



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**REGIONALIZACION DE PRECIPITACIONES
PARA OBTENER LLUVIAS DE DISEÑO EN
LA CUENCA DEL RIO SANTA CATARINA
DEL ESTADO DE NUEVO LEON**

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

EDGAR EDUARDO MARTÍNEZ MUNGUÍA

DIRECTOR DE TESIS

M en Ing. **ELISEO CARRIZOSA ELISONDO**



Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mis padres por todo su esfuerzo, apoyo, cariño y consejos que me dan día a día, ya que sin ellos no sería quien soy y no estaría logrando una de mis metas.

A mi hermana por su apoyo, enseñanzas y risas que me ha dado.

A mis profesores por todas sus enseñanzas

A mis compañeros de clase por su ayuda en alguna duda y problema

A mis amigos por su apoyo, risas y experiencias que me dieron

A el Maestro Eliseo Carrizosa Elizondo por permitirme ser becario del Instituto de Ingeniería de la UNAM, por dirigir este trabajo y por apoyarme en toda duda y problema que se me presento.

Al Ing. Adam Hernández por todas las enseñanzas y consejos que me brindo para dicho trabajo, por el tiempo que se tomó en explicarme algunas dudas.

Al equipo del Dr. Ramón por todas las experiencias y conocimientos que me brindaron.

A todas las personas del Instituto y del cubículo por todos sus consejos y enseñanzas que me proporcionaron.

Índice

Capítulo 1 Introducción	9
Capítulo 2 Conceptos Básicos	12
2.1 Conceptos básicos de estadística	12
2.1.1 Medidas de tendencia central	13
2.1.1.1 Media	13
2.1.1.2 Mediana	14
2.1.1.3 Moda	14
2.1.2 Medidas de dispersión	15
2.1.2.1 Varianza	15
2.1.2.2 Desviación estándar	15
2.1.2.3 Coeficiente de variación	16
2.2 Conceptos básicos de Hidrología	16
2.2.1 Precipitación media	21
2.2.2 ESCURRIMIENTO	24
Capítulo 3 Funciones de Distribución de Probabilidad Empleadas en Hidrología	26
3.1 Distribución Gumbel	27
3.2 Distribución Doble Gumbel	28
3.3 Distribución Normal	29
3.4 Periodo de Retorno	31
Capítulo 4 Metodología	32
4.1 Métodos de Regionalización (Técnicas de agrupamiento)	32
4.1.1 Trazos Multidimensionales (Curva de Andrews)	32
4.1.2 Coeficiente de Variación	33
4.2 Técnicas regionales	33
4.2.1 Avenida índice	33
4.2.2 Método Estaciones- Año	34
Capítulo 5 Ejemplo de aplicación	36
5.1 Estado de Nuevo León	36
5.1.2 Fisiografía	37
5.1.3 Hidrografía	37
5.1.4 Descripción de la cuenca de estudio (Santa Catarina)	40

<u>5.1.4.1 Delimitación de la cuenca (Rio Santa Catarina)</u>	42
<u>5.1.5 Información Disponible</u>	57
<u>5.1.5.1 Estaciones climatológicas e hidrométricas disponibles en Nuevo León y en la Cuenca Santa Catarina</u>	57
<u>5.1.5.2 Ubicación de las estaciones climatológicas empleadas</u>	58
<u>5.1.5.3 Ubicación de las estaciones hidrométricas</u>	59
<u>5.2 Metodología aplicada</u>	60
<u>5.2.1 Depuración de datos de registro de precipitaciones. (CLICOM)</u>	60
<u>5.2.2 Revisión de precipitaciones máximas anuales para un día</u>	61
<u>5.2.3 Estaciones con más de 20 años de registro</u>	63
<u>5.2.4 Depuración de las estaciones con más de 20 años de registro</u>	65
<u>5.2.5 Obtención de valores estandarizados</u>	69
<u>5.3 Programa AX</u>	72
<u>5.3.1 Obtención de las funciones de distribución para la cuenca del Rio Santa Catarina. (Nuevo León)</u>	73
<u>Capítulo 6 Conclusiones y Resultados</u>	92
<u>Bibliografía</u>	95

Índice de Figuras

Figura 1: Ejemplo de una Cuenca	17
Figura 2: Ciclo del agua	20
Figura 3: Pluviómetro y Pluviografo	21
Figura 4: Polígonos de Thiessen	23
Figura 5: Método de las Isoyetas	24
Figura 6: Distribución Gumbel	27
Figura 7: Distribución Doble Gumbel	29
Figura 8: Localización geográfica del Estado de Nuevo León	37
Figura 9: Mapa de la red hidrográfica de Nuevo León	39
Figura 10: Mapa de la cuenca de estudio (Santa Catarina)	41
Figura 11: Modelo de Elevaciones de la Cuenca del Rio Santa Catarina	42
Figura 12: Herramienta "Fill"	43
.....	44
Figura 13: Vista del archivo creado (fill). No se nota la diferencia con la capa anterior	44
Figura 14: Herramienta Flow Direction	44
Figura 15: Vista del archivo creado (Flow Direction)	45
Figura 16: Herramienta Flow Accumulation	45
Figura 17: Vista del archivo creado (Flow accumulation)	46
Figura 18: Herramienta Raster Calculator	46
Figura 19: Vista de la capa de raster calculado (Str)	47
Figura 20: Herramienta stream order	47
Figura 21: Vista de la capa de orden de corriente (StrOrd)	48
Figura 22: Herramienta Draw (Opcion Marker)	48
Figura 23: Vista del punto de salida de la cuenca	49
Figura 24: Opcion "Convert Graphics to Features"	49
Figura 25: Herramienta interpolate Shape	50
Figura 26: Vista con el punto raster creado	51
Figura 27: Herramienta Watershed	51
.....	52

Figura 28: Vista de la cuenca, capa creada a partir de la herramienta watershed	52
Figura 29: Herramienta "Raster to Polygon"	52
Figura 30: Vista de la cuenca con formato de poligono	53
Figura 31: Tabla de atributos de la cuenca	54
Figura 32: Extensión de editor	54
Figura 33: Nueva de tabla de atributos	55
Figura 34: Add fiel	55
Figura 35: Calculate Geometry	56
Figura 36: Resultado del area calculada de la cuenca	56
Figura 37: Ubicación de las estaciones climatológicas en la cuenca del Rio Santa Catarina	57
Figura 38: Ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca del Rio Santa Catarina	59
Figura 39: Pantalla de inicio de CLICOM	65
Figura 40: Elección de las estaciones y el elemento 005. (Lluvia)	66
Figura 41: Eliminación de años sin los meses de lluvia	66
Figura 42: Limpieza de datos	67
Figura 43: Exportando datos	67
Figura 44: Máximos de la estación seleccionada	68
Figura 45: Ejemplo de archivo con extensión .AJU para un día	74
Figura 46: Interfaz del programa de la máquina virtual	75
Figura 47: Disco local de la maquina virtual	75
Figura 48: Interfaz del programa AX	76
Figura 49: Selección del archivo de datos con extensión .AJU	76
Figura 50: Selección de archivos de datos para la tabla de editor de datos	77
Figura 51: Opción global del menú de ajustes	78
Figura 52: Tabla resumen de errores estándar para el archivo DIA 1 .AJU	78
Figura 53: Opción ajustar una función Gumbel por momentos	79
Figura 54: Resultados Gumbel del ajuste para el archivo "Dia 1 .AJU"	79
Figura 55: Extrapolación Gumbel para el archivo "Día 1.AJU"	80
Figura 56: Archivos ETP y MAX para "Gumbel Día 1"	80
Figura 57: Ajustar una función Doble Gumbel	81
Figura 58: Tabla de resultados "Optimización de la función Doble Gumbel"	81
Figura 59: Resultados Preliminares Doble Gumbel	82
Figura 60: Archivo RDG con los valores del parámetro P	82
Figura 61: Fase dos resultados Doble Gumbel	83
Figura 62: Resultados Doble Gumbel del archivo "Día 1.AJU"	84

<u>Figura 63: Extrapolación Doble Gumbel para el archivo "Día 1.AJU"</u>	84
<u>Figura 64: Ejemplos de los archivos ETP y MAX obtenidos de la extrapolación</u>	85
<u>Figura 65: Ejemplo de archivo MAX del programa AX</u>	86
<u>Figura 66: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para un día</u>	87
<u>Figura 67: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 3 días</u>	88
<u>Figura 68: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 5 días</u>	88
<u>Figura 69: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 10 días</u>	89
<u>Figura 70: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 15 días</u>	89
<u>Figura 71: Mapa de Isoyetas</u>	94

Índice de tablas

<u>Tabla 1: Estaciones Climatológicas en la cuenca del Río Santa Catarina</u>	58
<u>Tabla 2: Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas empleadas</u>	58
<u>Tabla 3: Ubicación geográfica de las estaciones hidrométricas</u>	59
<u>Tabla 4: Claves para diferentes elementos en CLICOM</u>	60
<u>Tabla 5: Base de datos con máximos anuales para un día "CLICOM-DLY"</u>	62
<u>Tabla 6: Archivo de máximos anuales por cada estación</u>	64
<u>Tabla 7: Análisis para obtener valores estandarizados "Transformados"</u>	70
<u>Tabla 8: Análisis para obtener valores estandarizados "Coeficiente de variación"</u>	71
<u>Tabla 9: Transformados xls para diferentes días</u>	73
<u>Tabla 10: Factores de diseño normalizados para diferentes días "1,3,5,10,15"</u>	90
<u>Tabla 11: Eventos de diseño normalizados para diferentes periodos de retorno</u>	91

Capítulo 1 Introducción

México es un país que debido a su ubicación geográfica y a sus condiciones meteorológicas, es vulnerable a sufrir eventos meteorológicos, con un promedio de tres eventos por mes en los últimos cinco años (en el mes de mayo se inicia en México la temporada de lluvias y huracanes, que se prolonga hasta finales del mes de noviembre), lo que suma 177 eventos que afectaron a casi nueve millones de personas (Salas y Jiménez 2004).

Por lo que al realizar una obra hidráulica es importante tomar en cuenta estos fenómenos, por lo que es necesario contar con información de precipitación y escurrimientos en el sitio de estudio.

En nuestro país se cuentan con 731 cuencas hidrográficas (CONAGUA 2015), contando con más información climatológica que hidrométrica, además de la carencia de la calidad en la información ya existente, es decir, no se cuenta con un periodo amplio de registros y que muchos ríos en México aún carecen de medición, por lo que se deben desarrollar métodos para la estimación de datos de escurrimiento a partir de información climatológica. Aun teniendo datos disponibles, nos encontramos con el problema que son muy escasos, por lo que llegan a resultar poco útiles para su análisis; 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 registro suficientes que hacen que sus datos no sean muy confiables.

Los organismos encargados de proporcionar datos hidrológicos del país son la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Servicio Meteorológico Nacional, y la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El problema ya mencionado es muy común en gran parte del país, en este caso particularizando el estado de Nuevo León cuenta con un total de 172 estaciones climatológicas, de las cuales en la actualidad solo operan 129 estaciones climatológicas y específicamente en la cuenca del río Santa Catarina cuenta con 17 estaciones climatológicas de las cuales solo se tomaron 7 debido a que son las únicas que cumplen con el número de años de registro necesarios para llevar a cabo el análisis probabilístico

En hidrología un método empleado para la información faltante es la regionalización de la zona de estudio, que consiste en agrupar la información de varias estaciones climatológicas o hidrométricas en una sola muestra, con esto obtenemos ecuaciones del comportamiento estadístico del pronóstico de lluvias o mapas de lluvia, y a partir de ellos se podrá aplicar la metodología necesaria para dimensionar una obra hidráulica.

Los análisis regionales permiten agrupar sitios que tienen un comportamiento hidrológico estadísticamente similar (escurrimientos, precipitaciones), para encontrar una función de distribución de probabilidades capaz de caracterizar toda la zona a

estudiar, con lo que se estiman datos en sitios donde no existe información o es escasa.

El objetivo de este trabajo es tener una mejor y mayor base de datos de lluvia de la cuenca Santa Catarina del estado de Nuevo León, con lo cual permitirá calcular tormentas de diseño para realizar obras hidráulicas civiles eficientes y seguras.

El régimen hidrológico del río Santa Catarina se caracteriza por largos periodos en donde sus gastos son extremadamente bajos prueba de ello es que de 1960 a 2010 más del 80 por ciento del tiempo se mantuvo virtualmente seco.

En julio de 2010, el Huracán Álex afecto al estado de Nuevo León (Rio Santa Catarina), provocando grandes inundaciones, por ende, la importancia de este trabajo, para tener un análisis regional de la precipitación y que sirva de base para la toma de decisiones de las obras necesarias para la mitigación de desastres.

Para el análisis probabilístico de datos hidrológicos, existe el problema de saber cuál es la función de distribución que se ajusta a los datos obtenidos, la cual se elige cuando la función tiene un comportamiento muy parecido a la muestra. Existen varias funciones de distribución, pero para este trabajo solo se usaron las funciones de distribución Gumbel (eventos extraordinarios) y distribución Doble Gumbel (eventos extraordinarios). Por la razón de que cuando se desea conocer la precipitación para un periodo de retorno mayor al número de años de registro, surge el problema de cómo extrapolar esa tendencia hasta el periodo de retorno deseado, particularmente en cuencas susceptibles de ser atacadas directamente por huracanes, donde la estadística de precipitaciones máximas anuales muestra la presencia de dos poblaciones: La primera población que es afectada por fenómenos convectivos y la segunda población que es afectada por fenómenos tropicales extraordinarios.

Este trabajo consta con 6 capítulos. En el capítulo 1 (Introducción) se da una breve explicación sobre la problemática a tratar en este trabajo.

En el capítulo 2 (Conceptos básicos), se analizan diferentes bibliografías sobre estadística e hidrología, para conocer cuáles son 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 algunas 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 un determinado periodo de retorno.

En el capítulo 5 (Ejemplo de aplicación), se describe el procedimiento para obtener las lluvias de diseño para distintos periodos de retorno de la cuenca del río de Santa Catarina (Estado de Nuevo León), usando funciones de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel.

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

Capítulo 2 Conceptos Básicos

2.1 Conceptos básicos de estadística

Estadística

Es la rama de la Matemática que se ocupa de recopilar datos (en censos, encuestas, etc.), de organizarlos para una mejor comprensión del fenómeno que se desea estudiar y de analizarlos con un determinado objetivo.

La estadística se aplica a todas las ciencias, pues facilita el estudio de hechos del mundo o de la sociedad.

La aplicación de la estadística dentro de la ingeniería es de suma importancia ya que permite hacer la interpretación de datos o características de un conjunto de elementos de manera tal que facilite la toma de decisiones.

La estadística se clasifica en univariable y multivariable, dependen de la cantidad de variables que se están registrando.

Otra clasificación es:

- Estadística descriptiva: Su objetivo es organizar y describir las características sobre un conjunto de datos con el propósito de facilitar su aplicación, generalmente con el apoyo de gráficas, tablas o medidas numéricas.
 - Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar.
 - Ejemplos gráficos son: histograma, pirámide poblacional, gráfico circular, entre otros.
- Estadística inferencial: Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas sí/no (prueba de hipótesis), estimaciones de unas características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión). Otras técnicas de modelamiento incluyen análisis de varianza, series de tiempo y minería de datos. Su objetivo es obtener conclusiones útiles para lograr hacer deducciones acerca de la totalidad de todas las observaciones hechas, basándose en la información numérica.

Para el presente trabajo se utilizará la estadística descriptiva.

Con el objetivo de obtener mejores resultados o incluso de encontrar datos que no se encuentran cuando la información es escasa, todo esto se logra ajustando los datos a una función.

2.1.1 Medidas de tendencia central

Al describir grupos de diferentes observaciones, con frecuencia es conveniente resumir la información con un solo número. Este número que, para tal fin, suele situarse hacia el centro de la distribución de datos se denomina medida o parámetro de tendencia central o de centralización.

Cuando se hace referencia únicamente a la posición de estos parámetros dentro de la distribución, independientemente de que esté más o menos centrada, se habla de estas medidas como medidas de posición

Entre las medidas de tendencia central tenemos:

- Media aritmética
- Media geométrica
- Media armónica
- Mediana
- Moda

Se debe tener en cuenta que existen variables cualitativas y variables cuantitativas, por lo que las medidas de posición o medidas de tendencia se usan de acuerdo al tipo de variable que se está observando, en este caso se observan *variables cuantitativas*.

2.1.1.1 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:

$$X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Donde:

X_i = media aritmética

X = dato

N = número total de datos

Media geométrica. De una cantidad arbitraria de números (por decir n números) es la raíz n -ésima del producto de todos los números; es recomendada para datos de progresión geométrica, para promediar razones, interés compuesto y números índice.

$$X_i = \sqrt[n]{x_1 * x_2 \dots x_n}$$

Donde:

X_i = Media geométrica

N = número total de datos

X = datos

Media Armónica. La media armónica (designada usualmente mediante H) de una cantidad finita de números es igual al recíproco, o inverso, de la media aritmética de los recíprocos de dichos valores y es recomendada para promediar velocidades.

Así, dados n números, x_1, x_2, \dots, x_n valores, la media armónica será igual a:

$$H = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

2.1.1.2 Mediana

Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

2.1.1.3 Moda

Es el valor que se repite con mayor frecuencia en un conjunto de datos

2.1.2 Medidas de dispersión

Parámetros estadísticos que indican como se alejan los datos respecto de la media aritmética. Sirven como indicador de la variabilidad de los datos. Las medidas de dispersión más utilizadas son el rango, la desviación estándar y la varianza.

2.1.2.1 Varianza

Como se ha referido antes para evitar que se anulen diferencias positivas y negativas, en la desviación media se toma valor absoluto. Dado que la función valor absoluto no tiene buenas propiedades matemáticas (por ejemplo, no es derivable) otra manera de transformar los valores negativos en positivos es elevando al cuadrado.

Por tanto, la varianza va a ser la media del cuadrado de la distancia de los valores de los datos a la media.

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 n_i}{N}$$

Para el cálculo se suele aplicar la ec. 1.1 expresión:

$$S^2 = \frac{\sum X_i^2 n_i}{N} - \bar{X}^2$$

2.1.2.2 Desviación estándar

Definimos la desviación estándar como la raíz cuadrada de la varianza.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2 n_i}{N}}$$

o, usando la otra expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 n_i}{N} - \bar{X}^2}$$

2.1.2.3 Coeficiente de variación

Dado que la desviación estándar es una medida que está expresada en las mismas unidades que la variable, si quiere comparar dispersiones a escalas distintas se necesita un parámetro adimensional. En estas situaciones se usa el coeficiente de variación que se expresa tanto de forma decimal como en tanto por ciento, y expresa la desviación estándar como porcentaje con respecto a la media.

$$CV = \frac{S}{X}$$

2.2 Conceptos básicos de Hidrología

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra. (U.S. Federal Council for Science and Technology (1962))

Es el análisis de todo lo referente al agua que entra a una cuenca, ya sea agua superficial o agua subterránea, y el impacto que esta genera en el suelo (ejemplo cuanto drena y cuanto escurre y llega al mar o río). Se emplea para este estudio el registro histórico de lluvias, este análisis se genera por medio de manejos estadísticos.

En la actualidad la hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los Recursos Hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación.

Cuenca

Una cuenca hidrográfica es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Ver (Figura 1)

Es decir, es una especie de “embudo” del territorio por el que escurre el agua desde las partes altas, hasta llegar a un punto en común, de donde sale el toda el agua que fluye hacia otro lado

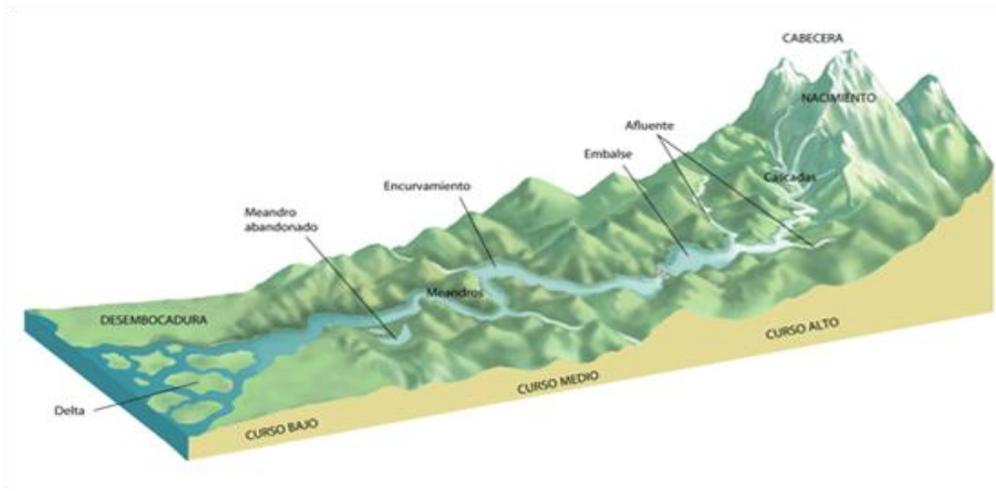


Figura 1: Ejemplo de una Cuenca

Tipos de cuenca

Cuando una cuenca tiene una o más salidas de agua hacia un caudal mayor o hacia un lago o hacia el mar, se dice que es “abierta” o “exorreica”. En México, por ejemplo, los ríos Lerma, Balsas, Bravo, Pánuco, Grijalva, Usumacinta, Mayo y Yaqui, entre otros.

Si no tiene ninguna salida, se califica de “cerrada” o “endorreica” y por lo general da origen a un lago, si la impermeabilidad del suelo se lo permite. Por ejemplo, la cuenca del valle de México y el lago de Pátzcuaro, en Michoacán, son de esta clase.

También existen las cuencas llamadas “criptorreicas”, que fluyen subterráneamente, como sucede en la península de Yucatán, cuyos suelos con cal permiten una infiltración casi inmediata de la lluvia y la formación de corrientes subterráneas.

Las cuencas arreicas son aquellas en que las aguas se evaporan o filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos y riachuelos son de este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia.

Tamaños de cuenca

Dentro de una cuenca puede haber una o más subcuencas, y varias microcuencas, cuyas salidas secundarias llegan finalmente al cauce principal de salida, o a un punto determinado de la misma.

Se considera que una cuenca abarca un territorio mayor a 50 000 hectáreas, mientras que una subcuenca, entre 5 000 y 50 000, y una microcuenca menos de 5 000 hectáreas.

Longitud

Es la longitud del río principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas. Representada con la letra "L" mayúscula.

Cauce

También denominado lecho, es el conducto descubierto o acequía por donde corren las aguas para riegos u otros usos

Gasto o caudal

Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m³ /s.

Una avenida es el incremento del escurrimiento de una corriente o río, debido a las precipitaciones.

Una avenida máxima probable se entiende como el incremento poco frecuente del escurrimiento de un río debido a precipitaciones bastante altas y que tienen periodos de retorno muy largos

Para el diseño de obras de Ingeniería es de gran importancia conocer el gasto máximo o la avenida de diseño.

Pendiente de Cuenca

Es un parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la esorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca. Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el siguiente, se obtiene dividiendo la diferencia total de la altitud mayor del cauce (HM-m) y la altitud menor del cauce (Hm-m) entre la longitud horizontal (L-km) del curso de agua entre esos dos puntos:

$$S(\%) = \frac{HM-Hm}{1000*L} * 1000$$

Donde

HM = Altitud mayor en metros

Hm = Altitud menor en metros

L = Longitud del curso de agua en Km

Precipitación

La precipitación es cualquier forma que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo (hidrometeoro que cae de una nube pero se evapora antes de llegar al suelo), neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por ende, favoreciendo la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren agua para vivir. La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Ver (Figura 2)



Figura 2: Ciclo del agua

Medición de la precipitación

Los valores de precipitación, para que sean válidos, deben ser científicamente comparables.

La precipitación se mide con aparatos llamados pluviómetros, la cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura (o equivalentemente en litros por metro cuadrado). El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior (de área conocida) de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Normalmente la lectura se realiza cada 12 horas. Y los pluviógrafos que es un instrumento meteorológico que registra de forma mecánica y continua la precipitación en una gráfica, que permite conocer la cantidad total, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia teniendo en cuenta las mismas consideraciones del suelo perfectamente horizontal e impermeable que utiliza un Pluviómetro. Estos instrumentos deben ser instalados en locales apropiados donde no se produzcan interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas. Ver (Figura 3)

La precipitación pluvial se mide en mm, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno (l/m^2).

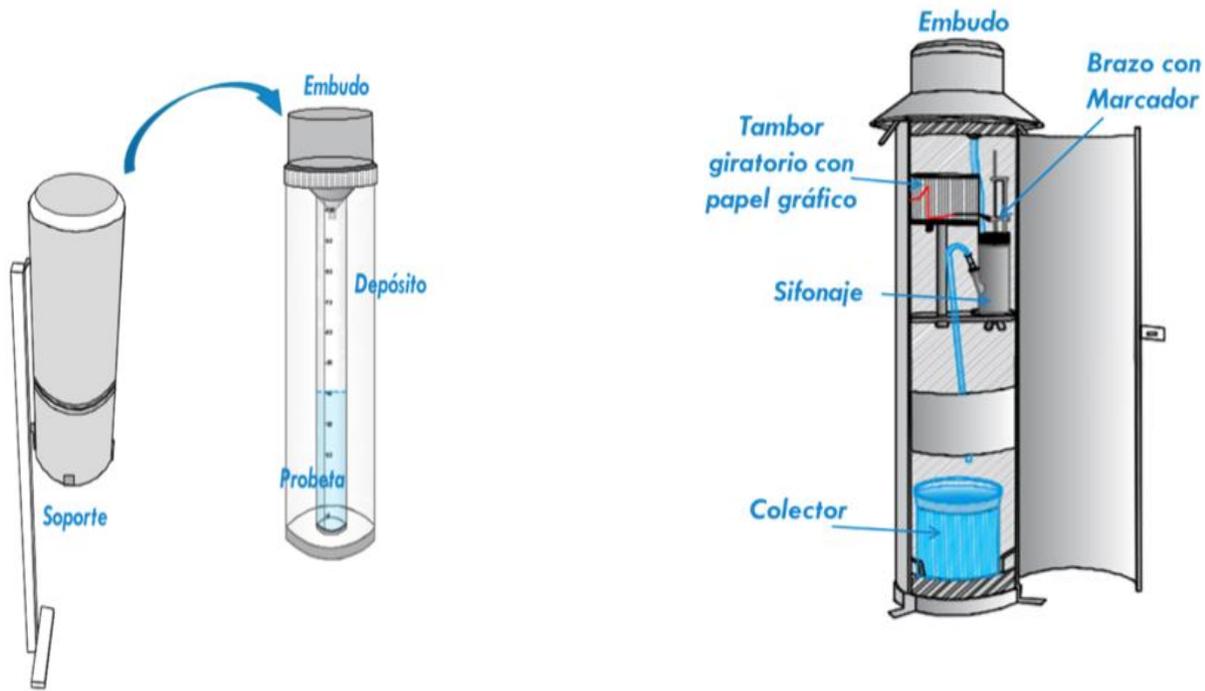


Figura 3: Pluviómetro y Pluviógrafo

Tipos de precipitación

Lluvias convectivas: Se producen cuando se calienta el aire donde se encuentra el agua, la humedad. Esta sube, se satura, se acelera y produce una precipitación. Este tipo de lluvias es altamente conocido en zonas ecuatorianas y, en verano, en latitudes medias.

Lluvias orográficas: El agua cumple su ciclo natural. Sin embargo, al ascender choca con las montañas, de esta manera se enfría, se condensa antes de tiempo y cae en forma de precipitación. Suele llover solamente sobre una vertiente de la montaña.

Lluvias de frente: Acompañan a un tipo de frente, por ejemplo: frente frío, cálido, ventoso; y a consecuencia generan fuertes lluvias. Estas precipitaciones son típicas de estaciones otoño-invernales de las zonas mediterráneas.

2.2.1 Precipitación media.

La determinación del volumen de agua precipitado sobre un área dada es de constante aplicación en hidrología y dicho volumen puede determinarse para una tormenta o para una sucesión de tormentas en un período de duración fija, como puede ser un mes, un trimestre (coincidente con una estación climática) o un año. En todos los casos lo que se calcula es la precipitación media y para ello se utilizan comúnmente tres métodos: Media Aritmética, Polígonos de Thiessen e Isoyetas.

-Método aritmético

Consiste en realizar la suma del valor registrado en cada una de las estaciones pluviométricas y/o pluviográficas ubicadas dentro del área en estudio y dividirla por el número total de estaciones, siendo el valor así hallado la Precipitación Media.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Donde:

P= precipitación media sobre la cuenca

P_i= precipitación observada en la estación i

N= número de estaciones

-Polígonos de Thiessen

Requiere el conocimiento de la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca para proceder a su aplicación, identificando el área de influencia de cada pluviómetro y/o pluviógrafo. Así se van formando triángulos entre las estaciones más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre sí y tratando que los triángulos sean lo más equiláteros posibles.

