

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Envío a la Dirección General de Biblioteca
UNAM a circular en formato electrónico e impresa
ordenado de m. I. C. B. A. I. C. R. E. C. E. C. I. O. N. A. S.

NOMBRE: Juan Fco. Gómez Martínez

FECHA: 13 de marzo del 2003

FIRMA: Juan Fco. Gómez Martínez

**MODELOS REGIONALES DE GASTOS MÁXIMOS PARA LA
VERTIENTE DEL GOLFO DE MÉXICO**

TESIS

PRESENTADA POR:
JUAN FCO. GÓMEZ MARTÍNEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
**MAESTRO EN INGENIERÍA
(HIDRÁULICA)**

DIRECTOR DE TESIS
DR. ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO

NEGRO EC FALLA DE ORIGEN
NOO SISEL

CAMPUS MORELOS

2003

1



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por haberme brindado la oportunidad de consolidar mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo.

Al Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco por su amistad, y por su apoyo incondicional, paciencia y dedicación en la dirección de este trabajo.

Al Dr. Fco. Javier Aparicio Mijares, al M.I. Roberto Mejía Zermeño, al M.I. Carlos Gutiérrez Ojeda y al M.Sc. Jorge Arturo Hidalgo Toledo por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por sus valiosos comentarios para un mejor desarrollo del trabajo, y por su gran amistad ofrecida.

A todos aquellos que fueron mis maestros en la DEPMI "Campus Morelos", por compartir sus conocimientos.

A la Sra. Marilu Barba Córdova por su ayuda incondicional en el trámite para mi titulación.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dedicado a:

A mis padres por haberme traído a este mundo, y porque con su ejemplo me guiaron por el buen camino de la vida.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional. Especialmente a Cuca, ya que, sin su apoyo no hubiera logrado ser lo que ahora soy.

A mi esposa Irma por ser una gran mujer, por su gran amor y por su apoyo incondicional.

A mi gran amigo Francisco Javier Rivera por su amistad y apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Hipótesis adoptadas	4
1.4 Desarrollo del trabajo	4
2. Selección de la zona de estudio	5
2.1 Descripción y selección de las regiones hidrológicas del golfo de México	6
2.2 Selección de las estaciones hidrométricas	13
2.2.1 Características necesarias de las estaciones hidrométricas	13
2.3 Características fisiográficas y climatológicas de las cuencas correspondientes a las estaciones hidrométricas	20
3. Análisis de incidencia de ciclones	29
3.1 Generalidades	30
3.1.1 Ciclones tropicales	30
3.1.2 Clasificación	30
3.1.3 Vientos	30
3.1.4 Tamaño	31
3.1.5 Movimiento	31
3.1.6 Temporada	31
3.2 Efectos principales de los ciclones tropicales	31
3.2.1 Daños por viento	31
3.2.2 Daños por precipitación	32
3.2.3 Daños por marea de tormenta	32
3.3 Análisis de frecuencia de ciclones tropicales	33
3.3.1 Frecuencia relativa en la zona de estudio	33
3.3.2 Frecuencia relativa de los ciclones en cada región hidrológica	38
3.3.3 Relación entre los ciclones tropicales y los gastos máximos anuales	45
4. Análisis de frecuencias de gastos máximos	57
4.1 Función de distribución para dos poblaciones	60
4.2 Estimación de parámetros	62
4.2.1 Error cuadrático mínimo	62
4.2.2 Método de máxima verosimilitud	63
4.3 Ajuste de la función de distribución a las estaciones hidrométricas	65

4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. Definición de las regiones homogéneas	75
5.1 Prueba de homogeneidad de Langbein	76
5.1.1 Avenida media anual	76
5.1.2 Descripción de la prueba	78
5.1.3 Resultados de la prueba	81
5.2 Prueba de Kolmogorov – Smirnov (K-S)	89
5.2.1 Descripción de la prueba	89
5.2.2 Resultados de la prueba	90
5.3 Prueba de homogeneidad de Wilcoxon	99
5.3.1 Descripción de la prueba	99
5.3.2 Resultados de la prueba	100
5.4 Comparación de los resultados ente las pruebas.	109
5.5 Definición de las regiones homogéneas	111
6. Modelos regionales	121
6.1 Modelos regionales mediante métodos de regresión múltiple	122
6.1.1 Coeficiente de correlación	124
6.2 Determinación de los modelos regionales	124
6.2.1 Modelos regionales para los parámetros de la función de distribución Gumbel doble	124
6.2.2 Modelos regionales para los gastos máximos con diferentes periodos de retorno.	129
6.3 Aplicación de los modelos regionales a cuencas aforadas	135
6.3.1 Ejemplo 1	135
6.3.2 Ejemplo 2	138
6.3.3 Ejemplo 3	141
6.4 Aplicación de los modelos regionales a cuencas no aforadas	144
6.4.1 Ejemplo 1	144
6.4.2 Ejemplo 2	148
6.4.3 Ejemplo 3	152
7. Conclusiones y recomendaciones	157
Bibliografía	161

ANEXO A. Gastos máximos anuales registrados

ANEXO B. Métodos para la estimación de los parámetros de una función de distribución de probabilidad

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5

1

Introducción

La estimación de los eventos de diseño para las obras hidráulicas ha sido siempre tema de diferentes estudios. Para estimar la avenida de diseño, por lo general se aplica un análisis de frecuencias de gastos máximos anuales, siempre y cuando se disponga de esta información. Sin embargo en muchas ocasiones en el sitio en donde se construirá la obra la información hidrométrica es inadecuada o definitivamente no existe.

Debido a lo anterior es necesario desarrollar otros métodos que permitan estimar la magnitud de la avenida de diseño en aquellos lugares en donde no se cuente con información hidrométrica.

Entre estos métodos se encuentran los modelos lluvia escurrimiento, métodos de transferencia de información de escurrimientos entre sitios con características meteorológicas similares y el análisis de frecuencias regional de gastos máximos anuales o también conocidos como modelos regionales.

Con los modelos regionales es posible estimar la avenida de diseño en cualquier sitio mientras éste se encuentre dentro de una región homogénea, la cual tiene que ser previamente definida.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 Antecedentes

Quizá el primer modelo de regionalización propuesto fue el método de la avenida índice, el cual fue desarrollado por W. B Langbein (Dalrymple, 1960), el cual consiste primeramente en definir las regiones homogéneas, para posteriormente obtener funciones que permitan estimar la avenida de diseño en un sitio dado, en función de algunas de sus características fisiográficas y climatológicas.

A partir del desarrollo de Langbein, el análisis de frecuencias regionales ha sido aplicado en diferentes partes del mundo así como en nuestro país. Entre éstas se pueden mencionar las siguientes:

Con la finalidad de estimar los gastos máximos anuales para diferentes periodos de retorno, la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH) en 1975 (SARH, 1975), realizó una regionalización de gastos máximos en México. Para esto utilizó 206 estaciones hidrométricas distribuidas en todo el país, y las siguientes características fisiográficas y climatológicas de las cuencas: área, longitud y pendiente del cauce principal, precipitación media anual y precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años.

Como resultado final, el CPNH obtuvo 13 regiones homogéneas, para las cuales determinó modelos regionales con base en los parámetros de la función de distribución Gumbel y las características mencionadas de las cuencas.

James A. Smith (1989) llevó a cabo un análisis regional de frecuencias de gastos máximos anuales en la región central de los Apalaches en Estados Unidos, para el cual se utilizaron 53 estaciones hidrométricas. Así desarrolló un modelo regional para estimar los intervalos de recurrencia de avenidas extremas.

El modelo desarrollado se basó principalmente en el hecho de que las grandes avenidas reflejan diferentes procesos hidrológicos y meteorológicos que las pequeñas avenidas. A diferencia del método de Langbein aquí se usaron las magnitudes de las avenidas, en lugar de la avenida media anual. Dichas magnitudes se modelan con la distribución de Pareto, la cual tiene dos parámetros. Así pues la región de estudio se dividió en dos subregiones homogéneas, para las cuales, se obtuvieron modelos regionales de regresión de potencias para los parámetros de la distribución de Pareto.

Nathan R.J y McMahon (1990) realizaron una división de regiones homogéneas utilizando las llamadas Curvas de Andrews con sus respectivos modelos regionales. En su estudio utilizaron 184 cuencas localizadas en el sudeste de Australia, cuyas áreas varían de 1 a 250 km².

Inicialmente se seleccionaron 19 características de las cuencas, sin embargo para reducir la dimensionalidad del problema y llevar a cabo la determinación de las subregiones homogéneas, hicieron un gran número de regresiones de potencias a fin de determinar las características más importantes en la generación de los escurrimientos en las cuencas. Llegaron a la conclusión de que las características más importantes son: la precipitación media anual, el área de la cuenca, ubicación, la elevación, la forma, la pendiente del cauce principal y el tipo de suelo.

Campos (1994) obtuvo modelos regionales para la región hidrológica No. 10, ubicada en la costa del Pacífico de México (figura 2.1). La determinación de los modelos regionales se llevó a cabo mediante la aplicación de tres técnicas para el análisis regional de frecuencia de crecientes, a saber: la primera es la aplicación del método de índice de crecientes (MIC), utilizando la prueba de homogeneidad de Langbein. La segunda técnica consiste en un algoritmo para regionalizar funciones empíricas de distribución de probabilidades y la tercer técnica consistió en regionalizar con los primeros tres momentos de probabilidad pesada (MPP).

Como resultado, Campos obtuvo modelos regionales de regresión para cada uno de los criterios. Dichos modelos relacionan los gastos máximos con el área de la cuenca. Además comparó los resultados de los modelos regionales con los resultados del análisis de frecuencias de gastos máximos de cuencas aforadas, dando como resultado que en general los modelos regionales son congruentes con los resultados obtenidos del análisis de frecuencias de gastos máximos.

Un grupo de investigación denominado GREHYS (Groupe de recherche en hydrologie statistique) (1996) elaboró un estudio de regionalización en dos provincias canadienses, Quebec y Ontario. En él analizaron algunas técnicas para la identificación de regiones homogéneas, como son: región de influencia, análisis de correlación canónica y el método de Momentos L. También aplicaron algunos métodos ya conocidos en el desarrollo de modelos regionales, entre los que se encuentran: Método de la avenida índice, modelos basados en regresión múltiple, análisis regional Momentos L y el de la estimación de la avenida regional por el método de picos sobre un umbral (POT por sus siglas en ingles).

En 1997, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 1997), realizó una regionalización de gastos máximos para todo el país de México, para lo cual seleccionó 125 estaciones hidrométricas. La determinación de las 23 regiones homogéneas resultantes se realizó mediante la prueba de homogeneidad de Kolmogorov- Smirnov. Además, se determinaron los modelos matemáticos para cada una de las 23 regiones homogéneas. Dichos modelos relacionan los parámetros de la función de distribución de probabilidad de Gumbel con las características fisiográficas y climatológicas de las cuencas; dichas características fueron las mismas que utilizó la CPNH en la regionalización de 1975.

A pesar de que el CPNH y el IMTA obtuvieron modelos regionales para todo el país de México; la información de las estaciones hidrométricas con las que dispuso la CPNH en ese tiempo eran muy pocas, además de que éstas tenían pocos años de registros. De la misma manera la regionalización obtenida por el IMTA se llevo a cabo solo con 125 estaciones hidrométricas en la determinación de las 23 regiones homogéneas.

De acuerdo con lo anterior es necesario definir modelos regionales con mayor información y con otros criterios para la determinación de las subregiones homogéneas, y así, los modelos serán más confiables en la determinación de las avenidas de diseño.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 Objetivo

El objetivo principal de este estudio es obtener modelos regionales de gastos máximos en las cuencas que vierten directamente en la costa del Golfo de México. Con los modelos regionales será posible calcular dentro de la zona de estudio la avenida de diseño para diferentes periodos de retorno, en aquellos lugares en donde no existan registros históricos de gastos, a partir de algunas características fisiográficas y climatológicas de las cuencas de aportación.

1.2 Hipótesis adoptadas

Las hipótesis consideradas para el desarrollo de este trabajo son las siguientes:

- a) Se considera que los gastos máximos anuales registrados en cada una de las estaciones hidrométricas se ajustan probabilísticamente a dos poblaciones, una debida a la presencia de los ciclones y la otra a las lluvias convectivas.
- b) Se considera que los modelos regionales pueden obtenerse de manera confiable por medio del análisis de regresión múltiple y una función de potencias de los parámetros considerados es un buen modelo de ajuste. Lo anterior se debe a que ya se han utilizado este tipo de modelos en otras partes del mundo e incluso en nuestro país, obteniendo resultados satisfactorios.

1.3 Desarrollo del trabajo

El trabajo está organizado de la siguiente forma:

En el capítulo 2 se hace una breve descripción de la zona del Golfo de México para así poder seleccionar las regiones hidrológicas y las estaciones hidrométricas que se utilizarán en el estudio; también se obtienen las características fisiográficas y climatológicas de cada una de las cuencas que serán necesarias definir para los modelos regionales.

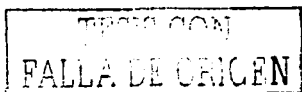
En el capítulo 3 se presenta el análisis de la incidencia de ciclones sobre la zona de estudio, con la finalidad de calcular, de manera aproximada, el valor de la probabilidad de la ocurrencia de eventos ciclónicos en cada una de las estaciones hidrométricas.

En el capítulo 4 presenta el análisis de frecuencias de los gastos máximos anuales de cada una de las estaciones hidrométricas utilizando la función de distribución de probabilidad Gumbel doble, además se obtienen los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno.

En el capítulo 5 se aplican tres diferentes pruebas de homogeneidad, con las cuales se dividirá la zona de estudio en subregiones homogéneas.

En el capítulo 6 se obtienen los modelos regionales para cada una de las subregiones homogéneas y se presenta la aplicación de los modelos obtenidos a cuencas no aforadas.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los resultados obtenidos del estudio.



2

Selección de la zona de estudio

En 1962 la Dirección de Hidrología de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos regionalizó al país, para lo cual consideró exclusivamente la orografía y la hidrografía del territorio nacional (PNH, 1973); obteniendo como resultado las hasta hoy conocidas 37 regiones hidrológicas (figura 2.1). De las cuales 23 vierten directamente sobre el Océano Pacífico (regiones 1 a 23), diez sobre el Golfo de México (regiones 24 a 33) y cuatro vierten en el interior de la república (regiones 34, 35, 36 y 37).

En este capítulo se hace una breve descripción de las regiones hidrológicas que vierten directamente sobre el Golfo de México, y posteriormente se seleccionan aquellas que intervendrán en el estudio.

También en este apartado se seleccionan las estaciones hidrométricas que se utilizarán en el desarrollo del trabajo, y se determinan sus características fisiográficas y climatológicas, las cuales son necesarias en la obtención de los modelos regionales.

2.1 Descripción y selección de las regiones hidrológicas del golfo de México

2.1.1 Región Hidrológica No.24, Río Bravo

Esta región incluye parte de la cuenca del río Bravo hasta la presa Falcón y se divide en dos zonas, la 24 oriente y la 24 poniente, ambas dentro de la Altiplanicie Septentrional.

2.1.1.1 Zona hidrológica 24, Poniente

Esta zona se localiza en la llamada Mesa del Norte, comprendida entre las latitudes 26°03' y 31°47' norte y entre los 102°21' y 107°44' de longitud oeste (ver figura 2.1); abarca una superficie aproximada de 95,000 km² y comprende íntegramente la cuenca del río Conchos; la mayor parte en el estado de Chihuahua y una pequeña porción de los estados de Durango y Coahuila.

Es una región árida, cuyas características se agudizan al norte, en dónde se presentan formas de desierto y se atenúan hacia el sur, ya dentro de la Altiplanicie Meridional. La mayor parte de las áreas del norte desaguan en el río Bravo, existiendo algunas cuencas endorreicas como las lagunas de Tortuguillas, de Bustillos, de los Mexicanos y la de Chancaplio, dentro de la cuenca del río Conchos.

El río Conchos pertenece a la vertiente del Golfo de México, formando parte de la gran cuenca del Río Bravo del Norte, que sirve de límite entre los Estados Unidos de América y México. Dicho río es el principal de los afluentes mexicanos del río Bravo, que drenan dentro del territorio nacional, siguiéndole en orden de importancia, en cuanto a su área de captación el río Salado y el río San Juan.

Las formas principales de precipitación en esta región están representadas por los tipos clásicos siguientes:

- a) Lluvias orográficas producidas por las corrientes de aire húmedo marítimo, que al encontrarse con las barreras topográficas constituidas por las sierras y serranías de la cuenca, ascienden sobre ellas y se enfrían, provocando su saturación y precipitación en forma de lluvia en sus laderas.
- b) Lluvias ciclónicas producida por los ciclones y las tormentas tropicales tanto del Atlántico como del Pacífico.

Son pocas las tormentas tropicales y ciclones que afectan la cuenca del río Bravo, ya que se encuentra protegida por la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.1.2 Zona Hidrológica 24 oriente, “Bajo Río Bravo”

Esta zona se ubica entre los 24°50' y 26°40' de latitud norte y entre los 97°10' y 101°50' de longitud oeste (figura 2.1), comprende una superficie de 47,505 km², de los cuales 12,019 km² pertenecen al estado de Coahuila, 21,330 km² a Nuevo León y 14,156 km² al estado de Tamaulipas.

Esta zona corresponde exclusivamente a la parte baja de la cuenca del río Bravo, y comprende desde la Presa Falcón hasta su desembocadura. Las cuencas principales de esta región son la de San Juan y el Álamo con un área de 32,972 km² y 4,296 km² respectivamente, los 10,237 km² restantes corresponden a otras cuencas menores.

Entre los ciclones tropicales que han afectado a esta región se encuentran: Beulah en 1967, Fern en 1971, Allen en 1980, Barry en 1983, Gilberto en 1988, Arlene en 1993, Gabriel en 1995, Bret en 1999, Beryl y Keith en 2000.

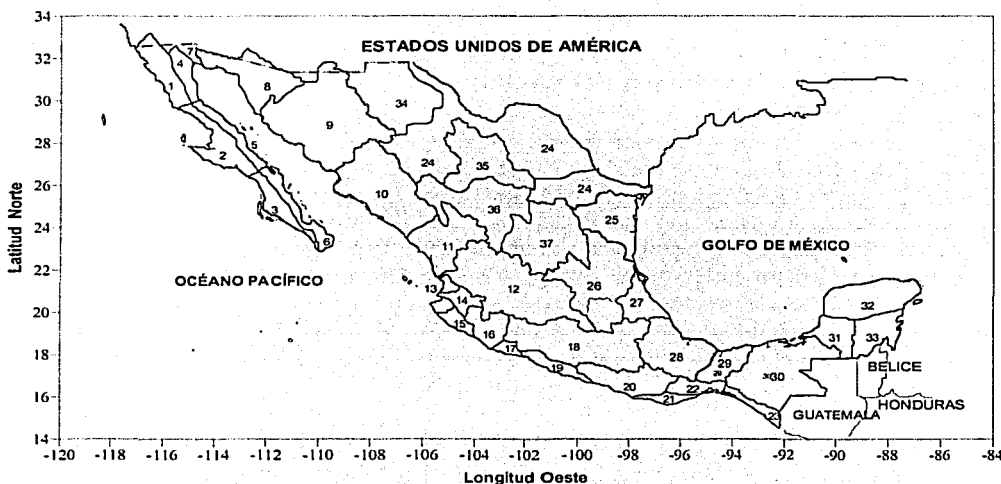


Figura 2.1 Regiones Hidrológicas en que se divide el país (PNH, 1973)

2.1.2 Región No. 25, “San Fernando - Soto la Marina”

Esta región también llamada Golfo Norte corresponde a todas las corrientes que desembocan en el Golfo de México comprendidas entre las cuencas de los ríos Bravo y Pánuco. La superficie de esta región es de aproximadamente 56,928 km², de los cuales 11,506 km² pertenecen al estado de Nuevo León y 45,422 km² al estado de Tamaulipas.

La figura que forma la región puede asimilarse muy toscamente a la de un triángulo, en donde uno de sus lados colinda hacia el oriente con el Golfo de México; el otro colinda hacia el norte con la cuenca del río San Juan (región 24 oriente) y con la cuenca mexicana del río Bravo en la zona baja; y por último, el otro lado hacia el sudoeste. Está limitada por las regiones hidrológicas 24 oriente, 26 y 37 (ver figura. 2.1).

En los meses de agosto y septiembre se registran las precipitaciones más fuertes debido a la intensa actividad ciclónica.

Algunos de los ciclones que han afectado a esta región hidrológica son: How en 1950, Gladys en 1955, Alma en 1958, Inés en 1966, Fern en 1967, Eliza en 1970, Edith en 1974, Carolina en 1975, Anita en 1977, Gilberto en 1988, Dolly en 1996, Bret en 1999 y Keith en 2000.

2.1.3 Región No. 26, “Cuenca del río Pánuco”

Esta región cubre parte de los estados de México, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Veracruz, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas y Nuevo León, así como el Distrito Federal (figura 2.1), lugar donde el río Pánuco, artificialmente, tiene su origen. Comprende íntegramente la cuenca del río Pánuco, que es uno de los ríos más importantes del país tanto por la superficie de su cuenca, 84,956 km² que lo coloca en cuarto lugar entre los de la República, como por su elevado volumen de escurrimiento, que ocupa el quinto lugar en el ámbito nacional.

Algunos de los ciclones que han afectado a esta región son: Charlie en 1951, Janet en 1955, Ana en 1956, Inés en 1966, Fern en 1967, Anita en 1977, Diana en 1990, Gert en 1993, Dolly en 1996 y Keith en 2000.

2.1.4 Región No. 27, “Tuxpan-Nautla”

Esta región se localiza en la parte central de la vertiente del Golfo de México (figura 2.1), cubre una superficie de 26,839 km² y está limitada por la región 26 al norte y al oeste y sur por las regiones 18 y 28 respectivamente.

La hidrografía de la región está integrada por ríos, lagunas, esteros y corrientes menores. Entre los primeros se encuentran los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla y Colipa; las lagunas más importantes son: Tamiahua, Laguna Chica, Laguna Grande, San Agustín y, por

último, las corrientes pequeñas que forman grupos de arroyos paralelos entre un río y otro, y que alimentan las lagunas o esteros mencionados.

Todas las corrientes comprendidas en la región pertenecen a la vertiente del Golfo de México y se localizan en la porción situada entre los 18°47' y 22°10' de latitud norte y los 96°25' y 98°30' de longitud oeste.

Las corrientes de esta región hidrológica, aún cuando se originan principalmente en el estado de Veracruz, cubren una porción importante del estado de Puebla y áreas menores de los estados de Hidalgo y Tlaxcala.

El accidente orográfico más importante de esta región hidrológica está constituido por la Sierra Madre Oriental, que se extiende desde Texas hasta el Cofre del Perote y que en su extremo sureste recibe los nombres de Sierra de Hidalgo, Sierra de Puebla y otras denominaciones locales. Estos accidentes hacen contacto con la Cordillera Neovolcánica que se extiende hasta la costa. La cordillera está constituida por numerosas montañas que alcanzan elevaciones de consideración.

Estas sierras constituyen los sitios donde ocurren las mayores precipitaciones; en consecuencia en ellas se generan los escurrimientos que fluyen hacia la planicie dando lugar a corrientes generalmente de régimen torrencial, con gastos de consideración aún en el estiaje, además de la formación de grandes avenidas de origen ciclónico.

Esta región al igual que la región 25 es de las que más se ven afectadas por los ciclones, entre los cuales se tienen: Hilda en 1955, Janet en 1955, Gladys en 1955, Debby en 1988, Jerry en 1989, Diana en 1990, Gert en 1993, Roxane en 1995, Dolly en 1996 y Keith en 2000.

2.1.5 Región Hidrológica No. 28, “Cuenca del río Papaloapan”

En esta región hidrológica se encuentra el río Papaloapan que le da nombre a la cuenca, además de los ríos Actopan, la Antigua y Jamapa. Estas últimas corrientes se originan en las faldas de Ciltlaltepeltl (pico de Orizaba) y por lo que hace al Papaloapan, en la Sierra Madre de Oaxaca y Nudo Mixteco. Los ríos Actopan, la Antigua y Jamapa abarcan una pequeña área del estado de Puebla y amplia extensión de Veracruz, en total 10,033 km²; mientras que la cuenca alta del río Papaloapan comprende parte de los estados de Puebla y Oaxaca, (figura 2.1) tiene su curso inferior en el estado de Veracruz y desemboca en el Golfo de México. Cubre una superficie de 46,687 km².

Esta es una de las regiones que están menos expuestas a los ciclones tropicales, algunos de estos fenómenos que la han afectado son: Item en 1950, Janet en 1955, Candy en 1968, Fifi en 1974, Hermine en 1990, Roxane en 1995, Dolly en 1996, Mitch en 1998, Bret en 1999 y Keith en 2000.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.6 Región Hidrológica No. 29, “Coatzacoalcos-Tonalá”

Esta región se encuentra rodeada de tres regiones muy importantes (ver figura 2.1), que son la de Grijalva al oriente (región 30), la del Tehuantepec al sur (región 22) y la del Papaloapan al occidente (región 28). Comprende las cuencas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y su extensión es de 29,802 km². Se encuentra ubicada en la zona del Istmo de Tehuantepec cubriendo los estados de Oaxaca, Veracruz y Tabasco. Existen dentro de la región otras corrientes de menor importancia que desembocan directamente en el Golfo de México.

De una manera muy tosca tiene la forma de un rombo que comprende desde los 16°37' a los 18°20' de latitud norte, y de los 93°26' a los 95°46' de longitud oeste.

Son muy pocos los ciclones que afectan directamente a esta región. Entre éstos se tienen: Abby en 1960, Laurie en 1969, Fifi en 1974, Hermine en 1980, Jerry en 1989, Gert en 1993, Roxane en 1995, Dolly en 1996, Mitch en 1998 y Bret en 1999.

2.1.7 Región Hidrológica No. 30, “Grijalva-Usumacinta”

Se trata de una de las más importantes de la República en razón de la superficie de las dos grandes cuencas que incluye y del enorme volumen que por esas corrientes escurre. El área total de esta región es de 128,098 km² de los cuales 44,885 km² quedan dentro del país vecino de Guatemala y 83,213 km² en nuestro territorio. Cubre parte de la superficie de los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco, Campeche y una muy pequeña parte de Veracruz (figura 2.1). Una de las características de este sistema de ríos es que en la planicie costera mantienen cursos sinuosos y multitud de brazos que se interconectan entre sí en forma déltica, dificultando con ello su estudio.

Algunos ciclones que han afectado a esta región son: Abby en 1960, Laurie en 1969, Brenda en 1973, Fifi en 1974, Greta en 1978, Debby en 1988, Gilbert en 1988, Jerry en 1989, Diana en 1990, Arlene en 1993, Gert en 1993, Opal en 1995, Roxanne en 1995, Dolly en 1996, Mitch en 1998, Bret en 1999 y Keith en 2000.

2.1.8 Región Hidrológica No. 31, “Yucatán Oeste”

Esta región se integra con las cuencas de algunas corrientes situadas al oriente de las cuencas de los ríos Usumacinta y Palizada y la porción de la parte sur occidental de la Península de Yucatán, en la cual no hay escurrimientos con colector definido que se puedan seguir hasta su desembocadura (ver figura 2.1). Tampoco es fácil precisar los parteaguas de las cuencas. Esta región queda en su mayor parte en el estado de Campeche, ya que de los 45,088 km² del total de su área solo hay 27 km² que pertenecen a Yucatán, 10,030 km² a Tabasco y 2,730 km² a territorio Guatemalteco; los 41,301 km² restantes se localizan dentro del estado de Campeche.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las principales corrientes que se localizan en esta región son los ríos Campán, Candelaria, Mamantel y Champotón, dentro de los que se pueden considerar como los más importantes son el Candelaria y el Champotón.

Esta región al igual que las regiones 32 y 33 se ve afectada con frecuencia por ciclones tropicales, entre los cuales se encuentran: Hilda en 1955, Janet en 1955, Edith en 1971, Brenda en 1973, Carmen en 1974, Henry en 1979, Hermine en 1980, Gilberto en 1988, Diana en 1990 y Gert en 1993.

2.1.9 Región Hidrológica No. 32, "Yucatán Norte"

Corresponde a la porción septentrional de la Península de Yucatán y comprende 40,144 km² en Yucatán, casi la totalidad de la superficie del estado, una pequeña parte del de Quintana Roo con 13,428 km² y una fracción de 3,550 km² del de Campeche.

Aún cuando la lámina anual de precipitación es apreciable, considerada en promedio, de 1000 mm, la región carece por completo de corrientes superficiales como se aprecia en la figura 2.2, con excepción del río Lagarto; en cambio existen depósitos como lagunas y principalmente cenotes, que son cavernas en cuyo interior se almacena agua y pueden ser permanentes o desaparecer en algunos periodos del año.

Charlie en 1951, Janet en 1955, Hilda en 1955, Alma en 1958, Elia en 1970, Gilberto en 1988, Diana en 1990 y Opal en 1995 son algunos de los ciclones que han afectado a esta región hidrológica.



Figura 2.2 Localización de las corrientes principales del país

2.1.10 Región Hidrológica No. 33, "Yucatán Este"

Es la última de la vertiente atlántica, dentro de la división convencional en que se distribuyó el territorio del país y corresponde a la zona más oriental. Comprende 28,450 km² del estado de Quintana Roo, 6,214 km² de Campeche, 4,974 km² de Yucatán, 3,010 km² de Belice, y 2,873 km² de Guatemala. El área total de esta región hidrológica es de 45,521 km².

