



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES PARA
OBTENER LLUVIAS DE DISEÑO EN EL ESTADO DE
VERACRUZ**

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

MARIO PONCE SORIA

DIRECTOR DE TESIS

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante y por su amor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su apoyo incondicional.

Al Dr. Ramón Domínguez Mora y M.I Eliseo Carrizosa Elizondo por sus conocimientos, tiempo y paciencia.

CONTENIDO

Capítulo 1: Introducción	7
Capítulo 2: Conceptos básicos	10
2.1 Conceptos básicos de estadística	10
2.1.1 Medidas de Tendencia Central	11
2.1.1.1 Media	11
2.1.1.2 Mediana	12
2.1.1.3 Moda	12
2.1.2 Medidas de dispersión	12
2.1.2.1 Varianza	13
2.1.2.2 Desviación estándar	13
2.1.2.3 Coeficiente de variación	14
2.2 Conceptos básicos de hidrología	14
2.2.1 Tiempo de concentración	14
2.2.2 Precipitación media	15
Capítulo 3: Funciones de Distribución de probabilidad empleadas en hidrología	17
3.1 Distribución Normal	19
3.2 Distribución Gumbel	20
3.3 Distribución Doble Gumbel	21
3.4 Periodo de retorno	22
Capítulo 4: Metodología	22
4.1 Métodos de Regionalización (Técnicas de agrupamiento)	23
4.1.1 Trazos Multidimensionales (Curva de Andrews)	23
4.1.2 Región de Influencia (Distancia Euclidiana)	24
4.1.3 Coeficiente de variación	25
4.2 Métodos o procesos de estandarización	25
4.2.1 Avenida índice	25
4.2.2 Estaciones - año	27
Capítulo 5: Ejemplo de aplicación	29
5.1 Zona de estudio (descripción del estado)	29
5.2 Información disponible	31
5.2.1 Estaciones climatológicas disponibles en Veracruz	31
5.2.2 Ubicación de las estaciones empleadas	31
5.3. Metodología aplicada	37
5.3.1 Depuración de datos de registro de precipitaciones (CLICOM)	37
5.3.2 Revisión de precipitaciones máximas anuales para un día	39
5.3.3 Estaciones climatológicas con más de 20 años de registro	39
5.3.4 Obtención de parámetros para regionalización	40
5.3.5 Regiones definidas en el estado de Veracruz	42
5.3.6 Depuración de las estaciones con más de 20 años de registro	51
5.3.7 Obtención de los valores estandarizados	57
5.4 Programa AX	60
5.4.1 Obtención de las funciones de distribución para cada región	60
5.5 Resultados	72
5.5.1 Análisis de resultados	72

Capítulo 6: Conclusiones
Bibliografía

88
90

Si hay magia en este planeta, está contenida en el agua.

Loran Eisely.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

México es vulnerable a ser impactado por una gran cantidad de fenómenos meteorológicos debido a su ubicación geográfica, anualmente causan importantes daños. La existencia de fenómenos meteorológicos en México afecta principalmente a la población, lamentablemente en promedio 140 personas mueren anualmente en inundaciones (Salas y Jiménez, 2004), también hay pérdidas económicas relacionadas con los daños a la infraestructura, afectando la forma de vivir de la población, la mayoría de esas consecuencias se originan en los malos o deficientes diseños de obras civiles.

Los eventos extraordinarios de mayor impacto son los ciclones tropicales, que inician en la primera quincena del mes de mayo para el océano Pacífico, mientras que en el Atlántico durante junio. Sus efectos se deben principalmente a las lluvias de larga duración.

Una de las causas de los malos diseños de las obras civiles en nuestro país es que no existe suficiente equipo de medición o no operan, lo que hace que exista una baja confiabilidad de la información hidrológica, la manera más usada para no correr el riesgo de las consecuencias de una avenida extraordinaria es usar coeficientes de seguridad mayores, por lo tanto tiene como resultado obras civiles muy caras.

Una de las soluciones para hacer frente a la escasa información hidrológica es hacer un análisis probabilístico con ayuda de la información hidrológica disponible con el propósito de poder entender los procesos hidrológicos para el diseño, análisis y toma de decisiones de una obra civil. "El objetivo del análisis de frecuencia hidrológico es interpretar el registro pasado de eventos hidrológicos, en términos de probabilidades de ocurrencias futuras". (Bernard Bobée y Fahim Ashkar, 1991).

El objetivo de este trabajo es tener una mejor y mayor base de datos de lluvia del estado de Veracruz. La cual permita hacer obras civiles seguras en cualquier sitio del estado. Los resultados obtenidos permitirán tener mejores diseños, revisiones etc. de obras hidráulicas.

Por lo tanto tenemos que hacer el análisis probabilístico de toda la información disponible para la predicción de crecientes de diseño, lo cual nos permite dimensionar la infraestructura de manera eficaz, es decir más racional y menos incierta.

Debido a la poca información y a la mala calidad de esta, se tienen que hacer análisis que permitan tener mejores datos y más confiables, uno de estos análisis es el de regionalización de estaciones climatológicas, este consiste en agrupar varias estaciones climatológicas que cumplan con ciertas características estadísticas y fisiográficas, para estimar la lluvia esperada en un lugar donde la información es inexistente o nula. Logrando una mayor aceptación en los resultados obtenidos de reunir varias estaciones en comparación de solo usar estaciones individuales.

Una tormenta de diseño se estima cuando se observa la tendencia que se define al trazar la gráfica del cociente de las precipitaciones máximas anuales y su media en una

determinada región con respecto a sus periodos de retorno, para que esto suceda, es necesario ajustar el cociente de las precipitaciones máximas anuales y su media a una función de distribución. Finalmente cuando se desee obtener la precipitación para un periodo de retorno mayor al número de años de registro, se tiene que hacer una extrapolación para el periodo de retorno deseado. Es común la presencia de dos poblaciones, una con valores pequeños, correspondiente a los años donde ningún evento extraordinario incidió directamente y otra donde hay valores grandes, representando la presencia de eventos extraordinarios.

Para el análisis probabilístico de datos hidrológicos siempre existe el problema de saber cuál es la función de distribución que se ajusta a los datos conocidos, la cual se elige cuando la función tiene un comportamiento muy parecido a la muestra. Existen muchas funciones de distribución pero para este trabajo solo se utilizaron las funciones de distribución Gumbel (eventos normales) y distribución Doble Gumbel (eventos extraordinarios).

Para los análisis hidrológicos se requiere la recopilación de datos, esta parte es fundamental para que el análisis tenga mejores resultados, como ya se ha mencionado el problema para la hidrología es que no se cuentan con los datos suficientes de lluvia históricos.

En cualquier parte del mundo, cada país tiene un organismo encargado para facilitar datos hidrológicos. En México los organismos encargados son la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), dependiendo del lugar.

Aun teniendo datos disponibles, nos encontramos con el problema que son muy escasos, es decir a veces estos no son muy útiles, ya que en ciertas regiones del país no se cuentan con el número suficiente de estaciones climatológicas y en caso de tenerlas muchas de estas no presentan años de registros suficientes que hacen que sus datos no sean muy confiables.

Un ejemplo de la problemática que existe en la actualidad, CONAGUA no utiliza para sus estudios todas las estaciones disponibles, solo un cierto porcentaje, porque cree que sus datos no son lo suficientemente claros (CONAGUA, 2015).

El problema ya mencionado es muy común en el país, particularizando, el estado de Veracruz cuenta con un total de 355 estaciones climatológicas, de las cuales solo 157 están operando (44%).

Este trabajo consta de 6 capítulos. En el capítulo 2 Conceptos básicos, se presenta una revisión bibliográfica sobre estadística e hidrología, permitiendo entender las medidas de tendencia usadas para el análisis de una muestra de datos.

En el capítulo 3 Funciones de probabilidad usadas en hidrología, se describen unas de muchas funciones usadas para el estudio de muestras.

En el capítulo 4 Metodología, se presentan los métodos de regionalización que se han empleado para estimar eventos para cierto periodo de retorno deseado.

En el capítulo 5, Ejemplo de aplicación, se describe el procedimiento para obtener las lluvias de diseño para distintos periodos de retorno del estado de Veracruz, usando funciones de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel.

Y finalmente en el capítulo 6, se presentan los principales resultados y conclusiones que se obtuvieron de este estudio.

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

2.1 Conceptos básicos de estadística

Estadística

La estadística es una herramienta muy importante en el campo de la ingeniería, se usa para su desarrollo y tiene una aplicación fundamental que ayuda en la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre.

Su importancia de la estadística se centra en que es una de tantas ayudas para el entender, comprender y tratar de predecir el comportamiento de las situaciones que nos rodean. Su fundamento se basa en un soporte matemático de un manejo de datos estadísticos.

La estadística en el manejo de datos hidrológicos es una herramienta para que estos puedan ser agrupados, analizados e interpretados para generar conclusiones de una población a partir de una muestra.

Entiéndase por población al conjunto de todos los datos los posibles resultados de un experimento y la muestra es un subconjunto de la población que contiene los resultados observados de un experimento. Por lo tanto la estadística pretende hacer predicciones de una población con los datos observados de una muestra. En el caso de las estaciones climatológicas, la información de algunas estaciones que se encuentran en el estado de Veracruz sería nuestra muestra para poder entender el comportamiento de nuestra población (todo el estado), pasar de un comportamiento particular a algo general.

La estadística se clasifica en *univariable* y *multivariable*, depende de la cantidad de variables que se estén registrando, esto se refiere a la relación de sus variables de una muestra.

Otra clasificación es *estadística descriptiva o inferencial*. La descriptiva tiene como propósito la recopilación, organización y presentación de datos para su estudio y la inferencial se basa de la información contenida en una muestra para obtener conclusiones de una población.

Para el presente trabajo se utiliza la estadística descriptiva, en esta clasificación existen tres técnicas:

- Distribución de frecuencias
- Graficas
- Medidas numéricas

Su uso se ve reflejado en el ejercicio de que se agruparon una gran cantidad de datos de lluvia, el uso de gráficas para la visualización rápida de los mismos y se usaron los paramétricos numéricos para representar el resumen de los datos en forma cuantitativa.

También se tiene la clasificación de *estadística paramétrica o no paramétrica*, la primera se refiere a que estudia las pruebas y modelos en los que se conoce la distribución de la población bajo estudio y la no paramétrica estudia las pruebas y modelos cuando la distribución no puede ajustarse mediante la estadística paramétrica.

2.1.1 Medidas de Tendencia Central

Con base en las tres técnicas de la estadística descriptiva que se han mencionado, *las medidas numéricas* a su vez se clasifican en *medidas de tendencia central, medidas de dispersión y medidas de forma*.

Las medidas de tendencia central son aquellos valores representativos de una muestra, las más usadas son la media, mediana y moda.

Entiéndase por datos agrupados a aquellos que son agrupados y analizados para obtener una tabla como la siguiente: (Tabla 2.1)

Tabla 2.1. Tabla de distribución de frecuencias.

Límites de clase	Fronteras de clase	Marca de clase, xi	frecuencia, fi	Frecuencia acumulada, Fi	frecuencia relativa, fi*	Frecuencia acumulada relativa, Fi*

2.1.1.1 Media

Media

Media aritmética. O simplemente media es el promedio de un conjunto de valores, es la más utilizada y la más representativa.

Se obtiene de la siguiente forma:

$$\bar{x} = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i & \text{Datos no agrupados} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m x_i f_i & \text{Datos agrupados} \end{cases} \quad (2.1)$$

Media geométrica. Se calcula con la raíz n-esima del producto de las n observaciones y se obtiene de la siguiente forma:

$$G = \begin{cases} \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} & \text{Datos no agrupados} \\ \sqrt[n]{x_1^{f_1} x_2^{f_2} \dots x_n^{f_m}} & \text{Datos agrupados} \end{cases} \quad (2.2)$$

Media armónica. Es el recíproco de la media de los recíprocos de cada uno de los valores y se obtiene de la siguiente forma.

$$H = \begin{cases} \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}, \text{ Datos no agrupados} \\ \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \frac{f_i}{x_i}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^m \frac{f_i}{x_i}} \text{ Datos agrupados} \end{cases} \quad (2.3)$$

2.1.1.2 Mediana

La mediana de un conjunto de datos ordenados, se refiere al valor que divide al conjunto en dos conjuntos de igual tamaño. Cuando los datos no están agrupados, se deberán ordenar en forma ascendente o descendente y seleccionar el valor central, cuando los datos son impares se deberá de tomar el promedio de los valores centrales.

2.1.1.3 Moda

Finalmente la moda de un conjunto es el valor que se repite con mayor frecuencia. Se denota por x_{mo} . Si existe más de una moda entonces se dice que los datos tienen distribución bimodal. Cuando se tengan datos agrupados, la moda se aproxima con la marca de clase del intervalo con mayor frecuencia.

$$x_{mo} = \text{Frontera inferior} + \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) c \quad (2.4)$$

2.1.2 Medidas de Dispersión

Se refieren a un indicador del alejamiento de los datos, intenta dar una idea del esparcimiento de los datos. A continuación se explican estos indicadores:

2.1.2.1 Varianza

Es el promedio de las distancias cuadradas de cada valor con respecto a su media. Se denota por S_n^2 o S_{n-1}^2 dependiendo del valor que se utilice para promediar. Se divide entre n cuando se considera que se tienen todos los datos posibles (una población) y se divide entre $n-1$ cuando se tenga una muestra.

Por lo tanto la varianza se obtiene de la siguiente forma:

$$S_n^2 = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 & \text{Datos no agrupados} \\ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 f_i & \text{Datos agrupados} \end{cases} \quad (2.5)$$

o de la siguiente:

$$S_{n-1}^2 = \begin{cases} \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 & \text{Datos no agrupados} \\ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 f_i & \text{Datos agrupados} \end{cases} \quad (2.6)$$

2.1.2.2 Desviación estándar

Es la raíz cuadrada de la varianza. Se denota por S_n o S_{n-1} , dependiendo de qué tipo de varianza se calculó.

Se obtiene de la siguiente forma:

$$S_{n-1} = \sqrt{S_{n-1}^2} \quad (2.7)$$

$$S_n = \sqrt{S_n^2} \quad (2.8)$$

2.1.2.3 Coeficiente de variación

Es una medida de la dispersión en relación con la media de los datos, no tiene unidades y se define mediante el cociente de la desviación estándar entre la media, es decir:

Utilizando la desviación estándar adecuada, S_n o S_{n-1} :

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (2.9)$$

2.2 Conceptos básicos de hidrología

“Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos” (Chow, 1964).

A su vez, la hidrología se divide en hidrología superficial y subterránea. La hidrología superficial se basa en el uso y procesamiento de información hidrológica, y la estadística es su principal herramienta.

Con base en la definición anterior, la hidrología es la que permitirá al ingeniero poder seleccionar el evento de diseño para la construcción de cualquier obra hidráulica, como son: presas, sistemas de drenaje, sistemas de abastecimiento de agua potable, vertedores, control de avenidas, entre otros. Su importancia es fundamental para cualquier obra de ingeniería ya que un análisis hidrológico es el primer paso para poder tener un diseño, y actuar en la seguridad del proyecto hidráulico, en pocas palabras conocer la ocurrencia del agua en el proyecto.

2.2.1 Tiempo de concentración

Se define como el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio, es decir el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. Es el tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

El tiempo de concentración es una característica de cada cuenca y depende de los siguientes factores:

- Tamaño de la cuenca, que
- Topografía, que definen las pendientes del terreno y los cauces.
- Rugosidad de la superficie

Existen diversas formas para calcular el tiempo de concentración:

$$t_c = \frac{L}{3600 v} \quad (2.10)$$

Donde el tiempo de concentración está en h, L es la longitud del cauce principal de la cuenca en m y v es la v velocidad media del agua en el cauce principal en m/s.

Otra manera de su cálculo es con la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2.11)$$

Donde S es la pendiente del cauce principal, L se expresa en m y t_c está en h.

2.2.2 Precipitación media

La lluvia que cae en un lugar no es constante, es decir difiere a la que cae en los alrededores aunque estos sean lugares muy cercanos. Para cálculos y análisis se utiliza la lluvia media registrada en una zona, su obtención se basa en la recopilación de datos de lluvia de una estación meteorológica.

Para calcularla, existen tres métodos:

- **Método aritmético:**

Se obtiene sacando el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación en el análisis, se calcula con la siguiente expresión:

$$h_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} \quad (2.12)$$

- **Polígonos de Thiessen:**

Se obtiene con el método que se describe a continuación:

1. Se unen con líneas rectas las estaciones más próximas, de manera que se formen triángulos donde sus vértices están las estaciones.
2. Se trazan líneas que bisectan los lados de los triángulos, las cuales convergerán en un solo punto.

3. Cada estación quedará rodeada por líneas y el parteaguas y formarán los llamados polígonos de Thiessen. Cada área será al área de influencia de alguna estación correspondiente.
4. Por último la lluvia media se calcula como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, con la siguiente expresión:

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi} \quad (2.13)$$

Donde A_i es el área de influencia de la estación i y A_T es el área total de la cuenca.

- **Método de las isoyetas:**

Las isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia, son semejantes a las curvas de nivel en topografía. Este es el método más preciso, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio, sin embargo es el método más laborioso de los tres, ya que cada tormenta tiene un plano de isoyetas diferente.

La lluvia media se calcula con la siguiente expresión:

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^{n'} A'_i h_{pi} \quad (2.14)$$

Donde A'_i es el peso entre cada dos isoyetas y al parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas. n' es el número de áreas A'_i consideradas.

CAPÍTULO 3: FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EMPLEADAS EN HIDROLOGÍA

Los datos de una estación hidrológica se recopilan para poder ser analizados y posteriormente entendidos, esto se hace caracterizando la estación. El análisis se hace por métodos estadísticos que describen la variación aleatoria de un conjunto de observaciones de un proceso.

Es importante señalar que una opción de determinar la probabilidad de que un suceso ocurra es con probabilidades subjetivas o a priori:

- Probabilidad total.

$$P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_m) = 1 \quad (3.1)$$

- Probabilidad complementaria.

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) \quad (3.2)$$

- Probabilidad condicional.

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \quad (3.3)$$

La caracterización se trata de obtener de una serie de n observaciones de valores individuales x_i con $i \leq n$, desde los tres puntos de vista siguientes:

1. Valor central o dominante de una serie:

- Media
- Mediana
- Moda

2. Dispersión de diversas observaciones alrededor del valor central:

- Desviación estándar
- Varianza
- Rango
- Coeficiente de variación

3. Característica de forma

Esta característica se mide por el coeficiente de oblicuidad (C_s) y da una idea de la simetría de la distribución. El coeficiente de oblicuidad es el tercer momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^3] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^3 f(x) dx \quad (3.4)$$

Y la asimetría se construye en forma adimensional dividiendo el tercer momento alrededor de la media (ecuación anterior) entre σ^3 :

$$\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3} \quad (3.5)$$

Una estimación de la muestra de γ está dada por:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (3.6)$$

$C_s=0$ es una distribución simétrica

$C_s>0$ es una distribución oblicua hacia la derecha

$C_s<0$ es una distribución oblicua hacia la izquierda

Con base en el punto anterior, la alternativa que se usa en hidrología es ajustar una función de distribución de probabilidad a la información obtenida para determinar las probabilidades de los eventos utilizando dicha función de distribución de probabilidad.

Todos los sucesos hidrológicos pasan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o determinística y parcialmente aleatoria, a este tipo de proceso se le conoce como proceso estocástico.

Ahora, una variable aleatoria la definimos como una cantidad variable x por medio de la cual sea posible definir una función $P(x_i)$, donde para cada valor real x , mida la probabilidad de que se obtengan valores de x menores o al menos iguales a x .

$$P(x \leq x_i) = P(x_i) \quad (3.7)$$

Es decir un valor tomado por la función de distribución acumulativa o de repartición de la variable aleatoria, en correspondencia a un valor específico x .

En hidrología las distribuciones más usadas son:

1. Distribución Normal.
2. Distribución Gumbel.
3. Distribución Doble Gumbel.

Sin embargo no son todas las distribuciones que existen, aunque si las más usadas.

3.1 Distribución Normal

Su uso se centra cuando las variables aleatorias X_i son independientes y están idénticamente distribuidas con media \bar{x} y desviación estándar S , representada por $N(\bar{x}, S)$.

Su función de densidad de probabilidad se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{S}\right)^2} \quad (3.8)$$

\bar{x} y S son los parámetros de la distribución, los cuales se determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x .

Y su función de distribución de probabilidad normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{S}\right)^2} dx \quad (3.9)$$

Si se hace:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S} \quad (3.10)$$

Se tendrá una distribución normal con media igual a cero y desviación estándar a uno $N(0,1)$. Teniendo lo siguiente:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.11)$$

La solución de la integral no se conoce y se recurre a métodos numéricos para evaluarla, donde para cada valor de \bar{x} y S . La función $F(z)$ tiene tablas donde su cálculo es numérico.

3.2 Distribución Gumbel

Usualmente es utilizada para valores máximos aleatorios sacados de poblaciones suficientemente grandes. La función de distribución de probabilidad de x se define como:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (3.12)$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (3.13)$$

Donde:

α y β son parámetros de la función, para muestras muy grandes se estiman como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S} \quad (3.14)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45 S \quad (3.15)$$

Para muestras relativamente pequeñas:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S} \quad (3.16)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha} \quad (3.17)$$

Algunos valores se muestran en la siguiente tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros de la función de distribución Gumbel.

n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

3.3 Distribución Doble Gumbel

También es conocida como Gumbel Mixta o Bi Gumbel:

$$F(x) = p \left[e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right] + \left[(1-p)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right] \quad (3.18)$$

Donde:

α_1 es el parámetro de forma de la primera población.

β_1 es el parámetro de forma de la primera población.

α_2 es el parámetro de forma de la segunda población.

β_2 es el parámetro de forma de la segunda población.

p es el parámetro de asociación (probabilidad de tener eventos no ciclónicos).

$$p = \frac{\text{número de gastos no ciclónicos}}{\text{número total de datos}} = \frac{N_n}{N_t} \quad (3.19)$$

Parámetros de la función α y β

- Para muestras muy grandes mayor a 100 se tiene:

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \quad (3.20)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45S \quad (3.21)$$

- Para muestras pequeñas menor o igual a 100 se tiene:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{s} \quad (3.22)$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_2}{\alpha} \quad (3.23)$$

3.4 Periodo de retorno

El periodo de retorno (T) de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Se define $P(x \geq x_0)$ como la probabilidad de ocurrencia, o la probabilidad de que un evento máximo anual x sea mayor o igual a un valor dado x_0 . Se define $P(x < x_0) = 1 - P(x \geq x_0)$ como la probabilidad de no ocurrencia, o la probabilidad de que un evento x sea menor a un valor dado x_0 .

Planteando, el periodo de retorno como el inverso de la probabilidad de ocurrencia de un suceso (2.2.3.1):

$$T = \frac{1}{P(x \geq x_0)} \quad (3.24)$$

$$P(x < x_0) = 1 - P(x \geq x_0) \quad (3.25)$$

Es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su periodo de retorno:

$$P(x \geq x_0) = \frac{1}{T} \quad (3.26)$$

En hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodos de retorno en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta más claro ya que tiene las mismas unidades que la vida útil de las obras y puede compararse con ésta. En la siguiente tabla se muestran periodo de retorno de algunas obras hidráulicas (tabla 3.2).

Tabla 3.2. Ejemplos de periodos de retorno.

Tipo de proyecto	Periodo de retorno (años)
Desviación de crecientes en proyectos hidroeléctricos	25 a 50
Rebosaderos para crecientes de proyectos hidroelectricos, dependiendo de si la presa es de tierra o enrrocamiento o de concreto	Mayor o igual a 1000 años o criterio de creciente máxima probable.
Colectores de aguas de lluvias en ciudades, dependiendo del tipo de zona dentro de la ciudad	2 a 10
Alcantarillas para carreteras	1.2 a 5

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1 Métodos de Regionalización (Técnicas de agrupamiento)

En este trabajo regionalización se refiere a la acción de agrupar estaciones climatológicas, que cumplan con ciertas características entre sí, para tener regiones homogéneas y poder aplicar métodos y distribuciones de probabilidad.

En general, la delimitación regional se ha sustentado en considerar áreas geográficamente continuas, límites políticos o administrativos. Sin embargo, si la variabilidad espacial de las características fisiográficas o hidrológicas es grande, la consideración de homogeneidad no se puede considerar (Escalante y Reyes, 2008).

El problema de no considerar un buen criterio de regionalización, a veces hace que se incluyan o no información relevante para la región, lo que hace que los resultados obtenidos sean poco confiables. A continuación se presentan tres métodos para la identificación de regiones homogéneas, un uso adecuado hace que los tres métodos sean complementarios.

4.1.1 Trazos Multidimensionales (Curva de Andrews)

La heterogeneidad de los grupos que se forman de manera preliminar se evalúa mediante una técnica de posicionamiento propuesta por Andrews (1972), en la cual un punto en el espacio multidimensional se representa por una curva en dos dimensiones vía la función (Escalante y Reyes, 2008).

$$f(t) = \frac{X_1}{\sqrt{2}} + X_2 \sin(t) + X_3 \cos(t) + X_4 \sin(2t) + X_5 \cos(2t) + \dots \quad (4.1)$$

Donde:

X_1, X_2, \dots son características fisiográficas y/o meteorológicas obtenidas del análisis de regresión y la función se evalúa en el rango $-\pi \leq t \leq \pi$.

Para considerar este método es importante mencionar que las bajas frecuencias son más fáciles de observar, por lo tanto, X_1 representará aquella variable que en el análisis de regresión resultó más significativa desde un punto de vista estadístico, X_2 a la segunda y así sucesivamente.

Ya que se han desarrollado todas las funciones del tipo $f(t)$, ecuación 4.1, se generarán envolventes que formen conjuntos de curvas de comportamiento similar y se derivará una curva media $\bar{f}(t)$, que represente los atributos físicos de cada grupo formado.

Pero si aún existe la duda en una curva si pertenece a uno grupo, se hace la siguiente prueba:

$$SS = \sum_{t=-\pi}^{\pi} \{ [f^j(t)] - [\bar{f}(t)]_k \}^2 \quad (4.2)$$

Donde SS es la suma de las diferencias al cuadrado entre los puntos que forman la curva en el sitio j, y la curva característica $\bar{f}(t)$ de cada uno de los k grupos ya formados. Por último la curva se localizará en la región donde se haya obtenido el menor valor de SS (Escalante y Reyes, 2008).

4.1.2 Región de influencia (Distancia Euclidiana)

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 se relaciona a 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 b, para la cual se genera la región de influencia, se expresa como:

$$D_{jb} = [\sum_{i=1}^p (C_j^i - C_b^i)^2]^{1/2} \quad (4.3)$$

$$C_j^i = \frac{X_j^i}{S(X^i)} \quad (4.4)$$

$$C_b^i = \frac{X_b^i}{S(X^i)} \quad (4.5)$$

Donde:

p : número de atributos considerados

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

X_j^i : valores del tributo i del sitio j

X_b^i : valores del tributo i de la estación base b

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

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

El grupo de atributos seleccionados son función de la información disponible en la red de estaciones. La elección de los atributos requiere cierto juicio ingenieril, sin embargo, pueden obtenerse como en la técnica de delimitación multidimensional al examinar la correlación entre 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 medida de la distancia, Así, se pudiera excluir todas aquellas estaciones que tengan una distancia más grande que el valor promedio \overline{D}_{jb} desde el sitio base (Escalante y Reyes, 2008).