A partir de allí se trazan líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que al unirse en un punto común dentro de cada triángulo conforma una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación. El área de influencia de cada estación considerada "Polígono" está comprendida exclusivamente dentro de la cuenca. Ver (Figura 4)

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{A} = \sum_{i=1}^n (P_i * \frac{A_i}{A})$$

Donde:

P= precipitación media sobre la cuenca

P_i= precipitación observada en la estación i

A_i= área del polígono correspondiente a la Estación i

A= área total de la cuenca

N= número de estaciones pluviométricas y/o pluviograficas con influencia en la cuenca

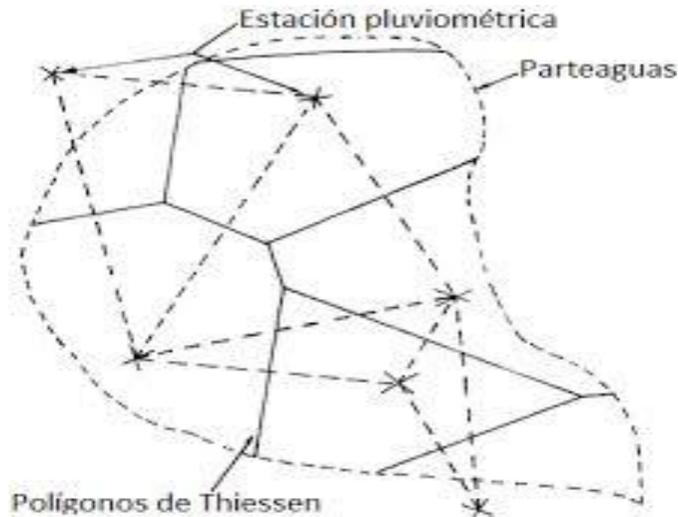


Figura 4: Polígonos de Thiessen

-Método de las isoyetas

El de mayor precisión es el Método de las Curvas Isoyetas, pero es subjetivo y dependiente del criterio del hidrólogo que la estudia, de acuerdo al conocimiento que este tenga de las características de la lluvia en la región estudiada. De allí permitirá incorporar los mecanismos físicos que explican la variabilidad de la lluvia dentro de la cuenca. Este método consiste en trazar curvas (Curvas Isoyetas) de igual precipitación a partir de los datos puntuales reportados por las estaciones meteorológicas para un periodo elegido. Los intervalos de profundidad de precipitación (decenas, medias centenas, centenas, etc. de milímetros) y de incremento de tiempo (1 hora, 6 horas, 12 horas, 1 día, 1 mes, 6 meses, 1 año, etc.) se toman de acuerdo a la necesidad del problema. Ver (Figura 5)

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{A_t}$$

Donde:

P_i = precipitación promedio entre dos curvas isoyetas consecutivas

A_i = área delimitada por las dos curvas isoyetas

A_t = área total considerada

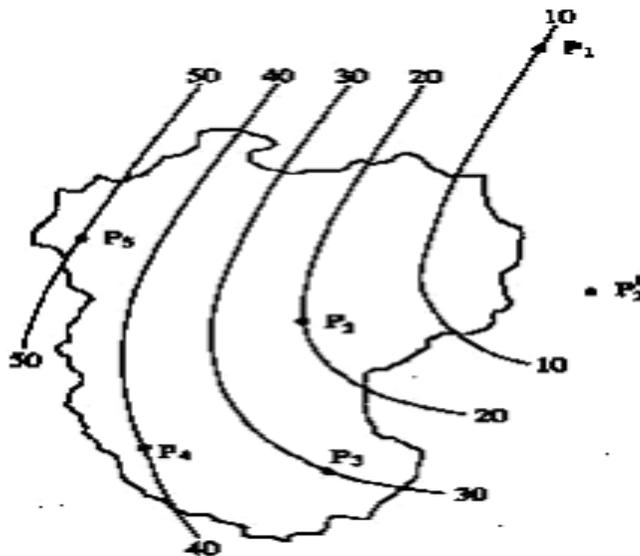


Figura 5: Método de las Isoyetas

2.2.2 ESCURRIMIENTO

Se llama escorrentía o escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.

2.2.2.1 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca, se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de avenida es constante.

Debido a las diferentes formas como fueron concebidas las expresiones, la variabilidad de los resultados entre una y otra puede ser bastante alta, razón por la cual el criterio del analista juega un papel fundamental en la definición del tiempo de concentración de una determinada cuenca.

Para ello se escogió la fórmula de Temez para calcular el tiempo de concentración:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas,

L: Longitud del cauce principal en kilómetros,

So: Diferencia de cotas sobre L en porcentaje.

Capítulo 3 Funciones de Distribución de Probabilidad Empleadas en Hidrología

Uno de los problemas más importantes en la hidrología consiste en obtener una interpretación de eventos probabilísticos a futuro, asociados a un registro en el pasado.

Ejemplo de este caso, es la estimación de gastos y su procedimiento se conoce con el nombre de análisis de frecuencia. Muchos procesos en Hidrología deben ser analizados y explicados con base a la ciencia probabilística, por su inherente aleatoriedad.

Por lo tanto, no es posible predecir una avenida o una precipitación con base únicamente determinística. Afortunadamente, los métodos estadísticos permiten presentar, organizar y reducir datos para facilitar su interpretación y evaluación.

Muchas funciones de distribución de probabilidad (Normal, Log normal, Pearson III, Gumbel, Funciones para dos poblaciones) son usadas en la Hidrología, sin embargo, en este trabajo hace énfasis solo en las más comunes y en las que más se usan en México. Estas son:

Distribución Normal

Distribución Gumbel

Distribución Doble Gumbel

3.1 Distribución Gumbel

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(X) = \int_0^x e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} dx$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$F(x) = \alpha e \left[-\alpha(x - \beta) - e^{-\alpha(x-\beta)} \right]$$

Donde α y β son los parámetros de escala y forma de la función, y se estiman por el método de momentos como $\alpha = 0.78 s$ y $\beta = x - 0.5772\alpha$, donde x representa la media de la muestra y s es la desviación estándar que se calculará con la siguiente ecuación:

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

La ecuación para determinar evento de diseño a través de la distribución Gumbel es:

$$X = Q \text{ calc} = \beta - \alpha \left[\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right]$$

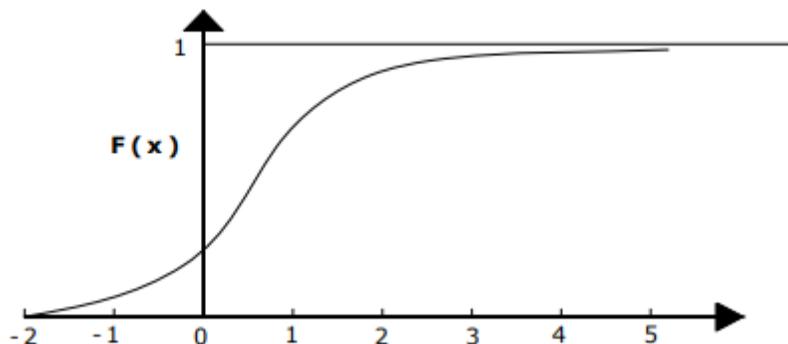


Figura 6: Distribución Gumbel

3.2 Distribución Doble Gumbel

En muchos lugares, los **gastos máximos** anuales pertenecen a dos poblaciones diferentes, la primera es la de los gastos producidos por precipitaciones relacionadas con los eventos meteorológicos dominantes en la región en estudio, y la segunda es la de los gastos producidos por precipitaciones ciclónicas, normalmente mayores que los primeros. Es importante tomar esto en cuenta. Ver (Figura 7)

Se ha demostrado que, en estos casos, la función de distribución de probabilidad se puede expresar como:

$$F(x) = F_1(x)[p + (1 - p)F_2(X)]$$

Donde $F_1(x)$ y $F_2(x)$ son, respectivamente, las funciones de distribución de probabilidad de los gastos máximos anuales producidos por tormentas ciclónicas y de los producidos por ellas, y p es la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto máximo no sea producido por una tormenta ciclónica. El número de parámetros de la función anterior es:

$$n = n_1 + n_2 + 1$$

Donde n_1 = número de parámetros de $F_1(x)$, n_2 = número de parámetros de $F_2(x)$ y el parámetro restante es p . El valor de p será entonces:

$$P = \frac{N_n}{N_T}$$

Donde N_n es el número de años de registro en que el gasto máximo no se produce por una tormenta ciclónica y N_T es el número total de años de registro. $F_1(x)$ y $F_2(x)$ son del tipo Gumbel, por lo que la función de probabilidad queda así:

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

Donde α_1 y β_1 son los parámetros correspondientes a la población no ciclónica y α_2 y β_2 corresponden a la ciclónica. La estimación de parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 , por momentos se calculan con el mismo criterio de la distribución Gumbel de 1 población.

En este caso no es posible determinar una ecuación para el cálculo de gastos máximos debido a que la función de distribución de probabilidad de Gumbel de dos poblaciones es implícita, eso implica que la solución de dicha ecuación debe realizarse a través de algún método para determinar raíces en una función.

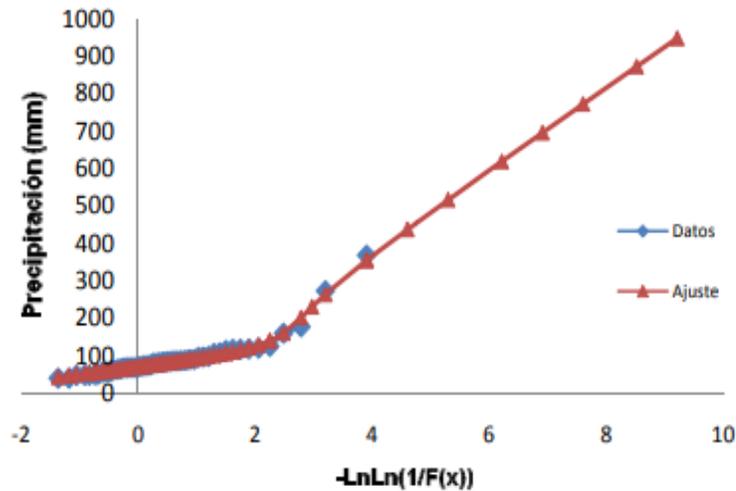


Figura 7: Distribución Doble Gumbel

3.3 Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

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

Donde, μ y σ son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función $f(x)$ y su posición en el eje x .

Los valores de μ y σ son la media y la desviación estándar de la población y pueden estimarse como la media y desviación estándar de los datos. La función de distribución de probabilidad normal es:

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

Como se sabe, hoy en día no se conoce analíticamente la integral de la ecuación $F(x)$, por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para evaluarla. Sin embargo, para hacer esto se requiere una tabla para cada valor de μ y σ , por lo que se ha definido la variable estandarizada:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así la función de distribución de probabilidad se puede escribir como:

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

La función $F(z)$ se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella. Debido a que la función $F(z)$ es simétrica, en dicha tabla se encuentran únicamente valores de:

$$\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

3.4 Período de Retorno.

El período de retorno resulta útil para el análisis del riesgo cuando se trata de estimar la probabilidad de que el valor de una variable extrema se vea superada, posiblemente conduciendo a la falla de una estructura diseñada para un evento determinado.

Para hacer evidente la relación se parte de la base de que la ocurrencia de los diferentes eventos no está correlacionada, esto es: la probabilidad de ocurrencia de un evento es independiente de los demás eventos. Bajo esta suposición se tiene que si la probabilidad de ocurrencia de un evento de determinada magnitud o mayor durante un período de tiempo es , $P(X \geq x_T) = P$, entonces la probabilidad de que no se

presente un evento de mayor magnitud en este período de tiempo es $1 - P$, dado que las probabilidades son independientes de un período a otro, entonces la probabilidad de que tal evento no ocurra durante N periodos consecutivos es la multiplicación de las probabilidades individuales, es decir . $(1 - P)^n$ Finalmente, la probabilidad de que un evento de esta magnitud o mayor se presente al menos una vez durante

estos N períodos es $1 - (1 - P)^n$, se define esta probabilidad como el riesgo (de que la obra se vea superada por la magnitud del evento) y por lo tanto:

$$R = 1 - (1 - P)^n$$

Donde:

$$P = \frac{1}{T}$$

Es la expresión que relaciona el periodo de retorno con la probabilidad ocurrencia de un evento de una magnitud dada o mayor en un período.

Capítulo 4 Metodología

4.1 Métodos de Regionalización (Técnicas de agrupamiento)

La regionalización se refiere a agrupar estaciones climatológicas, que cumplan con ciertas características entre sí, para tener regiones homogéneas y aplicar métodos y distribuciones de probabilidad.

El análisis 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. La mayoría de las técnicas regionales se basan en series de máximos anuales. (Escalante y Reyes, 2008).

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)

El método emplea la técnica de regresión lineal múltiple para seleccionar las características fisiográficas y climatológicas adecuadas. La heterogeneidad de los 24 grupos que se forman de manera preliminar se evalúa mediante una técnica de posicionamiento, en la cual un punto en el espacio multidimensional se representa por una curva en dos dimensiones vía la función (Escalante y Reyes, 2008).

$$f(t) = X1 \sqrt{2} + X2 \sin(t) + X3 \cos(t) + X4 \sin(2t) + X5 \cos(2t) + \dots$$

Donde:

$X1$ y $X2$, ... son características fisiográficas y/o meteorológicas obtenidas del análisis de regresión y la función se evalúa en el rango $-\pi \leq t \leq \pi$.

Debido a que la función conserva las distancias, es una técnica ideal de comparación visual para la formación de grupos homogéneos. Los resultados obtenidos dependen del tipo y del ordenamiento de las variables seleccionadas, donde las primeras variables son asociadas con componentes cíclicas de baja frecuencia y las últimas de alta frecuencia, siendo las de baja frecuencia las más fáciles de observar, por lo tanto, $X1$ es la variable más significativa en el análisis de regresión, $X2$ la segunda, y así sucesivamente.

Una vez desarrolladas las funciones (t), se generan envolventes que formen conjuntos de curvas de comportamiento similar y se deriva una curva media $\bar{f}(t)$, que represente

los atributos físicos de cada grupo formado. Para las curvas donde se tenga duda sobre si pertenece o no a un grupo particular se hará la siguiente prueba:

$$SS = \sum_{t=-\pi}^n \{ [f^j(t)] - [f(t)]k \}^2$$

Donde:

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

4.1.2 Coeficiente de Variación

Este método es ideal, ya que hace uso de una comparación gráfica entre atributos estadísticos de los registros analizados. Para los datos de registro disponibles se obtiene el parámetro estadístico de centralización \bar{x} , y el parámetro estadístico de dispersión **CVi** con los cuales se construye una gráfica, colocando en el eje de las ordenadas los coeficientes **CVi** y en el eje de las abscisas la relación (\bar{x}_i/A_i) , donde A_i son las áreas drenadas de cada uno de los sitios. Por último, los grupos se forman por la concentración de puntos alrededor de determinado valor del coeficiente de variación.

4.2 Técnicas regionales

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

Es una técnica sencilla de regionalización ampliamente usada en la hidrología. Este método presenta diversas ventajas, entre las que se pueden mencionar las siguientes: la metodología es de aplicación y sistematización sencilla, el método requiere de la calibración de una sola ecuación índice, los estimadores regionales aseguran la consistencia en los resultados y los errores de estos estimadores son pequeños (Maidment, 1993). Un método del tipo de avenida índice es el de Darlymple, el cual

considera que las muestras se ajustan a la distribución de valores extremos tipo I (Gumbel), y se requiere que las muestras tengan igual longitud de registro.

4.2.2 Método Estaciones- Año

Este método es utilizado para estimar largos periodos de retorno. Parte de la suposición de que los registros en los sitios son independientes entre sí, y consiste en 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.

Para la aplicación de éste método se recomienda contar con una muestra de por lo menos 10 años de registro por estación, aunque si se tuviera una estación con menos años, pero con registros de eventos extremos que puedan afectar el comportamiento del fenómeno de la región, entonces debe ser tomada en cuenta en el estudio.

La secuencia de la aplicación de este método es la siguiente:

1. Se prueba dentro de la región analizada la homogeneidad de las series de datos. 2. De las series de los eventos analizados para cada estación Q_i^j , se obtienen los siguientes parámetros estadísticos muestrales: \bar{x}_j , S_j^2 , S_j , g_j , k_j , g_j , CV_j para $i = 1, \dots, n$ Años y $j = 1, \dots, ms$ sitios.
3. Para cada serie j verificar mediante la prueba de Anderson la independencia de eventos
4. Para cada serie j generar una muestra modulada de la forma

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

5. Formar el registro llamado estación – año, de tamaño $nT = \sum_{j=1}^{ms} n_j$ con todos los eventos modulados .
6. Ordenar el registro de mayor a menor y asignar un periodo de retorno y una probabilidad de no excedencia.

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

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

Donde:

T , es el periodo de retorno en años.

nT , es el tamaño de muestra del registro estaciones – año.

m , es el número de orden del registro, desde $m = 1, \dots, nT$.

P , es la probabilidad de no excedencia.

7. Ajustar diferentes funciones de probabilidad al registro formado en el paso 5, 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 seleccionará el que proporcione el mínimo error estándar de ajuste probabilidad de no excedencia.

8. Una vez obtenida la distribución de mejor ajuste, estimar los eventos regionales para diferentes periodos de retorno, los cuales serán válidos para cualquier punto dentro de la zona analizada.

$$(q) \frac{R}{T} = \left(\frac{Q}{Q} \right)_{T, T = 2,5,10,20,50,100,500,1000,5000 \text{ y } 10000 \text{ años}}$$

9. Para obtener un evento QT_j en un sitio j

Capítulo 5 Ejemplo de aplicación

5.1 Estado de Nuevo León

El estado de Nuevo León tiene una extensión de 64.210 km², oficialmente llamado Estado Libre y Soberano de Nuevo León; es uno de los treinta y un estados que, junto con la Ciudad de México, forman los Estados Unidos Mexicanos. Su capital y ciudad más poblada es Monterrey.

Está ubicado en el noreste del país, limitando al norte con el río Bravo que lo separa de Estados Unidos, al este con Tamaulipas, al sur con San Luis Potosí y al oeste con Coahuila y Zacatecas. Cuenta con 5, 119,504 habitantes. Fue fundado el 5 de julio de 1824. Ver (Figura 8)

El estado tiene 51 municipios, de los que nueve forman el Área Metropolitana de Monterrey: Monterrey, San Pedro Garza García, Santa Catarina, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, Apodaca, General Escobedo y Juárez. Nuevo León está ubicado cerca de la frontera, de puertos del Golfo de México y del centro del país. El clima es seco, pero ha permitido el cultivo de granos, papa y naranja y la cría de reses y cabras.

La flora del estado está caracterizada por el matorral y los pastizales en las regiones bajas y los pinos y encinos en las sierras.

El estado concentra 213 grupos industriales, la mayoría con sede en Monterrey y su área metropolitana. Entre los principales destacan la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, con exportaciones a decenas de países; Cemex, la tercera cementera más grande del mundo; FEMSA, la compañía de bebidas embotelladas más grande de América Latina; Banorte servicios bancarios y Alfa, con operaciones en la industria petroquímica y de alimentos.

El Estado de Nuevo León contribuye al PIB nacional con el 7.5%, equivalente a 652 mil millones de pesos (62,328 millones de dólares), ocupando el tercer lugar entre las Entidades Federativas (después de Ciudad de México y el Estado de México). En las actividades productivas en las que destaca el estado, se encuentran la industria manufacturera, que provee para el país el 7.5% nacional (104.250 millones de pesos o 9,478 millones de dólares), ocupando el tercer lugar.



Figura 8: Localización geográfica del Estado de Nuevo León

5.1.2 Fisiografía

Clima

El clima de Nuevo León es en su mayor parte estepario semiseco y la época de lluvias ocurre entre mayo y octubre. En el cañón del Huajuco y la zona citrícola tienen clima subtropical, mientras que en la Sierra Madre el clima es templado. La mitad norte del territorio es de clima estepario con veranos muy cálidos e inviernos templados a fríos, presentándose heladas con frecuencia en el invierno y ocasionalmente nieve.

Orografía

El territorio tiene una extensión de 64.210 km² y se puede dividir en tres regiones: una planicie seca en el norte, una templada en las regiones de la sierra y un altiplano semidesértico-fresco en el sur. La Sierra Madre Oriental influye de manera importante en la configuración del terreno formando las altiplanicies de Galeana y Doctor Arroyo, sierras aisladas y los valles del Pílon, de la Ascensión y de Río Blanco. Las máximas elevaciones son Cerro El Potosí, Sierra de la Marta, Sierra Peña Nevada y Cerro El Viejo, con altitudes sobre los 3,500 msnm.

5.1.3 Hidrografía

La Hidrografía de Nuevo León está distribuida en cuatro regiones hidrológicas: RH24 “Bravo-Conchos”, RH25 “San Fernando-Soto la Marina”, RH26 “Pánuco” y RH37 “El Salado”. Ver (Figura 9).

Región hidrológica RH24 “Bravo-Conchos”

Cubre el 59.37% de la superficie estatal, drenando las aguas del centro y norte de la entidad hacia el río Bravo para verter finalmente sus aguas al Golfo de México. Las cinco cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río Bravo-San Juan (30.9%), Presa Falcón-Río Salado (21%), Río Bravo-Sosa (5.88%), Río Bravo-Nuevo Laredo (2.45%) y Río Bravo-Matamoros-Reynosa (1.59%).

Región hidrológica RH25 “San Fernando-Soto la Marina”

Cubre el 17.99% de la superficie estatal, drenando las aguas del sureste de la entidad hacia los ríos San Fernando y Soto la Marina los cuales finalmente vierten sus aguas al Golfo de México. Las dos cuencas de esta región hidrológica y la porción del territorio estatal que cobijan son: Río San Fernando (14.07%) y Río Soto la Marina (3.92%).

Región hidrológica RH26 “Pánuco”

Cubre el 0.75% de la superficie estatal, abarcando solo una pequeña porción en el sureste de la entidad. Comprende dentro del estado de Nuevo León parte de la cuenca del Río Tamesí.

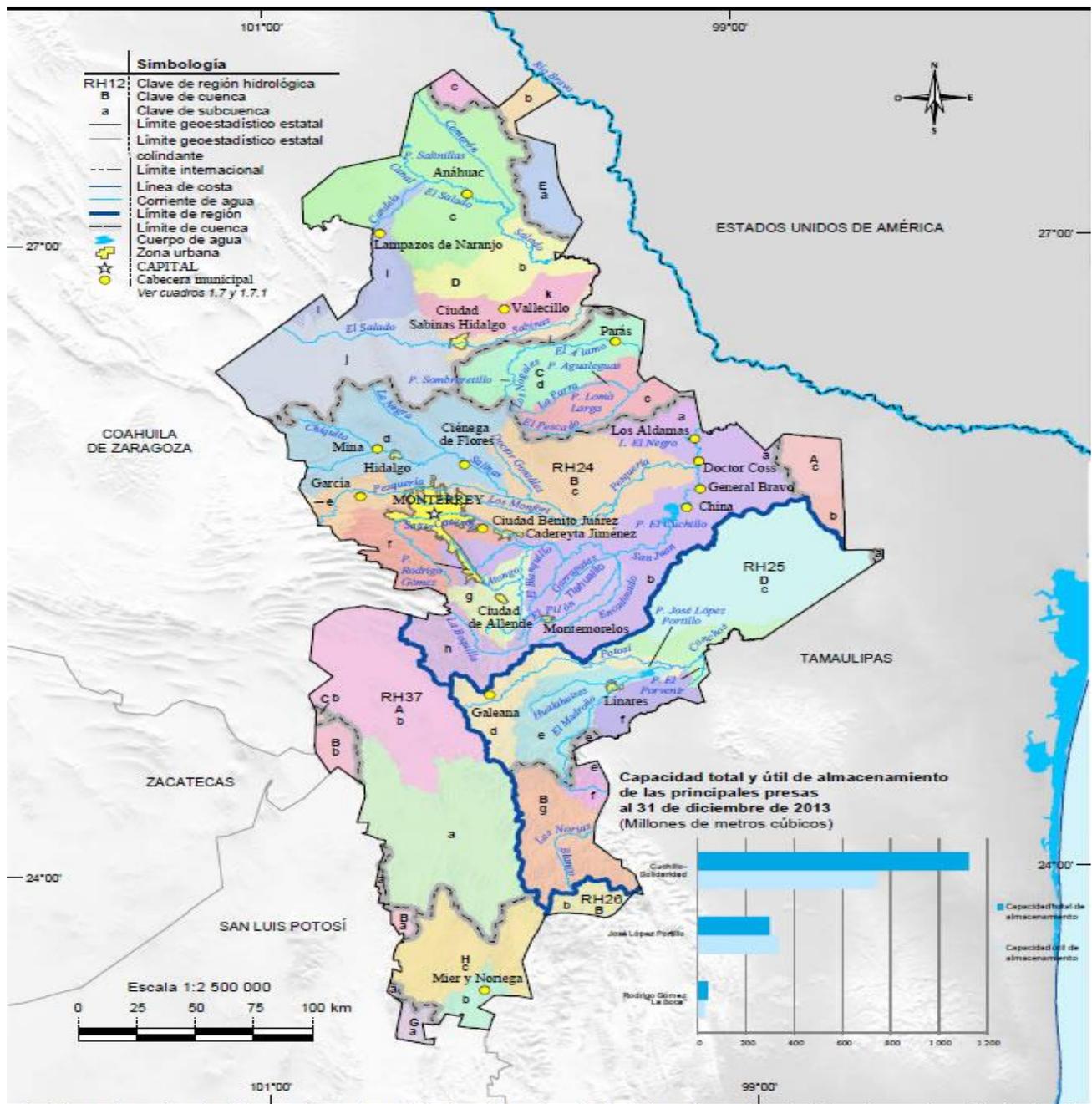
Región hidrológica RH37 “El Salado”

Cubre el 19.44% de la superficie estatal correspondiente al suroeste de la entidad. Los escurrimientos son superficiales y escasos, las corrientes naturales de tipo permanente son mínimas, lo que hace de esta área una zona semidesértica.

Presas y lagos

Las principales lagunas y lagos del estado son: Laguna El Negro en Los Aldamas, Laguna de Sánchez en Santiago, Laguna de Labradores en Galeana, Laguna Salinillas en Anáhuac.

Las principales presas del estado son: Presa el Cuchillo, Presa Cerro Prieto, Presa Rodrigo Gómez “La Boca”, Presa Agualeguas, Presa Sombreretillo, Presa el Porvenir, Presa Loma Larga, Presa Salinillas y Presa los Monfort.



Fuente: INEGI-CONAGUA, 2007. Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México, Escala 1: 250 000. INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales Escala 1: 250 000. serie 1. Comisión Nacional del Agua. Organismo de Cuenca Río Bravo.

Figura 9: Mapa de la red hidrográfica de Nuevo León

5.1.4 Descripción de la cuenca de estudio (Santa Catarina).

El río Santa Catarina no solo es una línea azul en un mapa, tampoco es un pulmón verde de la zona metropolitana de Monterrey, ni mucho menos una reserva territorial de los especuladores inmobiliarios, más bien es el elemento toral del medio ambiente del centro de la subcuenca Río Bravo-San Juan ver (Figura 10), puesto que en sus 60 kilómetros de longitud se desarrolla la dinámica de varios ecosistemas endémicos y alóctonos, como el caso del castor norteamericano o el de los moluscos de agua dulce. La cuenca del río Santa Catarina tiene un área 1690.526 kilómetros cuadrados.

Sin el río, el paisaje urbano aumentaría 1% más su sensación de calor. En efecto, podemos definir a este río como un reservorio de humedad que, a modo de oasis, genera a nivel regional tres servicios ambientales de sumo interés para la seguridad y la protección civil de los regiomontanos. En primer lugar, el río Santa Catarina es el responsable de que el centro de la zona metropolitana se refresque todas las tardes los 365 días del año, puesto que sin él, todo el concreto del que está hecha esa parte de la ciudad tendría una temperatura, a la hora del ocaso, superior a los 30 grados centígrados, como ocurre en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Este pequeñito río también funciona como trinchera, pues encajona los tremendos torrentes que generan los huracanes tipo Gilberto

La existencia del río Santa Catarina representa, dentro de la economía del conocimiento y el desarrollo sustentable, posibilidades de inversión superiores a los 200 millones de dólares por concepto de ecoturismo, deporte de aventura y ornito turismo

En julio de 2010, el Huracán **Álex** llegó en el peor-mejor momento. Poco le importó que por el lecho del río Santa Catarina se hubieran instalado ciclovías pavimentadas, vegetación decorativa, iluminación o canchas privadas de fútbol con pasto sintético. El cauce se lo llevó todo.

El régimen hidrológico del río Santa Catarina se caracteriza por largos periodos en donde sus corrientes son extremadamente bajas, prueba de ello es que de 1960 a 2010 más del 80 por ciento del tiempo se mantuvo virtualmente seco.