En esta región prevalecen las mismas condiciones generales de la Península de Yucatán, con diferencias de importancia por lo que hace a la cobertura vegetal, lo que da lugar a la formación de numerosas zonas pantanosas hacia el oriente y sur de la misma. Carece casi por completo de corrientes superficiales a excepción del río Hondo, que sirve de límite con Belice, pero abundan las lagunas, entre las que sobresalen las lagunas de Ohm, Bacalar Paiyehua, del Ocho y la Chicnancanab.

Los siguientes ciclones son algunos de los que han afectado a esta región: Charlie en 1951, Hilda en 1955, Janet en 1955, Edith en 1971, Carmen en 1974, Hermine en 1980, Gilberto en 1988, Diana en 1990, Gert en 1993 y Opal en 1995.

De acuerdo con la descripción de las regiones hidrológicas se observa que las regiones 31, 32 y 33, a pesar de que son regiones que continuamente están expuestas a la incidencia directa de los ciclones, carecen de corrientes naturales por lo que en estas regiones no se encuentran instaladas estaciones hidrométricas, además de que se tienen problemas para trazar el parteaguas de las cuencas; debido a lo anterior estas regiones no se tomarán en cuenta para el estudio. Por otra parte la región hidrológica 24 Poniente no se ve afectada frecuentemente por ciclones, además de que tiene muy pocas estaciones hidrométricas sobre corrientes naturales; por lo que la zona de estudio estará formada únicamente por las regiones hidrológicas 24 Oriente, 25, 26, 27, 28, 29 y 30, como se muestra en la figura 2.3.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

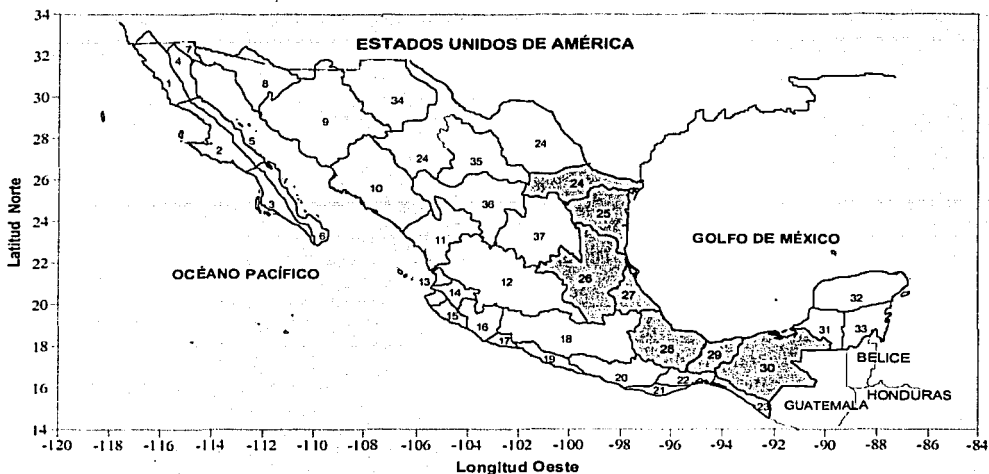


Figura 2.3 Regiones hidrológicas seleccionadas en el estudio

2.2 Selección de las estaciones hidrométricas

Una vez que se han definido las regiones hidrológicas, se procede a seleccionar las estaciones hidrométricas que se utilizarán en el estudio.

2.2.1 Características necesarias de las estaciones hidrométricas

La selección de las estaciones hidrométricas se lleva a cabo de acuerdo con el objetivo trazado en el estudio que es la obtención de modelos matemáticos que permitan conocer de una manera aproximada los gastos de diseño para ciertas zonas (regiones hidrológicas seleccionadas) en las que no se tienen estaciones hidrométricas y que se encuentran expuestas a la incidencia de ciclones. La selección de dichas estaciones será de acuerdo a las condiciones siguientes:

- a) Las estaciones con menos de 10 registros anuales no se toman en cuenta, ya que no se recomienda hacer un análisis de frecuencias con dicho número de registros (Viessman *et al*, 1989).
- b) Las estaciones deben encontrarse en cauces naturales donde no pase un gasto regulado como en canales, salidas de presas, entre otras.

De acuerdo con las condiciones mencionadas que deben reunir cada una de las estaciones hidrométricas y procurando que dichas estaciones cubran lo mejor posible la zona de estudio se seleccionaron para cada región hidrológica el siguiente número de estaciones: en la región 24 Oriente se seleccionaron 12 estaciones hidrométricas; 20 en la región 25; 30 en la región 26; 22 en la región 27; 37 en la región 28; ocho en la región 29 y 38 en la región 30. En total se tienen 167 estaciones hidrométricas para el estudio.

En la tabla 2.1 se listan las estaciones hidrométricas seleccionadas, así como la información general de cada una de ellas como son: el nombre que identifica a cada estación, el nombre de la corriente en que se encuentra ubicada, la cuenca a la que pertenece y las coordenadas de su ubicación.

En la figura 2.4 se muestra la localización de cada una de las estaciones hidrométricas dentro de cada región hidrológica del estudio de acuerdo con las coordenadas de la tabla 2.1, mientras que en el anexo A se muestran los valores de los gastos máximos anuales registrados para cada estación hidrométrica.

No	Clave	Nombre	Corriente	Cuenca	Estado	Longitud	Latitud
1	24087	Ciénega de Flores	Río Salinas	Río Pesquería	N.L	-100.174	25.954
2	24088	El Cuchillo	Río San Juan	Río Bravo	N.L	-99.258	25.719
3	24192	Montemorelos	Río Pilón	Río San Juan	N.L	-99.833	25.179
4	24196	Los Herreras II	Río Pesquería	Río San Juan	N.L	-99.408	25.897
5	24291	Icamole	Río Salinas	Río Pesquería	N.L	-100.733	25.917
6	24301	Tepehuaje	Río San Juan	Río Bravo	N.L	-99.767	25.496
7	24326	La Arena	Río Pesquería	Río San Juan	N.L	-99.967	25.767
8	24327	Cadereyta II	Río Santa Catarina	Río San Juan	N.L	-99.975	25.590
9	24351	Los Aldamas	Río San Juan	Río Bravo	N.L	-99.196	26.024
10	24384	Monterrey II	Río Santa Catarina	Río San Juan	N.L	-100.352	25.672
11	24387	Los Lermas	Río De La Silla	Río Santa Catarina	N.L	-100.188	25.680
12	24399	Canada	Río Pesquería	Río San Juan	N.L	-100.272	25.802
13	25009	San Fernando	Río San Fernando	Río San Fernando	Tamps.	-98.158	24.844
14	25010	Pablillo	Río Pablillo	Río Potosí	N.L	-99.556	24.857
15	25027	Camacho	Río Camacho	Río Pablillo	N.L	-99.575	24.878
16	25030	Cabezones	Río Potosí	Río Conchos	N.L	-99.742	24.990
17	25034	Puerto de Valles	Río Blanco	Río Purificación	Tamps	-99.596	24.156
18	25037	La Esperanza	Río San Rafael	Río San Rafael	Tamps	-97.937	23.162
19	25038	Corona	Río Corona	Río Purificación	Tamps	-98.952	23.942
20	25039	Paso del Aura	Río Palmas	Río Soto la Marina	Tamps	-98.079	23.642
21	25040	Magueyes	Río Pilón	Río Purificación	Tamps	-99.558	24.569
22	25042	Cerro Prieto	Río Pablillo	Río Potosí	N.L	-99.383	24.943

Nota: Los dos primeros números de la clave corresponden a la región hidrológica a la que pertenece, mientras que los otros tres corresponden al número de la estación en dicha región.

Tabla 2.1 Estaciones hidrométricas seleccionadas para el estudio

TFCIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Clave	Nombre	Corriente	Cuenca	Estado	Longitud	Latitud
23	25043	El Tomaseno	Río San Antonio	Río Purificación	Tamps	-99.436	24.251
24	25044	Purísima de Conchos	Río Conchos	Río San Fernando	N.L	-99.257	24.950
25	25061	Colmenas	Río Pablillo	Río Potosí	N.L	-99.725	24.626
26	25062	Padilla II	Río Purificación	Río Soto La Marina	Tamps	-98.892	24.036
27	25085	Pilón III	Río Pilón	Río Purificación	Tamps	-98.902	24.138
28	25087	Paso de Molina	Arroyo Grande	Río Corona	Tamps	-98.739	23.750
29	25091	El Barretal II	Río Purificación	Río Soto La Marina	Tamps	-99.134	24.078
30	25092	Barberena	Río Barberena	Río Barberena	Tamps	-98.121	22.625
31	25093	La Pamona	Arroyo La Pamona	Río Potosí	N.L	-99.210	24.992
32	25102	Buenavista	Río Potosí	Río Conchos	N.L	-99.070	25.110
33	26030	El Salto	Río El Salto	Río Tula	Hgo	-99.381	22.583
34	26042	Venados	Río Metztlán	Río Almolón	Hgo	-98.679	20.467
35	26149	San Gabriel II	Río Guayalejo	Río Tamesí	Tamps	-98.783	23.067
36	26218	La Encantada	Río Guayalejo	Río Panuco	Tamps	-99.083	23.383
37	26241	Ballesmi	Río Coy	Río Tampacon	S.L.P	-98.950	21.735
38	26243	Requetemu	Río Axtla	Río Axtla	S.L.P	-98.883	21.418
39	26248	Tempoal	Río Tempoal	Río Tempoal	Ver	-98.383	21.533
40	26249	Magiscatzin II	Río Guayalejo	Río Panuco	Tamps	-98.718	22.801
41	26263	Santa Rosa	Río Valles	Río Tampacon	S.L.P	-99.050	22.017
42	26267	Gallinas	Río Gallinas	Río Tampacon	S.L.P	-99.250	21.935
43	26268	Tansabaca	Río Tampacon	Río Tampacon	S.L.P	-99.200	21.650
44	26272	El Pujal	Río Tampacon	Río Tampacon	S.L.P	-98.918	21.835
45	26277	Los Hules	Río Los Hules	Río Tempoal	Ver	-98.267	21.167
46	26278	El Choy	Río Choy	Río Tampacon	S.L.P	-98.867	21.967
47	26280	La Servilleta	Río Comandante	Río Guayalejo	Tamps	-99.118	22.850
48	26285	Micos	Río El Salto	Río Tampacon	S.L.P	-99.167	22.117
49	26286	El Cardón	Río San Pedro	Río Tempoal	Ver	-98.468	21.385
50	26289	Terrerillos	Río Calabozo	Río Tempoal	Ver	-98.133	21.033
51	26291	Tancuillin	Río Tancuillin	Río Axtla	S.L.P	-98.868	21.385
52	26292	Tanlacut	Río Verde	Río Tampacon	S.L.P	-99.285	21.668
53	26296	Río Frio	Río Frio	Río Guayalejo	Tamps	-99.018	22.835
54	26337	Nogal Oscuro	Río Verde	Río Tampacon	S.L.P	-100.183	22.018
55	26388	Sabinas	Río Sabinas	Río Guayalejo	Tamps	-99.085	23.035
56	26389	Vigas	Río Verde	Río Tampacon	S.L.P	-99.850	21.785
57	26416	Tamesí	Río Tamesí	Río Panuco	Tamps	-98.428	22.427
58	26422	Clavo de Oro	Río Tantuan	Río Guayalejo	Tamps	-98.873	22.365
59	26423	El Refugio	Río Santa Clara	Río Guayalejo	Tamps	-98.905	22.497
60	26429	Guadalupa	Arroyo El Cojo	Río Guayalejo	Tamps.	-98.416	22.818
61	26430	Agua Buena	Río Agua Buena	Río Tampacon	S.L.P	-99.380	21.953
62	26431	Tamasopo	Río Tamasopo	Río Tampacon	S.L.P	-99.380	21.928

Nota: Los dos primeros números de la clave corresponden a la región hidrológica a la que pertenece, mientras que los otros tres corresponden al número de la estación en dicha región.

Tabla 2.1 (continuación)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Clave	Nombre de la estación	Corriente	Cuenca	Estado	Longitud	Latitud
63	27001	Martínez de la Torre	Río Bobos	Río Nautla	Ver	-97.038	20.062
64	27002	Poza Rica	Río Cazones	Río Cazones	Ver	-97.468	20.547
65	27004	Álamo	Río Panteppec	Río Tuxpan	Ver	-97.673	20.932
66	27005	Libertad	Río Quilate	Río Bobos	Ver	-96.980	20.052
67	27006	El Raudal	Río Misantla	Río Misantla	Ver	-96.720	20.158
68	27007	Vega de la Torre	Río Colipa	Río Colipa	Ver	-96.628	20.020
69	27015	Cazones	Río Cazones	Río Cazones	Ver.	-97.359	20.691
70	27020	Puente Enriquez	Río Tonalá	Río Nautla	Ver	-97.210	19.932
71	27021	Rancho Apulco	Río Apulco	Río Tecolutla	Pue	-97.613	19.917
72	27024	Trinidad Y Minas	Río Trinidad	Río Nautla	Ver	-97.145	19.685
73	27030	Puente Xiucayucan	Río Xiucayucan	Río Tecolutla	Pue	-97.478	19.895
74	27037	Tepecapan	Río Huitzilac	Río Tecolutla	Pue	-97.650	19.984
75	27038	Malpico	Río Malpico	Río Tecuantepec	Pue	-97.650	19.990
76	27042	El Remolino	Río Tecolutla	Río Tecolutla	Pue	-97.253	20.393
77	27047	Paso Tenampulco	Río Apulco	Río Tecolutla	Pue	-97.473	20.156
78	27049	Tecuantepec	Río Zempoala	Río Tecolutla	Pue	-97.501	20.151
79	27050	Santa Ana	Río Atoyac	Río Cotaxtla	Ver	-97.562	20.241
80	27052	Buenos Aires	Río Apulco	Río Tecolutla	Pue	-97.540	19.960
81	27068	Las Minas	Río Apulco	Río Tecolutla	Pue	-97.395	19.985
82	27069	Las Minas Xiucayucan	Río Xiucayucan	Río Apulco	Pue	-97.392	19.970
83	27075	San Joaquín	Río Bobos	Río Nautla	Ver	-97.140	19.830
84	27076	Zoquimota	Río Bobos	Río Nautla	Ver	-97.167	19.917
85	28001	San Juan Evangelista	Río San Juan	Río Papaloapan	Ver	-95.150	17.900
86	28003	Cardel	Río La Antigua	Río La Antigua	Ver	-96.373	19.362
87	28013	Azueta	Río Tesechoacan	Río Papaloapan	Ver	-95.720	18.080
88	28015	Cuatotolapan	Río San Juan	Río Papaloapan	Ver	-95.300	18.150
89	28016	El Cantón	Río Santo Domingo	Río Papaloapan	Oax	-96.333	18.050
90	28017	Monte Rosa	Río Cajones	Río Playa Vicente	Oax	-95.933	17.767
91	28018	Bellaco	Río la Lana	Río Papaloapan	Ver	-95.167	17.817
92	28019	Quiotepec	Río Grande	Río Quiotepec	Oax	-96.967	17.917
93	28020	Achotal	Río La Trinidad	Río San Juan	Ver	-95.150	17.750
94	28023	Cuichapa	Río Blanco	Río De Las Pozas	Ver	-96.867	18.750
95	28025	Lauchapan	Río Chicalopa	Río Papaloapan	Ver	-95.367	18.217
96	28026	Las Prietas	Río Amapa	Río Tonto	Ver	-96.400	18.500
97	28030	Actopan II	Río Actopan	Río Actopan	Ver	-96.578	19.494
98	28039	Paso del Toro	Río Cotaxtla	Río Jamapa	Ver	-96.140	19.042
99	28040	El Tejar	Río Jamapa	Río Jamapa	Ver	-96.160	19.068
100	28056	Jacatepec	Río Valle Nacional	Río Papaloapan	Oax	-96.200	17.833
101	28062	La Estrella	Río Usila	Río Santo Domingo	Oax	-96.500	17.867
102	28064	Santo Domingo	Río Santo Domingo	Río Papaloapan	Oax	-96.550	18.033
103	28066	La Junta	Río Santo Domingo	Río Papaloapan	Oax	-96.933	17.925
104	28069	Capulines	Río Cotaxtla	Río Jamapa	Ver	-96.305	18.865
105	28072	Xiquila	Río Xiquila	Río Papaloapan	Oax	-97.125	18.033

Nota: Los dos primeros números de la clave corresponden a la región hidrológica a la que pertenece, mientras que los otros tres corresponden al número de la estación en dicha región.

Tabla 2.1 (continuación)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Clave	Nombre de la estación	Corriente	Cuenca	Estado	Longitud	Latitud
106	28074	La Angostura	Río Salado	Río Quiotepec	Oax	-97.042	18.000
107	28075	Zapote	Río Manso	Río Playa Vicente	Oax	-95.929	17.667
108	28099	Puxmetacan	Río Puxmetacan	Río Papaloapan	Oax	-95.667	17.317
109	28102	Axuseo	Río Zapotitlan	Río Salado	Oax	-97.167	18.483
110	28103	Amapa	Río Amapa	Río Tonto	Ver	-96.267	18.283
111	28108	El Naranjillo	Río Actopan	Río Actopan	Ver	-96.382	19.422
112	28111	Ídolos	Río Ídolos	Río Actopan	Ver	-96.553	19.403
113	28119	Santa Anita	Río Atoyac	Río Cotaxtla	Ver	-96.822	18.915
114	28122	Camelpo	Río Blanco	Río De Las Pozas	Ver	-96.433	18.700
115	28125	Carrizal	Río La Antigua	Río La Antigua	Ver	-96.627	19.320
116	28133	Amatitla II	Río Pescados	Río La Antigua	Ver	-96.922	19.320
117	28134	Jalcomulco	Río Antigua	Río La Antigua	Ver	-96.755	19.332
118	28136	Garro	Río Tesechoacan	Río Papaloapan	Ver	-95.583	18.250
119	28143	San José Chilapa	Río Playa Vicente	Río Tesechoacan	Ver	-95.875	17.783
120	28154	La Lana	Río la Lana	Río San Juan	Ver	-95.533	17.542
121	28158	María Lombardo	Río La Trinidad	Río Papaloapan	Oax	-95.417	17.458
122	29005	Las Perlas	Río Coatzacoalcos	Río Coatzacoalcos	Ver	-94.867	17.438
123	29006	Jesús Carranza II	Río Jaltepec	Río Coatzacoalcos	Ver	-95.054	17.392
124	29007	Paso Arnulfo	Río Del Corte	Río Coatzacoalcos	Oax	-94.700	16.900
125	29008	Tierra Morada	Río Uspanapa	Río Coatzacoalcos	Ver	-94.717	18.117
126	29009	Minzapan	Río Huazuntlan	Río Coatzacoalcos	Ver	-94.000	17.833
127	29010	San José del Carmen	Río Tancochapa	Río Tonalá	Ver	-95.033	17.167
128	29012	La Istmeña	Río Tolisita	Río Coatzacoalcos	Oax	-95.417	17.183
129	29014	Tutla	Río Ixcuintepeec	Río Jaltepec	Oax	-94.210	17.580
130	30016	Pueblo Nuevo	Río De La Sierra	Río Viejo Mezcalapa	Tab	-92.879	17.854
131	30019	Boca del Cerro	Río Usumacinta	Río Usumacinta	Tab	-91.483	17.433
132	30020	El Boquerón II	Río Suchiapa	Río Santo Domingo	Chis	-93.150	16.504
133	30031	Puyacatengo	Río Puyacatengo	Río De La Sierra	Tab	-92.938	17.567
134	30032	Teapa	Río Teapa	Río Grijalva	Tab	-92.967	17.567
135	30040	Argelia	Río San Miguel	Río Grijalva	Chis	-92.200	15.950
136	30041	La Escalera	Río Santo Domingo	Río Grijalva	Chis	-92.950	16.533
137	30042	Salto de Agua	Río Tulija	Río Tepetitán	Chis	-92.350	17.567
138	30053	Santa Isabel	Río El Dorado	Río Grijalva	Chis	-92.883	16.267
139	30055	Macuspana	Río Macusapa	Río Grijalva	Tab	-92.600	17.767
140	30056	La Concordia	Río La Concordia	Río Grijalva	Chis	-92.633	16.083
141	30057	Pichucalco	Río Pichucalco	Río Grijalva	Chis	-93.108	17.558
142	30066	Tzimbae	Río Tzimbaenho	Río Grijalva	Chis	-93.538	17.283
143	30070	Sayula	Río Sayula	Río Mezcalapa	Chis	-93.383	17.425
144	30071	Santa María	Río Encajonado	Río Mezcalapa	Chis	-93.767	16.950
145	30072	Las Flores II	Río Zoyatenco	Río De La Venta	Chis	-93.550	16.700
146	30088	San Pedro Tabasco	Río San Pedro	Río Grijalva	Tab	-91.158	17.792

Nota: Los dos primeros números de la clave corresponden a la región hidrológica a la que pertenece, mientras que los otros tres corresponden al número de la estación en dicha región.

Tabla 2.1 (continuación)

No	Clave	Nombre de la estación	Corriente	Cuenca	Estado	Longitud	Latitud
147	30091	San Francisco II	Río Custepeques	Río Concordia	Chis	-92.792	16.083
148	30093	Tapijulapa	Río Tapijulapa	Río Grijalva	Tab	-92.817	17.467
149	30094	Platanar	Río Platanar	Río Grijalva	Chis	-93.388	17.578
150	30096	Paredón	Río Camoapa	Río Grijalva	Chis	-93.367	17.817
151	30102	Aquespala	Río Rincón Tigre	Río San Gregorio	Chis	-91.917	15.783
152	30111	Oxolotan	Río Oxolotan	Río Grijalva	Tab	-92.750	17.383
153	30123	Agua Verde II	Río Lacantun	Río Usumacinta	Chis	-90.733	16.458
154	30133	Comalapa	Río Cuilco	Río Grijalva	Chis	-92.150	15.633
155	30137	Altamirano	Río Zanconeja	Río Jacate	Chis	-92.021	16.717
156	30140	Las Tasas	Río Jacate	Río Lacantun	Chis	-91.600	16.767
157	30141	Living Stone	Río Tzanconeja	Río Jacate	Chis	-91.683	16.579
158	30143	Santa Elena	Río Santo Domingo	Río Usumacinta	Chis	-91.500	16.150
159	30145	Dolores	Río Dolores	Río Santo Domingo	Chis	-91.383	16.133
160	30149	Euseba	Río Santo Domingo	Río Lacantun	Chis	-91.374	16.267
161	30150	La Catarata	Río Santo Domingo	Río Usumacinta	Chis	-91.308	16.227
162	30151	San Quintín	Río Jacate	Río Lacantun	Chis	-91.358	16.413
163	30152	Las Perlas	Río Jacate	Río Jacate	Chis	-91.325	16.433
164	30155	Río Blanco	Río Blanco	Río Grijalva	Chis	-92.408	16.200
165	30177	El Colorado	Río Lacantun	Río Usumacinta	Chis	-91.142	16.133
166	30181	Candelaria	Río Candelaria	Río Candelaria	Chis	-91.067	18.183
167	30182	Yamonho III	Río Yamonho	Río Grijalva	Chis	-93.333	17.117

Nota: Los dos primeros números de la clave corresponden a la región hidrológica a la que pertenece, mientras que los otros tres corresponden al número de la estación en dicha región.

Tabla 2.1 (continuación)

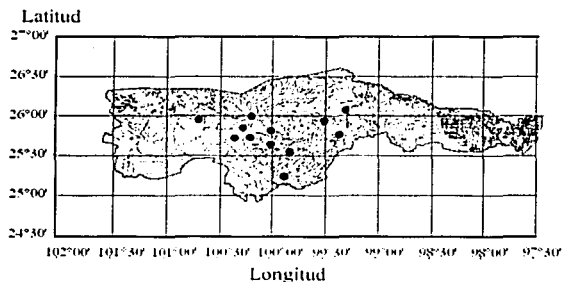


Figura 2.4a. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 24

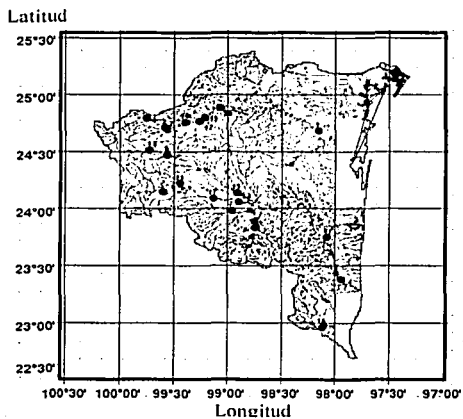


Figura 2.4b. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 25

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

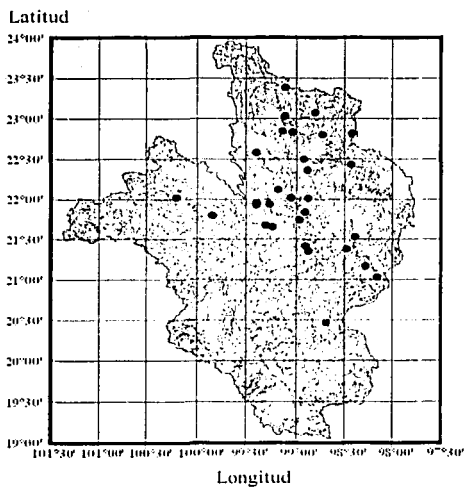


Figura 2.4c. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 26

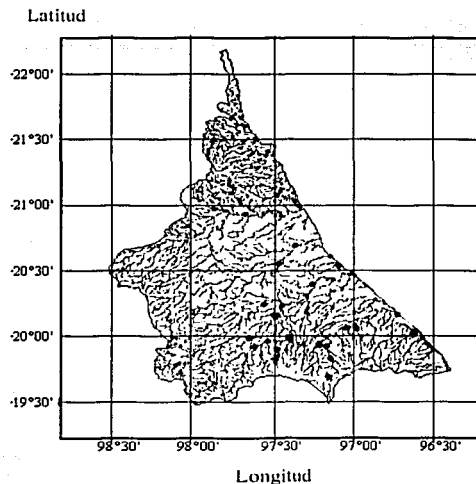


Figura 2.4d. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 27

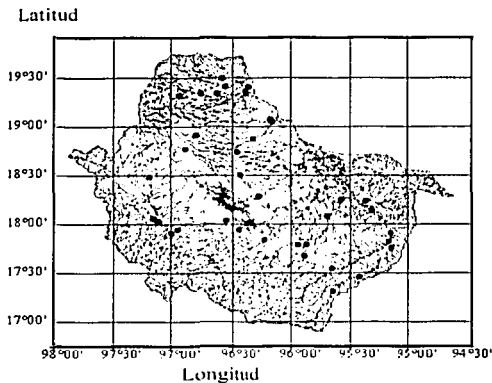


Figura 2.4e. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 28

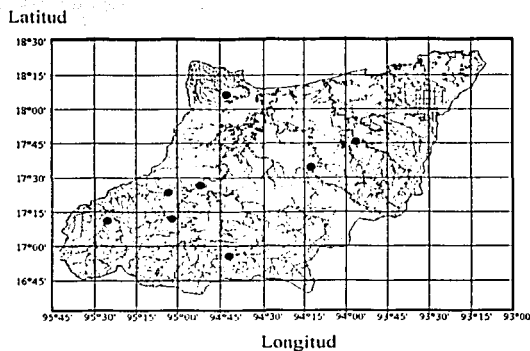


Figura 2.4f. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 29

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

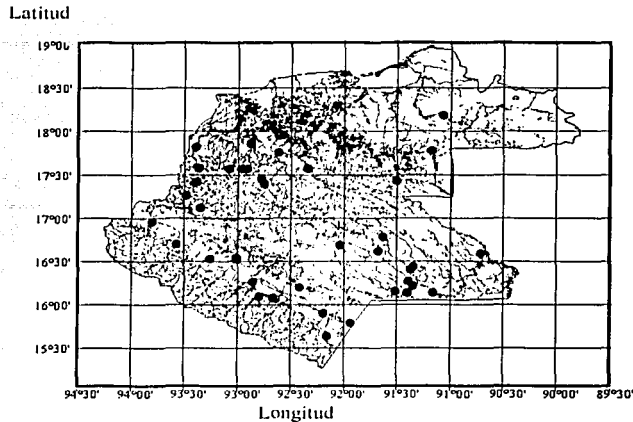


Figura 2.4g. Localización de las estaciones hidrométricas de la región 30

2.3 Características fisiográficas y climatológicas de las cuencas correspondientes a las estaciones hidrométricas

La determinación de los modelos matemáticos para la obtención de gastos máximos en zonas que carecen de estaciones hidrométricas se realizará en función de algunas características de las cuencas. Por ello es necesario definir y obtener cada una de las características de las cuencas correspondientes a las estaciones hidrométricas que intervendrán en el estudio.

El criterio para seleccionar las características fisiográficas y climatológicas de las cuencas que intervendrán en la determinación de los modelos regionales, se realizó con referencia a los distintos trabajos realizados en nuestro país. Por ejemplo, la regionalización realizada por la CPNH en 1975 (SARH, 1975) y la realizada por el IMTA (1997) utilizaron como características el área de la cuenca, la longitud y pendiente del cauce principal, la precipitación media anual y la precipitación máxima en 24 horas correspondiente a un periodo de retorno de 10 años.

Por otra parte, en otros trabajos Nathan R.J y McMahon (1990) obtuvieron las características más importantes en la generación de los escurrimientos, encontrándose entre otras el área de la cuenca, la pendiente del cauce principal y la precipitación media anual.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se utilizarán las mismas características que en los trabajos realizados por el IMTA y por la CNPH, ya que los resultados ahí obtenidos han resultado confiables en general.