4.1.3 Coeficiente de variación

Con la información disponible se debe obtener la media (\bar{x}) y el coeficiente de variación (**CV**), para construir una gráfica, en el eje de las ordenadas se ubican los coeficientes de variación (**CV**) y en el eje de las abscisas el cociente (\bar{x}/A), donde **A** son las áreas drenadas de cada uno de los sitios. Finalmente se forman los grupos por las concentraciones de puntos alrededor de determinado valor de coeficiente de variación. (Escalante y Reyes, 2008)

4.2 Métodos o procesos de estandarización

El análisis regional hidrológico suministra la forma de inferir eventos para ciertos periodos 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 y Reyes, 2008).

4.2.1 Avenida índice

Este método es del tipo de la avenida índice y considera que las muestras se ajustan a la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel). Un requisito para esta técnica es que las muestras tengan igual longitud de registro $n_1 = n_2 = \dots = n_{ms} = n_{común}$.

La secuencia de cálculo es la siguiente:

1. Recabar la información sobre los eventos por ser analizados en cada una de las estaciones de la región y proponer una longitud de registro $n_{común}$.
2. Probar dentro de región analizada la homogeneidad de las series de datos.
3. Con las expresiones 2.1 a 2.9 –técnicas de estimación de parámetros de (Escalante Sandoval y Reyes Chávez, 2008)- se obtienen los estadísticos muestrales de las series $Q_i^j, \bar{x}_j, S_j^2, S_j, g_j, k_j, CV_j$ para $i=1, \dots, n$ años y $j=1, \dots, ms$ sitios.
4. Para cada serie j se verifica mediante la prueba de Anderson la independencia de eventos.
5. Para cada una de las series Q_i^j , el registro se ordena de mayor a menor y se le asigna un periodo de retorno y una probabilidad de no excedencia.

$$T^i = \frac{n_{común} + 1}{m} \quad (4.6)$$

$$P^i = 1 - \frac{1}{T^i} \quad (4.7)$$

Donde:

T^i : periodo de retorno en años para cada evento i .

m : número de orden del registro, desde $m = 1, \dots, n_{común}$

P^i probabilidad de no excedencia para cada evento i .

6. Para cada una de las series Q_i^j se le ajusta la distribución Gumbel y se estima los eventos para $T=2.33$ años y para los periodos de retorno asignados a la muestra $T^i, i = 1, \dots, n_{común}$

7. Cada una de las series j se estandariza de la forma

$$X_T^i = \frac{Q_T^j}{Q_{2.33}^j} \quad (4.8)$$

8. Para cada periodo de retorno T se obtiene el valor de la media \tilde{X}_T del conjunto $SX = \{X_T^1, X_T^2, \dots, X_T^{ms}\}$. Para obtener la mediana de cada periodo T , el conjunto SX se debe ordenar de mayor a menor. Si ms es par, entonces la mediana será el promedio de los dos valores que dividen a la muestra ordenada. Si ms es impar la mediana es el valor que queda exactamente dividiendo a la muestra.

9. Los valores \tilde{X}_T se ubican con sus correspondientes periodos de retorno T en papel de probabilidad Gumbel.

10. Los puntos ubicados en el paso 9, son ajustados mediante una curva suavizada para generar la curva regional $X_T^R - T$.

11. Una vez obtenida la curva regional es posible estimar los eventos X_T^R para los periodos de retorno $T=2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000$ y $10,000$.

12. Si se requiere un evento Q_T^j en un sitio j que tiene escasa información, basta multiplicar la relación regional X_T^R obtenida en el paso anterior por el correspondiente valor $\hat{Q}_{2.33}^j$. Por el contrario, si se desea el evento \hat{Q}_T^e en un sitio no aforado (e) que este dentro de la región, se debe construir la relación $Q_{2.33}^j - A_j$, donde $A_j, j = 1, \dots, ms$ son las áreas drenadas, para que a partir de ella se pueda inferir al valor

correspondiente de $\widehat{Q}_{2,33}^j$ para el área A_e del sitio (e). Esta última relación puede ser del tipo lineal, potencial o polinomial. (Escalante y Reyes, 2008)

4.2.2 Estaciones - año

Este método considera el tratamiento de una sola muestra de datos conformada por un registro estandarizado de eventos, el cual una vez que se construye se ajusta a un conjunto de distribuciones de probabilidad. Esta técnica regional a diferencia de otras no requiere que las muestras tengan una longitud de registro común. Con referencia al tamaño de muestra aceptable en cada muestra participante en el análisis, se recomienda que el menos sea de 10 años. Esta recomendación no es del todo estricta, ya que si se tiene un sitio con, por ejemplo, 9 años, pero dentro de este están eventos extremos que pueden afectar el comportamiento del fenómeno en la región, entonces se deberán incluir en el estudio.

Existe otra recomendación en cuanto el número de estaciones-año que se requieren para una correcta estimación del evento \widehat{Q}_T , y es que $L \geq 5T$ donde T es el periodo de retorno requerido en años.

La secuencia puede resumirse como:

1. Probar dentro de la región analizada la homogeneidad de las series de datos.
2. Con las expresiones 2.1 a 2.9 –técnicas de estimación de parámetros de (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008)- se obtiene 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 $j=1, \dots, ms$ 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:

$$q_i^j = \frac{Q_j^i}{\bar{Q}^j} \quad (4.9)$$

5. Se forma el registro llamado 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.

$$T = \frac{n_T + 1}{m} \quad (4.10)$$

$$P(X \leq x) = P = 1 - \frac{1}{T} \quad (4.11)$$

7. Al registro formado en el paso 5 se le ajustan las diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de máximos (Normal, Log normal con 2 y 3 parámetros, Gamma con 2 y 3 parámetros, Log Pearson tipo III, Gumbel, General de Valores Extremos, Weibull-2, Valores Extremos de dos Componentes, Gumbel Mixta, GVE Mixta, Weibull-2 y mezcla Gumbel-GVE), y se selecciona aquel que proporcione el mínimo error estándar de ajuste.
8. Una vez obtenida la distribución de mejor ajuste, es posible estimar los eventos regionales para diferentes periodos de retorno, los cuales serán válidos para cualquier punto dentro de la zona analizada.

$$(q)_T^R = \left(\frac{Q}{\bar{Q}}\right)_T^R, \quad T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 \text{ y } 10,000 \text{ años.} \quad (4.12)$$

9. Si se requiere obtener un evento \bar{Q}_T^j en un sitio j que tiene escasa información, basta multiplicar la relación regional obtenida en el paso anterior por el correspondiente valor de \bar{Q}^j . Por el contrario, si se desea un evento \bar{Q}_T^e en un sitio no aforado (e) que este dentro de la región, se debe construir la relación $\bar{Q}^j - A_j$, donde $A_j, j = 1, \dots, ms$ son las áreas drenadas, para que a partir de ella se pueda inferir el valor correspondiente de \bar{Q}^e para el área A_e del sitio (e). Esta última relación puede ser del tipo lineal, potencial o polinomial. (Escalante y Reyes, 2008).

CAPÍTULO 5: EJEMPLO DE APLICACIÓN

5.1 Zona de estudio (descripción del estado)

El estado de Veracruz representa el 3.66% del territorio nacional con 71 826 km², tiene 212 municipios, su población son 8 112 505 habitantes, que representan el 6.8% del total del país. Su población se distribuye en 61% en urbana y 39% rural.

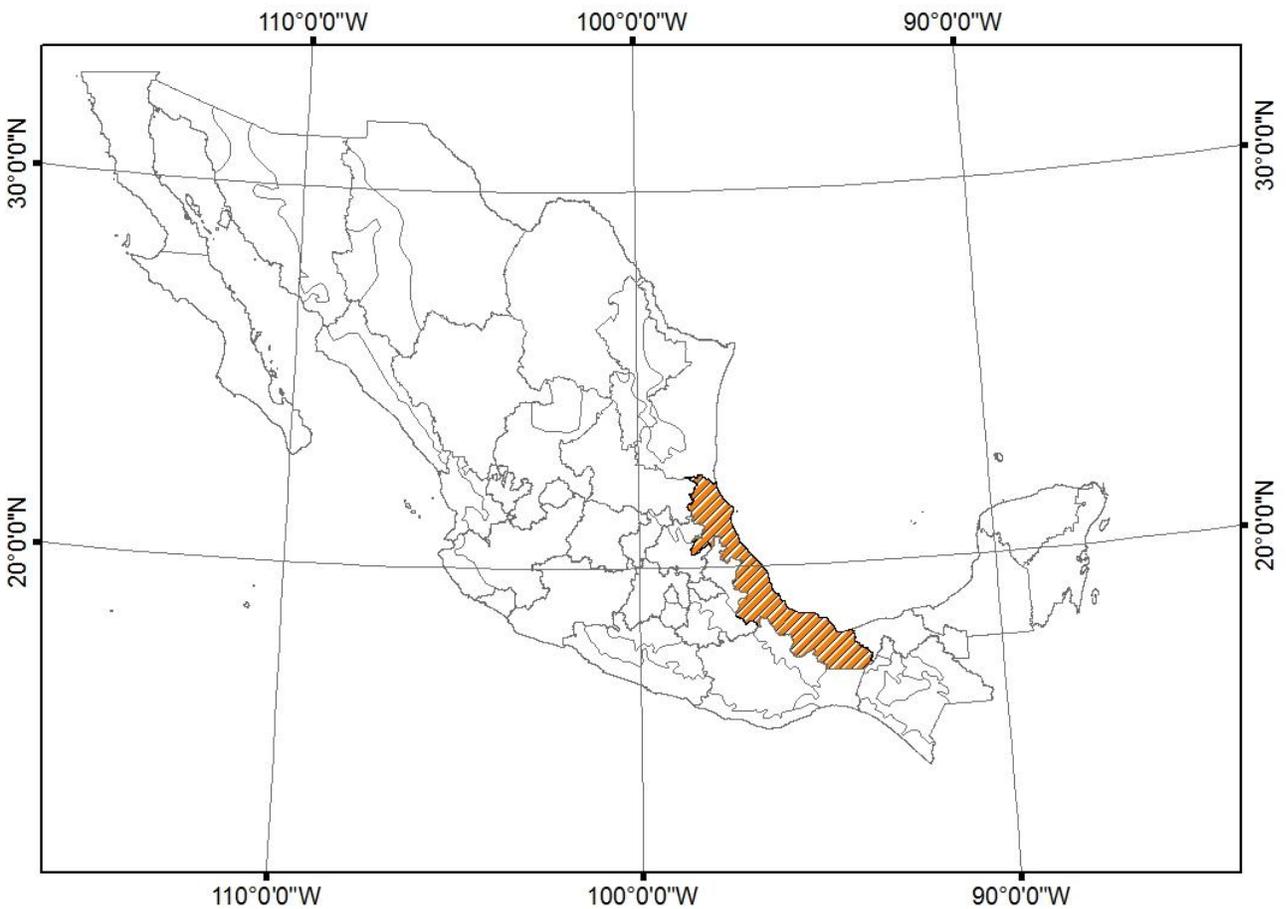


Figura 5.1. Ubicación del estado de Veracruz.

La mayoría del territorio está conformado por la Sierra Madre Oriental, Llanura Costera del Golfo Norte, Eje Neovolcánico; Sierra Madre del Sur, Llanura Costera Del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala y por la Cordillera Centroamericana.

El estado de Veracruz se localiza en la franja intertropical (figura 5.1), esto hace que tenga un clima tropical pero debido a que tiene varias diferencias en su altitud, las cuales comprenden desde el nivel del mar hasta los 5,700 msnm, cuya altitud corresponde al Pico de Orizaba, el clima cambia de manera paralela hacia la costa, teniendo zonas cálidas, semicálidas, templadas y semisecas.

En el estado se presentan dos fenómenos meteorológicos que sus consecuencias han provocado que sea necesario que se hable de ellos. Los primeros son los ciclones, se presentan principalmente en otoño, sin embargo también hay en verano. Estos hacen que la temporada de lluvias se prolongue provocando inundaciones debido al desborde de los ríos.

La Tabla 5.1 es una lista de ciclones que han impactado en el estado de Veracruz desde el año 1999 a 2014. (CKAN, 2016)

Tabla 5.1. Lista de eventos extraordinarios en el estado de Veracruz.

NÚMERO DE EVENTOS	NOMBRE	FECHA DE INICIO DEL PERÍODO	FECHA DE TERMINO DEL PERÍODO	CATEGORÍA MÁXIMA	CATEGORÍA DE IMPACTO EN VERACRUZ	FECHA DE IMPACTO
1	BRET	28/06/2005	29/06/2005	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	29/09/2005
2	JOSE	22/08/2005	23/08/2005	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	23/08/2005
3	STAN	01/10/2005	05/10/2005	HURACAN CATEGORIA 1	HURACAN CATEGORIA 1	04/10/2005
4	DEAN	13/08/2007	22/08/2007	HURACAN CATEGORIA 5	HURACAN CATEGORIA 1	22/08/2007
5	LORENZO	25/09/2007	28/09/2007	HURACAN CATEGORIA 1	HURACAN CATEGORIA 1	28/09/2007
6	MARCO	06/10/2008	07/10/2008	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	07/10/2008
7	KARL	13/09/2010	18/09/2010	HURACAN CATEGORIA 3	HURACAN CATEGORIA 3	17/10/2010
8	ARLENE	28/06/2011	30/06/2011	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	30/06/2011
9	HARVEY	19/08/2011	22/08/2011	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	22/08/2011
10	NATE	06/09/2011	11/09/2011	HURACAN CATEGORIA 1	TORMENTA TROPICAL	11/09/2011
11	ERNESTO	01/08/2012	10/08/2011	HURACAN CATEGORIA 2	TORMENTA TROPICAL	09/08/2012
12	HELENE	09/08/2012	18/08/2012	TORMENTA TROPICAL	DEPRESION TROPICAL	18/08/2012
13	BARRY	16/06/2013	21/06/2013	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	20/06/2013
14	FERNAND	25/08/2013	26/08/2013	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	26/08/2013
15	DOLLY	01/09/2014	04/09/2014	TORMENTA TROPICAL	TORMENTA TROPICAL	03/09/2014

Con base en la lista anterior, los ciclones provocan lluvias extraordinarias debido a que su duración abarca desde 1 día hasta pueden llegar a los 9 días como ocurrió en el año de 2013 con el ciclón Fernand.

Otro fenómeno meteorológico son los frentes fríos, que son masas de aire frío, son muy frecuentes en invierno, provienen de las regiones polares y cuando se ponen en contacto con las cálidas del Golfo forman nubes provocando lluvias extraordinarias.

5.2 Información disponible

Una estación climatológica es el conjunto de instrumentos básicos colocados a la intemperie que permiten medir las variaciones del clima, como lo son: precipitación, temperatura, evaporación, viento, etc.

Las estaciones climatológicas que se usaron en el presente trabajo son producto del monitoreo de la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) con colaboración del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en el estado de Veracruz. Estos dos organismos se encargan del mantenimiento y posteriormente de su operación.

5.2.1 Estaciones climatológicas disponibles en Veracruz

Es muy común que haya estaciones climatológicas suspendidas en la República Mexicana, se encuentran suspendidas debido a que su mantenimiento no fue el adecuado o simplemente por diversas razones la estación dejó de operar y no ha sido rehabilitada para que siga operando.

En el estado de Veracruz se encuentran 355 estaciones climatológicas, de las cuales solo 157 están operando (44%). Sin embargo las estaciones que se tomaron en cuenta en este trabajo fueron aquellas que tienen más de 20 años de registros. En total son 178 estaciones analizadas en el estado de Veracruz.

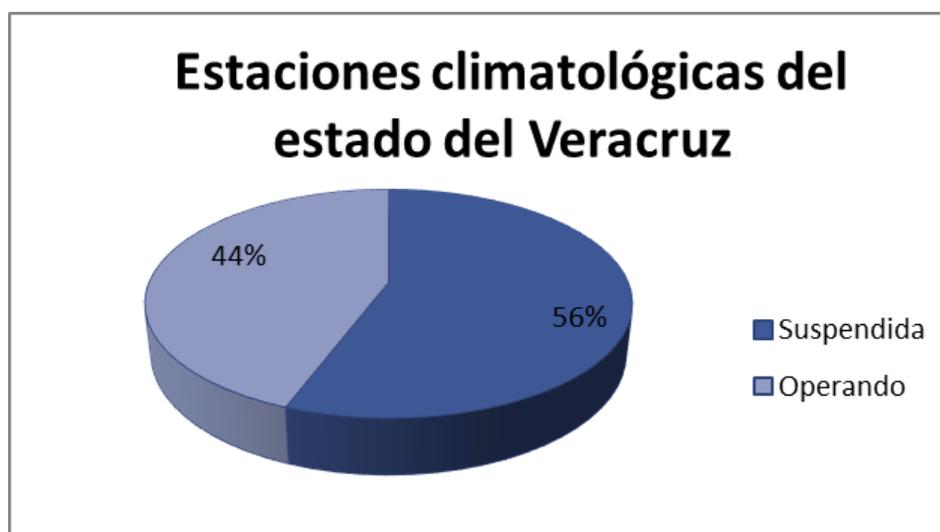


Figura 5.2. Condición de las estaciones climatológicas del estado de Veracruz.

5.2.2 Ubicación de las estaciones empleadas

Se consideraron 178 estaciones climatológicas que están distribuidas en todo el estado de Veracruz. En la tabla 5.2 se muestran las estaciones empleadas, así como su clave, nombre y ubicación:

Tabla 5.2. Ubicación de estaciones climatológicas usadas para el estudio.

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO
00030001	ACAYUCAN	ACAYUCAN
00030002	ACAZONICA (CFE)	PASO DE OVEJAS
00030003	ACTOPAN	ACTOPAN
00030006	ALAMO	ALAMO TEMAPACHE
00030007	ALMOLONGA	NAOLINCO
00030008	ALTOTONGA	ALTOTONGA
00030009	ALVARADO (SMN)	ALVARADO
00030011	ANGEL R. CABADA	ANGEL R. CABADA
00030012	ATZALAN	ATZALAN
00030013	AZUETA	JOSE AZUETA
00030014	BELLACO	SAN JUAN EVANGELISTA
00030015	BELLA ESPERANZA (CFE)	COATEPEC
00030016	BENITO JUAREZ	BENITO JUAREZ
00030017	BOCA DE SOCHIAPA	SOCHIAPA
00030018	EL BUZON	MANLIO FABIO ALTAMIRANO
00030019	CAMELPO	COTAXTLA
00030021	EL CARRIZAL	EMILIANO ZAPATA
00030022	CATEMACO	CATEMACO
00030025	CIUDAD ALEMAN	COSAMALOAPAN DE CARPIO
00030026	COATEPEC	COATEPEC
00030029	COLONIA GRUPO TRES	PLAYA VICENTE
00030031	COSAMALOAPAN DE CARPIO (SMN)	COSAMALOAPAN DE CARPIO
00030032	COSCOMATEPEC (SMN)	COSCOMATEPEC
00030033	COYAME (CFE)	CATEMACO
00030035	CUATOTOLAPAN	HUEYAPAN DE OCAMPO
00030036	CUICHAPA	CUICHAPA
00030037	CUITLAHUAC	CUITLAHUAC
00030039	CHICAYAN	TEMPOAL
00030041	CHICONTEPEC DE TEJEDA (SMN)	CHICONTEPEC
00030042	CHILAPA	LA PERLA
00030043	CHINAMECA	CHINAMECA
00030044	DOBLEDERO	JOSE AZUETA
00030045	EL BARRIO	TIERRA BLANCA
00030046	CARDON	TEMPOAL
00030047	EL COYOL (CFE)	COMAPA
00030049	EL HIGO	EL HIGO
00030050	EL FAISAN	PASO DE OVEJAS
00030051	EL OLIVO	PANUCO
00030052	ELOTEPEC (CFE)	HUATUSCO
00030055	EL REMOLINO (CFE)	PAPANTLA

Continuación de Tabla 5.2.

00030056	EL TEJAR	MEDELLIN
00030058	ESPINAL (CFE)	ESPINAL
00030060	FANAL DE NAUTLA	NAUTLA
00030061	FORTIN DE LAS FLORES	FORTIN
00030066	HUATUSCO DE CHICUELLAR	HUATUSCO
00030067	HUAYACOCOTLA	HUAYACOCOTLA
00030068	LOS IDOLOS	ACTOPAN
00030070	INDEPENDENCIA	JUAN RODRIGUEZ CLARA
00030071	IXCATEPEC	IXCATEPEC
00030072	IXHUATLAN DEL CAFE	IXHUATLAN DEL CAFE
00030073	JUCHIQUE DE FERRER	JUCHIQUE DE FERRER
00030076	JALCOMULCO (CFE)	JALCOMULCO
00030077	JALTIPAN DE MORELOS	JALTIPAN
00030078	JOACHIN	TIERRA BLANCA
00030079	JOLOAPAN (CFE)	PAPANTLA
00030080	RIO BLANCO	TLALIXCOYAN
00030081	LA FLORENCIA	SAN JUAN EVANGELISTA
00030082	LA GRANJA	TRES VALLES
00030083	LA LIMA	SAN JUAN EVANGELISTA
00030084	LA MICHOACANA	PANUCO
00030085	LA TEMBLADERA (CFE)	XICO
00030087	LAS ANIMAS	XALAPA
00030088	LAS CHARCAS	TIERRA BLANCA
00030089	LAS MINAS (CFE)	LAS MINAS
00030090	LAS PERLAS	JESUS CARRANZA
00030091	LAS PRIETAS	TIERRA BLANCA
00030092	LAS VIGAS	TLALIXCOYAN
00030093	LOMA FINA	PASO DE OVEJAS
00030094	LOS CAPULINES	COTAXTLA
00030095	LOS MANGOS	HUEYAPAN DE OCAMPO
00030097	LOS PESCADOS (CFE)	PEROTE
00030099	MADEREROS	TLALIXCOYAN
00030100	MALTRATA (DGE)	MALTRATA
00030101	MANLIO FABIO ALTAMIRAMO	MANLIO FABIO ALTAMIRANO
00030102	MARTINEZ DE LA TORRE (DGE)	MARTINEZ DE LA TORRE
00030103	MATA DE LIMONES	ISLA
00030104	MATA ANONA (CFE)	PASO DEL MACHO
00030105	MATA TENATITO	OMEALCA
00030106	MELCHOR OCAMPO (CFE)	ESPINAL
00030107	MINATITLAN	MINATITLAN

Continuación de Tabla 5.2.

00030108	MISANTLA	MISANTLA
00030109	MORENO SUR	TIERRA BLANCA
00030110	MORILLO	SANTIAGO TUXTLA
00030111	MOTZORONGO	TEZONAPA
00030112	MOZOMBOA	ACTOPAN
00030114	NAOLINCO DE VICTORIA	NAOLINCO
00030115	NARANJAL (CFE)	FORTIN
00030116	NOPALAPAN	JUAN RODRIGUEZ CLARA
00030117	PARAISO NOVILLERO	COSAMALOAPAN DE CARPIO
00030118	NUEVO IXCATLAN	PLAYA VICENTE
00030119	OMEALCA	OMEALCA
00030121	OTATITLAN	OTATITLAN
00030122	OZULUAMA	OZULUAMA DE MASCAREÑAS
00030124	PANUCO (SMN)	PANUCO
00030125	PAPANTLA	PAPANTLA
00030126	PASO DEL CEDRO	ACTOPAN
00030128	PEROTE	PEROTE
00030129	PIEDRAS NEGRAS	TLALIXCOYAN
00030130	PLATON SANCHEZ	PLATON SANCHEZ
00030131	PLAYA VICENTE	PLAYA VICENTE
00030132	POZA RICA	POZA RICA DE HIDALGO
00030134	PROGRESO DE ZARAGOZA	COAHUITLAN
00030136	PUENTE JULA	PASO DE OVEJAS
00030137	PUENTE NACIONAL (CFE)	PUENTE NACIONAL
00030141	RINCONADA	EMILIANO ZAPATA
00030142	RINCON PACHECO	TRES VALLES
00030143	JUAN RODRIGUEZ CLARA	JUAN RODRIGUEZ CLARA
00030146	SAN ANDRES	SAN ANDRES TUXTLA
00030147	SAN JUAN EVANGELISTA (DGE)	SAN JUAN EVANGELISTA
00030148	SAN JUANILLO	ACAYUCAN
00030149	SAN JUAN SECO	CATEMACO
00030150	SAN MIGUEL	ACULA
00030151	SAN MIGUELITO	CORDOBA
00030152	GARRO	ISLA
00030154	SANTA ANA (CFE)	COYUTLA
00030157	SANTA MARIA TATETLA (CFE)	JALCOMULCO
00030158	SANTA ROSA	ACTOPAN
00030160	SANTA TRINIDAD	PANUCO
00030161	SANTIAGO TUXTLA	SANTIAGO TUXTLA
00030163	SOLEDAD DE DOBLADO	SOLEDAD DE DOBLADO

Continuación de Tabla 5.2.

00030165	TAMARINDO	PUENTE NACIONAL
00030166	TAMOS	PANUCO
00030167	TANCOCHAPA	LAS CHOAPAS
00030168	TANTIMA	TANTIMA
00030169	TANTOYUCA	TANTOYUCA
00030170	TAPALAPA	SANTIAGO TUXTLA
00030171	TECOLUTLA	TECOLUTLA
00030172	TECUANAPA	LAS CHOAPAS
00030174	TEHUIPANGO	TEHUIPANGO
00030175	TEMBLADERAS	XICO
00030176	TEMPOAL DE SANCHEZ	TEMPOAL
00030177	TENAMPA (CFE)	TENAMPA
00030178	TENEXTEPEC	PEROTE
00030179	TEOCELO	TEOCELO
00030180	TERRERILLOS	CHICONTEPEC
00030182	TIERRA BLANCA (SMN)	TIERRA BLANCA
00030183	TLACOTALPAN	TLACOTALPAN
00030185	LAUCHAPAN	SAN ANDRES TUXTLA
00030187	TOTUTLA	TOTUTLA
00030189	TRES ZAPOTES	SANTIAGO TUXTLA
00030191	VEGA DE ALATORRE	VEGA DE ALATORRE
00030193	JOSE CARDEL	LA ANTIGUA
00030194	VILLA CUAUHTEMOC	PUEBLO VIEJO
00030195	EMILIANO ZAPATA (CFE)	EMILIANO ZAPATA
00030197	VISTA HERMOSA	TEZONAPA
00030198	ZALAYETA	PEROTE
00030200	ZONGOLICA	ZONGOLICA
00030201	ALVARADO (DGE)	ALVARADO
00030204	CATEMACO (CFE)	CATEMACO
00030209	IXHUACAN DE LOS REYES (CFE)	IXHUACAN DE LOS REYES
00030211	LAS VIGAS	LAS VIGAS DE RAMIREZ
00030212	MALTRATA (SMN)	MALTRATA
00030213	MARTINEZ DE LA TORRE (SMN)	MARTINEZ DE LA TORRE
00030214	NANCHITAL (DGE)	NANCHITAL DE LAZARO CARDENAS DEL RIO
00030216	NARANJAL	LERDO DE TEJADA
00030220	QUEBRACHE	TAMPICO ALTO
00030221	SAN JUAN EVANGELISTA (SMN)	SAN JUAN EVANGELISTA
00030224	JESUS CARRANZA	JESUS CARRANZA
00030227	TUXPANGO	IXTACZOQUITLAN
00030228	JALAPA DE ENRIQUEZ (DGE)	XALAPA

Continuación de Tabla 5.2.