El estado de Nuevo León ha sufrido varios eventos meteorológicos los cuales se mencionan a continuación:

1. El huracán **Gilberto** de 1988, con una gasto máximo registrada de 4,400m³/s.
2. El huracán **Emily** de 2005, con aproximadamente 600m³/s.
3. Y el huracán **Álex** de 2010, con una corriente máxima de 2,700m³/s

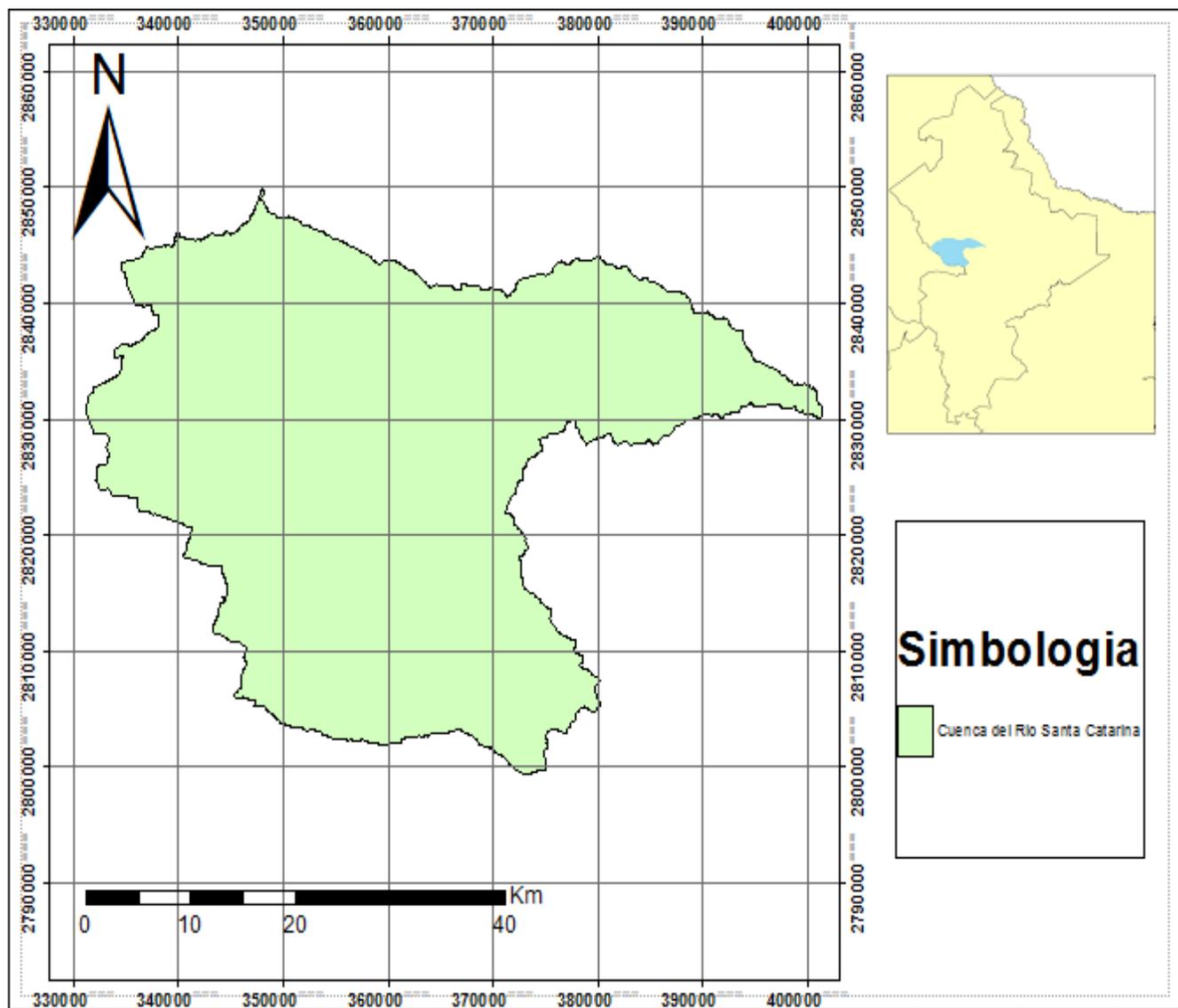


Figura 10: Mapa de la cuenca de estudio (Santa Catarina)

5.1.4.1 Delimitación de la cuenca (Rio Santa Catarina).

Para delimitar la cuenca hidrográfica, existen varias herramientas computacionales que realizan el proceso con mayor velocidad y de una forma precisa, para este estudio se utilizó el software ArcMap que pertenece al grupo ESRI. ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos, que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, et

En primer lugar, debemos contar con el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del área de estudio. Para este trabajo se descargará de la página de INEGI el MDE del área de estudio. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx> Se busca el archivo .tiff en la carpeta de Descargas y se guarda con otro nombre, por ejemplo MDE en la carpeta del proyecto.

- 1.- Es importante que el espacio de trabajo tenga la misma proyección que se trabajará en el proyecto, por lo que se da clic derecho en Layers y se da clic en Properties, en la ventana que se abre se selecciona la proyección WGS_1984_UTM_Zone_14N
- 2.- Se agrega el ráster descargado de INEGI, mediante ADD Data (Figura 11).



Figura 11: Modelo de Elevaciones de la Cuenca del Rio Santa Catarina

3.- El ráster se encuentra en coordenadas decimales, por lo que primero se proyecta a coordenadas UTM (con unidades en metros). De la herramienta ArcToolbox se da doble clic en Data Management Tools y se selecciona **Projections and Transformations** y en Raster se da doble clic en **Project Raster**,

Delimitación de cuencas

4.- El primer paso es realizar una depuración de la imagen para eliminar las posibles imperfecciones de la capa raster.

Para dicha acción se utiliza la herramienta de "fill" que se encuentra en la caja de herramientas "Arc toolbox" en la función de "Spatial Analyst Tools" y en la herramienta de "Hydrology". (Figura 12 y 13).

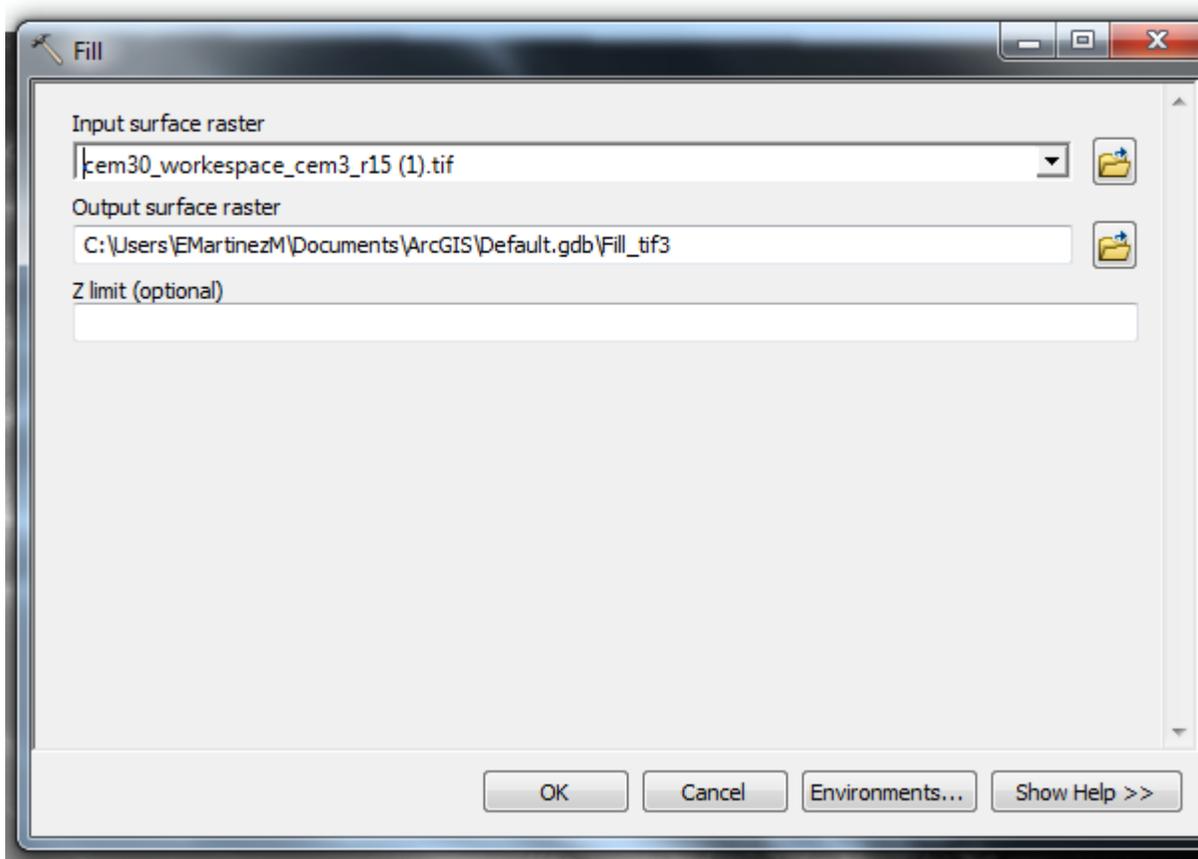


Figura 12: Herramienta "Fill"

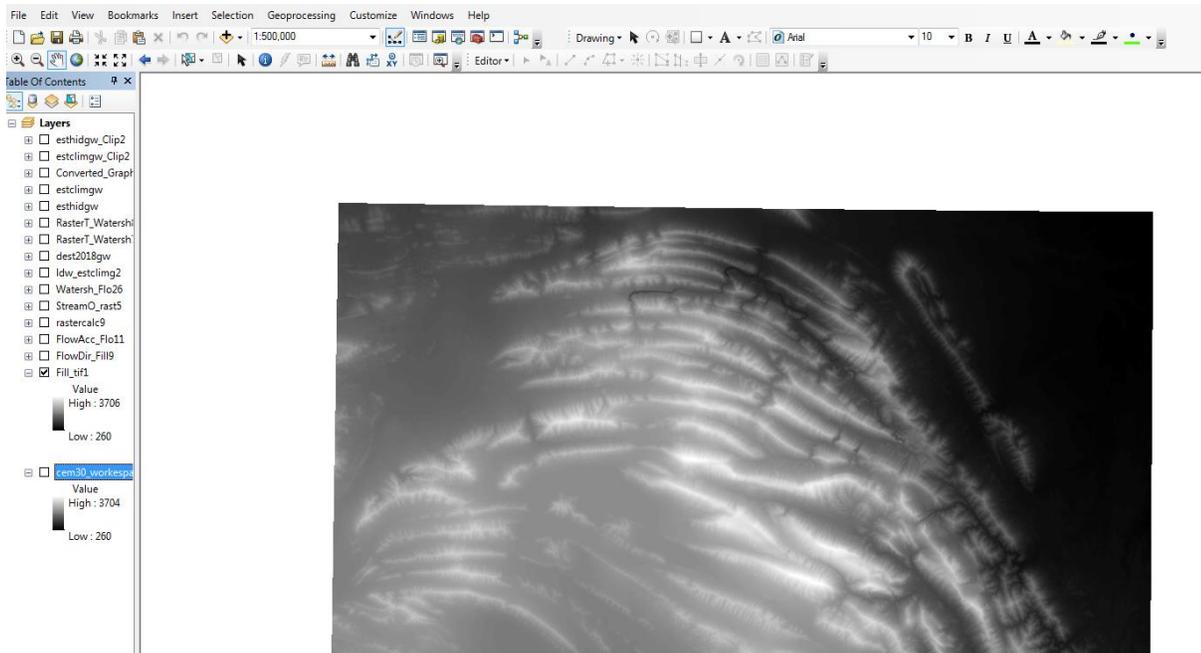


Figura 13: Vista del archivo creado (fill). No se nota la diferencia con la capa anterior

5.- El siguiente paso es sacar la dirección de flujo para esta acción tomamos la herramienta de flow direction que de igual manera se encuentra en el paquete de herramientas de Hydrology. (Figura 14 y 15)

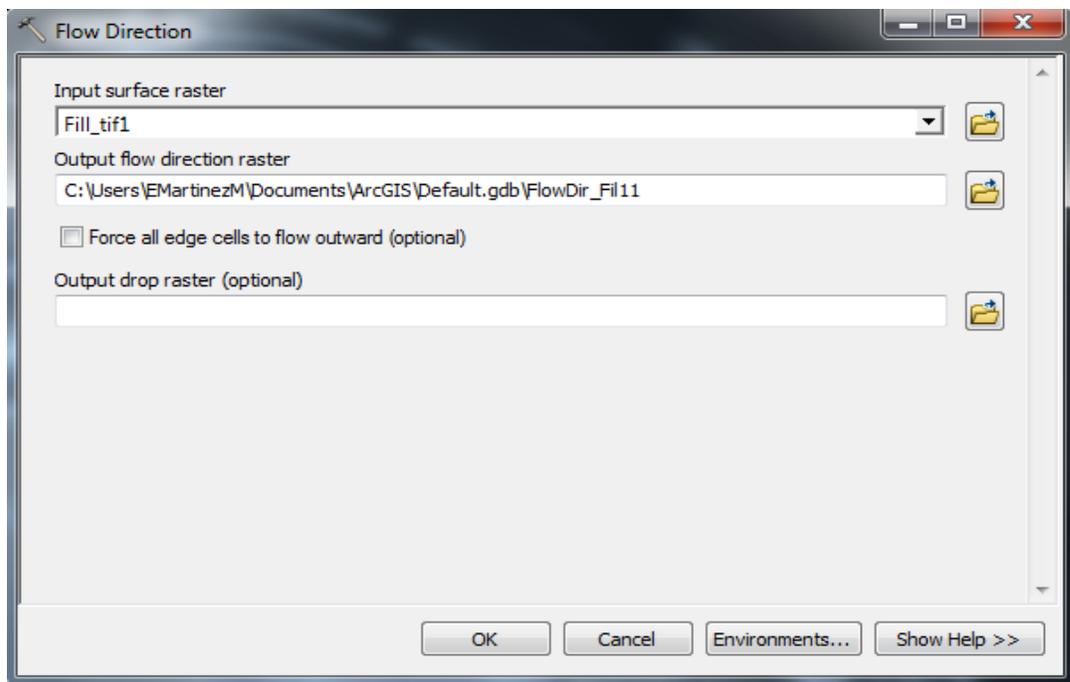


Figura 14: Herramienta Flow Direction

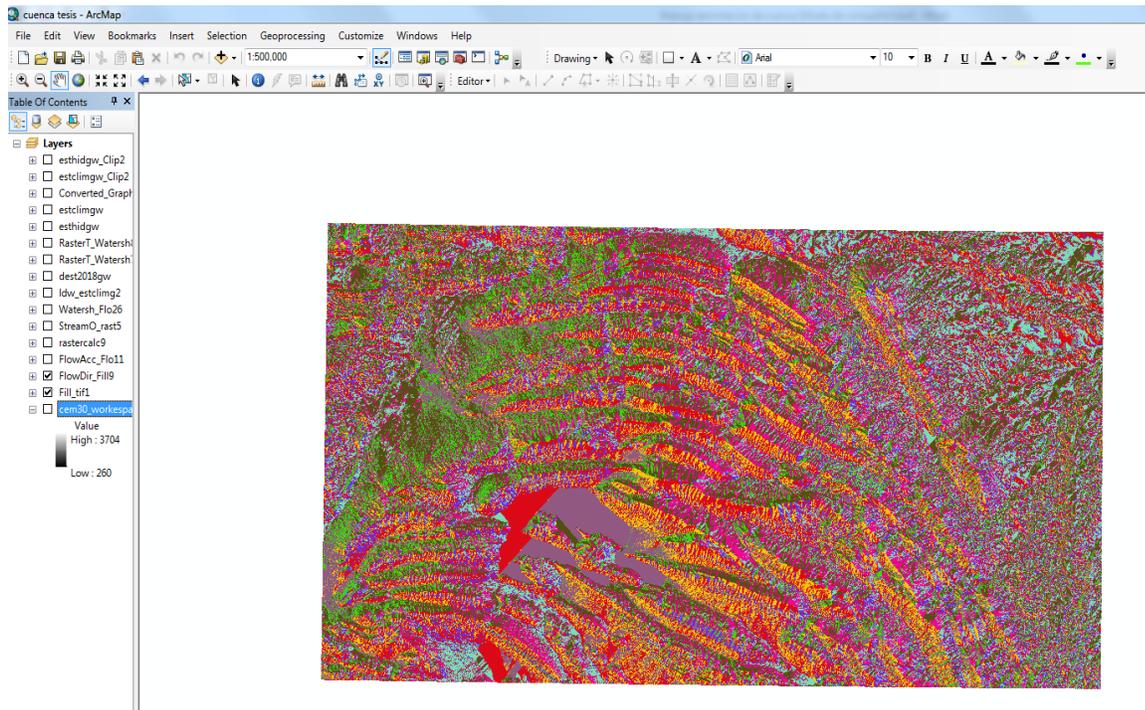


Figura 15: Vista del archivo creado (Flow Direction)

4.- El siguiente paso consta en sacar la acumulación del flujo con la herramienta flow accumulation que de igual forma se localiza dentro de la herramienta de Hidrology. (Figura 16 y 17).

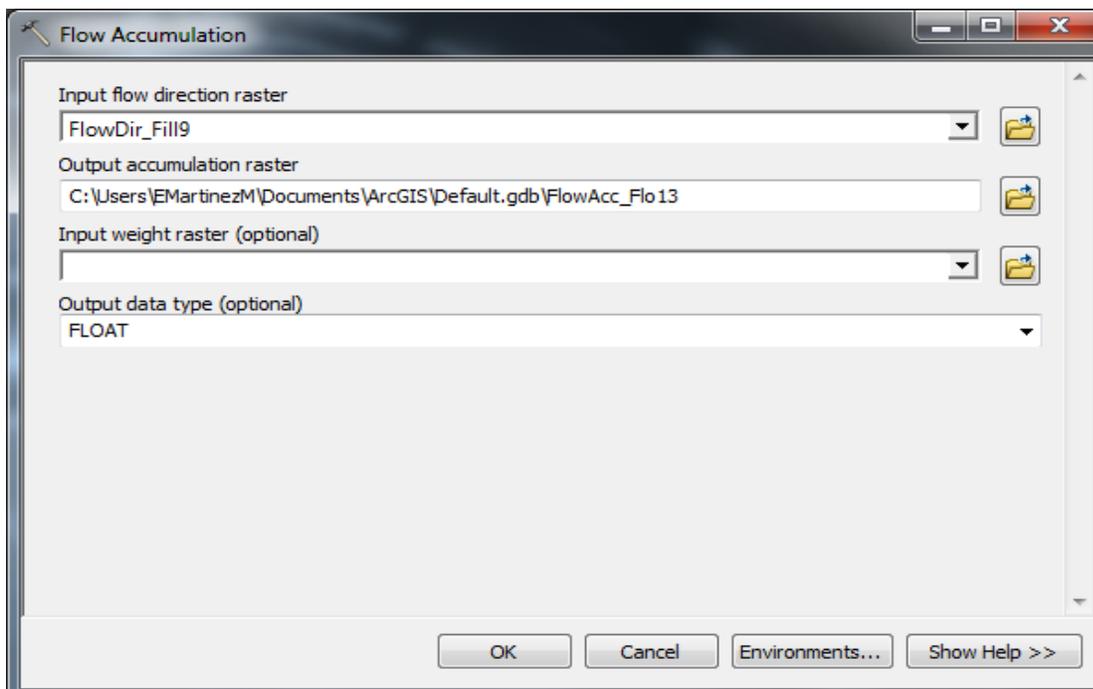


Figura 16: Herramienta Flow Accumulation

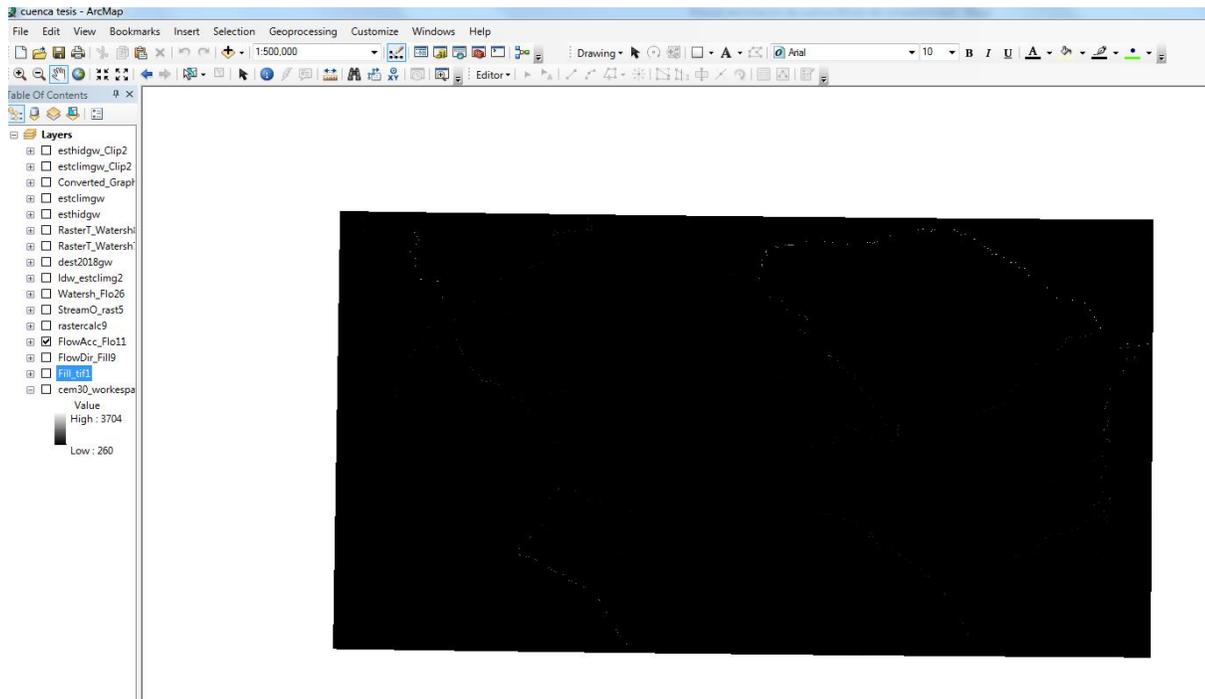


Figura 17: Vista del archivo creado (Flow accumulation)

6.- Sacar un ráster calculado para apreciar mejor todos los flujos de corriente. Para esa acción te colocas en la caja de herramientas de igual forma en “Spatial Analyst tools,” en “Map Algebra” y en “Raster Calculator:” (Figura 18 y 19).

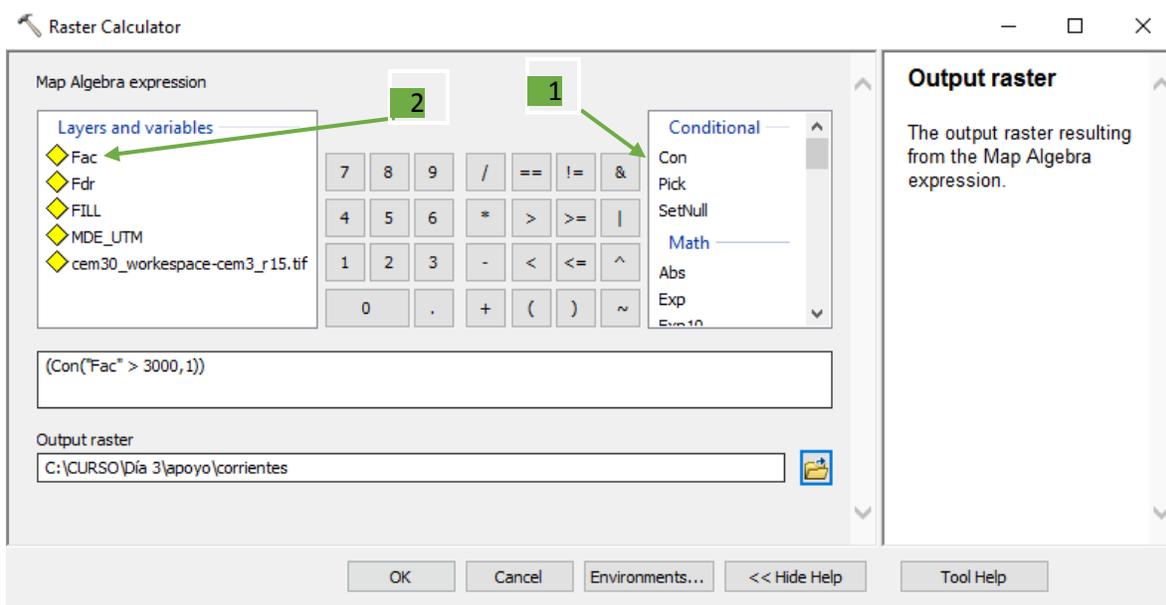


Figura 18: Herramienta Raster Calculator

Al aparecer el recuadro de “Raster Calculator” se selecciona en “conditional” la opción de “con” que se colocara de inmediato en el recuadro de la fórmula, después se selecciona la capa de flujo de acumulación “Fac” y mayor a 3000,1). La fórmula queda de la siguiente manera

`(Con("Fac" > 3000,1))`

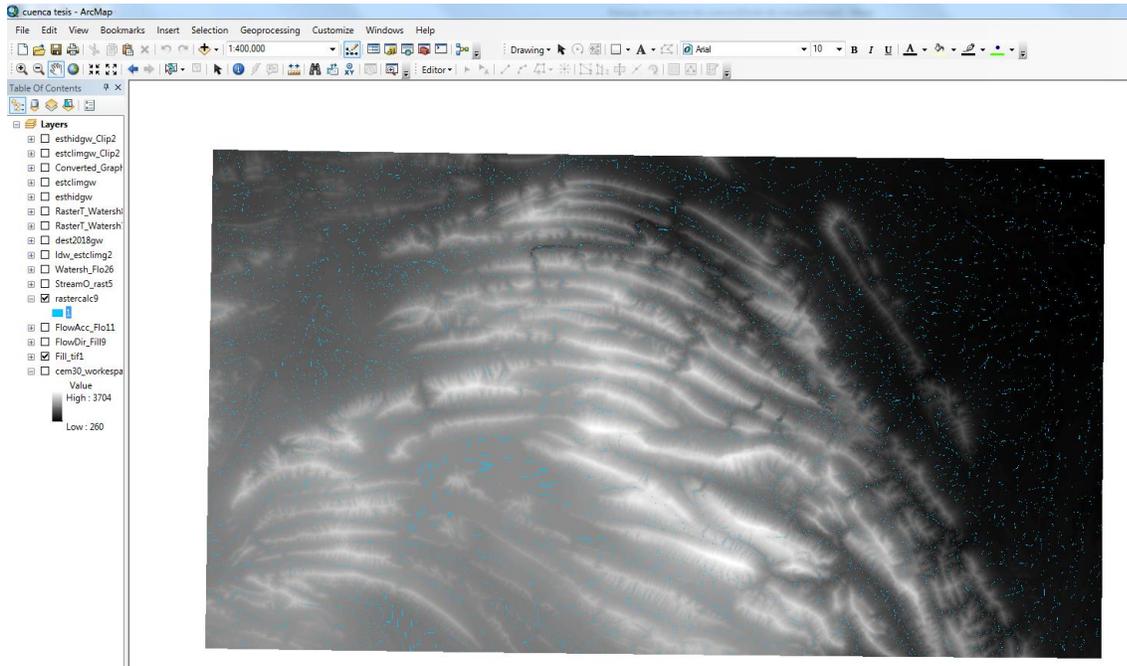


Figura 19: Vista de la capa de raster calculado (Str)

7.- Para conocer el orden de corrientes de la imagen, se selecciona la herramienta de “Stream order”, del paquete de herramientas de Hydrology. (Figura 20 y 21).

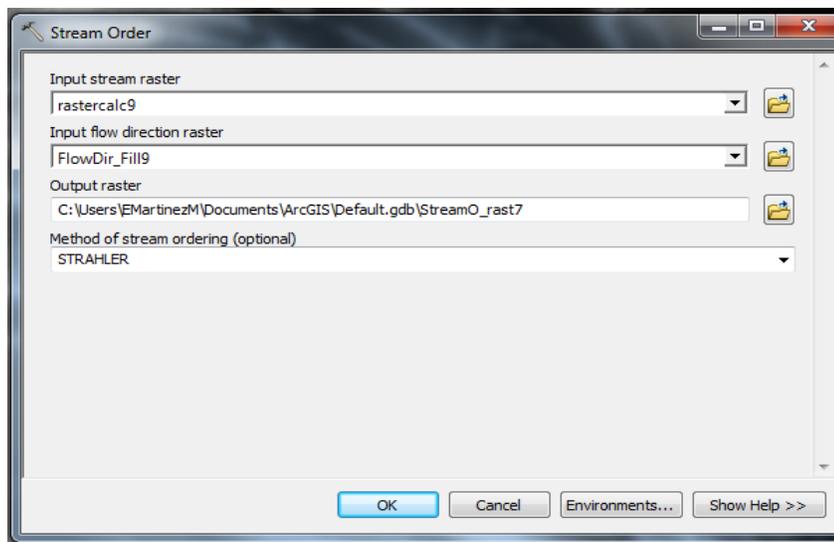


Figura 20: Herramienta stream order

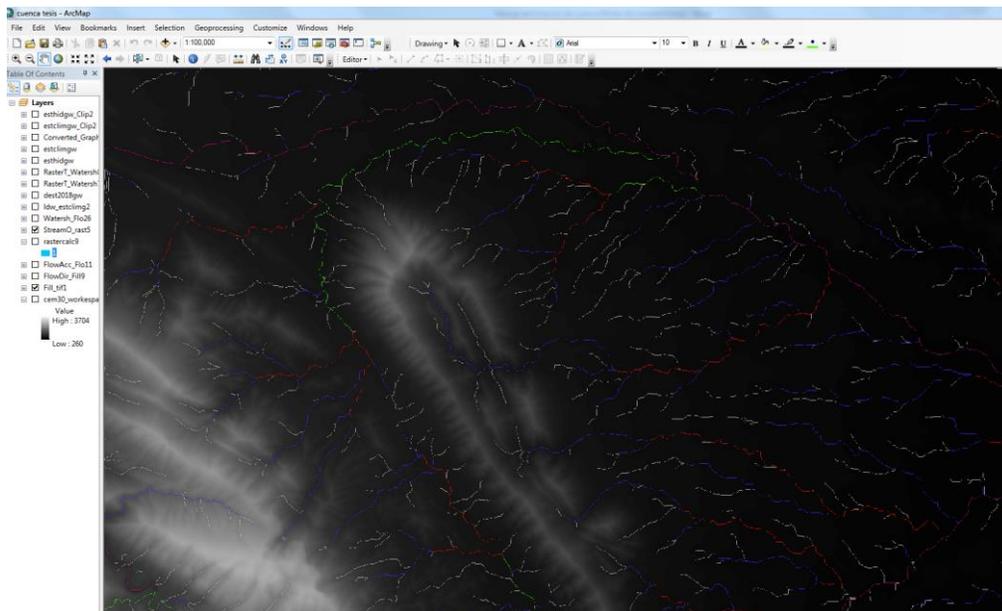


Figura 21: Vista de la capa de orden de corriente (StrOrd)

8. Para poder delimitar la cuenca de interés es necesario crear un punto de salida. En este caso interesa saber cuál es la cuenca del Río Santa Catarina.