Antes de proceder con la determinación de dichas características se definen los siguientes conceptos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuenca. Es una zona de la superficie terrestre en donde, si fuera impermeable, la precipitación que cae sobre ella tiende a ser drenada por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Cada cuenca limita con otra o con otras por medio de su parteaguas.

Parteaguas. Es la línea imaginaria del contorno de la cuenca formada por los puntos de mayor nivel topográfico, el cual delimita a una cuenca de otra y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en el sistema de corrientes que fluye hacia la salida de la cuenca.

Corriente o cauce principal. Es la corriente que pasa por la salida de la cuenca. Las demás corrientes de la cuenca se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación y toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal.

Precipitación. La precipitación es la parte del agua procedente de la atmósfera que en forma sólida o líquida como la lluvia, la nieve, granizo y otras formas similares de caída de agua se deposita sobre la superficie terrestre.

A continuación se explica la forma en que se obtuvieron cada una de las características utilizadas en el estudio

2.3.1 Área de la cuenca

Esta característica condiciona el volumen de escurrimiento en la cuenca. La obtención de esta característica para la cuenca de aportación a cada una de las estaciones hidrométricas se realizó con información de las cartas hidrográficas editadas por la SARH en 1987 y por el banco de información CD-HIDRO y BANDAS (IMTA, CNA, 1990 y 2000). El área de las cuencas correspondientes a las estaciones que no se encontraron en dichas fuentes se determinaron con ayuda del software ARCVIEW y con la información vectorizada (topográfica, ríos, cuerpos de agua) en escala 1:250,000, la cual es editada por el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI).

2.3.2 Longitud del cauce principal

La longitud (L) del cauce o colector principal es una magnitud característica útil y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que en un río corto los efectos de la precipitación en la cuenca se hacen sentir más rápidamente que en un río largo para una misma pendiente.

La obtención de esta característica se obtuvo con información vectorizada de topografía y de ríos en escala 1:250,000 y con el software de ARCVIEW.

2.3.3 Pendiente del cauce principal

Es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta. Como la pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media, para ello, entre los métodos para su determinación se encuentra el propuesto por A.B Taylor y H.E Schwarz, el cual se basa en calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión. Dicha pendiente se calcula como (Aparicio, 1997).

$$S = \left[\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad (2.1)$$

para m tramos de igual longitud, y

$$S = \left[\frac{m}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad (2.2)$$

para m tramos de diferente longitud, donde l_i y S_i es la longitud y pendiente del tramo i respectivamente.

2.3.4 Precipitación media anual y precipitación máxima en 24 horas

Desde un punto de vista hidrológico, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayoría de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Para calcular la precipitación media anual y la máxima en 24 horas dentro de una cuenca se utilizó el método de los polígonos de Thiessen.

Para la determinación de estas características y datos climatológicos se utilizó un total de 1,061 estaciones pluviométricas, las cuales fueron obtenidas de una depuración, que consistió en desechar para cada estación los años que contaran con menos del 90% de información en el segundo semestre del año (jul-dic) que es en donde se presentan las precipitaciones mas fuertes. Una vez realizada esta depuración las estaciones con menos de 10 años de información fueron descartadas para la determinación de la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años. Esto debido a que se podrían tomar estaciones con muy pocos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

registros, uno o dos años por ejemplo, lo cual no sería del todo representativo de la zona de estudio.

El número de estaciones pluviométricas utilizadas en cada una de las regiones hidrológicas para la determinación de los polígonos de Thiessen fueron 98 para la región 24, 117 se utilizaron en la región 25, mientras que en la región 26 fue en donde se utilizaron mas estaciones pluviométricas que son 474, en la región 27 intervinieron 73 estaciones, mientras que en la región 28 se utilizaron 177 estaciones, en la región 29 sólo se utilizaron 54 estaciones, y por último, en la región 30 se utilizaron 210 estaciones.

El resumen de características tanto fisiográficas como climatológicas para las cuencas correspondientes a las estaciones hidrométricas utilizadas en el estudio se muestra en la tabla 2.2.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No.	Clave	Estación	Área km ²	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal	HPA (mm)	HPM (mm)
1	24087	Ciénega De Flores	14653.0	254.000	0.0018	376	102
2	24088	El Cuchillo	8794.0	275.750	0.0030	671	140
3	24192	Montemorelos	1691.0	112.500	0.0138	545	102
4	24196	Los Herreras II	20023.0	366.250	0.0037	439	115
5	24291	Icamole	11438.0	182.750	0.0061	386	101
6	24301	Tepehuaje	3594.0	183.250	0.0060	716	173
7	24326	La Arena	16505.0	279.000	0.0086	403	108
8	24327	Cadereyta II	1871.0	152.000	0.0081	528	113
9	24351	Los Aldamas	30100.0	410.000	0.0031	526	124
10	24384	Monterrey II	1355.6	97.500	0.0140	487	101
11	24387	Los Lermas	159.0	21.250	0.0254	570	128
12	24399	Canadá	1248.0	29.470	0.0103	309	92
13	25009	San Fernando	14797.0	330.000	0.0013	667	147
14	25010	Pabillo	994.0	76.250	0.0121	727	123
15	25027	Camacho	428.0	46.000	0.0120	756	140
16	25030	Cabezones	1166.0	72.000	0.0182	620	113
17	25034	Puerto De Valles	1815.0	76.500	0.0222	533	146
18	25037	La Esperanza	1110.0	86.500	0.0045	1036	201
19	25038	Corona	1329.0	55.500	0.0044	840	156
20	25039	Paso Del Aura	1569.0	50.000	0.0045	883	171
21	25040	Magueyes	242.0	17.250	0.0098	1008	139
22	25042	Cerro Prieto	1708.0	108.870	0.0080	708	126
23	25043	El Tomaseno	425.0	50.500	0.0043	846	139
24	25044	Purísima De Conchos	1510.0	67.003	0.0034	707	126
25	25061	Colmenas	668.0	36.250	0.0235	700	119
26	25062	Padilla II	3843.0	177.000	0.0056	733	158
27	25085	Pilón III	2524.0	115.744	0.0023	697	136
28	25087	Paso De Molina	2278.0	92.141	0.0007	718	148
29	25091	El Barretal II	3250.0	144.159	0.0135	734	161
30	25092	Barberena	1790.0	122.985	0.0011	875	176
31	25093	La Pamona	284.0	62.802	0.0031	688	119
32	25102	Buenavista	5934.3	98.335	0.0028	668	122
33	26030	El Salto	900.0	47.780	0.0125	1135	164
34	26042	Venados	1951.0	115.000	0.0084	600	74
35	26149	San Gabriel II	4937.0	232.003	0.0040	641	132
36	26218	La Encantada	3725.0	163.496	0.0083	615	122
37	26241	Ballesmi	194.0	30.848	0.0003	1883	268
38	26243	Requetemu	661.0	52.845	0.0038	2307	270
39	26248	Tempoal	5275.0	220.000	0.0006	1529	189
40	26249	Magiscatzin II	10968.0	272.152	0.0033	893	155
41	26267	Gallinas	789.0	65.540	0.0076	1044	156
42	26268	Tansabaca	17532.0	311.000	0.0055	606	105

HPA= Precipitación media anual HPM= Precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años

Tabla 2.2 Características fisiográficas y climatológicas de las cuencas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Clave	Estación	Área km ²	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal	HPA (mm)	HPM (mm)
43	26272	El Pujal	23373.0	380.064	0.0045	790	130
44	26277	Los Hules	1269.0	87.880	0.0067	1692	211
45	26278	El Choy	12.0	5.783	0.0017	1130	194
46	26280	La Servilleta	2532.0	94.006	0.0080	1215	178
47	26285	Micos	1978.0	133.361	0.0006	1300	177
48	26286	El Cardon	609.0	72.000	0.0032	1728	221
49	26289	Terrerillos	1493.0	93.250	0.0063	1384	146
50	26291	Tancuilin	321.0	41.435	0.0178	1841	225
51	26292	Tanlacut	6039.0	203.000	0.0029	633	117
52	26296	Río Frio	2785.0	106.875	0.0039	1221	180
53	26337	Nogal Oscuro	2244.0	83.779	0.0036	659	125
54	26388	Sabinas	497.0	56.215	0.0074	782	121
55	26389	Vigas	3571.0	138.759	0.0011	604	113
56	26416	Tamesi	14923.0	360.244	0.0005	846	160
57	26422	Clavo De Oro	11.7	7.424	0.0024	1210	200
58	26423	El Refugio	35.4	7.808	0.0024	1068	161
59	26429	Guadalupe	274.1	71.904	0.0083	919	172
60	26430	Agua Buena	262.5	31.671	0.0168	714	124
61	26431	Tamasopo	20.3	2.733	0.0037	1788	179
62	26263	Santa Rosa	3521.0	159.076	0.0006	1278	188
63	27001	Martinez de la Torre	1467.0	78.000	0.0135	1427	150
64	27002	Poza Rica	1600.0	134.750	0.0046	1867	173
65	27004	Álamo	4341.0	127.500	0.0049	1637	164
66	27005	Libertad	173.0	29.500	0.0112	1083	146
67	27006	El Raudal	456.0	63.000	0.0125	1308	167
68	27007	Vega de la Torre	219.0	36.250	0.0155	1412	172
69	27015	Cazones	2663.0	152.500	0.0034	1788	176
70	27020	Puente Enriquez	437.6	29.250	0.0531	1284	133
71	27021	Rancho Apulco	1164.3	87.000	0.0142	779	90
72	27024	Trinidad Y Minas	174.4	30.000	0.0764	598	66
73	27030	Puente Xiucayucan	190.1	30.000	0.0319	2094	179
74	27037	Tepecapan	98.8	11.000	0.0409	1877	173
75	27038	Malpico	628.7	60.491	0.0288	1327	125
76	27042	El Remolino	7114.0	177.000	0.0042	1648	160
77	27047	Paso Tenampulco	1068.0	85.000	0.0152	1953	167
78	27049	Tecuanatepec	2048.0	132.000	0.0095	1425	140
79	27050	Santa ANA	1670.0	136.800	0.0093	1591	142
80	27052	Buenos Aires	1344.0	97.070	0.0165	876	103
81	27068	Las Minas	1871.0	126.543	0.0191	1296	134
82	27069	Las Minas Xiucayucan	397.9	44.384	0.0448	2309	202
83	27075	San Joaquín	337.4	37.750	0.0472	1434	142
84	27076	Zoquimota	579.2	45.000	0.0373	1528	152

HPA= Precipitación media anual

HPM= Precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años

Tabla 2.2 (Continuación)

No	Clave	Estación	Área km ²	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal	HPA (mm)	HPM (mm)
85	28001	San Juan Evangelista	5761.0	257.300	0.0006	2319	177
86	28003	Cardel	2234.0	109.750	0.0088	1192	124
87	28013	Azueta	4655.7	274.092	0.0005	2018	169
88	28015	Cuatotolapan	7117.0	309.668	0.0004	2179	175
89	28016	El Cantón	14037.7	291.104	0.0009	913	97
90	28017	Monte Rosa	2821.7	188.525	0.0016	1875	156
91	28018	Bellaco	2916.6	214.187	0.0006	2361	176
92	28019	Quiotepec	4920.7	152.791	0.0051	703	79
93	28020	Achotal	2499.2	236.183	0.0006	2406	184
94	28023	Cuichapa	1926.5	67.175	0.0168	673	64
95	28025	Lauchapan	1571.7	77.779	0.0018	2068	253
96	28026	Las Prietas	269.6	54.766	0.0016	1632	218
97	28030	Actopan II	844.0	73.959	0.0220	1010	132
98	28039	Paso Del Toro	1673.0	129.151	0.0025	944	108
99	28040	El Tejar	1924.0	156.500	0.0038	1102	122
100	28056	Jacatepec	1143.0	75.874	0.0058	3502	260
101	28062	La Estrella	777.7	51.693	0.0033	2497	228
102	28064	Santo Domingo	12197.0	216.247	0.0052	720	83
103	28066	La Junta	11292.3	160.325	0.0055	603	76
104	28069	Capulines	1412.0	86.500	0.0036	908	100
105	28072	Xiquila	1003.0	68.745	0.0155	581	72
106	28074	La Angostura	5923.5	132.272	0.0052	522	73
107	28075	Zapote	745.1	56.840	0.0028	2564	188
108	28099	Puxmetacan	895.4	93.733	0.0043	2567	181
109	28102	Axusco	28.6	4.794	0.0738	1150	115
110	28103	Amapa	532.0	98.169	0.0005	1893	203
111	28108	El Naranjillo	1933.0	103.750	0.0141	976	141
112	28111	Ídolos	455.0	67.817	0.0015	1034	148
113	28119	Santa Anita	78.0	12.500	0.0046	583	65
114	28122	Camelco	2175.7	117.970	0.0111	695	69
115	28125	Carrizal	1644.0	63.750	0.0223	1220	121
116	28133	Amatitla II	663.0	48.289	0.0342	1323	117
117	28134	Jalcomulco	1500.0	53.576	0.0265	1224	119
118	28136	Garro	5571.0	316.865	0.0004	1974	168
119	28143	San José Chilapa	4010.1	212.023	0.0013	284	170
120	28154	La Lana	1183.9	99.064	0.0034	2637	170
121	28158	Maria Lombardo	1740.5	143.072	0.0023	2658	188
122	29005	Las Perlas	9224.0	196.750	0.0011	1960	209
123	29006	Jesús Carranza II	3196.0	140.000	0.0007	2989	201
124	29007	Paso Arnulfo	1480.0	83.000	0.0094	1366	204
125	29008	Tierra Morada	3133.7	142.554	0.0001	2643	205

HPA= Precipitación media anual

HPM= Precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años

Tabla 2.2 (Continuación)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No.	Clave	Estación	Área km ²	Longitud del cauce principal (km)	Pendiente del cauce principal	HPA (mm)	HPM (mm)
126	29009	Minzapan	345.1	47.527	0.0019	1856	231
127	29010	San José del Carmen	1190.1	139.896	0.0001	2067	179
128	29012	La Istmeña	441.6	58.652	0.0031	2878	296
129	29014	Tutla	1050.5	72.855	0.0061	1819	190
130	30016	Pueblo Nuevo	4779.0	164.000	0.0012	1786	174
131	30019	Boca del Cerro	47697.0	646.500	0.0002	2175	208
132	30020	El Boquerón II	1870.0	92.750	0.0048	1134	98
133	30031	Puyacatengo	169.0	29.750	0.0100	3614	310
134	30032	Teapa	476.0	50.838	0.0039	1506	209
135	30040	Argelia	5189.0	93.941	0.0011	1007	95
136	30041	La Escalera	1808.0	82.250	0.0058	970	93
137	30042	Salto de Agua	2876.0	147.000	0.0019	1097	133
138	30053	Santa Isabel	1873.0	114.790	0.0002	1372	93
139	30055	Macuspana	1739.0	145.119	0.0002	1644	183
140	30056	La Concordia	1268.0	80.402	0.0007	1823	96
141	30057	Pichucalco	411.0	49.295	0.0018	1353	236
142	30066	Tzimbac	200.0	51.521	0.0072	1301	173
143	30070	Sayula	410.0	47.136	0.0155	1357	198
144	30071	Santa María	1958.0	81.500	0.0111	1229	117
145	30072	Las Flores II	2551.0	92.500	0.0038	1250	110
146	30088	San Pedro Tabasco	10138.0	181.250	0.0004	1625	145
147	30091	San Francisco II	1103.0	65.266	0.0006	1438	100
148	30093	Tapijulapa	3219.0	100.900	0.0068	1025	107
149	30094	Platanar	216.0	41.722	0.0013	1589	225
150	30096	Paredón	330.0	71.943	0.0002	2029	185
151	30102	Aquespala	1668.0	57.250	0.0025	1946	161
152	30111	Oxolotan	2901.0	89.992	0.0108	978	103
153	30123	Agua Verde II	17173.0	331.250	0.0005	1005	107
154	30133	Comalapa	2813.0	50.712	0.0137	1200	89
155	30137	Altamirano	1092.0	52.068	0.0154	1147	119
156	30140	Las Tasas	2187.0	134.814	0.0044	870	100
157	30141	Living Stone	1845.0	106.074	0.0089	1093	111
158	30143	Santa Elena	745.0	75.941	0.0050	1305	95
159	30145	Dolores	454.0	55.600	0.0059	1247	95
160	30149	Euseba	353.0	56.372	0.0030	1363	103
161	30150	La Catarata	2838.0	77.319	0.0063	1139	96
162	30151	San Quintín	4843.0	195.704	0.0038	936	102
163	30152	Las Perlas	748.0	73.763	0.0052	827	90
164	30155	Río Blanco	1848.0	57.871	0.0019	909	117
165	30177	El Colorado	9190.0	240.069	0.0024	1015	101
166	30181	Candelaria	9628.0	207.146	0.0001	1318	124
167	30182	Yamonho III	185.0	23.407	0.0211	1068	146

HPA= Precipitación media anual

HPM= Precipitación máxima en 24 horas para un período de retorno de 10 años

Tabla 2.2 (Continuación)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3

Análisis de incidencia de ciclones

En este capítulo se analizan los ciclones tropicales que han azotado a la costa del Golfo de México a partir del año de 1925 y hasta el año 2000. Este periodo comprende los años en los que las estaciones hidrométricas tienen registros de gastos.

Se hace un análisis de la ocurrencia de los ciclones para conocer con qué frecuencia tienen efecto sobre la zona de estudio (golfo de México). Además de una comparación entre los años en que ocurrieron los ciclones tropicales con los años en que las estaciones hidrométricas registraron los gastos de mayor magnitud, ya que por lo general los ciclones tropicales provocan los mayores escurrimientos.

El objetivo principal de llevar a cabo lo anterior es determinar si los gastos máximos anuales registrados en cada una de las estaciones hidrométricas son mayores cuando éstas se vieron afectadas por algún ciclón tropical que los gastos correspondientes a los años en que no ocurrió ciclón alguno. Esto con la finalidad de poder estimar el valor del parámetro de probabilidad P (probabilidad de eventos no ciclónicos) y posteriormente hacer un análisis de frecuencias de gastos máximos anuales utilizando una función de distribución de probabilidad para dos poblaciones (Capítulo 4).

3.1 Generalidades

En este punto se hace una breve descripción de las principales características de los ciclones tropicales.

3.1.1 Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales se caracterizan por su inestabilidad atmosférica asociada a un área de baja presión, se caracterizan por sus vientos fuertes y lluvias abundantes. Estos sistemas atmosféricos se forman y desarrollan inicialmente sobre aguas cálidas tropicales ($T \geq 25^{\circ}\text{C}$) y se identifican porque sus nubes convectivas de la tormenta se agrupan en bandas espirales de varios cientos de kilómetros de longitud, las cuales convergen hacia un centro, alrededor del cual fluyen los vientos en una dirección contraria a las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

3.1.2 Clasificación

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo con la intensidad de sus vientos máximos sostenidos (intensidad promedio en un minuto) sobre la superficie como (Neumann, 1993):

- a) Depresión tropical. Es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos son menores a 61 km/h. Se considera un ciclón tropical en su fase formativa.
- b) Tormenta tropical. Es un sistema organizado de nubes con una circulación definida y cuyos vientos máximos sostenidos fluctúan entre 61 y 117 km/h.
- c) Huracán. Es un ciclón tropical de intensidad máxima en el cual los vientos máximos sostenidos alcanzan o superan los 118 km/h.

3.1.3 Vientos

La magnitud de la intensidad de los vientos asociados con el ciclón tropical tiene una simetría casi radial. Los vientos dentro del ciclón tropical son relativamente débiles en el área central del sistema, inclusive en el centro de un huracán normalmente es posible identificar un área bien definida de escasa nubosidad y relativa calma llamada "ojo". Los vientos en la superficie tienen su máxima intensidad a una distancia radial de 10 a 80 km del centro del sistema y disminuyen gradualmente de intensidad hacia la periferia. La rapidez de los vientos máximos aumenta conforme disminuye la presión en el centro del ciclón. Los vientos máximos en un huracán pueden alcanzar velocidades de hasta 400 km/h.

3.1.4 Tamaño

El diámetro del área nubosa que caracteriza a los ciclones tropicales varía de un sistema a otro, fluctuando desde aproximadamente 250 km, hasta 1500 km, siendo típicamente de unos 500 Km.

3.1.5 Movimiento

Los ciclones se desplazan en una dirección media del flujo atmosférico de gran escala (más de 1000 km) alrededor de ellos. Este flujo controla su trayectoria y su rapidez. Para fines prácticos los ciclones tropicales pueden clasificarse de acuerdo con su rapidez de desplazamiento como lentos (menos de 11 km/h), moderados (11 a 21 km/h), rápidos (22 a 31 km/h) y muy rápidos (más de 31 km/h).

3.1.6 Temporada

De acuerdo con el National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la temporada oficial de los huracanes en el Océano Atlántico, Mar Caribe y el Golfo de México se extiende desde el 1º de junio hasta el 30 de noviembre, sin embargo, un ciclón puede presentarse en un mes fuera de este periodo (mayo, diciembre, etc.).

A partir de 1950, el National Hurricane Center (NHC) asignó a los ciclones tropicales un nombre, repitiéndose los nombres de éstos cada seis años. Si embargo si un ciclón provoca demasiados daños, por ejemplo Gilberto en 1988, el nombre de éste se quita de la lista, es decir, a partir de esa fecha ya no habrá otro ciclón con el nombre de Gilberto.

3.2 Efectos principales de los ciclones tropicales

La presencia de los ciclones tropicales en ocasiones trae beneficio a la agricultura ya que las presas de almacenamiento dispondrán de agua para el siguiente ciclo agrícola, sin embargo los efectos de los ciclones tropicales como son los vientos, el oleaje, la marea de tormenta y la precipitación, ponen en peligro a la población, sus bienes materiales, su actividad económica y a las diferentes estructuras de protección, comunicación y transporte, aprovechamientos hidráulicos, etc.

3.2.1 Daños por viento

La energía cinética de los vientos, potencialmente disponible para causar daños al proyectar o derribar objetos, imprimir movimiento a las aguas de los océanos y lagos, y ejercer fuertes presiones sobre superficies, es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad del viento; esto significa que la magnitud de la energía máxima disponible para causar daños por viento es

considerablemente mayor en un huracán que en una tormenta tropical y a su vez mayor en una tormenta tropical que en una depresión tropical.

La intensidad de los vientos máximos sostenidos entre diversos huracanes puede variar entre 118 km/h y aproximadamente 400 km/h. Esta diferencia de cerca de cuatro veces en la velocidad de estos vientos significa que entre los huracanes puede existir una diferencia de hasta 16 veces en su energía máxima potencialmente disponible para causar daños por viento.

3.2.2 Daños por precipitación

Las fuertes precipitaciones que acompañan a un ciclón tropical pueden causar deslaves y provocar considerables inundaciones; éstas últimas pueden llegar a ser repentinas en cañadas con fuertes pendientes. La intensidad y cantidad de la precipitación asociada con un ciclón tropical dependen principalmente de la velocidad de desplazamiento del sistema y de la extensión y densidad del área cubierta por las nubes convectivas de la tormenta, factores que determinan primordialmente el tiempo que permanecen sobre una localidad las nubes que causan lluvias; por lo que los ciclones tropicales lentos y de amplia y densa cobertura de nubes de origen convectivo son las que causan mayores precipitaciones sobre una localidad.

La intensidad de la precipitación puede aumentar debido a la orografía cuando el aire fluye ascendiendo sobre la pendiente en la tierra.

3.2.3 Daños por marea de tormenta

La marea de tormenta es una elevación temporal anómala del nivel del mar cerca de la costa por debajo del paso del área central de un huracán, la cual se debe a los fuertes vientos que soplan hacia tierra y a la diferencia de presión atmosférica entre el ojo del huracán y los alrededores. Esta marea tiene una longitud típica de 100 km y su máxima altura ocurre a unos 20 a 30 km hacia la derecha de la trayectoria del huracán, pudiendo alcanzar una altura de hasta ocho metros. Una pendiente batimétrica (del fondo marino) suave puede propiciar la acumulación de agua por el viento y por tanto una marea de tormenta más alta.

Existe la escala de Saffir-Simpson (Simpson and Riehl, 1981), para la intensidad de los huracanes, la cual contiene una guía aproximada acerca de la altura de la marea de tormenta como función de la intensidad de los vientos, dicha escala es la siguiente:

Categoría	Vientos sostenidos (km/h)	Altura de la marea de tormenta (m)	Presión mínima en la superficie (mb)
1	119 - 155	1.0-1.7	mayor a 980
2	156 - 179	1.8-2.6	979-965
3	180 - 211	2.7-3.8	964-945
4	212 - 250	3.9-5.6	944-920
5	más de 251	más de 5.7	menor a 920

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La marea de tormenta se superpone a la marca astronómica y sobre ellas ocurre el oleaje.

La marea de tormenta puede causar severas inundaciones costeras y penetrar a tierra en sitios bajos; además puede derribar construcciones junto al mar por empuje o al socavar su cimentación.

De acuerdo con lo anterior puede concluirse que de entre los ciclones tropicales, únicamente los huracanes pueden causar daños severos por marea de tormenta.

3.3 Análisis de frecuencia de ciclones tropicales

En esta sección se presenta información referente a la frecuencia relativa de ciclones tropicales durante el periodo de 1925 a 2000 en las regiones hidrológicas seleccionadas para el presente trabajo (Regiones 24 oriente, 25, 26, 27, 28, 29, 30).

La selección de los ciclones tropicales que afectan cada una de las regiones hidrológicas en estudio se hizo considerando un radio de influencia de 200 Km.

3.3.1 Frecuencia relativa en la zona de estudio

Durante el periodo de 1925 a 2000 se originaron tanto en el Océano Atlántico, Mar Caribe y el Golfo de México un total de 732 ciclones tropicales, lo que equivale aproximadamente a diez ciclones por año; de los cuales aproximadamente 248 entraron a la costa del Golfo de México, lo que equivale a un 33.88% del total de los ciclones originados. De los 248 ciclones que entraron al Golfo 118 afectaron por lo menos a una región hidrológica del estudio, lo que representa un 16.12% del total de los ciclones originados y un 47.58% de los que se localizan en el Golfo, el cual es un porcentaje considerable que permite valorar la importancia de un mejor análisis en cuanto a la determinación de los eventos de diseño para las obras hidráulicas en dicha zona.

En la tabla 3.1 se listan las principales características de los 118 ciclones tropicales que afectaron a la zona de estudio como son: el nombre que identifica al ciclón, fecha de ocurrencia, velocidad máxima alcanzada y el tipo de ciclón; mientras que en la figura 3.1 se muestra el número de ciclones para diferentes periodos de tiempo y en la figura 3.2 se presentan sus trayectorias. Dicho periodo comprende todos los años en que se tienen registros de los gastos máximos anuales de las estaciones hidrométricas descritas en el capítulo anterior.

Las trayectorias de los ciclones tropicales fueron obtenidas de la página web del Nacional Hurricane Center (<http://www.nhc.noaa.gov>).

No	Nombre	Fecha de ocurrencia	Año	Velocidad máxima (km/h)	Presión (mb)	Tipo de Ciclón ¹	Tipo de Ciclón ²
1	S/N 1	6 - 7 de septiembre	1925	64.36	ND	T.T	D.T
2	S/N 3	1 - 8 de septiembre	1928	80.45	ND	T.T	D.T
3	S/N 1	27 - 29 de junio	1929	120.68	ND	HR	HR
4	S/N 1	25 - 28 de junio	1931	64.36	ND	T.T	D.T
5	S/N 3	10 - 18 de agosto	1931	80.45	ND	T.T	T.T
6	S/N 5	5 - 12 de septiembre	1931	176.99	ND	HR	T.T
7	S/N 6	8 - 16 de septiembre	1931	136.77	988	HR	HR
8	S/N 2	12 - 15 de agosto	1932	152.86	942	HR	HR
9	S/N 5	9 - 17 de septiembre	1932	72.41	ND	T.T	D.T
10	S/N 7	25 sep - 3 de oct	1932	168.95	948	HR	D.T
11	S/N 8	7 - 18 de octubre	1932	72.41	ND	T.T	T.T
12	S/N 1	14 - 19 de mayo	1933	64.36	ND	T.T	D.T
13	S/N 2	28 jun - 7 de jul	1933	144.81	986	HR	HR
14	S/N 3	14 - 20 de julio	1933	72.41	ND	T.T	D.T
15	S/N 5	25 jul - 5 ago	1933	128.72	981	HR	T.T
16	S/N 10	26 - 29 de agosto	1933	56.32	ND	D.T	D.T
17	S/N 11	28 ago - 5 sep	1933	176.99	ND	HR	HR
18	S/N 14	10 - 15 de septiembre	1933	112.63	960	HR	T.T
19	S/N 15	16 - 25 de septiembre	1933	152.86	962	HR	HR
20	S/N 17	28 - 30 de septiembre	1933	56.32	ND	D.T	DT
21	S/N 2	4 - 21 de junio	1934	112.63	ND	T.T	D.T
22	S/N 3	21 - 26 de julio	1934	104.59	ND	T.T	T.T
23	S/N 5	26 ago - 1 sep	1934	112.63	ND	T.T	T.T
24	S/N 3	30 ago - 1 sep	1935	64.36	ND	T.T	D.T
25	S/N 2	19 - 22 de junio	1936	56.32	ND	D.T	D.T
26	S/N 3	26 - 28 de junio	1936	112.63	ND	T.T	T.T
27	S/N 7	7 - 12 de agosto	1936	56.32	ND	D.T	D.T
28	S/N 8	15 - 19 de agosto	1936	112.63	ND	T.T	T.T
29	S/N 10	28 - 30 de agosto	1936	112.63	ND	T.T	T.T
30	S/N 14	10 - 14 de septiembre	1936	64.36	ND	T.T	T.T
31	S/N 16	9 - 11 de octubre	1936	56.32	ND	D.T	D.T
32	S/N 3	23 - 28 de agosto	1938	136.77	979	HR	HR
33	S/N 5	11 - 17 de octubre	1938	80.45	996	T.T	D.T
34	S/N 3	23 - 26 de septiembre	1939	64.36	ND	T.T	D.T
35	S/N 6	19 - 25 de septiembre	1940	64.36	ND	T.T	D.T
36	S/N 4	23 - 30 de septiembre	1941	168.95	992	HR	D.T
37	S/N 10	5 - 11 de noviembre	1942	136.77	992	HR	D.T
38	S/N 4	16 - 24 de agosto	1944	168.95	973	HR	D.T
39	S/N 5	19 - 23 de agosto	1944	80.45	ND	T.T	T.T
40	S/N 8	19 - 22 de septiembre	1944	112.63	ND	T.T	T.T
41	S/N 2	19 - 22 de julio	1945	72.41	ND	T.T	D.T
42	S/N 5	24 - 29 de agosto	1945	193.08	963	HR	HR
43	S/N 6	29 ago - 1 sep	1945	80.45	993	T.T	D.T
44	S/N 10	2 - 5 de octubre	1945	136.77	982	HR	T.T

D.T= Depresión tropical
T.T= Tormenta tropical
HR= Huracan

¹ Se refiere al tipo de ciclón alcanzado desde su formación.