00030265	CEDILLO	UXPANAPA
00030266	EL DIAMANTE	ACTOPAN
00030267	LA CONCEPCION	JILOTEPEC
00030281	LA LAGUNA	UXPANAPA
00030285	PANUCO (DGE)	PANUCO
00030292	RIO GRANDE	UXPANAPA
00030294	SONTECOMAPAN	CATEMACO
00030302	SIHUAPAN	SAN ANDRES TUXTLA
00030311	COSAUTLAN	COSAUTLAN DE CARVAJAL
00030319	EL MERCADO	OZULUAMA DE MASCAREÑAS
00030325	LA PUENTE	OZULUAMA DE MASCAREÑAS
00030327	TIERRA MORADA	LAS CHOAPAS
00030331	TAMIAHUA (CFE)	TAMIAHUA
00030337	LIBERTAD	MISANTLA
00030339	CERRO GORDO	EMILIANO ZAPATA
00030342	CENTRO REGIONAL HUATUSCO	HUATUSCO
00030345	RANCHO SANTA ROSA	TANTOYUCA
00030361	SOMBRERETE	ALAMO TEMAPACHE

5.3. Metodología aplicada

Para la determinación de eventos para ciertos periodos de retorno para regiones con información conocida es un reto, por otra parte en regiones donde es escasa la información o nula el reto es mayor.

El estado de Veracruz tiene una superficie de 71 826 km² y tiene 178 estaciones climatológicas con más de 20 años de registros, además es muy común la presencia de lluvias extraordinarias prácticamente en todo el estado, debido a fenómenos meteorológicos, pero no de manera uniforme. Por estas razones es recomendable agrupar las estaciones climatológicas en regiones homogéneas para tener resultados más confiables.

Se decidió agrupar las estaciones climatológicas en seis regiones homogéneas. La agrupación consistió en hacer un análisis de los coeficientes de variación, máximo y topografía.

Después con la información de precipitaciones máximas anuales producto de la recopilación de CONAGUA en sus estaciones climatológicas, con el uso de CLICOM se hace la depuración de los datos para obtener valores estandarizados y trabajar con el programa AX, finalmente se ajustaron a una función de distribución para cada región para determinar los eventos para T=2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 y 10000 años de periodo de retorno.

5.3.1 Depuración de datos de registro de precipitaciones (CLICOM)

Con ayuda de la base de datos de registro de las estaciones climatológicas proporcionadas por CONAGUA, el archivo que este organismo proporciona de los datos de lluvia por cada uno de los estados de la República Mexicana es el que tiene una terminación DLY.

En el caso del estado de Veracruz lleva por nombre VER_DLY. Este contiene información de todas las estaciones climatológicas del estado que están operando o que en algún cierto tiempo operaron.

El archivo está compuesto por la clave del estado, para Veracruz le corresponde el número 30, clave de la estación climatológica, elemento de la información con valores de: 001, 002, 003, 005, 018, 030, 031, 032, 043.

La tabla 5.3 muestra el significado de cada elemento, de acuerdo a su clave.

Tabla 5.3. Claves de los elementos de GUCOM.

CLAVE	ELEMENTO
001	Temp. amb. 08 hs. °C
002	Temp. max. °C
003	Temp. min. °C
005	Precip 24 hs. mm
018	Evap. 24 hs. mm
030	Días c/tormenta (0 no hay, 1 si hay)
031	Días c/granizo (0 no hay, 1 si hay)
032	Días c/niebla (0 no hay, 1 si hay)
043	Cobertura nubosa (0 despejado, 1 medio nublado, 2 nublado)
091	Días c/helada (0 no hay, 1 si hay)

En las siguientes columnas del archivo se encuentran los valores del elemento de información que se desea, relacionada con el año y mes en que se obtuvo en dicha estación climatológica.

Para el presente trabajo el elemento que nos interesa es el **005**, correspondiente a la precipitación que ocurrió en 24 horas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
1	DATASET-ID	Station-ID	ELEMENT-CC	YEAR-MONT	VALUE-1	FLAG1-1	VALUE-2	FLAG1-2	VALUE-3	FLAG1-3	VALUE-4	FLAG1-4	VALUE-5	FLAG1-5	VALUE-6	FLAG1-6	VALUE
2	30	30001	1	1948-09	26		24		25		24		24		24		24
3	30	30001	2	1948-09	35		35		35		34		35		36		36
4	30	30001	3	1948-09	26		24		25		24		24		24		24
5	30	30001	5	1948-09	0.6		0		0		0		0		1		1
6	30	30001	18	1948-09	-99999 M		-99999 M		0.04		0.03		0.06		-99999 M		-99999 M
7	30	30001	30	1948-09	0		0		0		0		0		0		0
8	30	30001	31	1948-09	0		0		0		0		0		0		0
9	30	30001	32	1948-09	0		0		0		0		0		0		0
10	30	30001	43	1948-09	0		1		0		0		0		0		0
11	30	30001	1	1948-10	24		24.4		23.5		23.5		25.5		22.6		22.6
12	30	30001	2	1948-10	36.6		30		31		30		32		28.5		28.5
13	30	30001	3	1948-10	22.5		23		23.2		20.6		22.5		22		22
14	30	30001	5	1948-10	0		0		0		0		0		0		0
15	30	30001	18	1948-10	3.69		1.93		9.08		5.06		5.6		3.35		3.35
16	30	30001	30	1948-10	0		0		0		0		0		0		0
17	30	30001	31	1948-10	0		0		0		0		0		0		0
18	30	30001	32	1948-10	0		0		0		0		0		0		0
19	30	30001	43	1948-10	0		0		0		0		0		0		0
20	30	30001	1	1948-11	24		24.5		23.5		23.5		25.5		22.5		22.5
21	30	30001	2	1948-11	36.5		30		31		32		33		28.5		28.5
22	30	30001	3	1948-11	22.5		23		23		20		22.5		22		22
23	30	30001	5	1948-11	0		0.4		0.2		0		0		0		0
24	30	30001	30	1948-11	0		0		0		0		0		0		0

Figura 5.3. Muestra del archivo VER_DLY.

5.3.2 Revisión de precipitaciones máximas anuales para un día

Ahora para cada año por cada una de las estaciones seleccionadas se obtiene el máximo diario anual para un día. Este se recopila en un archivo y en nuestro caso le nombramos **RDM**.

En el caso del estado de Veracruz como ya se había mencionado antes, las estaciones climatológicas se agruparon en 6 regiones, por lo tanto tenemos 6 archivos RDM, uno para cada región.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Año/Est.	30011	30022	30033	30146	30161	30170	30183	30189	30204	30216	30294	30302						
2	1921																		
3	1922																		
4	1923																		
5	1924																		
6	1925																		
7	1926				175														
8	1927				221.2														
9	1928				236.7														
10	1929				250														
11	1930				85.5														
12	1931				157.5														
13	1932				196.7														
14	1933				136.2														
15	1934				134.5														
16	1935																		
17	1936																		
18	1937																		
19	1938																		
20	1939				133														
21	1940				140														
22	1941				85.5														
23	1942		192		160														
24	1943				150														
25	1944		300		249														
26	1945				125														
27	1946		310		83														
28	1947				143														
29	1948				127														
30	1949		224.5		146	131													
31	1950		154.5		103	184													
32	1951				197	256													
33	1952		175.5		135	323				175.5									
34	1953			241.8	223.5	200.3				224									

Figura 5.4. Archivo RDM de la región 1 del estado de Veracruz. Muestra la precipitación máxima anula diaria de cada estación.

5.3.3 Estaciones climatológicas con más de 20 años de registro

Solo se trabajó con estaciones climatológicas con más de 20 años de registro para tener un mayor número de datos para el análisis. Las estaciones con menos de 20 años no son de mucha utilidad ya que la confiabilidad de los datos de lluvia no nos convence. El objetivo de integrar las estaciones climatológicas de toda una región es conseguir una muestra de datos mucho mayor, lo que hace un análisis más confiable.

5.3.4 Obtención de parámetros para regionalización

La regionalización consiste en agrupar estaciones climatológicas, que cumplan con ciertas características entre sí, para tener regiones homogéneas y poder aplicar distribuciones de probabilidad.

Para obtener regiones homogéneas del estado de Veracruz, se optó por analizar el coeficiente de variación (CV) y los máximos de cada una de las estaciones climatológicas, dando como resultado seis regiones.

En las siguientes figuras (5.5 a 5.10) se muestra el coeficiente de variación y los máximos de cada una de las regiones formadas.

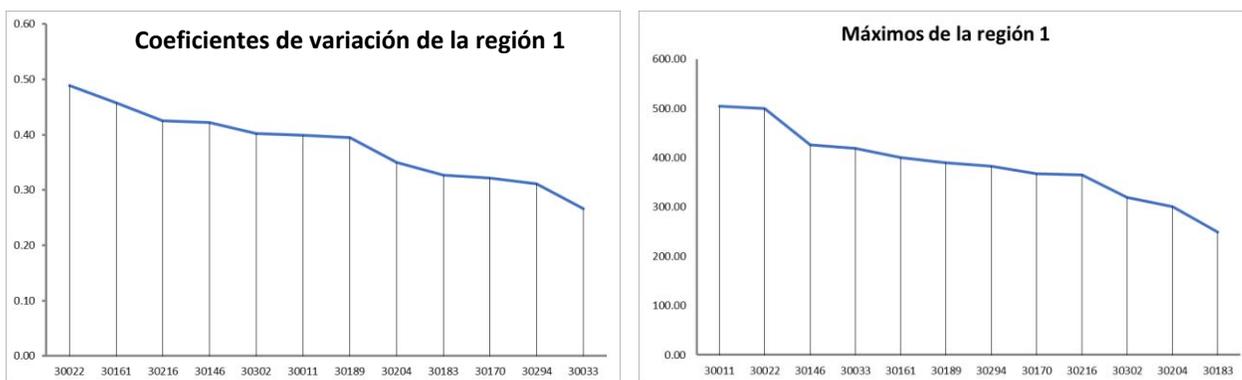


Figura 5.5. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 1.

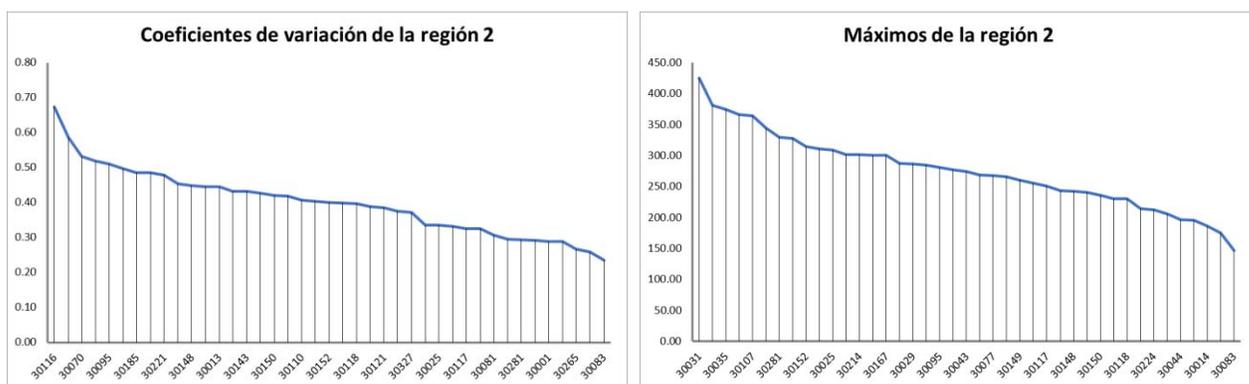


Figura 5.6. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 2.

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

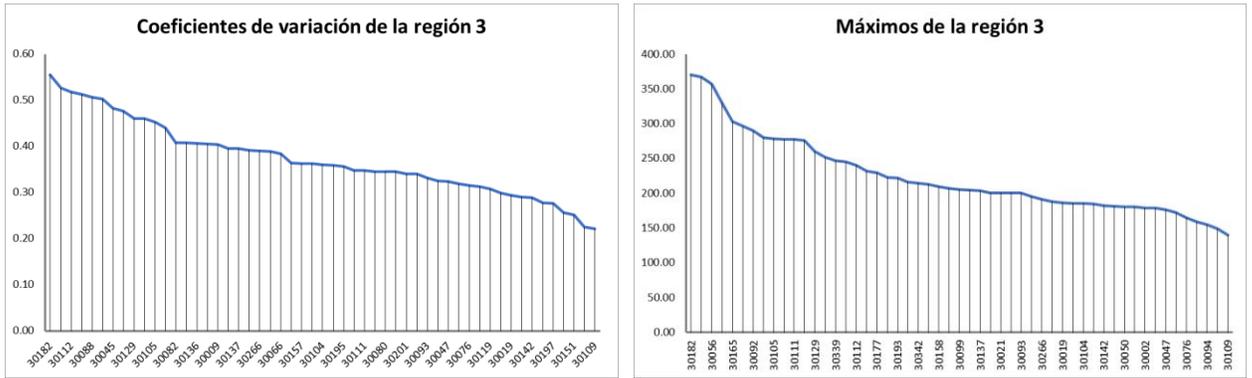


Figura 5.7. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 3.

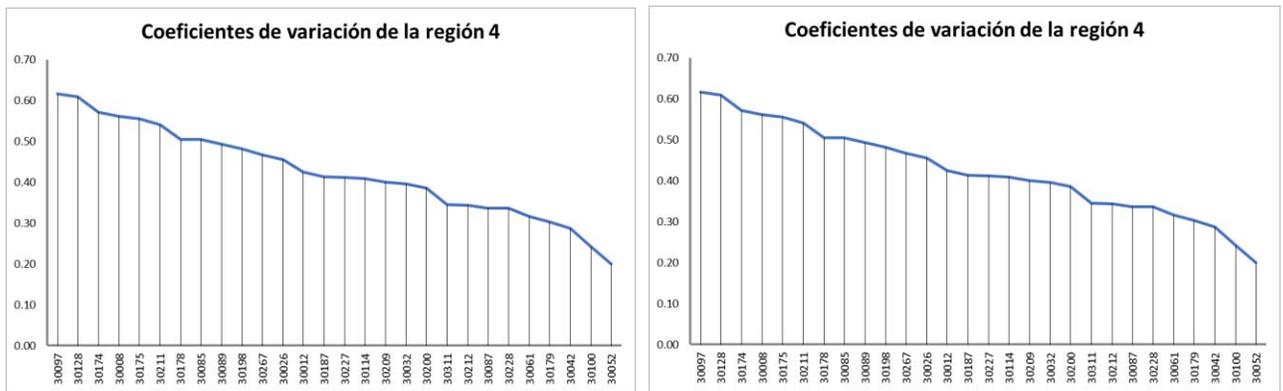


Figura 5.8. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 4.

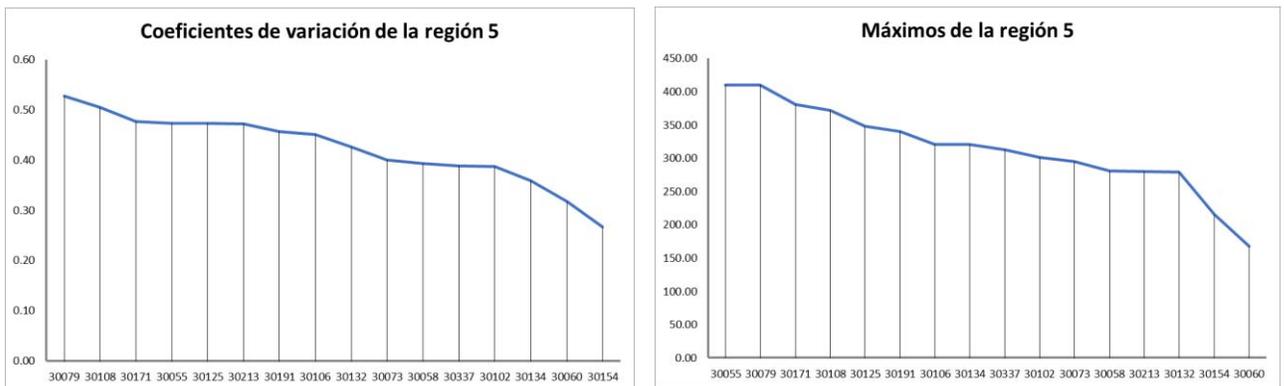


Figura 5.9. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 5.

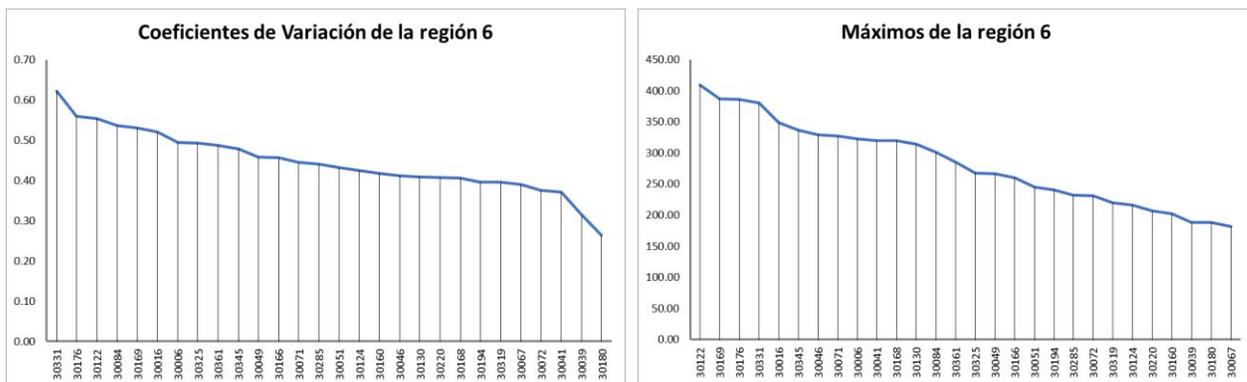


Figura 5.10. Variación del coeficiente de variación y máximos de las región 6.

Cada región se formó con coeficientes de variación y máximos que entre ellos tuvieran una pequeña variación, es decir logrando que cada región fuera homogénea.

5.3.5 Regiones definidas en el estado de Veracruz

Con base en observar el comportamiento del coeficiente de variación, máximos y la topografía del estado (figura 5.11) se logra dividir el estado de Veracruz en seis regiones con estaciones climatológicas con las mismas características, es decir regiones homogéneas.

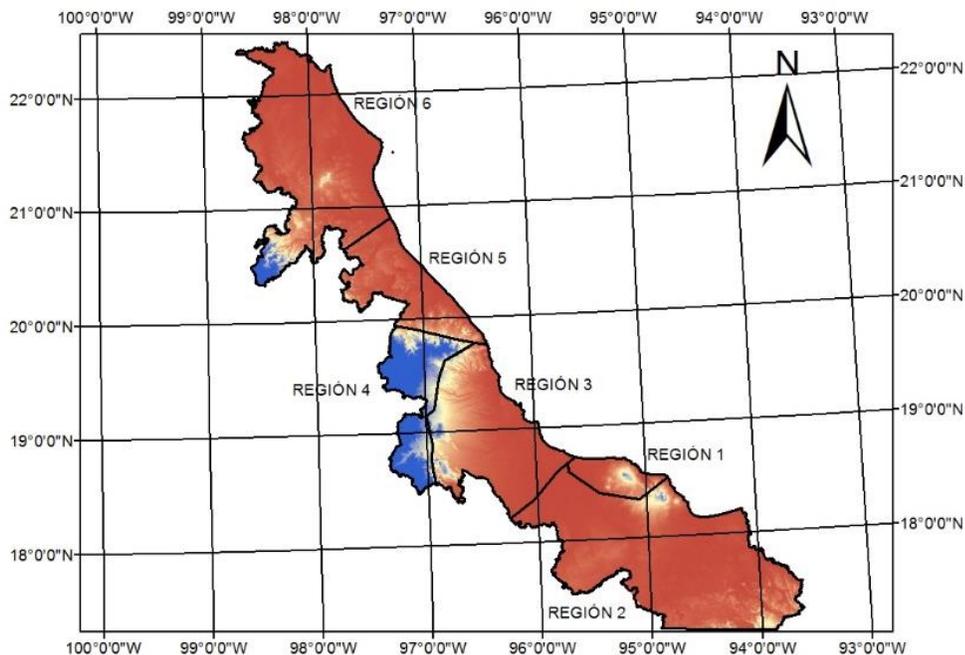


Figura 5.11. Topografía del estado de Veracruz.

Es decir, se trató de obtener regiones homogéneas desde un principio con solo observar el relieve del estado, ya que la mayoría del estado se caracteriza de tener llanuras en la parte cerca del golfo de México y en la zona del oeste del estado el relieve tiene altitudes mayores a comparación con otras regiones del estado, estas altitudes son consecuencias de estar cerca de la Sierra Madre oriental, Sierra madre del Sur y el eje Neovolcánico. Estas diferencias de alturas y el hecho de que los huracanes llegan preferentemente al norte del estado hacen que en ciertos puntos del estado se presenten eventos climatológicos extraordinarios, logrando tener una clara existencia de la no homogeneidad que el estado presenta.

Después de analizar la topografía del estado, las suposición de las regiones homogéneas propuestas tuvo mayor aceptación con el análisis del coeficiente de variación, tratando de que el valor entre el mayor y el menor no tuvieran mucha diferencia. Finalmente se agruparon las estaciones en las seis regiones ya mencionadas, cuidando tener características similares entre las estaciones climatológicas.

Esto ayuda a que se tenga mayor aceptación en los resultados obtenidos, cumpliendo una mayor homogeneidad. La tabla 5.4 muestra las estaciones climatológicas por cada región y las figuras 5.13 a 5.18 su localización.

Tabla 5.4. Estaciones por región.

Región	Estaciones	Total
1	30011, 30022, 30033, 30146, 30161, 30170, 30183, 30189, 30204, 30216, 30294, 30302	12
2	30001, 30013, 30014, 30017, 30025, 30029, 30031, 30035, 30037, 30043, 30044, 30070, 30077, 30081, 30083, 30090, 30095, 30103, 30107, 30110, 30116, 30117, 30118, 30121, 30131, 30143, 30147, 30148, 30149, 30150, 30152, 30167, 30172, 30185, 30214, 30221, 30224, 30265, 30281, 30292, 30327	41
3	30002, 30003, 30007, 30009, 30015, 30018, 30019, 30021, 30036, 30045, 30047, 30050, 30056, 30066, 30068, 30076, 30078, 30080, 30082, 30088, 30091, 30092, 30093, 30094, 30099, 30101, 30104, 30105, 30109, 30111, 30112, 30115, 30119, 30126, 30129, 30136, 30137, 30141, 30142, 30151, 30157, 30158, 30163, 30165, 30177, 30182, 30193, 30195, 30197, 30201, 30266, 30339, 30342	53
4	30008, 30012, 30026, 30032, 30042, 30052, 30061, 30085, 30087, 30089, 30097, 30100, 30114, 30128, 30174, 30175, 30178, 30179, 30187, 30198, 30200, 30209, 30211, 30212, 30227, 30228, 30267, 30311	28
5	30055, 30058, 30060, 30073, 30079, 300102, 30106, 30108, 30125, 30132, 30134, 30154, 30171, 30191, 30213, 30337	16
6	30006, 30016, 30039, 30041, 30046, 30049, 30051, 30067, 30071, 30072, 30084, 30122, 30124, 30130, 30160, 30166, 30168, 30169, 30176, 30180, 30194, 30220, 30285, 30319, 30325, 30031, 30145, 30361	28

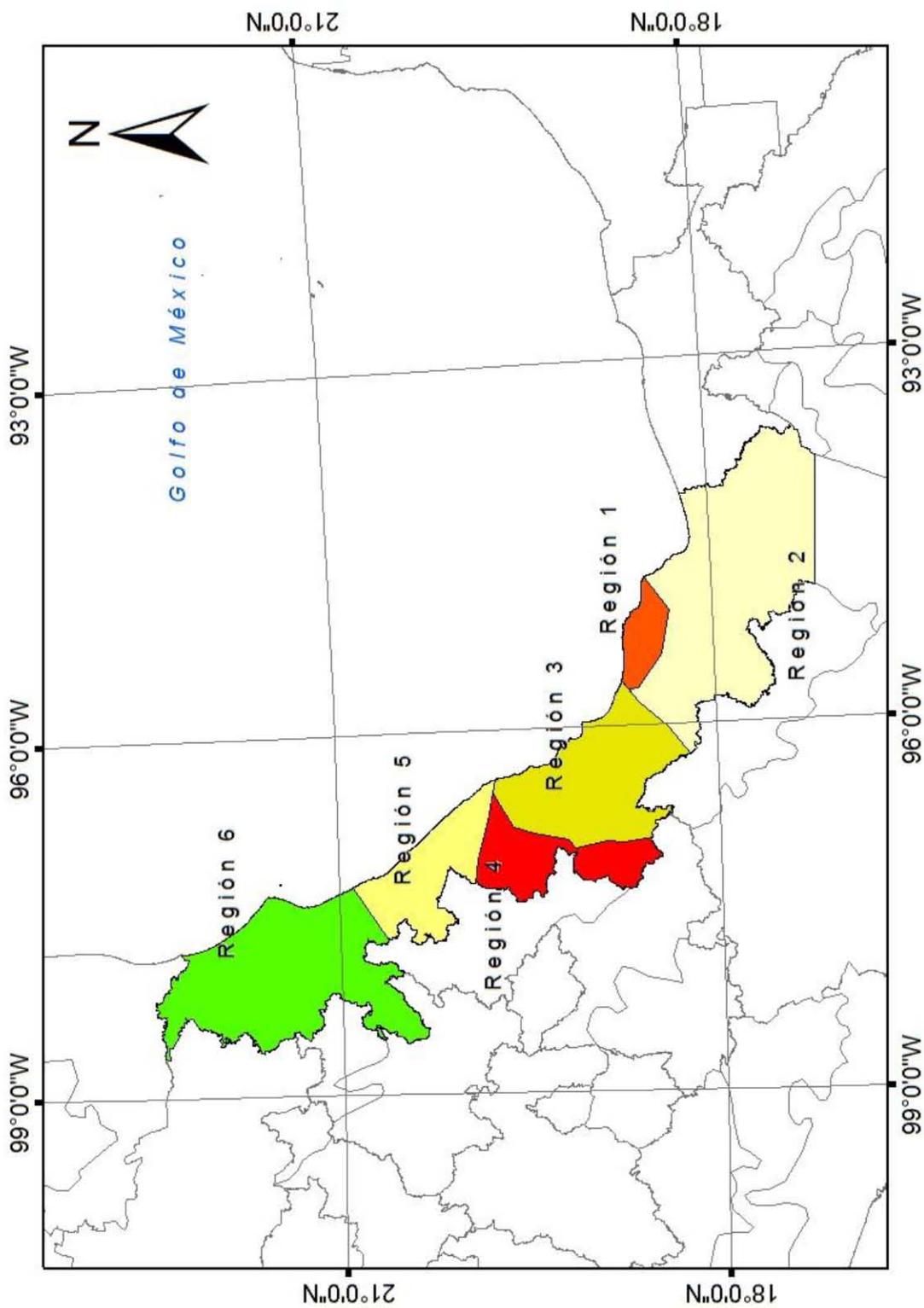


Figura 5.12. Localización de las seis regiones del estado de Veracruz.

