	2006	0.94481426	19067	2000	1.30007373						
19050	1990	0.91689407				19059	2007	0.94481426	19067	2001	1.21528631						

Tabla V.16 Valores estandarizados para los valores máximos

Estacion	Año	qji																		
19138	1980	0.56858931	19143	1981	1.40301845	19151	1985	0.48888889	19159	1985	1.18140383	19160	1984	0.51121468	19180	1987	0.72047614	19182	1985	0.41511964
19138	1981	1.70120095	19143	1984	0.79653438	19151	1987	0.48888889	19159	1987	0.78760255	19160	1987	1.60704923	19180	1988	0.90539835	19182	1986	1.07456683
19138	1984	1.02757104	19143	1986	2.33650084	19151	1988	0.97777778	19159	1989	0.87511395	19160	1988	0.81270026	19180	1989	0.45630156	19182	1987	0.82312294
19138	1985	1.09607578	19143	1987	1.80827278	19151	1990	1.1	19159	1990	1.07201459	19160	1989	0.68161957	19180	1991	0.84055555	19182	1988	1.01526403
19138	1986	0.63937754	19143	1988	2.10452767	19151	1993	0.97777778	19159	1991	0.54694622	19160	1990	0.8389164	19180	1992	0.76850788	19182	1989	0.82075083
19138	1987	0.98190122	19143	1991	1.00614869	19151	1994	1.22222222	19159	1992	0.43755697	19160	1991	0.55053889	19180	1993	0.60039678	19182	1990	0.951217
19138	1988	0.89056157	19143	1992	0.62884293	19151	1996	0.48888889	19159	1993	0.74384686	19160	1992	0.91756481	19180	1994	1.20079357	19182	1991	0.60726073
19138	1989	0.41102842	19143	1993	0.63163779	19151	1997	0.97777778	19159	1994	1.31267092	19160	1993	0.77337606	19180	1995	1.53701577	19182	1992	0.80889026
19138	1991	0.77638701	19143	1994	1.1235327	19151	1998	0.48888889	19159	1995	0.87511395	19160	1994	0.55840373	19180	1996	0.6724444	19182	1993	0.50288779
19138	1993	0.86772666	19143	1995	1.0844047	19151	1999	0.61111111	19159	1996	0.8532361	19160	1995	1.00145645	19180	1997	0.96063485	19182	1994	0.76144802
19138	1994	1.41576455	19143	1996	0.58133035	19151	2000	0.61111111	19159	1997	0.78760255	19160	1996	0.52956598	19180	1998	0.84055555	19182	1995	0.9915429
19138	1997	0.79922192	19143	1998	0.67356065	19151	2001	1.46666667	19159	1998	0.87511395	19160	1997	0.82318672	19180	1999	0.48031743	19182	1996	1.1077764
19138	1998	0.5708728	19143	1999	0.6567915	19151	2002	0.97777778	19159	1999	0.87511395	19160	1998	1.60442761	19180	2000	0.24015871	19182	1999	0.54084158
19138	1999	0.7535521	19143	2000	0.72666294	19151	2003	1.46666667	19159	2000	0.91886964	19160	1999	0.65540344	19180	2001	0.96063485	19182	2001	0.6404703
19138	2000	0.43386333	19143	2001	0.58412521	19151	2004	0.97777778	19159	2001	0.63445761	19160	2000	0.92805127	19180	2002	0.96063485	19182	2002	1.28568482
19138	2001	1.25592016	19143	2002	0.55897149	19151	2006	1.46666667	19159	2002	1.42206016	19160	2001	1.26886105	19180	2003	1.96930145	19182	2003	2.20606436
19138	2002	0.7535521	19143	2003	1.59865847	19151	2007	1.46666667	19159	2003	1.20328168	19160	2002	0.79697058	19180	2004	1.44095228	19182	2005	1.29280116
19138	2003	1.3244249	19143	2004	1.24650643	19151	2008	1.95555556	19159	2004	1.09389243	19160	2003	1.71715701	19180	2006	0.96063485	19182	2006	0.66419142
19138	2004	1.46143437	19143	2005	0.86640581	19151	2010	0.61111111	19159	2005	1.31267092	19160	2004	0.66326828	19180	2008	1.44095228	19182	2009	1.54187294
19138	2005	1.3244249	19143	2006	0.79932923	19151	2011	0.73333333	19159	2006	1.24703737	19160	2005	1.05651034	19180	2010	1.44095228	19182	2010	1.89768977
19138	2006	0.84489175	19143	2009	0.57015092	19151	2012	0.97777778	19159	2008	0.78760255	19160	2006	1.08534809	19180	2011	0.48031743	19182	2011	0.5242368
19138	2007	1.3244249	19143	2010	0.83845724	19151	2013	1.46666667	19159	2010	1.6627165	19160	2007	1.18759103	19180	2012	1.20079357	19182	2012	1.04372937
19138	2008	2.2834912	19143	2011	0.86640581				19159	2011	1.13764813	19160	2008	1.06437518	19180	2013	1.92126971	19182	2013	1.48257013
19138	2009	1.02757104	19143	2012	0.92230296				19159	2013	1.35642662	19160	2010	0.92805127						
19138	2011	0.68504736	19143	2013	0.58692007							19160	2011	0.5348092						
19138	2012	0.63937754										19160	2012	1.00407807						
19138	2013	1.1417456										19160	2013	2.89950481						

Estos valores se obtuvieron también para las regiones II y III, pueden visualizarse en los anexos de esta tesis.

V.3.7 Obtención de las funciones de distribución para cada región.

Una vez obtenidos los valores estandarizados para los valores máximos de cada región se utilizó el software AX para la obtención de distribuciones de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel para cada región debido a que se ha demostrado que son las que mejor se ajustan en el territorio nacional. En las gráficas V.14, V.15, V.16, V.17, V.18, V.19, se muestran las gráficas de los ajustes Gumbel y Doble Gumbel para cada región.

- Región 1:

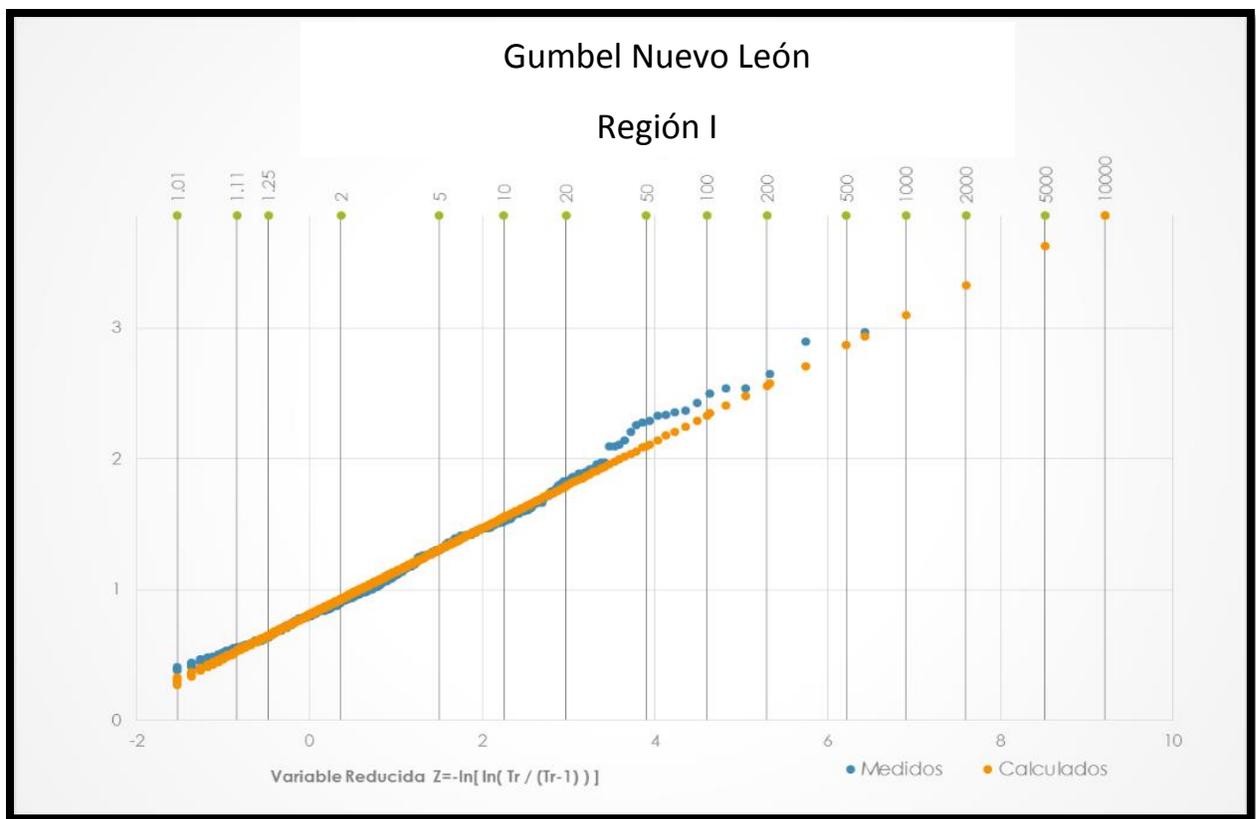


Figura V.14 Gumbel Región I

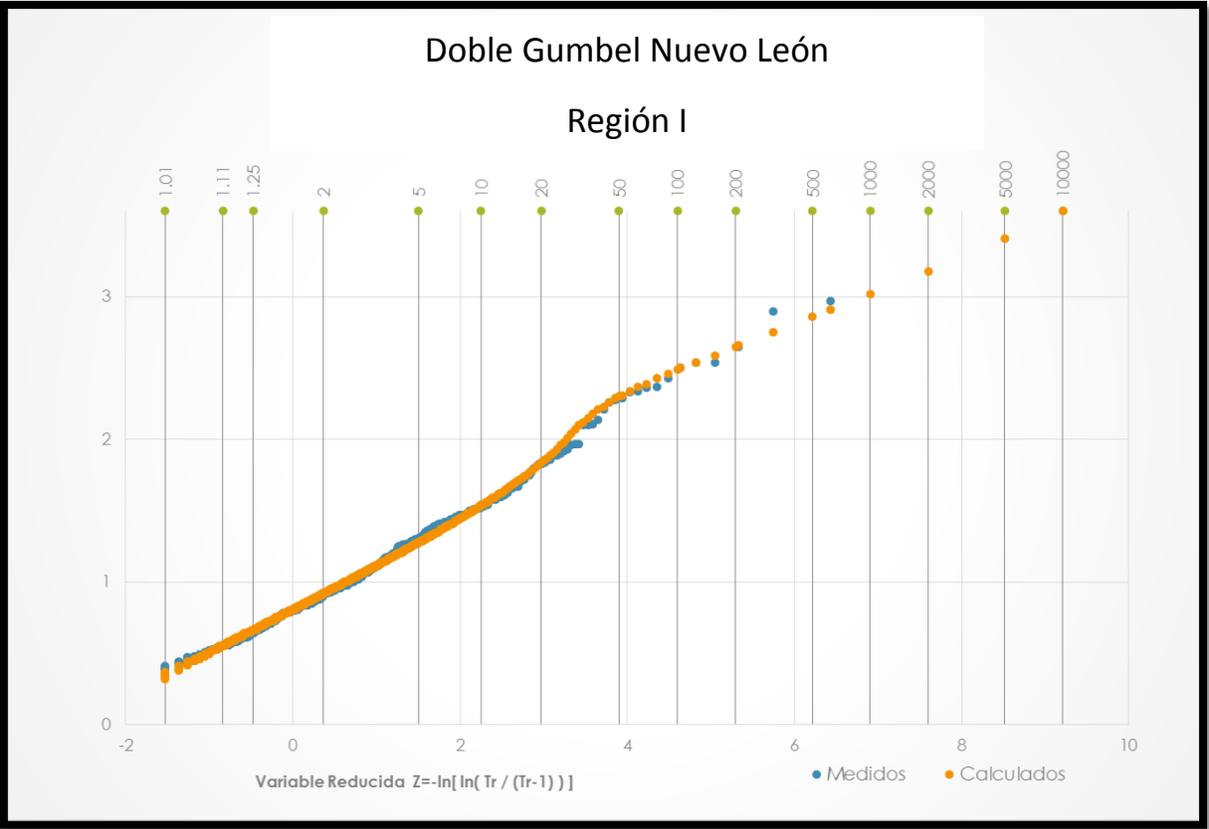


Figura V.15 (Doble Gumbel Región I con P=0.95)

- Región II.

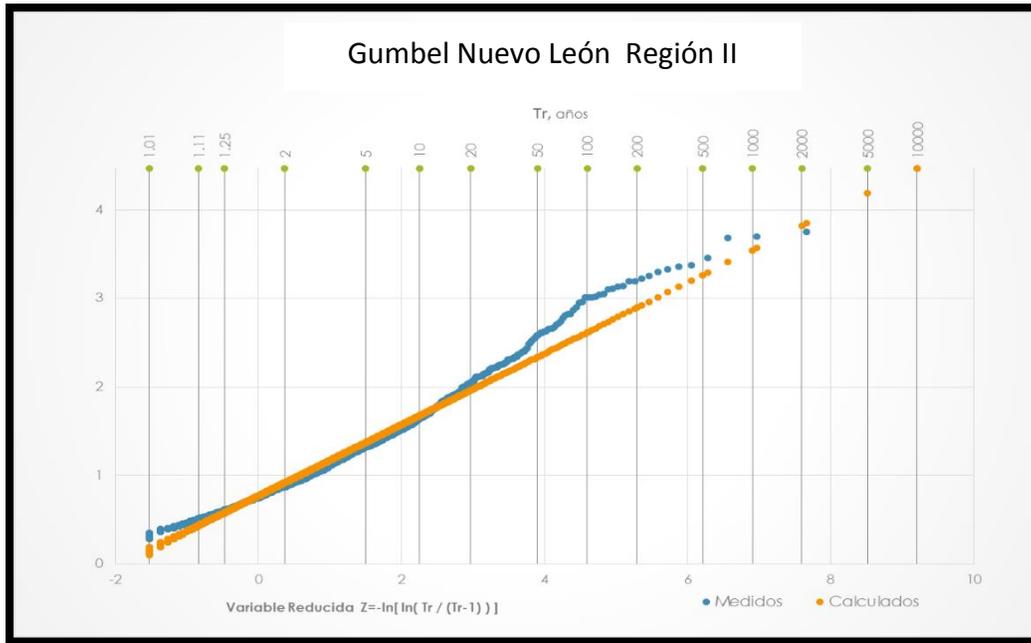


Figura V.16 Gumbel Región II

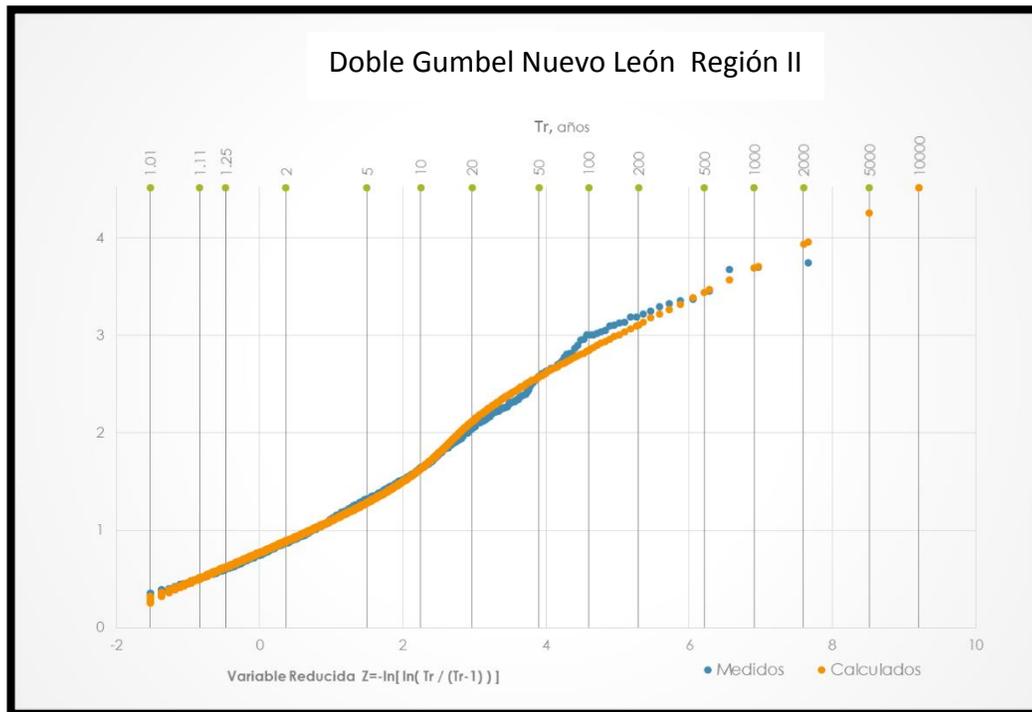


Figura V.17 Doble Gumbel Región II con P=0.95

- Región III.