² Se refiere al tipo de ciclón alcanzado dentro de la zona de estudio.

ND= No existe información de la presión

Tabla 3.1 Relación de los ciclones tropicales que afectaron la zona de estudio durante el periodo de 1925 - 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Nombre	Fecha de ocurrencia	Año	Velocidad máxima (km/h)	Presión (mb)	Tipo de Ciclón ¹	Tipo de Ciclón ²
45	S/N 3	25 - 26 de agosto	1946	48.27	ND	D.T	D.T
46	S/N 1	31 jul - 2 ago	1947	64.36	ND	T.T	T.T
47	S/N 2	9 - 16 de agosto	1947	152.86	ND	HR	HR
48	S/N 8	20 - 26 de septiembre	1949	136.77	ND	HR	HR
49	S/N 10	27 sep - 6 oct	1949	185.04	ND	HR	HR
50	How	1 - 4 de octubre	1950	80.45	ND	T.T	T.T
51	Item	8 - 10 de octubre	1950	152.86	ND	HR	HR
52	Charlie	13 - 23 de agosto	1951	185.04	964	HR	HR
53	George	20 - 21 de septiembre	1951	80.45	ND	T.T	T.T
54	Florence	11 - 12 de septiembre	1954	104.59	ND	T.T	T.T
55	Gladys	4 - 6 de septiembre	1955	128.72	ND	HR	HR
56	Gilda	24 - 27 de septiembre	1954	96.54	ND	T.T	T.T
57	Hilda	10 - 20 de septiembre	1955	176.99	952	HR	HR
58	Janet	21 - 30 de septiembre	1955	241.35	914	HR	HR
59	Anna	25 - 27 de julio	1956	112.63	991	T.T	T.T
60	Dora	10 - 12 de septiembre	1956	96.54	1001	T.T	T.T
61	Alma	14 - 15 de junio	1958	64.36	997	T.T	T.T
62	Ella	30 ago - 6 de sep	1958	160.90	1009	HR	T.T
63	Beulah	15 - 18 de junio	1959	96.54	987	T.T	T.T
64	Abby	10 - 16 de julio	1960	104.59	ND	T.T	T.T
65	S/N 1	22 - 29 de junio	1960	64.36	1002	T.T	T.T
66	Anna	20 - 24 de julio	1961	160.90	976	HR	HR
67	Carla	3 - 16 de septiembre	1961	241.35	931	HR	HR
68	Hattie	27 oct - 1 nov	1961	225.26	920	HR	HR
69	Inga	5 - 8 de noviembre	1961	96.54	992	T.T	T.T
70	Cindy	16 - 20 de septiembre	1963	112.63	996	T.T	T.T
71	Abby	5 - 8 de agosto	1964	88.50	1000	T.T	T.T
72	S/N 3	5 - 8 de noviembre	1964	56.32	997	T.T	D.T
73	S/N 1	11 - 18 de junio	1965	72.41	ND	T.T	D.T
74	Hallie	20 - 22 de septiembre	1966	72.41	997	T.T	T.T
75	Inez	24 sep - 11 oct	1966	209.17	929	HR	HR
76	Beulah	5 - 22 de septiembre	1967	225.26	923	HR	HR
77	Fern	1 - 4 de octubre	1967	120.68	987	HR	T.T
78	Candy	22 - 26 de junio	1968	96.54	999	T.T	T.T
79	Francelia	29 ago - 4 sep	1969	160.90	973	HR	HR
80	Laurie	17 - 27 de octubre	1969	144.81	973	HR	D.T
81	Celia	31 jul - 5 ago	1970	176.99	945	HR	HR
82	Ella	8 - 13 de septiembre	1970	176.99	967	HR	HR
83	Greta	26 sep - 5 oct	1970	72.41	1005	T.T	D.T
84	Edith	5 - 18 de septiembre	1971	233.31	943	HR	T.T
85	Fern	3 - 13 de septiembre	1971	128.72	978	HR	HR
86	Laura	12 - 22 de noviembre	1971	96.54	994	T.T	T.T
87	Brenda	18 - 22 de agosto	1973	128.72	977	HR	HR

D.T = Depresión tropical
TT = Tormenta tropical
HR = Huracán

¹ Se refiere al tipo de ciclón alcanzado desde su formación.
² Se refiere al tipo de ciclón alcanzado dentro de la zona de estudio.
ND = No existe información de la presión

Tabla 3.1 Continuación

No	Nombre	Fecha de ocurrencia	Año	Velocidad máxima (km/h)	Presión (mb)	Tipo de Ciclón ¹	Tipo de Ciclón ²
88	Carmen	29 ago - sep	1974	209.17	928	HR	HR
89	Fifi	14 - 21 de septiembre	1974	152.86	971	HR	D.T
90	Caroline	24 ago - 1 sep	1975	160.90	963	HR	HR
91	Anita	29 ago - 2 sep	1977	241.35	926	HR	HR
92	Amelia	30 jul - 1 agos	1978	72.41	1005	T.T	T.T
93	Bess	5 - 8 de agosto	1978	72.41	1005	T.T	T.T
94	Greta	13 - 20 de septiembre	1978	185.04	947	HR	T.T
95	Bob	9 - 16 de julio	1979	104.59	986	T.T	D.T
96	Henri	15 - 24 de septiembre	1979	120.68	983	HR	HR
97	Allen	2 - 11 de agosto	1980	265.49	899	HR	HR
98	Hermine	20 - 26 de septiembre	1980	96.54	993	T.T	T.T
99	Jeane	7 - 16 de noviembre	1980	136.77	986	HR	T.T
100	Barry	23 - 29 de agosto	1983	112.63	986	T.T	T.T
101	Eduard	14 - 15 de septiembre	1984	88.50	998	T.T	T.T
102	Debby	31 ago - 3 sep	1988	104.59	987	T.T	T.T
103	Gilbert	8 - 20 de septiembre	1988	257.44	888	HR	HR
104	Allison	24 jun - 1 jul	1989	72.41	999	T.T	T.T
105	Jerry	12 - 16 de octubre	1989	120.68	983	HR	T.T
106	Diana	4 - 8 de agosto	1990	136.77	980	HR	HR
107	Arlene	18 - 21 de junio	1993	56.32	1000	D.T	D.T
108	Gert	14 - 21 de septiembre	1993	136.77	970	HR	HR
109	Gabriel	9 - 12 de agosto	1995	96.54	988	T.T	T.T
110	Opal	27 sep - 6 oct	1995	209.17	916	HR	HR
111	Roxanne	8 - 19 de octubre	1995	160.90	958	HR	HR
112	Dolly	19 - 25 de agosto	1996	128.72	987	HR	HR
113	Josephine	4 - 16 de octubre	1996	96.54	981	T.T	D.T
114	Kyle	11 - 12 de noviembre	1996	72.41	1001	T.T	T.T
115	Mitch	22 oct - 9 nov	1998	193	906	H.R	35
116	Bret	18 - 25 ago	1999	140	944	H.R	140
117	Beryl	13 - 15 ago	2000	52	1007	TT	52
118	Keith	28 sep - 6 oct	2000	135	942	H.R	127

D.T=Depresión tropical
Tormenta tropical
HR = Huracán

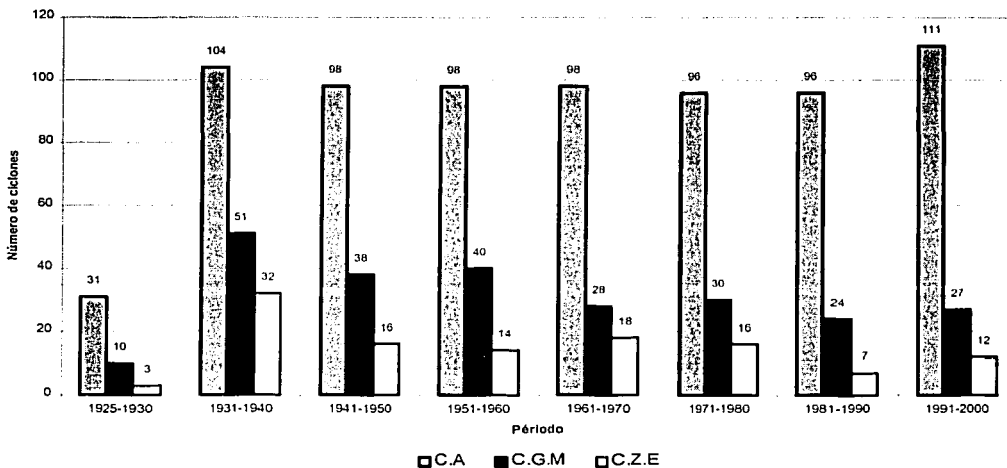
¹ Se refiere al tipo de ciclón alcanzado desde su formación.

² Se refiere al tipo de ciclón alcanzado dentro de la zona de estudio.

ND= No existe información de la presión

Tabla 3.1 Continuación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Nota: C.A. Ciclones originados en el Atlántico; C.G.M. Ciclones que entraron al Golfo de México; C.Z.E. Ciclones que afectaron la zona de estudio

Figura 3.1 Frecuencia relativa de los ciclones tropicales que afectan a la zona de estudio durante el periodo 1925-2000

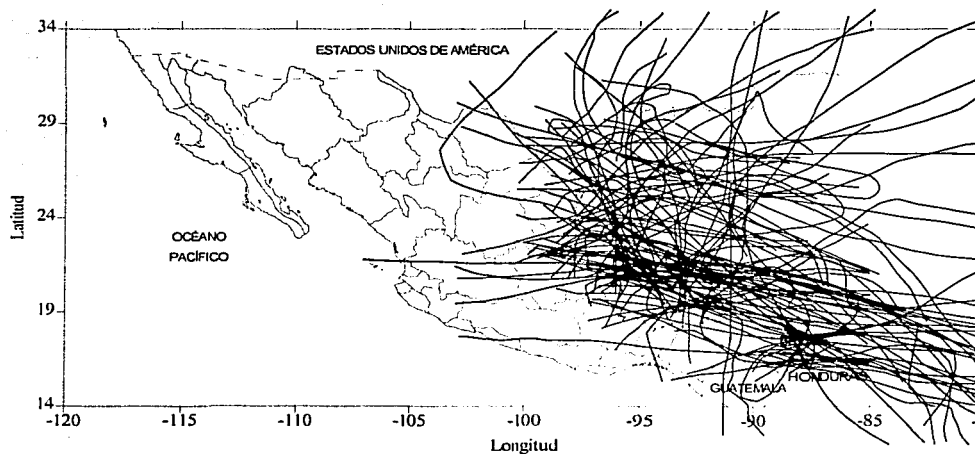


Figura 3.2 Trayectorias de los ciclones que afectaron a la zona de estudio durante el periodo 1925-2000 (<http://www.nhc.noaa.gov>)

3.3.2 Frecuencia relativa de los ciclones en cada región hidrológica

En este apartado se lleva a cabo un análisis de la frecuencia de ciclones que afectan a cada una de las regiones hidrológicas del estudio, considerando el radio de influencia de 200 km. Lo anterior con la finalidad de saber que regiones están más expuestas a la incidencia de ciclones.

Con la finalidad de observar claramente las trayectorias y las regiones hidrológicas que fueron afectadas por cada uno de los 118 ciclones tropicales seleccionados, se graficaron éstos para diferentes periodos de tiempo, a saber: en la figura 3.3 se muestran las trayectorias de ciclones tropicales durante el periodo de 1925 a 1933, la figura 3.4 comprende el periodo de 1934 a 1940, la figura 3.5 abarca el periodo de 1941 a 1950 y la figura 3.6 comprende el periodo de 1951 a 1960. La figura 3.7 abarca el periodo de 1961 a 1970, la figura 3.8 el periodo de 1971 a 1980, la figura 3.9 el periodo de 1981 a 1990 y en la figura 3.10 del periodo de 1991 al 2000.

Los números de los ciclones mostrados en las figuras mencionadas corresponden a los números de los ciclones dados en la tabla 3.1

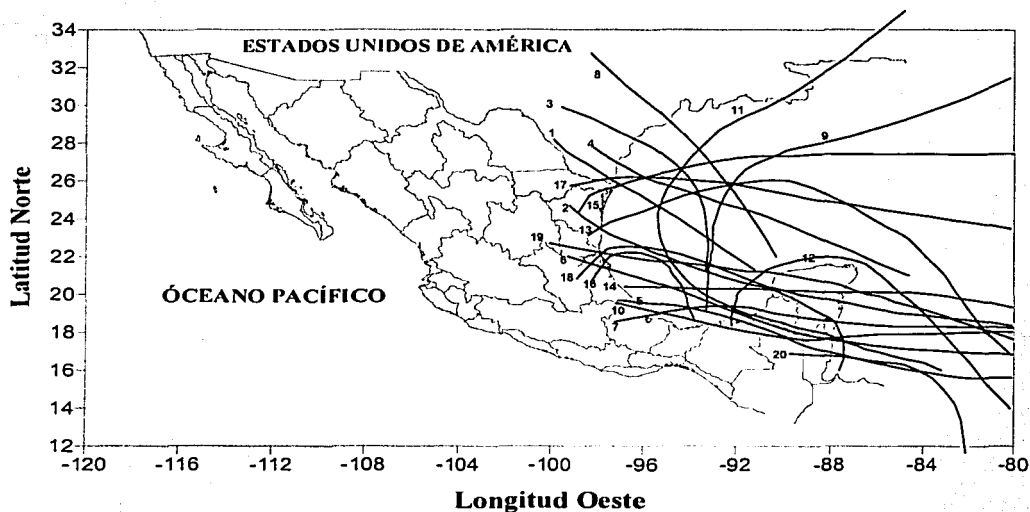


Figura 3.3 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1925-1933

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

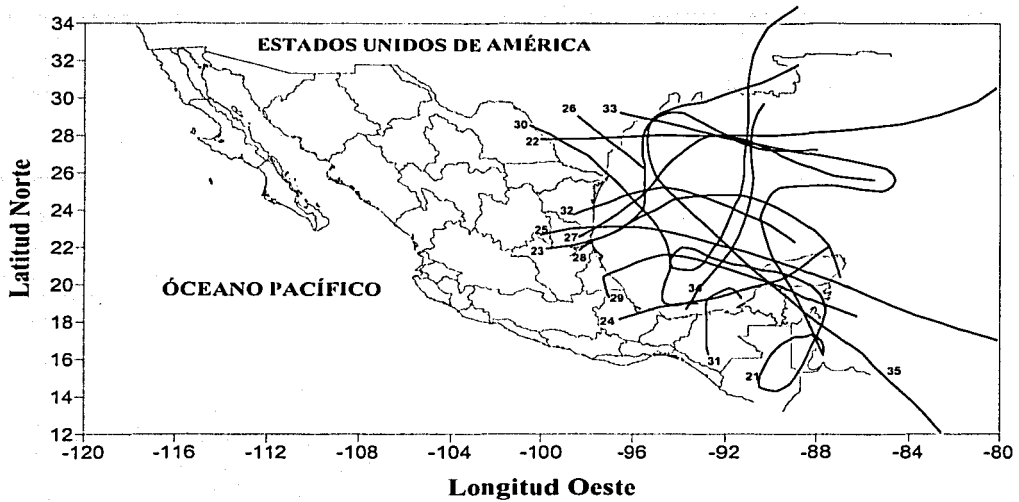


Figura 3.4 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1934-1940

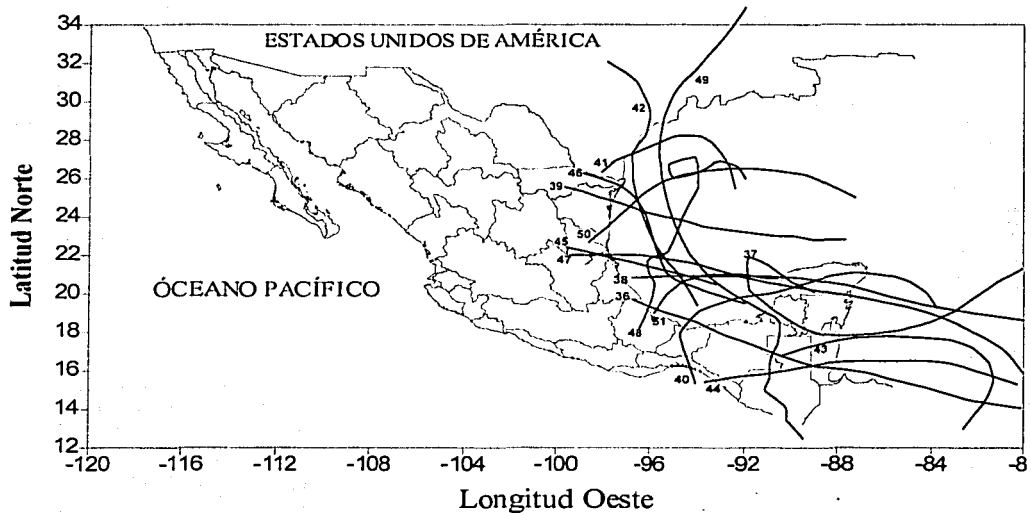


Figura 3.5 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1941-1950

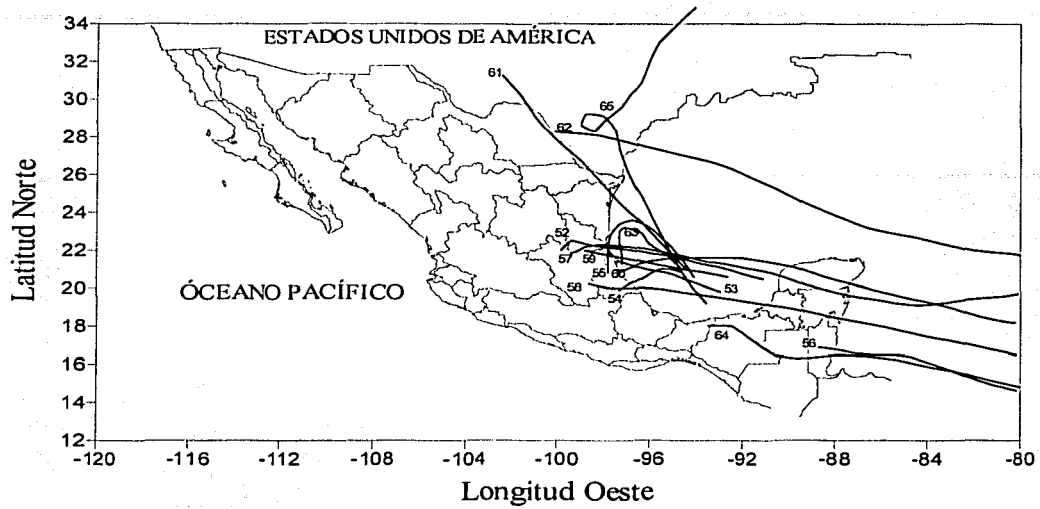


Figura 3.6 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1951-1960

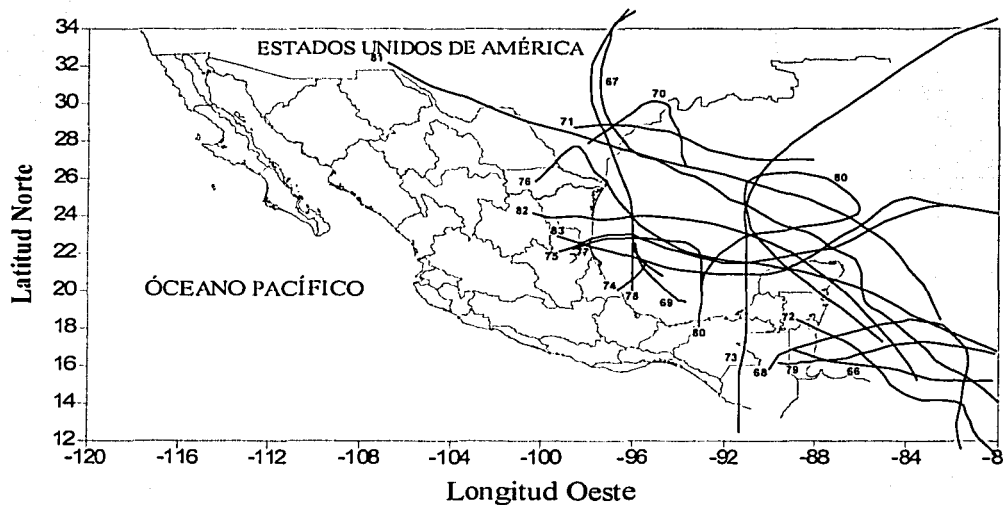


Figura 3.7 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1961-1970

RECIBIDO CON
FALLA DE ORIGEN

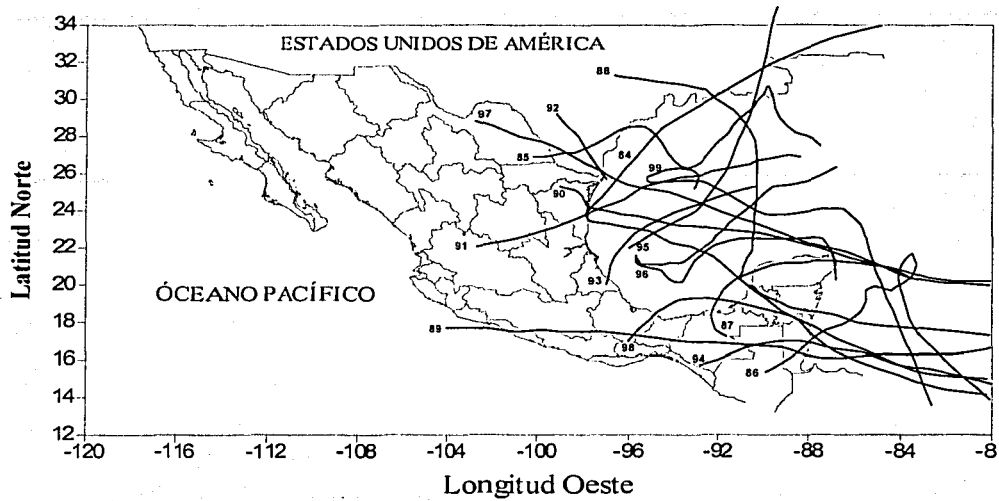


Figura 3.8 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1971-1980

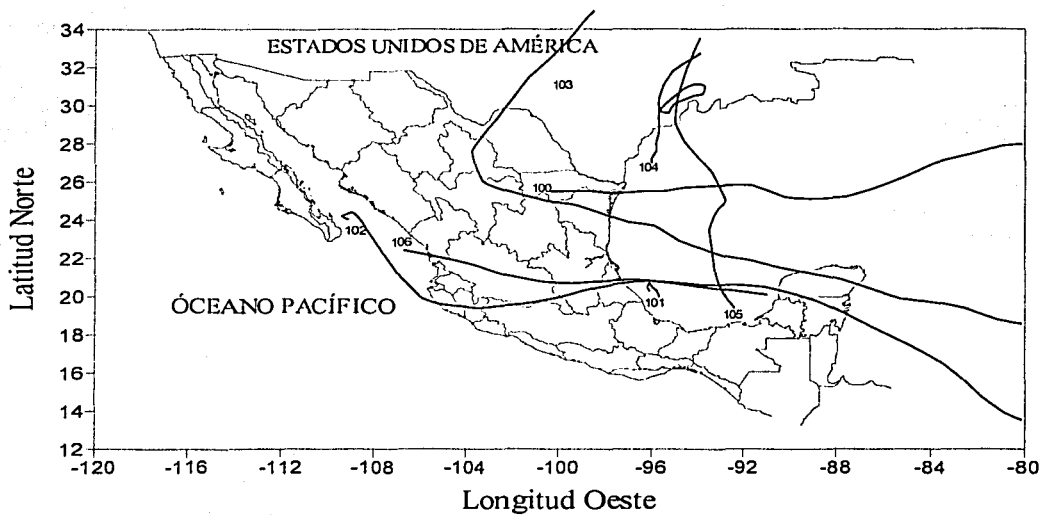


Figura 3.9 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1981-1990

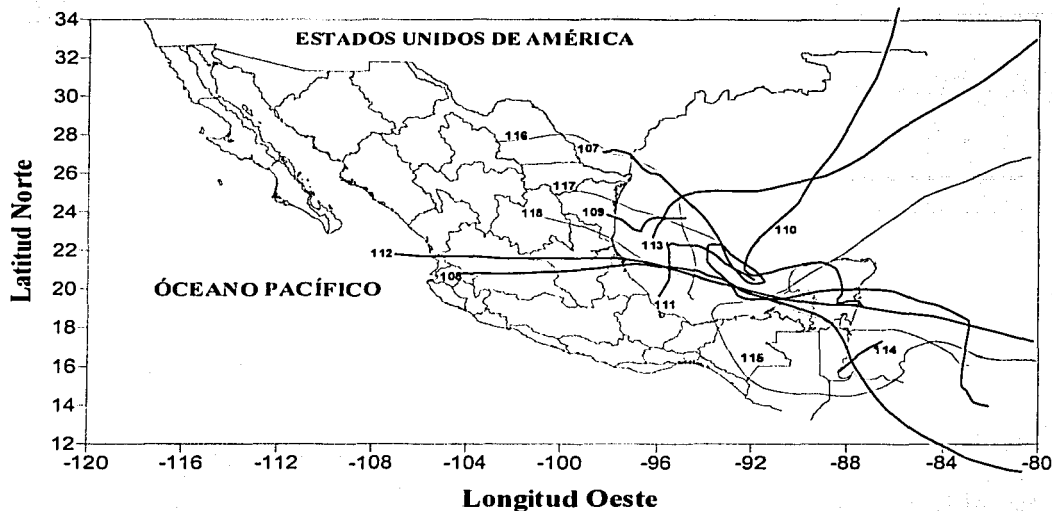


Figura 3.10 Trayectorias de los ciclones durante el periodo 1991-2000

De acuerdo con el radio de influencia de los ciclones, el cual se consideró de 200 km, se muestra en la tabla 3.2 la relación de los ciclones que afectan a cada una de las regiones hidrológicas y en la tabla 3.3 se muestran los años en que los ciclones afectaron a dichas regiones. De acuerdo con estas tablas se concluye lo siguiente:

- Las regiones 25 y 30 son las más afectadas por los ciclones, ya que el 52.54% y 51.69% respectivamente de los ciclones que afectaron a la zona de estudio tienen influencia sobre estas regiones; lo cual equivale a ocho ciclones cada diez años.
- La región hidrológica 29 es la que menos influencia de ciclones, ya que sólo el 31.36% de los que se localizan en el Golfo de México afecta a dicha región. Lo anterior equivale a que aproximadamente cinco ciclones afectan a esta región cada diez años.
- Aproximadamente seis ciclones cada diez años afectan a las regiones hidrológicas 24 y 28, ya que el 36.44% y 39.83% de los ciclones localizados en el Golfo de México tienen influencia en dichas regiones respectivamente.
- Por otra parte las regiones 26 y 27 son afectadas por el 49.15% y 47.46% de los ciclones localizados en el Golfo de México. Lo anterior equivale a ocho y siete ciclones cada diez años respectivamente.

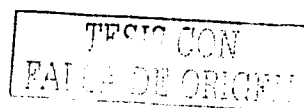
En la figura 3.11 se muestra gráficamente los valores de las conclusiones anteriores

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ciclón No	Regiones hidrológicas afectadas						
	24	25	26	27	28	29	30
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
41							
42							
43							
44							
45							
46							
47							

Ciclón No	Regiones hidrológicas afectadas						
	24	25	26	27	28	29	30
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							
73							
74							
75							
76							
77							
78							
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							

Tabla 3.2 Relación de los ciclones que afectaron a cada región hidrológica del estudio.