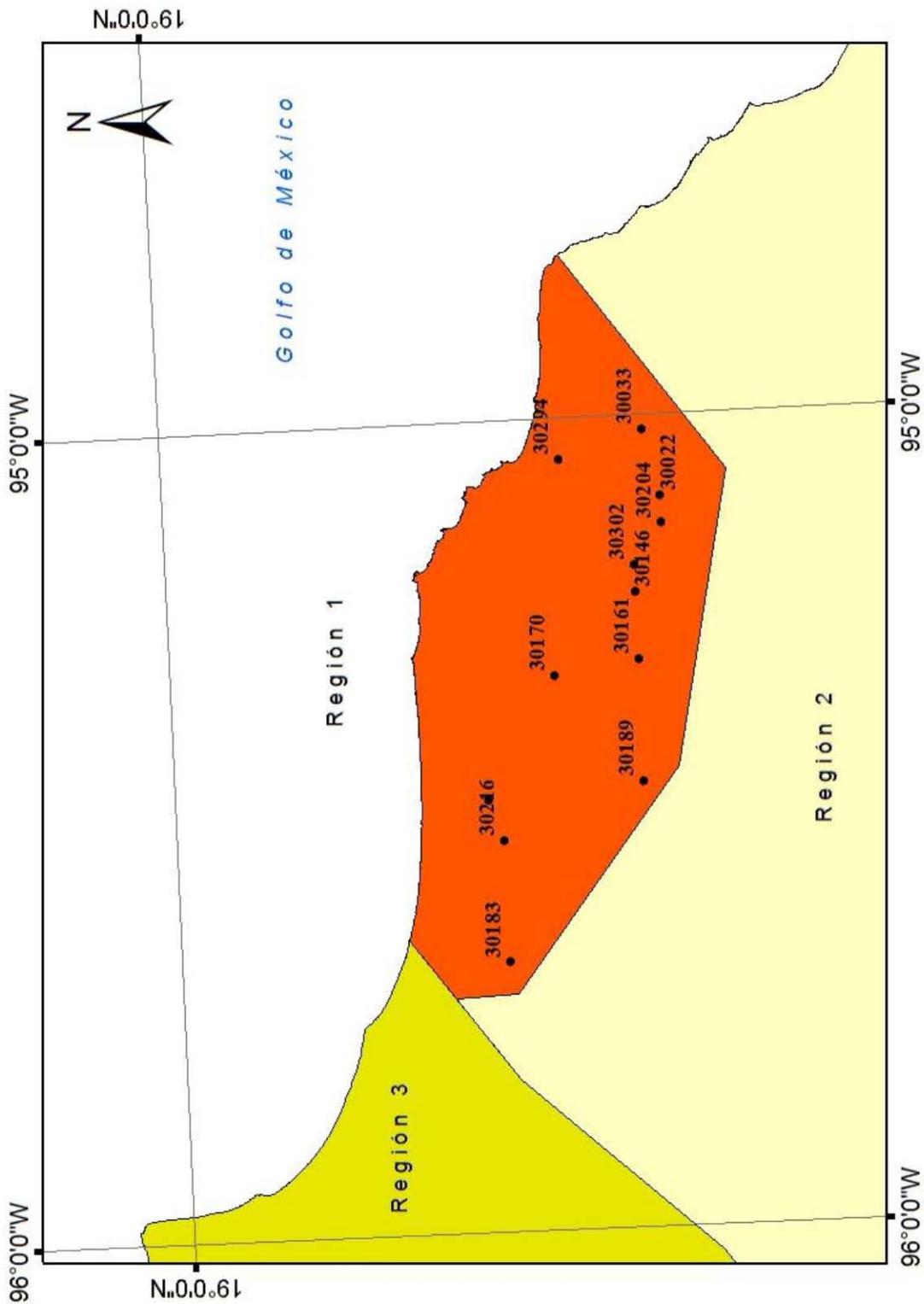


Figura 5.13. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 1.

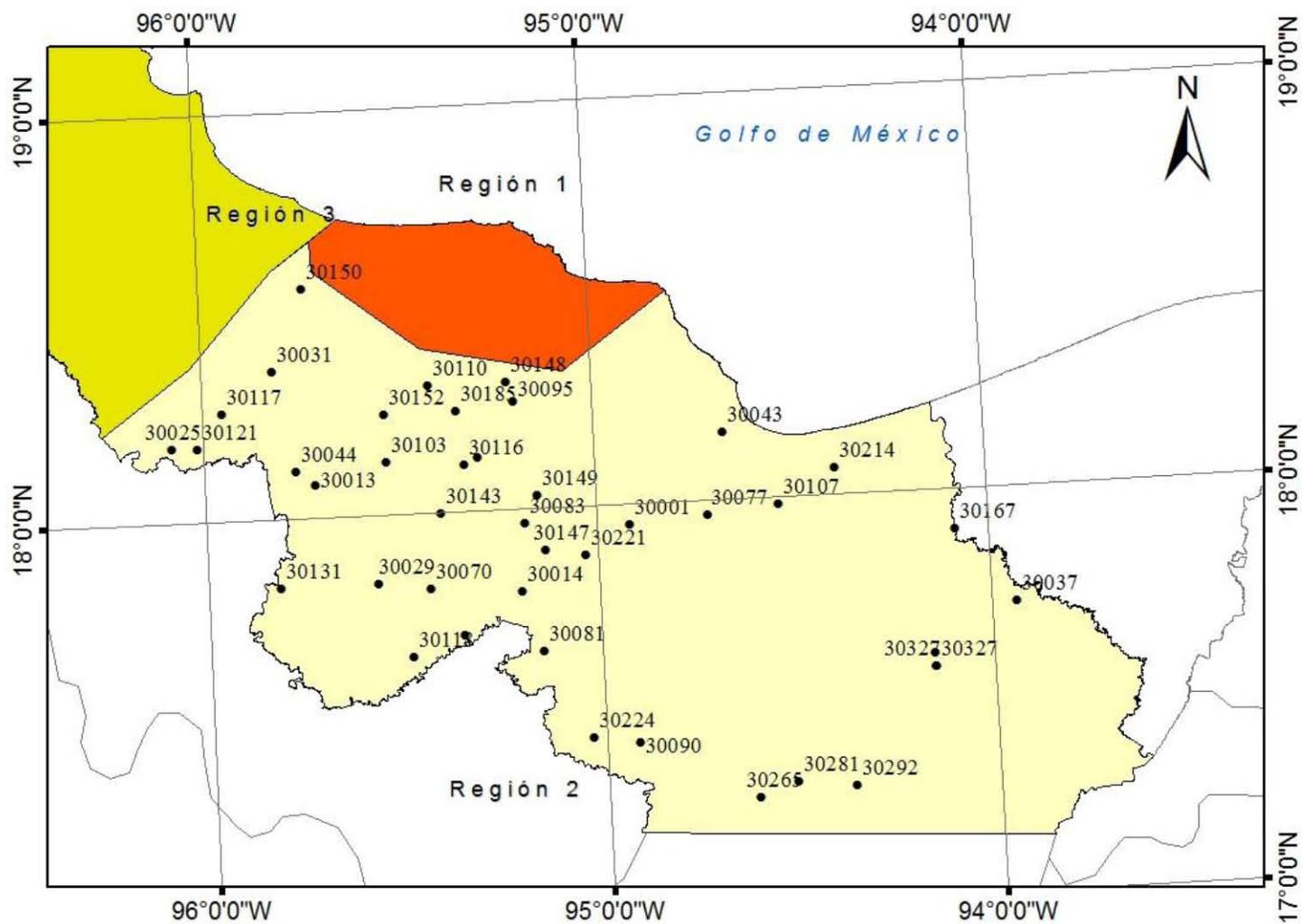


Figura 5.14. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 2.

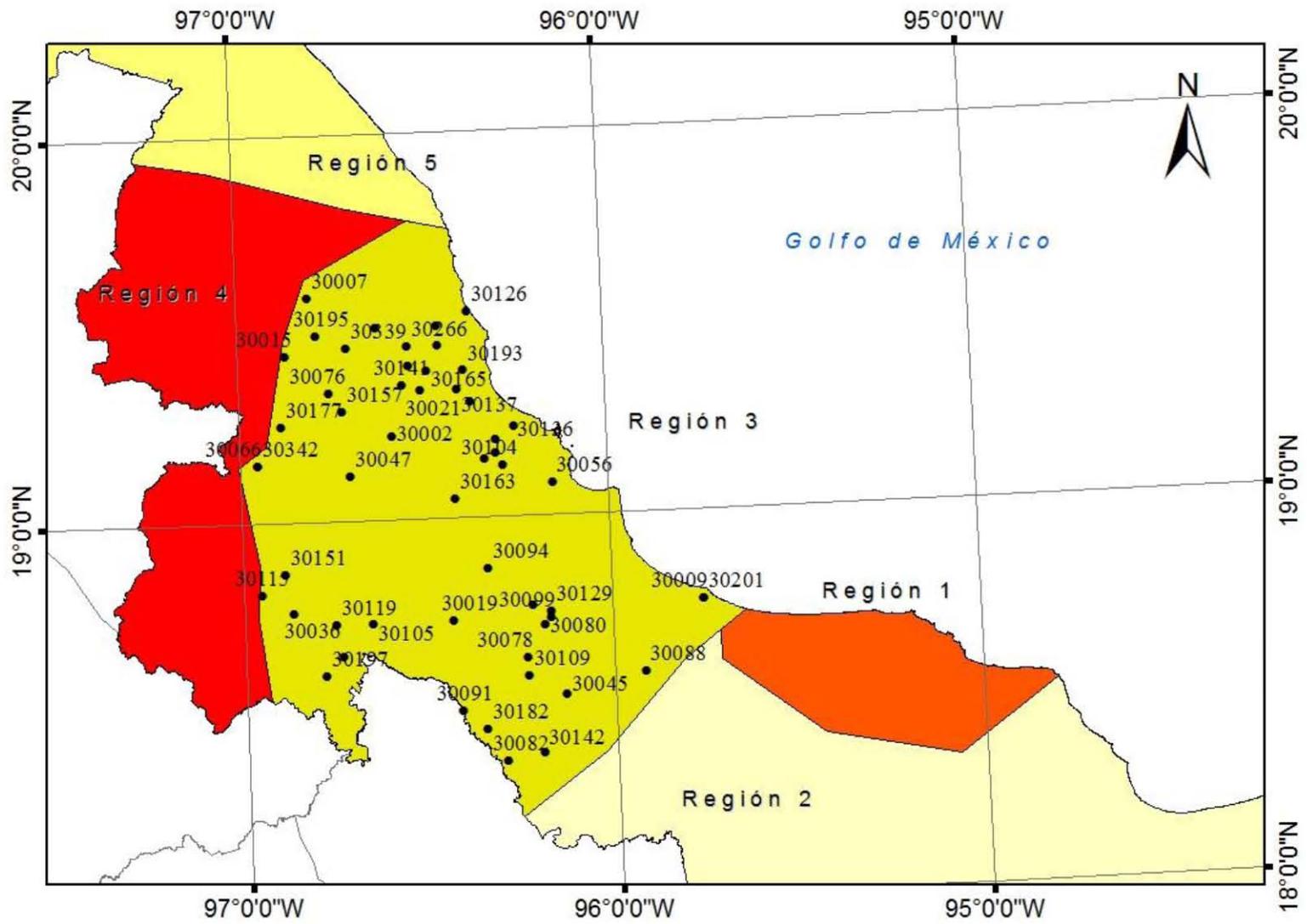


Figura 5.15. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 3.

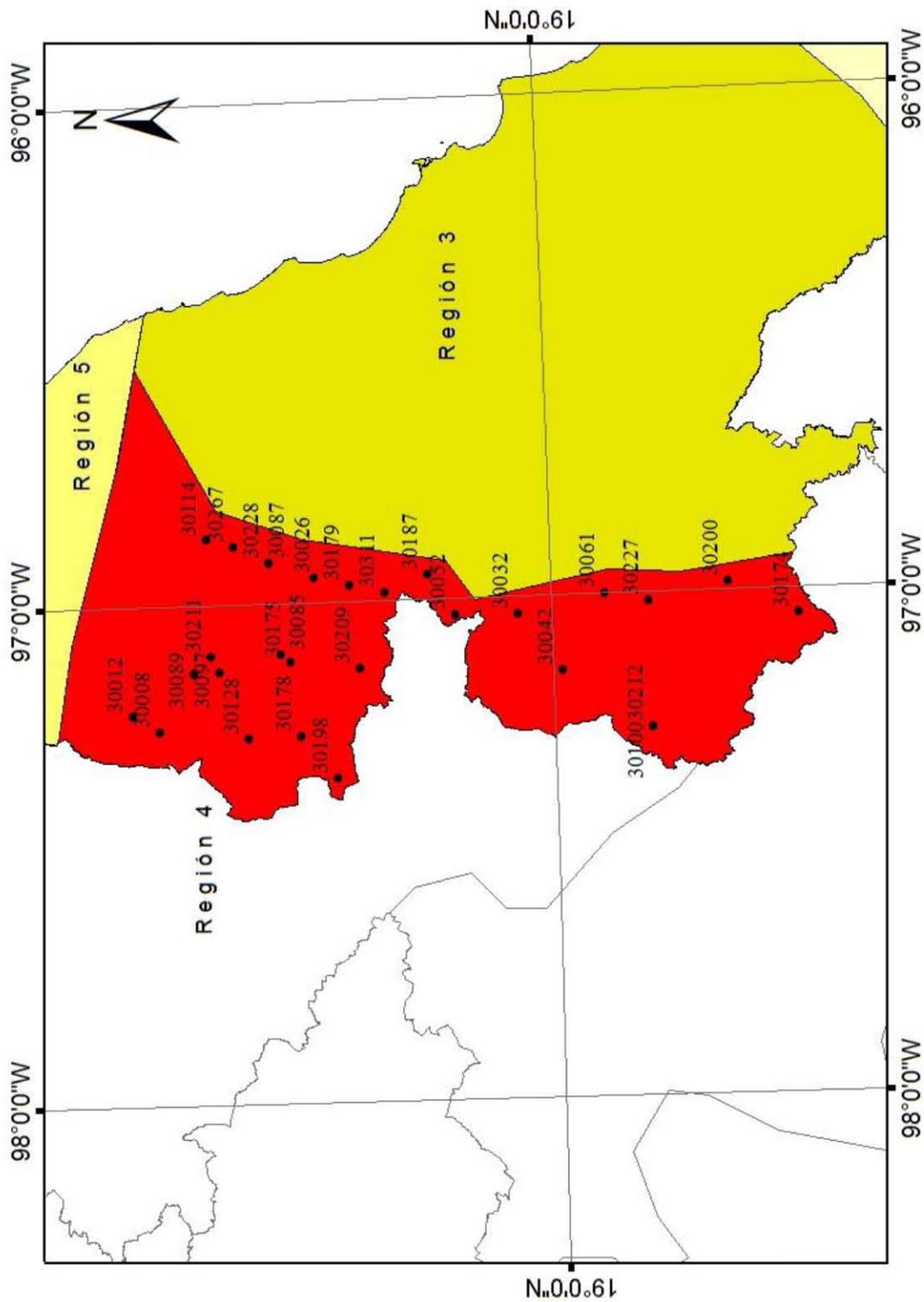


Figura 5.16. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 4.

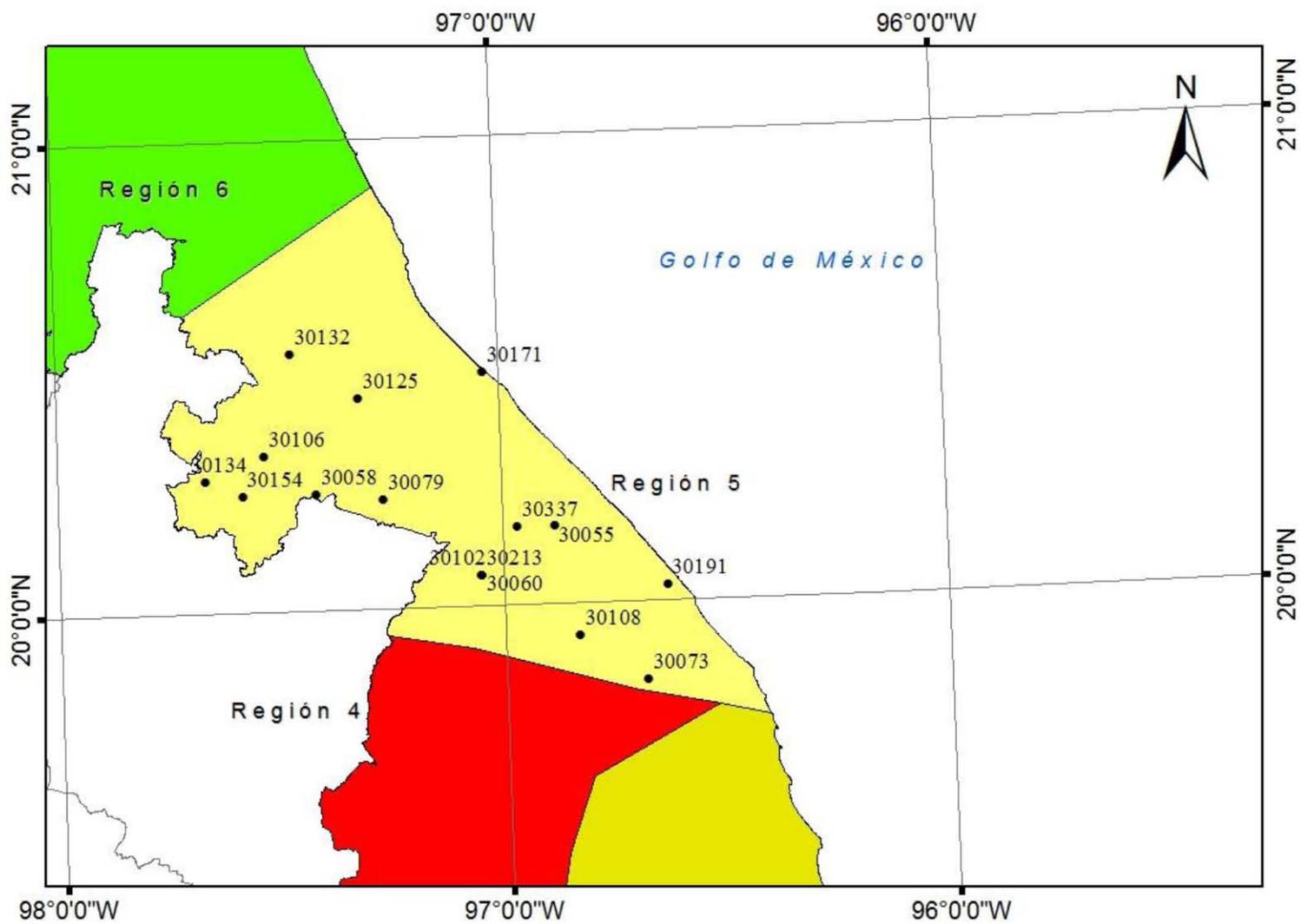


Figura 5.17. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 5.

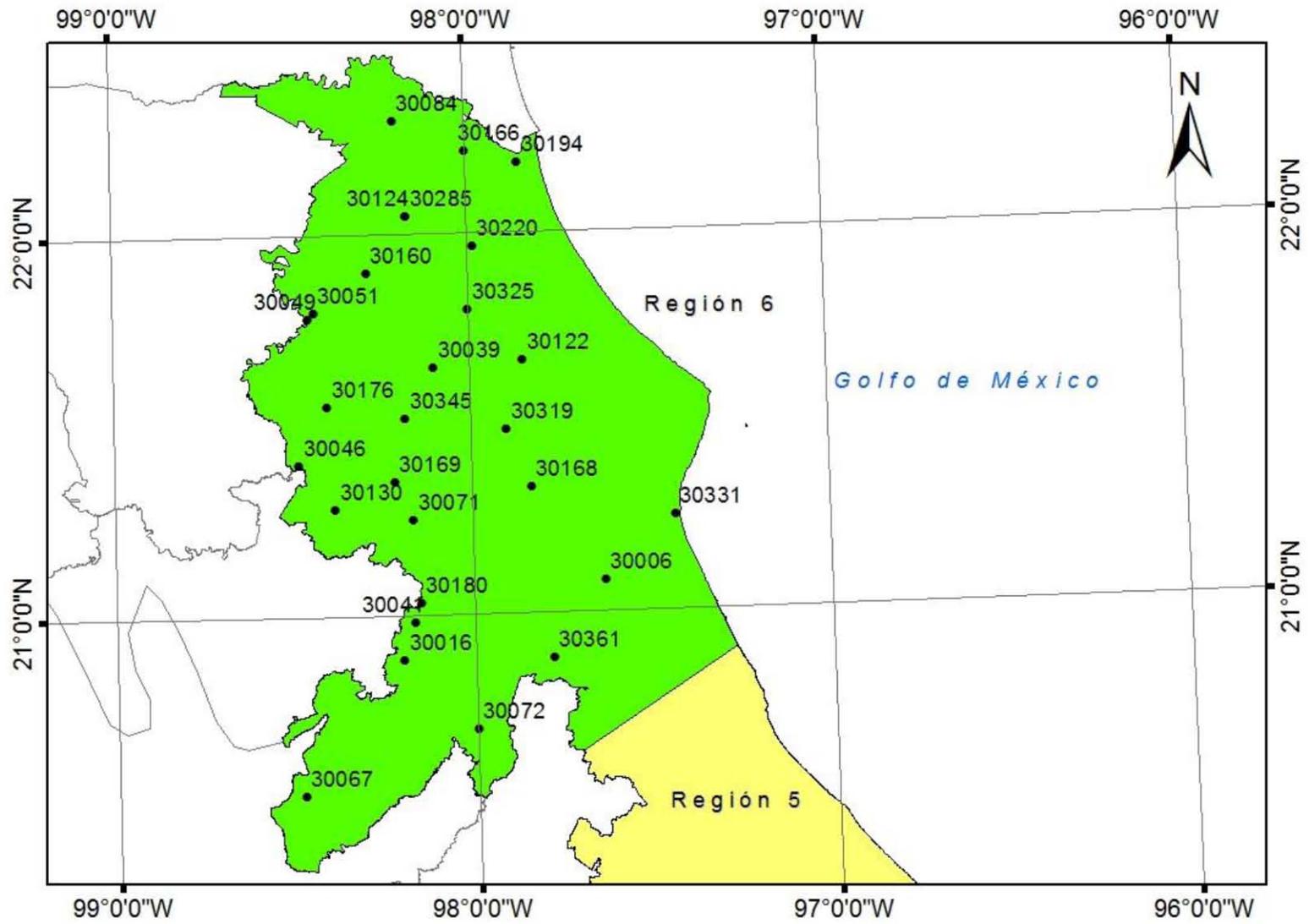


Figura 5.18. Localización de las estaciones climatológicas dentro de la región 6.

5.3.6 Depuración de las estaciones con más de 20 años de registro

Teniendo los archivos VER_DLY y RDM, este último para cada región (6), es posible hacer la depuración de todas las estaciones.

La depuración se hace con el fin de limpiar la base de datos de CONAGUA, es decir eliminar valores extraños como lo son letras, números negativos (-9999), y eliminar años de las estaciones donde no hubo datos de precipitación o en estaciones donde no tenemos datos en los meses de mayor importancia como lo son: *Julio, Agosto, Septiembre y Octubre*. Este proceso se hace con el programa de cómputo CLICOM (Clima Computarizado).

Además los datos de lluvia eliminados de cada una de las estaciones son aquellos que son muy pequeños o mayores en comparación a la muestra de la estación, hace pensar que la lectura del valor no fue la correcta, sin embargo para poder eliminar el valor con certeza se revisan con detalle toda la información de la estación incluso se preguntan al organismo operador sobre su procedencia.

Para hacer la depuración de cada una de las estaciones se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se carga el archivo del estado que se desea trabajar, es el archivo que proporciona CONAGUA, para nuestro trabajo tiene por nombre VER_DLY, ya en CLICOM se selecciona la opción de “elegir archivo” y después de cargar se elige “subir”. Figura 5.19, 5.20 y 5.21.



Figura 5.19. En la parte superior izquierda del menú de herramientas se selecciona “Elegir Archivo”.

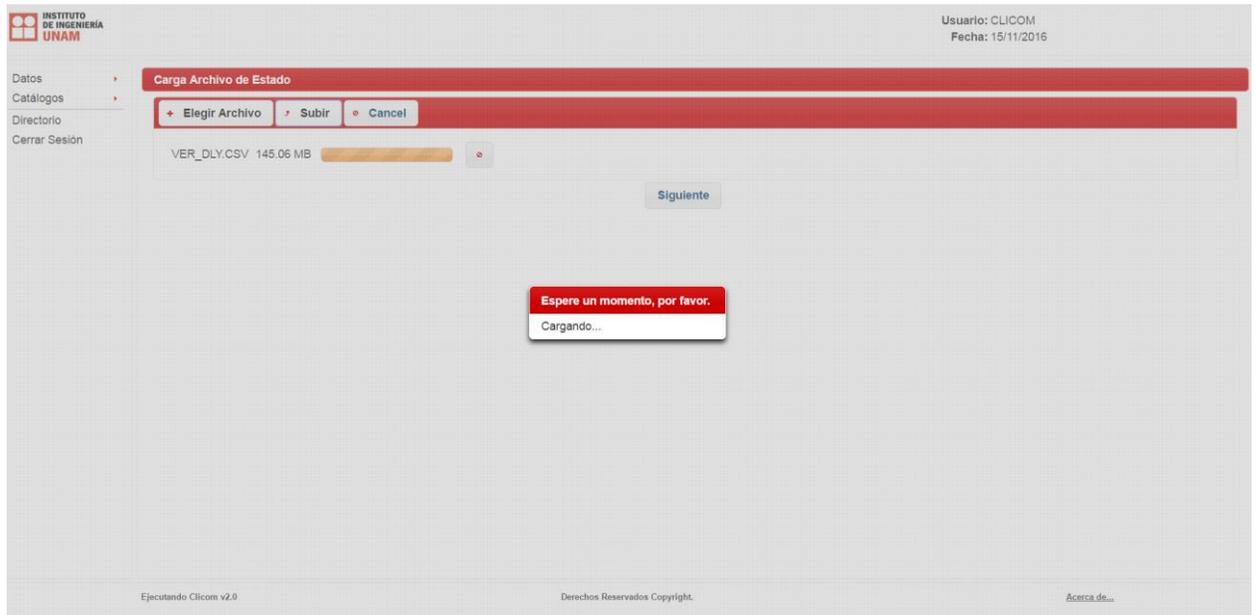


Figura 5.20. Después de haber elegido el archivo se selecciona “Subir”.