9.- Para hacer el punto de salida primero se hará a través de un dibujo. Se agrega la herramienta de draw.

Con la opción de Marker, colocamos nuestro punto de salida sobre la capa de orden de corriente creada (StrOrd). (Figura 22 y 23).

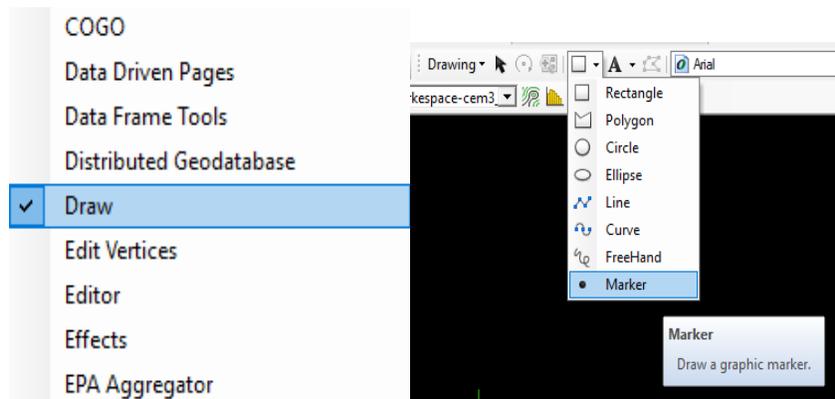


Figura 22: Herramienta Draw (Opcion Marker)

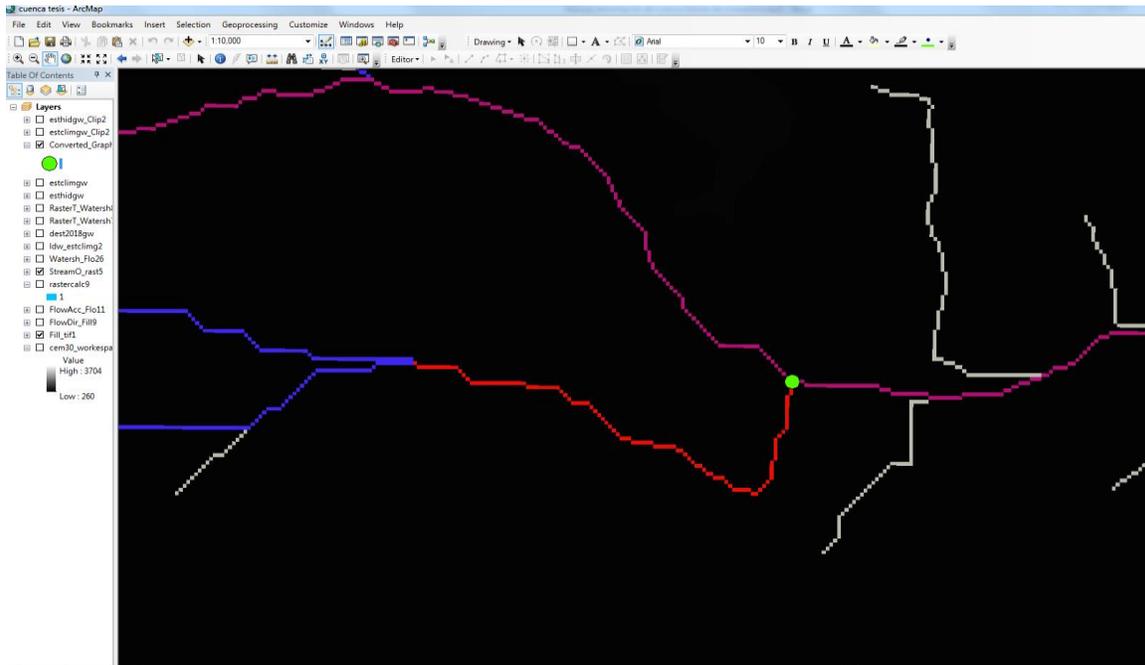


Figura 23: Vista del punto de salida de la cuenca

10.- Como el punto está en formato sólo de dibujo, el siguiente paso es exportarlo a shape. Para esta acción nos colocamos en la barra de herramientas de Draw herramienta de "drawing" y seleccionamos la opción de "Convert Graphics To Features" (Figura 24).

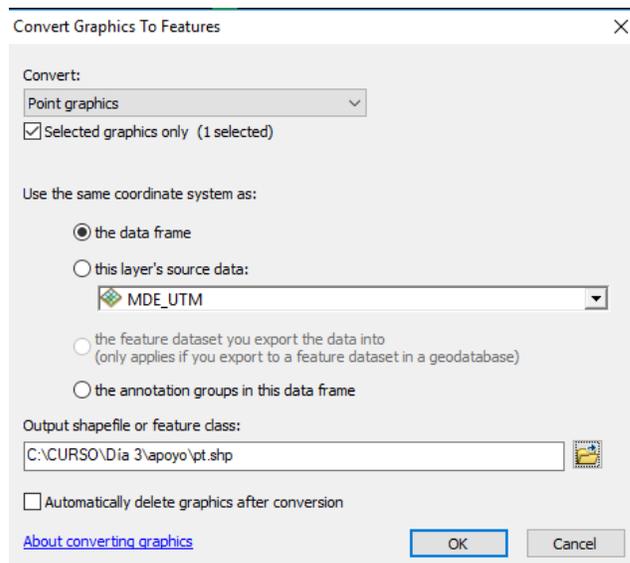


Figura 24: Opcion "Convert Graphics to Features"

De esta forma el punto deja de ser un ser un dibujo para convertirse en una capa más.
Nota: eliminar el punto de dibujo manualmente

11.- Con el punto generado en shape, lo que sigue es pasar ese mismo punto a raster, puesto que es el formato en el que se está trabajando con las imágenes.
Para ese proceso tomamos la función de “3D Analyst Tools”, después “Functional Surface” y la herramienta de “Interpolate shape.” (Figura 25 y 26).

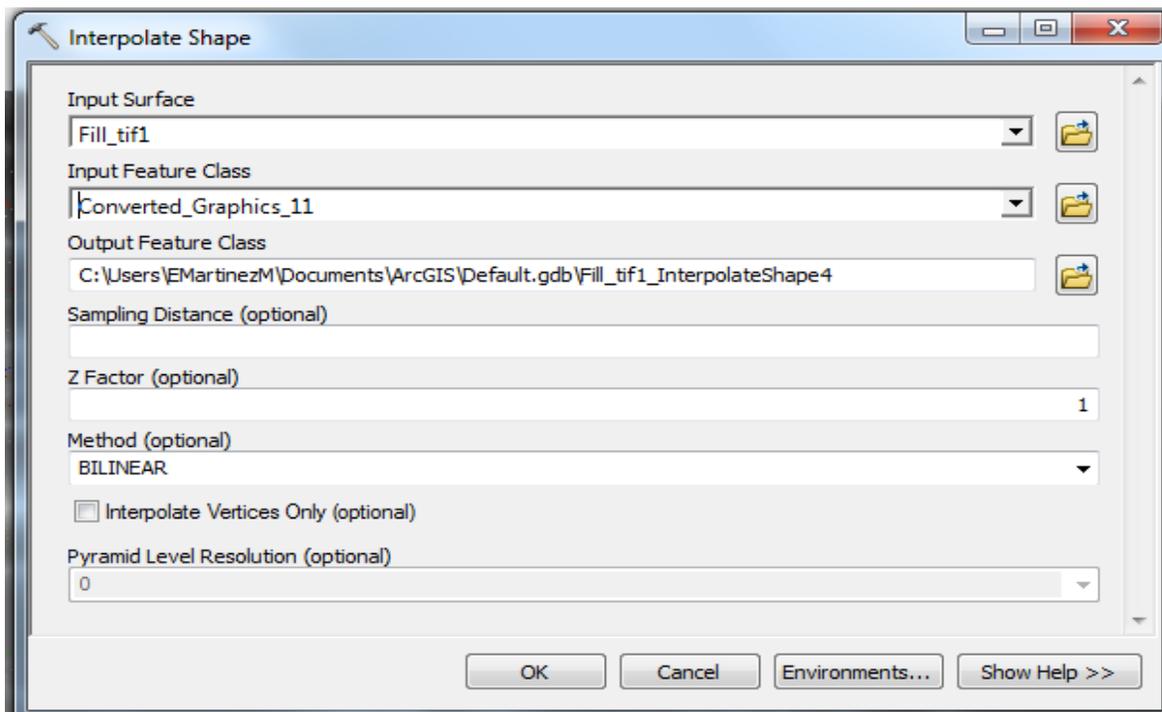


Figura 25: Herramienta interpolate Shape

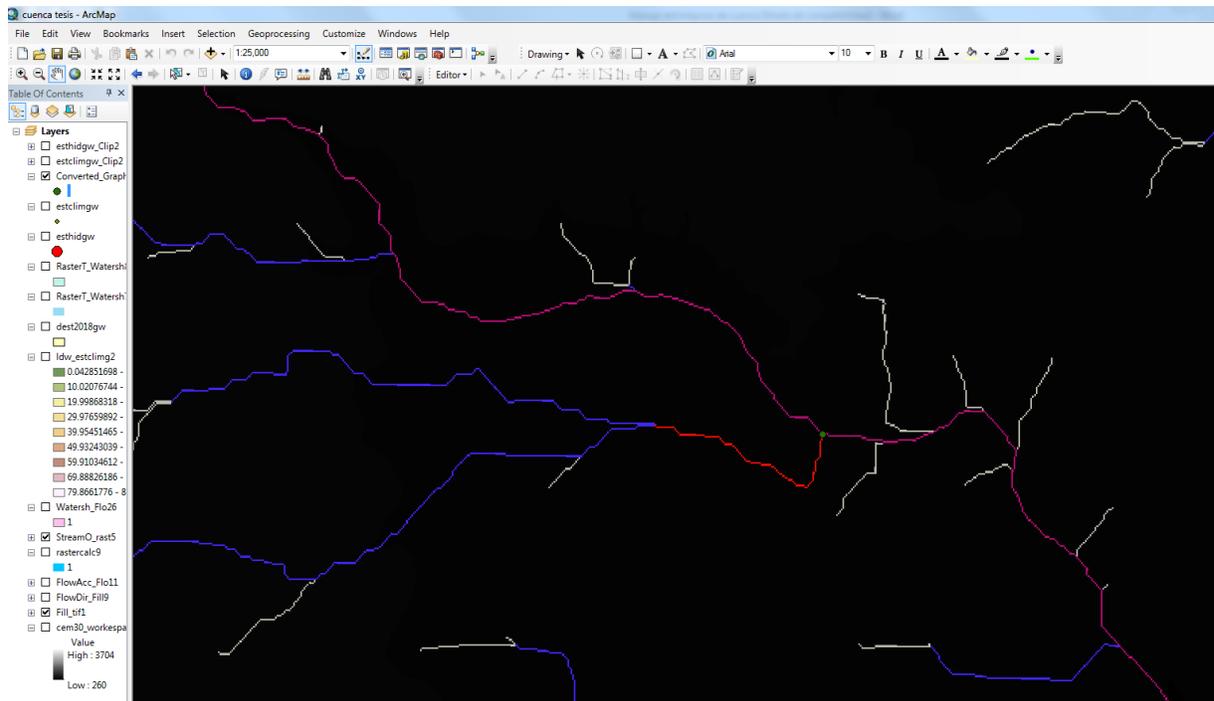


Figura 26: Vista con el punto raster creado

12.- Para delimitar la cuenca nos vamos de nuevo a la función de “hidrology” y seleccionamos la herramienta de “watershed”. (Figura 27 y 28).

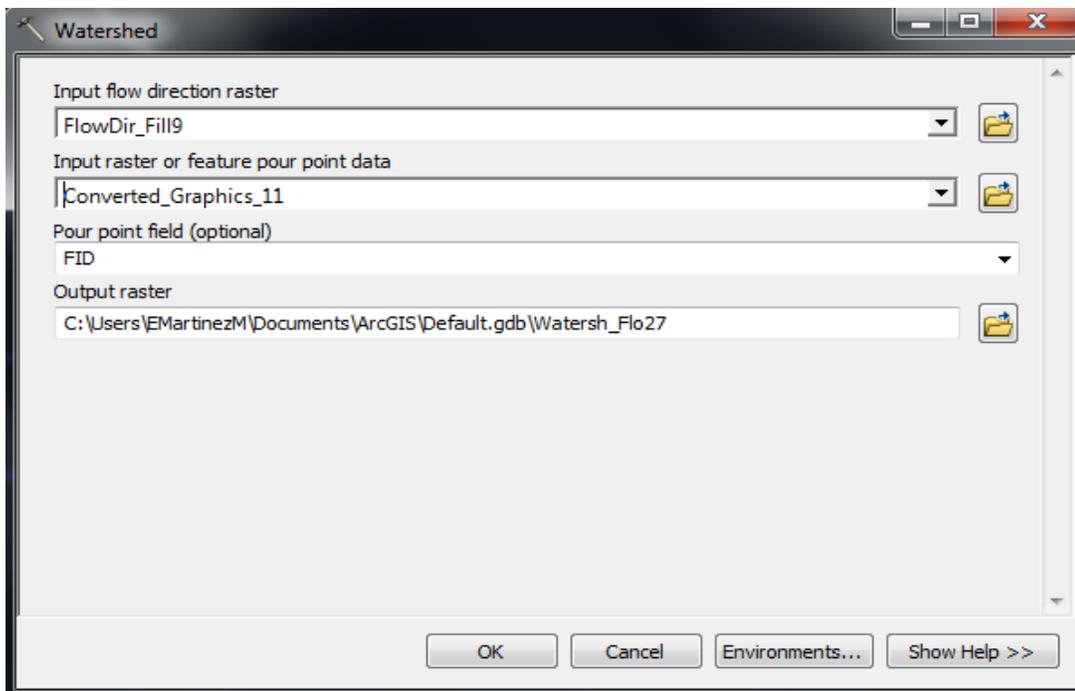


Figura 27: Herramienta Watershed

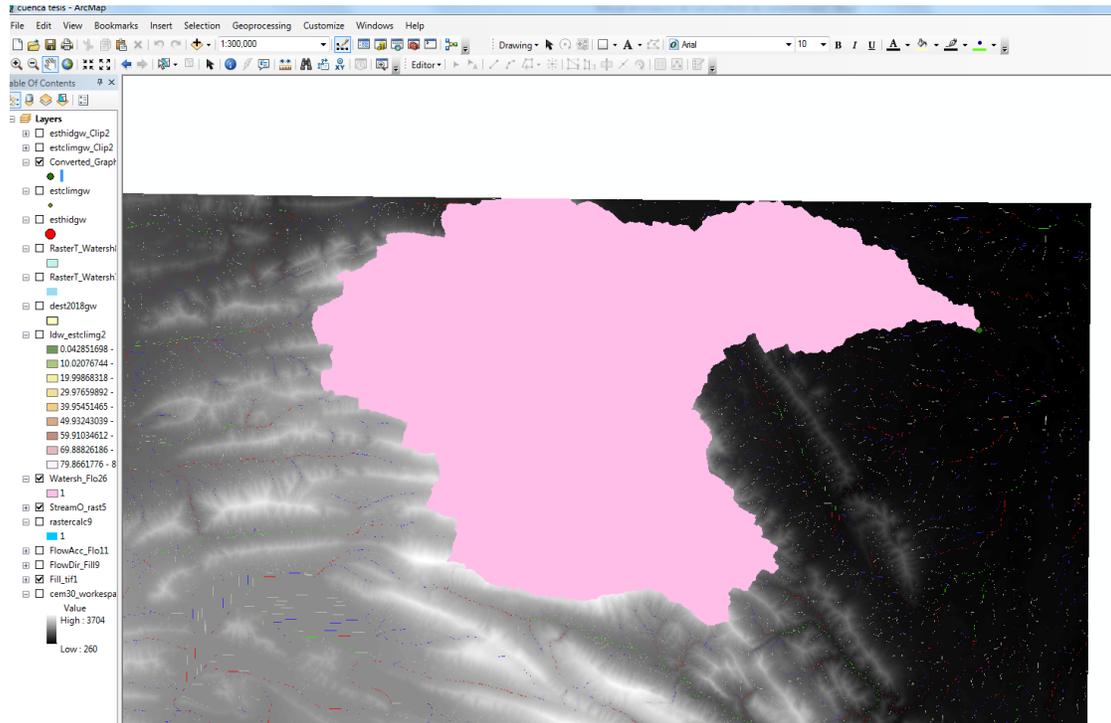


Figura 28: Vista de la cuenca, capa creada a partir de la herramienta watershed

13.- El último paso es pasar nuestra cuenca de formato raster a shape para un mejor manejo de datos. Lo que se hace es seleccionar la función de “Conversion Tools”, después “From raster” y la herramienta de “Raster to polygon.” (Figura 29 y 30).

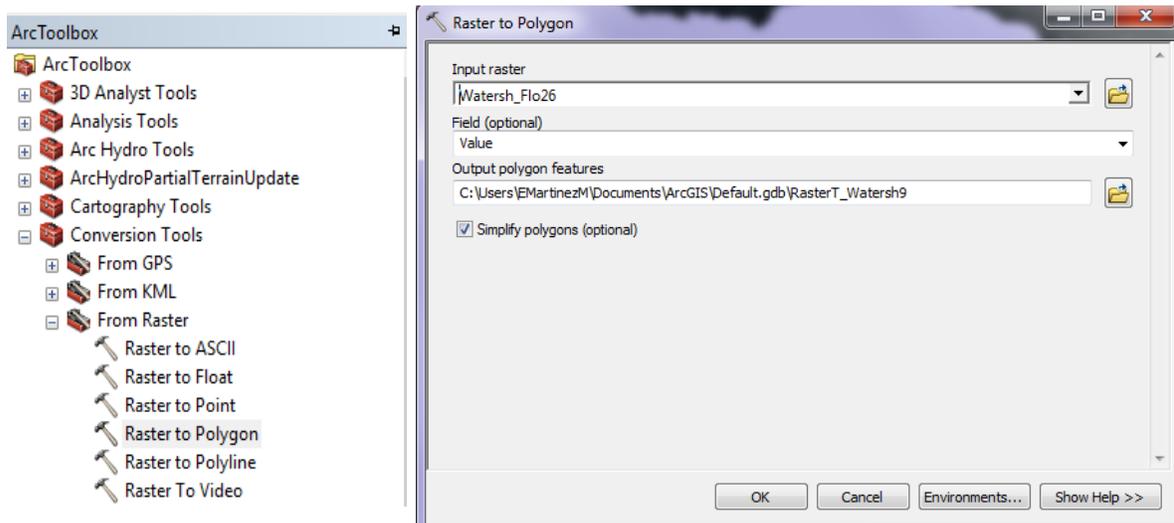


Figura 29: Herramienta "Raster to Polygon"

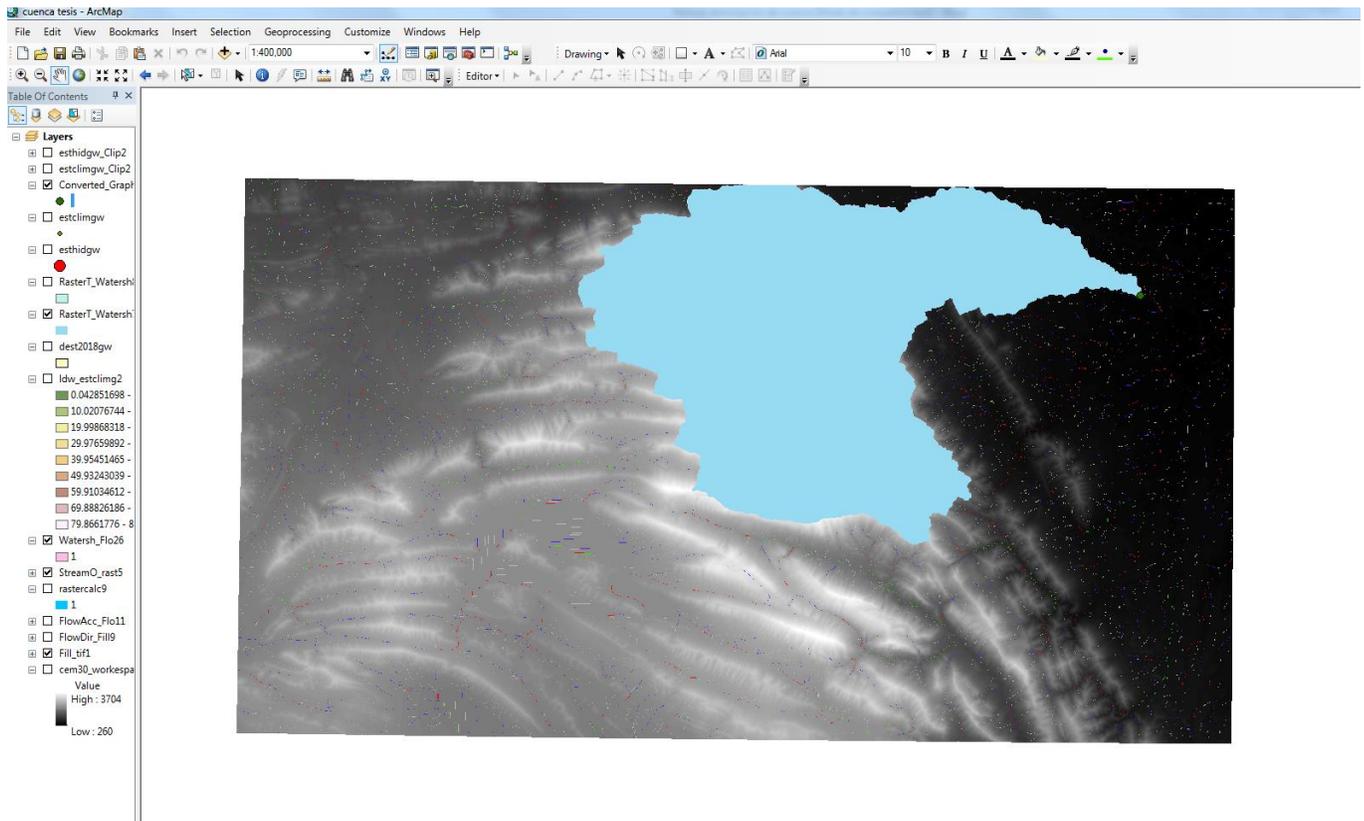


Figura 30: Vista de la cuenca con formato de poligono

Tabla de atributos

Abrimos su tabla de atributos correspondiente a la cuenca con formato de polígono. (Figura 31).

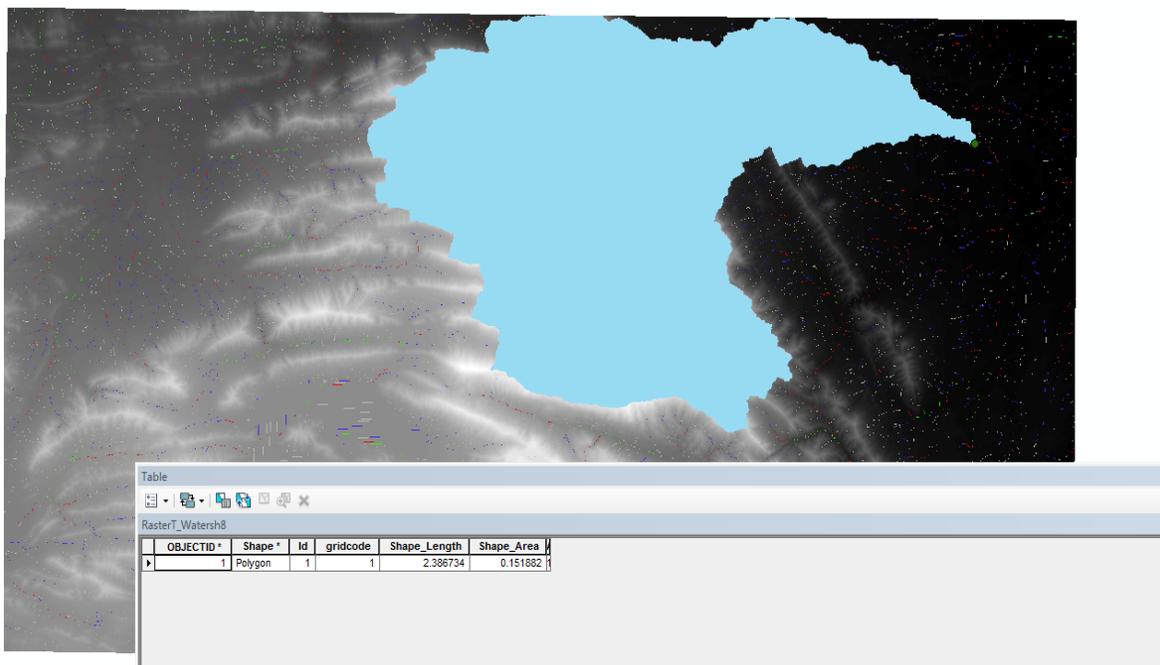


Figura 31: Tabla de atributos de la cuenca

Editar tabla de atributos: agregamos la extensión de editor/ start editing/ seleccionamos la capa de watershed/ continúe/ (Figura 32).

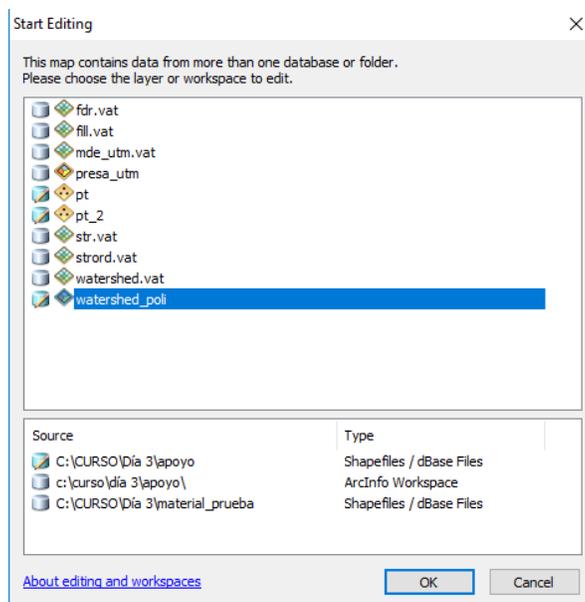


Figura 32: Extensión de editor

En nuestra tabla seleccionamos manualmente los polígonos que no nos sirven y borramos  Editor/ stop editing. (Figura 33).

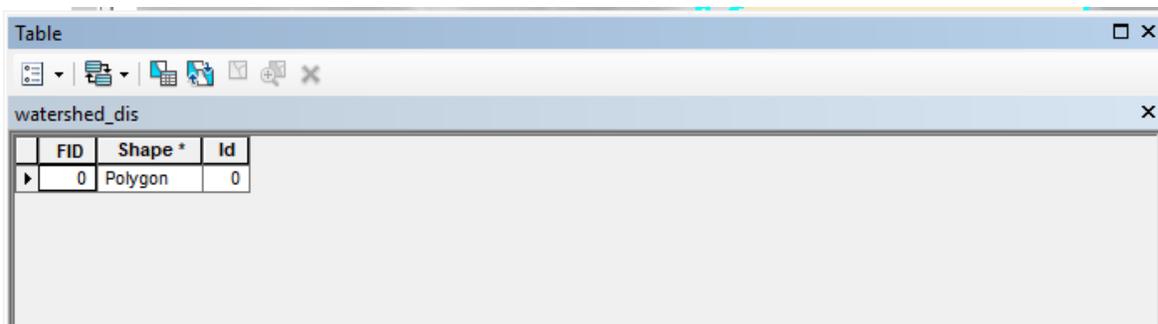


Figura 33: Nueva de tabla de atributos

Para calcular el área de la cuenca
Tabla de atributos>>Add field>> (Figura 34-36)

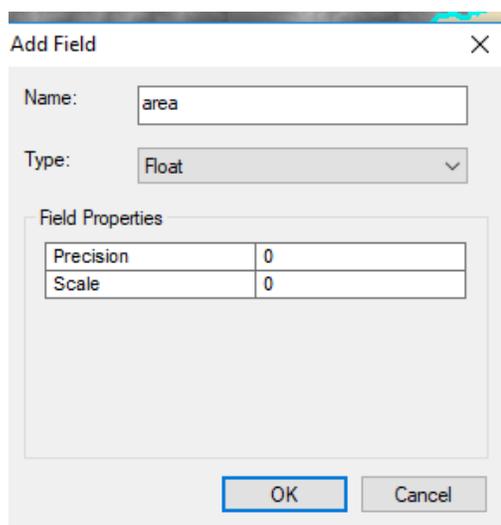


Figura 34: Add fiel

Después dar click derecho en la nueva columna de área y seleccionar “Calculate Geometry”.