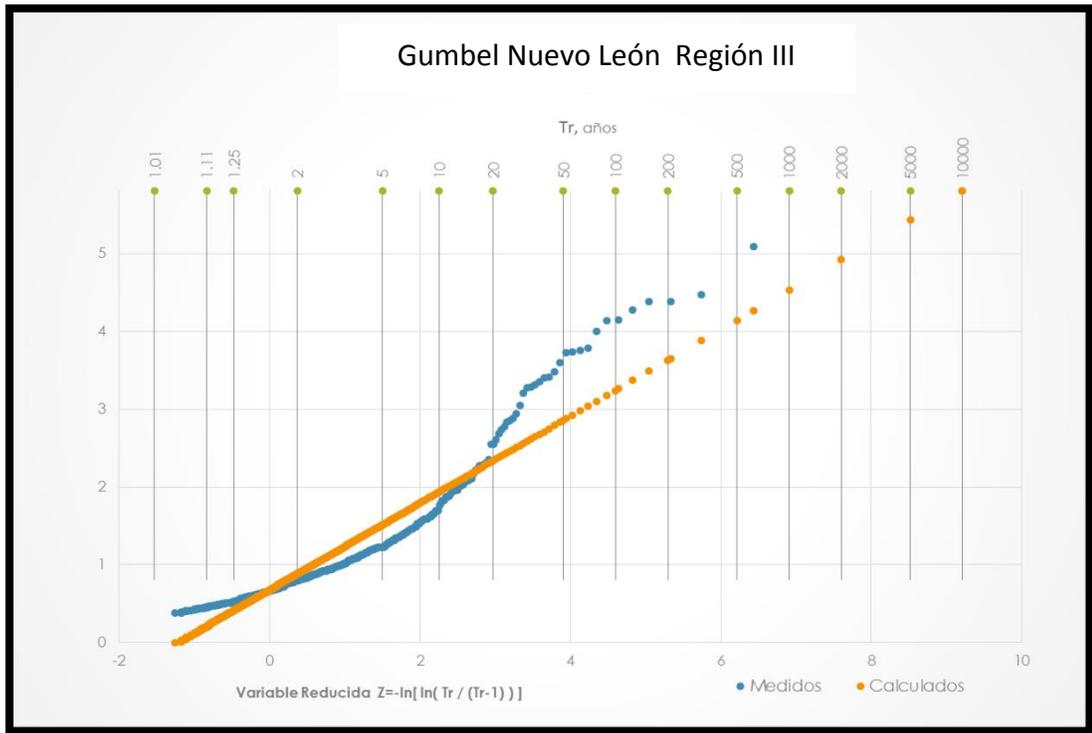


Figura V.18 Gumbel Región III

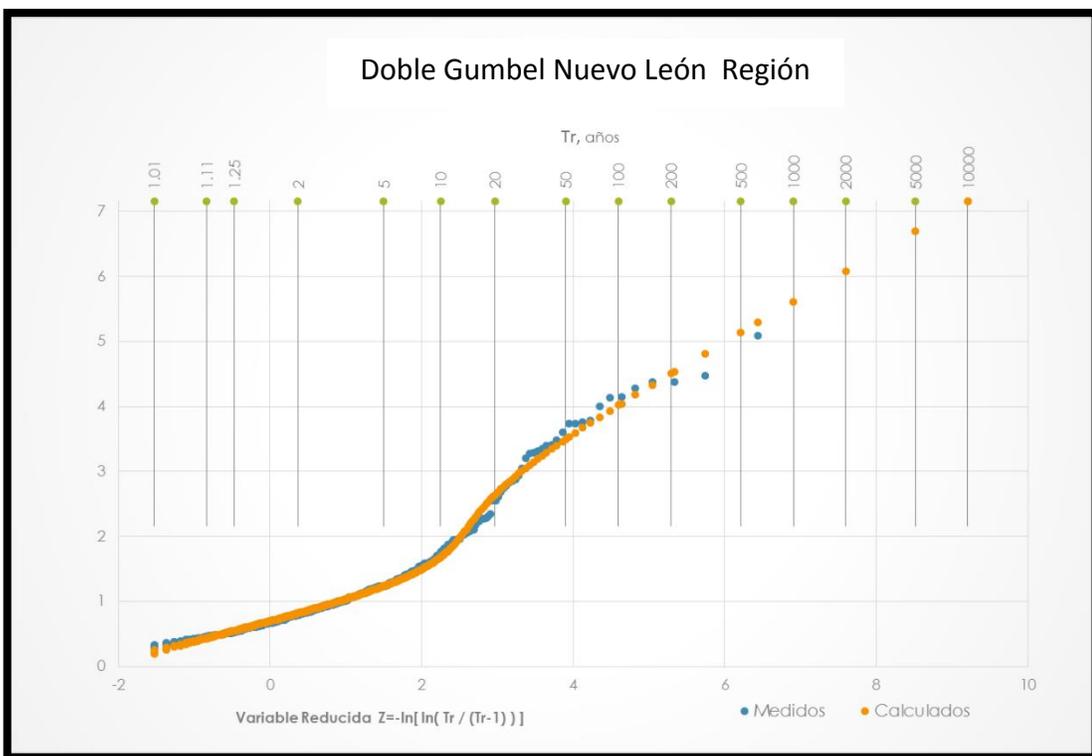


Figura V.19 Doble Gumbel Región III con P=0.95

V.3.8 Eventos estimados para diferentes periodos de retorno

A partir de las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel de cada región se obtuvieron los eventos estimados para diferentes periodos de retorno como lo muestran las tablas V.17, V.18, V.19.

Tabla V.17 Valores estimados para la Región I

Región I			
Gumbel		Doble Gumbel	
Tr (años)	x	Tr (años)	x
2	0.93	2	0.92
5	1.31	5	1.28
10	1.55	10	1.54
20	1.79	20	1.84
50	2.1	50	2.3
100	2.33	100	2.49
200	2.56	200	2.65
500	2.87	500	2.86
1000	3.1	1000	3.02
2000	3.33	2000	3.18
5000	3.63	5000	3.41
10000	3.86	10000	3.6

Tabla V.18 Valores estimados para la Región II

Región II			
Gumbel		Doble Gumbel	
Tr (años)	x	Tr (años)	x
2	0.92	2	0.89
5	1.37	5	1.28
10	1.67	10	1.63
20	1.96	20	2.12
50	2.34	50	2.58
100	2.62	100	2.85
200	2.9	200	3.11
500	3.26	500	3.44
1000	3.54	1000	3.69
2000	3.82	2000	3.94
5000	4.19	5000	4.26
10000	4.47	10000	4.52

Tabla V.19 Valores estimados para la Región III

Región III			
Gumbel		Doble Gumbel	
Tr (años)	x	Tr (años)	x
2	0.88	2	0.82
5	1.51	5	1.23
10	1.93	10	1.68
20	2.33	20	2.64
50	2.85	50	3.49
100	3.24	100	4.02
200	3.63	200	4.51
500	4.14	500	5.14
1000	4.53	1000	5.61
2000	4.92	2000	6.08
5000	5.43	5000	6.7
10000	5.81	10000	7.16

V.3.9 Cálculo de las precipitaciones de diseño para duración de un día para cada estación.

Del análisis de las distribuciones de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel de cada región, se determinó que para la región I la función que mejor se ajusta es la Gumbel, mientras que para las regiones II y III la función Doble Gumbel presenta un mejor ajuste.

Para poder obtener la precipitación de diseño para cada estación analizada asociada a un cierto periodo de retorno solo se debe multiplicar la media de la estación por el valor del evento estimado proveniente de la función de probabilidad que mejor se ajustó a la región, la precipitación de diseño para cada estación de su respectiva región se muestra en la tabla V.20, V.21 y V.22.