Ciclón No	Regiones Hidrológicas afectadas						
	24	25	26	27	28	29	30
95							
96							
97							
98							
99							
100							
101							
102							
103							
104							
105							
106							
107							
108							
109							
110							
111							
112							
113							
114							
115							
116							
117							
118							
Total	43	62	58	56	47	37	61

Tabla 3.2 (Continuación)

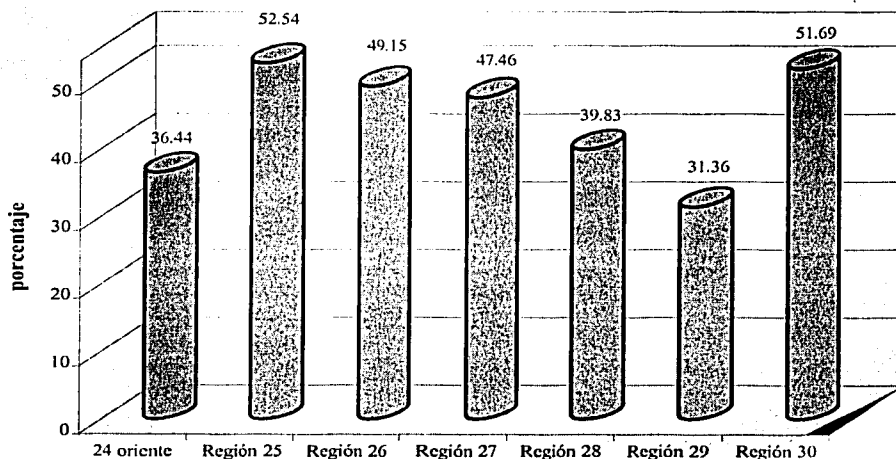


Figura 3.11 Porcentaje de afectación de los ciclones localizados en el Golfo de México a cada una de las regiones hidrológicas

FALLA DE ORIGEN

Región	Años
24 Or.	25,28,31,33,34,36,38,40,44,45,47,49,50,58,60,61,63,67,68,70,71,75,77,78,80,83,88,89,93,95,99,00
25	25,28,31,32,33,34,36,38,44,45,46,47,50,51,55,56,58,59,60,61,66,67,68,70,71,75,77,78,79,80,83,88,90,93,95,96,99,00
26	28,31,32,33,34,36,38,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,58,59,61,66,67,68,70,71,74,75,77,78,79,83,84,88,90,93,95,96,00
27	28,31,32,33,34,35,36,38,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,59,61,66,67,68,70,71,77,78,79,84,88,90,93,95,96,00
28	31,32,33,35,36,39,41,44,45,46,47,49,50,51,54,55,56,59,60,61,66,68,69,74,78,79,80,84,88,90,93,95,96,98,99,00
29	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,50,51,55,60,61,69,73,74,78,79,80,84,89,93,95,96,98,99
30	28,31,32,33,34,35,36,38,39,40,41,42,44,45,47,49,51,54,55,56,60,61,64,65,67,69,71,73,74,78,80,88,89,90,93,95,96,98,99,00

Tabla 3.3 Relación de los años en que las regiones hidrológicas se vieron afectadas por algún ciclón.

3.3.3 Relación entre los ciclones tropicales y los gastos máximos anuales registrados.

En este apartado se lleva a cabo un análisis de los años en que cada estación hidrométrica se vio influenciada por un ciclón, esto con el fin de poder conocer la probabilidad de que se presente un evento como éstos en cada una de las estaciones hidrométricas y así ajustar los gastos máximos anuales de dichas estaciones a una función de distribución de probabilidad para dos poblaciones con el valor de la probabilidad calculado.

En la tabla 3.4 se muestra la relación de los años en que los ciclones afectaron a cada una de las estaciones hidrométricas.

De acuerdo con la información mostrada en la tabla 3.1 se observa que en los años de 1926, 1927, 1930, 1937, 1943, 1948, 1952, 1953, 1957, 1962, 1972, 1976, 1981, 1982, 1985, 1986, 1987, 1991, 1992, 1994 y 1997 ningún ciclón afectó a las regiones de estudio, por lo que lo más probable es que los gastos máximos registrados en las estaciones hidrométricas en estos años se debieron exclusivamente a lluvias convectivas.

Por lo mencionado en el párrafo anterior y con información mostrada en la tabla 3.3 se obtuvo la tabla 3.5, en la cual se presentan los años correspondientes a los gastos máximos anuales ordenados de mayor a menor; así como también se resalta los años en que la zona de estudio no se vio afectada por ciclón alguno y los años en que cada una de las regiones hidrológicas no fue influenciada por ciclón alguno. Lo anterior con la finalidad de determinar el parámetro P para la función de distribución de probabilidad para dos poblaciones.

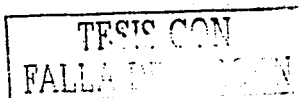
No	Clave	Años
1	24087	25,28,33,34,36,44,47,58,67,70,71,75,80,83,88,00
2	24088	25,28,33,36,38,44,45,47,58,67,70,71,75,80,83,88,93,95,99,00
3	24192	28,33,38,44,47,58,67,70,71,75,83,88,00
4	24196	25,28,33,34,36,44,45,47,58,67,70,71,75,80,83,88,93,99,00
5	24291	28,33,44,47,58,67,70,71,75,80,83,88,00
6	24301	28,33,44,45,47,58,67,70,71,75,83,88,00
7	24326	25,28,33,34,36,44,45,47,58,67,70,71,75,80,83,88,93,00
8	24327	28,33,44,47,58,67,70,71,75,83,88,00
9	24351	25,28,33,34,36,38,44,45,47,58,67,70,71,75,78,80,83,88,93,95,99,00
10	24384	28,33,44,47,58,67,70,71,75,83,88,00
11	24387	28,33,44,47,58,67,70,71,75,83,88,00
12	24399	28,33,44,47,58,67,70,71,75,83,88,00
13	25009	25,28,33,36,38,44,45,45,47,50,55,58,60,67,68,70,71,75,77,78,80,83,88,93,95,00
14	25010	28,33,36,38,44,47,58,67,70,75,77,83,88,95,00
15	25027	28,33,33,38,44,47,58,67,70,75,77,83,88,95,00
16	25030	28,33,36,38,44,47,58,67,70,75,77,83,88,00
17	25034	28,33,36,38,44,46,50,51,67,70,71,75,77,83,88,95,00
18	25037	28,31,33,34,36,38,44,45,46,47,47,50,51,55,56,58,59,66,67,68,70,71,75,77,88,95,96,00
19	25038	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,83,88,95,00
20	25039	28,31,33,34,36,38,44,45,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,68,70,71,75,77,88,95,96,00
21	25040	28,33,36,38,44,47,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
22	25042	28,33,36,38,44,45,47,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
23	25043	28,33,36,38,44,50,51,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
24	25044	28,33,36,38,44,45,47,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
25	25061	28,33,36,38,44,47,58,67,70,75,77,83,88,95,00
26	25062	28,33,36,38,44,46,50,51,55,58,66,67,70,71,75,77,83,88,95,00
27	25085	28,33,36,38,44,46,47,50,51,55,58,66,67,70,71,75,77,83,88,95,00
28	25087	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,83,88,95,96,00
29	25091	28,33,36,38,44,46,50,51,55,58,66,67,70,71,75,77,83,88,95,00
30	25092	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,78,88,90,93,95,96,00
31	25093	28,33,38,44,45,47,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
32	25102	25,28,33,36,38,44,45,47,50,58,67,70,71,75,77,83,88,95,00
33	26030	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,66,67,70,71,77,90,93,95,96,00
34	26042	31,32,33,34,36,36,41,44,46,47,51,54,55,56,59,66,67,78,88,90,93,96
35	26149	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,83,88,95,96,00
36	26218	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,75,77,83,88,95,96,00
37	26241	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,77,88,90,93,96,00
38	26243	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,77,88,90,93,96,00
39	26248	31,32,33,34,36,41,44,46,47,50,51,54,55,56,59,66,67,70,77,78,84,88,90,93,96,00
40	26249	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,83,88,90,93,95,96,00
41	26263	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,77,88,90,93,95,96
42	26267	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00

Tabla 3.4 Relación de los años en que los ciclones afectaron a cada una de las estaciones hidrométricas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*No.	*Clave:	*Años:
43	26268	31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00
44	26272	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,77,88,90,93,95,96,00
45	26277	31,32,33,34,36,44,46,47,50,51,54,55,56,59,66,67,70,78,88,90,93,96,00
46	26278	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,77,88,90,93,96,00
47	26280	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,75,77,88,90,93,95,96,00
48	26285	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,77,88,90,93,95,96,00
49	26286	31,33,34,36,36,36,44,46,47,50,51,54,55,56,59,66,67,70,77,78,88,90,93,96,00
50	26289	31,32,33,34,36,41,44,46,47,50,51,54,55,56,59,66,67,70,78,88,90,93,96,00
51	26291	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,77,88,90,93,96,00
52	26292	31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00
53	26296	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,75,77,88,90,93,95,96,00
54	26337	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,90,93,96,00
55	26388	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,75,77,88,95,96,00
56	26389	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00
57	26416	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,83,88,90,93,95,96,00
58	26422	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,77,90,93,95,96,00
59	26423	28,31,33,34,36,38,46,47,50,51,55,56,59,66,67,70,71,77,90,93,95,96,00
60	26429	28,31,33,34,36,38,44,46,47,50,51,55,56,58,59,66,67,70,71,75,77,88,93,95,96,00
61	26430	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00
62	26431	31,33,34,36,46,47,50,51,55,56,66,67,70,77,88,90,93,96,00
63	27001	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,79,84,88,90,93,95,96,00
64	27002	31,32,33,34,36,41,44,46,47,49,51,54,55,56,59,66,68,70,78,79,84,88,90,93,95,96,00
65	27004	31,32,33,34,36,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,59,66,67,68,70,78,84,88,90,93,96,00
66	27005	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,78,79,84,88,90,93,95,96,00
67	27006	31,32,33,35,36,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,70,78,79,84,88,90,93,95,96,00
68	27007	31,32,33,35,36,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,78,79,84,88,90,93,95,96,00
69	27015	31,32,33,34,36,41,44,46,47,49,51,54,55,56,59,61,66,67,68,70,78,79,84,88,90,93,95,96,00
70	27020	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
71	27021	31,32,33,35,36,41,44,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96
72	27024	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
73	27030	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
74	27037	31,32,33,36,41,44,46,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96
75	27038	31,32,33,36,41,44,46,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
76	27042	31,32,33,35,36,41,44,46,47,49,50,51,54,55,56,59,66,68,70,78,79,84,88,90,93,95,96,00
77	27047	31,32,33,36,41,44,46,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
78	27049	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
79	27050	31,32,33,36,41,44,46,47,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
80	27052	31,32,33,35,36,41,44,46,49,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
81	27068	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
82	27069	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
83	27075	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00
84	27076	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,96,00

Tabla 3.4 Continuación.



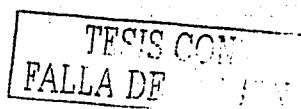
No.	Clave	Años
85	28001	31,32,33,35,36,39,41,44,49,50,60,74,80,98,99
86	28003	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,74,78,80,84,88,90,93,95,99,00
87	28013	31,32,33,35,36,39,41,44,49,50,74,80,95
88	28015	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,50,55,60,61,69,74,80,84,95,98,99
89	28016	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,66,68,74,78,80,88,95
90	28017	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
91	28018	31,32,33,35,36,39,41,44,49,50,60,74,80,98,99
92	28019	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
93	28020	31,32,33,35,36,39,41,44,49,50,60,74,80,98
94	28023	31,32,33,35,36,41,49,50,54,55,56,66,68,74,78,80,84,88,95
95	28025	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,50,55,60,61,68,69,74,80,84,95,98,99
96	28026	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,66,68,74,78,80,84,95
97	28030	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,78,79,84,88,90,93,95,96,99,00
98	28039	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,56,61,66,68,74,78,80,84,88,90,95,99
99	28040	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,56,61,66,68,74,78,80,84,88,90,95,99
100	28056	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80,95
101	28062	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80,95
102	28064	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,66,68,74,78,80,88,95
103	28066	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,66,68,74,78,80,88,95
104	28069	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,56,66,68,74,78,80,84,88,90,95,99
105	28072	31,32,35,36,41,49,50,54,74,80
106	28074	31,32,33,35,36,41,49,50,54,55,66,68,74,78,80,88,95
107	28075	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
108	28099	31,32,35,41,44,49,50,74,80
109	28102	31,32,35,36,41,49,50,54,55,66,74,78,80,95
110	28103	31,32,33,35,36,41,44,49,50,54,55,66,68,74,78,80,84,95
111	28108	31,32,33,35,36,41,44,46,49,50,51,54,55,56,59,61,66,68,78,79,80,84,88,90,93,95,96,99,00
112	28111	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,78,84,88,90,93,95,99
113	28119	31,32,33,35,36,41,49,50,54,55,66,68,74,78,80,84,88,95
114	28122	31,32,33,35,36,41,49,50,54,55,56,66,68,74,78,80,84,88,95
115	28125	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,74,78,84,88,90,93,95
116	28133	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,66,68,74,78,84,88,90,93,95
117	28134	31,32,33,35,36,41,44,49,50,51,54,55,56,59,66,68,74,78,84,88,90,93,95
118	28136	31,32,33,35,36,39,41,44,49,50,55,68,74,80,84,95,99
119	28143	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
120	28154	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
121	28158	31,32,35,36,41,44,49,50,74,80
122	29005	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,50,60,69,74,78,80,98
123	29006	31,32,33,35,36,41,44,49,50,60,74,80,98
124	29007	32,33,35,36,39,41,44,45,60,69,74,78,80,98
125	29008	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98,99

TSE
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.4 Continuación.

No.	Clave	Años
126	29009	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,50,55,60,61,69,74,80,84,95,98,99
127	29010	31,32,33,35,36,39,41,44,45,55,60,61,69,73,74,78,80,98
128	29012	31,32,35,36,41,44,49,50,60,74,80
129	29014	31,35,41,44,49,74,80,98
130	30016	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,55,60,61,65,69,73,74,78,80,89,95,98
131	30019	31,32,33,36,41,42,45,45,49,55,60,65,69,73,74,78,80,98
132	30020	36,41,44,45,60,69,73,74,78,98
133	30031	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,65,69,73,74,78,80,98
134	30032	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,65,69,73,74,78,80,98
135	30040	34,36,41,44,45,49,60,65,73,74,78,98
136	30041	36,41,44,45,60,65,69,73,74,78,98
137	30042	31,32,33,35,36,39,41,45,49,55,60,65,69,73,74,78,80,98
138	30053	36,41,44,45,60,65,69,73,74,78,98
139	30055	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,55,60,65,69,73,74,78,80,89,95,98
140	30056	36,41,44,45,49,60,65,73,74,78,98
141	30057	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,60,69,73,74,78,80,98
142	30066	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98
143	30070	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98
144	30071	32,33,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98
145	30072	32,36,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98
146	30088	31,32,33,34,36,41,42,45,49,55,60,65,73,74,78,80,93,95,96,98,00
147	30091	36,41,44,45,49,60,65,73,74,78,98
148	30093	31,32,33,35,36,39,41,44,45,49,60,65,69,73,74,78,98
149	30094	31,32,33,35,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,80,98
150	30096	31,32,33,35,36,39,41,44,45,55,60,61,69,73,74,78,80,98
151	30102	34,36,41,45,45,49,60,65,73,74,78,98
152	30111	31,32,33,36,39,41,44,45,49,60,65,69,73,74,78,98
153	30123	31,32,33,34,36,41,44,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
154	30133	34,36,41,44,45,49,60,65,73,74,78,98
155	30137	32,33,36,41,44,45,45,49,60,65,69,73,74,78,98
156	30140	31,32,33,34,36,41,44,45,49,60,61,65,69,73,74,78,98
157	30141	31,32,33,34,36,41,44,45,49,60,61,65,69,73,74,78,98
158	30143	32,34,36,41,45,49,60,61,65,71,73,74,78,98
159	30145	32,33,34,36,41,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
160	30149	32,33,34,36,41,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
161	30150	32,33,34,36,41,45,49,60,61,65,69,69,71,73,74,78,98
162	30151	31,32,33,34,36,41,44,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
163	30152	31,32,33,34,36,41,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
164	30155	32,34,36,41,44,45,49,60,65,69,73,74,78,98
165	30177	31,32,33,34,36,41,44,45,49,60,61,65,69,71,73,74,78,98
166	30181	28,31,32,33,34,35,36,38,40,41,42,44,45,47,49,54,55,60,61,64,65,69,71,73,74,78,80,88,89,90,93,95,96,98,00
167	30182	31,32,33,36,39,41,44,45,60,69,73,74,78,98

Tabla 3.4 Continuación.



Clave	Año
24087	67,53,58,76,48,88,70,55,63,41,71,54,87,73,38,59,47,61,44,40,46,31,75,51,36,60,97,78,50,74,57,35,42,30,68,66,65,91,64,56,80,81,32,49,39,77,86,85,33,82,96,62,43,93,98,84,79,94,89,95,69,92,45,34,37,72,52,90
24088	38,67,88,78,45,73,33,53,51,77,74,58,60,44,47,36,65,41,48,76,86,30,57,42,66,39,87,43,70,71,75,63,35,62,46,89,61,69,50,68,72,40,34,81,55,49,83,90,79,64,31,54,93,80,84,82,91,59,52,32,37,56,85,28,29
24192	88,73,41,67,47,42,96,86,65,58,40,43,90,87,53,44,97,51,56,48,55,71,89,54,59,81,74,45,72,66,75,57,63,69,93,70,46,60,79,84,99,82,50,68,94,52,92,83,80,61,62,64,49,85,91
24196	53,44,60,65,58,98,51,63,48,85,61,47,64,71,42,70,55,76,78,97,57,72,80,54,46,96,73,50,86,74,45,62,77,56,83,43,49,87,66,59,75,94,89,84,69,52,88
24291	67,58,71,63,88,73,82,85,54,76,87,83,64,68,81,93,86,78,61,60,84,65,91,62,72,94,70,66,74,77,75,55,80,59,92,95,69,57,79,56,97,99,96
24301	88,78,73,74,58,86,75,77,76,72,79,95,71,93,87,89,66,68,90,83,62,63,70,65,69,96,61,99,84,64,98,97,94,82,59,80,60,91,85,92
24326	67,95,88,65,63,71,78,70,76,96,62,86,81,87,93,85,66,90,64,77,68,91,89,72,82,84,69,79,92,73,74,83,75
24327	67,74,73,62,76,93,96,78,89,80,63,94,83,64,77,75,81,79,84,88,90,91,71,85,97,87,68,66,72,69,65,70,92
24351	78,73,77,74,71,76,70,81,72,86,75,83,87,69,90,68,85,93,89,82,80,84,94,92
24384	77,78,74,67,45,62,87,93,86,73,79,75,47,89,58,92,59,57,81,49,91,85,63,64,61,68,84,42,80,51,60,44,65,71,94,76,70,50,46,48,41,83,43,55,56
24387	75,88,74,86,80,83,77,78,76,82,84,81,89,90,87,85,94,91,79,93,92
24399	95,86,76,96,91,77,97,99,87,85,78,84,82,81,80,90,98,83,92,79,89
25009	67,51,33,50,73,78,38,44,55,77,48,47,61,53,57,75,58,70,66,36,83,71,60,41,32,42,63,76,72,35,81,37,59,30,65,56,69,54,40,34,43,79,45,95,74,62,64,49,39,96,80,46,93,31,86,68,82,52,84,85,87,90,94,89
25010	53,67,88,76,55,77,90,72,73,95,62,78,98,70,52,58,94,87,54,96,71,61,60,69,66,86,81,64,63,65,57,79,68,75,89,74,82,92,99,97,56,93,51,91,85,80,59
25027	76,88,73,86,55,60,77,69,94,67,53,92,71,78,72,61,68,66,87,95,83,65,75,64,90,70,54,85,91,84,57,93,62,52,79,81,58,59,74,63,89,56,80,51
25030	69,73,77,78,88,95,67,63,76,58,71,99,87,61,75,68,70,74,66,72,65,81,86,93,60,55,79,56,53,84,64,62,54,89,92,94,57,91,59,80,82,52
25034	77,78,93,69,65,74,95,76,96,88,66,67,73,81,70,72,64,90,85,80,75,83,94,84,82,91,79,71,86,68,99,98,89,87,63,97,92
25037	66,67,72,74,76,73,90,77,94,70,91,69,95,99,84,75,93,62,85,78,97,79,71,98,86,88,81,80,96,92,89,87,82,63,68
25038	67,77,76,70,71,78,93,72,95,81,66,73,74,96,84,75,69,64,79,63,83,68,91,94,62,80,97,82,85,65
25039	73,67,76,77,95,78,74,70,72,79,91,93,84,69,75,81,98,99,97,85,83,94,66,80,96,62,68,71,63,82
25040	91,67,98,72,96,95,71,80,76,89,70,78,87,90,83,81,73,94,77,66,65,86,75,68,88,93,99,64,62,69,82,92,74,84,63,79,97,85
25042	69,78,73,77,67,76,70,71,65,72,66,74,79,75,68,88,80,89,87,82,86,85,95,99,96,97,98,93,90,91,92,94
25043	72,78,76,67,88,73,86,83,64,66,69,91,77,70,95,93,75,68,81,90,94,65,71,84,79,99,82,80,74,89,96,92,87,63,85
25044	78,75,70,81,95,79,73,67,66,77,72,93,86,90,83,76,68,69,71,92,84,74,91,85,88,94,89,82,87,80
25061	77,78,73,76,72,79,75,70,71,74,67,68,69
25062	67,77,78,93,70,76,81,54,66,58,88,72,96,74,73,95,84,75,79,60,83,98,69,61,90,48,56,68,86,91,63,87,80,94,49,62,92,82,64,97,89,85,59,53,65,57
25085	88,81,78,76,86,75,79,99,82,84,77,83,91,87,90,98,97,85,80,89,92
25087	76,79,67,70,88,74,93,77,78,87,69,94,90,75,84,65,71,73,81,82,85,99,83,68,80,86
25091	55,51,67,44,78,77,96,88,66,95,70,81,76,58,72,84,47,74,42,73,46,71,54,50,41,83,45,52,40,60,90,75,63,86,61,69,79,80,43,82,68,87,62,48,49,56,64,89,59,53,65,94,91,85,57
25092	77,73,76,93,94,74,90,72,97,75,85,81,91,86,95,99,84,88,98,83,79,96,78,80,87,89,82,92
25093	93,87,89,95,81,88,90,86,92,97,91,99,82,96,79,98

Notas: Los años en negritas son los años en que no ocurrió ciclón alguno en la zona de estudio.

Los años en cursivas y negritas indican que en ese año en la región hidrológica a la que pertenece la estación no hubo algún ciclón.

Tabla 3.5 Relación entre los años no ciclónicos y los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Clave	Año
25102	95,97,87,81,90,91,86,96,88,93,89,94,83,92,82
26030	<i>65,66,67,64,58,37,47,44,91,42,53,52,87,69,41,92,43,35,48,31,74,73,50,46,84,55,51,95,68,75,78,60,83,72,88,36,70,89,63,71,59,97,81,61,56,38,45,30,54,32,40,93,90,94,57,85,39,34,86,49,62</i>
26042	<i>55,54,99,44,74,70,90,58,56,69,75,46,42,98,71,88,43,85,41,67,39,89,93,65,84,73,76,45,49,80,68,37,59,66,91,77,48,63,47,52,95,50,51,78,72,96,61,53,92,38,86,83,62,82,60,97,87,57,64,40</i>
26149	<i>55,66,51,44,93,95,70,72,96,88,67,62,47,79,84,94,54,73,91,90,99,97,61,58,71,74,98,69,46,52,80,65,56,63,57,59,60,48,64,50,92,43,68,53,45,87,49,89,86,85</i>
26218	<i>77,66,76,93,96,95,67,62,78,70,72,75,88,91,54,73,97,99,74,90,58,83,79,94,71,84,81,69,61,56,68,82,86,80,64,92,53,89,63,52,87,60,65,59,85,57,50</i>
26241	<i>90,93,88,74,55,75,66,97,78,99,81,70,72,84,87,58,54,80,76,69,73,67,86,96,56,85,89,83,63,71,61,92,68,65,94,60,64,57,77,59,62,82</i>
26243	<i>78,55,90,74,93,58,56,75,54,88,64,81,79,84,83,76,67,71,68,80,66,69,97,70,63,98,85,94,61,99,92,73,87,72,89,57,62,59,60,86,77,82,65</i>
26248	<i>93,55,74,56,58,75,84,78,91,88,99,92,67,81,69,85,63,66,87,73,79,71,90,59,70,60,76,98,80,68,94,72,97,83,61,65,64,95,62,96,89,82,77,86,57</i>
26249	<i>76,55,66,70,92,73,77,91,71,72,93,67,87,99,94,62,95,75,96,59,61,88,56,85,97,83,78,81,68,65,74,98,79,86,89,69,84,90,64,60,58,80,63,82,57</i>
26263	<i>76,93,77,66,74,92,69,91,63,73,67,88,70,90,96,68,61,75,71,83,59,95,84,72,78,85,65,86,60,62,81,99,79,89,98,94,97,87,80,64,82</i>
26267	<i>74,93,76,70,66,75,67,91,83,69,90,78,72,73,71,92,84,88,81,85,80,98,99,86,60,94,79,77,97,61,65,68,63,87,89,64,59,62,82</i>
26268	<i>76,93,90,78,75,69,88,74,84,67,91,70,73,66,81,98,61,71,79,68,72,92,80,83,85,59,77,97,99,63,65,89,87,64,82,94,62,60,86</i>
26272	<i>55,76,93,74,54,58,78,75,67,69,90,77,70,56,91,66,92,96,73,84,83,88,72,81,63,71,61,95,85,79,98,99,80,97,65,68,86,87,60,89,59,57,62,64,82</i>
26277	<i>88,78,84,75,74,93,81,87,72,68,79,71,67,63,85,76,69,96,70,92,73,66,94,89,99,80,95,77,83,62,60,61,97,65,82,86,98,64</i>
26278	<i>74,76,77,90,67,70,91,69,78,75,63,66,73,84,85,83,81,89,61,86,71,88,72,65,87,82,68,60,80,79,62,64</i>
26280	<i>76,93,92,70,77,99,75,73,79,91,68,96,61,62,66,71,69,65,95,72,97,67,85,88,98,74,83,81,89,87,78,86,84,94,63,90,60,64,80,82</i>
26285	<i>93,76,96,77,69,74,70,91,75,92,61,83,67,66,81,90,72,99,73,84,95,88,78,79,68,97,71,62,85,63,86,98,65,87,80,89,64,82</i>
26286	<i>78,91,75,74,93,67,92,81,71,79,84,70,69,63,68,85,76,94,73,80,88,97,87,65,72,89,90,61,66,83,62,86,64,82,77</i>
26289	<i>88,93,99,74,84,91,87,69,78,89,75,73,92,98,71,85,70,94,67,66,76,80,63,83,90,65,79,68,62,95,72,61,96,82,86,64,97,77</i>
26291	<i>78,81,74,84,75,67,68,90,69,79,88,97,71,80,64,70,83,73,85,94,66,76,91,87,72,63,98,99,62,89,86,65,61,92,93,77,82</i>
26292	<i>76,67,74,78,66,69,75,70,71,73,68,72,61,81,84,79,83,99,85,95,87,64,80,77,62,65,63,92,86,82</i>
26296	<i>92,93,77,70,96,75,66,73,91,61,71,68,65,95,83,69,79,72,94,85,97,87,89,98,67,86,78,74,88,81,62,84,90,63,64,80,82</i>
26337	<i>76,67,66,70,69,74,73,78,68,93,75,71,99,92,83,81,72,84,77,96,95,65,79,85,82,94,97</i>
26388	<i>76,92,87,66,73,78,77,62,75,94,70,71,93,85,61,83,67,72,99,91,97,86,84,69,96,82,64,88,74,68,95,65,81,89,63,90,79,80</i>
26389	<i>67,74,78,66,69,70,90,91,93,73,75,71,68,81,96,99,84,88,72,64,83,79,85,87,95,61,77,63,65,94,62,89,92,86,97,82,80</i>
26416	<i>93,77,92,91,74,87,88,94,83,81,78,79,85,84,75,99,96,97,95,98,90,86,80,82</i>
26422	<i>76,89,88,73,77,85,81,83,78,75,90,74,79,82,80</i>
26423	<i>76,91,74,89,77,73,87,85,78,84,90,79,88,75,83,86,82,81,80</i>

Notas: Los años en negritas son los años en que no ocurrió ciclón alguno en la zona de estudio.

Los años en cursivas y negritas indican que en ese año en la región hidrológica a la que pertenece la estación no hubo algún ciclón.