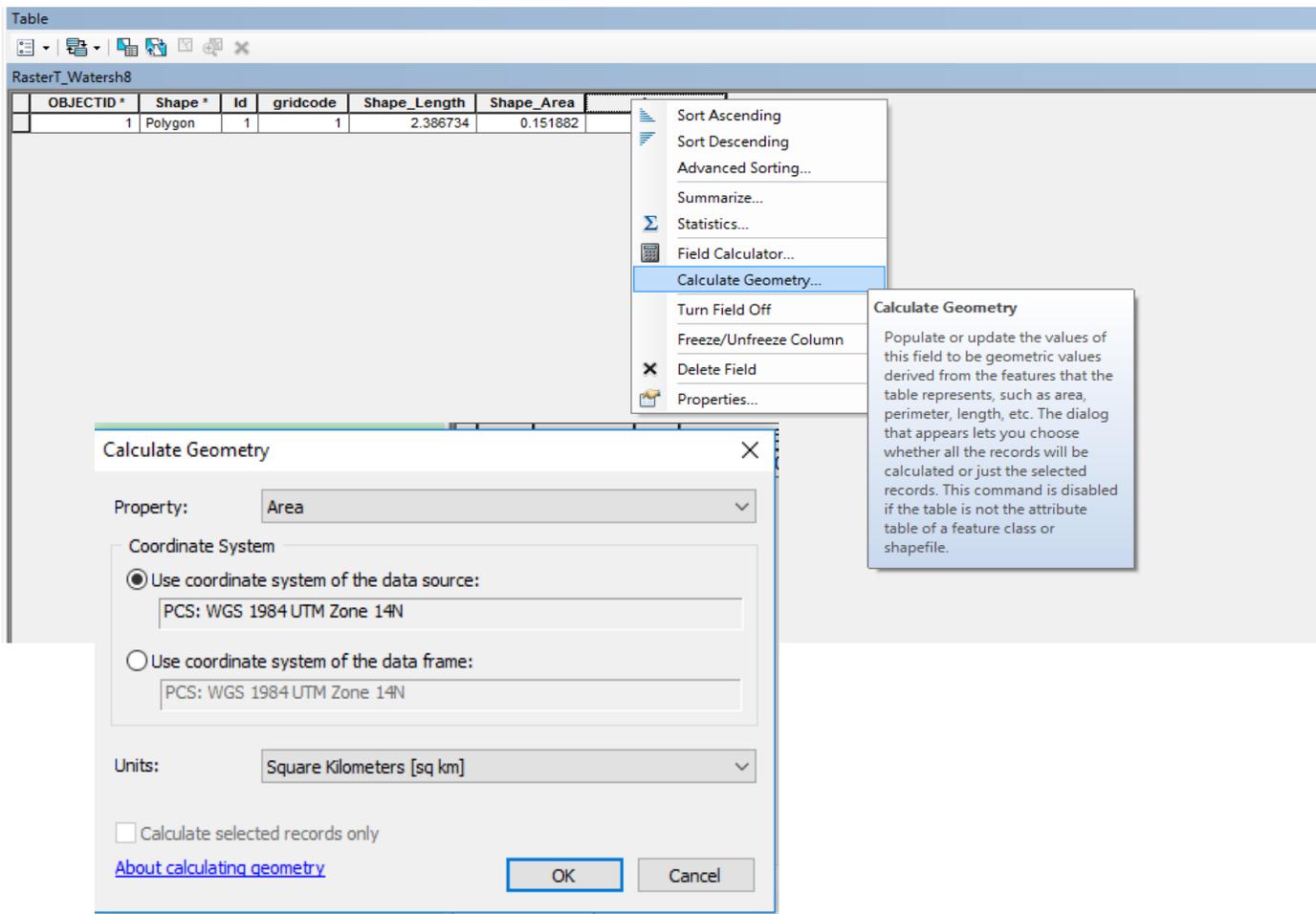


Figura 35: Calculate Geometry

OBJECTID*	Shape*	Id	gridcode	Shape_Length	Shape_Area	Area
1	Polygon	1	1	2.386734	0.151882	1690.526

Figura 36: Resultado del area calculada de la cuenca

5.1.5 Información Disponible.

5.1.5.1 Estaciones climatológicas e hidrométricas disponibles en Nuevo León y en la Cuenca Santa Catarina.

En la República Mexicana existen 5492 estaciones climatológicas, el Estado de Nuevo León Cuenta con 172 estaciones que recaban los datos climatológicos, es importante resaltar que 128 estaciones se encuentran operando y 44 estaciones suspendidas. En la cuenca del Rio Santa Catarina se tienen un total de 17 estaciones climatológicas (Figura 37 y Tabla 1). Por lo cual es necesario la actualización de las estimaciones que se registran para la obtención de mejores análisis y así obtener mapas de lluvia más confiables ya que a partir de los datos analizados se podrá dimensionar futuras obras hidráulicas que mitiguen eventualidades climatológicas.

Para este trabajo se depuraron 7 estaciones climatológicas de las 17 totales ya que eran las que cumplían con el número de registros mayores a los 20 años. Para posteriormente determinar las estimaciones pertinentes para el estudio de Regionalización.

Esta cuanto a las estaciones Hidrométricas del país obtenidas del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (Bandas) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Se tiene un total de 1126 estaciones con datos de 1997. El estado de Nuevo León cuenta con 29 estaciones. La cuenca de Santa Catarina tiene 4 estaciones en total, a partir de la estación Cadereyta 2 se trazó la cuenta.

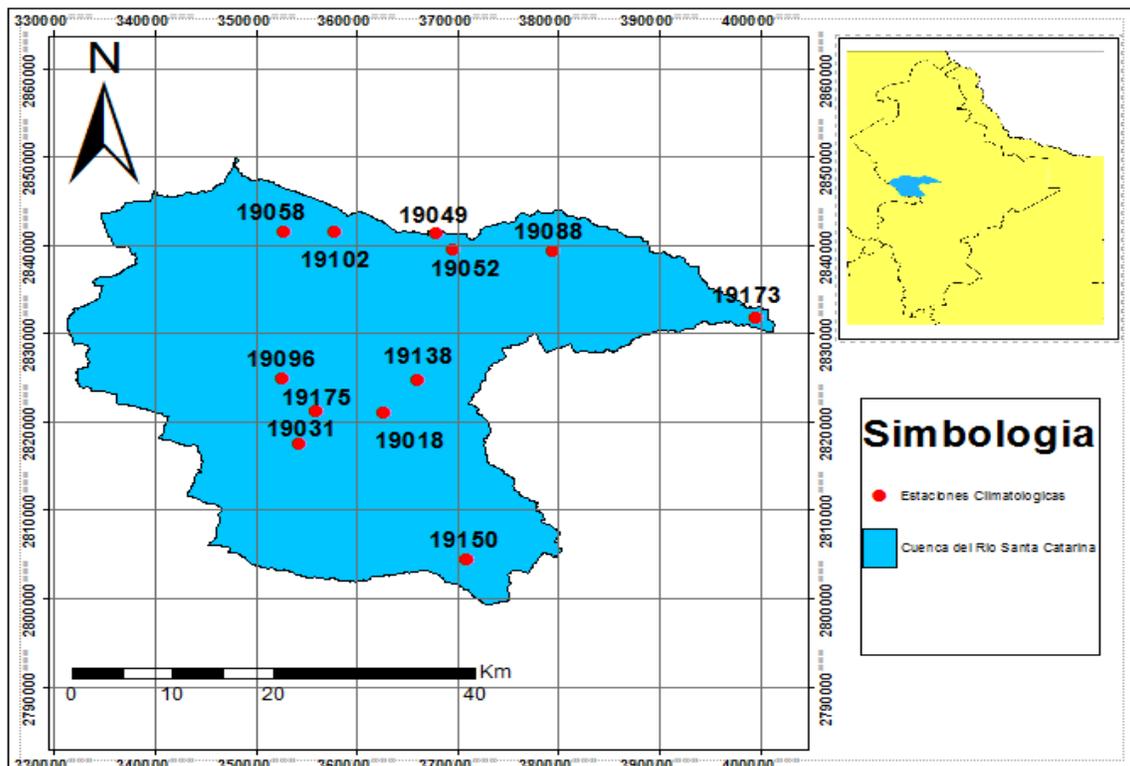


Figura 37: Ubicación de las estaciones climatológicas en la cuenca del Río Santa Catarina

Tabla 1: Estaciones Climatológicas en la cuenca del Rio Santa Catarina

ID_ESTACIO	NOMBRE	CUENCA	LONG_GRA	LONG_MIN	LAT_GRA	LAT_MIN	ALTITUD
19150	LOS LERMAS, GUADALUPE	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	17	25	17	1435
19030	CIENEGA DE G., SANTIAGO	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	17	25	17	1435
19033	LAGUNA DE SANCHEZ, STGO.	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	17	25	17	1925
19031	LA CRUZ, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	27	25	27	445
19175	SANTA CRUZ, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	26	25	26	269
19002	AGUA BLANCA, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	26	25	26	2690
19018	EL PAJONAL, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	22	25	22	1531
19017	EL MARRUBIAL,	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	22	25	22	1225
19096	LA HUASTECA, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	28	25	28	410
19038	LAS COMITAS, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	20	25	20	223
19173	LOS PALMITOS, CADEREYTA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	0	25	0	349
19008	CADEREYTA JIMENEZ,	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	0	25	0	349
19052	MONTERREY, MONTERRY (SMN)	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	18	25	18	538
19088	DOCTOR ARROYO 2, (DGE)	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	12	25	12	1706
19102	COLA DE CABALLO	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	25	25	25	332
19049	MONTERREY, MONTERREY(DGE)	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	19	25	19	537
19058	SANTA CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	28	25	28	113

5.1.5.2 Ubicación de las estaciones climatológicas empleadas.

En este trabajo se realizó el análisis de 7 estaciones climatológicas. Siendo CONAGUA el organismo responsable de su operación en la (Tabla 2) se podrá analizar la localización de cada estación estimada para el estudio de regionalización.

Tabla 2: Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas empleadas

ID_ESTACIO	NOMBRE	CUENCA	LONG_GRA	LONG_MIN	LAT_GRA	LAT_MIN	ALTITUD
19033	LAGUNA DE SANCHEZ, STGO.	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	17	25	17	1925
19031	LA CRUZ, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	27	25	27	445
19002	AGUA BLANCA, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	26	25	26	2690
19018	EL PAJONAL, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	22	25	22	1531
19038	LAS COMITAS, STA. CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	20	25	20	223
19008	CADEREYTA JIMENEZ,	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	0	25	0	349
19058	SANTA CATARINA	R. BRAVO - SAN JUAN	-100	28	25	28	113

5.1.5.3 Ubicación de las estaciones hidrométricas

Para este trabajo se encontró que la cuenca de estudio cuenta con 5 estaciones hidrométricas (Figura 38), en la (Tabla 3) se encuentra su ubicación geométrica.

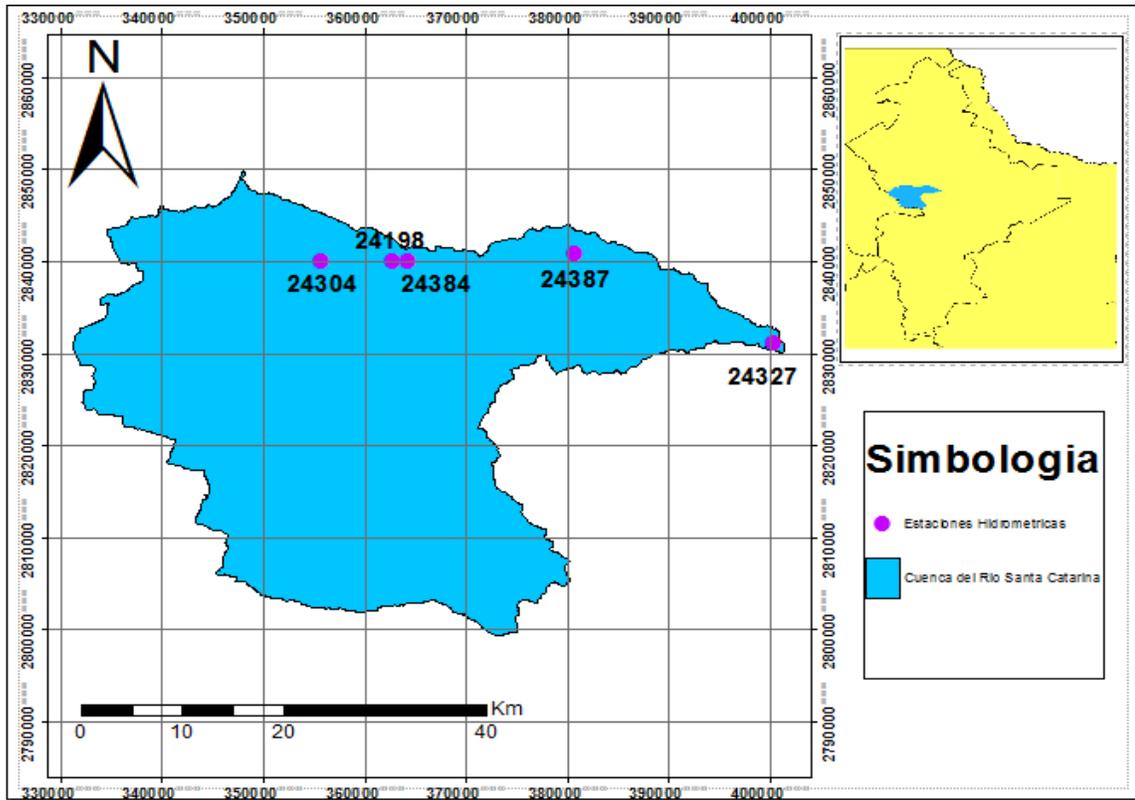


Figura 38: Ubicación de las estaciones hidrométricas en la cuenca del Rio Santa Catarina

Tabla 3: Ubicación geográfica de las estaciones hidrométricas

OBJECTID *	CUENCA	CTRL_CVCOE	CTRL_DEEST	CTRL_DECOR	CTRL_DECUE	CTRL_DEEDO	CRH_DEREGI	CTRL_LOG	CTRL_LAT
1	R. BRAVO - SAN JUAN	24327	CADEREYTA II	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN	NUEVO LEON	BRAVO	-99.975	25.590277
2	R. BRAVO - SAN JUAN	24198	MONTERREY	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN	NUEVO LEON	BRAVO	-100.366666	25.670833
3	R. BRAVO - SAN JUAN	24304	PARSHALL HUASTECA	ACUEDUCTO HUASTECA-MONTERREY	TANQUE OBISPADO	NUEVO LEON	BRAVO	-100.4375	25.670833
4	R. BRAVO - SAN JUAN	24384	MONTERREY II	RIO SANTA CATARINA	RIO SAN JUAN	NUEVO LEON	BRAVO	-100.351666	25.671666
5	R. BRAVO - SAN JUAN	24387	LOS LERMAS	RIO DE LA SILLA	RIO SANTA CATARINA	NUEVO LEON	BRAVO	-100.188333	25.68

5.2 Metodología aplicada

Para estimar eventos para ciertos periodos de retorno en lugares o en zonas donde la información recabada es insuficiente o nula, se complica realizar un análisis de forma confiable. La cuenca del Rio Santa Catarina cuenta con 7 estaciones climatológicas con más de 20 años de registros, considerando la presencia de lluvias extraordinarias debido a eventos meteorológicos. Por esta razón se agrupo las estaciones climatológicas para obtener resultados más confiables, lo cual consistió en un análisis de los coeficientes de variación.

Para el análisis se utilizó las precipitaciones máximas anuales, información recabada por CONAGUA en sus estaciones climatológicas, tal información es depurada con el programa CLICOM con la finalidad de obtener valores estandarizados y así realizar ajustes a una función de distribución para determinar eventos de diseño.

5.2.1 Depuración de datos de registro de precipitaciones. (CLICOM)

Trabajar con base de datos es complicado por la gran cantidad de información acumulados en las estaciones climatológicas, ya que registran diferentes valores. Debido a esto se desarrolla CLICOM, con la finalidad de ser eficiente el proceso de depuración. (Tabla 4)

Tabla 4: Claves para diferentes elementos en CLICOM

Clave	Elemento
1	Temperatura.amb. 08 hs. °C
2	Temperatura. max. °C
3	Temperatura. min. °C
5	Precipitacion 24 hs. Mm
18	Evaporacion. 24 hs . Mn
30	Dias c/tormenta (0 no hay, 1 si hay)
31	Dias c/granizo (0 no hay, 1 si hay)
32	Dias c/niebla (0 no hay, 1 si hay)
43	Cobertura nubosa (0 despejado, 1 medio nublado, 2 nublado)
91	Dias c/helada (0 no hay, 1 hay)

CLICOM es un sistema de manejo de datos climatológicos desarrollado por las Naciones Unidas, que significa Climate Computing Project. Las observación son diarias presentan datos recopilados durante las últimas 24 horas. Cada una de las diferentes estaciones del país contiene diferentes periodos de información.

5.2.2 Revisión de precipitaciones máximas anuales para un día.

A partir de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se obtiene el máximo diario anual de lluvia para un día registrado por cada estación climatológica, esta información se concentra en un archivo llamado "DLY"(Tabla 5). Para después realizar un análisis de los máximos anuales con el objeto de concentrar los datos en un archivo de forma esquematizada para cada estación y así estimar nuevos análisis.

Tabla 5: Base de datos con máximos anuales para un día "CLICOM-DLY"

Station-ID	ELEMENT-CQ	YEAR-MONTH	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-7	FLAG1-7	VALUE-8	FLAG1-8	VALUE-9	FLAG1-9	VALUE-10	
19001	5	1957-06	43	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	30	1957-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	31	1957-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	5	1957-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
19001	30	1957-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	31	1957-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19001	5	1957-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
19001	30	1957-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	31	1957-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-08	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	5	1957-09	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	30	1957-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	31	1957-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	5	1957-10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
19001	30	1957-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
19001	31	1957-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	5	1957-11	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2
19001	30	1957-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19001	31	1957-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-11	0	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
19001	5	1957-12	10	0	0	0	0	0	6	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	30	1957-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	31	1957-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	32	1957-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19001	43	1957-12	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
19001	5	1958-01	10	0	0	0	0	0	6	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.3 Estaciones con más de 20 años de registro.

Para un estudio de regionalización se necesita el análisis de las estaciones climatológicas considerando 20 años de registro si es que la información lo permite, y en dado caso de no existir ese número de registros entonces 15 años de registro es el mínimo.

Al obtener el archivo DLY se realiza un análisis de máximos anuales por cada estación para concentrarlo en un archivo y así de manera más fácil poder obtener datos como el máximo y mínimo para cada estación (Tabla 6), este archivo es importante ya que contiene el concentrado de los máximos depurados por CLICOM, considerando que los meses de mayor precipitación en el estado de Nuevo León es ente los meses de junio y octubre.

Al realizar el análisis en CLICOM se verifica que los años cuenten con estos meses ya en estos es donde se presenta la época de lluvias, es importante recalcar que si no se cuenta con alguno de esos meses se elimina el año en la depuración de CLICOM, con el objetivo de tener un mejor ajuste que se realizaran con el programa AX, posteriormente obtener máximos, transformados y realizar los ajustes en AX (Jiménez, 1996)

Tabla 6: Archivo de máximos anuales por cada estación

Año/Estación	19002	19008	19018	19031	19033	19038	19049	19058
1929							57	
1930							45.3	
1931							87	
1932							48.7	
1933							120	
1934							125	
1935								
1936								
1937								
1938				46				
1939								
1940								
1941								
1942						85		
1943								
1944								
1945								
1946								53.2
1947		62			132		107	83.2
1948		88			86.5	78	114.3	66.6
1949		126.5			52	33	45.1	64
1950					39.5	17	33	12.6
1951		168.4			80	103	109	80
1952		53.6			77	17.2	29.7	32.2
1953		139.6			77	57	45	40.8
1954		68	56.5	46	79	78	33	36.5
1955		65.4	35.4	54	55	55	90	48
1956		46.8	127	100	129	117	33	47
1957	19.5	108	9	38	36.5	33	27	45.5
1958		120.4	51		78.5	50	102.7	96
1959		98.8	57	33.5	38	60	41.2	67
1960		151.5	54	33	34.5	37	53.8	40.5
1961		41.5	50	51.5	67.5	62	48	40
1962		42.3	70	29	65.5	65	147	84
1963		63.5	101	74	65	55	103.7	57
1964		83	63	21	79	45	140	97.5
1965	40	123	58	45	30.5	23	49	68
1966	27	95	60	28	115	25	105	44
1967	126	110.5	101	132	170	82	143	155
1968	46	103.4	26	50	22.5	42	73	65
1969	28	95.3		60	61.5	111	64	60
1970	70	60	83	78	55.5	35	71	60.8
1971	32	83.3	40	40	54.5	40	82	69.5
1972	29	73.5	20	25	46.5	42	72	42.5
1973	58	146	80	34	109	95	140	87
1974	80	115.5	40	60	160	82	148	151.5
1975	30	83.9	80	40	96	85	45.5	62.1
1976	48	71.3	60	63	66	43	101.5	68.2
1977	70	82.6	113	70	260		118	80.1
1978		68.2	62	200	300	31	180	93.5
1979		140	86	60	40	49	63.5	59
1980	37.7	40	98.3	75	70	57.4	76.2	
1981			85	54	80.1	92.5	59.5	61.4
1982			69	40		59.8	48.5	48.9
1983	44			60	72	64.8	109	
1984				24				
1985	40		54	40	30	33.4	61	52
1986	43		42		57		56.5	84.4
1987	43		83		40			
1988	48.5		326		345		183.9	
1989	31.5		56.5		60		78	
1990	33.5		74		47		100.5	
1991	44		36		40		53	
1992	42.5		30		50		38	
1993	55		47		40.5		77.7	
1994	46.5		80		32			
1995	42		48		48			
1996		83	32	104	98			
1997		96.5	48.8	80	50			
1998	83	87.5	78	60			44	69.5
1999				51			74.4	82
2000			21				104	
2001							83.5	167
Maximos	126	168.4	326	200	345	117	183.9	167
Minimos	19.5	40	9	21	22.5	17	27	12.6
Conteo	28	36	43	36	49	37	55	41

5.2.4 Depuración de las estaciones con más de 20 años de registro.

Una vez definiendo la estructura del DLY del estado de Nuevo León, es posible realizar la depuración de las estaciones climatológicas en CLICOM.

En general la depuración de las estaciones se realiza de la siguiente manera:

1. Inicio
2. Se localiza el estado
3. Cargar el archivo del estado
4. Selección de la estación que se va a depurar
5. Se identifican los años con los que no se cuenten los meses de lluvia
6. Eliminar los años que no cuenten con os meses de lluvia
7. Limpia datos previamente depurados
8. Proporciona archivos depurados por cada estación
9. Proporciona archivos acumulados de máximos, transformados y análisis de simultaneidad de las estaciones depuradas.

A continuación se describe el proceso correspondiente para la depuración de datos en CLICOM.

1. Se ingresa mediante el link <http://localhost:8080/CilcomV2/> a la página de CLICOM, en la cual se carga el archivo DLY con la finalidad de tener la información de las estaciones climatológicas correspondientes al estado de Nuevo León ver (Figura 39).

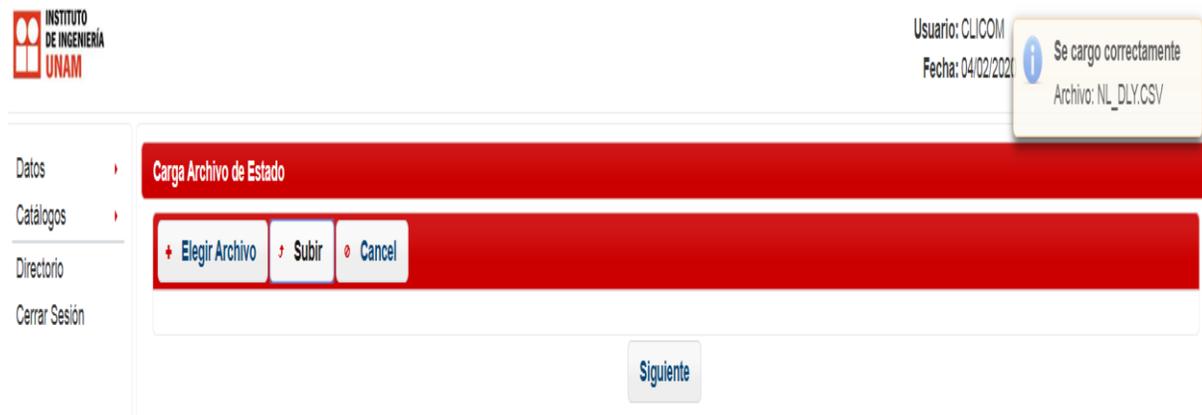


Figura 39: Pantalla de inicio de CLICOM

2. Una vez ingresado a CLICOM y haber cargado el archivo DLY se elige la estación y el elemento para tener acceso a la información de lluvia recabada (Figura 40).

Datos
Estación cargada correctamente.

- Datos
- Catálogos
- Directorio
- Cerrar Sesión

Elige Estacion

Estacion: 00019002 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
00019002	005	1957	5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.5	3.5	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	6	17.3	0.0	0.0	3.5	2.0	5.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5
00019002	005	1957	9	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
00019002	005	1957	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	1	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
00019002	005	1965	2	0.0	0.0	0.0	18.0	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
00019002	005	1965	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	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	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	22.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	5	0.0	0.0	18.0	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
00019002	005	1965	7	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
00019002	005	1965	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0

Exportar Datos

Figura 40: Elección de las estaciones y el elemento 005. (Lluvia)

- Como siguiente paso Año se eliminan los años que no cuentan con meses de lluvia (Julio, Agosto, Septiembre, Octubre) que son los meses donde se presenta con mayor frecuencia de precipitaciones, con la finalidad de obtener mejores ajustes.(Figura 41).

- Datos
- Catálogos
- Directorio
- Cerrar Sesión

Eliminar Mes

¿ Desea Eliminar algun Mes ? Si No

Meses Faltantes por Año			
Element-Code	Station-Id	Year	Description
005	00019002	1957	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL
005	00019002	1958	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1959	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1960	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1961	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1962	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1963	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1964	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1965	JUNIO NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1968	MAYO
005	00019002	1973	DICIEMBRE
005	00019002	1978	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1979	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE
005	00019002	1980	ENERO FEBRERO MARZO MAYO JUNIO
005	00019002	1981	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE

Eliminar Año

¿ Desea Eliminar algun Año ? Si No

Año:

Anterior

Siguiente

Figura 41: Eliminación de años sin los meses de lluvia

- Una vez eliminado los años que no tienen los meses de lluvia, se limpian los datos con la finalidad de obtener el archivo depurado de la estación analizada. (Figura 42).

Limpiar Datos

Es necesario limpiar los datos, indique el valor.

Sustituir (-99999)

Figura 42: Limpieza de datos

- Al finalizar la limpieza de datos, en la opción de exportar datos se extrae el archivo depurado, este proceso se realiza con las estaciones climatológicas analizadas para el estudio de regionalización. (Figura 43).

Usuario: CLICOM
 Fecha: 04/02/2020

Estación Limpia

Estación: 00019002 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
00019002	005	1957	5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.5	3.5	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	6	17.3	0.0	0.0	3.5	2.0	5.5	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5
00019002	005	1957	9	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
00019002	005	1957	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1957	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	1	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
00019002	005	1965	2	0.0	0.0	0.0	18.0	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
00019002	005	1965	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	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	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	22.0	0.0	0.0	0.0
00019002	005	1965	5	0.0	0.0	18.0	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
00019002	005	1965	7	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
00019002	005	1965	8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0

Figura 43: Exportando datos

- Como último paso se extrae los archivos donde se registran los máximos para realizar el análisis correspondiente de estandarización. (Figura 44).

- Datos >
- Catálogos >
- Directorio
- Cerrar Sesión

Consultar Máximos

¿ Desea elegir varias estaciones ?

SI No

Estacion: 00019002 Elemento: 005

Máximos Máximos Media Analisis Simultaniedad

Exportar Datos



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
00019002	1957	19.5	15.5	11.833333333333334	8.875	7.4	6.166666666666667	5.285714285714286	4.625	4.555555555555555	4.55	4.136363636363637	3.916666666666667
00019002	1965	40.0	20.0	13.333333333333334	11.0	10.2	9.0	8.714285714285714	7.625	6.777777777777778	6.1	5.909090909090909	5.416666666666667
00019002	1966	27.0	26.5	24.0	21.5	18.2	15.166666666666666	13.0	11.375	10.111111111111111	9.1	8.272727272727273	7.583333333333333
00019002	1967	126.0	97.0	73.0	58.25	48.8	41.666666666666664	35.714285714285715	31.25	27.777777777777778	25.0	22.727272727272727	20.833333333333332
00019002	1968	46.0	41.5	27.666666666666668	23.75	19.0	16.666666666666668	14.285714285714286	12.5	11.111111111111111	10.3	9.909090909090909	9.666666666666666
00019002	1969	28.0	19.5	18.333333333333332	18.75	17.4	16.166666666666668	16.142857142857142	14.125	13.0	11.7	10.636363636363637	10.833333333333334
00019002	1970	70.0	50.0	35.666666666666664	26.75	21.4	17.833333333333332	15.285714285714286	13.375	11.888888888888889	10.7	9.727272727272727	8.916666666666666
00019002	1971	32.0	27.5	23.333333333333332	19.0	18.4	18.333333333333332	18.142857142857142	17.0	17.111111111111111	17.1	16.727272727272727	15.833333333333334
00019002	1972	29.0	16.0	11.333333333333334	10.75	10.2	9.5	8.142857142857142	9.25	8.222222222222222	7.4	6.818181818181818	6.25
00019002	1973	58.0	42.0	30.333333333333332	24.75	21.2	18.0	15.428571428571429	13.5	13.0	12.4	11.454545454545455	10.516666666666667
00019002	1974	80.0	57.5	40.0	30.0	24.0	20.833333333333332	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
00019002	1975	30.0	29.0	26.333333333333332	24.0	19.2	17.5	15.857142857142858	15.625	14.222222222222221	12.8	11.727272727272727	11.0
00019002	1976	48.0	43.0	40.666666666666664	37.75	34.0	33.0	30.714285714285715	29.375	27.666666666666668	25.3	23.272727272727273	22.833333333333332
00019002	1977	70.0	42.5	32.333333333333336	25.25	21.2	17.666666666666668	15.857142857142858	14.375	13.333333333333334	12.3	11.454545454545455	10.916666666666666
00019002	1980	37.7	26.35	19.233333333333334	15.75	13.0	12.5	11.571428571428571	10.125	9.444444444444445	9.1	8.272727272727273	9.75

Figura 44: Máximos de la estación seleccionada

5.2.5 Obtención de valores estandarizados.

La obtención de valores estandarizados se extrae de los archivos de CLICOM que son los máximos de cada estación depurada y previamente analizada, con la finalidad de actualizar los máximos por cada año de registro que es la lluvia acumulada a 24 horas. El proceso correspondiente para obtener los resultados es realizar el análisis de los datos recabados por las estaciones climatológicas obteniendo los máximos mensuales y anuales, con el objetivo de concentrar en un archivo los datos para cada estación y así estimar la media que es de interés principal.