Tabla V.20 Precipitaciones de diseño para la Región I

Region I (Gumbel)											
Tr (años)	x	19020	19032	19037	19046	19047	19050	19057	19059	19067	19075
2	0.93	38.47	37.82	35.32	44.06	44.43	33.47	38.23	39.37	32.91	44.41
5	1.31	54.19	53.28	49.75	62.06	62.58	47.15	53.85	55.46	46.35	62.56
10	1.55	64.12	63.04	58.86	73.44	74.04	55.79	63.72	65.62	54.84	74.02
20	1.79	74.04	72.80	67.98	84.81	85.51	64.42	73.59	75.78	63.33	85.48
50	2.1	86.87	85.41	79.75	99.49	100.32	75.58	86.33	88.91	74.30	100.29
100	2.33	96.38	94.76	88.48	110.39	111.31	83.86	95.78	98.64	82.44	111.27
200	2.56	105.90	104.12	97.22	121.29	122.29	92.14	105.24	108.38	90.58	122.25
500	2.87	118.72	116.73	108.99	135.97	137.10	103.29	117.98	121.51	101.55	137.06
1000	3.1	128.23	126.08	117.72	146.87	148.09	111.57	127.44	131.24	109.69	148.04
2000	3.33	137.75	135.43	126.46	157.77	159.08	119.85	136.89	140.98	117.82	159.02
5000	3.63	150.16	147.63	137.85	171.98	173.41	130.65	149.23	153.68	128.44	173.35
10000	3.86	159.67	156.99	146.58	182.88	184.40	138.93	158.68	163.42	136.58	184.33

Tr (años)	x	19079	19129	19138	19143	19151	19159	19160	19180	19182
2	0.93	32.93	37.20	40.73	33.28	38.05	42.51	35.47	38.72	39.21
5	1.31	46.39	52.41	57.37	46.87	53.59	59.88	49.97	54.55	55.23
10	1.55	54.89	62.01	67.88	55.46	63.41	70.85	59.12	64.54	65.34
20	1.79	63.39	71.61	78.39	64.05	73.23	81.82	68.28	74.53	75.46
50	2.1	74.37	84.01	91.96	75.14	85.91	95.99	80.10	87.44	88.53
100	2.33	82.51	93.21	102.04	83.37	95.32	106.50	88.88	97.02	98.22
200	2.56	90.66	102.41	112.11	91.60	104.73	117.01	97.65	106.60	107.92
500	2.87	101.64	114.81	125.68	102.69	117.41	131.18	109.47	119.50	120.99
1000	3.1	109.78	124.01	135.76	110.92	126.82	141.70	118.25	129.08	130.69
2000	3.33	117.93	133.21	145.83	119.15	136.23	152.21	127.02	138.66	140.38
5000	3.63	128.55	145.22	158.97	129.88	148.50	165.92	138.46	151.15	153.03
10000	3.86	136.70	154.42	169.04	138.11	157.91	176.43	147.24	160.73	162.72

Tabla V.21 Precipitaciones de diseño para la Región II

Region II (Doble Gumbel)										
años	Tr	19003	19004	19007	19008	19010	19011	19012	19015	19016
2	0.89	121.531	69.234	105.265	81.852	105.236	76.310	78.198	114.767	79.053
5	1.28	174.786	99.573	151.392	117.720	151.350	109.749	112.465	165.058	113.694
10	1.63	222.579	126.800	192.788	149.909	192.735	139.758	143.217	210.191	144.783
20	2.12	289.489	164.918	250.743	194.974	250.674	181.771	186.270	273.377	188.306
50	2.58	352.302	200.702	305.150	237.279	305.066	221.212	226.688	332.695	229.165
100	2.85	389.171	221.706	337.084	262.111	336.991	244.362	250.411	367.512	253.148
200	3.11	424.674	241.931	367.835	286.023	367.734	266.655	273.255	401.039	276.242
500	3.44	469.736	267.603	406.866	316.373	406.754	294.949	302.250	443.593	305.554
1000	3.69	503.874	287.050	436.435	339.365	436.315	316.384	324.216	475.831	327.760
2000	3.94	538.012	306.498	466.004	362.357	465.875	337.820	346.182	508.069	349.965
5000	4.26	581.708	331.391	503.852	391.787	503.713	365.257	374.298	549.333	378.389
10000	4.52	617.212	351.617	534.603	415.699	534.456	387.549	397.143	582.860	401.483

años	Tr	19019	19021	19022	19024	19025	19026	19028	19029	19034
2	0.89	82.826	67.356	68.013	65.324	72.149	34.941	70.515	72.875	83.044
5	1.28	119.120	96.872	97.817	93.950	103.765	50.252	101.415	104.808	119.434
10	1.63	151.692	123.360	124.563	119.639	132.139	63.993	129.146	133.467	152.092
20	2.12	197.293	160.444	162.009	155.604	171.861	83.230	167.969	173.589	197.813
50	2.58	240.101	195.258	197.162	189.367	209.152	101.289	204.415	211.254	240.734
100	2.85	265.228	215.692	217.795	209.185	231.040	111.889	225.808	233.362	265.928
200	3.11	289.424	235.369	237.664	228.269	252.117	122.097	246.408	254.651	290.188
500	3.44	320.135	260.344	262.882	252.490	278.869	135.052	272.554	281.672	320.979
1000	3.69	343.401	279.264	281.987	270.840	299.136	144.867	292.362	302.143	344.306
2000	3.94	366.666	298.184	301.092	289.189	319.403	154.682	312.169	322.613	367.633
5000	4.26	396.446	322.402	325.546	312.677	345.344	167.245	337.523	348.815	397.492
10000	4.52	420.643	342.079	345.415	331.760	366.421	177.452	358.123	370.104	421.752

años	Tr	19035	19036	19040	19041	19042	19043	19044	19045	19048
2	0.89	84.450	45.943	71.170	74.447	87.704	82.548	68.772	46.083	91.508
5	1.28	121.456	66.076	102.357	107.070	126.136	118.720	98.907	66.277	131.607
10	1.63	154.666	84.143	130.346	136.347	160.626	151.183	125.952	84.399	167.593
20	2.12	201.161	109.438	169.529	177.335	208.913	196.630	163.815	109.771	217.974
50	2.58	244.809	133.184	206.314	215.814	254.243	239.295	199.360	133.589	265.270
100	2.85	270.429	147.122	227.905	238.399	280.850	264.338	220.224	147.569	293.031
200	3.11	295.099	160.543	248.696	260.148	306.471	288.453	240.314	161.032	319.764
500	3.44	326.412	177.578	275.085	287.752	338.991	319.060	265.814	178.119	353.693
1000	3.69	350.134	190.484	295.077	308.664	363.627	342.248	285.132	191.063	379.398
2000	3.94	373.856	203.389	315.069	329.576	388.263	365.435	304.449	204.008	405.102
5000	4.26	404.220	219.908	340.658	356.344	419.797	395.115	329.176	220.577	438.004
10000	4.52	428.890	233.330	361.449	378.092	445.418	419.230	349.267	234.040	464.737

años	Tr	19049	19055	19056	19058	19060	19061	19063	19065	19069
2	0.89	72.538	67.557	77.357	64.388	100.955	72.466	68.635	112.449	126.240
5	1.28	104.325	97.161	111.255	92.604	145.193	104.220	98.712	161.724	181.558
10	1.63	132.851	123.728	141.676	117.925	184.894	132.718	125.703	205.945	231.203
20	2.12	172.788	160.922	184.266	153.375	240.476	172.615	163.491	267.855	300.706
50	2.58	210.280	195.839	224.248	186.654	292.655	210.069	198.966	325.974	365.953
100	2.85	232.286	216.334	247.716	206.188	323.282	232.053	219.788	360.088	404.251
200	3.11	253.477	236.070	270.315	224.998	352.774	253.222	239.838	392.938	441.130
500	3.44	280.373	261.119	298.997	248.872	390.207	280.092	265.287	434.633	487.938
1000	3.69	300.749	280.096	320.727	266.959	418.565	300.447	284.567	466.219	523.398
2000	3.94	321.125	299.073	342.456	285.045	446.923	320.802	303.847	497.806	558.859
5000	4.26	347.206	323.363	370.270	308.196	483.221	346.858	328.524	538.237	604.248
10000	4.52	368.397	343.099	392.869	327.006	512.713	368.027	348.575	571.087	641.127