Tabla 3.5 Relación entre los años no ciclónicos y los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica (continuación)

Clave	Año
26429	77,95,93,88,90,73,91,76,94,78,99,96,89,92,74,85,84,81,83,75,79,80,86,87,98,82
26430	96,74,81,90,98,78,99,83,84,91,76,73,75,92,80,86,94,97,85,89,87,77,79,88,82,93
26431	93,91,90,81,74,96,78,79,98,92,76,88,75,89,95,73,80,86,87,85,97,77,82
27001	55,95,67,69,54,99,74,88,77,53,86,91,92,66,84,80,76,81,73,89,90,61,79,78,93,58,72,82,98,83,96,56,75,94,97,63,71,87,65,85,59,64,70,57,68,60,62,52
27002	55,54,87,74,88,90,92,91,98,76,81,78,79,58,71,75,89,69,68,84,66,97,95,63,59,73,99,93,56,70,67,53,94,60,83,72,62,65,96,77,61,80,86,82,57,64,85
27004	66,63,69,68,67,65,60,62,61,64
27005	74,75,86,67,99,77,90,88,78,80,73,83,72,79,84,82,70,76,81,93,92,85,96,97,87,95,69,89,91,98,94,61,68,63,60,62,64
27006	95,99,82,86,88,91,66,67,76,81,80,75,78,85,79,92,98,84,89,90,70,72,74,83,93,77,63,71,97,87,73,96,94,61,65,69,68,62,64
27007	74,73,99,84,77,72,80,95,71,81,78,76,79,69,70,75,85,88,83,91,93,82,92,86,98,67,96,90,87,68,89,97,94,66,65
27015	88,90,92,84,89,93,91,82,95,94,86,83,96,85,87
27020	44,55,54,50,69,57,47,45,61,66,67,63,59,49,46,51,60,68,52,53,56,48,65,62,64,58
27021	61,52,58,69,63,70,76,59,62,51,74,49,66,68,77,75,48,60,65,67,64,71,73,53,72,57,50
27024	61,63,74,66,69,67,52,54,71,60,70,64,72,65,59,53,73,62,68
27030	74,69,71,75,76,61,57,66,79,58,63,78,64,72,73,67,77,65,59,60,62,70,68
27037	74,70,75,69,73,71,61,58,66,79,67,65,78,64,63,76,72,62,59,57,68,60,77
27038	74,69,75,58,65,71,66,79,70,63,76,72,78,60,61,62,73,67,68,57,64,59,77
27042	81,86,74,88,89,73,71,69,92,66,95,76,75,98,84,77,67,87,64,65,72,91,90,63,97,93,96,68,83,94,70,62
27047	69,71,84,68,88,76,74,66,79,73,72,95,86,65,81,90,87,96,92,89,70,91,93,78,75,63,83,80,64,77,62,94
27049	78,74,73,69,81,62,86,75,76,72,95,89,88,66,71,90,92,80,79,65,93,84,96,63,67,91,87,70,64,77,68,94,83
27050	71,78,73,69,65,77,76,63,75,66,79,72,64,74,70,81,62,80,68
27052	74,84,88,81,95,66,79,89,92,69,73,75,85,93,71,78,80,82,86,64,91,65,67,90,83,72,63,87,70,94,77
27068	54,49,52,58,61,53,51,59,47,46,57,48,50,60,63,64,62
27069	54,81,61,51,49,52,50,46,57,58,63,47,60,53,48,59,64,62
27075	67,56,54,53,61,63,65,58,59,62,66,64,68,57,60,55,69
27076	59,55,61,56,66,63,57,58,60,65,64,56,62
28001	74,78,73,75,88,87,99,83,97,91,84,89,86,96,93,92,95,98,90,72,76,85,71,82,77,94
28003	61,60,93,99,74,55,97,84,69,98,88,81,80,72,52,66,59,79,67,76,73,92,75,83,58,65,51,91,78,95,53,89,70,68,94,56,57,54,62,96,63,90,85,71,86,87,82,77,64
28013	59,74,75,92,80,81,91,87,73,78,88,76,69,82,83,52,68,60,96,97,54,84,86,89,98,93,85,58,90,79,61,51,72,71,56,53,55,70,95,65,99,50,63,64,77,62,67,66,57,49,94,48
28015	69,89,78,73,74,88,75,96,80,92,91,83,95,81,63,68,87,60,66,84,70,55,58,86,61,52,82,85,76,79,71,72,51,56,57,65,62,54,50,49,64,59,67,53,77,48
28016	81,58,75,69,73,83,74,60,50,79,52,72,61,65,66,84,68,51,70,54,56,80,86,76,59,87,55,64,85,78,63,67,62,53,71,82,57,77,49,48
28017	74,75,69,73,60,58,61,68,72,76,66,65,67,71,59,70,63,57
28018	69,78,80,74,75,73,76,60,55,79,66,52,68,58,77,61,70,72,51,57,71,64,59,56,65,63,54,49,67,50,53,62
28019	74,58,73,69,55,60,53,52,50,54,61,70,76,63,51,78,72,66,65,56,67,68,59,62,49,64,57,77
28020	75,69,60,73,66,71,78,74,68,61,63,55,58,67,65,70,52,57,54,76,51,72,77,56,50,64,62,49,59,53
28023	74,61,69,75,70,78,52,55,73,72,76,58,59,51,60,56,68,50,67,66,64,63,65,57,62,53,54,49,77,
28025	55,52,60,56,99,67,51,74,58,53,93,91,71,49,69,96,63,92,68,97,50,66,65,54,84,64,90,88,89,98,76,86,61,75,82,62,78,57,70,59,83,87,85,95,94,77
28026	74,75,64,70,58,52,54,61,69,67,50,59,65,60,57,66,68,55,76,56,77,51,62,63,71,49,53
28030	55,74,93,72,99,95,76,61,78,66,51,79,84,81,62,97,50,60,73,96,75,92,98,54,69,83,80,63,91,67,77,58,59,86,90,56,85,68,89,94,70,88,87,82,57,53,71,64

Notas: Los años en negritas son los años en que no ocurrió ciclón alguno en la zona de estudio.

Los años en cursivas y negritas indican que en ese año en la región hidrológica a la que pertenece la estación no hubo algún ciclón.

Tabla 3.5 Relación entre los años no ciclónicos y los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica (continuación)

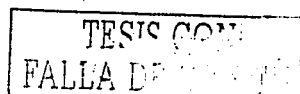
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Clave	Año
28039	74,75,72,69,55,54,80,58,98,76,60,59,61,79,56,57,67,73,70,93,52,91,66,88,62,86,78,92,53,63,77,87,65 71,68,64,94
28040	93,73,69,97,72,74,55,61,91,60,89,92,67,81,88,75,76,56,83,80,99,58,68,52,62,79,54,98,95,66,78,85,70 87,59,94,65,86,84,64,77,71,90,63,53,57,82,96
28056	73,58,53,83,96,92,75,69,59,61,99,74,86,76,89,60,67,55,82,88,84,68,78,91,54,62,98,65,72,85,56,70,64 71,57,66,63,97,87,90,77
28062	75,83,58,73,72,84,69,55,65,60,74,61,54,59,62,70,67,68,56,63,76,78,82,64,71,57,66,77
28064	69,58,74,75,80,73,83,60,54,55,87,61,84,59,72,65,86,63,68,82,66,70,56,62,67,71,64,57,79,78,77
28066	74,58,69,55,75,73,60,83,61,70,54,59,76,72,56,63,71,78,62,68,67,57,66,64,65,77,
28069	88,93,99,80,95,92,91,74,83,75,94,84,79,90,72,54,61,76,81,89,70,85,82,55,67,73,66,58,96,59,78,86,60 56,98,87,77,57,69,64,68,71,97,63,62,65
28072	55,69,59,80,62,66,71,76,74,78,56,79,73,60,63,75,58,57,72,70,67,68,64,65,77,61
28074	69,62,60,74,59,71,78,55,66,58,57,76,75,73,70,63,72,64,67,61,77,68,56,65
28075	61,58,75,83,69,73,68,76,60,65,78,56,70,57,66,71,77,72,85,62,67,59,63,64
28099	60,75,59,63,58,76,64,65,61,74,67,77,62
28102	73,78,72,64,63,75,71,66,77,76,70,65,67,69,59,74,62,60,68,61
28103	69,74,64,75,81,80,70,60,83,61,67,72,73,68,79,66,59,65,63,71,82
28108	72,74,93,66,63,84,92,81,79,75,69,73,62,76,86,83,91,95,89,78,96,65,98,90,70,80,77,67,88,97,99,82,71 87,64,68
28111	93,74,72,98,76,79,81,84,99,78,75,80,89,66,73,92,83,96,69,91,85,86,65,70,97,88,95,77,64,82,68,67,94 90,87,71
28119	81,97,93,89,82,95,91,80,88,83,94,92,90,86,96,75,70,78,71,74,69,79,73,76,72,68
28122	88,74,91,97,99,70,93,75,76,95,92,73,90,72,78,66,68,89,71,94,86,67,77,96,87
28125	99,98,74,97,66,93,73,72,80,81,91,75,78,88,84,69,95,79,70,94,76,92,68,67,87,71,85,83,90,96,89,86,82 77
28133	74,69,80,81,72,73,97,70,63,65,78,96,91,75,83,88,95,87,68,66,67,93,64,92,84,71,76,85,90,89,77,82
28134	61,74,69,73,66,88,75,84,93,68,67,76,79,72,70,62,65,87,85,80,94,78,90,83,89,63,71,86,77,64
28136	74,78,75,76,92,99,87,83,91,98,89,82,85,86,88,84,97,93,90,96,95,77,94
28143	75,99,82,98,74,84,78,76,83,85,77
28154	88,99,91,92,78,97,86,83,96,98,84,95,93,89,82,85,90,77,94
28158	96,88,97,92,99,86,90,91,98,78,83,95,87,93,89,85,84,77,82,94
29005	78,63,73,68,71,69,82,70,89,61,91,72,95,66,60,96,99,55,83,75,81,88,97,58,67,93,64,76,62,98,65,56,54 59,57,94
29006	73,82,68,69,79,60,61,83,86,70,95,56,63,96,97,58,67,66,81,72,71,87,54,84,62,57,64,65,55,88,76,99,98 59,93,53,89,90,94
29007	74,80,85,70,73,72,71,82,83,81,68,67,79,78,76,69,84
29008	99,98,82,96,78,89,83,97,95,91,79,81,90,88,84,77,93,80,87,76,86,92,94
29009	76,83,80,97,81,96,82,89,78,92,86,87,75,77,93,99,79,95,91,98,90,94
29010	99,90,89,81,82,97,96,98,91,93,95,92,94
29012	98,96,82,88,85,95,92,86,93,81,84,89,91,83
29014	85,95,98,86,91,83,88,93,84,87,82,97,92,89,96,81
30016	90,92,89,64,81,71,62,61,67,78,68,69,80,79,73,99,82,52,63,86,84,70,75,96,77,66,97,95,65,98,74,76,72 58,48,55,60,53,57,59,49,54,51,56,91,50,83,94,85,47
30019	95,82,88,90,89,67,75,79,74,69,72,66,65,78,73,55,70,93,80,96,52,92,56,68,63,54,60,50,53,91,94,76,77 71,62,57,58,48,64,49,61,85,51,59
30020	89,98,63,80,73,82,97,70,81,99,86,58,69,62,74,52,83,55,88,71,72,78,54,93,95,76,60,66,56,79,96,67,92 68,53,87,59,85,64,75,61,65,91,90,77,57,94,50,49,51,48

Notas: Los años en negritas son los años en que no ocurrió ciclón alguno en la zona de estudio.

Los años en cursivas y negritas indican que en ese año en la región hidrológica a la que pertenece la estación no hubo algún ciclón.

Tabla 3.5 Relación entre los años no ciclónicos y los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica (continuación)



Clave	Año
30031	51,67,78,59,64,77,65,74,63,56,76,75,55,80,72,73,82,68,97,95,70,61,69,58,99,92,57,94,81,96,66,53,71,54,62,79,52,98,60,93,50
30032	74,73,72,75,78,51,64,52,53,57,55,81,79,70,77,58,61,69,65,68,89,76,63,56,59,80,66,99,85,88,94,84,54,92,86,82,62,97,98,60,71,83,93
30040	63,73,70,62,55,71,54,65,68,60,56,66,69,67,74,64,58,61,59,72,57
30041	80,64,68,65,89,73,55,69,70,78,54,67,71,88,59,74,56,84,79,58,92,57,82,81,97,90,93,75,83,87,85,72,86,96,77,76,95,91,94
30042	75,67,88,73,64,90,68,74,71,53,59,55,61,84,81,57,69,86,92,78,58,63,91,95,56,72,66,79,70,77,76,93,60,82,96,80,98,62,94,83,65,85,54
30053	70,63,62,65,73,64,60,66,61,58,69,56,59,68,71,57,72,67
30055	67,73,78,56,75,81,80,76,61,58,79,59,77,57,74,68,84,72,64,60,82,66,69,65,62,83,71,63,70,86,85
30056	56,62,70,63,72,66,73,68,58,71,57,60,69,61,65,64,67,59
30057	67,69,78,80,68,64,65,72,73,74,77,81,56,82,61,75,70,79,89,59,76,63,58,84,62,97,60,85,96,71,88,66,86,95,83,98,87,99
30066	74,78,73,79,70,75,81,76,68,77,69,82,61,65,72,80,64,85,63,66,83,62,71
30070	79,73,67,78,61,75,76,72,80,81,70,77,65,69,62,68,64,63,66,71
30071	80,73,70,81,84,72,71,61,74,63,78,69,95,79,66,75,67,77,83,76,64,68,82,94,85,62,92,65,91,96
30072	80,89,88,98,73,63,70,81,83,62,64,71,74,69,78,66,79,68,67,99,93,65,96,75,85,97,72,92,91,82,76,90,77,94
30088	55,66,56,79,89,80,54,95,63,53,82,65,88,84,52,90,68,60,96,73,69,87,92,61,94,70,91,78,58,93,67,75,81,83,72,76,57,62,77,59,85,64,71,74
30091	79,78,70,73,67,75,66,74,65,68,77,72,71,76
30093	67,74,73,86,90,78,75,79,84,69,81,70,89,93,87,71,92,66,77,98,95,76,72,83,82,68,65,88,94,91,80,85
30094	74,77,67,84,75,76,85,81,98,88,78,68,65,72,73,70,66,69,96,95,71
30096	80,67,79,73,81,75,76,65,68,72,74,66,77,70,83,84,78,69,71
30102	69,79,66,82,78,80,81,75,96,70,65,97,77,73,68,95,67,74,91,76,71,72,83,85
30111	74,73,75,71,90,96,87,84,99,78,79,69,86,70,98,83,66,88,68,81,82,92,93,97,77,85,94,76,80,72,91
30123	75,67,74,79,73,82,78,72,68,93,88,66,92,86,87,70,90,81,89,69,83,76,71,80,91,77,85,65
30133	73,79,81,70,84,69,82,74,75,71,80,72,68,85,87,76,83,77,86,78
30137	83,82,88,92,84,74,81,73,90,89,87,66,69,70,76,71,86,93,68,75,67,79,80,85,91,78,72,77
30140	70,67,81,74,71,80,73,79,75,78,66,72,68,76,77
30141	74,67,88,73,84,82,90,69,93,78,79,71,72,87,66,68,89,70,75,83,76,80,86,85,77
30143	69,72,75,79,78,73,74,70,77,76,71,80
30145	92,89,93,84,75,70,72,87,69,81,86,73,83,85,71,76,74,77,82,91,90
30149	84,81,88,69,93,70,87,72,73,68,90,79,76,71,89,82,83,75,92,77,85,91,86,74
30150	84,93,87,75,69,72,73,82,81,70,89,90,86,88,76,74,78,91,80,68,77,85,92,71,83
30151	67,69,74,73,70,72,75,79,78,66,71,68,65,80,77,76
30152	74,78,79,67,81,69,70,75,73,80,76,72,71,66,65,68,89,77
30155	73,70,69,79,64,81,78,80,65,68,71,76,77,74,75,66,72,67
30177	84,81,88,90,82,93,79,73,75,72,87,78,74,89,85,80,92,83,76,71,77,86,91
30181	95,96,63,97,56,55,82,98,54,69,79,88,80,75,68,99,73,81,57,78,83,74,76,67,70,66,60,58,65,64,72,61,59,77,71
30182	79,86,85,73,89,78,74,88,90,75,91,92,84,72,82,80,87,77,76,83,93

Notas: Los años en negritas son los años en que no ocurrió ciclón alguno en la zona de estudio.

Los años en cursivas y negritas indican que en ese año en la región hidrológica a la que pertenece la estación no hubo algún ciclón.

Tabla 3.5 Relación entre los años no ciclónicos y los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica (continuación)

MESES CON
FALLA DE ORIGEN

De la tabla 3.5 se pueden realizar, en cuanto a los gastos máximos registrados se refiere, las siguientes observaciones:

- En los registros de los gastos máximos anuales de la mayor parte de las estaciones hidrométricas en los años que se vieron afectadas por un ciclón, los gastos registrados son menores a los correspondientes a los años en que no se vieron afectadas por un ciclón.
- En varias estaciones los gastos más grandes de los registros corresponden a años en los cuales no se presentó algún ciclón en la zona de estudio o en la región hidrológica correspondiente, por lo que dichos gastos corresponden a las características meteorológicas dominantes de la región.

En la figuras 3.12 a 3.14 se presentan los registros de los gastos máximos anuales, de algunas de las estaciones hidrométricas, en donde se muestran las observaciones realizadas en los incisos anteriores.

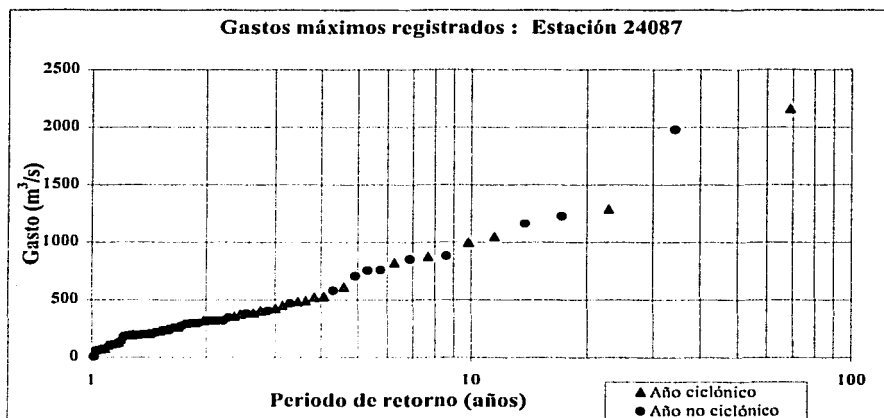


Figura 3.12 Ejemplo de una estación hidrométrica en donde no se puede definir el parámetro P de la función de distribución para dos poblaciones.

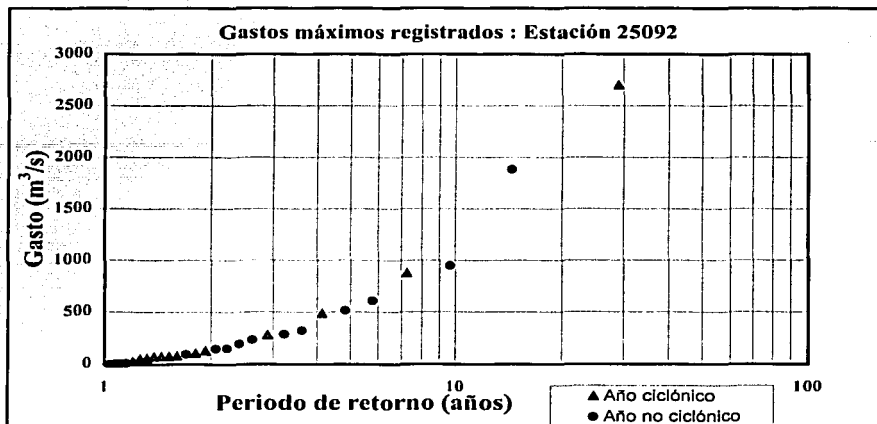


Figura 3.13 Ejemplo de una estación hidrométrica en donde no se puede definir el parámetro P de la función de distribución para dos poblaciones.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se concluye que para un radio de influencia de los ciclones tropicales de 200 km, no es posible determinar el valor de la probabilidad de tener eventos ciclónicos en cada una de las estaciones hidrométricas. Por lo que el valor de la probabilidad se obtendrá incorporando dicha variable en la optimización del cálculo de los parámetros de la función de distribución para dos poblaciones doble, dicha optimización se realizara con la ayuda de un método numérico, el cual se explicará en el capítulo 4,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4

Análisis de frecuencias de gastos máximos

En el diseño de diversos tipos de obras hidráulicas, la determinación de la avenida de diseño depende del periodo de retorno para el cual se diseñan las obras. Para la determinación de la magnitud de la avenida es necesario hacer extrapolaciones a partir de los gastos máximos anuales registrados en el lugar donde se construirá la obra, pues casi siempre el periodo de retorno de diseño es mayor al número de registros de gastos máximos anuales. Es evidente que la magnitud de la obra dependerá del valor del gasto de diseño.

Para tener una buena estimación de la avenida de diseño es necesario ajustar los gastos máximos anuales a una función de distribución de probabilidad. Una función que se ajusta de una manera satisfactoria (Campos, 1989) a este tipo de datos es la función de distribución Gumbel, la cual fue desarrollada para el análisis de valores extremos (Gumbel, 1958).

Sin embargo, en zonas costeras como el Golfo de México el tratar de ajustar los gastos máximos anuales a una función de distribución de probabilidad Gumbel no sería del todo razonable, ya que se puede observar con claridad la existencia de dos grupos de avenidas con características diferentes, el primero originado por precipitaciones debido a los fenómenos dominantes en la región y el segundo, originado por precipitaciones de origen ciclónico, que comúnmente provocan las avenidas más grandes. Por esto es necesario estudiar y hacer un análisis de frecuencias considerando que los gastos máximos anuales se originan por dos procesos diferentes que dan lugar a una función de distribución mezclada o de dos poblaciones (Campos, 1989).

Antes de proceder con la descripción del análisis de frecuencias es necesario tener presentes algunos conceptos que serán utilizados frecuentemente.

Experimento

Es toda acción que se realiza con el fin de observar un resultado.

Evento

Es todo resultado de un experimento. Al conjunto de todos los resultados posibles de un experimento se le denomina espacio muestral y se denota comúnmente con la letra S .

Se dice que dos eventos A y B son mutuamente excluyentes si no pueden ocurrir juntos, esto es $A \cap B = \phi$

Probabilidad

Si un experimento tiene n resultados igualmente posibles y mutuamente excluyentes y si de ellos n_a resultados tienen atributo a , entonces la probabilidad de que ocurra un evento A con atributo a es

$$P(A) = \frac{n_a}{n}$$

Axiomas de probabilidad

Axioma 1. $0 \leq P(A) \leq 1$

Axioma 2. $P(S) = 1$

Axioma 3. Si A y B son dos eventos mutuamente excluyentes en S , entonces $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$

Función de densidad de probabilidad (fdp)

Se dice que Q es una variable aleatoria continua, si existe una función f llamada *función de densidad de probabilidad* de Q , que satisface las siguientes condiciones

a) $f(q) \geq 0$ para toda q

$$b) \int_{-\infty}^{\infty} f(q) dq = 1$$

c) para cualquier valor a y b , tal que $-\infty < a < b < \infty$, se tiene que

$$P(a \leq Q \leq b) = \int_a^b f(q) dq$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Función de distribución acumulada (fda ó FDP)

Si Q es una variable aleatoria continua, se define $F(q)$ como una función de distribución acumulada de la variable aleatoria q como la probabilidad de que dicha variable con densidad de probabilidad $f(q)$ tome un valor menor o igual de Q , esto es

$$F(q) = \int_{-\infty}^q f(q) dq$$

a partir del teorema fundamental del cálculo se tiene que

$$f(q) = \frac{dF(q)}{dq} \quad (4.1)$$

siempre que tal derivada exista.

Periodo de retorno (Tr)

Es el número de años en que un evento puede ser igualado o excedido en promedio y a la larga.

Si se tienen n datos de una muestra, para asignar un periodo de retorno a cada evento se puede utilizar la fórmula de Weibul (Gumbel, 1958)

$$Tr = \frac{n+1}{m} \quad (4.2)$$

donde m es el número de orden en una lista de mayor a menor.

El periodo de retorno está asociado con la probabilidad de que un evento sea igualado o excedido mediante la ecuación

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

donde P es la probabilidad de excedencia.

Como la FDP es la probabilidad de que una variable Q tome un valor menor o igual a q , es decir $F(q) = P(Q \leq q)$, el periodo de retorno se define en función de FDP como

$$Tr = \frac{1}{1 - F(q)} \quad (4.3)$$

4.1 Función de distribución para dos poblaciones

Como ya se mencionó anteriormente, en la zona de estudio los gastos máximos anuales muestran la presencia de dos grupos de crecientes, por lo que se supondrá que cada uno de los dos grupos de avenidas puede ser descrito por separado con una función de distribución Gumbel.

La función de distribución Gumbel se define como (Gumbel, 1958)

$$F(q) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta)}{\alpha}\right)\right\} \quad (4.4)$$

y su función de densidad de probabilidad es:

$$f(q) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\frac{(q-\beta)}{\alpha} - \exp\left(-\frac{(q-\beta)}{\alpha}\right)\right\} \quad (4.5)$$

donde α y β son los parámetros de escala y de ubicación respectivamente, cuyos valores se pueden estimar de acuerdo con el método de momentos como (Kite, 1977)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (4.6)$$
$$\beta = q - 0.5772\alpha$$

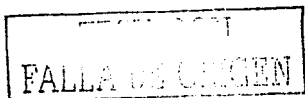
donde q y S son la media y la desviación estándar de los gastos máximos registrados respectivamente.

González Villareal (González, 1970) dedujo una función de distribución de probabilidad de los gastos máximos anuales cuando éstos provienen de dos poblaciones, la cual está dada por

$$F(q) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} \left\{P + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_2)}{\alpha_1}\right)\right\}\right\} \quad (4.7)$$

donde

- P es la probabilidad de tener eventos no ciclónicos, adimensional
- q es el gasto máximo anual para el cual se estima la probabilidad de no excedencia en m^3/s
- α_1 es el parámetro de escala de la población no ciclónica en m^3/s
- β_1 es el parámetro de ubicación de la población no ciclónica en m^3/s
- α_2 es el parámetro de escala de la población ciclónica en m^3/s
- β_2 es el parámetro de ubicación de la población ciclónica en m^3/s



Una observación de la ecuación anterior es que cuando se tienen solo eventos no ciclónicos ($P=1$) la ecuación se reduce a una función de distribución Gumbel, mientras que en el caso de que se tengan solo eventos ciclónicos ($P=0$) la ecuación 4.7 toma la forma

$$F(q) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\} \quad (4.8)$$

la cual no corresponde a una función de distribución Gumbel. Esto se debe a que la deducción de la ecuación 4.7 se hizo tomando cierta probabilidad de que en un año ciclónico el gasto máximo presentado se deba a las precipitaciones ordinarias y no a los eventos ciclónicos.

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias en el presente trabajo se plantea la función de distribución de probabilidad para dos poblaciones considerando que los grupos son mutuamente excluyentes, es decir un cierto gasto se debe a un evento ciclónico o no; por lo que la función de distribución de probabilidad para una muestra que presente la presencia de dos poblaciones estará definida como (Haan, 1977)

$$F(q) = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\} \quad (4.9)$$

y de acuerdo con la ecuación 4.1 la función de densidad de probabilidad es

$$f(q) = \frac{dF(q)}{dq} = \frac{P}{\alpha_1} \exp\left\{-\frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1} - \exp\left(-\frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + \frac{(1-P)}{\alpha_2} \exp\left\{-\frac{(q-\beta_2)}{\alpha_2} - \exp\left(-\frac{(q-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\} \quad (4.10)$$

4.2 Estimación de parámetros

Una vez que se ha planteado la función de distribución de probabilidad que se usará es necesario calcular sus respectivos parámetros para poder determinar los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno.

Entre los métodos para estimar los parámetros de una *fdp* se encuentran el del error cuadrático mínimo (*ECM*), el de máxima verosimilitud y el de momentos.

Para estimar los parámetros por el método de momentos es necesario calcular hasta el quinto momento y posteriormente resolver el sistema de ecuaciones resultante, el cálculo de estos momentos no es del todo sencillo, ya que las integrales que se tienen que resolver tienen un cierto grado de dificultad; por lo que para calcular los parámetros se utilizarán los métodos del *ECM* y el de máxima verosimilitud.

Cabe señalar que en el cálculo de los parámetros, el parámetro P no entra al proceso de optimización, esto debido a que los valores resultantes de la optimización dependen de los valores iniciales que se le den a dichos parámetros, en otras palabras el sistema de ecuaciones por máxima verosimilitud y la ecuación del *ECM* no tienen solución única.

De acuerdo con lo anterior se propusieron valores de P , los cuales variaron entre 0.5 y 0.96, obteniendo los parámetros restantes mediante el proceso de optimización. Posteriormente los valores finales de los parámetros fueron aquellos que para el valor de P dieron menor error en el ajuste, además el valor final de P se comparó con las gráficas de gastos máximos anuales contra periodo de retorno para verificar que su valor fuera congruente con dichas gráficas.

El proceso anterior se llevó a cabo debido a que en el análisis de incidencia de ciclones (Capítulo 3) no fue posible determinar de una manera exacta el valor del parámetro P de cada una de las estaciones hidrométricas.

A continuación se describen los métodos de *ECM* y el de máxima verosimilitud

4.2.1 Error cuadrático mínimo

Este criterio consiste en minimizar la suma de los errores cuadráticos pesados (E), entre los valores empíricos $F(q)$ (ec. 4.9) y los valores estimados $\hat{F}(q)$, esto es (González, 1970):

Encontrar $P, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2$ y β_2 tales que minimicen la función

$$E = \sum_{i=1}^n [F(q_i) - \hat{F}(q_i)]^2 W_i \quad (4.11)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de acuerdo con las ecuaciones 4.2 y 4.3 se tiene que los valores estimados de la función de probabilidad están dados por

$$\hat{F}(q_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (4.12)$$

donde

- $\hat{F}(q_m)$ Valor estimado de la función de distribución de probabilidad para el gasto máximo anual
- m Número de orden del gasto máximo anual (q), cuando estos son ordenados en forma creciente
- n Número de registros
- W_i Peso asignado al error cometido, que es la estimación de la función de distribución en el gasto de orden i

Existe un gran número de métodos para minimizar funciones como la dada por la ecuación 4.11, de los cuales algunos ya han sido aplicados a este tipo de análisis como son el método del máximo ascenso (González, 1970), cuya característica es su lenta convergencia, además de que es necesario evaluar las derivadas de la función con respecto a cada parámetro a determinar, y el algoritmo de Rosenbrock (Campos, 1989), el cual se aplica a funciones de múltiples variables no restringidas y su característica principal es la búsqueda de la solución de forma directa y rápida, es decir no hay que evaluar las derivadas de la función.