2. Cada estación climatológica tiene una clave y sirve para localizarla fácilmente entre otras. En este momento ingresamos una estación para hacer la depuración. Luego se debe seleccionar “Datos”, “Procesar”, “Estación” para hacer aparecer la siguiente pestaña, figura 5.22:

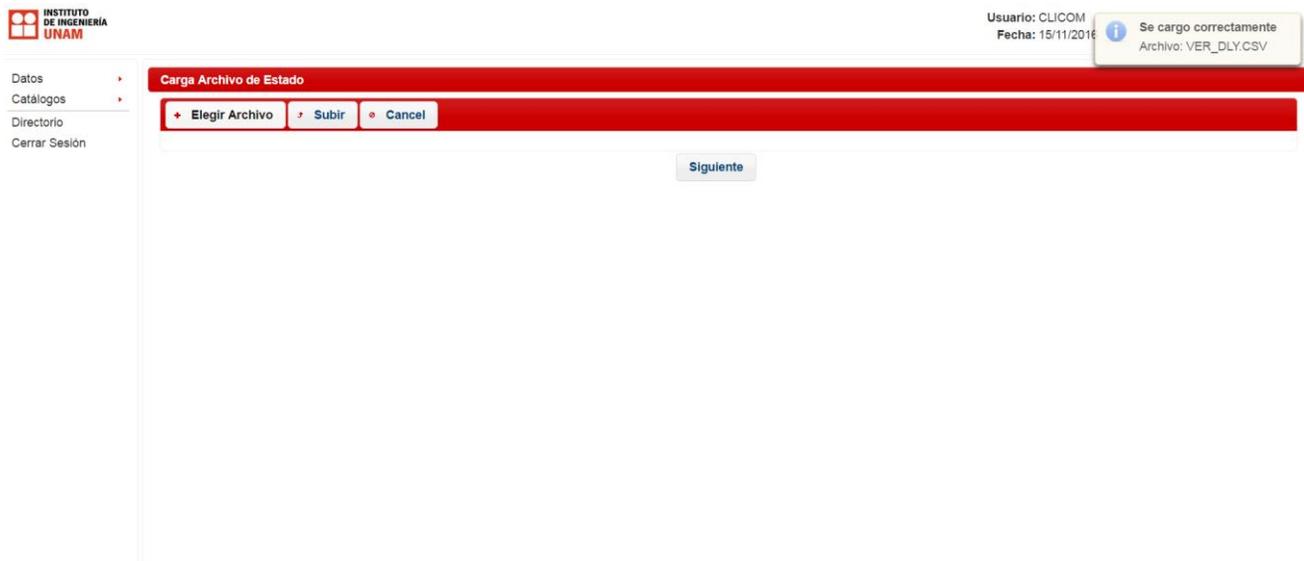


Figura 5.21. Hasta que aparezca la leyenda “Se cargó correctamente”, podemos continuar.

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

- En la parte de la opción “Estación”, ingresamos la estación deseada. La opción de “Elemento” se refiere al tipo de información que deseamos trabajar. La clave de precipitación de 24 horas, es la clave “005”, vea tabla 5.3 y figura 5.22.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Usuario: CLICOM
Fecha: 15/11/2016

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Elige Estacion

Estacion: --=Elija uno-- Elemento: --=Elija uno--

Reportes

Datos Estación

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15	Valor_16	Valor_17	Val
No records found.																					

Anterior Sigiente

Ejecutando Clicom v2.0 Derechos Reservados Copyright. Acerca de...

Figura 5.22. Muestra la pestaña para ingresar la estación deseada.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Usuario: CLICOM
Fecha: 15/11/2016

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Elige Estacion

Estacion: 00030011 Elemento: 005

Reportes

Exportar Datos

Datos Estación

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15	Valor_16	Valor_17	Val
00030011	005	1957	1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	8.0	
00030011	005	1957	2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	9.5	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	7.0	
00030011	005	1957	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	66.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	5	0.0	5.5	0.0	15.0	0.0	15.4	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	6	0.0	0.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	7	0.0	0.0	5.5	1.0	0.0	0.0	1.5	7.6	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	65.3	115.0	4.3	0.0	
00030011	005	1957	8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3	4.0	11.0	0.0	0.0	0.0	82.5	13.0	6.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	9	342.2	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.5	1.4	3.5	1.0	0.0	0.5	10.7	4.7	
00030011	005	1957	10	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	66.0	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1957	12	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	5.7	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1958	1	20.5	0.7	5.5	0.0	4.5	13.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	1.3	1.0	
00030011	005	1958	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
00030011	005	1958	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	5.0	0.5	0.0	0.0	

Exportar Datos

Ejecutando Clicom v2.0 Derechos Reservados Copyright. Acerca de...

Figura 5.23. Muestra las opciones para ingresar estación y elemento.

- CLICOM para cada estación muestra el número de años disponibles y tiene la opción de eliminar algún mes o año. En esta parte se deben de eliminar los años que no tienen registros de lluvia o de aquellas estaciones donde los meses de mayor importancia no hay registros. El archivo RDM ya antes generado es el que ayuda a eliminar los años donde no hay información. Figuras 5.24, 5.25 y 5.26.

INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM

Usuario: CLICOM
Fecha: 15/11/2016

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Reportes
Estación: 00030011 Elemento: 005 Años: 57

Element-Code	Station-Id	Year	Month	Description Days
No records found.				

Eliminar Mes
¿ Desea Eliminar algun Mes ? SI No

Element-Code	Station-Id	Year	Description
No records found.			

Eliminar Año
¿ Desea Eliminar algun Año ? SI No

Anterior Siguiente

Ejecutando Clicom v2.0 Derechos Reservados Copyright. Acerca de...

Figura 5.24. Muestra las opciones para eliminar meses o años.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Año/Est.	30011	30022	30033	30146	30161	30170	30183	30189	30204	30216	30294	30302			
2	1921															
3	1922															
4	1923															
5	1924															
6	1925															
7	1926				175											
8	1927				221.2											
9	1928				236.7											
10	1929				250											
11	1930				85.5											
12	1931				157.5											
13	1932				196.7											
14	1933				136.2											
15	1934				134.5											
16	1935															
17	1936															
18	1937															
19	1938															
20	1939				133											
21	1940				140											
22	1941				85.5											
23	1942		192		160											
24	1943				150											
25	1944		300		249											
26	1945				125											
27	1946		310		83											
28	1947				143											
29	1948				127											

Figura 5.25. Archivo RDM de la región 1, por ejemplo para la estación 30146, se eliminan los años de 1935 a 1938.

Eliminar Año

¿ Desea Eliminar algun Año ? Si No

Año: **Eliminar**

Anterior **Siguiete**

Figura 5.26 Se ingresa el año que se desea eliminar y se elige “Eliminar”.

5. Al finalizar la eliminación de datos, es necesario seleccionar “No” para poder continuar. Después aparecerá un ventana como la siguiente, donde el valor a ingresar es “0.001” y “Limpiar”. Figura 5.27.

Limpiar Datos

Es necesario limpiar los datos, indique el valor.

Sustituir (-99999).001 **Limpiar**

Anterior

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Usuario: CLICOM
Fecha: 15/11/2016

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Ejecutando Clicom v2.0 Derechos Reservados Copyright. Acerca de...

Figura 5.27. Ventana para eliminar datos de -99999.

- Por último aparecerá una ventana, donde se confirma que la estación con la que se trabajo ha sido limpiada. En esta parte es importante exportar los datos, que es un archivo llamado "DEPURADA". Figura 5.28.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Usuario: CLICOM
Fecha: 15/11/2016

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Estación Limpia

Estación: 00030011 Elemento: 005

Reportes

Exportar Datos

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15	Valor_16	Valor_17
00030011	005	1957	1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	6.0
00030011	005	1957	2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	9.5	11.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	7.0
00030011	005	1957	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	66.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	5	0.0	5.5	3.0	15.0	0.0	15.4	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	6	0.0	0.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	7	0.0	0.0	5.5	1.0	0.0	0.0	1.5	7.6	0.0	5.5	0.0	0.0	65.3	115.0	4.3	0.0	0.0
00030011	005	1957	8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.3	4.0	11.0	0.0	0.0	0.0	82.5	13.0	6.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	9	342.2	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.5	1.4	3.5	1.0	0.0	0.5	10.7	4.7
00030011	005	1957	10	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	66.0	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1957	12	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	5.7	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1958	1	20.5	0.7	5.5	0.0	4.5	13.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	1.3	1.0	0.0
00030011	005	1958	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030011	005	1958	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	5.0	0.5	0.0	0.0	0.0

Exportar Datos

Ejecutando Clicom v2.0 Derechos Reservados Copyright. Acerca de...

Figura 5.28. Muestra que la estación se ha limpiado.

- Para poder hacer la depuración de todas las estaciones restantes del estado, es necesario ingresar de nuevo en "Datos", "Procesar", "Estación". Figura 5.29.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

Datos
Catálogos
Directorio
Cerrar Sesión

Cargar Estado
Procesar
Procesados

Estación
Máximos

Estación: 005

Reportes

Exportar Datos

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15	Valor_16	Valor_17
00030302	005	1976	2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
00030302	005	1976	4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	5	1.3	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
00030302	005	1976	6	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.5	1.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	7	19.0	0.2	1.0	0.0	9.5	0.0	0.0	8.8	2.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	8	0.0	12.5	0.0	0.1	0.0	4.8	35.8	13.5	0.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	9	0.0	22.0	82.2	22.2	6.4	0.2	0.0	240.0	42.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	10	33.0	0.8	0.0	11.5	0.1	12.0	62.0	64.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	11	1.0	6.8	0.0	7.8	11.7	1.5	13.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	12	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	2	0.0	0.0	0.5	1.9	0.0	0.2	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 5.29. Para ingresar una nueva estación para ser depurada.

5.3.7 Obtención de los valores estandarizados

Los valores estandarizados son los que se usan para el análisis en AX, estos valores también se obtiene con CLICOM. Un valor estandarizado se obtiene al dividir un máximo valor entre la media.

El archivo de máximos que da CLICOM, son valores máximos de precipitaciones diarias acumuladas desde un día hasta sesenta días. Estos valores son los máximos al hacer el promedio de uno hasta sesenta días consecutivos, por ejemplo para dos días se van haciendo promedios de tomar dos días consecutivos, y al final se toma el valor máximo, todo esto se realiza para todas las estaciones climatológicas elegidas y para cada uno de los años.

El procedimiento para obtener los valores estandarizados en CLICOM, es el siguiente:

1. Una vez terminada la depuración de todas las estaciones climatológicas del estado, es necesario ingresar en “Datos”, “Procesar”, “Máximos”. En esta sección se obtienen los valores máximos de días consecutivos para cada estación.

The screenshot shows the CLICOM web interface. On the left, there is a navigation menu with options: Datos, Catálogos, Directorio, and Cerrar Sesión. The 'Procesar' option is selected, and a sub-menu is open showing 'Estación' and 'Máximos'. The 'Máximos' option is highlighted. In the center, there is a dropdown menu for 'Estación' with the value '005' selected. Below this, there is a red button labeled 'Exportar Datos' with icons for Excel and PDF. At the bottom, there is a table with the following columns: Station-Id, Element-Code, Año, Mes, Valor_1, Valor_2, Valor_3, Valor_4, Valor_5, Valor_6, Valor_7, Valor_8, Valor_9, and Valor_10. The table contains 20 rows of data for station 00030302, covering years 1976 and 1977, and months 2 through 5.

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10
00030302	005	1976	2	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
00030302	005	1976	4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1976	5	1.3	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
00030302	005	1976	6	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	5.5	1.0
00030302	005	1976	7	19.0	0.2	1.0	0.0	9.5	0.0	0.0	6.8	2.5	8.0
00030302	005	1976	8	0.0	12.5	0.0	0.1	0.0	4.8	35.8	13.5	0.2	4.0
00030302	005	1976	9	0.0	22.0	82.2	22.2	6.4	0.2	0.0	240.0	42.5	34.0
00030302	005	1976	10	33.0	0.8	0.0	11.5	0.1	12.0	62.0	64.0	0.5	1.0
00030302	005	1976	11	1.0	6.8	0.2	7.8	11.7	1.5	13.0	1.4	0.0	0.0
00030302	005	1976	12	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	2	0.0	0.0	0.5	1.9	0.0	0.2	1.0	0.3	0.0	0.0
00030302	005	1977	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
00030302	005	1977	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0
00030302	005	1977	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 5.30. Muestra el inicio para obtener los máximos de cada estación.



Figura 5.31. Muestra el ingreso de una estación y la clave de precipitación para generar el máximo.

2. Luego es necesario ingresar en “Datos”, “Procesados”, “Máximos”. Se debe seleccionar que se desea obtener máximos de varias estaciones, se seleccionan todas las estaciones con las que en esa sección se trabajó.

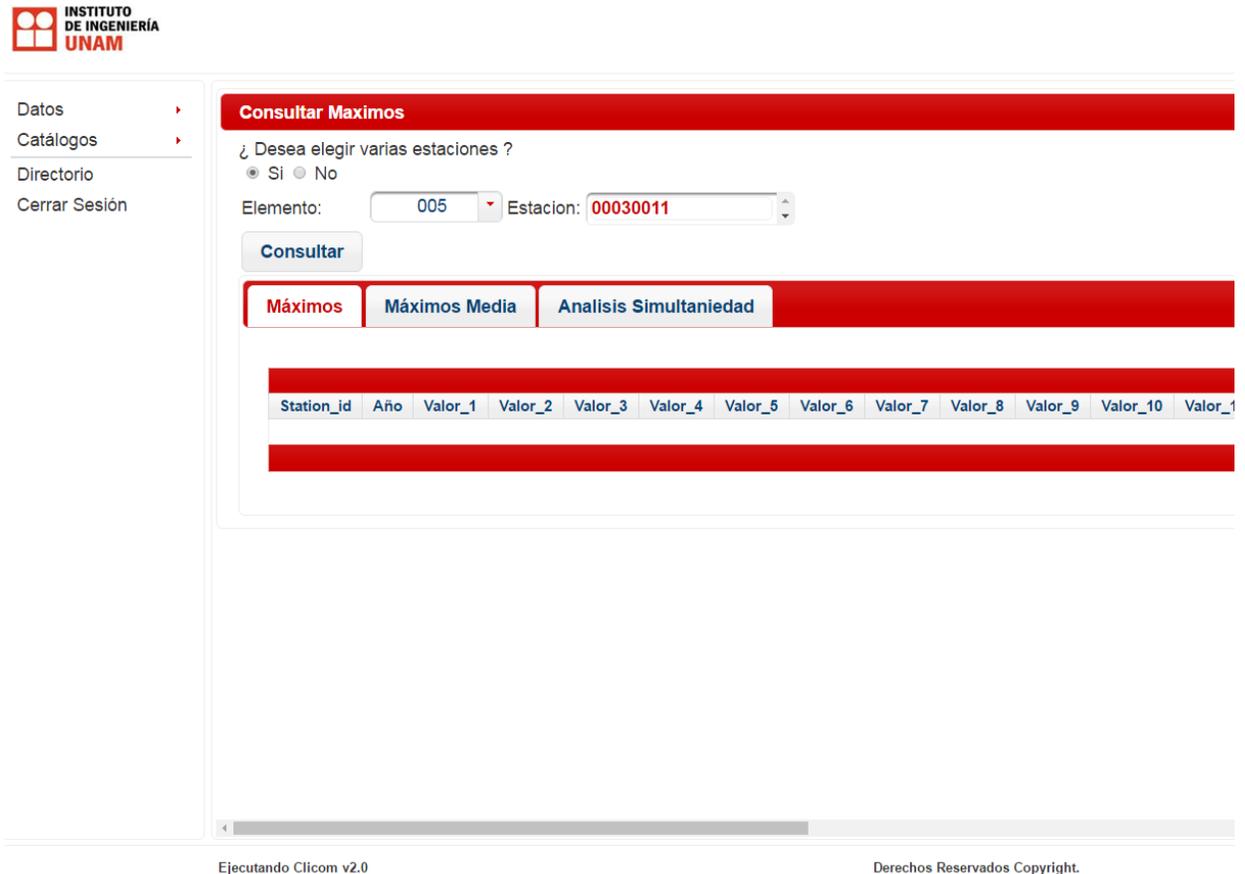


Figura 5.32. Muestra la consulta de máximos de toda una región.

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

3. Después es posible obtener los archivos análisis, transform y max, en las pestañas que llevan el nombre “Máximos”, “Máximos Media” y “Análisis simultaneidad”.

El archivo **transform** es el que contiene los valores estandarizados y los necesarios para trabajar en AX.

Station_id	Año	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15	Valor_16	Valor_17
30146	1926	1.08756708	1.08411783	1.20238549	1.11373548	1.04918974	1.12822662	1.08966284	1.03855651	0.99939387	1.01211364	1.00007866	1.13509789	1.14735582	1.12264553	1.10340891	1.12144045	1.10455958
30146	1927	1.37468478	1.23846051	1.26781874	1.24980271	1.17737129	1.13367389	1.09635348	1.07710745	1.04513783	1.01993023	0.98090537	0.95912704	0.99386817	1.2555434	1.26888701	1.38862079	1.39275131
30146	1928	1.47101215	1.15617541	1.05050104	1.00466572	1.04003391	1.02825311	1.00085972	0.98725188	0.9639702	0.94850277	0.9052348	0.96624441	0.96725731	0.96210448	0.9454626	0.91625776	0.89818665
30146	1929	1.55366725	1.70148853	1.55850098	1.45858312	1.41304901	1.36630454	1.39013364	1.36029744	1.34107891	1.31076129	1.27566271	1.26075629	1.2360352	1.22678026	1.19002462	1.15328278	1.11767526
30146	1930	0.5313542	0.6624648	0.78718179	0.74513007	0.71449346	0.74948085	0.80014036	0.89159917	0.88363935	0.87411104	0.97476992	0.93581151	0.90595729	0.98379921	0.97470371	0.92785596	0.95336535
30146	1931	0.97881037	0.79216843	0.82247609	0.82648244	0.82538068	0.81484814	0.78250139	0.81681615	0.81307093	0.80079617	1.01822937	1.0197474	1.00432244	1.04911179	1.04470516	1.01136299	0.9928079
30146	1932	1.22242539	1.67777927	1.83649314	1.67852248	1.62973687	1.68064431	1.60119309	1.57102325	1.51178197	1.46547586	1.41984583	1.41292076	1.41298924	1.37110735	1.41132667	1.38355976	1.35249129
30146	1933	0.84643792	1.15152653	1.05843235	1.08745795	1.03630376	0.7922765	0.92939147	0.9449328	0.92519941	1.00052352	1.0172068	1.08503087	0.99603487	1.13383544	1.14638448	1.20979764	1.21168342
30146	1934	0.83587298	0.86701533	0.75347376	0.68393582	0.7392481	0.86515532	0.82112466	0.78696091	0.75728562	0.760096	0.72091956	0.69210293	0.71801808	0.70313783	0.73412911	0.7277343	0.72590648
30146	1939	0.82655098	0.93209959	0.88513338	0.84484071	0.85081353	0.88854655	0.9193355	0.87623677	0.89535426	0.92640069	0.9425588	0.90856916	0.87958402	0.86984476	0.88698038	1.02612434	1.04553422
30146	1940	0.87005366	0.87631308	0.74752528	0.7001343	0.82097232	0.9109765	0.87677866	0.84000468	0.83510613	0.88623959	0.84055691	0.80696256	0.7866836	0.86641927	0.98821665	0.94071941	0.92393671
30146	1941	0.5313542	0.63550132	0.60555496	0.57486605	0.59241579	0.58221748	0.57752434	0.60782948	0.62953725	0.62721397	0.61916935	0.61160301	0.61228742	0.62503678	0.62403919	0.60922179	0.60676136
30146	1942	0.99343704	0.79263332	0.75347376	0.74153041	0.73416153	0.84913392	0.83785127	0.88261362	0.94277178	0.912238473	0.86918902	0.97238007	0.96630692	0.96986891	0.97957723	0.96265055	0.95275225
30022	1942	1.0394961	0.89269575	0.87225555	0.99473779	0.98314628	0.94359695	0.92077087	0.93383443	1.03147079	1.00123942	1.01372344	1.00303013	1.00541545	0.97213813	0.97723467	0.97511824	0.94534555
30146	1943	0.93220035	0.77171338	1.06676022	0.97190879	1.00714076	1.13591689	1.26514022	1.31594936	1.40439524	1.37059863	1.31273106	1.27253677	1.23788027	1.23089085	1.20398061	1.16298309	1.13116339
30022	1944	1.62421265	1.88224057	1.85320234	1.81808495	1.72050599	1.67388794	1.60599571	1.60995429	1.5568461	1.5117207	1.45278129	1.39020189	1.34226557	1.29783915	1.24704678	1.21223465	1.19607919
30146	1944	1.54742558	2.02226096	2.23464454	2.16699664	2.13127262	2.13725406	2.07741427	2.0217504	1.99014102	1.93123681	1.83296626	1.7707527	1.72733005	1.70589139	1.67582581	1.6016059	1.5613529
30146	1945	0.727683363	0.59970498	0.79709592	0.90351521	1.07496169	1.02857354	0.994473	0.95507779	0.92324692	0.89216941	0.85001573	0.82708754	0.85653712	0.8289673	0.88609428	1.90465956	0.87979375
30146	1946	0.51581753	0.56716284	0.70588594	0.67493666	0.63582119	0.6008023	0.57630786	0.60145263	0.61503307	0.65767171	0.64166601	0.62215636	0.64888782	0.61887091	0.60032888	0.58096435	0.56813626
30022	1946	1.67835307	1.35588694	1.21353684	1.11571941	1.03292584	0.96070142	0.98768736	1.01955307	1.04472567	1.07781161	1.10042347	1.14343308	1.15021992	1.14293257	1.09736303	1.05783327	1.01976826
30146	1947	0.88869767	0.82285101	0.78916462	0.9611098	1.07835273	1.17917465	1.15413633	1.10870183	1.07386726	1.08219341	1.05580901	1.02097453	0.99434336	0.97397949	0.98910274	0.9658137	0.94212524
30146	1948	0.78926296	0.84144652	0.75743941	0.69833446	0.67142717	0.63444723	0.63257011	0.60290191	0.58574578	0.570072	0.5406867	0.52889426	0.5191494	0.51153905	0.50175089	0.49028752	0.47923724
30161	1949	0.712742	0.5365185	0.59615201	0.53394304	0.48270722	0.53815191	0.5562275	0.58064516	0.71234318	0.72212533	0.69852153	0.7277165	0.72528844	0.70678701	0.7157513	0.72557033	0.70790993
30022	1949	1.21545247	1.26956495	1.38167748	1.36776446	1.31760269	1.21441782	1.14828693	1.13128492	1.07967036	1.06504958	1.02595037	0.98175696	0.98795676	0.95525728	0.95053948	0.95214185	0.96395123
30146	1949	0.90734168	1.28541415	1.36220124	1.31207687	1.27164238	1.24326023	1.2438518	1.32464506	1.33326897	1.31938649	1.42265791	1.41733844	1.38400241	1.33708087	1.30809669	1.26314936	1.234368
30146	1950	0.64011091	0.84144652	0.91606546	1.07629899	1.0902214	1.07343345	1.09635348	1.12609323	1.09199749	1.23313446	1.20024778	1.15841341	1.12502117	1.13040996	1.13752354	1.08812198	1.10255221
30022	1950	0.83646952	0.78742503	0.85324216	0.94768938	0.90536572	0.86947755	0.86723768	0.88623667	0.96399139	0.98383665	0.96259265	0.94133793	0.90887914	0.89071287	0.87959879	0.85839815	0.82839559
30161	1950	1.00110327	1.04288232	1.26191251	1.3723407	1.29099976	1.25927546	1.23250953	1.28439191	1.37896708	1.39854934	1.40111421	1.36256847	1.33404517	1.29950645	1.29675049	1.25332439	1.24906267
30146	1951	1.22428979	1.68289303	1.47125665	1.41106758	1.35980958	1.28972228	1.28034623	1.24638376	1.20635738	1.20618041	1.15934477	1.19400026	1.18323296	1.21376342	1.25825388	1.2030496	1.22210607
30161	1951	1.39283933	1.78695908	1.59306978	1.47270363	1.34798411	1.28316416	1.23024435	1.18341014	1.19862996	1.19688669	1.1658453	1.17538187	1.24138629	1.21645898	1.18490242	1.13602538	1.12872701
30146	1952	0.83989032	1.04599705	0.90813416	0.98630744	0.9291467	0.90360666	0.90627833	0.93768639	0.9734537	0.98785526	0.99573271	0.98784195	1.10838991	1.07217672	1.05666743	1.1914514	1.18838575
30022	1952	0.9501644	1.22956207	1.08560374	1.0233029	0.96292333	1.01714619	1.0596895	1.06424581	1.01267296	1.00031127	0.9612588	1.11513975	1.13317202	1.10837648	1.07371872	1.21315371	1.31550991
30161	1952	1.7573715	1.60289798	1.44489327	1.30196425	1.1797973	1.13143157	1.09987066	1.07064716	1.06402111	1.02894541	1.07520891	1.22452096	1.31543247	1.28556704	1.26468483	1.38910577	1.50937333
30204	1952	1.03691303	1.30162066	1.16751839	1.0976294	1.03561644	1.10810731	1.13438395	1.13627092	1.08215961	1.06272959	1.0176494	1.18128517	1.19982	1.17649949	1.15350772	1.28493426	1.39379078
30161	1953	1.08978796	0.91678089	0.80670049	0.86899612	1.01327022	1.1020301	1.19626665	1.17980365	1.13305283	1.08862335	1.05571031	1.05461633	1.0912708	1.08923731	1.06370187	1.01982433	1.06445278
30146	1953	1.38897852	1.04134817	0.8883059	0.80632433	0.83589292	0.85542448	0.86066029	0.87971505	0.85212065	0.82343733	0.82700779	0.79886349	0.81614563	0.78900332	0.76799441	0.73279533	0.74491248
30033	1953	0.92406646	0.86422279	0.82739732	0.86915481	1.19808592	1.19772824	1.17363588	1.20162899	1.15712804	1.09985072	1.07488526	1.04933247	1.09404132	1.08008121	1.0654347	1.02941392	0.99341142
30204	1953	1.32346735	1.04753717	0.92418712	0.84754575	0.78674737	0.73045639	0.6739255	0.67807529	0.64512371	0.61737885	0.58920238	0.57173482	0.60219103	0.58814446	0.59588691	0.59442312	0.61060417

Figura 5.33. Archivo transform de la región 1 del estado de Veracruz.

5.4 Programa AX

El objetivo de usar AX es ajustar distintas funciones de probabilidad a series de datos de lluvia, calcular el error estándar para que una vez definida dicha función, se use una extrapolación y estimar valores para distintos periodos de retorno. Las funciones de probabilidad que podemos encontrar en AX son: Normal, Log-normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y doble Gumbel.

5.4.1 Obtención de las funciones de distribución para cada región

Para cada una de las seis regiones del estado de Veracruz se ajustó una función de distribución. Se usó la función Gumbel y doble Gumbel. Dependiendo de cada región, se decide cual función representa más el comportamiento de los valores de lluvia que se tienen.