El cálculo del valor estandarizado es simplemente aplicar el cociente del máximo anual entre la media para tener como resultado el transformado por cada año respecto a cada estación previamente depurada ver (Tabla 7).

Para obtener el coeficiente de variación es el resultado del cociente de la desviación estándar entre la media analizada en el archivo donde se concentra la información de los máximos anuales de cada estación (Tabla 8).

Tabla 7: Análisis para obtener valores estandarizados "Transformados"

Año/Estacion	19002	19008	19018	19031	19033	19038	19058
1929							
1930							
1931							
1932							
1933							
1934							
1935							
1936							
1937							
1938				46			
1939							
1940							
1941							
1942						85	
1943							
1944							
1945							
1946							53.2
1947		62			132		83.2
1948		88			86.5	78	66.6
1949		126.5			52	33	64
1950					39.5	17	12.6
1951		168.4			80	103	80
1952		53.6			77	17.2	32.2
1953		139.6			77	57	40.8
1954		68	56.5	46	79	78	36.5
1955		65.4	35.4	54	55	55	48
1956		46.8	127	100	129	117	47
1957	19.5	108	9	38	36.5	33	45.5
1958		120.4	51		78.5	50	96
1959		98.8	57	33.5	38	60	67
1960		151.5	54	33	34.5	37	40.5
1961		41.5	50	51.5	67.5	62	40
1962		42.3	70	29	65.5	65	84
1963		63.5	101	74	65	55	57
1964		83	63	21	79	45	97.5
1965	40	123	58	45	30.5	23	68
1966	27	95	60	28	115	25	44
1967	126	110.5	101	132	170	82	155
1968	46	103.4	26	50	22.5	42	65
1969	28	95.3		60	61.5	111	60
1970	70	60	83	78	55.5	35	60.8
1971	32	83.3	40	40	54.5	40	69.5
1972	29	73.5	20	25	46.5	42	42.5
1973	58	146	80	34	109	95	87
1974	80	115.5	40	60	160	82	151.5
1975	30	83.9	80	40	96	85	62.1
1976	48	71.3	60	63	66	43	68.2
1977	70	82.6	113	70	260		80.1
1978		68.2	62	200	300	31	93.5
1979		140	86	60	40	49	59
1980	37.7	40	98.3	75	70	57.4	
1981			85	54	80.1	92.5	61.4
1982			69	40		59.8	48.9
1983	44			60	72	64.8	
1984				24			
1985	40		54	40	30	33.4	52
1986	43		42		57		84.4
1987	43		83		40		
1988	48.5		326		345		
1989	31.5		56.5		60		
1990	33.5		74		47		
1991	44		36		40		
1992	42.5		30		50		
1993	55		47		40.5		
1994	46.5		80		32		
1995	42		48		48		
1996		83	32	104	98		
1997		96.5	48.8	80	50		
1998	83	87.5	78	60			69.5
1999				51			82
2000			21				
2001							167
Media	44.07	85.39	57.05	51.58	67.20	51.78	62.60

| Transformado |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1929 | | | | | | | |
| 1930 | | | | | | | |
| 1931 | | | | | | | |
| 1932 | | | | | | | |
| 1933 | | | | | | | |
| 1934 | | | | | | | |
| 1935 | | | | | | | |
| 1936 | | | | | | | |
| 1937 | | | | | | | |
| 1938 | | | | 0.8919 | | | |
| 1939 | | | | | | | |
| 1940 | | | | | | | |
| 1941 | | | | | | | |
| 1942 | | | | | | 1.6417 | |
| 1943 | | | | | | | |
| 1944 | | | | | | | |
| 1945 | | | | | | | |
| 1946 | | | | | | | 0.8498 |
| 1947 | | 0.7261 | | | 1.9642 | | 1.3290 |
| 1948 | | 1.0305 | | | 1.2871 | 1.5065 | 1.0638 |
| 1949 | | 1.4814 | | | 0.7738 | 0.6374 | 1.0223 |
| 1950 | | | | | 0.5878 | 0.3283 | 0.2013 |
| 1951 | | 1.9721 | | | 1.1904 | 1.9894 | 1.2779 |
| 1952 | | 0.6277 | | | 1.1458 | 0.3322 | 0.5144 |
| 1953 | | 1.6348 | | | 1.1458 | 1.1009 | 0.6517 |
| 1954 | | 0.7963 | 0.9903 | 0.8919 | 1.1755 | 1.5065 | 0.5830 |
| 1955 | | 0.7659 | 0.6205 | 1.0470 | 0.8184 | 1.0623 | 0.7667 |
| 1956 | | 0.5481 | 2.2260 | 1.9389 | 1.9196 | 2.2598 | 0.7508 |
| 1957 | 0.4425 | 1.2647 | 0.1577 | 0.7368 | 0.5431 | 0.6374 | 0.7268 |
| 1958 | | 1.4100 | 0.8939 | | 1.1681 | 0.9657 | 1.5335 |
| 1959 | | 1.1570 | 0.9991 | 0.6495 | 0.5654 | 1.1589 | 1.0702 |
| 1960 | | 1.7742 | 0.9465 | 0.6398 | 0.5134 | 0.7146 | 0.6469 |
| 1961 | | 0.4860 | 0.8764 | 0.9985 | 1.0044 | 1.1975 | 0.6389 |
| 1962 | | 0.4954 | 1.2269 | 0.5623 | 0.9747 | 1.2554 | 1.3418 |
| 1963 | | 0.7436 | 1.7703 | 1.4348 | 0.9672 | 1.0623 | 0.9105 |
| 1964 | | 0.9720 | 1.1042 | 0.4072 | 1.1755 | 0.8691 | 1.5574 |
| 1965 | 0.9076 | 1.4404 | 1.0166 | 0.8725 | 0.4538 | 0.4442 | 1.0862 |
| 1966 | 0.6126 | 1.1125 | 1.0517 | 0.5429 | 1.7112 | 0.4829 | 0.7028 |
| 1967 | 2.8590 | 1.2940 | 1.7703 | 2.5593 | 2.5296 | 1.5838 | 2.4759 |
| 1968 | 1.0438 | 1.2109 | 0.4557 | 0.9694 | 0.3348 | 0.8112 | 1.0383 |
| 1969 | 0.6353 | 1.1160 | | 1.1633 | 0.9151 | 2.1439 | 0.9584 |
| 1970 | 1.5884 | 0.7026 | 1.4548 | 1.5123 | 0.8259 | 0.6760 | 0.9712 |
| 1971 | 0.7261 | 0.9755 | 0.7011 | 0.7756 | 0.8110 | 0.7726 | 1.1102 |
| 1972 | 0.6580 | 0.8607 | 0.3506 | 0.4847 | 0.6919 | 0.8112 | 0.6789 |
| 1973 | 1.3161 | 1.7097 | 1.4022 | 0.6592 | 1.6219 | 1.8348 | 1.3897 |
| 1974 | 1.8153 | 1.3526 | 0.7011 | 1.1633 | 2.3808 | 1.5838 | 2.4200 |
| 1975 | 0.6807 | 0.9825 | 1.4022 | 0.7756 | 1.4285 | 1.6417 | 0.9920 |
| 1976 | 1.0892 | 0.8350 | 1.0517 | 1.2215 | 0.9821 | 0.8305 | 1.0894 |
| 1977 | 1.5884 | 0.9673 | 1.9806 | 1.3572 | 3.8689 | | 1.2795 |
| 1978 | | 0.7987 | 1.0867 | 3.8778 | 4.4641 | 0.5987 | 1.4935 |
| 1979 | | 1.6395 | 1.5074 | 1.1633 | 0.5952 | 0.9464 | 0.9424 |
| 1980 | 0.8554 | 0.4684 | 1.7230 | 1.4542 | 1.0416 | 1.1086 | |
| 1981 | | | 1.4899 | 1.0470 | 1.1919 | 1.7866 | 0.9808 |
| 1982 | | | 1.2094 | 0.7756 | | 1.1550 | 0.7811 |
| 1983 | 0.9984 | | | 1.1633 | 1.0714 | 1.2516 | |
| 1984 | | | | 0.4653 | | | |
| 1985 | 0.9076 | | 0.9465 | 0.7756 | 0.4464 | 0.6451 | 0.8306 |
| 1986 | 0.9757 | | 0.7362 | | 0.8482 | | 1.3482 |
| 1987 | 0.9757 | | 1.4548 | | 0.5952 | | |
| 1988 | 1.1005 | | 5.7140 | | 5.1337 | | |
| 1989 | 0.7148 | | 0.9903 | | 0.8928 | | |
| 1990 | 0.7601 | | 1.2970 | | 0.6994 | | |
| 1991 | 0.9984 | | 0.6310 | | 0.5952 | | |
| 1992 | 0.9644 | | 0.5258 | | 0.7440 | | |
| 1993 | 1.2480 | | 0.8238 | | 0.6026 | | |
| 1994 | 1.0551 | | 1.4022 | | 0.4762 | | |
| 1995 | 0.9530 | | 0.8413 | | 0.7143 | | |
| 1996 | | 0.9720 | 0.5609 | 2.0164 | 1.4583 | | |
| 1997 | | 1.1301 | 0.8554 | 1.5511 | 0.7440 | | |
| 1998 | 1.8833 | 1.0247 | 1.3672 | 1.1633 | | | 1.1102 |
| 1999 | | | | 0.9888 | | | 1.3098 |
| 2000 | | | 0.3681 | | | | |
| 2001 | | | | | | | 2.6676 |

Tabla 8: Análisis para obtener valores estandarizados "Coeficiente de variación"

Año/Estacion	19002	19008	19018	19031	19033	19038	19058
1929							
1930							
1931							
1932							
1933							
1934							
1935							
1936							
1937							
1938				46			
1939							
1940							
1941							
1942						85	
1943							
1944							
1945							
1946							53.2
1947		62			132		83.2
1948		88			86.5	78	66.6
1949		126.5			52	33	64
1950					39.5	17	12.6
1951		168.4			80	103	80
1952		53.6			77	17.2	32.2
1953		139.6			77	57	40.8
1954		68	56.5	46	79	78	36.5
1955		65.4	35.4	54	55	55	48
1956		46.8	127	100	129	117	47
1957	19.5	108	9	38	36.5	33	45.5
1958		120.4	51		78.5	50	96
1959		98.8	57	33.5	38	60	67
1960		151.5	54	33	34.5	37	40.5
1961		41.5	50	51.5	67.5	62	40
1962		42.3	70	29	65.5	65	84
1963		63.5	101	74	65	55	57
1964		83	63	21	79	45	97.5
1965	40	123	58	45	30.5	23	68
1966	27	95	60	28	115	25	44
1967	126	110.5	101	132	170	82	155
1968	46	103.4	26	50	22.5	42	65
1969	28	95.3		60	61.5	111	60
1970	70	60	83	78	55.5	35	60.8
1971	32	83.3	40	40	54.5	40	69.5
1972	29	73.5	20	25	46.5	42	42.5
1973	58	146	80	34	109	95	87
1974	80	115.5	40	60	160	82	151.5
1975	30	83.9	80	40	96	85	62.1
1976	48	71.3	60	63	66	43	68.2
1977	70	82.6	113	70	260		80.1
1978		68.2	62	200	300	31	93.5
1979		140	86	60	40	49	59
1980	37.7	40	98.3	75	70	57.4	
1981			85	54	80.1	92.5	61.4
1982			69	40		59.8	48.9
1983	44			60	72	64.8	
1984				24			
1985	40		54	40	30	33.4	52
1986	43		42		57		84.4
1987	43		83		40		
1988	48.5		326		345		
1989	31.5		56.5		60		
1990	33.5		74		47		
1991	44		36		40		
1992	42.5		30		50		
1993	55		47		40.5		
1994	46.5		80		32		
1995	42		48		48		
1996		83	32	104	98		
1997		96.5	48.8	80	50		
1998	83	87.5	78	60			69.5
1999				51			82
2000			21				
2001							167
Media	44.07	85.39	57.05	51.58	67.20	51.78	62.60
Desv.Est	21.8701323	29.8678156	48.5676349	35.8315428	72.3873371	23.0663153	28.4031174
Coef.Var	0.4962493	0.34976916	0.85127813	0.69473088	1.07714087	0.44550725	0.45370204

5.3 Programa AX

El programa AX (Jiménez, 1996), se utiliza para el análisis estadístico de datos de funciones de distribución en México, se utiliza desde los años 90, es utilizado por distintas dependencias del agua, protección civil y en varias regiones donde los datos tienen un comportamiento doble Gumbel.

AX (Jiménez, 1996) ajusta distintas funciones de probabilidad a una o varias series de datos, calcula el error estándar de cada una de ellas y estima valores para diferentes periodos de retorno. Las funciones de probabilidad que utiliza el programa son:

- Normal
- Log-normal
- Gumbel
- Exponencial
- Doble Gumbel

Los métodos para calcular los parámetros de las funciones de probabilidad son: por momentos y máxima verosimilitud, el método utilizado en la función Doble Gumbel es de mínimos cuadrados y pueden resolverse de manera visual o numérica.

5.3.1 Obtención de las funciones de distribución para la cuenca del Rio Santa Catarina. (Nuevo León)

En la cuenca del Rio Santa Catarina se ajustó una función Gumbel o Doble Gumbel, esto dependiendo del comportamiento de los valores de lluvia que se tienen. Para poder visualizar esa relación entre los valores de lluvia y la función que más se ajusta es necesario utilizar el programa AX.

Para trabajar en dicho programa es necesario tener un software de virtualización el cual nos permite abrir el programa, en este caso se utiliza Oracle VM Virtual box. El proceso para la obtención de las funciones de distribución se explica a continuación:

1. Se ubica el archivo de transforms.xls de las estaciones climatológicas de la cuenca del Rio Santa Catarina el cual se importó de la depuración de CLICOM ver (Tabla 9).

Tabla 9: Transformados xls para diferentes días

Station_id	Año	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10
19002	1957	0.40692236	0.468913	0.4528858	0.4061144	0.39992546	0.37192374	0.35535685	0.33875296	0.35213979	0.37432624
19002	1965	0.83471253	0.60504903	0.51029386	0.50335306	0.5512486	0.54280763	0.58585859	0.55848461	0.5239153	0.50184397
19002	1966	0.56343096	0.80168997	0.91852895	0.98382643	0.98360045	0.91473137	0.87398576	0.83314917	0.78157856	0.74865248
19002	1967	2.62934446	2.9344878	2.79385888	2.66548324	2.63734625	2.51299827	2.40105978	2.28887135	2.14719384	2.05673759
19002	1968	0.95991941	1.25547674	1.05885976	1.08678501	1.02683563	1.00519931	0.96042391	0.91554854	0.85887754	0.84737589
19002	1969	0.58429877	0.5899228	0.70165406	0.85798817	0.94036526	0.97504333	1.08527902	1.03456985	1.00488672	0.96255319
19002	1970	1.46074692	1.51262258	1.36503607	1.22406312	1.15654119	1.07556326	1.02765359	0.97963694	0.91899896	0.88028369
19002	1971	0.66777002	0.83194242	0.89301425	0.86942801	0.99440924	1.10571924	1.21973837	1.24514601	1.32267141	1.40680851
19002	1972	0.60516658	0.48403922	0.43374978	0.49191322	0.5512486	0.57296361	0.54744163	0.67750592	0.63556938	0.60879433
19002	1973	1.21033317	1.27060296	1.16091853	1.13254438	1.14573239	1.08561525	1.03725782	0.98879242	1.00488672	1.02014184
19002	1974	1.66942506	1.73951596	1.53088158	1.37278107	1.29705554	1.25649913	1.2773638	1.39163378	1.46868059	1.56312057
19002	1975	0.6260344	0.87732109	1.00783037	1.09822485	1.03764443	1.05545927	1.06607054	1.14443568	1.09936325	1.05304965
19002	1976	1.00165503	1.30085541	1.55639627	1.72741617	1.83749534	1.99029463	2.06491141	2.15153907	2.13860506	2.08141844
19002	1977	1.46074692	1.28572919	1.23746261	1.15542406	1.14573239	1.06551127	1.06607054	1.05288082	1.03065304	1.01191489
19002	1980	0.78671656	0.7971521	0.73609889	0.72071006	0.70257175	0.75389948	0.77794337	0.74159432	0.73004591	0.74865248
19002	1983	0.91818378	0.98320467	0.86749956	0.89230769	0.85389489	0.98509532	1.00844511	0.97048145	0.93617651	0.97900709
19002	1984	1.08512629	0.78656374	0.76544079	0.90946746	0.95117406	1.08058926	1.04686206	1.05288082	1.02206427	0.97900709
19002	1985	0.83471253	0.60504903	0.66338202	0.5948718	0.5620574	0.54280763	0.51862891	0.49439621	0.48097142	0.46070922
19002	1986	0.89731597	0.81681619	0.68889671	0.78934911	0.81065971	0.75389948	0.76833913	0.73243883	0.68710203	0.65815603
19002	1987	0.89731597	0.9983309	0.84198487	0.75502959	0.74580693	0.84436742	0.8355688	0.79652723	0.74722346	0.78978723
19002	1988	1.01208894	0.80168997	0.81647017	0.88086785	0.89172568	0.95996534	0.91720484	0.87434886	0.82022805	0.78567376
19002	1989	0.65733612	0.5899228	0.55494457	0.54339251	0.5512486	0.51265165	0.52343103	0.54475138	0.51103213	0.51829787
19002	1990	0.69907174	0.68824327	0.73354742	0.73786982	0.75661573	0.73379549	0.77314125	0.79194949	0.83311121	0.89673759
19002	1991	0.91818378	0.78656374	0.81647017	0.90374754	0.87010809	0.80918544	0.92680907	1.04830308	0.98341478	0.94198582
19002	1992	0.88688206	0.89244732	0.82922752	0.74358974	0.70257175	0.65337955	0.65308826	0.68666141	0.70857397	0.78156028
19002	1993	1.14772973	0.937826	0.79095548	1.00670611	1.14573239	1.10571924	1.09488326	1.15359116	1.38279283	1.35744681
19002	1994	0.97035331	0.89244732	0.98231568	0.97238659	0.94036526	1.10571924	1.07567478	1.02541437	0.96194284	0.92141844
19002	1995	0.87644815	0.937826	1.0716171	0.96094675	0.90793887	0.85944541	0.82116244	0.782794	0.73434029	0.76921986
19002	1998	1.7320285	1.5277488	2.21977829	2.01341223	1.90234812	1.76915078	1.69034608	1.70292028	2.17296017	2.29531915

2. Se seleccionan las columnas pertenecientes a los días “1, 3, 5, 10,15” y por cada una, se copian en un block de notas con la extensión .AJU (Figura 45) y se guarda entre el acceso compartido entre la máquina virtual y la pc.

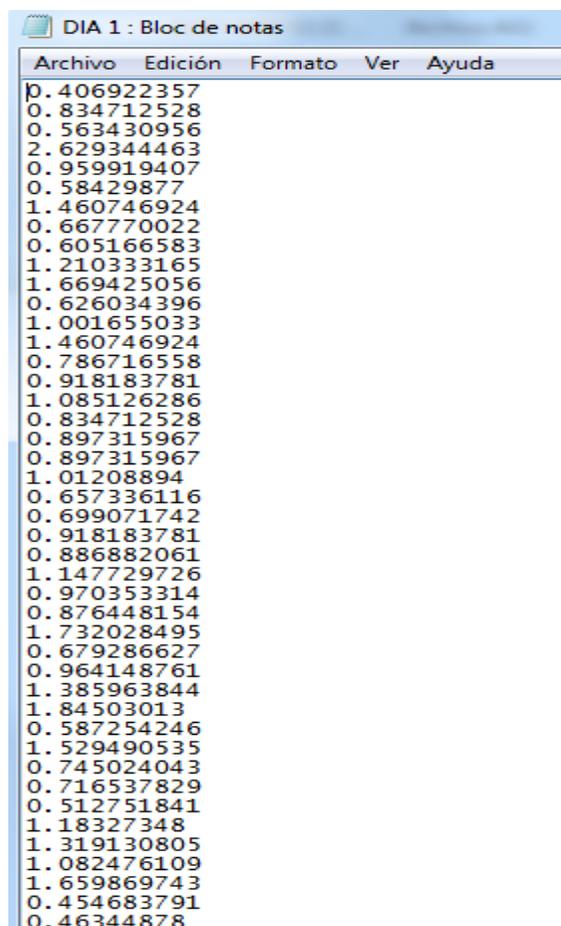


Figura 45: Ejemplo de archivo con extensión .AJU para un día

3. Una vez guardado los archivos con extensión .AJU, se inicia la máquina virtual (Figura 46) para acceder a la memoria virtual, con la finalidad de copiar los archivos .AJU en la carpeta llamada Ax que se encuentra en el Disco Local (C:) de la máquina virtual (Figura 47).



Figura 46: Interfaz del programa de la máquina virtual

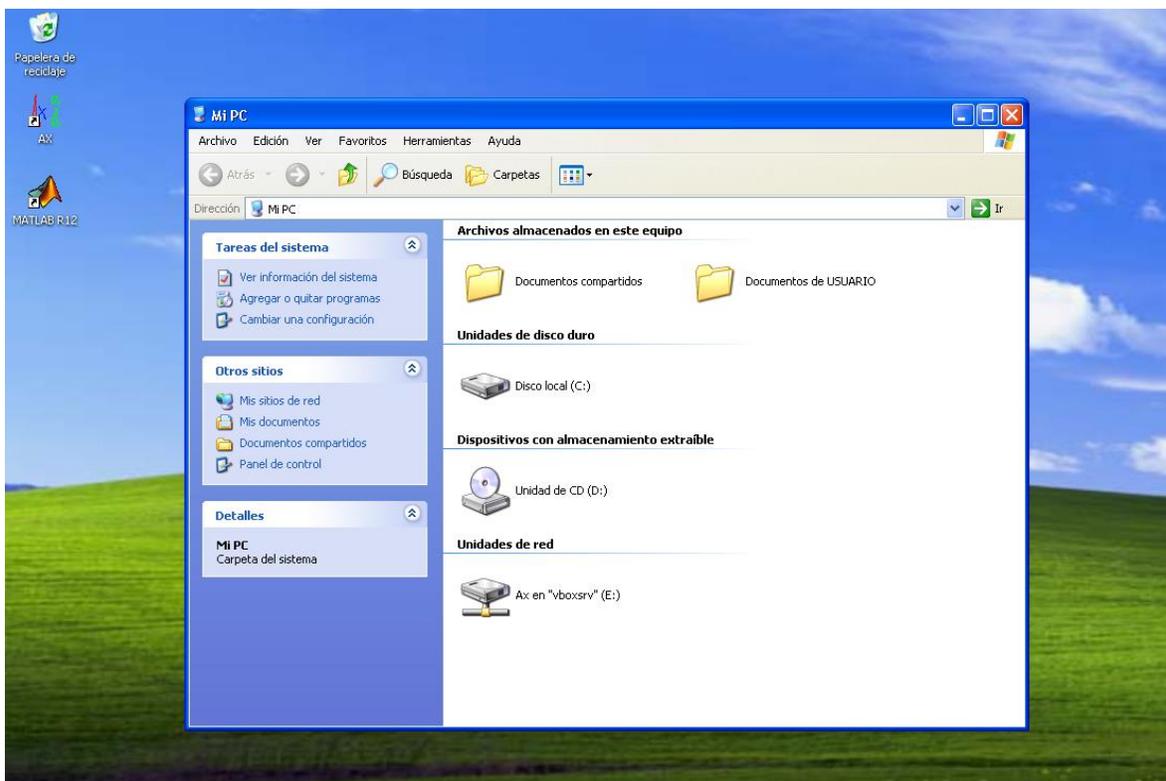


Figura 47: Disco local de la maquina virtual

4. Abrir el programa AX (Figura 48), para seleccionar el archivo de datos con extensión .AJU para un día (Figura 49).

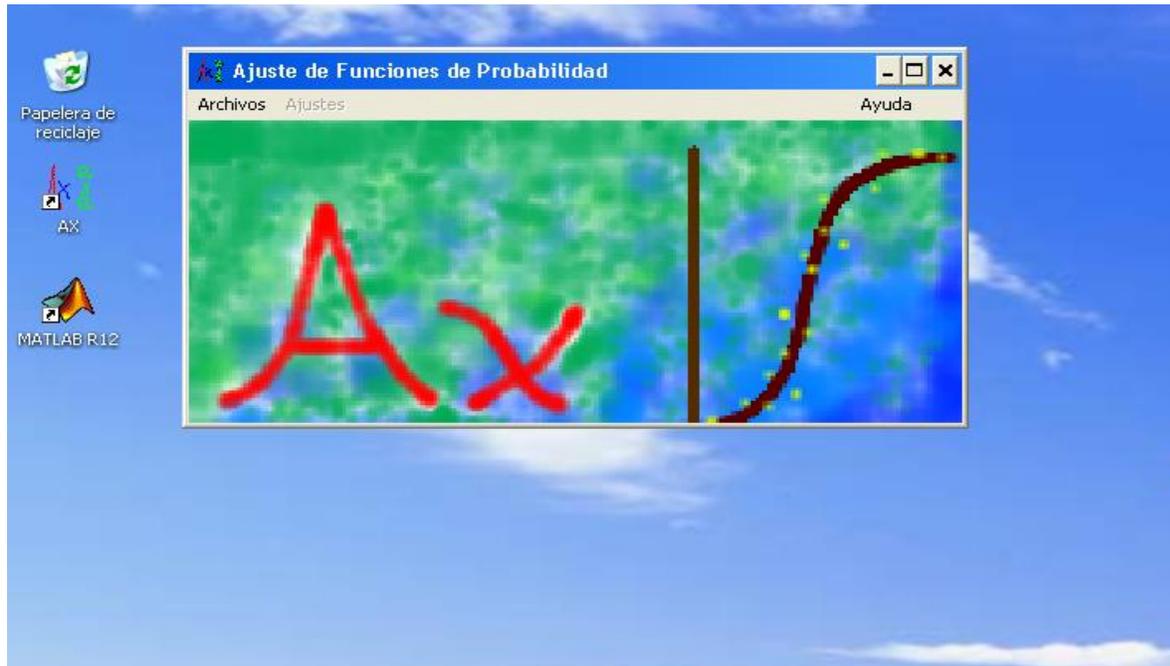


Figura 48: Interfaz del programa AX



Figura 49: Selección del archivo de datos con extensión .AJU

5. Una vez seleccionado el archivo para un día en específico, se da clic en aceptar para continuar con los ajustes. En primera instancia al dar aceptar el programa AX arroja una tabla de editor de datos, en el cual solo se da ok. (Figura 50).

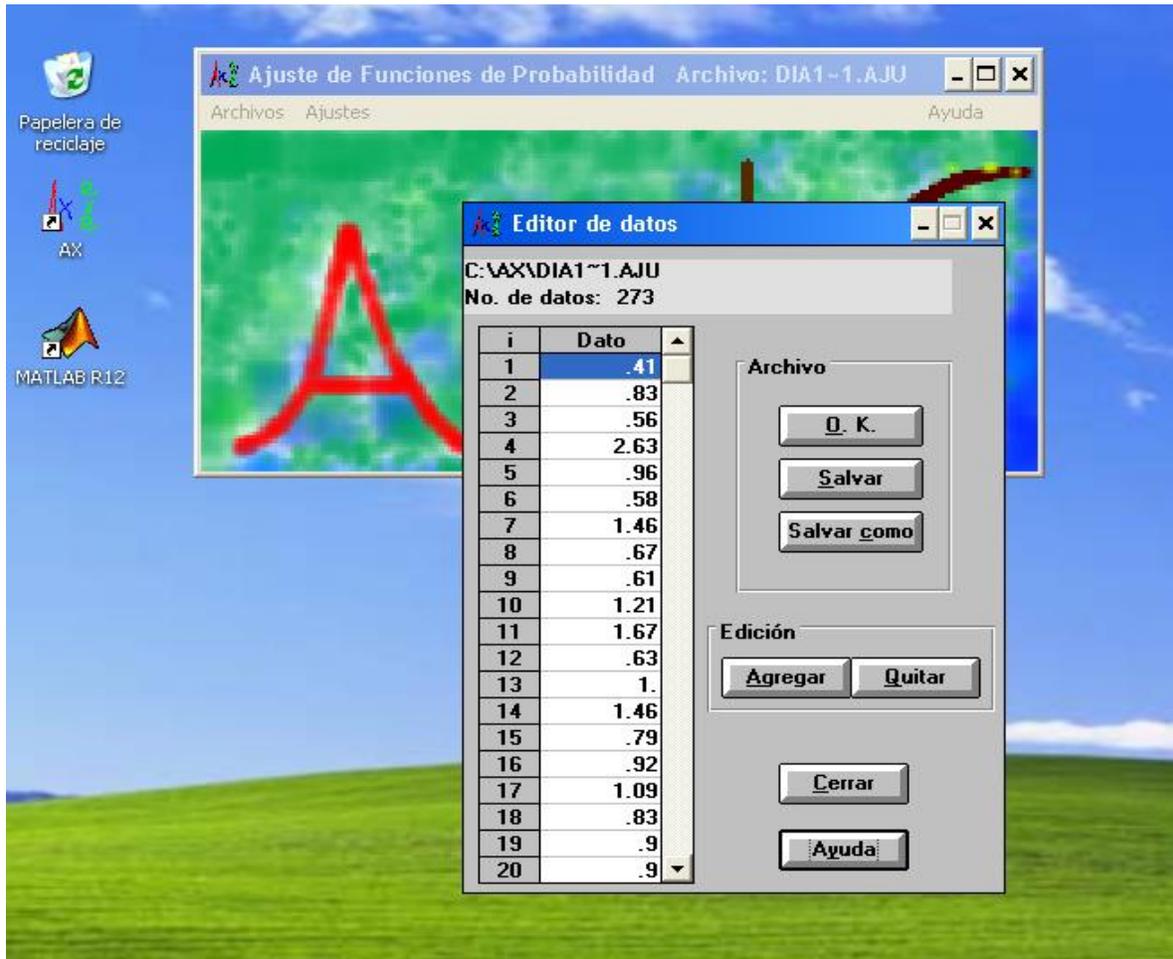


Figura 50: Selección de archivos de datos para la tabla de editor de datos

6. Ir a la opción global del menú de ajustes (Figura 51), para comenzar el análisis de errores estándar, donde se presenta una primera aproximación al ajuste de esta función. El procedimiento se basa en escoger arbitrariamente un P , después se ajusta a cada población una función Gumbel sencilla. De esta manera los parámetros que resulten de estos dos ajustes serán los de la función Doble Gumbel y se calcula con ellos al error estándar (Figura 52).
Es importante mencionar que solo se tomara en cuenta Gumbel y Doble Gumbel por el método empleado para la aplicación de la metodología de Regionalización.