Tabla V.21 Precipitaciones de diseño para la Región II (continuación)

años	Tr	19070	19071	19074	19077	19099	19100	19104	19105	19107
2	0.89	69.971	67.201	70.392	51.076	85.359	90.538	100.651	70.926	75.687
5	1.28	100.632	96.648	101.238	73.457	122.764	130.213	144.757	102.006	108.853
10	1.63	128.149	123.075	128.920	93.543	156.333	165.818	184.339	129.898	138.618
20	2.12	166.672	160.073	167.675	121.664	203.328	215.665	239.754	168.948	180.288
50	2.58	202.837	194.806	204.057	148.063	247.447	262.460	291.776	205.606	219.408
100	2.85	224.064	215.193	225.412	163.557	273.342	289.926	322.310	227.123	242.369
200	3.11	244.505	234.824	245.976	178.478	298.279	316.376	351.714	247.843	264.480
500	3.44	270.450	259.742	272.076	197.417	329.929	349.946	389.034	274.142	292.543
1000	3.69	290.104	278.618	291.849	211.764	353.906	375.378	417.307	294.065	313.804
2000	3.94	309.759	297.495	311.622	226.111	377.884	400.811	445.580	313.988	335.064
5000	4.26	334.917	321.657	336.931	244.475	408.575	433.364	481.769	339.489	362.278
10000	4.52	355.358	341.288	357.495	259.396	433.511	459.813	511.173	360.209	384.388

años	Tr	19108	19113	19117	19119	19124	19126	19131	19133	19134
2	0.89	76.604	68.747	58.464	38.556	66.964	84.175	83.856	73.977	60.127
5	1.28	110.171	98.872	84.084	55.451	96.307	121.061	120.602	106.394	86.475
10	1.63	140.296	125.908	107.075	70.613	122.641	154.164	153.579	135.487	110.121
20	2.12	182.471	163.757	139.263	91.840	159.509	200.508	199.746	176.216	143.224
50	2.58	222.064	199.290	169.481	111.768	194.119	244.014	243.088	214.451	174.301
100	2.85	245.304	220.145	187.217	123.464	214.434	269.551	268.527	236.894	192.542
200	3.11	267.682	240.229	204.297	134.728	233.996	294.141	293.024	258.505	210.107
500	3.44	296.086	265.719	225.975	149.024	258.826	325.352	324.117	285.935	232.402
1000	3.69	317.604	285.030	242.397	159.854	277.636	348.997	347.672	306.715	249.291
2000	3.94	339.121	304.341	258.820	170.684	296.446	372.642	371.227	327.496	266.181
5000	4.26	366.664	329.059	279.841	184.547	320.522	402.907	401.377	354.094	287.800
10000	4.52	389.043	349.143	296.920	195.810	340.085	427.498	425.874	375.706	305.365

años	Tr	19140	19141	19146	19158	19170	19171	19173	19174	19178
2	0.89	91.225	73.215	87.509	53.771	62.040	78.877	86.980	84.083	61.674
5	1.28	131.200	105.298	125.856	77.333	89.226	113.442	125.094	120.928	88.699
10	1.63	167.075	134.091	160.270	98.479	113.624	144.461	159.300	153.994	112.953
20	2.12	217.300	174.400	208.449	128.083	147.781	187.888	207.188	200.287	146.908
50	2.58	264.450	212.242	253.679	155.875	179.847	228.656	252.143	243.746	178.784
100	2.85	292.125	234.453	280.226	172.188	198.668	252.585	278.531	269.254	197.494
200	3.11	318.775	255.842	305.791	187.896	216.792	275.628	303.940	293.817	215.511
500	3.44	352.600	282.989	338.238	207.833	239.796	304.875	336.191	324.994	238.379
1000	3.69	378.225	303.555	362.819	222.938	257.223	327.031	360.624	348.613	255.703
2000	3.94	403.850	324.121	387.401	238.042	274.650	349.188	385.056	372.232	273.027
5000	4.26	436.650	350.446	418.865	257.375	296.956	377.548	416.330	402.464	295.202
10000	4.52	463.300	371.835	444.429	273.083	315.080	400.591	441.740	427.027	313.219

Tabla V.22 Precipitaciones de diseño para la Región III

Región III (Doble Gumbel)										
años	Tr	19002	19005	19009	19013	19018	19027	19031	19033	19038
2	0.82	74.900	60.991	60.664	37.697	64.470	64.329	53.512	74.697	57.759
5	1.23	112.349	91.486	90.996	56.545	96.706	96.494	80.268	112.045	86.639
10	1.68	153.453	124.956	124.288	77.232	132.086	131.796	109.634	153.038	118.336
20	2.64	241.140	196.360	195.309	121.365	207.563	207.108	172.282	240.488	185.956
50	3.49	318.780	259.582	258.193	160.440	274.392	273.791	227.752	317.917	245.828
100	4.02	367.190	299.003	297.403	184.805	316.062	315.369	262.339	366.197	283.160
200	4.51	411.948	335.448	333.653	207.331	354.587	353.810	294.315	410.833	317.675
500	5.14	469.492	382.307	380.261	236.293	404.119	403.233	335.428	468.222	362.050
1000	5.61	512.423	417.265	415.032	257.900	441.072	440.105	366.099	511.036	395.156
2000	6.08	555.353	452.223	449.803	279.506	478.024	476.976	396.771	553.850	428.262
5000	6.7	611.984	498.338	495.671	308.009	526.770	525.615	437.231	610.328	471.934
10000	7.16	654.001	532.552	529.702	329.155	562.937	561.702	467.250	652.231	504.335

años	Tr	19053	19054	19066	19085	19091	19096	19144	19155
2	0.82	50.204	52.665	72.358	48.237	62.641	75.850	52.732	39.975
5	1.23	75.306	78.997	108.538	72.356	93.961	113.775	79.098	59.963
10	1.68	102.856	107.898	148.246	98.828	128.338	155.400	108.036	81.900
20	2.64	161.631	169.554	232.959	155.300	201.673	244.200	169.771	128.700
50	3.49	213.672	224.145	307.964	205.302	266.606	322.825	224.432	170.138
100	4.02	246.120	258.185	354.733	236.480	307.094	371.850	258.515	195.975
200	4.51	276.120	289.655	397.971	265.305	344.525	417.175	290.025	219.863
500	5.14	314.691	330.117	453.564	302.365	392.652	475.450	330.539	250.575
1000	5.61	343.467	360.302	495.037	330.013	428.556	518.925	360.763	273.488
2000	6.08	372.242	390.488	536.511	357.662	464.460	562.400	390.987	296.400
5000	6.7	410.201	430.308	591.221	394.134	511.823	619.750	430.858	326.625
10000	7.16	438.364	459.851	631.812	421.194	546.963	662.300	460.439	349.050

V.3.10 Cálculo de las precipitaciones de diseño para duraciones mayores de un día para cada estación

Se hicieron los ajustes a funciones de distribución correspondientes a los valores estandarizados para duraciones mayores. Con ellos se obtuvo la precipitación promedio acumulada asociada a cada periodo de retorno para duraciones de 2, 3, 5, 10 y 15 días. Esto debido a que en ocasiones, cuando los estudios se realizan para cuencas grandes o para los ingresos a presas con capacidad de regulación significativa, se requiere contar con tormentas de diseño de varios días.

Se obtuvieron los factores asociados a cada periodo de retorno al obtener el cociente de la precipitación de diseño para las duraciones antes mencionadas entre la precipitación de diseño para un día de duración. Los resultados se muestran en la tabla V.23

Tabla V.23 Relaciones entre las precipitaciones máximas asociadas a diferentes duraciones y los correspondientes a un día.