Para las regiones donde se presentan lluvias extraordinarias fue necesario usar la función doble Gumbel ya que se presentan un poco de datos dispersos en comparación de los del resto de la población.

Para poder visualizar la relación entre los valores y la función de probabilidad es necesario utilizar el programa AX, a continuación se describe el procedimiento para usar dicho programa:

1. El archivo que es de interés para trabajar en AX, es el que lleva por nombre “transform” y se obtiene en CLICOM, en el apartado anterior se describe como obtenerlo.
2. Se debe de ingresar al archivo, seleccionar todos los valores numéricos de la comuna que lleva por nombre “Valor_1”. Figura 5.34.

	A	B	C	D
	Station_id	Año	Valor_1	Valor_2
1	30146	1926	1.08756708	1.08411782
2	30146	1927	1.37468478	1.23846051
3	30146	1928	1.47101215	1.15617541
4	30146	1929	1.55366725	1.70148852
5	30146	1930	0.5313542	0.6624648
6	30146	1931	0.97881037	0.7921684
7	30146	1932	1.22242539	1.6777792
8	30146	1933	0.84643792	1.1515265
9	30146	1934	0.83587298	0.8670153
10	30146	1939	0.82655098	0.9320995
11	30146	1940	0.87005366	0.8763130
12	30146	1941	0.5313542	0.6355013
13	30146	1942	0.99434704	0.7926333
14	30022	1942	1.0394961	0.8926957
15	30146	1943	0.93220035	0.7717133
16	30022	1944	1.62421265	1.8822405
17	30146	1944	1.54745258	2.0222609
18	30146	1945	0.77683363	0.5997049
19	30146	1946	0.51581753	0.5671628
20	30022	1946	1.67835307	1.3558869
21	30146	1947	0.88869767	0.8228510
22	30146	1948	0.78926296	0.8414465
23	30161	1949	0.712742	0.536518
24	30022	1949	1.21545247	1.2695649
25	30146	1949	0.90734168	1.2854141
26	30146	1950	0.64011091	0.8414465
27	30022	1950	0.83646952	0.7874250
28	30161	1950	1.00110327	1.0428823
29	30146	1951	1.22428979	1.6828930
30	30161	1951	1.39283933	1.7869590
31	30146	1952	0.83898032	1.0459970
32	30022	1952	0.9501644	1.2295620
33	30161	1952	1.7573715	1.6028979
34	30204	1952	1.03691303	1.3016206
35	30161	1953	1.08978796	0.9167808
36	30146	1953	1.38897852	1.0413481
37	30033	1953	0.92406646	0.8642227
38	30204	1953	1.32346735	1.0475371
39				

- Dichos valores se pegan en una hoja de bloc de notas, pero se guardan con la extensión **.aju**. Figura 5.35.

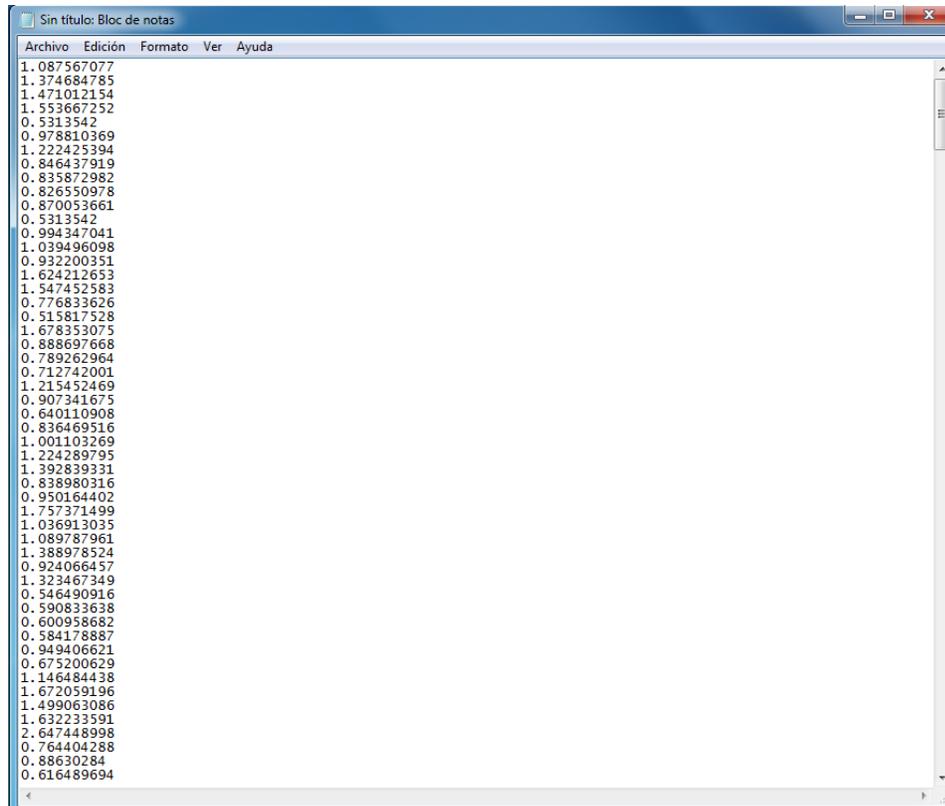


Figura 5.35. Archivo en Bloc de notas.

- Una vez que hemos generado el archivo, podemos trabajar en el programa AX. Dando clic en "Archivos", "Abrir", elegimos nuestro archivo que hemos guardado con la extensión **.aju**. Figura 5.36.

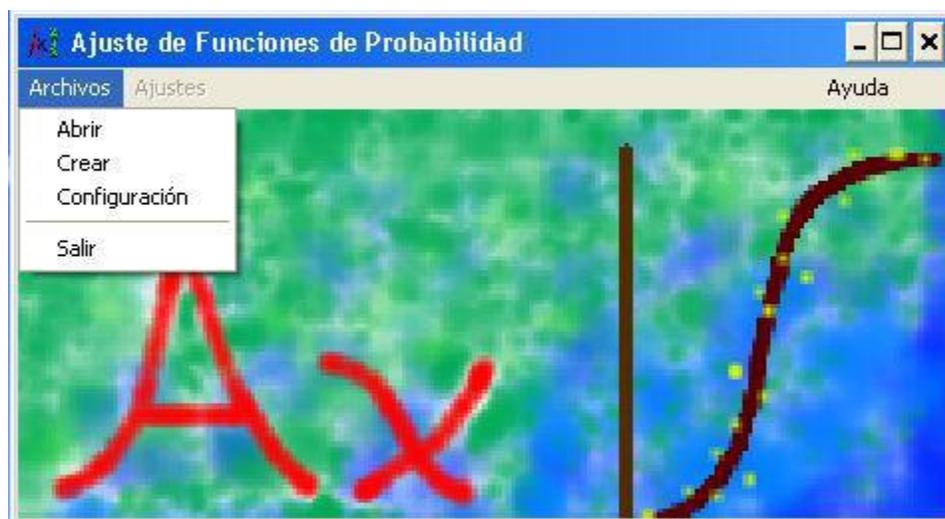


Figura 5.36. Inicio del programa AX.

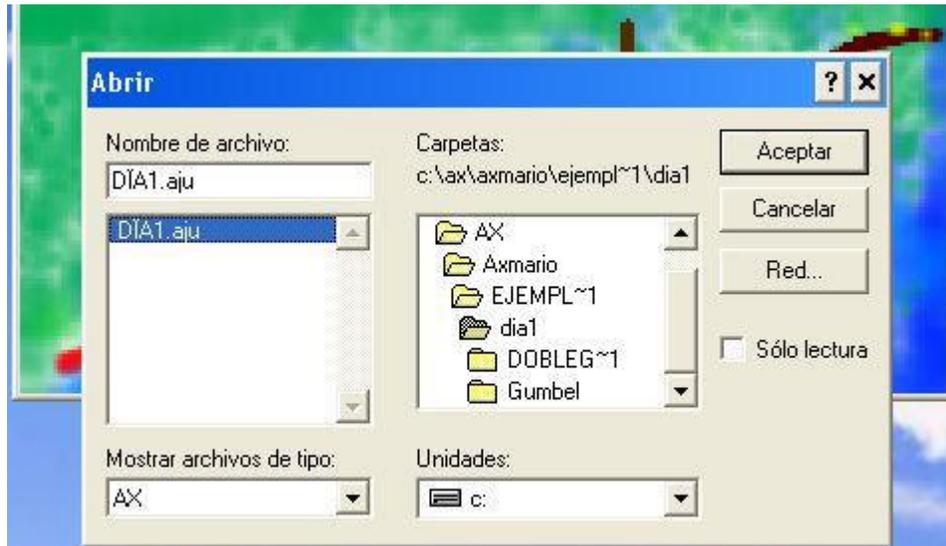


Figura 5.37. Elegir el archivo con los valores estandarizados.

5. Los siguientes pasos son para elegir entre la función de probabilidad Gumbel y doble Gumbel.
6. Para *Gumbel*, damos clic en “Ajustes”, “Ajustar una función”, “Gumbel” y “Momentos”. Figura 5.37 y 5.38.



Figura 5.38. Inicio para elegir la función Gumbel.

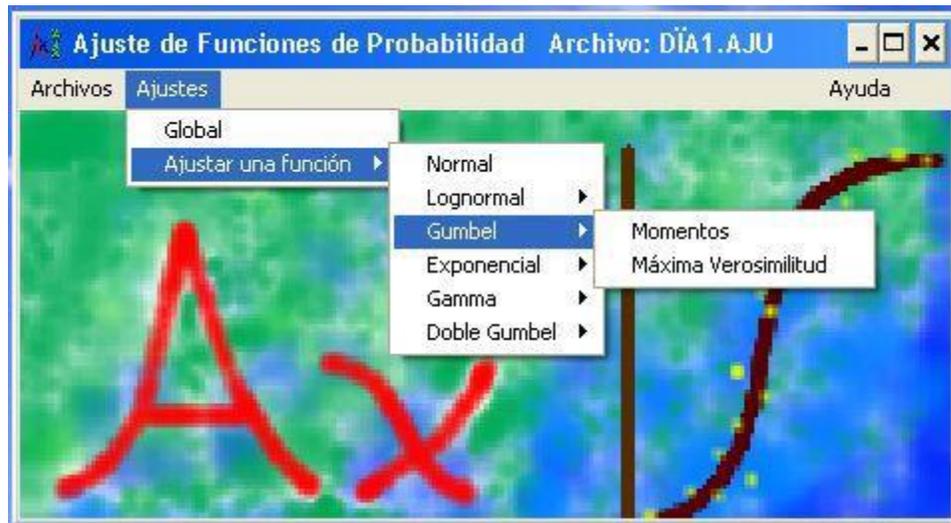


Figura 5.39. Elección de la función Gumbel.

7. Después en “Extrapolar” y finalmente en “Guardar”.



Figura 5.40. Pasos finales de la elección Gumbel.

- Para *doble Gumbel*, damos clic en “Ajustes”, “Ajustar una función”, “Doble Gumbel” y “Manual”, en esta parte se elige la opción manual para poder ingresar manualmente los parámetros de la función de probabilidad (α_1 , β_1 , α_2 , β_2 y P) con el propósito de hacer menor el error. Figura 5.41.

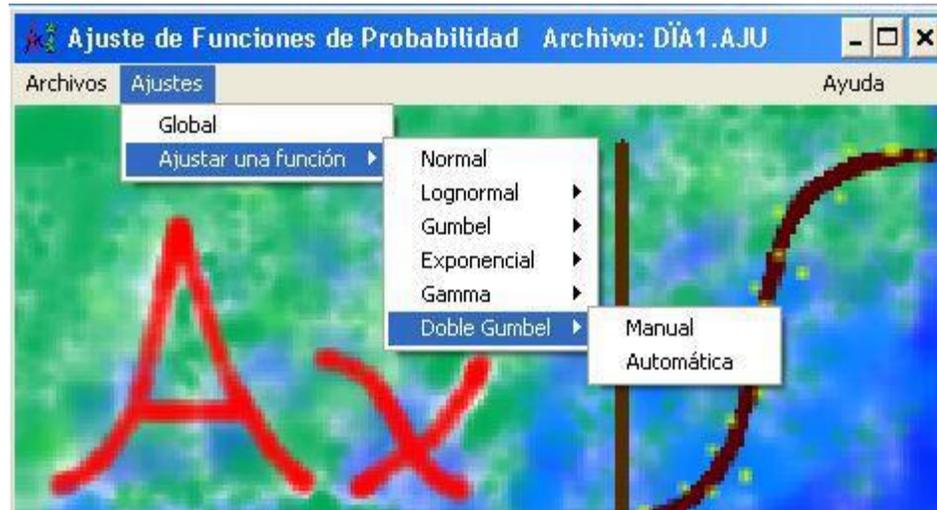


Figura 5.41. Inicio 0 para elegir la función doble Gumbel.

- Después se elige “OK”.

P	0.98
Ciclos	1
Ciclos 1ª pob	1
Contador de alfa1	6
Error	.02
Contador de beta1	1
Error	.02
Ciclos 2ª pob	1
Contador de alfa2	14
Error	.03
Contador de beta2	11
Error	.03
Error global	.033

Resultados de la optimización:	
P	.98
α_1	4.40884
β_1	.8549
α_2	7.510301
β_1	1.7706
Error	.023

Figura 5.42. Optimización de la función doble Gumbel.

10. El archivo que se ha generado “Archivo RDG”, se elige y se abre. Figuras 5.43 y 5.44.



Figura 5.43 Archivo RDG.

DÍA1 - Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
0.7	6.236524	0.7659	4.791688	1.2255	0.033
0.71	6.27799	0.7689	5.044073	1.2465	0.036
0.72	6.204465	0.7716	5.050985	1.2547	0.036
0.73	6.180212	0.7746	5.054269	1.2637	0.037
0.74	6.090105	0.7777	5.053144	1.2728	0.037
0.75	5.943006	0.7807	5.053215	1.2696	0.035
0.76	5.857395	0.7838	5.05234	1.2793	0.035
0.77	5.833772	0.7869	5.054476	1.2897	0.035
0.78	5.814671	0.7899	5.063633	1.3011	0.035
0.79	5.742266	0.7929	5.083276	1.3135	0.035
0.8	5.729009	0.796	5.110804	1.327	0.036
0.81	5.708945	0.799	5.133773	1.3407	0.036
0.82	5.625278	0.8021	5.150285	1.3546	0.036
0.83	5.596425	0.8053	5.168149	1.3693	0.036
0.84	5.452469	0.8084	5.182758	1.3707	0.034
0.85	5.417945	0.8116	5.199261	1.3868	0.035
0.86	5.336685	0.8144	5.216815	1.4023	0.034
0.87	5.302764	0.8176	5.308175	1.4216	0.035
0.88	5.260848	0.8209	5.337619	1.4417	0.035
0.89	5.211985	0.8241	5.356632	1.4627	0.035
0.9	5.111466	0.8274	5.448407	1.4865	0.034
0.91	5.011502	0.8308	5.516482	1.4988	0.033
0.92	4.952607	0.8341	5.627439	1.5278	0.033
0.93	4.846079	0.8376	5.762434	1.5481	0.031
0.94	4.811682	0.841	5.885929	1.5812	0.03
0.95	4.717795	0.8444	5.998662	1.6169	0.029
0.96	4.629919	0.8479	6.268505	1.6524	0.027
0.97	4.53543	0.8515	6.639747	1.7103	0.025
0.98	4.40884	0.8549	7.510301	1.7706	0.023

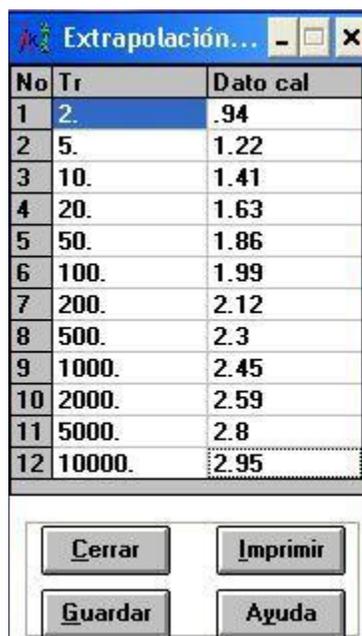
Figura 5.44. Archivo RDG, muestra distintos valores de α_1 , β_1 , α_2 , β_2 y P.

11. Se ingresan manualmente los valores para α_1 , β_1 , α_2 , β_2 y P.

Actual:		Propuesto:		
α_1	4.40884	α_1	4.717795	X
β_1	.855	β_1	0.8444	OK
α_2	7.5103	α_2	5.998662	?
β_2	1.771	β_2	1.6169	
P	0.98	P	0.95	
Error estándar:		0.0228		

Figura 5.45. Ingreso de valores α_1 , β_1 , α_2 , β_2 y P.

12. OK", "Extrapolar" y "Guardar". Figura 5.46.



No	Tr	Dato cal
1	2.	.94
2	5.	1.22
3	10.	1.41
4	20.	1.63
5	50.	1.86
6	100.	1.99
7	200.	2.12
8	500.	2.3
9	1000.	2.45
10	2000.	2.59
11	5000.	2.8
12	10000.	2.95

16	62.13	1.89	1.9	.
17	58.47	1.86	1.89	.
18	55.22	1.84	1.88	.
19	52.32	1.84	1.87	.
20	49.7	1.84	1.85	.
21	47.33	1.82	1.84	.
22	45.18	1.79	1.84	.
23	43.22	1.77	1.83	.
24	41.42	1.77	1.82	.
25	39.76	1.75	1.81	.
26	38.23	1.75	1.8	.
27	36.81	1.73	1.79	.
28	35.5	1.7	1.78	.01
29	34.28	1.7	1.78	.01
30	33.13	1.69	1.77	.01
31	32.06	1.68	1.76	.01
32	31.06	1.67	1.75	.01
33	30.12	1.66	1.75	.01
34	29.24	1.66	1.74	.01
35	28.4	1.64	1.73	.01
36	27.61	1.64	1.72	.01

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 1.$ $\sigma = .312$ $\gamma = 1.004$ $\kappa = 4.805$

Parámetros de la función: **Doble Gumbel**

Parámetro	Alfa1	Beta1	Alfa2	Beta2	P
Valor	4.40884	.8549	7.510301	1.7706	.98

Error estándar = .023

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Figura 5.46. Pasos finales para la función doble Gumbel.

Después de haber seguido el procedimiento mencionado en el apartado anterior, se obtuvieron las gráficas para las seis regiones, tanto para Gumbel como para doble Gumbel. Las siguientes figuras de la 5.47 a 5.52 son el resultado de haber ajustado a los valores una función de distribución, solo se presenta para cada región la que mejor se ajustó.

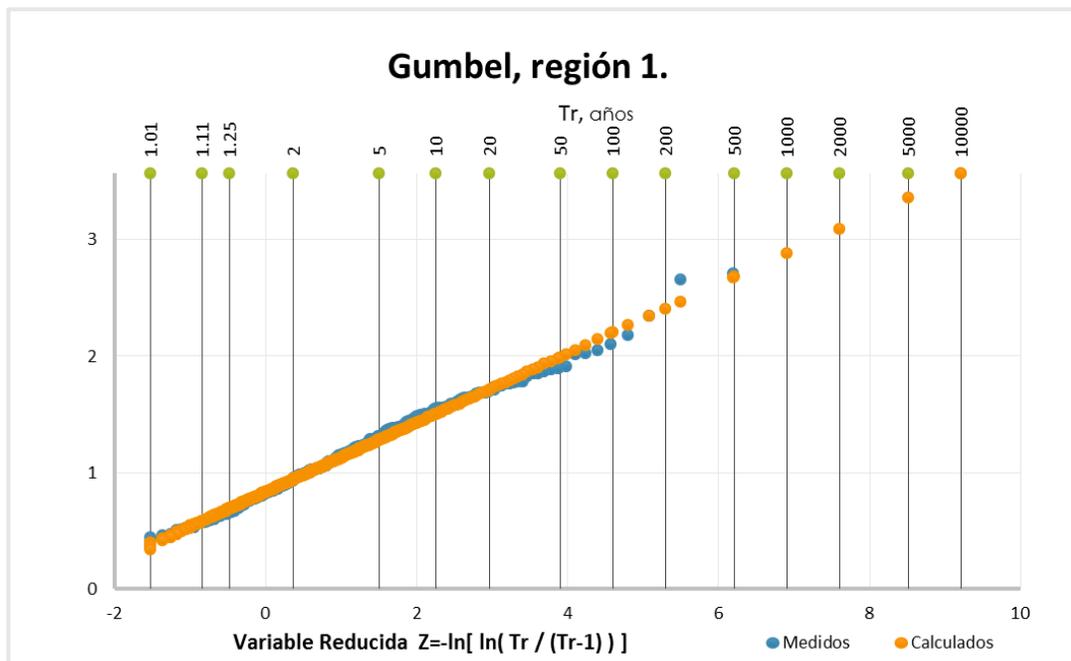


Figura 5.47. Función Gumbel para la región número 1.

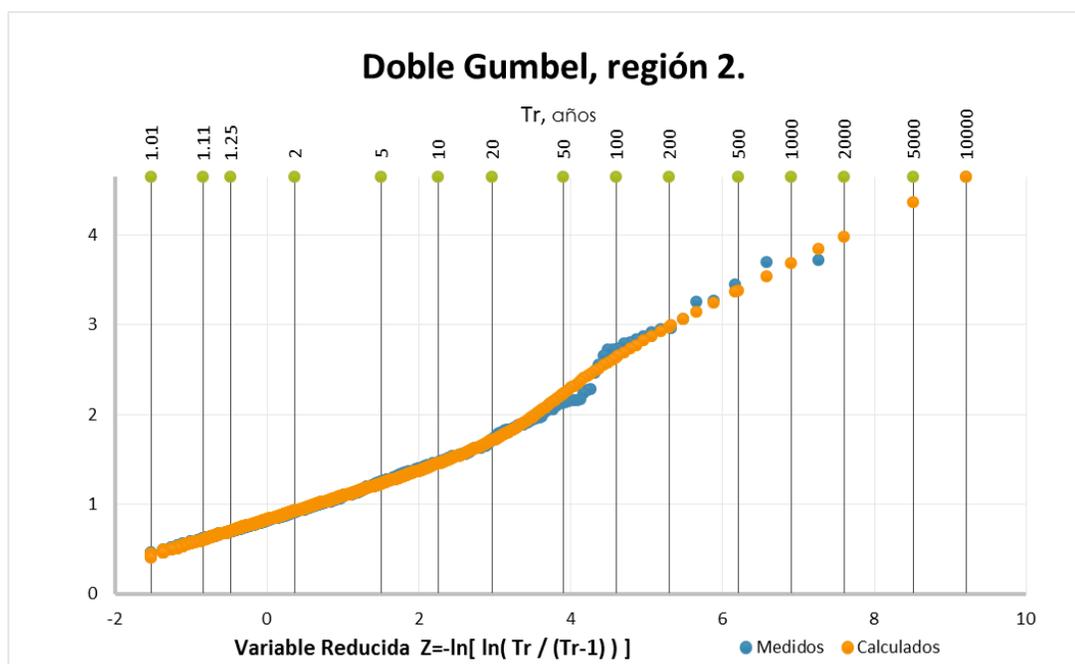


Figura 5.48. Función Doble Gumbel para la región número 2.

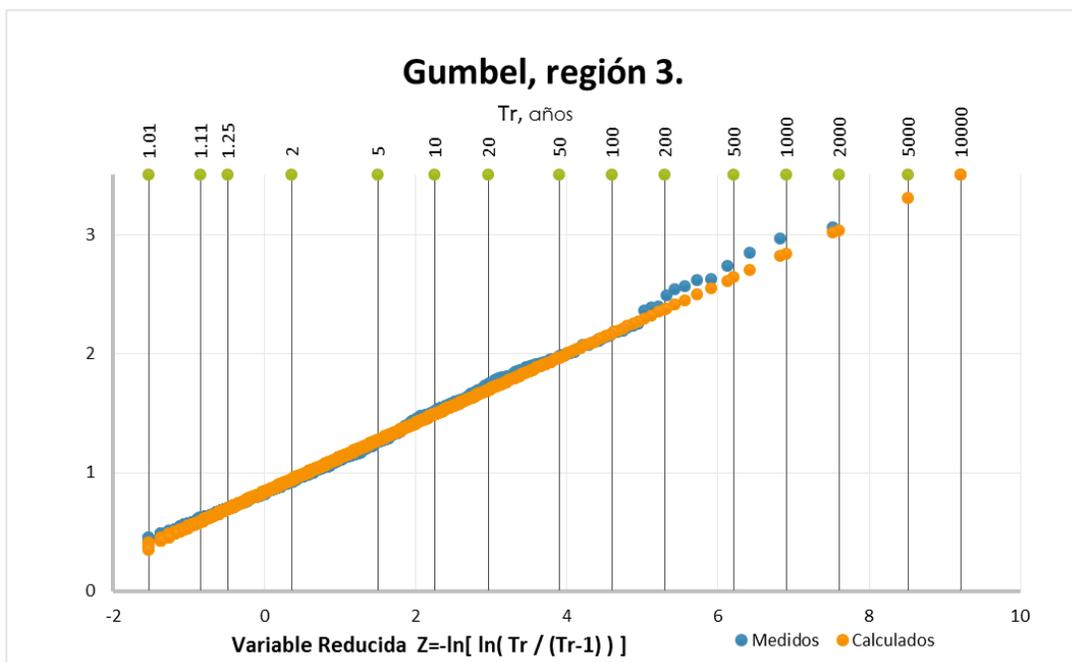


Figura 5.49. Función Gumbel para la región número 3.

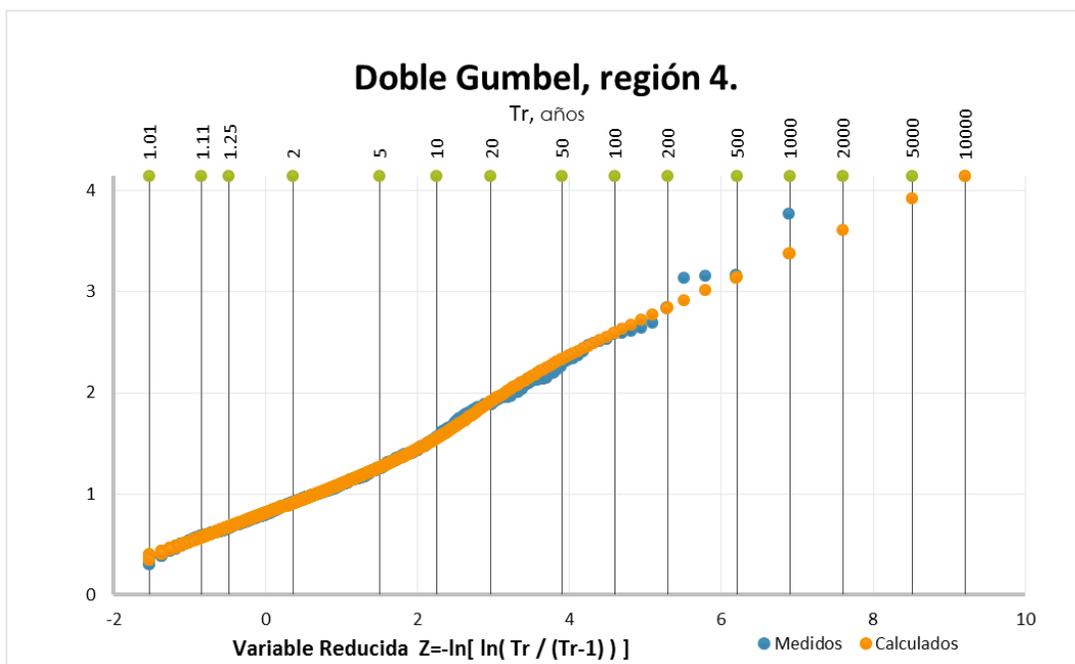


Figura 5.50. Función Doble Gumbel para la región número 4.