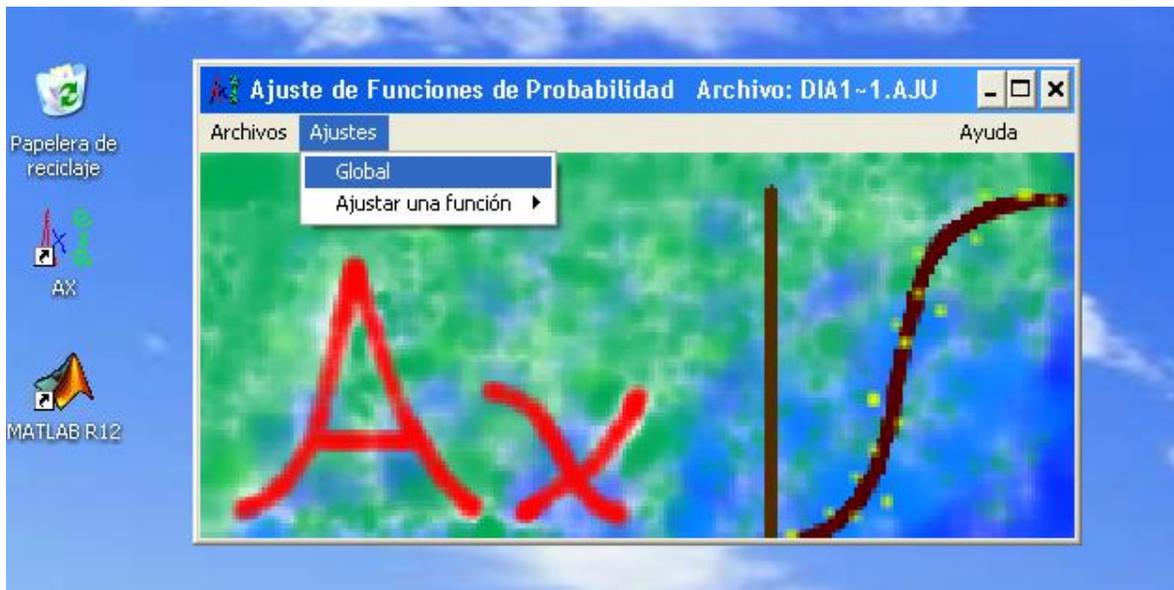


Figura 51: Opción global del menú de ajustes

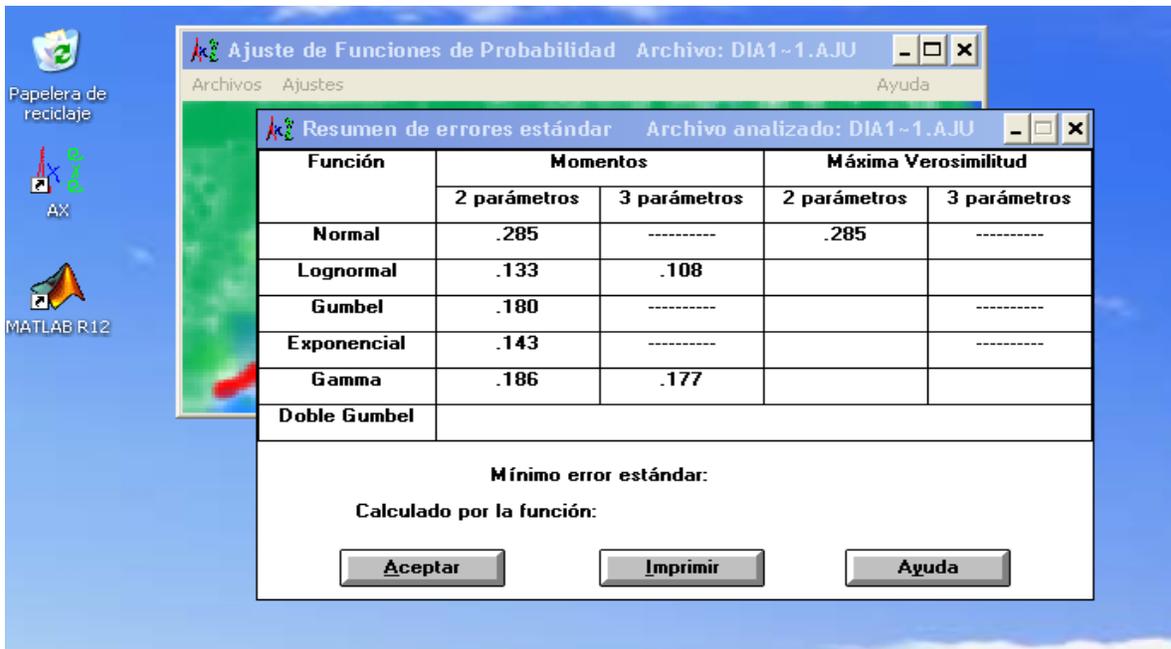


Figura 52: Tabla resumen de errores estándar para el archivo DIA 1 .AJU

- Al obtener la tabla resumen de errores estándar como se muestra en la (Figura 52), se analiza para Gumbel la función que tenga mínimo error estándar. En este caso se observa que el mínimo error se tiene con momentos, se procede a realizar el ajuste con Gumbel (Figura 53).

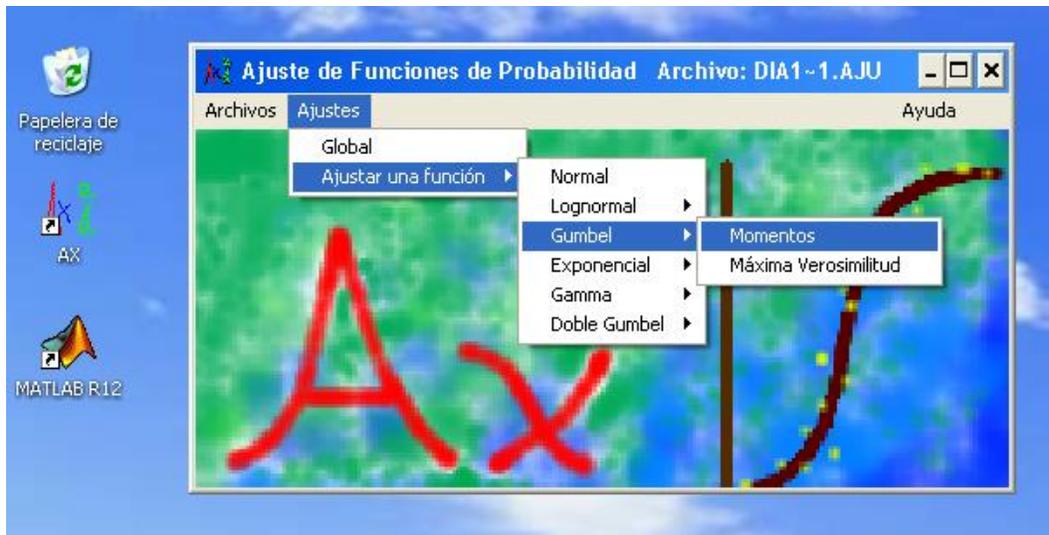


Figura 53: Opción ajustar una función Gumbel por momentos

Al realizar el ajuste por momentos, arroja una primera tabla con los errores cuadráticos, en ella se da clic en extrapolar (Figura 54) y brindara una segunda tabla de extrapolación donde se muestra los resultados, con los parámetros obtenidos de este ejemplo (Figura 55).

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	274.	4.85	3.3	2.41
2	137.	4.22	2.98	1.54
3	91.33	3.67	2.79	.77
4	68.5	3.53	2.66	.75
5	54.8	3.18	2.56	.39
6	45.67	2.63	2.48	.02
7	39.14	2.43	2.4	.
8	34.25	2.33	2.34	.
9	30.44	2.25	2.29	.
10	27.4	2.2	2.24	.
11	24.91	2.14	2.19	.
12	22.83	2.08	2.15	.01
13	21.08	1.96	2.12	.02
14	19.57	1.96	2.08	.01
15	18.27	1.89	2.05	.03
16	17.13	1.86	2.02	.03
17	16.12	1.85	1.99	.02
18	15.22	1.83	1.96	.02
19	14.42	1.76	1.94	.03
20	13.7	1.73	1.91	.03
21	13.05	1.73	1.89	.03
22	12.45	1.68	1.87	.04
23	11.91	1.67	1.85	.03
24	11.42	1.66	1.83	.03
25	10.96	1.61	1.81	.04
26	10.54	1.6	1.79	.04
27	10.15	1.59	1.77	.03
28	9.79	1.58	1.75	.03
29	9.45	1.55	1.74	.03
30	9.13	1.53	1.72	.04
31	8.84	1.53	1.7	.03
32	8.56	1.5	1.69	.04
33	8.3	1.5	1.67	.03
34	8.06	1.46	1.66	.04
35	7.83	1.46	1.64	.03
36	7.61	1.46	1.63	.03

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 1.$ $\sigma = .585$ $\gamma = 2.759$ $\kappa = 15.251$

Parámetros de la función: Gumbel (momentos)

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	2.1916	.7367

Error estándar = .18

Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

Figura 54: Resultados Gumbel del ajuste para el archivo "Dia 1 .AJU"

No	Tr	Dato cal
1	2.	.9
2	5.	1.42
3	10.	1.76
4	20.	2.09
5	50.	2.52
6	100.	2.84
7	200.	3.15
8	500.	3.57
9	1000.	3.89
10	2000.	4.2
11	5000.	4.62
12	10000.	4.94

Cerrar Imprimir
Guardar Ayuda

Figura 55: Extrapolación Gumbel para el archivo "Día 1.AJU"

- En la carpeta AX que se encuentran en el Disco Local (C:) en donde se encuentran los archivos generados al guardar el análisis en la extrapolación que se muestra en (Figura 56), para este primer análisis aparecerán dos archivos con extensión ETP y MAX, los cuales pertenecen al análisis Gumbel (Figura 56).

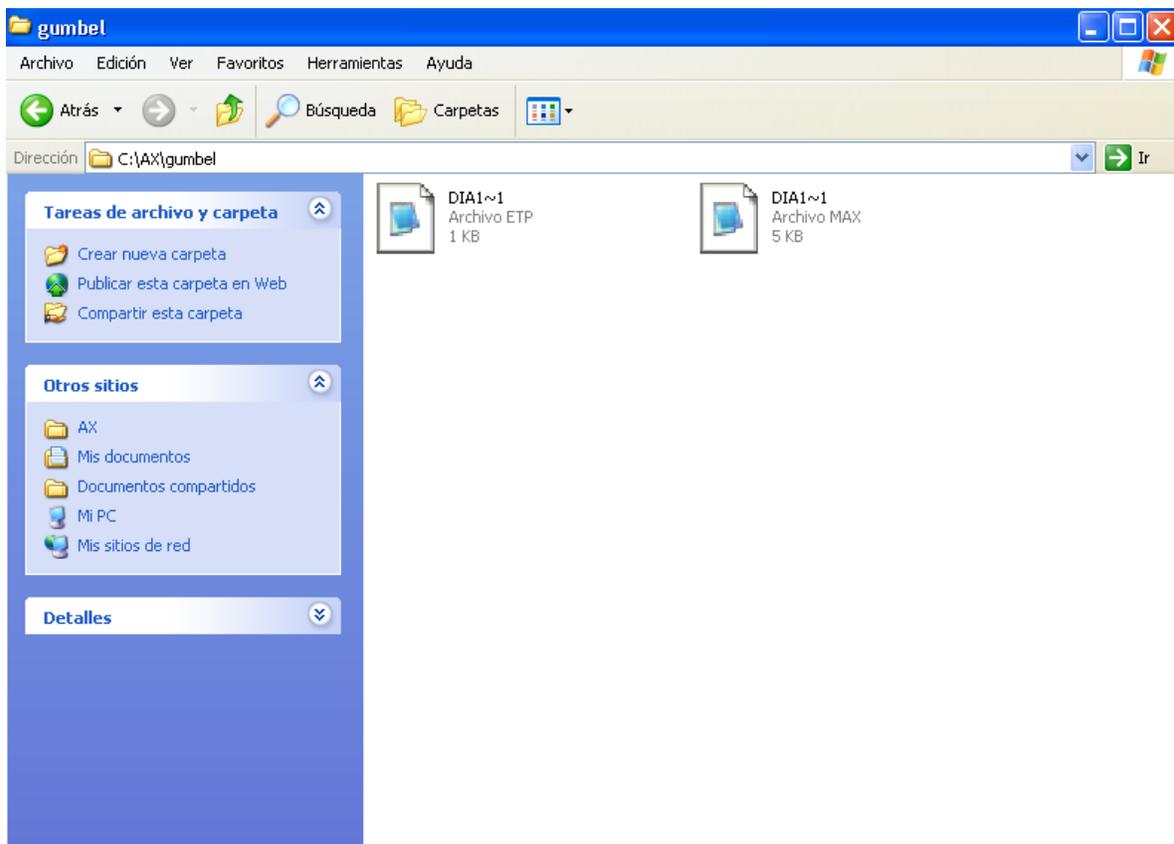


Figura 56: Archivos ETP y MAX para "Gumbel Día 1"

9. Aunque esta primera aproximación es buena, se puede mejorar seleccionando el menú "Ajustar una función" a la función Doble Gumbel. Lo anterior se puede realizar de dos maneras (Figura 57).

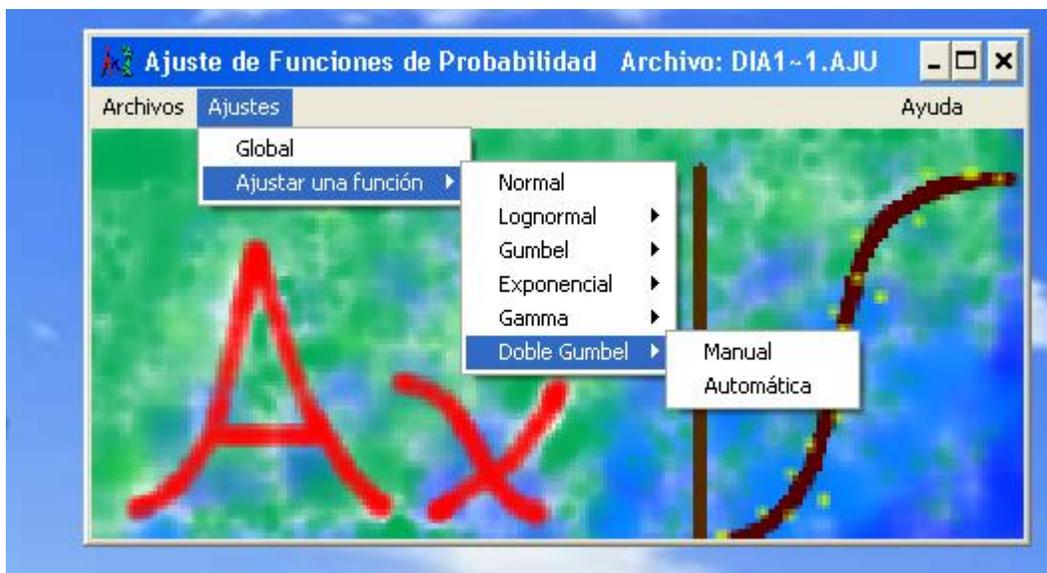


Figura 57: Ajustar una función Doble Gumbel

Si se escoge la opción manual el ajuste se lleva a cabo, en gran parte, de manera visual. Para ello se parte de los parámetros calculados de la opción global. Al terminar de calcular se despliega una ventana conteniendo el error, los parámetros y la gráfica.

Para el análisis de Ajuste Doble Gumbel se escoge la opción automática, en la cual se proporciona una tabla de optimización de la función Doble Gumbel (Figura 58), al terminar el análisis proporciona un archivo con extensión RDG y dar clic en ok para obtener resultados preliminares por Doble Gumbel. (Figura 59).

Optimización de la función Doble Gumbel		Resultados de la optimización:	
P	0.98	P	.98
Ciclos	1	α_1	2.967039
Ciclos 1ª pob	1	β_1	.7536
Contador de alfa1	2	α_2	1.324439
Error	.03	β_1	3.6315
Contador de beta1	1	Error	.026
Error	.03		
Ciclos 2ª pob	1		
Contador de alfa2	40		
Error	.03		
Contador de beta2	2		
Error	.03		
Error global	.039		

Figura 58: Tabla de resultados "Optimización de la función Doble Gumbel"

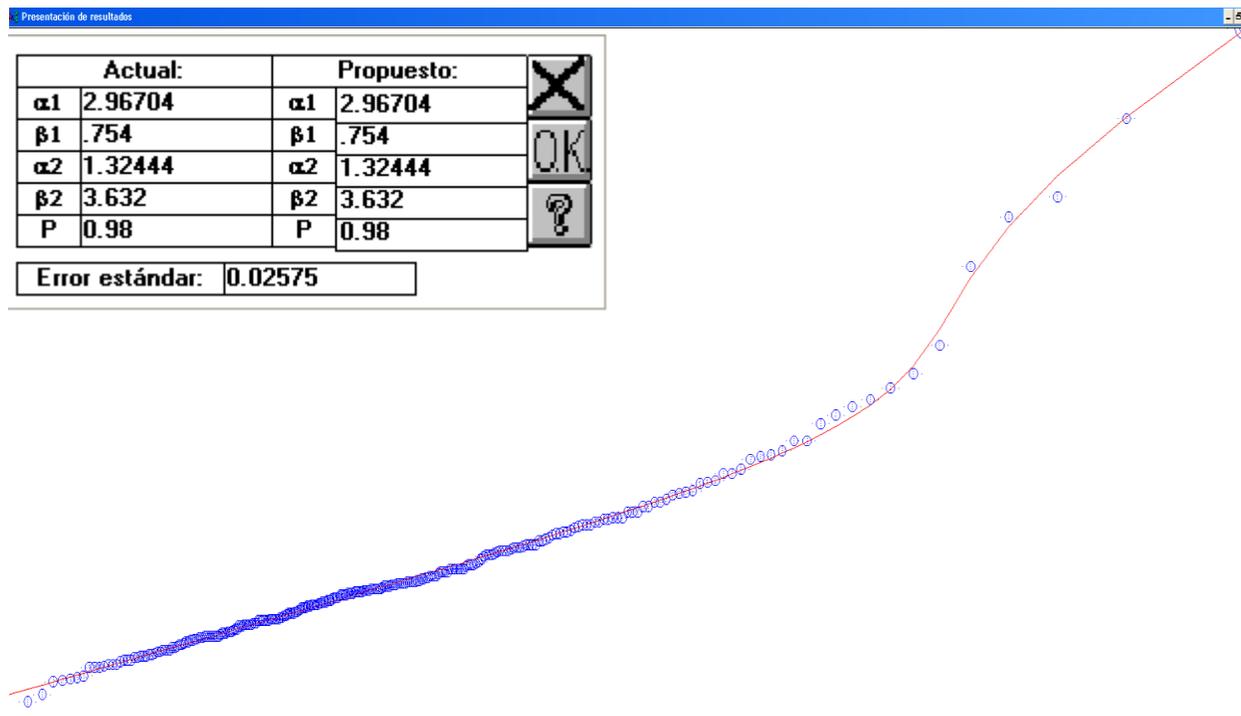


Figura 59: Resultados Preliminares Doble Gumbel

10. Como se observa puede mejorarse el ajuste. Si se disminuye el porcentaje P, al obtener los resultados preliminares el programa AX guarda un archivo con extensión RDG donde concentra las diferentes P a utilizar (Figura 60)

DIA1~1 - Bloc de notas					
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
0.7	4.369766	0.6658	1.67293	1.1852	0.125
0.71	4.421053	0.6622	1.768524	1.2327	0.131
0.72	4.397096	0.6668	1.753954	1.2491	0.13
0.73	4.365516	0.6648	1.737829	1.2656	0.128
0.74	4.332007	0.6695	1.720898	1.2828	0.127
0.75	4.325459	0.6726	1.692419	1.2949	0.124
0.76	4.33901	0.6772	1.692361	1.3276	0.124
0.77	4.267252	0.6751	1.658334	1.3351	0.121
0.78	4.176938	0.6782	1.63013	1.3497	0.118
0.79	4.191377	0.6829	1.612868	1.3733	0.116
0.8	4.158331	0.6876	1.594257	1.398	0.114
0.81	4.117932	0.6924	1.573665	1.4235	0.112
0.82	4.064771	0.6955	1.544309	1.442	0.109
0.83	4.02264	0.6934	1.522685	1.4712	0.106
0.84	3.980209	0.6982	1.485537	1.5034	0.103
0.85	3.936447	0.7031	1.463018	1.5236	0.099
0.86	3.881594	0.7064	1.419301	1.5654	0.095
0.87	3.839347	0.7113	1.398062	1.6099	0.092
0.88	3.79212	0.7092	1.376041	1.6599	0.089
0.89	3.769094	0.7197	1.333402	1.7136	0.084
0.9	3.711271	0.7176	1.297099	1.7762	0.079
0.91	3.612828	0.7227	1.262153	1.8321	0.074
0.92	3.577112	0.7278	1.239291	1.9382	0.07
0.93	3.500469	0.7313	1.176476	2.0276	0.061
0.94	3.408573	0.7365	1.143827	2.1523	0.055
0.95	3.341289	0.7417	1.111108	2.3451	0.048
0.96	3.247256	0.7466	1.095088	2.5819	0.041
0.97	3.125009	0.7497	1.041806	2.9534	0.031
0.98	2.967039	0.7536	1.324439	3.6315	0.026

Figura 60: Archivo RDG con los valores del parámetro P

Para este trabajo se utilizó el parámetro P de 0.98 como valor para realizar el ajuste, al realizar los cambios de los valores oprimir "x", el programa volverá a calcular y a al presentar

los nuevos valores se tendrá un menor error y así aumentar la pendiente de la segunda población (Figura 61).

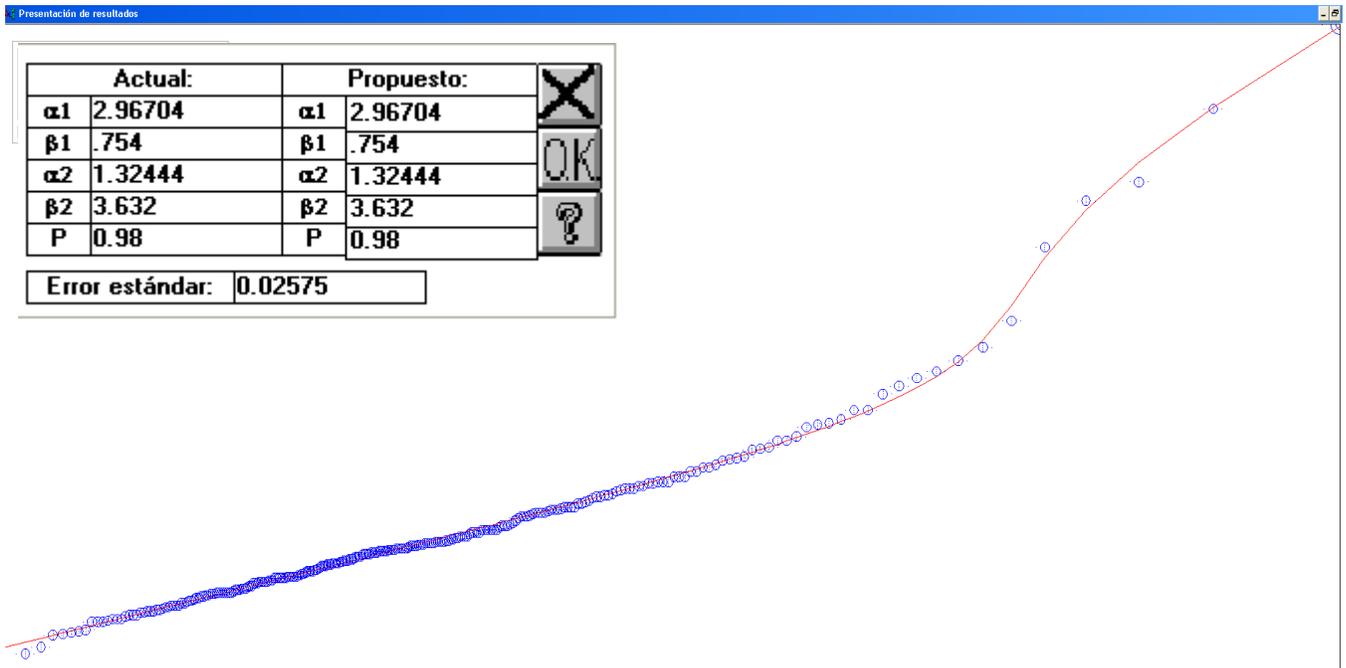


Figura 61: Fase dos resultados Doble Gumbel

De esta manera el error estándar ha disminuido lo mayor posible. Sin embargo, este no puede ser el único ni el mejor criterio para seleccionar los parámetros de la función Doble Gumbel, por lo que esto depende de la experiencia que tenga el usuario. Para continuar con el proceso de Ax se da clic en "ok" el cual despliega una tabla de errores cuadráticos. (Figura 62).

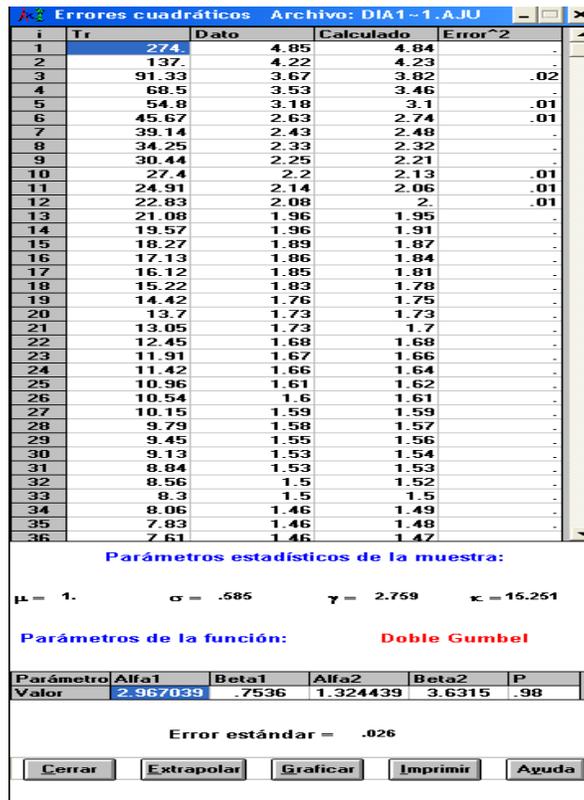


Figura 62: Resultados Doble Gumbel del archivo "Día 1.AJU"

11. Como último paso se selecciona el botón "Extrapolar" para obtener los resultados de las extrapolaciones, con los parámetros obtenidos de este ejemplo (Figura 63), se da clic en guardar para generar los archivos con extensión ETP y Max (Figura 64).