El algoritmo de Rosenbrock conduce a valores menores del error estándar que el método del máximo ascenso (Campos, 1989). En el anexo B se da una descripción general del algoritmo de Rosenbrock.

4.2.2 Método de Máxima Verosimilitud

Sean q_1, q_2, \dots, q_n los valores muestrales para las variables aleatorias independientes Q_1, Q_2, \dots, Q_n . Entonces si Q_1, Q_2, \dots, Q_n son variables aleatorias continuas, la función de verosimilitud $L(q_1, q_2, \dots, q_n)$ se define como la densidad conjunta evaluada en q_1, q_2, \dots, q_n ; por lo que la función de verosimilitud para una distribución continua con función de densidad $f(q)$ es (Mendenhall, 1994)

$$L(q_1, q_2, \dots, q_n) = f(q_1, q_2, \dots, q_n) = f(q_1) \cdot f(q_2) \cdot \dots \cdot f(q_n) \quad (4.13)$$

La técnica de máxima verosimilitud selecciona como estimadores aquellos valores de los parámetros que maximizan la función de verosimilitud, los cuales generalmente son estimadores insesgados de mínima varianza (Mendenhall, 1994).

Para poder estimar los parámetros que maximizan la función de verosimilitud es necesario calcular las derivadas de dicha función con respecto a cada uno de los parámetros e igualar cada derivada a cero y así obtener un sistema de ecuaciones, el cual será necesario resolver para obtener los parámetros buscados.

Dado que L es un producto de funciones, la derivación de tales productos es tediosa, por lo que es más fácil encontrar el valor de los parámetros que maximicen a la función logarítmica de la verosimilitud ($\ln L$). Ya que $\ln L$ es una función monótona creciente de L , por lo que los valores de los parámetros que maximizan a L corresponden también a los valores de los parámetros que maximizan a $\ln L$ (Mendenhall, 1994).

La mayor ventaja de los estimadores de máxima verosimilitud, es que sus propiedades se han estudiado a fondo y son bien conocidas, prácticamente con independencia de la función de densidad. Los estimadores por máxima verosimilitud tienen aproximadamente (para n grande) distribución normal, además de ser insesgados, eficientes, invariantes, consistentes y suficientes (Benjamin, 1970).

La ecuación de máxima verosimilitud para la ecuación 4.9 es

$$L = f(q_1) \cdot f(q_2) \cdot \dots \cdot f(q_n) = \prod_{i=1}^n f(q_i) = \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{P}{\alpha_1} f_1(q_i) + \frac{(1-P)}{\alpha_2} f_2(q_i) \right\} \quad (4.14)$$

donde

$$f_1(q_i) = \frac{1}{\alpha_1} \exp \left\{ -\frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1} - \exp \left(-\frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1} \right) \right\}$$

y

$$f_2(q_i) = \frac{1}{\alpha_2} \exp \left\{ -\frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2} - \exp \left(-\frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2} \right) \right\}$$

y el logaritmo natural de la ecuación de verosimilitud es

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \frac{P}{\alpha_1} f_1(q_i) + \frac{(1-P)}{\alpha_2} f_2(q_i) \right\} \quad (4.15)$$

Así, para estimar los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 de la ecuación 4.9 se deriva la ecuación anterior con respecto a cada uno de los parámetros, posteriormente se igualan a cero cada una de las derivadas para así resolver el sistema de ecuaciones resultante. Dicho sistema de ecuaciones es:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha_1} = \frac{P}{\alpha_1^2} \sum_{i=1}^n \frac{f_1(q_i)}{f(q_i)} \left\{ \frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1} - \frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1} \exp\left(-\frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1}\right) - 1 \right\} = 0$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_1} = \frac{P}{\alpha_1^2} \sum_{i=1}^n \frac{f_1(q_i)}{f(q_i)} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{(q_i - \beta_1)}{\alpha_1}\right) \right\} = 0$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha_2} = \frac{(1-P)}{\alpha_2^2} \sum_{i=1}^n \frac{f_2(q_i)}{f(q_i)} \left\{ \frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2} - \frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2} \exp\left(-\frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2}\right) - 1 \right\} = 0$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta_2} = \frac{(1-P)}{\alpha_2^2} \sum_{i=1}^n \frac{f_2(q_i)}{f(q_i)} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{(q_i - \beta_2)}{\alpha_2}\right) \right\} = 0$$
(4.16)

El sistema de ecuaciones anterior es un sistema no lineal, por lo que para resolver dicho sistema se recurrirá a un método numérico. El método utilizado para resolver este sistema de ecuaciones es el llamado "Método de Broyden" (Burden, 1985), el cual es una versión del método de Newton, ya que este método utiliza el principio de la secante y evita el cálculo de la matriz Jacobiana, dicha matriz es aproximada por medio de diferencias finitas. En el anexo B se hace una descripción de este método.

4.3 Ajuste de la función de distribución a las estaciones hidrométricas

Para calcular el valor de los parámetros de la función de distribución de probabilidad dada por la ecuación (4.9) o (4.10), se aplicaron los métodos del error cuadrático mínimo (*ECM*) y el de máxima verosimilitud para cada una de las estaciones.

A fin de poder hacer una comparación entre los métodos del *ECM* y el de máxima verosimilitud es necesario evaluar numéricamente y de una manera objetiva la bondad o calidad del ajuste realizado, esto se puede hacer mediante el cálculo del error estándar de ajuste *EEA*, el cual se define como (Campos, 1989)

$$EEA = \sum_{i=1}^N \left[\frac{(q_o - q_e)^2}{N - np} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

donde q_o son los gastos máximos anuales observados y q_e los estimados con la ecuación (4.9), que corresponden a la misma probabilidad asociada con los gastos registrados por medio de la ecuación (4.12); np es el número de parámetros de la *f.d.p* utilizada y N es el número de registros.

Una vez encontrados los parámetros de ajuste para calcular q_p , se igualan las ecuaciones (4.9) y (4.12), y la ecuación resultante se resuelve con ayuda de un método numérico, el cual en este caso fue el de la bisección.

En la tabla 4.1 se muestran los valores de los parámetros de ajuste. Dichos parámetros corresponden al método con menor *EEA* para cada una de las estaciones hidrométricas; mientras que en la tabla 4.2 se muestran los gastos ajustados para diferentes periodos de retorno. El cálculo de dichos gastos se logra igualando las funciones de probabilidad dadas por las ecuaciones 4.3 y 4.9, esto es

$$F(q) = 1 - \frac{1}{T_r} = P \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{(q_{T_r} - \beta_1)}{\alpha_1} \right) \right\} + (1 - P) \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{(q_{T_r} - \beta_2)}{\alpha_2} \right) \right\} \quad (4.18)$$

para calcular el valor del gasto correspondiente al periodo de retorno T_r , se resolvió la ecuación anterior con el método de la bisección.

De la tabla 4.1 se puede concluir que el método que en general da menor error de ajuste de los gastos máximos anuales a la función de distribución de probabilidad Gumbel doble es el método del error cuadrático mínimo.

Con la finalidad de saber que tan correcto fue la utilización de la función de distribución de probabilidad Gumbel doble, se compararon los errores de ajuste obtenidos y mostrados en la tabla 4.1, con los errores de ajuste calculados a partir del ajuste de los registros de cada una de las estaciones hidrométricas a otras cinco funciones de distribución de probabilidad, a saber: distribución normal, distribución lognormal, distribución exponencial, distribución gamma de tres parámetros y distribución Gumbel. Las funciones de distribución mencionadas se pueden consultar en Aparicio (1997).

De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que en general la función de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los gastos máximos anuales es la Gumbel doble, ya que esta función fue la que mejor se ajustó a 163 de las 167 estaciones. Las cuatro estaciones restantes, cuyas claves son 26278, 26296, 26430 y 30150 se ajustaron mejor a la función de distribución normal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No	Clave	Estación	P	α_1	β_1	α_2	β_2	ER	EV
1	24087	Cienega de Flores	0.71	125.846	211.790	493.522	604.045	53	75
2	24088	El Cuchillo	0.71	252.874	337.572	1263.385	1925.367	222	290
3	24192	Montemorelos	0.88	45.485	39.717	158.726	253.575	21	33
4	24196	Los Herreras II	0.86	142.022	237.018	213.038	978.814	35	51
5	24291	Icamole	0.92	71.514	71.646	230.329	814.804	27	57
6	24301	Tepehuaje	0.96	260.269	340.692	626.841	4818.213	264	496
7	24326	La Arena	0.72	56.249	32.079	260.902	397.367	139	125
8	24327	Cadereyta II	0.89	117.708	136.785	154.686	855.049	27	82
9	24351	Los Aldamas	0.86	339.541	404.948	1026.619	3193.652	99	328
10	24384	Monterrey II	0.83	13.800	9.619	107.903	191.006	25	31
11	24387	Los Lermas	0.88	59.321	98.541	17.213	273.471	4	17
12	24399	Canada	0.81	40.736	51.247	89.158	413.091	14	21
13	25009	San Fernando	0.81	132.269	267.971	397.336	813.827	72	93
14	25010	Pablillo	0.75	43.665	53.368	108.848	286.593	18	18
15	25027	Camacho	0.58	77.019	105.230	147.976	463.644	36	36
16	25030	Cabezones	0.73	109.424	102.356	241.949	584.591	34	40
17	25034	Puerto de Valles	0.88	51.714	58.722	124.492	366.059	13	23
18	25037	La Esperanza	0.82	479.084	183.875	2315.338	1900.898	570	604
19	25038	Corona	0.96	234.467	248.908	245.465	995.058	54	70
20	25039	Paso del Aura	0.78	129.436	102.028	252.523	760.703	38	89
21	25040	Magueyes	0.90	62.894	87.531	175.118	373.960	41	35
22	25042	Cerro Prieto	0.63	11.080	-0.700	277.529	797.642	81	158
23	25043	El Tomasceno	0.97	83.574	94.411	90.465	543.940	9	18
24	25044	Purísima de Conchos	0.89	40.709	66.030	81.520	244.853	30	33
25	25061	Colmenas	0.86	14.209	26.193	46.969	444.093	21	88
26	25062	Padilla II	0.57	84.403	142.716	485.934	900.375	63	94
27	25085	Pilon III	0.84	14.951	67.595	46.056	169.173	8	12
28	25087	Paso de Molina	0.73	50.209	30.125	64.565	260.141	14	18
29	25091	El Barretal II	0.71	196.755	235.274	546.225	1511.583	79	116
30	25092	Barberena	0.90	133.767	86.676	681.953	1811.187	129	291
31	25093	La Pamona	0.86	34.104	60.589	32.225	213.679	8	14
32	25102	Buenavista	0.89	84.349	136.244	53.754	564.582	23	57
33	26030	El Salto	0.93	20.433	46.008	18.547	102.028	4	4
34	26042	Venados	0.93	88.512	88.705	843.996	1913.036	140	193
35	26149	San Gabriel II	0.79	75.134	82.320	544.910	1106.336	74	102
36	26218	La Encantada	0.92	87.140	35.382	661.541	1351.228	127	153
37	26241	Ballesmi	0.94	105.964	175.962	197.949	441.502	21	27
38	26243	Requetemu	0.91	367.133	734.298	420.066	2112.981	67	131
39	26248	Tempoal	0.78	583.250	1000.927	969.905	3970.810	154	193
40	26249	Magiscatzin II	0.92	669.310	869.907	946.733	4251.631	132	269
41	26263	Santa Rosa	0.93	408.807	805.042	710.683	3930.901	87	156
42	26267	Gallinas	0.94	114.068	258.700	148.889	589.181	23	27

Notas: ER= Error obtenido con el método del error cuadrático mínimo (Rosenbrock)

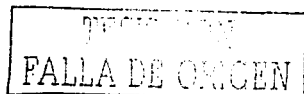
EV= Error obtenido con el método de verosimilitud

Tabla 4.1 Valores de los parámetros de la función Gumbel doble para cada una de las estaciones hidrométricas.

No	Clave	Estación	P	α_1	β_1	α_2	β_2	ER	EV
43	26268	Tansabaca	0.67	176.506	249.917	533.875	1740.840	85	145
44	26272	El Pujal	0.92	828.788	1288.630	1526.908	4157.926	150	197
45	26277	Los Hules	0.81	294.709	570.673	1126.695	1958.817	99	165
46	26278	El Choy	0.86	35.983	72.437	20.153	122.303	9	8
47	26280	La Servilleta	0.89	170.633	288.620	396.058	855.250	62	78
48	26285	Micos	0.93	84.423	216.950	291.116	504.113	18	35
49	26286	El Cardon	0.89	167.102	334.884	79.979	1248.431	40	98
50	26289	Terrerillos	0.85	603.757	752.442	347.758	3092.117	118	274
51	26291	Tancuillin	0.80	169.573	109.219	350.515	735.025	110	----
52	26292	Tanlacut	0.93	105.795	92.217	539.316	1961.864	157	179
53	26296	Rio Frio	0.78	169.627	446.105	69.321	620.075	44	52
54	26337	Nogal Oscuro	0.87	127.449	97.851	414.204	1250.056	44	124
55	26388	Sabinas	0.92	110.908	237.357	120.272	584.936	23	29
56	26389	Vigas	0.86	83.490	75.259	146.592	543.386	27	34
57	26416	Tamesi	0.91	326.485	950.570	211.271	1977.675	128	116
58	26422	Clavo De Oro	0.80	5.533	6.001	0.538	29.873	2	---
59	26423	El Refugio	0.81	63.857	112.610	60.433	172.744	22	24
60	26429	Guadalupe	0.85	37.238	11.361	86.667	315.669	23	378
61	26430	Agua Bucna	0.80	28.831	74.432	15.014	153.453	11	10
62	26431	Tamasopo	0.88	36.263	100.773	17.361	152.615	11	12
63	27001	Martínez de La Torre	0.92	555.810	835.404	1006.685	4386.862	139	470
64	27002	Poza Rica	0.80	658.691	1291.291	97.159	2704.514	110	195
65	27004	Alamo	0.71	204.148	456.994	49.433	532.670	94	95
66	27005	Libertad	0.95	642.664	773.218	1441.545	6724.625	159	385
67	27006	El Raudal	0.95	137.915	140.273	138.328	552.607	33	38
68	27007	Vega de La Torre	0.63	229.333	630.084	1938.383	4412.737	374	759
69	27015	Cazones	0.89	34.115	116.308	118.170	636.969	39	152
70	27020	Puente Enríquez	0.89	38.595	96.661	30.392	246.720	10	10
71	27021	Rancho Apulco	0.80	5.869	15.857	10.254	47.605	3	8
72	27024	Trinidad Y Minas	0.88	11.292	18.180	29.515	47.403	3	6
73	27030	Puente Xiucayucan	0.87	35.596	81.779	252.654	812.224	52	79
74	27037	Tepecapan	0.91	76.426	157.798	488.292	1021.744	27	93
75	27038	Malpico	0.89	1018.291	2138.963	671.862	7570.865	238	494
76	27042	El Remolino	0.89	405.178	695.451	31.576	1224.288	47	83
77	27047	Paso Tenampulco	0.93	375.893	822.293	5313.678	6962.455	268	853
78	27049	Tecuanitepec	0.88	259.056	870.587	1106.524	2901.552	216	352
79	27050	Santa ANA	0.80	61.513	176.559	100.785	504.913	28	32
80	27052	Buenos Aires	0.86	118.650	209.703	2314.458	916.701	82	349
81	27068	Las Minas	0.85	33.319	94.175	202.052	564.129	12	89
82	27069	Las Minas Xuicayucan	0.87	596.002	513.366	670.516	2271.340	154	192
83	27075	San Joaquín	0.71	125.204	208.036	449.572	1155.564	28	312
84	27076	Zoquimota	0.69	192.131	1098.653	838.420	1316.685	100	255

Notas: ER= Error obtenido con el método del error cuadrático mínimo (Rosenbrock)
EV= Error obtenido con el método de verosimilitud

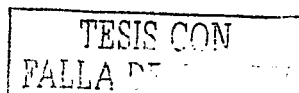
Tabla 4.1 (Continuación)



No.	Clave	Estación	P.	α_1	β_1	α_2	β_2	ER	EV _A
85	28001	San Juan Evangelista	0.72	425.366	2737.079	465.654	4803.558	242	352
86	28003	Cardel	0.90	271.757	961.007	1826.234	1831.753	474	421
87	28013	Azueta	0.95	873.729	2643.005	23.311	6825.504	100	281
88	28015	Cuatotolapan	0.94	363.533	819.341	847.654	3095.560	152	229
89	28016	El Canton	0.88	567.014	1807.219	593.413	4108.194	130	198
90	28017	Monte Rosa	0.78	233.254	844.971	209.513	2073.326	62	75
91	28018	Bellaco	0.88	150.303	563.393	379.439	1153.544	69	100
92	28019	Quiotepec	0.87	166.074	318.312	309.713	1132.688	53	77
93	28020	Achotal	0.92	141.351	505.499	185.734	897.474	19	32
94	28023	Cuichapa	0.93	92.304	236.503	131.535	797.174	30	54
95	28025	Lauchapan	0.88	175.532	263.703	41.678	405.404	49	52
96	28026	Las Prietas	0.72	68.423	187.683	97.209	520.143	20	26
97	28030	Actopan II	0.73	58.432	85.938	218.419	460.918	57	61
98	28039	Paso del Toro	0.84	146.601	390.729	23.080	494.227	16	41
99	28040	El Tejar	0.94	168.673	285.973	715.661	1358.347	109	126
100	28056	Jacatepec	0.92	442.139	1211.445	301.639	1822.237	37	58
101	28062	La Estrella	0.84	346.910	1124.827	730.952	2032.856	100	148
102	28064	Santo Domingo	0.77	258.821	589.667	141.983	1389.929	51	68
103	28066	La Junta	0.73	146.623	273.149	246.499	1028.395	55	71
104	28069	Capulines	0.80	352.870	509.147	331.151	1155.104	44	70
105	28072	Xiquila	0.89	72.585	256.812	545.435	52.969	31	46
106	28074	La Angostura	0.82	85.249	203.541	34.436	300.500	14	18
107	28075	Zapote	0.86	145.315	474.845	131.960	1244.359	36	73
108	28099	Puxmetacan	0.79	103.931	381.431	444.878	837.088	73	130
109	28102	Axusco	0.87	33.059	55.495	48.319	248.002	11	20
110	28103	Amapa	0.78	34.047	93.781	42.054	238.044	13	17
111	28108	El Naranjillo	0.93	307.582	382.431	729.037	1928.779	67	162
112	28111	Idolos	0.71	113.740	164.132	117.561	544.774	21	25
113	28119	Santa Anita	0.72	33.583	12.739	29.539	115.393	14	21
114	28122	Camelpo	0.92	163.931	407.095	332.753	1072.055	68	88
115	28125	Carrizal	0.89	255.668	552.676	162.426	1775.361	60	137
116	28133	Amatitla II	0.67	65.829	190.423	90.188	408.614	19	22
117	28134	Jalcomulco	0.93	193.957	552.101	839.573	2940.011	103	208
118	28136	Garro	0.79	165.794	600.729	30.680	647.193	16	30
119	28143	San Jose Chilapa	0.77	507.696	1614.954	2115.055	1491.779	200	271
120	28154	La lana	0.71	247.406	729.268	280.858	1442.045	60	100
121	28158	Maria Lombardo	0.82	449.625	836.426	25.882	1246.104	67	127
122	29005	Las Perlas	0.87	914.611	2722.221	628.314	6572.406	162	330
123	29006	Jesús Carranza II	0.75	562.003	873.692	120.677	1090.897	91	141
124	29007	Paso Armulfo	0.56	80.451	794.862	261.374	1614.471	37	106
125	29008	Tierra Morada	0.89	163.544	1434.866	876.425	3390.048	94	368

Notas: ER= Error obtenido con el método del error cuadrático mínimo (Rosenbrock)
 EV_A= Error obtenido con el método de verosimilitud

Tabla 4.1 (Continuación)



No.	Clave	Estación	P	α_1	β_1	α_2	β_2	ER	EV
126	29009	Minzapan	0.86	62.408	168.293	35.703	422.475	14	16
127	29010	San Jose Del Carmen	0.81	89.310	401.458	160.435	669.159	45	62
128	29012	La Istmeña	0.84	121.047	331.273	251.624	884.397	29	103
129	29014	Tutla	0.82	108.358	412.606	204.811	871.895	32	77
130	30016	Pueblo Nuevo	0.81	92.407	784.614	13.114	893.340	31	40
131	30019	Boca del Cerro	0.71	983.664	4695.132	552.881	5784.652	152	208
132	30020	El Boquerón II	0.95	95.138	181.622	64.024	738.656	33	41
133	30031	Puyacatengo	0.94	91.706	288.559	162.480	671.276	29	35
134	30032	Teapa	0.90	199.641	616.762	264.984	1959.497	60	78
135	30040	Argelia	0.80	358.419	941.273	12.694	1253.768	50	84
136	30041	La Escalera	0.72	90.103	163.389	94.804	572.599	27	30
137	30042	Salto de Agua	0.90	176.376	1174.792	388.407	1954.751	42	71
138	30053	Santa Isabel	0.80	169.958	605.370	79.423	1314.039	45	113
139	30055	Macuspana	0.90	97.572	508.679	196.751	1041.656	29	48
140	30056	La Concordia	0.75	192.863	570.013	49.495	777.340	13	56
141	30057	Pichucalco	0.73	142.736	380.868	148.447	837.698	39	68
142	30066	Tzimbac	0.80	107.182	321.883	267.033	753.719	30	67
143	30070	Sayula	0.89	426.626	1101.528	455.922	2182.783	132	152
144	30071	Santa María	0.87	154.181	361.934	981.963	1720.905	147	268
145	30072	Las Flores II	0.88	142.861	220.384	2684.882	3913.011	613	672
146	30088	San Pedro Tabasco	0.80	71.821	167.736	88.680	484.053	13	17
147	30091	San Francisco II	0.84	56.952	167.855	21.302	355.655	15	24
148	30093	Tapijulapa	0.87	345.672	1179.375	203.353	3126.938	65	82
149	30094	Platanar	0.76	45.210	167.292	8.394	265.183	9	9
150	30096	Paredón	0.82	46.338	151.094	43.274	274.135	15	19
151	30102	Aquespala	0.84	60.833	246.405	172.893	530.823	43	35
152	30111	Oxolotan	0.93	507.139	1035.714	537.067	2382.086	80	101
153	30123	Agua Verde II	0.82	597.295	3558.290	39.532	3887.724	105	258
154	30133	Comalapa	0.76	149.837	385.330	365.814	983.564	84	115
155	30137	Altamirano	0.74	54.321	207.323	33.100	231.229	9	10
156	30140	Las Tasas	0.79	106.904	454.942	115.472	625.995	22	31
157	30141	Living Stone	0.78	82.605	296.987	919.535	373.379	429	350
158	30143	Santa Elena	0.83	72.270	250.786	8.271	330.184	22	27
159	30145	Dolores	0.82	28.351	213.238	536.819	992.616	47	154
160	30149	Euseba	0.90	26.640	148.009	9.101	189.632	4	6
161	30150	La Catarata	0.77	264.012	913.985	227.917	1290.106	167	155
162	30151	San Quintín	0.71	268.960	760.812	110.961	982.923	39	66
163	30152	Las Perlas	0.80	62.533	241.983	22.598	430.096	13	28
164	30155	Rio Blanco	0.88	44.798	112.775	50.548	284.115	11	14
165	30177	El Colorado	0.86	324.840	1792.342	61.843	2549.997	55	82
166	30181	Candelaria	0.88	70.384	115.860	1897.464	894.681	227	239
167	30182	Yamonho III	0.87	123.630	154.265	109.818	456.382	32	44

Notas: ER= Error obtenido con el método del error cuadrático mínimo (Rosenbrock)

EV= Error obtenido con el método de verosimilitud

Tabla 4.1 (Continuación)

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

No.	Clave	$T_r=5$	$T_r=10$	$T_r=20$	$T_r=50$	$T_r=75$	$T_r=100$	$T_r=500$	$T_r=1000$	$T_r=10000$
1	24087	637.0	1035.1	1426.1	1906.3	2112.3	2257.2	3058.5	3401.4	4538.6
2	24088	1757.8	3013.1	4028.6	5259.0	5786.5	6157.5	8208.5	9086.4	11997.5
3	24192	138.3	222.7	355.3	523.9	593.1	641.2	902.1	1012.8	1378.9
4	24196	608.9	953.9	1159.8	1380.3	1471.6	1535.2	1883.2	2031.4	2522.2
5	24291	212.4	344.5	819.5	1101.8	1206.8	1278.5	1661.5	1822.7	2354.3
6	24301	783.7	1054.0	1527.3	5048.0	5384.1	5599.2	6680.0	7122.6	8573.1
7	24326	345.6	610.5	821.6	1076.3	1185.4	1262.0	1685.7	1867.0	1886.2
8	24327	400.3	748.1	936.7	1105.5	1173.2	1220.1	1474.3	1582.1	1938.6
9	24351	1295.4	2971.5	4032.7	5113.3	5556.7	5865.2	7547.9	8263.1	10630.4
10	24384	53.1	203.9	304.8	415.2	461.3	493.5	669.7	744.9	993.6
11	24387	237.9	279.9	301.3	334.0	352.4	367.0	459.6	500.7	637.3
12	24399	229.7	439.2	518.9	608.9	646.7	673.2	818.6	880.7	1086.2
13	25009	633.8	956.1	1288.5	1686.8	1855.2	1973.1	2621.2	2897.6	3813.5
14	25010	246.5	360.6	450.1	557.0	602.7	634.8	811.7	887.4	1138.2
15	25027	530.6	657.1	769.6	910.7	971.8	1015.0	1254.5	1357.3	1343.4
16	25030	544.1	775.9	969.7	1205.4	1306.5	1377.6	1770.5	1938.7	2496.2
17	25034	179.4	314.1	444.7	578.2	632.5	670.1	874.7	961.5	1248.7
18	25037	1339.3	2582.9	4505.6	6853.3	7838.4	8527.5	12306.7	13917.5	18380.2
19	25038	646.9	863.8	1066.4	1310.3	1413.1	1485.0	1878.4	2045.9	2600.6
20	25039	608.6	893.2	1104.9	1354.9	1461.2	1535.7	1946.6	2122.2	2704.1
21	25040	216.6	313.6	452.1	638.0	715.0	768.4	1057.3	1179.5	1100.4
22	25042	867.4	1118.2	1333.2	1599.7	1714.9	1796.0	2245.7	2438.4	3077.8
23	25043	232.0	311.0	415.9	564.3	611.3	641.9	796.6	860.0	1067.8
24	25044	154.7	221.8	293.3	377.7	412.8	437.3	570.9	627.7	815.7
25	25061	63.5	433.5	482.5	531.9	552.2	566.3	643.3	676.0	784.3
26	25062	1128.2	1546.3	1916.3	2379.7	2580.6	2722.4	3509.0	3846.4	4965.8
27	25085	111.1	170.7	214.4	261.9	281.6	295.4	370.7	402.8	508.9
28	25087	247.2	312.1	363.9	426.6	453.5	472.4	577.1	621.8	770.4
29	25091	1434.1	1982.4	2421.0	2952.9	3180.9	3341.3	4228.1	4607.7	5866.3
30	25092	372.8	893.9	2061.1	2834.1	3137.0	3345.8	4472.1	4948.3	6521.6
31	25093	150.1	212.7	243.4	276.7	290.5	300.2	353.1	375.6	450.3
32	25102	325.1	532.8	597.2	656.7	680.9	697.8	790.9	831.4	972.3
33	26030	83.9	102.6	118.5	137.6	145.8	151.5	183.2	196.8	242.1
34	26042	256.2	390.7	1722.8	2832.3	3225.0	3491.2	4901.5	5492.7	7441.5
35	26149	532.8	1343.9	1815.9	2360.6	2590.8	2752.1	3639.7	4018.7	5274.6
36	26218	206.6	364.0	1364.0	2175.4	2477.2	2683.2	3783.2	4246.0	5772.9
37	26241	358.9	457.3	560.3	707.4	776.5	826.8	1124.1	1257.4	1708.6
38	26243	1483.0	1962.5	2351.4	2782.0	2960.1	3084.1	3761.3	4049.6	5005.5
39	26248	3358.6	4483.1	5296.4	6255.6	6663.2	6949.2	8526.3	9200.5	11435.3
40	26249	2186.9	3277.4	4418.0	5483.4	5902.5	6191.2	7747.4	8405.7	10584.0
41	26263	1104.2	1630.0	2057.0	2552.5	2761.3	2907.5	3711.1	4054.2	5190.9
42	26267	461.9	570.3	674.8	807.4	864.9	905.4	1131.3	1229.1	1558.2
43	26268	1779.2	2284.8	2705.0	3220.9	3443.0	3599.3	4465.2	4836.0	6066.1