Región I					
Tr años	2D/1D	3D/1D	5D/1D	10D/1D	15D/1D
2	0.63397428	0.4747663	0.33060185	0.20832534	0.16042425
5	0.62913478	0.47114213	0.32807818	0.20832534	0.15919964
10	0.62988412	0.47170329	0.32846894	0.21101341	0.16042425
20	0.63043252	0.46946165	0.32690798	0.210653	0.15952803
50	0.62793643	0.46798392	0.32587897	0.21130142	0.15966033
100	0.62853244	0.46865343	0.32492629	0.21100764	0.15904722
200	0.62654489	0.46734807	0.32414479	0.21158043	0.15917094
500	0.6251384	0.46649511	0.32369032	0.21122883	0.15874734
1000	0.62374889	0.46557727	0.32313665	0.21101341	0.15887176
2000	0.62445515	0.46478622	0.32265947	0.21145335	0.15897899
5000	0.62524185	0.46561102	0.32240511	0.21176874	0.15865649
10000	0.62411976	0.46492658	0.32289352	0.21156356	0.15876182

Región II					
Tr años	2D/1D	3D/1D	5D/1D	10D/1D	15D/1D
2	0.62609117	0.47027047	0.31431096	0.1873277	0.1427482
5	0.63815277	0.47761845	0.32533305	0.19241668	0.14609386
10	0.64485994	0.47892576	0.32568348	0.19178104	0.14625122
20	0.63021903	0.46583396	0.31488378	0.18677543	0.13870815
50	0.63320585	0.47209323	0.31911478	0.19239373	0.13887518
100	0.64209295	0.4801709	0.32569032	0.19809829	0.14074471
200	0.6494941	0.48539171	0.33014825	0.20164011	0.1422892
500	0.65897585	0.49077645	0.33544015	0.20652953	0.14399309
1000	0.66409394	0.4932105	0.33855797	0.20948027	0.14506931
2000	0.66856252	0.49652923	0.34128013	0.2115757	0.14600894
5000	0.67482501	0.50118027	0.344746	0.21480623	0.14743945
10000	0.67663368	0.50252354	0.34601389	0.21712041	0.1471696

Región III					
Tr años	2D/1D	3D/1D	5D/1D	10D/1D	15D/1D
2	0.6502041	0.48406889	0.33140914	0.21221168	0.1639711
5	0.66893426	0.49801326	0.3367979	0.20892158	0.1595734
10	0.68957566	0.53088214	0.3491632	0.19752372	0.14810799
20	0.6332983	0.46962651	0.30755772	0.16938425	0.12293549
50	0.64880106	0.46477052	0.30292125	0.17741106	0.12709205
100	0.6598687	0.46688372	0.30502831	0.1822079	0.1299429
200	0.67282624	0.47157328	0.30789452	0.18618995	0.13193077
500	0.68384342	0.47669752	0.31077666	0.18974424	0.1341015
1000	0.69225752	0.48043632	0.31250523	0.19224234	0.13526347
2000	0.69828815	0.48279109	0.31396655	0.19402141	0.1362458
5000	0.70440574	0.486388	0.31607528	0.19599933	0.13701671
10000	0.70879377	0.48867621	0.318449	0.19725458	0.13835884

Capítulo VI: Análisis de resultados

Para el estudio de regionalización del estado de Nuevo León presentado en esta tesis, se actualizaron el número de estaciones que contienen 20 años de registro o más, presentadas en el artículo “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” realizado para el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

En resumen, la tabla VI.1 muestra los resultados obtenidos para el estado de Nuevo León del estudio anterior realizado por el Instituto de Ingeniería, para poder hacer una comparación con los nuevos resultados obtenidos en la realización de esta tesis.

Tabla VI.1 Resultados anteriores

Entidad Federativa	Región	Número de estaciones	Coeficiente de Variación		Relación al cuadrado	Función de distribución
			Máximo	Mínimo		
Nuevo León	I	10	0.93	0.29	10.28	DG
	II	7	0.63	0.39	2.61	DG
	III	38	1.01	0.38	7.069	DG

La tabla VI.1 muestra los resultados para el análisis regional de estaciones que contenían datos hasta el año 2010. Para el análisis regional de esta tesis se actualizaron los registros de las estaciones disponibles en el estado de Nuevo León hasta el año 2013.

Una vez actualizada la base de datos de estaciones disponibles con sus precipitaciones registradas y después de aplicar la metodología propuesta se obtuvieron los resultados de la tabla VI.2

Tabla VI.1 Resultados actualizados

Entidad Federativa	Región	Número de estaciones	Coeficiente de Variación		Relación al cuadrado	Función de distribución
			Máximo	Mínimo		
Nuevo León	I	19	0.53	0.26	4.24	G
	II	63	0.70	0.29	5.62	DG
	III	17	0.92	0.46	3.93	DG

Se actualizó el número de estaciones tomadas en cuenta para el estudio con un total de 99 estaciones en comparación de las 55 estaciones tomadas para la regionalización anterior. La región I de 10 estaciones pasó a tener una muestra de 19, los límites de esta región quedaron casi iguales a los propuestos anteriormente. Sin embargo se redefinieron los límites de las regiones II y III, las cuales se actualizaron de 7 a 63 estaciones en la región II y de 38 a 17 estaciones para la región III.

Se puede observar que los coeficientes máximos para las regiones I y III disminuyeron mientras que el coeficiente de la región II aumentó al aumentar las estaciones. Por otro lado los coeficientes mínimos, disminuyeron para las regiones I y II y el de la región III aumentó. Esto afecta el cociente de los coeficientes al cuadrado.

Aunque la relación al cuadrado de los coeficientes de variación disminuyó significativamente para las regiones I y III y aumentó para la región II, éstos no pasan la prueba de Fisher para un alfa de 0.05 y de 0.01 debido a que Fisher toma en cuenta únicamente distribuciones normales. Para este caso, al tratarse de valores extremos de regiones expuestas a eventos meteorológicos extraordinarios, donde las funciones que mejor se ajustan son Gumbel y Doble Gumbel se debe verificar la homogeneidad de cada región mediante la comparación entre los coeficientes de variación de las muestras y los que se obtienen al generar números aleatorios con la distribución de probabilidades ajustada a las muestras regionales (Domínguez, Bouvier, 2005).

Después de haber generado las series sintéticas para la región II se pudo observar que los valores de los coeficientes de variación obtenidos históricamente, se encuentran contenidos dentro del rango obtenido por los valores de la muestra

generada, por lo cual se acepta como válida la hipótesis de la región II, como una región homogénea. Siendo que ésta fue la región que tuvo el cociente más alto para la comparación con la prueba de Fisher y es aceptada como homogénea al analizar los resultados de las muestras aleatorias, se puede inferir que las Regiones I y III también pasaran dicha prueba para la verificación de su homogeneidad.

En la figura VI.2 se muestra la nueva regionalización del estado en comparación de la anterior.