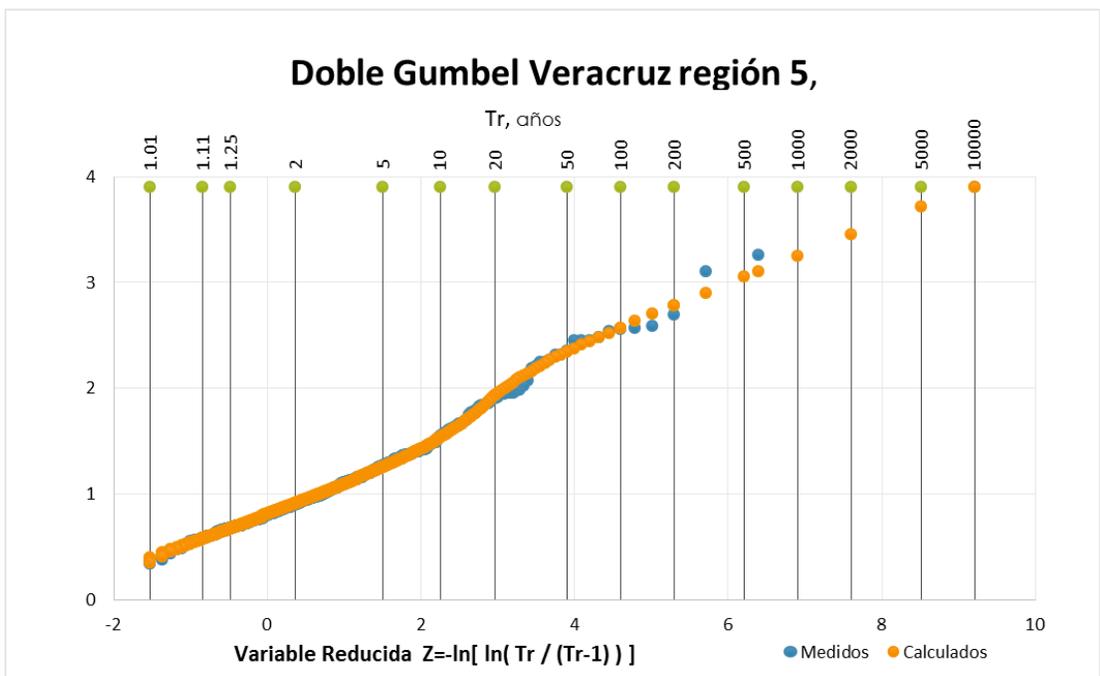


Figura 5.51. Función Doble Gumbel para la región número 5.

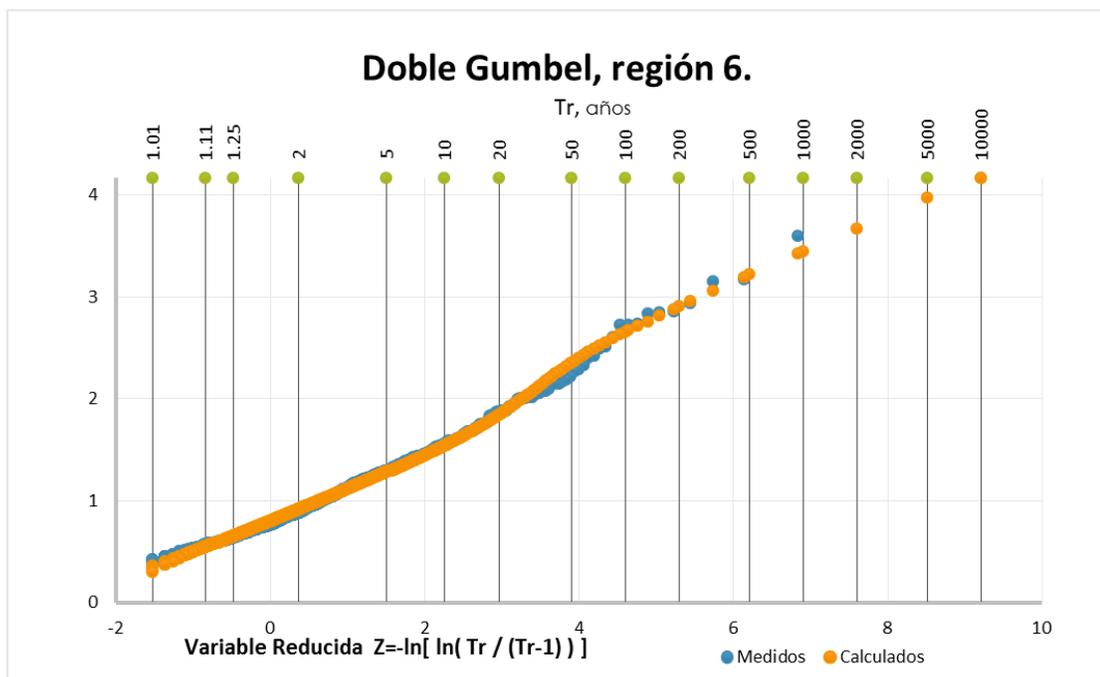


Figura 5.52. Función Doble Gumbel para la región número 6.

La tabla 5.5 muestra un resumen de cuáles fueron las distribuciones que se eligieron para cada una de las regiones.

Tabla 5.5. Resumen de las funciones para región.

Región	Gumbel	Doble Gumbel	P
1	X		
2		X	0.98
3	X		
4		X	0.96
5		X	0.95
6		X	0.98

Cabe destacar que en las regiones donde hay eventos extraordinarios, fue necesario la función doble Gumbel, la cual se puede ajustar a dos poblaciones (valores que se dispersan del resto de la muestra, debido a los eventos extraordinarios).

Con la función para cada región es posible inferir eventos para ciertos periodos de retorno. La tabla 5.6 muestra los factores para diferentes periodos de retorno de las seis regiones definidas.

Tabla 5.6. Factores de región para diferentes periodos de retorno por región.

Tr años	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Región 6
2	0.94	0.92	0.94	0.91	0.91	0.92
5	1.27	1.23	1.27	1.26	1.25	1.28
10	1.5	1.45	1.49	1.54	1.53	1.54
20	1.71	1.71	1.7	1.91	1.93	1.84
50	1.99	2.23	1.97	2.33	2.34	2.35
100	2.2	2.63	2.17	2.59	2.57	2.65
200	2.4	2.97	2.37	2.84	2.78	2.91
500	2.68	3.38	2.64	3.15	3.05	3.22
1000	2.88	3.68	2.84	3.38	3.25	3.45
2000	3.09	3.98	3.04	3.61	3.45	3.67
5000	3.36	4.36	3.31	3.92	3.71	3.97
10000	3.57	4.65	3.51	4.15	3.9	4.17

Es importante mencionar que para la región 2 se obtiene factores más grandes en comparación de las otras regiones, esto se debe principalmente a que en la zona sur de la región se presentaron eventos de lluvia más grandes mientras que en la parte norte hay eventos pequeños, lo que hace que para esa región la función que mayor se ajuste es la doble Gumbel. A manera de comparación, en la tabla 5.7 se muestran los factores para diferentes periodos de retorno que se obtendrían con la función Gumbel.

Tabla 5.7. Factores región 2 con Gumbel.

Tr (años)	Región 2 (Gumbel)
2	0.93
5	1.29
10	1.53
20	1.76
50	2.05
100	2.27
200	2.49
500	2.78
1000	3
2000	3.22
5000	3.51
10000	3.73

5.5 Resultados

5.5.1 Análisis de resultados

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 (Tabla 5.8) por el valor del evento estimado (Tabla 5.6).

Dichas precipitaciones de diseño para todas las estaciones climatológicas usadas en este trabajo se encuentran en las tablas de 5.9 a 5.14.

Tabla 5.8. Valor de la media de todas las estaciones climatológicas analizadas.

Región	Estaciones/media											
1	30011	30022	30033	30146	30161	30170	30183	30189	30204	30216	30294	30302
	215.76	184.70	261.67	160.91	183.80	238.16	160.10	206.94	169.25	178.25	233.45	167.41
2	30001	30013	30014	30017	30025	30029	30031	30035	30037	30043	30044	30070
	107.39	119.31	100.40	104.44	136.01	105.03	115.06	100.63	129.31	128.41	95.33	119.85
	30077	30081	30083	30090	30095	30103	30107	30110	30116	30117	30118	30121
	124.02	133.58	92.08	137.22	94.71	89.84	133.96	114.63	107.13	115.12	102.85	125.95
	30131	30143	30147	30148	30149	30150	30152	30167	30172	30185	30214	30221
	129.42	102.27	105.93	98.39	128.12	112.01	111.28	141.79	124.38	130.52	164.97	89.05
30224	30265	30281	30292	30327								
	128.59	169.90	169.48	160.02	146.19							
3	30002	30003	30007	30009	30015	30018	30019	30021	30036	30045	30047	30050
	105.41	96.79	88.86	154.30	92.12	104.51	104.52	96.76	123.69	93.92	90.16	112.24
	30056	30066	30068	30076	30078	30080	30082	30088	30091	30092	30093	30094
	135.71	110.31	104.67	99.04	111.29	93.67	123.42	83.64	109.11	105.86	89.68	95.38
	30099	30101	30104	30105	30109	30111	30112	30115	30119	30126	30129	30136
	110.22	111.32	98.38	108.28	98.32	141.98	107.96	112.31	141.30	129.93	118.66	129.44
	30137	30141	30142	30151	30157	30158	30163	30165	30177	30182	30193	30195
	101.75	95.27	109.30	115.47	92.77	109.67	106.30	122.09	108.62	129.81	115.95	92.56
30197	30201	30266	30339	30342								
	113.72	149.72	94.81	104.57	104.76							
4	30008	30012	30026	30032	30042	30052	30061	30085	30087	30089	30097	30100
	101.28	146.03	103.97	80.18	72.13	107.59	94.32	82.38	85.62	138.69	79.69	40.12
	30114	30128	30174	30175	30178	30179	30187	30198	30200	30209	30211	30212
	109.97	57.32	95.10	110.94	51.15	104.06	120.17	40.40	111.31	122.40	92.98	39.13
30227	30228	30267	30311									
	102.54	93.96	109.96	112.62								
5	30055	30058	30060	30073	30079	30102	30106	30108	30125	30132	30134	30154
	134.04	109.65	91.20	151.64	125.60	152.82	130.57	144.62	129.29	112.32	142.60	148.90
	30171	30191	30213	30337								
	147.32	134.09	135.58	164.09								
6	30006	30016	30039	30041	30046	30049	30051	30067	30071	30072	30084	30122
	112.93	118.42	102.67	139.55	115.76	110.68	101.26	86.23	119.21	99.02	94.72	149.74
	30124	30130	30160	30166	30168	30169	30176	30180	30194	30220	30285	30319
	107.07	120.70	97.19	124.89	160.09	122.84	107.24	120.67	143.82	118.02	104.10	106.62
30325	30331	30345	30361									
	106.41	139.25	117.82	114.59								

Tabla 5.9. Precipitaciones de diseño para la región 1.

Gumbel						
Tr (Años)	Extrapolado	30011	30022	30033	30146	30161
2	0.94	202.81	173.62	245.97	151.26	172.77
5	1.27	274.01	234.58	332.32	204.36	233.42
10	1.5	323.63	277.06	392.50	241.36	275.70
20	1.71	368.94	315.85	447.45	275.16	314.29
50	1.99	429.35	367.56	520.72	320.21	365.76
100	2.2	474.66	406.35	575.67	354.00	404.35
200	2.4	517.81	443.29	628.01	386.18	441.11
500	2.68	578.22	495.01	701.27	431.24	492.58
1000	2.88	621.38	531.95	753.61	463.42	529.34
2000	3.09	666.68	570.74	808.56	497.21	567.93
5000	3.36	724.94	620.61	879.21	540.66	617.56
10000	3.57	770.25	659.40	934.16	574.45	656.16

Continuación de tabla 5.9.

Tr (Años)	Extrapolado	30170	30183	30189	30204	30216
2	0.94	223.87	150.49	194.52	159.10	167.55
5	1.27	302.46	203.33	262.81	214.95	226.38
10	1.5	357.24	240.15	310.40	253.88	267.37
20	1.71	407.25	273.77	353.86	289.42	304.81
50	1.99	473.93	318.60	411.80	336.81	354.71
100	2.2	523.94	352.22	455.26	372.36	392.15
200	2.4	571.58	384.24	496.65	406.21	427.80
500	2.68	638.26	429.07	554.59	453.60	477.71
1000	2.88	685.89	461.09	595.98	487.45	513.36
2000	3.09	735.90	494.71	639.43	522.99	550.79
5000	3.36	800.21	537.94	695.31	568.69	598.92
10000	3.57	850.22	571.56	738.76	604.23	636.35

Continuación de tabla 5.9.

Tr (Años)	Extrapolado	30294	30302
2	0.94	219.44	157.36
5	1.27	296.48	212.61
10	1.5	350.18	251.11
20	1.71	399.20	286.26
50	1.99	464.57	333.14
100	2.2	513.59	368.29
200	2.4	560.28	401.78
500	2.68	625.65	448.65
1000	2.88	672.34	482.13
2000	3.09	721.36	517.29
5000	3.36	784.39	562.49
10000	3.57	833.42	597.64

Tabla 5.10. Precipitaciones de diseño para la región 2.

Doble Gumbel						
Tr (Año)	Extrapolado	30001	30013	30014	30017	30025
2	0.92	98.80	109.76	92.37	96.08	125.13
5	1.23	132.09	146.75	123.49	128.46	167.29
10	1.45	155.72	172.99	145.58	151.43	197.22
20	1.71	183.64	204.01	171.68	178.58	232.58
50	2.23	239.49	266.05	223.89	232.89	303.31
100	2.63	282.44	313.78	264.05	274.66	357.71
200	2.97	318.96	354.34	298.19	310.17	403.95
500	3.38	362.99	403.26	339.35	352.99	459.72
1000	3.68	395.21	439.05	369.47	384.32	500.52
2000	3.98	427.42	474.84	399.59	415.65	541.33
5000	4.36	468.23	520.18	437.74	455.34	593.01
10000	4.65	499.38	554.77	466.86	485.62	632.45

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30029	30031	30035	30037	30043
2	0.92	96.63	105.85	92.58	118.97	118.14
5	1.23	129.19	141.52	123.77	159.05	157.94
10	1.45	152.29	166.84	145.91	187.50	186.19
20	1.71	179.60	196.75	172.07	221.12	219.58
50	2.23	234.22	256.58	224.40	288.37	286.35
100	2.63	276.23	302.61	264.65	340.09	337.72
200	2.97	311.94	341.73	298.87	384.06	381.38
500	3.38	355.00	388.90	340.12	437.08	434.03
1000	3.68	386.51	423.42	370.31	475.87	472.55
2000	3.98	418.02	457.94	400.50	514.66	511.07
5000	4.36	457.93	501.66	438.74	563.80	559.87
10000	4.65	488.39	535.03	467.92	601.30	597.11

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30044	30070	30077	30081	30083
2	0.92	87.70	110.26	114.10	122.90	84.71
5	1.23	117.25	147.41	152.54	164.31	113.26
10	1.45	138.23	173.78	179.83	193.70	133.51
20	1.71	163.01	204.94	212.07	228.43	157.45
50	2.23	212.58	267.26	276.56	297.89	205.33
100	2.63	250.71	315.20	326.17	351.33	242.17
200	2.97	283.13	355.94	368.33	396.75	273.47
500	3.38	322.21	405.08	419.18	451.52	311.22
1000	3.68	350.81	441.03	456.39	491.59	338.85
2000	3.98	379.41	476.99	493.59	531.67	366.47
5000	4.36	415.63	522.53	540.72	582.43	401.46
10000	4.65	443.28	557.28	576.68	621.17	428.16

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30090	30095	30103	30107	30110
2	0.92	126.24	87.13	82.66	123.24	105.46
5	1.23	168.78	116.49	110.51	164.77	141.00
10	1.45	198.97	137.33	130.27	194.24	166.21
20	1.71	234.65	161.96	153.63	229.07	196.02
50	2.23	306.01	211.21	200.35	298.73	255.63
100	2.63	360.90	249.09	236.29	352.32	301.48
200	2.97	407.55	281.29	266.84	397.86	340.45
500	3.38	463.81	320.12	303.67	452.79	387.45
1000	3.68	504.98	348.54	330.62	492.98	421.84
2000	3.98	546.15	376.95	357.58	533.16	456.23
5000	4.36	598.29	412.94	391.72	584.07	499.79
10000	4.65	638.08	440.41	417.77	622.92	533.03

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30116	30117	30118	30121	30131
2	0.92	98.56	105.91	94.62	115.87	119.07
5	1.23	131.76	141.60	126.50	154.91	159.19
10	1.45	155.33	166.92	149.13	182.62	187.66
20	1.71	183.18	196.85	175.87	215.37	221.31
50	2.23	238.89	256.72	229.35	280.86	288.61
100	2.63	281.74	302.76	270.49	331.24	340.38
200	2.97	318.16	341.90	305.46	374.06	384.39
500	3.38	362.08	389.10	347.63	425.70	437.45
1000	3.68	394.22	423.64	378.48	463.48	476.28
2000	3.98	426.36	458.17	409.34	501.26	515.10
5000	4.36	467.07	501.92	448.42	549.12	564.28
10000	4.65	498.13	535.30	478.24	585.65	601.82

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30143	30147	30148	30149	30150
2	0.92	94.09	97.46	90.52	117.87	103.05
5	1.23	125.80	130.30	121.02	157.59	137.77
10	1.45	148.30	153.60	142.67	185.78	162.41
20	1.71	174.89	181.15	168.25	219.09	191.53
50	2.23	228.07	236.23	219.41	285.71	249.78
100	2.63	268.98	278.61	258.77	336.96	294.58
200	2.97	303.76	314.62	292.22	380.52	332.67
500	3.38	345.69	358.06	332.56	433.05	378.59
1000	3.68	376.37	389.84	362.08	471.49	412.19
2000	3.98	407.05	421.62	391.60	509.93	445.79
5000	4.36	445.92	461.87	428.98	558.62	488.36
10000	4.65	475.58	492.59	457.52	595.77	520.84

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30152	30167	30172	30185	30214
2	0.92	102.38	130.44	114.43	120.08	151.77
5	1.23	136.87	174.40	152.99	160.54	202.91
10	1.45	161.35	205.59	180.35	189.25	239.20
20	1.71	190.29	242.46	212.69	223.18	282.10
50	2.23	248.15	316.19	277.37	291.05	367.88
100	2.63	292.66	372.90	327.12	343.26	433.87
200	2.97	330.50	421.11	369.41	387.63	489.96
500	3.38	376.12	479.24	420.40	441.15	557.59
1000	3.68	409.50	521.78	457.72	480.30	607.08
2000	3.98	442.89	564.32	495.03	519.46	656.57
5000	4.36	485.17	618.20	542.30	569.05	719.26
10000	4.65	517.44	659.31	578.37	606.90	767.10

Continuación de tabla 5.10.

Tr (Año)	Extrapolado	30221	30224	30265	30281	30292	30327
2	0.92	81.92	118.31	156.30	155.92	147.22	134.50
5	1.23	109.53	158.17	208.97	208.46	196.82	179.82
10	1.45	129.12	186.46	246.35	245.74	232.02	211.98
20	1.71	152.27	219.90	290.52	289.80	273.63	249.99
50	2.23	198.57	286.76	378.87	377.93	356.84	326.01
100	2.63	234.19	338.20	446.83	445.72	420.84	384.49
200	2.97	264.47	381.92	504.59	503.34	475.25	434.19
500	3.38	300.98	434.65	574.25	572.83	540.86	494.13
1000	3.68	327.69	473.23	625.22	623.67	588.86	537.99
2000	3.98	354.41	511.80	676.19	674.51	636.87	581.85
5000	4.36	388.24	560.67	740.75	738.91	697.67	637.40
10000	4.65	414.07	597.96	790.02	788.06	744.08	679.80

Tabla 5.11. Precipitaciones de diseño para la región 3.

Gumbel						
Tr (Años)	Extrapolado	30002	30003	30007	30009	30015
2	0.94	99.09	90.98	83.53	145.04	86.59
5	1.27	133.87	122.92	112.85	195.95	116.99
10	1.49	157.06	144.21	132.40	229.90	137.26
20	1.7	179.20	164.54	151.06	262.30	156.61
50	1.97	207.66	190.67	175.05	303.96	181.48
100	2.17	228.74	210.03	192.82	334.82	199.90
200	2.37	249.83	229.38	210.59	365.68	218.33
500	2.64	278.29	255.52	234.58	407.34	243.20
1000	2.84	299.37	274.87	252.36	438.20	261.62
2000	3.04	320.45	294.23	270.13	469.06	280.05
5000	3.31	348.91	320.36	294.12	510.72	304.92
10000	3.51	369.99	339.72	311.89	541.58	323.34

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30018	30019	30021	30036	30045
2	0.94	98.24	98.25	90.96	116.27	88.29
5	1.27	132.73	132.75	122.89	157.08	119.28
10	1.49	155.72	155.74	144.18	184.29	139.94
20	1.7	177.66	177.69	164.50	210.27	159.67
50	1.97	205.88	205.91	190.63	243.67	185.03
100	2.17	226.78	226.82	209.98	268.40	203.81
200	2.37	247.69	247.72	229.33	293.14	222.60
500	2.64	275.90	275.94	255.46	326.54	247.95
1000	2.84	296.80	296.85	274.81	351.27	266.74
2000	3.04	317.71	317.75	294.16	376.01	285.52
5000	3.31	345.92	345.97	320.29	409.41	310.88
10000	3.51	366.83	366.88	339.64	434.14	329.67

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30047	30050	30056	30066	30068
2	0.94	84.75	105.50	127.57	103.69	98.39
5	1.27	114.51	142.54	172.35	140.09	132.93
10	1.49	134.34	167.24	202.20	164.36	155.95
20	1.7	153.28	190.81	230.70	187.53	177.93
50	1.97	177.62	221.11	267.34	217.31	206.19
100	2.17	195.65	243.56	294.49	239.37	227.13
200	2.37	213.69	266.01	321.63	261.44	248.06
500	2.64	238.03	296.31	358.27	291.22	276.32
1000	2.84	256.06	318.76	385.41	313.28	297.25
2000	3.04	274.09	341.21	412.55	335.34	318.18
5000	3.31	298.44	371.51	449.19	365.13	346.44
10000	3.51	316.47	393.96	476.33	387.19	367.38

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30076	30078	30080	30082	30088
2	0.94	93.09	104.61	88.05	116.02	78.62
5	1.27	125.77	141.33	118.97	156.75	106.22
10	1.49	147.56	165.82	139.57	183.90	124.63
20	1.7	168.36	189.19	159.25	209.82	142.19
50	1.97	195.10	219.24	184.54	243.14	164.77
100	2.17	214.91	241.49	203.27	267.83	181.50
200	2.37	234.71	263.75	222.01	292.51	198.23
500	2.64	261.45	293.80	247.30	325.84	220.81
1000	2.84	281.26	316.05	266.03	350.52	237.54
2000	3.04	301.07	338.31	284.77	375.21	254.27
5000	3.31	327.81	368.36	310.06	408.53	276.85
10000	3.51	347.61	390.62	328.80	433.21	293.58

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30091	30092	30093	30094	30099
2	0.94	102.56	99.51	84.30	89.66	103.61
5	1.27	138.57	134.45	113.89	121.14	139.98
10	1.49	162.57	157.74	133.62	142.12	164.23
20	1.7	185.48	179.97	152.45	162.15	187.37
50	1.97	214.94	208.55	176.66	187.91	217.13
100	2.17	236.76	229.72	194.60	206.98	239.18
200	2.37	258.58	250.90	212.54	226.06	261.22
500	2.64	288.04	279.48	236.75	251.82	290.98
1000	2.84	309.86	300.65	254.68	270.89	313.02
2000	3.04	331.68	321.82	272.62	289.97	335.07
5000	3.31	361.14	350.41	296.83	315.72	364.83
10000	3.51	382.96	371.58	314.77	334.80	386.87

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30101	30104	30105	30109	30111
2	0.94	104.64	92.48	101.78	92.42	133.46
5	1.27	141.38	124.94	137.51	124.87	180.31
10	1.49	165.87	146.58	161.33	146.50	211.54
20	1.7	189.25	167.24	184.07	167.15	241.36
50	1.97	219.31	193.80	213.30	193.70	279.69
100	2.17	241.57	213.48	234.96	213.36	308.09
200	2.37	263.84	233.16	256.61	233.03	336.48
500	2.64	293.89	259.72	285.85	259.58	374.81
1000	2.84	316.16	279.39	307.50	279.24	403.21
2000	3.04	338.42	299.07	329.16	298.90	431.60
5000	3.31	368.48	325.63	358.39	325.45	469.94
10000	3.51	390.75	345.31	380.05	345.12	498.33

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30112	30115	30119	30126	30129
2	0.94	101.48	105.57	132.82	122.14	111.54
5	1.27	137.11	142.63	179.45	165.02	150.70
10	1.49	160.86	167.34	210.54	193.60	176.81
20	1.7	183.53	190.92	240.21	220.89	201.73
50	1.97	212.68	221.24	278.36	255.97	233.76
100	2.17	234.27	243.70	306.62	281.96	257.50
200	2.37	255.87	266.17	334.88	307.95	281.23
500	2.64	285.01	296.49	373.03	343.03	313.27
1000	2.84	306.61	318.95	401.29	369.01	337.00
2000	3.04	328.20	341.41	429.55	395.00	360.73
5000	3.31	357.35	371.73	467.70	430.08	392.77
10000	3.51	378.94	394.19	495.96	456.07	416.50

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30136	30137	30141	30142	30151
2	0.94	121.67	95.64	89.55	102.75	108.54
5	1.27	164.39	129.22	120.99	138.82	146.64
10	1.49	192.87	151.60	141.95	162.86	172.05
20	1.7	220.05	172.97	161.95	185.82	196.29
50	1.97	255.00	200.44	187.68	215.33	227.47
100	2.17	280.89	220.79	206.73	237.19	250.56
200	2.37	306.77	241.14	225.78	259.05	273.66
500	2.64	341.72	268.61	251.50	288.56	304.83
1000	2.84	367.61	288.96	270.56	310.42	327.93
2000	3.04	393.50	309.30	289.61	332.28	351.02
5000	3.31	428.45	336.78	315.33	361.79	382.19
10000	3.51	454.34	357.12	334.39	383.65	405.29

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30157	30158	30163	30165	30177
2	0.94	87.20	103.09	99.92	114.76	102.10
5	1.27	117.81	139.28	135.00	155.05	137.95
10	1.49	138.22	163.41	158.38	181.91	161.84
20	1.7	157.70	186.44	180.70	207.55	184.66
50	1.97	182.75	216.05	209.40	240.51	213.98
100	2.17	201.30	237.98	230.66	264.93	235.71
200	2.37	219.86	259.92	251.92	289.35	257.43
500	2.64	244.90	289.53	280.62	322.31	286.76
1000	2.84	263.46	311.46	301.88	346.73	308.48
2000	3.04	282.01	333.39	323.14	371.14	330.21
5000	3.31	307.06	363.01	351.84	404.11	359.53
10000	3.51	325.61	384.94	373.10	428.53	381.26

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30182	30193	30195	30197	30201
2	0.94	122.02	109.00	87.01	106.90	140.73
5	1.27	164.86	147.26	117.55	144.43	190.14
10	1.49	193.41	172.77	137.91	169.45	223.08
20	1.7	220.67	197.12	157.35	193.33	254.52
50	1.97	255.72	228.43	182.34	224.04	294.94
100	2.17	281.68	251.62	200.85	246.78	324.88
200	2.37	307.64	274.81	219.36	269.53	354.83
500	2.64	342.69	306.12	244.36	300.23	395.25
1000	2.84	368.65	329.31	262.87	322.98	425.19
2000	3.04	394.62	352.50	281.38	345.72	455.14
5000	3.31	429.66	383.81	306.37	376.43	495.56
10000	3.51	455.63	407.00	324.88	399.17	525.50

Continuación de tabla 5.11.