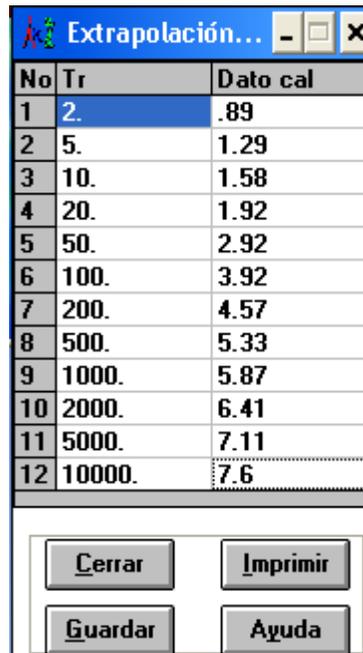


Figura 63: Extrapolación Doble Gumbel para el archivo "Día 1.AJU"

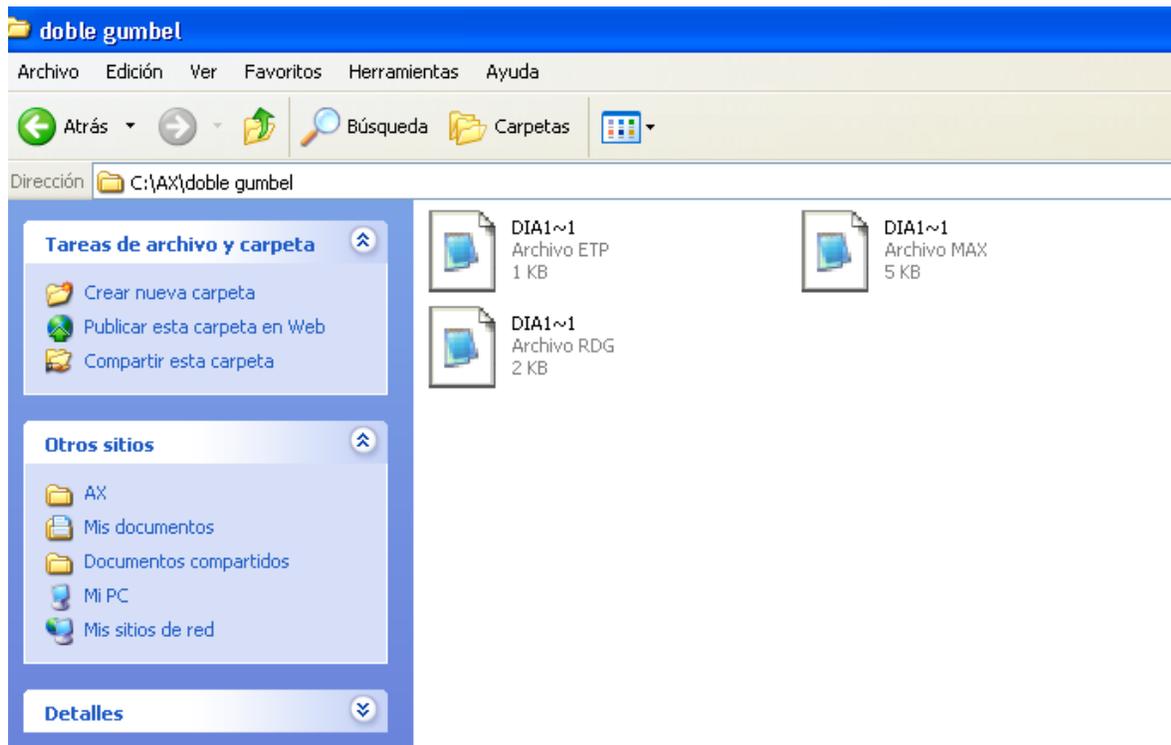


Figura 64: Ejemplos de los archivos ETP y MAX obtenidos de la extrapolación

En la siguiente (Figura 65) se muestra el archivo de salida del programa Ax en formato de texto con los datos normalizados medidos y calculados para diferentes periodos de retorno, en la columna 1 se muestra el periodo de retorno (T_r), en la segunda columna se indica los valores normalizados y en la tercer columna se muestran los valores medidos que se ingresaron al programa en los archivos .aju, el procedimiento se repite para los días restantes.

DIA1~1 - Bloc de notas			
Archivo	Edición	Formato	Ver Ayuda
Doble Gumbel			
10000.00	7.60		
5000.00	7.11		
2000.00	6.41		
1000.00	5.87		
500.00	5.33		
200.00	4.57		
100.00	3.92		
50.00	2.92		
20.00	1.92		
10.00	1.58		
5.00	1.29		
2.00	.89		
274.00	4.84	4.85	
137.00	4.23	4.22	
91.33	3.82	3.67	
68.50	3.46	3.53	
54.80	3.10	3.18	
45.67	2.74	2.63	
39.14	2.48	2.43	
34.25	2.32	2.33	
30.44	2.21	2.25	
27.40	2.13	2.20	
24.91	2.06	2.14	
22.83	2.00	2.08	
21.08	1.95	1.96	
19.57	1.91	1.96	
18.27	1.87	1.89	
17.13	1.84	1.86	
16.12	1.81	1.85	
15.22	1.78	1.83	
14.42	1.75	1.76	
13.70	1.73	1.73	
13.05	1.70	1.73	
12.45	1.68	1.68	
11.91	1.66	1.67	
11.42	1.64	1.66	
10.96	1.62	1.61	
10.54	1.61	1.60	
10.15	1.59	1.59	
9.79	1.57	1.58	
9.45	1.56	1.55	
9.13	1.54	1.53	
8.84	1.53	1.53	
8.56	1.52	1.50	
8.30	1.50	1.50	
8.06	1.49	1.46	
7.83	1.48	1.46	
7.61	1.47	1.46	
7.41	1.45	1.42	
7.21	1.44	1.42	
7.03	1.43	1.42	
6.85	1.42	1.41	
6.68	1.41	1.41	
6.52	1.40	1.39	
6.37	1.39	1.39	
6.23	1.38	1.37	
6.09	1.37	1.37	
5.96	1.36	1.37	
5.83	1.35	1.36	
5.71	1.35	1.35	

Figura 65: Ejemplo de archivo MAX del programa AX

Los archivos de texto se pueden procesar fácilmente en una hoja de cálculo de Excel para obtener las gráficas correspondientes al comportamiento de estos valores de acuerdo al ajuste de las pendiente se analiza si hay eventos ordinarios o extraordinarios y así determinar que función de distribución se ajusta al análisis estimado, para la cuenca de estudio (Rio Santa Catarina) la función que mejor se ajusto es Doble Gumbel como se muestra en las figuras siguientes (Figura 66 a 70).

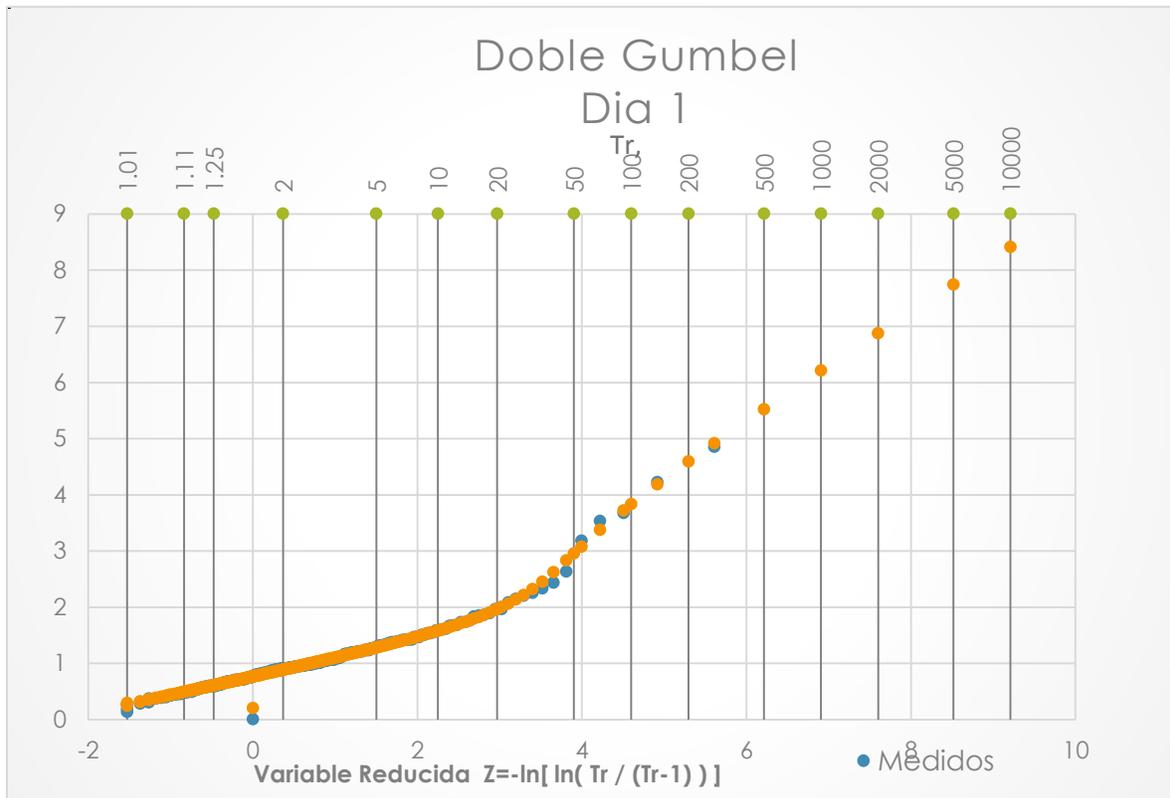


Figura 66: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para un día

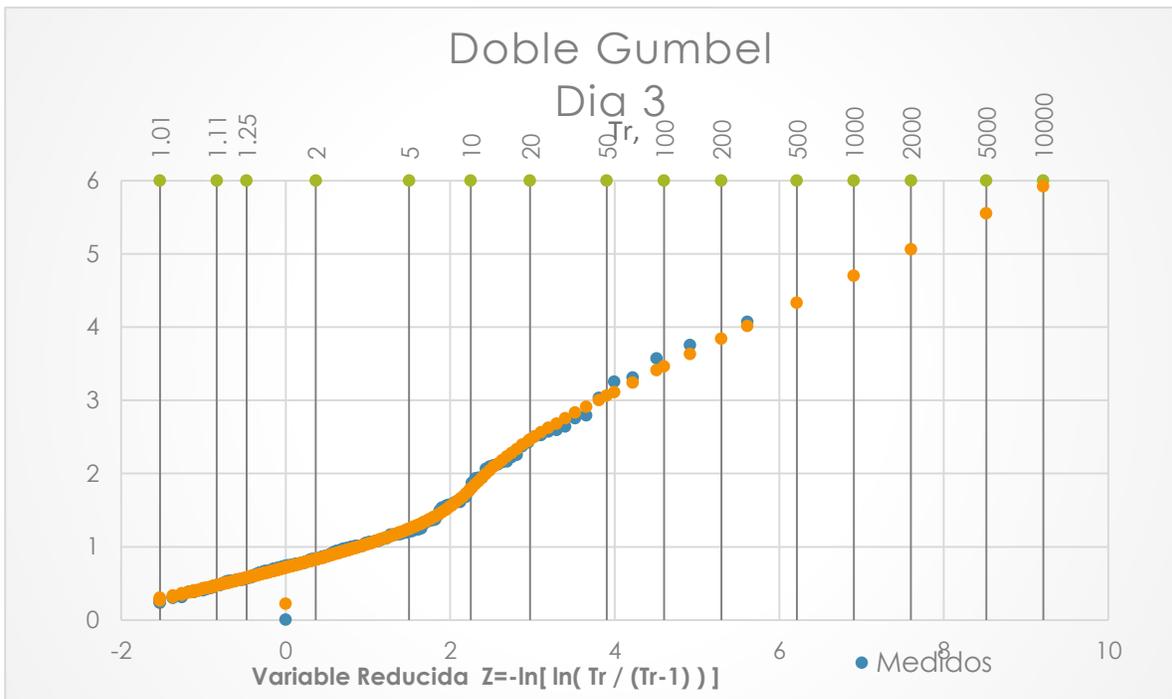


Figura 67: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 3 días

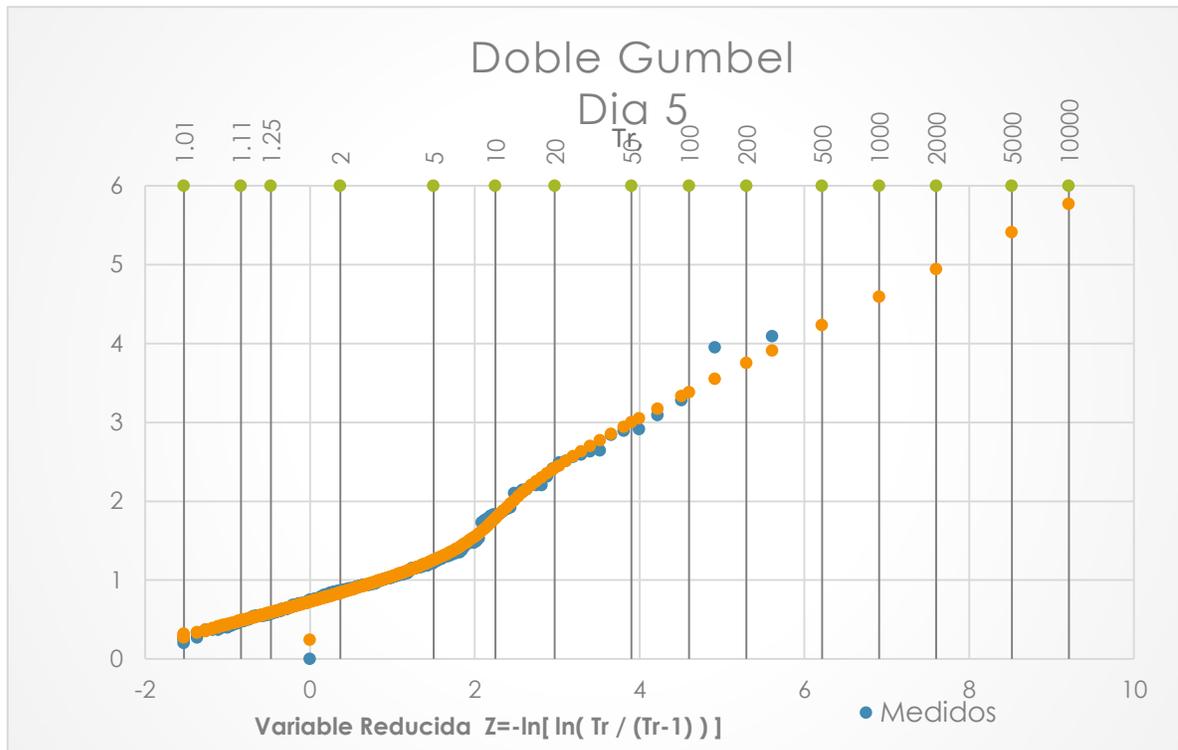


Figura 68: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 5 días

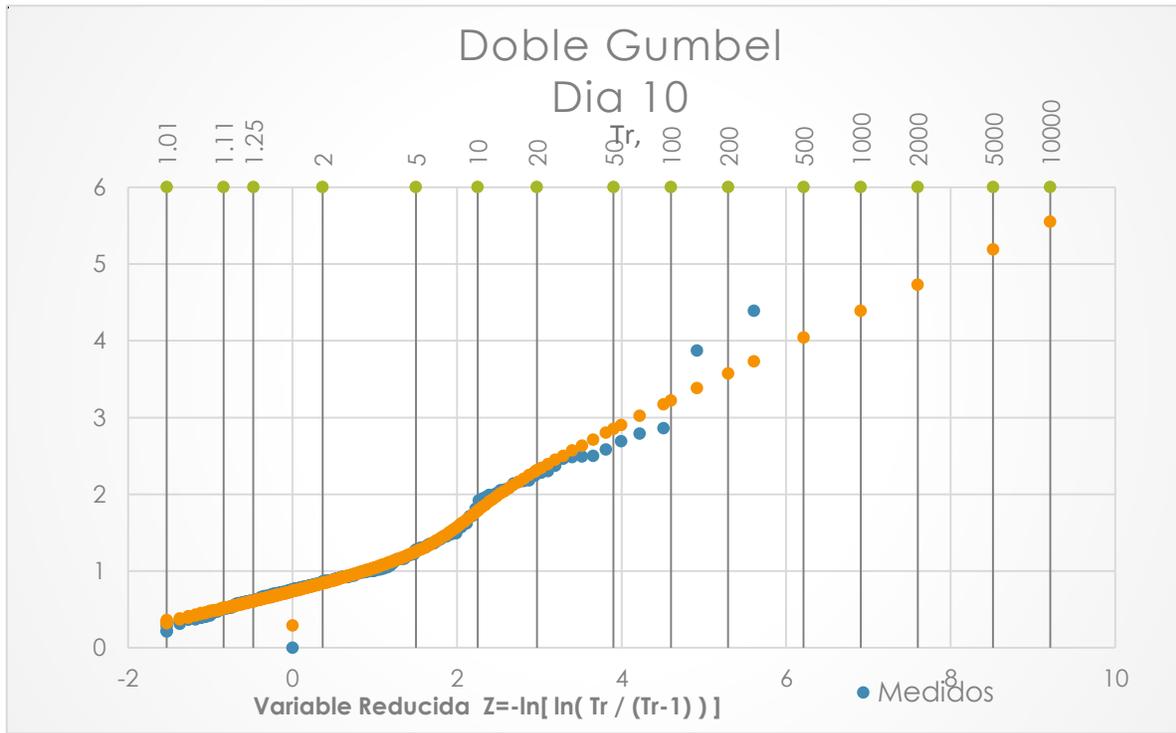


Figura 69: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 10 días

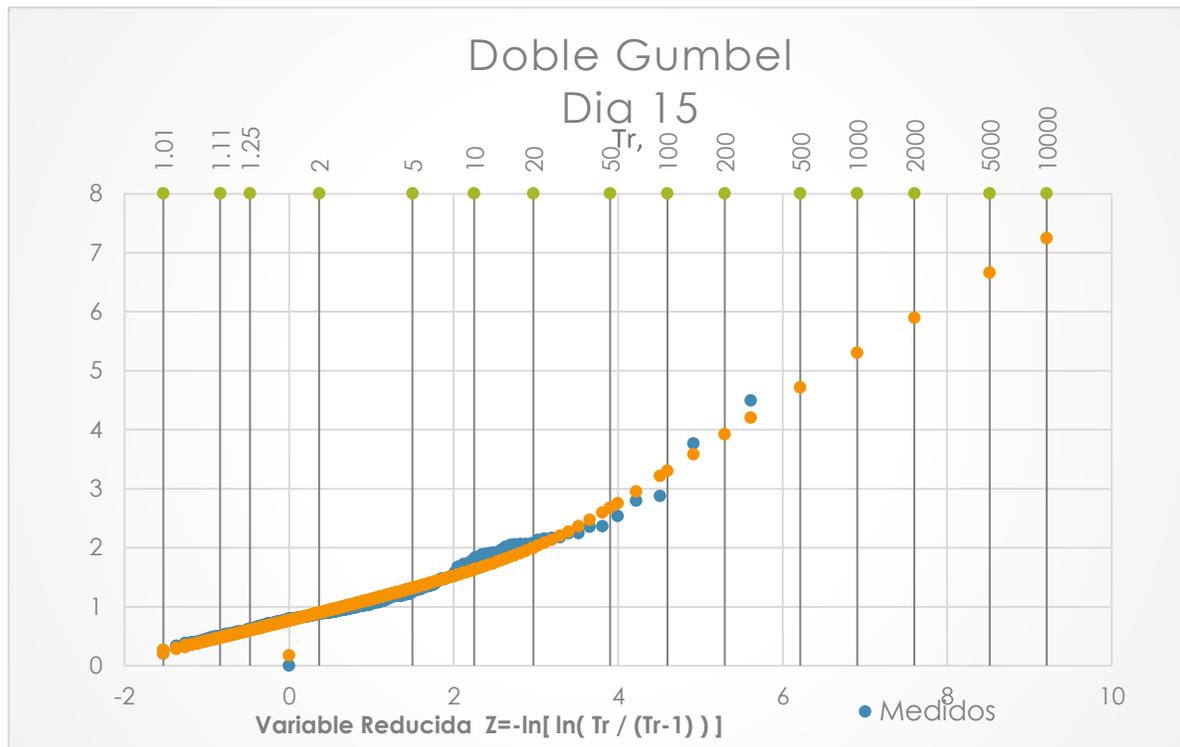


Figura 70: Grafica de valores medidos y calculados para diferentes periodos de retorno para 15 días

En la (tabla 10) se muestran los factores de diseño normalizados extrapolados para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones (en días "1, 3, 5, 10,15"). En la tabla 8 se muestra un resumen de los eventos de diseño para las estaciones analizadas de la Cuenca del Rio Santa Catarina, los valores obtenidos son el resultado del producto de los factores extrapolados para un día por la media correspondiente de cada estación y como resultado el producto es igual al valor de precipitación máxima anual en mm.

Tabla 10: Factores de diseño normalizados para diferentes días "1,3,5,10,15"

Extrapolados					
Tr/Años	Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 10	Dia 15
2	0.88	0.82	0.84	0.84	0.89
5	1.28	1.24	1.25	1.25	1.31
10	1.58	1.79	1.78	1.78	1.63
20	1.96	2.46	2.42	2.31	1.99
50	2.95	3.06	3	2.85	2.67
100	3.83	3.46	3.38	3.22	3.3
200	4.59	3.84	3.75	3.57	3.92
500	5.52	4.33	4.23	4.04	4.71
1000	6.21	4.7	4.59	4.39	5.3
2000	6.87	5.06	4.94	4.73	5.89
5000	7.74	5.55	5.41	5.19	6.66
10000	8.41	5.92	5.77	5.55	7.24

Con esta metodología se pueden obtener de manera fácil los factores o eventos de diseño obtenidos a partir de la extrapolación, ya que permite estimar la tormenta de diseño, que se pueden presentar para los distintos periodos de retorno. (Tabla 11)

Tabla 11: Eventos de diseño normalizados para diferentes periodos de retorno

Doble Gumbel								
Tr años/Estaciones		19002	19008	19018	19031	19033	19038	19058
2	0.88	38.7823544	75.1457837	50.2062922	45.3870104	59.1388355	45.56235	55.0906563
5	1.28	56.4106973	109.302958	73.0273341	66.0174697	86.0201244	66.2725091	80.1318638
10	1.58	69.6319545	134.920839	90.1431156	81.4903142	106.181091	81.8051284	98.9127693
20	1.96	86.3788803	167.370155	111.823105	101.08925	131.718315	101.47978	122.701916
50	2.95	130.009029	251.909161	168.305184	152.149637	198.249505	152.737423	184.678905
100	3.83	168.791383	327.054945	218.511476	197.536648	257.388341	198.299773	239.769561
200	4.59	202.285235	391.953577	261.871456	236.73452	308.46279	237.649076	287.347855
500	5.52	243.271132	471.369007	314.930378	284.700338	370.961786	285.800196	345.568662
1000	6.21	273.680024	530.290133	354.296676	320.28788	417.33201	321.52522	388.764745
2000	6.87	302.76679	586.649471	391.951395	354.328138	461.686136	355.696983	430.082738
5000	7.74	341.108435	660.941325	441.587161	399.199387	520.15294	400.741579	484.547364
10000	8.41	370.63591	718.154592	479.812406	433.755406	565.179098	435.431095	526.491386

Capítulo 6 Conclusiones y Resultados

En este trabajo el procedimiento realizado permitió estimar valores de precipitación de diseño a diferentes periodos de retorno en mm, en sitios con escasa información hidrométrica, relacionando sus características fisiográficas, hidrológicas de la cuenca del Rio Santa Catarina. Es importante mencionar que la cantidad de información es buena, pero se necesita una mayor calidad, así como mejorar las estaciones de medición con una mayor tecnología, obtendremos menor incertidumbre.

La regionalización es un método que agrupa las estaciones analizadas en la misma región de estudio, implicando que tengan características similares o simplemente para calcular valores o datos que no existen. Se utilizan herramientas como softwares para la obtención de valores estandarizados que aplican ciertas técnicas estadísticas hidrológicas.

La media es un valor de suma importancia, fue empleado para este trabajo, ya que al relacionarlo con las características físicas y geográficas medibles en una cuenca (área, promedio medio de las precipitaciones máximas anuales) se hace posible estimar de forma simple, así mismo destacando que la agrupación se logró por el análisis de variación, máximos, y por otro lado, al aplicar el producto por los factores o eventos de diseño previamente calculados en el capítulo anterior, se obtienen estimaciones de precipitaciones asociados a distintos periodos de retorno.

El desarrollo de la metodología fue aplicada a 7 estaciones climatológicas, que cuentan con más de 20 años de registro, sin embargo, los resultados pueden usarse para estaciones con menos años de registro y aplicando mis resultados, brindo los datos para diseños confiables que requiere una obra hidráulica en su planeación y diseño.

Para los resultados obtenidos se recomienda estar actualizando el estudio periódicamente, por lo regular cada 5 años, con la finalidad de tener mayor precisión para el cálculo de los eventos de diseño, y así contar con valores de lluvia máximos anuales para depuraciones de 1 a 60 días depurados para cada estación climatológica y las extrapolaciones correspondientes a diversos periodos de retorno y duración.

Para este trabajo se pudo realizar la estimación de lluvias de diseño en lugares específicos en la cuenca del Rio Santa Catarina, donde no se cuenta con estaciones climatológicas para la estimación de lluvias a través de mapas de isoyetas.

En este trabajo fue de suma importancia las lluvias de diseño que te ayuda a resolver problemas de diseño y estimaciones para obras hidráulicas y para prever o contener las emergencias.

Algunos de los resultados de estudio fueron la obtención de un mapa de isoyetas, Ver (Figura 71).

Este mapa de isoyetas nos sirve para poder identificar la altura media de precipitación en zonas donde no existen estaciones climatológicas a lo largo de la cuenca, por ejemplo si se quiere obtener la altura de precipitación en alguna zona donde no exista una estación cercana simplemente se observa que isoyeta pasa por esa zona y el valor que tenga ese será su altura de precipitación.

Ejemplo:

Si se requiere saber altura media de precipitación en la capital del estado de Nuevo León, en este caso Monterrey se observa que se encuentra entre las estaciones 19038,19052 y 19088, por ende observamos que las isoyetas que pasan por esa zona van desde 52 a 70 mm aproximadamente.

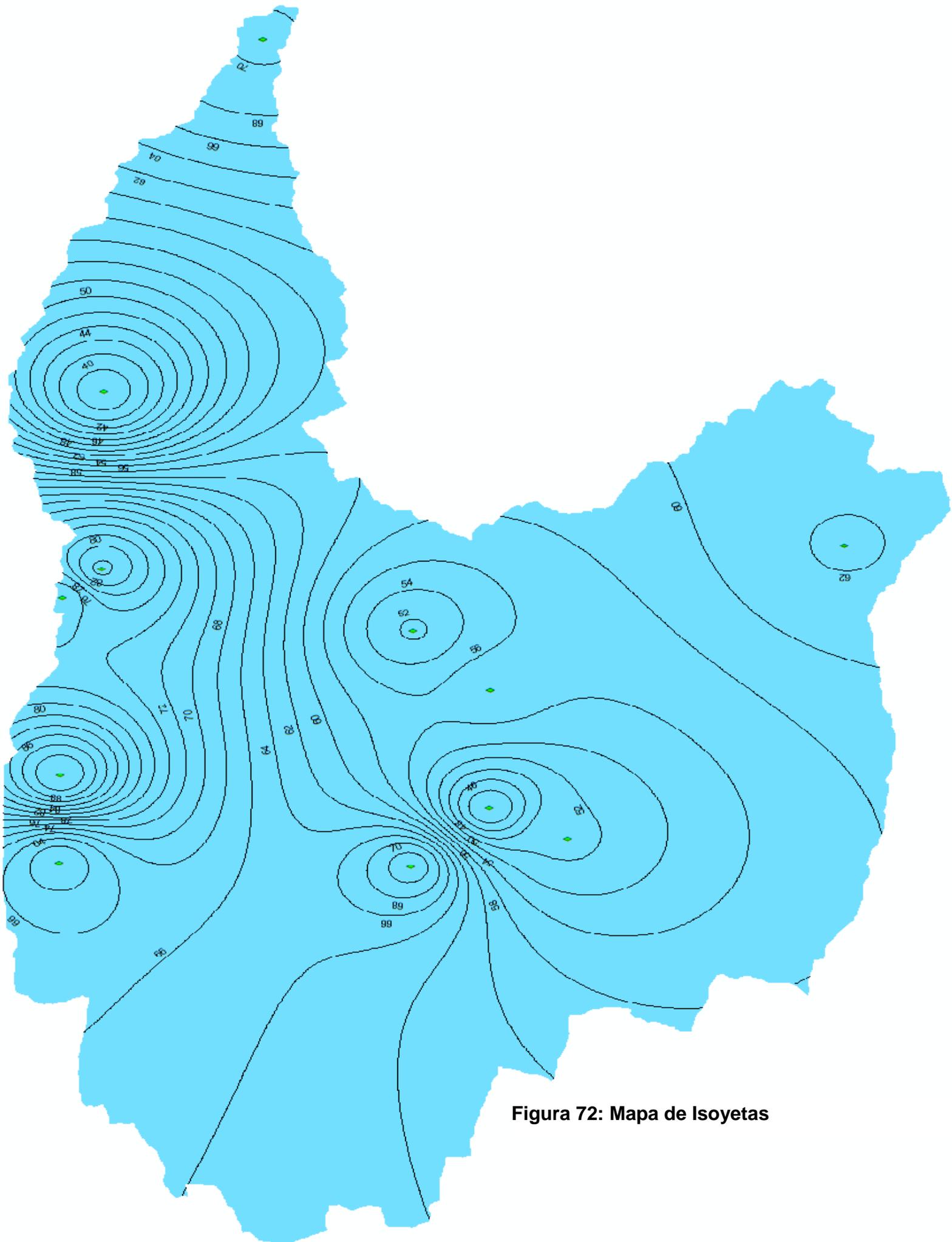


Figura 72: Mapa de Isoyetas

Bibliografía

Agustin Felipe Breña Puyol & Marco Antonio Jacobo Villa. "Principios y fundamentos de la hidrología superficial". Universidad Autónoma Metropolitana. (UAM).

Aparicio, F. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa; México

Banco Nacional De Aguas Superficiales (BANDAS), CONAGUA, México

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. (CONABIO).

Desrosières, Alain (2004). *La política de los grandes números*. Ed. Melusina. ISBN 84-933273-5-2.

Eduardo Juan Diego. "Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Tabasco". Tesis (Licenciatura en ingeniería). México, DF. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Iztapalapa III. 2017, 112p

Eliseo Carrizosa Elizondo, "Regionalización de gastos máximos en la cuenca de la vertiente del pacífico centro de la República Mexicana". Tesis (Magister en ingeniería). México, DF. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería, 1997. 160 p

Escalante Sandoval, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez. Técnicas estadísticas en hidrología. 2 edición, primera reimpresión, Mexico, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2008, 208 p.

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

Jiménez, E.M (1996). Programa Ax. Area de Riesgos Hidrometeorológicos. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Mario Ponce Soria. "Regionalización de precipitaciones para obtener lluvias de diseño en el estado de Veracruz". Tesis (Licenciatura en Ingeniería). México, DF. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería, 2017. 90 p

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