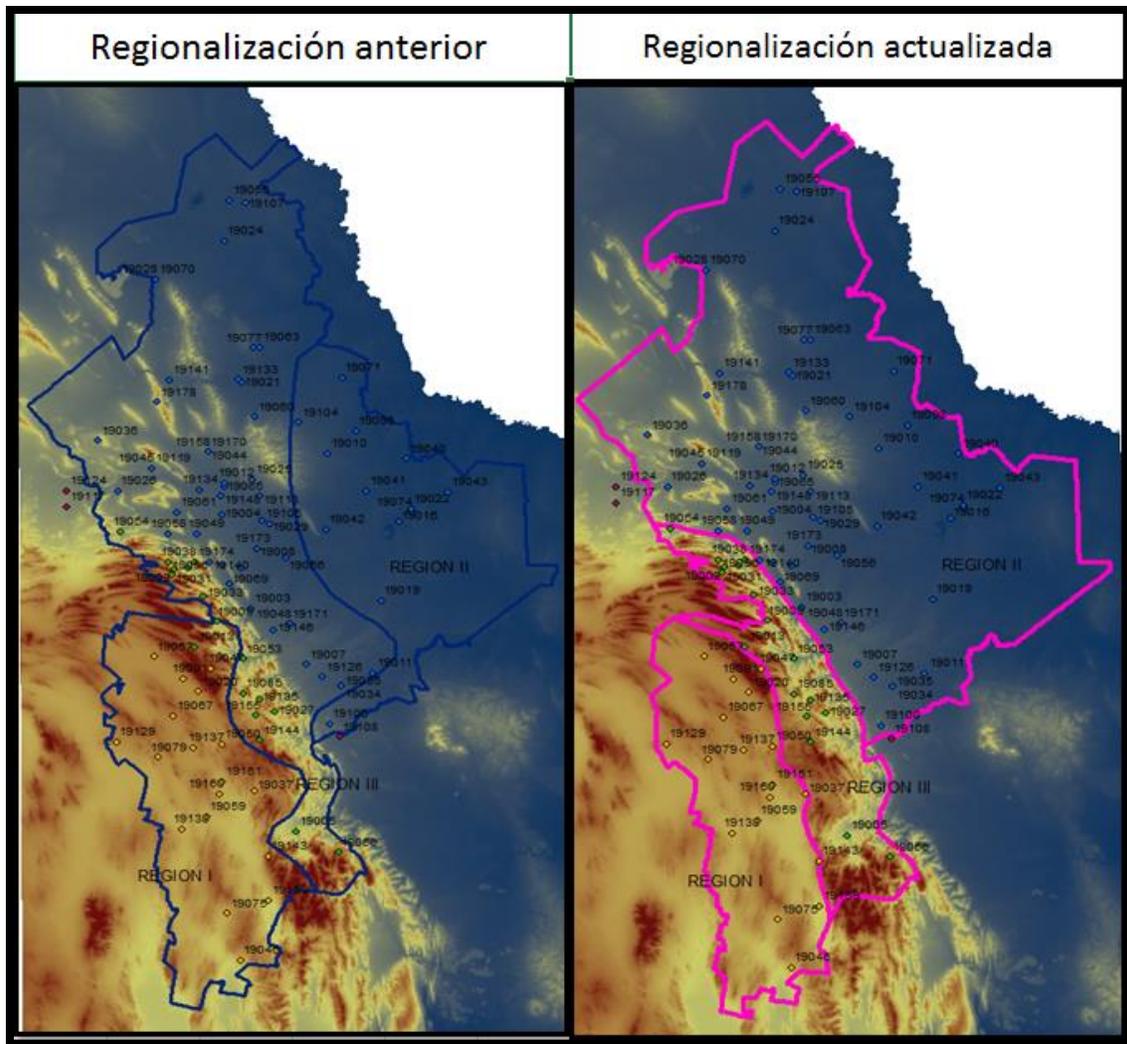


Figura VI.1 Comparaciones de Regiones propuestas

En la figura V.12 se aprecia que los coeficientes de variación para las Regiones II y III son más altos que los coeficientes de la Región I. Es de esperar que los coeficientes de la región III sean aún más altos que en la región II, esto debido a la presencia del relieve alto de la sierra madre oriental. Los coeficientes de la región I son mucho menores debido a que esta región se encuentra protegida por la sierra y por tanto los eventos extraordinarios le afectan en menor medida.

Debido a lo anterior, las distribuciones de probabilidad para las regiones II y III permanecieron como Doble Gumbel, mientras que en el caso de la región I se pudo observar que al aumentar la muestra de datos la función de distribución que mejor se ajustó fue la Gumbel. (Ver artículo “*Análisis Regional para la estimación de precipitaciones de diseño en la república mexicana*”)

A partir de la precipitación media calculada para cada estación, se puede construir el mapa de isoyetas del estado, el cual ayuda a un cálculo más rápido de la precipitación de diseño para cualquier sitio donde no se cuente con una medición puntual (Figura VI.1).

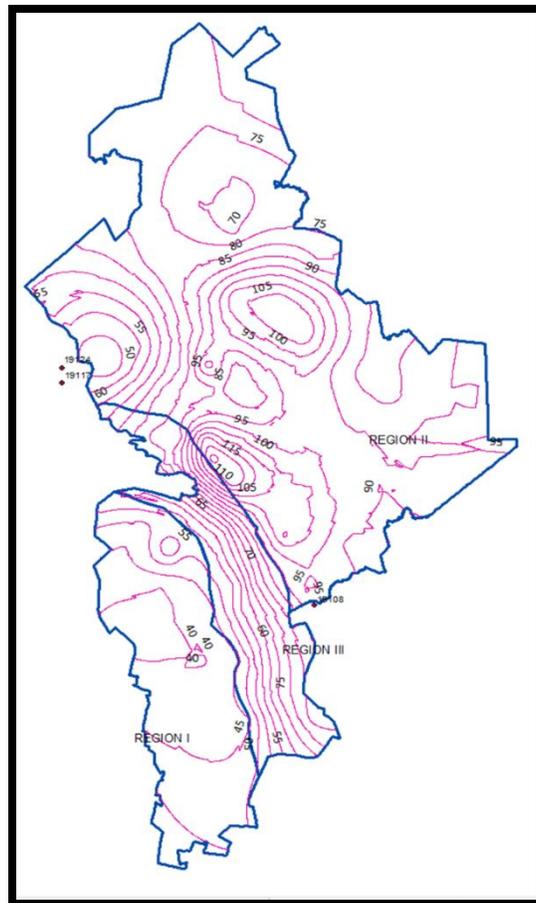


Figura VI.2 Mapa de isoyetas de precipitación media

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se plantea el siguiente ejemplo:

Supóngase que se desea construir una obra hidráulica en el punto A (Figura VI.3) que tiene coordenadas -99.4599 Longitud Oeste y 25.4938 Latitud Norte, ubicado dentro de la Región II del estado, al tener la ubicación del sitio en el mapa de isoyetas (Figura VI.3), se deben interpolar las isoyetas de modo tal que pasen por el punto para poder obtener una estimación de la precipitación media en el sitio.

Podemos observar que el punto A se encuentra entre las isoyetas de 90 mm y 95 mm por lo que la interpolación sería de 92.5 mm. Suponiendo que se quisiera construir una pequeña presa, esta se diseña para un periodo de retorno de 20 años, así que para obtener la precipitación de diseño en el punto A, basta con multiplicar los 92.5 mm por el factor estimado a un periodo de retorno de 20 años para la distribución Doble Gumbel que fue la que mejor se ajustó a dicha región (Tabla V.18) de 2.12, por lo que la precipitación de diseño sería de 196.1 mm, esto para una duración de un día.

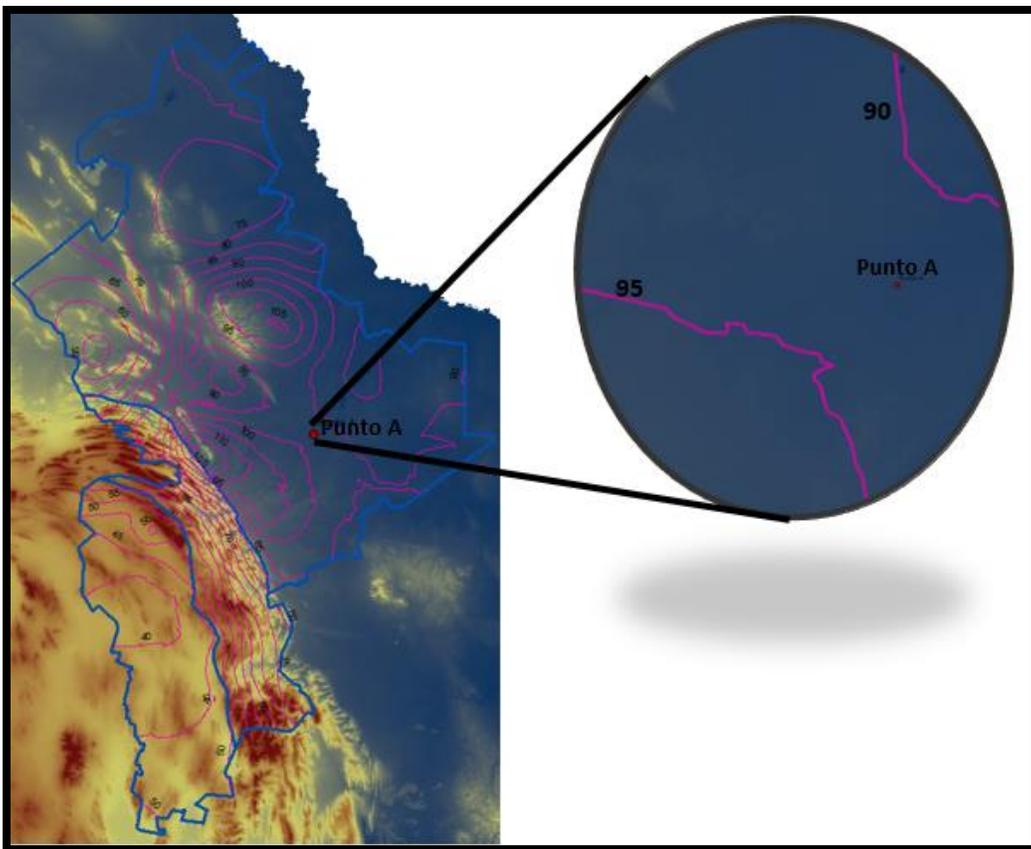


Figura VI.3 (Punto A ejemplo)

Si el tren de lluvias estimado para la región fuese de tres días podemos obtener la precipitación para 2 y 3 días utilizando la tabla V.23 de la siguiente manera:

$$P1 = 2.12 * 92.5 = \mathbf{196.1}$$

$$\mathbf{P1 = 196.1 mm}$$

$$\frac{196.1 + P2}{2} = 0.6302 * 196.1$$

$$\mathbf{P2 = 51.06 mm}$$

$$\frac{196.1 + 51.06 + P3}{3} = 0.4658 * 196.1$$

$$\mathbf{P3 = 26.87 mm}$$

Una vez obtenidas las precipitaciones para dos y tres días es posible construir el hietograma de diseño como el de la figura VI.4.