Tr (Años)	Extrapolado	30266	30339	30342
2	0.94	89.12	98.30	98.48
5	1.27	120.41	132.81	133.05
10	1.49	141.27	155.81	156.10
20	1.7	161.18	177.77	178.10
50	1.97	186.78	206.01	206.38
100	2.17	205.74	226.92	227.33
200	2.37	224.71	247.84	248.29
500	2.64	250.31	276.07	276.57
1000	2.84	269.27	296.98	297.52
2000	3.04	288.23	317.90	318.48
5000	3.31	313.83	346.13	346.76
10000	3.51	332.79	367.05	367.71

Tabla 5.12. Precipitaciones de diseño para la región 4.

Doble Gumbel						
Tr (Años)	Extrapolado	30008	30012	30026	30032	30042
2	0.91	92.16	132.89	94.61	72.96	65.64
5	1.26	127.61	184.00	131.00	101.03	90.88
10	1.54	155.97	224.89	160.11	123.48	111.08
20	1.91	193.44	278.92	198.58	153.14	137.77
50	2.33	235.98	340.25	242.25	186.82	168.06
100	2.59	262.31	378.22	269.28	207.67	186.81
200	2.84	287.63	414.72	295.27	227.71	204.85
500	3.15	319.03	459.99	327.50	252.57	227.21
1000	3.38	342.32	493.58	351.41	271.01	243.80
2000	3.61	365.61	527.17	375.32	289.45	260.39
5000	3.92	397.01	572.44	407.55	314.31	282.75
10000	4.15	420.30	606.02	431.47	332.75	299.34

Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz.

Continuación de tabla 5.12.

Tr (Años)	Extrapolado	30052	30061	30085	30087	30089
2	0.91	97.91	85.83	74.97	77.91	126.21
5	1.26	135.57	118.84	103.80	107.88	174.75
10	1.54	165.70	145.25	126.87	131.85	213.58
20	1.91	205.51	180.14	157.35	163.53	264.89
50	2.33	250.70	219.75	191.95	199.49	323.14
100	2.59	278.67	244.28	213.37	221.76	359.20
200	2.84	305.57	267.86	233.96	243.16	393.87
500	3.15	338.92	297.09	259.50	269.70	436.87
1000	3.38	363.67	318.79	278.45	289.40	468.76
2000	3.61	388.42	340.48	297.40	309.09	500.66
5000	3.92	421.77	369.72	322.93	335.63	543.66
10000	4.15	446.52	391.41	341.88	355.32	575.55

Continuación de tabla 5.12.

Tr (Años)	Extrapolado	30097	30100	30114	30128	30174
2	0.91	72.52	36.51	100.07	52.16	86.54
5	1.26	100.41	50.55	138.56	72.22	119.83
10	1.54	122.72	61.78	169.35	88.27	146.45
20	1.91	152.20	76.63	210.04	109.48	181.64
50	2.33	185.67	93.48	256.23	133.56	221.58
100	2.59	206.39	103.91	284.82	148.46	246.31
200	2.84	226.31	113.94	312.31	162.79	270.08
500	3.15	251.01	126.38	346.40	180.56	299.57
1000	3.38	269.34	135.60	371.69	193.74	321.44
2000	3.61	287.67	144.83	396.98	206.93	343.31
5000	3.92	312.37	157.27	431.07	224.69	372.79
10000	4.15	330.70	166.49	456.37	237.88	394.67

Continuación de tabla 5.12.

Tr (Años)	Extrapolado	30175	30178	30179	30187	30198
2	0.91	100.96	46.54	94.70	109.35	36.76
5	1.26	139.79	64.44	131.12	151.41	50.90
10	1.54	170.85	78.76	160.26	185.06	62.22
20	1.91	211.90	97.69	198.76	229.52	77.16
50	2.33	258.50	119.17	242.46	279.99	94.13
100	2.59	287.35	132.47	269.52	311.23	104.64
200	2.84	315.08	145.25	295.54	341.27	114.74
500	3.15	349.48	161.11	327.80	378.52	127.26
1000	3.38	374.99	172.87	351.73	406.16	136.55
2000	3.61	400.51	184.64	375.66	433.80	145.84
5000	3.92	434.90	200.49	407.92	471.05	158.37
10000	4.15	460.42	212.25	431.86	498.69	167.66

Continuación de tabla 5.12.

Tr (Años)	Extrapolado	30200	30209	30211	30212	30227
2	0.91	101.29	111.39	84.61	35.61	93.31
5	1.26	140.25	154.23	117.15	49.30	129.20
10	1.54	171.41	188.50	143.18	60.26	157.91
20	1.91	212.60	233.79	177.58	74.73	195.85
50	2.33	259.35	285.20	216.63	91.17	238.91
100	2.59	288.28	317.03	240.81	101.34	265.57
200	2.84	316.11	347.63	264.05	111.12	291.21
500	3.15	350.62	385.57	292.87	123.25	322.99
1000	3.38	376.22	413.72	314.26	132.25	346.58
2000	3.61	401.82	441.88	335.64	141.25	370.16
5000	3.92	436.32	479.82	364.46	153.38	401.95
10000	4.15	461.92	507.98	385.85	162.38	425.53

Continuación de tabla 5.12.

Tr (Años)	Extrapolado	30228	30267	30311
2	0.91	85.50	100.06	102.49
5	1.26	118.39	138.54	141.91
10	1.54	144.69	169.33	173.44
20	1.91	179.46	210.02	215.11
50	2.33	218.92	256.20	262.41
100	2.59	243.35	284.79	291.69
200	2.84	266.84	312.28	319.85
500	3.15	295.97	346.36	354.76
1000	3.38	317.58	371.65	380.67
2000	3.61	339.19	396.94	406.57
5000	3.92	368.31	431.03	441.48
10000	4.15	389.92	456.32	467.39

Tabla 5.13. Precipitaciones de diseño para la región 5.

Doble Gumbel						
Tr (Años)	Extrapolado	30055	30058	30060	30073	30079
2	0.91	121.98	99.78	83.00	137.99	114.30
5	1.25	167.55	137.06	114.01	189.55	157.01
10	1.53	205.09	167.76	139.54	232.01	192.18
20	1.93	258.70	211.62	176.02	292.67	242.42
50	2.34	313.66	256.57	213.42	354.84	293.92
100	2.57	344.49	281.79	234.40	389.72	322.80
200	2.78	372.64	304.81	253.55	421.56	349.18
500	3.05	408.83	334.42	278.17	462.51	383.09
1000	3.25	435.64	356.35	296.41	492.84	408.22
2000	3.45	462.45	378.28	314.66	523.16	433.34
5000	3.71	497.30	406.78	338.37	562.59	465.99
10000	3.9	522.77	427.62	355.70	591.40	489.86

Continuación de tabla 5.13.

Tr (Años)	Extrapolado	30102	30106	30108	30125	30132
2	0.91	139.07	118.81	131.60	117.65	102.21
5	1.25	191.02	163.21	180.77	161.61	140.40
10	1.53	233.81	199.77	221.26	197.81	171.85
20	1.93	294.94	251.99	279.11	249.52	216.78
50	2.34	357.60	305.52	338.40	302.53	262.83
100	2.57	392.74	335.55	371.66	332.27	288.66
200	2.78	424.84	362.97	402.03	359.42	312.25
500	3.05	466.10	398.23	441.08	394.33	342.58
1000	3.25	496.66	424.34	470.00	420.18	365.04
2000	3.45	527.23	450.45	498.92	446.04	387.50
5000	3.71	566.96	484.40	536.52	479.66	416.71
10000	3.9	595.99	509.21	564.00	504.22	438.05

Continuación de tabla 5.13.

Tr (Años)	Extrapolado	30134	30154	30171	30191	30213	30337
2	0.91	129.77	135.50	134.06	122.02	123.37	149.32
5	1.25	178.25	186.13	184.14	167.61	169.47	205.11
10	1.53	218.18	227.82	225.39	205.16	207.43	251.06
20	1.93	275.22	287.38	284.32	258.79	261.66	316.69
50	2.34	333.69	348.43	344.72	313.77	317.25	383.97
100	2.57	366.49	382.67	378.60	344.61	348.43	421.71
200	2.78	396.44	413.94	409.54	372.77	376.90	456.17
500	3.05	434.94	454.15	449.31	408.97	413.50	500.47
1000	3.25	463.46	483.93	478.77	435.79	440.62	533.29
2000	3.45	491.98	513.71	508.24	462.61	467.73	566.11
5000	3.71	529.06	552.42	546.54	497.47	502.98	608.77
10000	3.9	556.15	580.71	574.53	522.95	528.74	639.95

Tabla 5.14. Precipitaciones de diseño para la región 6.

Doble Gumbel

Tr (Años)	Extrapolado	30006	30016	30039	30041	30046
2	0.92	103.90	108.94	94.45	128.39	106.50
5	1.28	144.56	151.57	131.41	178.63	148.17
10	1.54	173.92	182.36	158.11	214.91	178.27
20	1.84	207.80	217.88	188.91	256.78	213.00
50	2.35	265.40	278.28	241.27	327.95	272.04
100	2.65	299.28	313.80	272.07	369.81	306.77
200	2.91	328.64	344.59	298.76	406.10	336.86
500	3.22	363.65	381.30	330.59	449.36	372.75
1000	3.45	389.63	408.53	354.20	481.46	399.38
2000	3.67	414.47	434.58	376.79	512.16	424.84
5000	3.97	448.35	470.11	407.59	554.02	459.57
10000	4.17	470.94	493.79	428.12	581.93	482.72

Continuación de tabla 5.14.

Tr (Años)	Extrapolado	30049	30051	30067	30071	30072
2	0.92	101.82	93.15	79.33	109.67	91.10
5	1.28	141.67	129.61	110.37	152.59	126.75
10	1.54	170.44	155.93	132.79	183.58	152.49
20	1.84	203.65	186.31	158.66	219.35	182.20
50	2.35	260.09	237.95	202.64	280.14	232.70
100	2.65	293.30	268.33	228.51	315.91	262.41
200	2.91	322.07	294.65	250.93	346.90	288.15
500	3.22	356.38	326.04	277.66	383.86	318.85
1000	3.45	381.84	349.33	297.49	411.28	341.63
2000	3.67	406.19	371.61	316.46	437.50	363.41
5000	3.97	439.39	401.98	342.33	473.27	393.12
10000	4.17	461.53	422.23	359.58	497.11	412.92

Continuación de tabla 5.14.

Tr (Años)	Extrapolado	30084	30122	30124	30130	30160
2	0.92	87.14	137.76	98.50	111.05	89.41
5	1.28	121.24	191.66	137.04	154.50	124.40
10	1.54	145.87	230.59	164.88	185.88	149.67
20	1.84	174.28	275.52	197.00	222.09	178.83
50	2.35	222.59	351.88	251.60	283.65	228.40
100	2.65	251.01	396.80	283.72	319.86	257.55
200	2.91	275.63	435.73	311.56	351.24	282.82
500	3.22	305.00	482.15	344.75	388.66	312.95
1000	3.45	326.78	516.59	369.38	416.42	335.31
2000	3.67	347.62	549.53	392.93	442.98	356.69
5000	3.97	376.04	594.46	425.05	479.19	385.84
10000	4.17	394.98	624.40	446.46	503.33	405.28

Continuación de tabla 5.14.

Tr (Años)	Extrapolado	30166	30168	30169	30176	30180
2	0.92	114.90	147.28	113.01	98.66	111.01
5	1.28	159.86	204.92	157.23	137.27	154.45
10	1.54	192.33	246.54	189.17	165.16	185.82
20	1.84	229.80	294.57	226.02	197.33	222.02
50	2.35	293.49	376.22	288.67	252.02	283.56
100	2.65	330.96	424.24	325.52	284.20	319.76
200	2.91	363.43	465.87	357.46	312.08	351.14
500	3.22	402.14	515.50	395.54	345.33	388.54
1000	3.45	430.87	552.32	423.80	369.99	416.29
2000	3.67	458.34	587.54	450.82	393.59	442.84
5000	3.97	495.81	635.57	487.67	425.76	479.04
10000	4.17	520.79	667.58	512.24	447.21	503.17

Continuación de tabla 5.14.

Tr (Años)	Extrapolado	30194	30220	30285	30319	30325
2	0.92	132.32	108.58	95.77	98.09	97.90
5	1.28	184.09	151.06	133.24	136.47	136.20
10	1.54	221.49	181.75	160.31	164.19	163.87
20	1.84	264.64	217.15	191.54	196.18	195.79
50	2.35	337.99	277.34	244.63	250.56	250.06
100	2.65	381.13	312.75	275.86	282.54	281.98
200	2.91	418.53	343.43	302.92	310.26	309.65
500	3.22	463.11	380.02	335.19	343.32	342.63
1000	3.45	496.19	407.16	359.13	367.84	367.11
2000	3.67	527.83	433.13	382.04	391.30	390.52
5000	3.97	570.98	468.53	413.26	423.28	422.44
10000	4.17	599.74	492.14	434.08	444.61	443.72

Continuación de tabla 5.14.

Tr (Años)	Extrapolado	30331	30345	30361
2	0.92	128.11	108.39	105.42
5	1.28	178.24	150.81	146.67
10	1.54	214.45	181.44	176.46
20	1.84	256.22	216.79	210.84
50	2.35	327.24	276.88	269.28
100	2.65	369.02	312.22	303.66
200	2.91	405.23	342.86	333.45
500	3.22	448.39	379.38	368.97
1000	3.45	480.42	406.48	395.33
2000	3.67	511.06	432.40	420.54
5000	3.97	552.83	467.75	454.91
10000	4.17	580.68	491.31	477.83

Una de las ventajas de la regionalización es poder saber con certeza la precipitación de diseño en aquellas regiones donde la información climatológica es escasa o nula. Para poder estimar dicha precipitación, es necesario la interpolación de la ubicación deseada dentro de un mapa de isoyetas de lluvias para conocer la precipitación media del lugar y luego ese valor se multiplica por el factor de la región correspondiente para el periodo de retorno deseado (tabla 5.6). Logrando obtener la precipitación de diseño de dicho lugar.

Las siguientes figuras (5.53 y 5.54) son mapas de isoyetas para 100 y 10,000 años de periodo de retorno respectivamente.

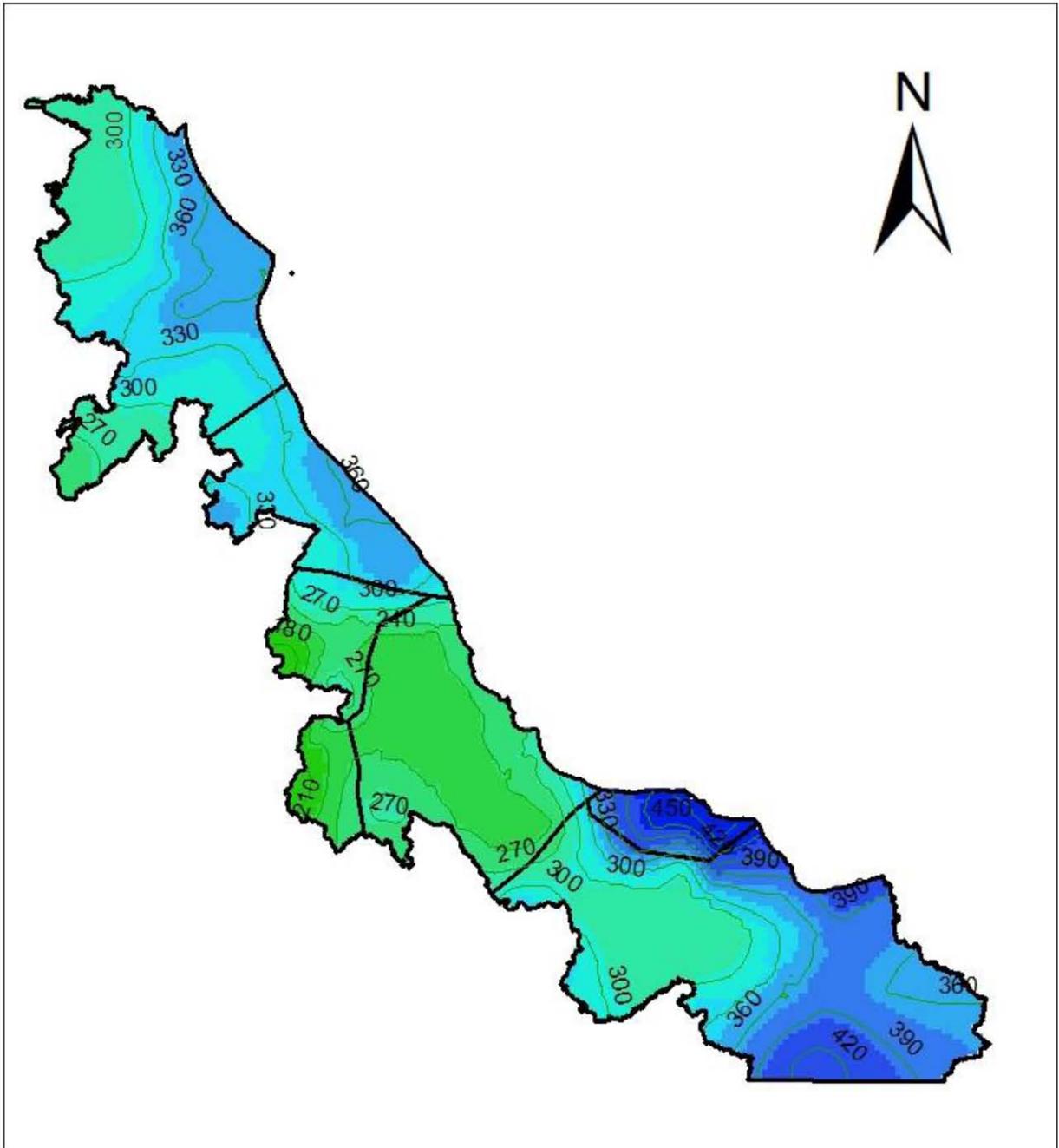


Figura 5.53. Mapa de isoyetas de 100 años de periodo de retorno.

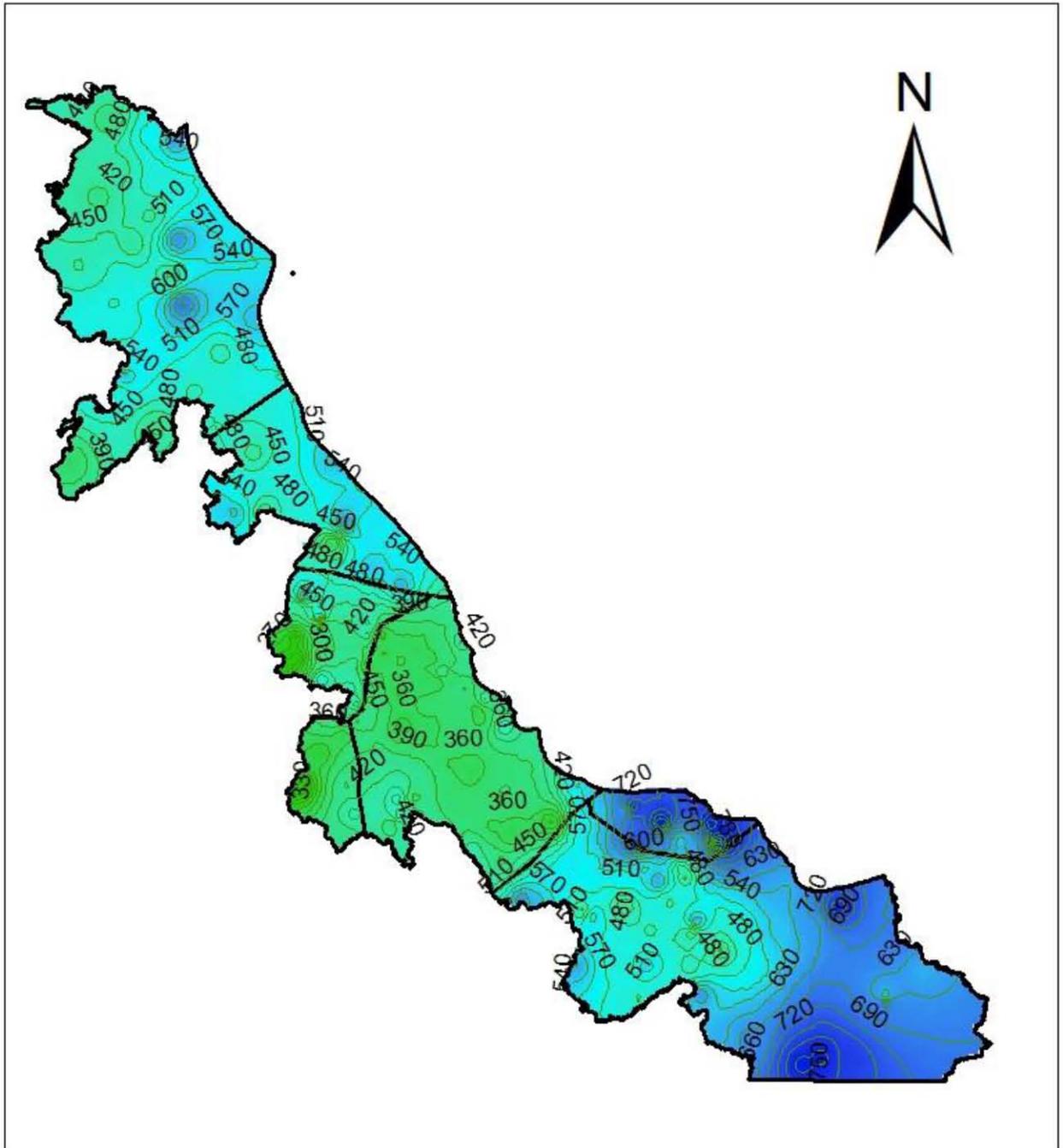


Figura 5.54. Mapa de isoyetas de 10,000 años de periodo de retorno.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El estado de Veracruz tiene una extensión territorial considerable comparada con otros estados de la República Mexicana, por lo tanto la densidad de estaciones climatológicas es baja, de hecho en ciertas regiones del estado las estaciones climatológicas son nulas y en otras sólo tienen pocos años de registro, de tal manera que la regionalización ayuda a tener una mejor y eficaz estimación de eventos extraordinarios en el estado de Veracruz.

El estudio que se realizó en este trabajo tiene mucha importancia en el área de la hidrología, ayudando a que los próximos diseños de obras civiles cuenten con información hidrológica de mejor calidad, logrando en primer momento obras civiles más seguras y de igual manera obras civiles no sobre diseñadas, reduciendo su costo. La necesidad de la regionalización surge de que se han presentado pérdidas humanas en inundaciones debido a la incertidumbre que existe sobre el comportamiento de la información hidrológica.

El primer reto que se presentó fue la recopilación de la información climatológica para poder hacer la selección de estaciones climatológicas con más de 20 años de registros teniendo como resultado mayor aceptación y confiabilidad de la información usada. Se logró hacer la depuración de las estaciones y se obtuvieron sus estadísticos.

Además se ha logrado conformar seis regiones homogéneas dentro del estado, de cada una se obtuvieron factores de diseño para poder estimar eventos extraordinarios para periodos de retorno $T=2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000,$ y $10,000$ años, con base en la extrapolación estadística.

En la figura 5.12 se observan las seis regiones con las que se decidió trabajar, cabe destacar que para su agrupación se analizaron los coeficientes de variación, los máximos, la media de cada estación climatológica y además la topografía del estado fue importante en dicha agrupación. La presencia de fenómenos naturales y las variaciones en el relieve del estado hace que los ciclones que son eventos extraordinarios no sean uniformes a lo largo del estado. Con las seis regiones se pretende tener regiones homogéneas que ayude a que los resultados sean más confiables y en especial para periodos de retorno grandes.

Otro importante resultado obtenido es poder estimar lluvias de diseño en lugares dentro del estado de Veracruz donde no están instrumentados, únicamente se requiere localizar el lugar de interés dentro de las seis regiones definidas, calcular la precipitación media de registros diarios máximos anuales de las estaciones más cercanas, después se aplican los factores de la región que se muestran en la tabla 5.6 y finalmente se obtiene la lluvia para el periodo de retorno deseado.

Aunque la información usada en este estudio es actualizada hasta el año 2013, se considera muy buena, sin embargo se recomienda actualizarla cada diez años a partir de este año, debido a los problemas de cambio climático, pensando que los siguientes eventos extraordinarios sean mayores a los que hasta ahora se tienen registrados. Una recomendación para evitar estos problemas es la instalación de nuevas estaciones climatológicas, sin embargo esto implica un mayor reto. Una medida a corto plazo y económica para evitar la instalación de nuevas estaciones es sin duda el proceso de regionalización.

El presente trabajo es una clara evidencia que la regionalización es de mucha utilidad para resolver de manera eficaz y sensata los problemas de diseño de obras civiles y aún mayor su ayuda es responsable para que se eviten pérdidas humanas debidas principalmente a inundaciones.

BIBLIOGRAFÍA

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

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.

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

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

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.

Campos Aranda, Daniel Francisco (2006). "Análisis probabilístico univariado de datos hidrológicos". Asociación Mexicana del Agua. México.

Springall G, Rolando. "Hidrología". Facultad de Ingeniería UNAM. México.

Luna Vera, José Antonio y Domínguez Mora, Ramón. (2013). Un método para el análisis de frecuencia regional de lluvias máximas diarias: aplicación en los Andes bolivianos. 2013, de Revista chilena de ingeniería Sitio web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000100010

Gutiérrez López, Alfonso y Iván Ramírez, Aldo. (Junio 2005). Predicción hidrológica mediante el Método de la Avenida Índice para dos poblaciones. Ingeniería hidráulica en México, XX, 37-47.

Chow, Ven Te, R. Maidment, David, W. Mays, Larry. (1994). Hidrología aplicada. Colombia: McGraw-Hill Interamericana.