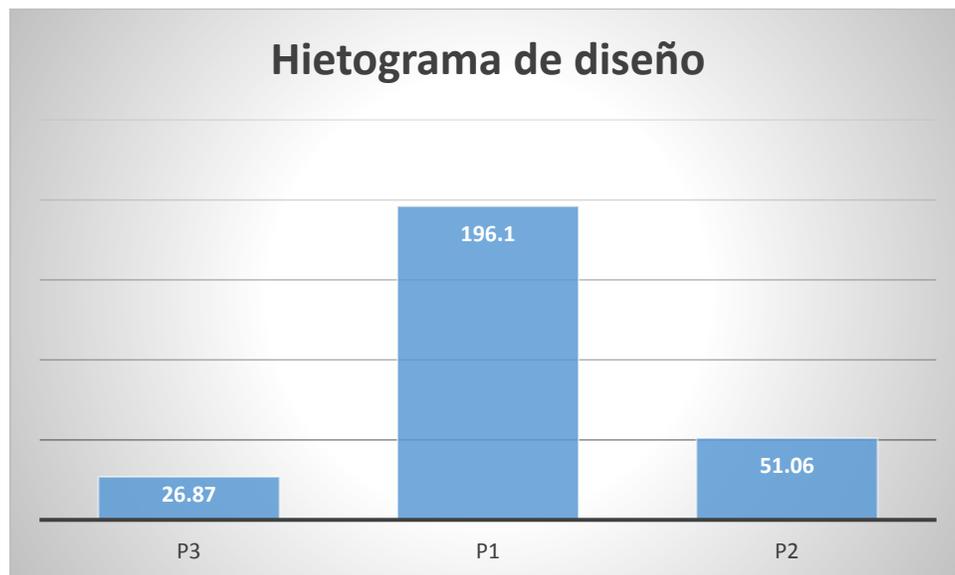


Figura VI.4 Hietograma de diseño, ejemplo

Capítulo VII Conclusiones.

La nueva regionalización del estado permite resultados más sensibles y confiables debido a que se actualizó el tamaño de la muestra para cada región delimitada. Se pueden estimar de manera confiable los valores de precipitación asociada a cualquier periodo de retorno para la duración de un día, así como, para duraciones mayores de 2, 3, 5, 10 y 15 días.

Es importante realizar estudios como el presentado para que a partir de este se puedan obtener precipitaciones de diseño más confiables al diseñar cualquier tipo de obra hidráulica con su respectivo periodo de diseño.

Con el trabajo mostrado se puede extrapolar a duraciones mayores de un día en el caso de así requerirlo para el diseño de obras mayores, y aplicando factores de convectividad también se pueden estimar los valores de precipitación para duraciones menores a una hora. Se pueden obtener los mapas de isoyetas correspondientes para cada región y así poder agilizar el cálculo para la precipitación de diseño al momento de querer diseñar alguna obra en cualquier lugar del estado. Estos mapas también se pueden obtener para las precipitaciones de diseño asociadas a distintos periodos de retorno.

Para la delimitación de las nuevas regiones, se consideró el coeficiente de variación de las precipitaciones máximas anuales registradas en cada estación, así como su ubicación geográfica y el grado de exposición a eventos meteorológicos externos.

La homogeneidad de las nuevas regiones se puso en discusión debido a que no pasaron la prueba de Fisher ya que no es suficiente para comparar los coeficientes de variación obtenidos en cada región, principalmente debido a que está diseñada para muestras que se ajustan a una distribución normal. Por lo anterior podemos definir la homogeneidad de las regiones generando muestras con números aleatorios que correspondan a la función de distribución real, de manera que se pueda comparar la curva de frecuencia acumuladas de los C.V. de esas muestras con la correspondiente a los valores históricos. (Ver artículo “*Approche regionale for estimations puntuelles des pluies journalieres dans le Languedoc-Roussillon*”)

Bibliografía

Aguilar, E. G. (2014). Nuevos modelos para el cálculo de los escurrimientos de la República Mexicana. TESIS.

Aparicio, M. F., (2012), "*Fundamentos de Hidrología de Superficie*". Editorial LIMUSA. México.

Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), CONAGUA, México.

Buishand, T.A., (1991). Extreme rainfall estimation by combining data from several sites. *Hydrological Sciences Journal* 36 (4), 345–365.

Burn, D.H. and Goel, N.K., (2000). The formation of groups for regional flood frequency estimation. *Hydrolog. Sci. J.*, 45, 97–112

Carrizosa, E.E., (1997), "*Regionalización de Gastos Máximos en la Cuenca de la Vertiente del Pacífico Centro de la República Mexicana*". México.

CFE. (2014). Manual De Diseño de Obras Civiles. México.

Cunnane, C., (1988). Methods and merits of regional flood frequency analysis. *J. Hydrol.* 100, 269–290.

Dalrymple T (1960). Flood-frequency analyses, US Geological Survey water-supply paper 1543-A.

Domínguez, M.R., Arganis, J.M., Gonzáles, V.F., Carrizosa, E.E., Guzmán, G.H., (2013) "*Regionalización de datos de escurrimientos de las regiones hidrológicas de México para la estimación de avenidas de diseño*". Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Domínguez Mora, R., Arganis Juárez, M. L., Guzmán García, H., Carrizosa Elizondo, E., Esquivel Garduño, G., & Fuentes Mariles, G. E. (2014). Modelos regionales de escurrimientos máximos instantáneos en la República Mexicana. México, DF., México.

Domínguez Mora, R., Arganis Juárez, M. L., González Villarreal, F., Carrizosa Elizondo, E., Esquivel Garduño, G., Fuentes Mariles, G. E., & Guzmán García, H. (2013). *Regionalización de datos de escurrimiento de las regiones hidrológicas de México para la estimación de avenidas de diseño*. México, DF.

Domínguez Mora, Carrizosa Elizondo Eliseo, Fuentes Mariles Guadalupe E. Arganis Juárez Maritza L., Osnaya Romero Javier, Galván Andrés. (2015). "*Análisis Regional para la estimación de precipitaciones de diseño en la república mexicana*". Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Domínguez Mora, Carrizosa Elizondo Eliseo, Fuentes Mariles Guadalupe E. Arganis Juárez Maritza L. Esquivel Garduño Gabriela. (2015). “*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*”. Instituto de Ingeniería UNAM. México.

Domínguez R, Bouvier G., Neppell y Niel H, Approche regionale for estimations puntuelles des pluies journalieres dans le Languedoc-Roussillon (France), Hydrological Sciences Journal, Febrero-2005, Inglaterra.

Escalante Sandoval, C. A., & Reyes Chávez, L. (2008). *Técnicas estadísticas en hidrología*. México.

García, J. G. (2011). *Estadística Básica Para Estudiantes De Ciencias*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Jakob, D., Reed, D. W. & Robson, A. J. (1999) Choosing a pooling-group, chapter C6. In: *Flood Estimation Handbook Vol. 3. Statistical procedures for flood frequency estimation*. Institute of Hydrology, Wallingford, UK

Nathan, R. and McMahon, T. (1990): Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization, *J. Hydrol.*, 121(1–4), 217–238.

SMN. (16 de 08 de 2016). Mapa de estaciones meteorológicas automáticas (EMAS). Obtenido de smn.cna.gob.mx/es/emas

Stedinger J. R., Vogel R. M., and Efi F., (1991). Frequency analysis of extreme events, Chapter 18 in “*Handbook of Hydrology*”, McGraw-Hill, New York

Zrinji, Z., Burn, D.H., (1996). Regional flood frequency with hierarchical region of influence. *J. Water Resour. Plann. Mgmt* 122 (4), 245-252.