Tabla 4.2 Gastos máximos (m^3/s) ajustados para diferentes periodos de retorno

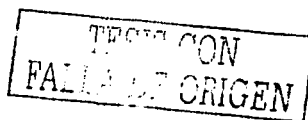
No	Clave	T _r =5	T _r =10	T _r =20	T _r =50	T _r =75	T _r =100	T _r =500	T _r =1000	T _r =10000
44	26272	2863.7	3811.3	4852.0	6269.8	6895.0	7337.0	9796.2	10853.1	14365.7
45	26277	1401.7	2322.8	3297.3	4433.4	4911.4	5246.0	7083.7	7867.6	10464.6
46	26278	134.4	157.4	180.0	210.7	224.5	234.5	291.2	315.9	398.5
47	26280	635.4	859.2	1127.3	1507.1	1674.2	1791.8	2439.3	2715.4	3628.7
48	26285	367.3	458.5	580.6	832.3	960.1	1050.0	1535.0	1738.8	2411.0
49	26286	709.0	1193.8	1294.8	1384.5	1421.1	1446.6	1590.6	1655.9	1909.8
50	26289	2442.0	3158.5	3489.9	3870.9	4035.1	4151.9	4830.2	5143.8	6309.1
51	26291	678.7	997.9	1283.2	1633.6	1784.1	1889.9	2475.9	2727.0	3559.9
52	26292	342.7	498.6	869.9	1775.7	2116.3	2347.1	3570.6	4083.4	4505.9
53	26296	710.7	809.9	917.4	1068.3	1136.5	1185.1	1458.0	1575.6	1966.3
54	26337	413.6	1094.8	1549.4	1991.3	2171.1	2296.0	2975.9	3264.6	4219.8
55	26388	451.8	568.3	668.8	787.4	837.4	872.4	1064.5	1146.5	1418.5
56	26389	293.7	522.1	665.8	818.4	881.4	925.3	1165.3	1267.3	1605.3
57	26416	1537.8	2009.5	2289.2	2538.6	2638.4	2707.4	3082.4	3241.8	3771.5
58	26422	29.3	30.2	30.7	31.4	31.8	32.1	39.1	43.0	55.7
59	26423	216.3	264.0	309.0	366.7	391.9	409.8	510.0	553.4	490.7
60	26429	115.7	308.0	394.0	484.2	521.4	547.4	689.3	749.6	949.5
61	26430	146.8	168.8	186.4	207.5	216.6	222.9	258.1	273.2	323.4
62	26431	160.4	190.2	218.8	255.8	272.1	283.6	347.6	375.2	321.0
63	27001	1579.0	2202.2	3788.5	4707.8	5037.4	5261.1	6447.7	6945.3	8586.2
64	27002	1929.1	2926.6	4453.3	5650.4	6106.1	6418.0	8088.7	8792.4	11115.6
65	27004	2721.3	2877.2	3130.9	3713.0	3982.7	4173.5	5237.0	5693.9	7211.0
66	27005	695.8	843.0	991.4	1182.8	1266.6	1325.8	1655.5	1797.1	2267.3
67	27006	1905.0	2648.2	4917.0	7694.8	8413.1	8887.4	11335.5	12349.4	15681.9
68	27007	381.6	510.1	625.7	764.1	822.7	863.7	1089.1	1185.2	1503.6
69	27015	1915.2	2637.4	3199.7	3860.5	4140.7	4337.2	5420.7	5884.3	7423.4
70	27020	192.7	533.6	696.1	826.8	878.8	914.7	1109.4	1191.9	1464.5
71	27021	183.0	239.9	270.6	303.4	317.0	326.5	379.0	401.6	478.0
72	27024	38.4	51.6	60.5	70.7	75.0	78.1	94.8	101.9	125.5
73	27030	40.5	54.5	71.9	98.8	111.1	119.8	168.0	188.6	256.7
74	27037	170.0	715.5	994.8	1264.3	1374.0	1450.2	1864.9	2041.1	2623.7
75	27038	313.5	475.1	1124.1	1696.1	1915.5	2066.2	2875.0	3216.2	4343.0
76	27042	4418.5	7141.1	7962.0	8704.1	9004.4	9213.0	10358.5	10852.4	12540.8
77	27047	1285.3	1557.3	1850.4	2228.7	2394.5	2511.9	3165.8	3446.9	4380.0
78	27049	1520.7	2041.4	5765.4	12750.3	15222.2	16898.1	25777.6	29499.5	41769.0
79	27050	1469.1	2345.0	3586.2	4784.9	5268.3	5603.4	7422.8	8194.4	10746.4
80	27052	413.5	544.8	631.6	732.2	774.8	804.6	968.6	1038.7	1271.0
81	27068	456.1	762.9	2807.2	5244.3	6244.0	6939.5	10733.1	12345.6	17682.4
82	27069	187.4	545.1	746.5	957.0	1043.8	1104.4	1435.1	1575.9	2041.7
83	27075	172.6	208.6	238.5	275.2	291.0	302.2	363.8	390.1	477.7
84	27076	1087.6	1542.6	1904.0	2341.8	2529.5	2661.5	3391.4	3703.8	4739.7

Tabla 4.2 Gastos máximos (m³/s) ajustados para diferentes periodos de retorno

FALLA DE CARGEN

No	Clave	$T_r=5$	$T_r=10$	$T_r=20$	$T_r=50$	$T_r=75$	$T_r=100$	$T_r=500$	$T_r=1000$	$T_r=10000$
85	28001	1619.4	2139.1	2775.8	3586.9	3936.3	4182.1	5542.5	6125.0	8056.7
86	28003	1755.1	2227.1	2669.1	3223.8	3463.4	3632.2	4570.0	4974.0	6326.6
87	28013	1467.0	1825.2	2611.3	4571.0	5382.4	5941.3	8957.5	10232.5	13015.3
88	28015	1482.5	1947.7	2785.7	3871.9	4271.3	4541.4	5964.5	6559.1	8517.3
89	28016	3134.9	4019.8	4582.8	5194.9	5448.6	5625.5	6592.6	7004.2	8366.9
90	28017	1920.7	2185.4	2362.9	2571.1	2659.5	2721.5	3063.4	3209.5	3694.0
91	28018	887.8	1124.6	1418.5	1804.1	1967.5	2081.5	2704.0	2968.6	3843.6
92	28019	722.6	1075.6	1369.0	1690.7	1823.9	1916.6	2423.6	2639.3	3353.3
93	28020	770.3	909.4	1041.6	1208.6	1281.0	1332.1	1616.9	1740.1	2154.2
94	28023	411.3	551.6	780.8	943.9	1004.2	1045.2	1263.8	1355.7	1659.0
95	28025	511.0	635.8	762.1	925.9	997.8	1048.6	1331.9	1453.7	1858.0
96	28026	504.9	601.6	679.4	773.8	814.3	842.8	1000.4	1067.9	1291.8
97	28030	402.8	629.5	807.3	1021.0	1112.5	1176.7	1531.5	1683.3	2186.6
98	28039	584.3	693.6	799.9	936.9	996.9	1039.4	1276.1	1377.8	1715.4
99	28040	589.6	788.7	1147.5	2005.9	2347.0	2576.5	3780.4	4282.5	5935.8
100	28056	1941.0	2254.3	2553.0	2944.4	3118.0	3241.5	3938.0	4240.3	5250.9
101	28062	1890.6	2353.7	2856.1	3536.6	3837.2	4050.0	5233.5	5741.3	7425.5
102	28064	1361.9	1513.7	1638.3	1796.4	1867.4	1918.8	2227.9	2375.1	2918.7
103	28066	970.6	1222.0	1420.9	1661.3	1764.2	1836.6	2236.8	2408.0	2976.0
104	28069	1245.4	1523.3	1777.5	2099.5	2239.6	2338.6	2889.5	3126.3	3913.2
105	28072	377.7	452.6	557.6	931.5	1169.2	1335.1	2233.7	2614.3	3872.4
106	28074	339.6	390.0	444.3	520.4	554.7	579.2	716.4	775.5	971.8
107	28075	856.5	1227.2	1358.7	1496.6	1553.5	1593.2	1810.0	1902.3	2208.0
108	28099	685.1	1039.8	1416.8	1861.1	2049.0	2180.7	2905.4	3214.8	4240.2
109	28102	137.4	233.8	284.0	335.0	355.8	370.3	449.5	483.1	594.5
110	28103	216.3	262.3	297.0	338.2	355.8	368.1	436.2	465.4	562.0
111	28108	960.7	1360.3	1934.7	2741.8	3071.1	3297.6	4510.7	5021.0	6704.2
112	28111	551.9	659.7	751.4	864.5	913.2	947.6	1137.8	1219.2	1489.5
113	28119	117.7	145.0	168.3	197.2	209.6	218.4	267.3	288.3	358.2
114	28122	723.0	929.5	1175.4	1508.6	1651.3	1751.1	2296.9	2528.8	3296.2
115	28125	1125.0	1690.3	1879.4	2059.6	2133.3	2184.8	2470.9	2596.4	3037.3
116	28133	428.4	506.6	575.4	661.1	698.2	724.4	869.8	932.3	1139.6
117	28134	919.3	1214.8	2751.2	3854.5	4245.1	4509.9	5912.8	6500.9	8439.5
118	28136	806.0	932.3	1052.9	1208.1	1276.1	1324.1	1591.8	1706.8	2088.7
119	28143	2626.5	3389.8	4575.8	6567.0	7453.5	8077.2	11518.3	12989.0	17863.3
120	28154	1484.5	1729.1	1943.5	2210.3	2325.6	2406.9	2857.8	3051.3	3693.9
121	28158	1410.3	1753.6	2080.1	2500.6	2684.8	2815.0	3540.9	3852.8	4888.4
122	29005	4989.0	6517.1	7143.6	7819.1	8101.9	8300.4	9407.8	9892.6	11573.0
123	29006	1550.0	1967.4	2376.4	2903.0	3133.4	3296.4	4203.9	4593.8	5888.2
124	29007	1745.3	1968.8	2167.3	2416.3	2524.4	2600.6	3023.6	3205.1	3807.2
125	29008	1800.5	2643.3	3828.8	4797.6	5183.5	5450.2	6894.2	7505.7	9527.3

Tabla 4.2 Gastos máximos (m^3/s) ajustados para diferentes periodos de retorno



No.	Clave	$T_r=5$	$T_r=10$	$T_r=20$	$T_r=50$	$T_r=75$	$T_r=100$	$T_r=500$	$T_r=1000$	$T_r=10000$
126	29009	332.2	424.3	459.4	498.5	515.3	527.1	595.7	627.3	745.1
127	29010	627.5	754.2	875.1	1027.8	1094.0	1140.7	1399.8	1511.1	1880.4
128	29012	659.7	917.5	1138.0	1392.8	1499.9	1574.7	1985.6	2160.7	2740.7
129	29014	727.3	935.7	1108.3	1312.2	1398.6	1459.2	1792.6	1935.0	2407.0
130	30016	917.2	972.3	1039.0	1125.5	1163.3	1190.1	1339.3	1403.4	1616.2
131	30019	6383.8	6961.6	7543.0	8343.8	8710.6	8975.0	10498.6	11169.4	13420.9
132	30020	349.2	459.2	684.2	788.6	820.3	841.6	953.5	1000.8	1161.2
133	30031	454.9	558.7	679.3	841.6	910.9	959.3	1224.1	1336.8	1710.8
134	30032	1043.8	1663.9	2061.6	2359.1	2476.4	2557.3	2994.3	3179.1	3790.1
135	30040	1387.8	1662.9	1923.5	2258.9	2405.8	2509.6	3088.3	3336.9	4162.4
136	30041	559.5	653.8	729.6	821.7	861.2	889.0	1042.7	1108.6	1326.8
137	30042	1541.9	1813.6	2140.1	2545.6	2714.5	2831.9	3470.7	3741.7	4637.6
138	30053	1244.9	1354.5	1425.4	1510.7	1548.2	1575.0	1736.8	1816.5	2143.1
139	30055	716.8	911.4	1123.2	1338.8	1425.4	1485.3	1809.5	1946.8	2400.7
140	30056	855.0	958.5	1087.6	1266.5	1345.5	1401.4	1712.8	1846.6	2290.8
141	30057	837.5	974.4	1090.5	1233.4	1294.9	1338.3	1578.2	1681.0	2022.0
142	30066	634.9	870.2	1090.2	1355.4	1468.1	1547.1	1982.1	2167.9	2783.3
143	30070	1959.4	2357.6	2709.7	3143.2	3329.5	3460.5	4184.9	4495.2	5525.0
144	30071	726.0	1372.5	2430.5	3478.1	3904.4	4200.6	5812.4	6496.8	8761.3
145	30072	549.5	2347.2	5572.4	8482.7	9655.8	10468.7	14883.3	16755.6	22947.9
146	30088	417.8	523.8	598.7	686.4	723.6	749.7	893.5	954.9	1158.8
147	30091	330.9	365.7	387.3	415.7	429.6	440.2	514.5	552.2	682.5
148	30093	2036.1	3065.9	3284.3	3502.7	3592.5	3655.2	4001.3	4151.7	4673.8
149	30094	268.0	279.6	295.3	331.4	349.7	362.8	435.8	467.2	571.3
150	30096	263.2	304.4	339.1	381.7	400.1	413.0	484.6	515.3	617.2
151	30102	404.6	550.7	702.5	879.1	953.1	1004.7	1287.4	1407.8	1385.3
152	30111	1963.5	2427.4	2844.9	3357.8	3577.6	3732.0	4584.3	4948.9	6158.4
153	30123	4319.5	4776.7	5210.4	5769.0	6013.7	6186.7	7151.0	7565.4	8941.0
154	30133	889.4	1223.5	1518.7	1877.5	2030.9	2138.6	2733.4	2987.7	3830.7
155	30137	286.0	322.3	358.4	406.4	427.9	443.2	529.4	566.7	691.4
156	30140	671.9	760.9	844.0	949.9	996.1	1028.7	1210.4	1288.5	1548.2
157	30141	490.8	846.5	1619.8	2534.8	2922.6	3194.4	4691.4	5331.0	6187.5
158	30143	350.1	399.2	451.6	519.2	548.8	569.7	686.4	736.5	902.9
159	30145	311.6	1105.1	1595.3	2140.8	2369.3	2529.0	3405.2	3778.8	5016.2
160	30149	193.2	208.5	225.3	249.3	260.1	267.8	310.7	329.2	390.6
161	30150	1426.9	1618.7	1798.3	2029.2	2130.5	2202.1	2603.6	2777.1	2955.0
162	30151	1157.0	1312.9	1483.0	1722.1	1830.3	1907.3	2340.0	2526.5	3145.9
163	30152	420.9	448.7	471.3	503.0	519.1	531.5	618.1	660.4	804.0
164	30155	216.5	280.2	326.0	377.2	398.6	413.5	495.2	530.1	645.6
165	30177	2519.2	2624.7	2747.0	3011.6	3143.6	3237.5	3761.7	3987.1	4735.2
166	30181	257.8	411.8	2067.4	4124.1	4953.2	5527.7	8647.6	9970.8	14347.0
167	30182	414.3	519.7	609.9	721.1	769.0	802.8	990.7	1071.6	1341.3

Tabla 4.2 Gastos máximos (m^3/s) ajustados para diferentes periodos de retorno

TRUCCION
FALLA DE ORIGEN

5

Definición de las regiones homogéneas

Desde un punto de vista estadístico para saber si un cierto número de muestras aleatorias pueden ser tratadas como un grupo homogéneo, existen básicamente dos tipos de pruebas las llamadas paramétricas y las no paramétricas.

Las pruebas paramétricas suponen que los datos de cada muestra generalmente tienen una distribución normal, de ser así, estas pruebas serían más precisas que las no paramétricas. Sin embargo, existen muchas situaciones donde suposición de normalidad no se cumple del todo.

Por otra parte las pruebas no paramétricas no hacen ninguna suposición acerca de la distribución de la muestra, por lo que se pueden aplicar en condiciones más generales, y además suelen ser más fáciles de explicar y de entender.

En este capítulo se aplican tres tipos de pruebas estadísticas para agrupar las estaciones hidrométricas en regiones hidrológicamente homogéneas en cuanto a los gastos máximos anuales registrados se refiere. La primera de ellas llamada prueba de Langbein (Dalrymple, 1960), la cual además de tener bases estadísticas, tiene bases hidrológicas. Ésta prueba puede considerarse del tipo paramétrica ya que asume que los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica siguen una distribución de Gumbel y posteriormente la normaliza. Las otras dos pruebas a aplicar son la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba de Wilcoxon, ambas del tipo no paramétricas.

5.1 Prueba de homogeneidad de Langbein

Esta prueba fue propuesta por W.B Langbein, cuyo planteamiento consiste en determinar cuando los registros de un grupo de estaciones difieren entre ellos en cantidades que no son razonablemente esperadas al azar.

Los registros de gastos máximos de dos o más estaciones hidrométricas no pueden tener características comparables exactamente, pero cuando las diferencias no son mayores que aquellas debidas a la aleatoriedad, se puede concluir que dichos registros pueden ser agrupados, es decir son homogéneos en un sentido estadístico.

Los detalles de la prueba se dan a continuación

5.1.1 Avenida media anual

La prueba de Langbein supone que los gastos máximos anuales siguen una función de distribución de probabilidad Gumbel (Campos, 1994), debido a que fue desarrollada para el análisis de valores extremos (Gumbel, 1958). Esta función fue ya definida como (Ec. 4.4)

$$F(q) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta)}{\alpha}\right)\right\} \quad (5.1)$$

donde los estimadores por momentos los parámetros α y β se definen como (Kite, 1977)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S$$
$$\beta = \bar{Q} - 0.5772\alpha \quad (5.2)$$

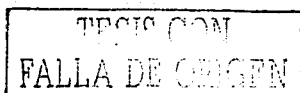
en donde \bar{Q} y S son la media y la desviación estandar de la muestra respectivamente

Sea la variable reducida

$$y = \frac{(q - \beta)}{\alpha} \quad (5.3)$$

entonces

$$F(y) = \exp\{-\exp(-y)\} \quad (5.4)$$



y la probabilidad de que una observación de esta distribución exceda la media de la misma esta dada por

$$P = 1 - F(y) \quad (5.5)$$

donde $F(y)$ esta evaluada en la media.

Si se iguala la media y la desviación estándar de la muestra con la media y la desviación estándar de la función se tiene que

$$\begin{aligned} \mu &= \beta + 0.5772\alpha \\ \sigma &= \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \end{aligned} \quad (5.6)$$

donde μ y σ son la media y la desviación estándar de la función

Como $F(y)$ esta evaluada en la media, entonces la variable reducida es

$$y = \frac{(\mu - \beta)}{\alpha} = \frac{\beta + 0.5772\alpha - \beta}{\alpha} = 0.5772$$

por lo que la probabilidad de que la variable y exceda la media es

$$P = 1 - F(y) = 1 - \exp[-\exp(-.5772)] = 0.4296$$

entonces el periodo de retorno correspondiente para dicha probabilidad vale

$$T_r = \frac{1}{P} = 2.33$$

Por lo que al gasto correspondiente al periodo de retorno de 2.33 años se le conoce con el nombre de "avenida media anual ($q_{2.33}$)".

La avenida media anual es mucho más estable que la avenida media obtenida aritméticamente, ya que esta estimación da un mayor peso a los gastos medios que a los extremos cuyos errores de muestreo son grandes, y por esta razón no esta influenciado por la inclusión o exclusión de un gasto grande (Dalrymple, 1960).

5.1.2 Descripción de la prueba

La prueba se basa sobre un intervalo de confianza de la estimación de un periodo de retorno asignado a la avenida regional de 10 años. Así pues, la avenida para T_r años es la avenida máxima anual con probabilidad de excedencia $1/T_r$. La relación entre T_r y la función de distribución acumulada es (Ec. 4.3)

$$T_r = \frac{1}{1 - F_q(q_r)} \quad (5.7)$$

Como la prueba de homogeneidad se define como una distribución para gastos normalizados es necesario determinar un factor de normalización, dicho factor para esta prueba es el valor de la avenida media anual ($q_{2.33}$).

Esta prueba parte de la consideración de que los gastos máximos anuales de cada estación siguen una distribución tipo Gumbel.

La prueba de Langbein se resume en los siguientes pasos:

a) Cálculo del intervalo de confianza

La función de distribución de probabilidad acumulada de Gumbel es

$$F(q) = \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(q-\beta)}{\alpha}\right)\right\}$$

Si $y_r = \frac{(q-\beta)}{\alpha}$ es una variable reducida para un periodo de retorno T_r , entonces y_r esta dada por

$$y_r = -\ln\{-\ln[F(q)]\} = -\ln\{-\ln[1 - (1/T_r)]\} \quad \text{independientemente de la estación}$$

Sin embargo cuando la avenida regional para T_r años (q_r) se obtiene a través de la multiplicación de un factor regional normalizado q_r con la media de la muestra y los parámetros α y β en el sitio, y_r variará en cada sitio, a menos que la región sea homogénea. Como los valores exactos de μ , α y β son desconocidos, y_r no puede determinarse. Sin embargo una estimación de y_r en el sitio i puede obtenerse como

$$y_r^i = \frac{q_r q_i - \beta_i}{\alpha_i}$$

TRCIC CON
FALLA DE ORIGEN

(5.8)

donde

- q_i es la media de la muestra en el sitio i
- q_T es el gasto de la muestra para un periodo de retorno T
- β_i es el parámetro de ubicación de la función de distribución de probabilidad Gumbel para los gastos de la muestra
- α_i es el parámetro de escala de la función de distribución de probabilidad Gumbel para los gastos de la muestra

Dalrymple (1960) obtuvo que los valores de la esperanza y de la varianza para y'_T en una región homogénea son

$$E y'_T = y \tag{5.9}$$

$$\text{var } y'_T = \frac{e^{2y}}{n_i} \left(\frac{1}{T_T - 1} \right)$$

donde n_i es la longitud del registro de la estación i , y $y = -\ln\{-\ln[1 - (1/T_T)]\}$

Como la prueba se basa en la avenida para 10 años, entonces los valores de la esperanza y varianza son

$$E y_{10} = 2.2504; \quad \text{var } y_{10} = \left(\frac{6.33}{2n_i^{1/2}} \right)^2 \tag{5.9a}$$

si se asume una distribución normal para y_{10} , una aproximación del 95% del intervalo de confianza es (Spiegel, 1970)

$$\text{Pr} = \left[|y_{10} - 2.2504| \leq \frac{6.33}{n^{1/2}} \right] \approx 95\% \tag{5.10}$$

Esta prueba emplea un intervalo de confianza $[T_L, T_U]$ para el periodo de retorno correspondiente a la avenida regional de 10 años. Los límites inferior y superior son (Ec. 5.7):

$$T_{L/U}^{10}(n) = \frac{1}{1 - \exp \left[- \exp \left(- 2.25 \pm \frac{6.33}{n^{1/2}} \right) \right]} \tag{5.11}$$

TFCS CON
FALLA DE ORIGEN

b) Obtención de las avenidas para 10 y 2.33 años

Se obtienen los gastos para el periodo de retorno de 10 años (q_{10}) y de 2.33 años ($q_{2.33}$) para todo el grupo de estaciones que se analizarán. Estos valores se obtienen asignando a cada gasto un periodo de retorno mediante la ecuación 4.2 y posteriormente calcular los gastos correspondientes a los periodos de retorno por medio de interpolación.

c) Determinación de la avenida regional y su periodo de retorno

Para cada sitio se calcula la relación $r_i = \frac{q_{10}^i}{q_{2.33}^i}$ y posteriormente se obtiene una relación promedio (r) en toda la región.

Entonces la avenida regional para 10 años en cada sitio se calcula como:

$$\bar{q}_{10}^i = q_{2.33}^i r \quad (5.12)$$

y posteriormente se obtiene el periodo de retorno para la avenida anterior $T(\bar{q}_{10}^i)$

d) Prueba de hipótesis

Los valores de $T(\bar{q}_{10}^i)$ para cada sitio se comparan con los Límites inferior y superior del intervalo de confianza calculado con la ecuación (5.11). La hipótesis se acepta (región homogénea) si $T_L(n_i) \leq T(\bar{q}_{10}^i) \leq T_U(n_i)$ para todos los sitios y de lo contrario se rechaza.

Cabe señalar que es conveniente calcular $T(\bar{q}_{10}^i)$ a partir de la muestra correspondiente de los gastos máximos registrados si el valor de \bar{q}_{10}^i es menor o igual al gasto máximo registrado, de lo contrario la muestra de los gastos máximos deberá ajustarse a la función de distribución de probabilidad de Gumbel para así poder obtener el periodo de retorno para dicho gasto.

De acuerdo con los resultados obtenidos con esta prueba se pueden hacer las dos observaciones siguientes:

1. La prueba de Langbein no muestra en una primera aplicación qué estaciones quedan fuera del análisis, por lo que se debe aplicar dicha prueba más de una vez para estar seguros de qué estaciones quedarán realmente fuera.
2. Esta prueba no considera que en una región homogénea varias estaciones pueden quedar fuera de los límites del intervalo de confianza a causa de que solamente una estación de las analizadas no pertenezca a dicha región.

Con base en lo anterior se recomienda utilizar esta prueba con mucho cuidado, ya que dependiendo del intervalo de confianza definido, se podrían rechazar erróneamente del análisis algunas estaciones.

TRUCCS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.3 Resultados de la prueba

La prueba de Langbein se aplicó primeramente a cada una de las regiones hidrológicas en estudio por separado y posteriormente se aplicó a fin de determinar si las estaciones de una región pueden agruparse con estaciones de otra región. A continuación se describen los resultados obtenidos de esta prueba.

Región No. 24

Al aplicar la prueba a esta región hidrológica, se observó que no todas las estaciones hidrométricas forman una subregión homogénea, ya que las estaciones 10 y 11 quedan fuera de dicha subregión. Los cálculos de la región homogénea se muestran en la tabla 5.1.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
1	348.794	999.415	2.865	1207.630	68	16.18	4.92	20.95
2	668.788	2961.591	4.428	2315.547	65	7.83	4.85	21.32
3	80.350	251.429	3.129	278.196	55	13.58	4.56	22.79
4	344.386	905.833	2.630	1192.369	47	21.67	4.29	24.40
5	126.174	365.864	2.900	436.853	43	11.17	4.14	25.42
6	511.169	1775.175	3.473	1769.822	40	9.93	4.01	26.33
7	145.188	613.941	4.229	502.685	50	7.01	4.40	23.74
8	249.696	765.294	3.065	864.523	33	18.00	3.68	29.07
9	799.142	2798.448	3.502	2766.872	24	9.88	3.14	35.06
12	103.012	453.476	4.402	356.659	21	6.59	2.92	38.28

Tabla 5.1. Estaciones hidrométricas que forman la región homogénea.

Región No. 25

Se aplicó esta prueba de homogeneidad utilizando varias combinaciones para ver la posibilidad de que dicha región hidrológica se dividiera en dos o más subregiones; sin embargo al igual, que en la región hidrológica 24, la región 25 forma una sola subregión. Además esta prueba indica que las estaciones 18, 20, 22, 25, 26, 30, 31, 32 y 33 no pueden incluirse en dicha subregión.

En la tabla 5.2 se muestran los resultados de la prueba de Langbein correspondientes a la subregión obtenida.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
13	392.073	932.989	2.380	976.364	64	12.19	4.82	21.44
14	108.464	378.167	3.487	270.104	47	5.34	4.29	24.40
15	328.716	652.704	1.986	818.589	44	22.79	4.18	25.15
16	277.19	762.937	2.752	690.276	42	9.05	4.10	25.71
17	97.415	310.925	3.192	242.589	37	8.07	3.88	27.37
19	444.693	832.692	1.873	1107.402	30	23.70	3.52	30.65
21	147.963	310.748	2.100	368.467	38	13.45	3.92	27.01
23	151.24	305.167	2.018	376.627	35	16.16	3.78	28.17
24	103.885	186.161	1.792	258.701	30	15.41	3.52	30.65
27	80.173	163.455	2.039	199.652	21	19.89	2.92	38.28
28	107.273	292.578	2.727	267.138	26	6.35	3.27	33.35
29	520.614	1994.71	3.831	1296.465	55	4.63	4.56	22.79
31	94.359	213.022	2.258	234.979	16	35.49	2.49	46.70
32	212.492	516.362	2.430	529.161	15	11.16	2.40	49.16

Tabla 5.2. Estaciones hidrométricas que forman la región homogénea.

Región No. 26

Al analizar las estaciones en la región 26 se observó que varias estaciones quedan fuera de los límites permisibles, por lo que se puede intuir la presencia de dos o más subregiones dentro de esta región.

En efecto después de la aplicación de la prueba se encontró que la región 26 se puede dividir en tres subregiones, las cuales están definidas en las tablas 5.3, 5.4 y 5.5.

De acuerdo con esta prueba las estaciones 35, 36, 38, 49, 50, 53, 60 y 62 no pertenecen a ninguna de las tres subregiones definidas.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
40	1388.337	3213.361	2.315	2774.245	45	7.05	4.22	24.89
47	443.236	883.805	1.994	885.697	40	10.04	4.01	26.33
55	316.250	543.815	1.720	631.947	38	20.54	3.92	27.01
57	1160.276	2010.060	1.732	2318.522	24	21.42	3.14	35.06
58	11.194	29.993	2.679	22.368	15	3.57	2.40	49.16
59	172.235	266.900	1.550	344.169	19	17.22	2.76	41.05

Tabla 5.3 Resultados de la primera subregión de la región 26

TECNIC CON
FALLA DE ORIGEN

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
33	59.897	100.929	1.685	111.852	61	17.25	4.74	21.85
37	261.325	445.186	1.704	487.998	42	14.65	4.10	25.71
41	661.294	1641.143	2.482	1234.899	41	5.916	4.06	26.01
42	338.244	595.500	1.761	631.636	39	15.96	3.97	26.66
44	2006.158	3461.739	1.726	3746.294	45	10.63	4.22	24.89
46	94.937	158.909	1.674	177.285	32	23.08	3.63	29.56
48	265.979	409.238	1.539	496.689	38	12.75	3.92	27.01
51	376.163	982.000	2.611	702.446	56	6.222	4.59	22.62
61	103.339	168.144	1.627	192.975	26	25.06	3.27	33.35

Tabla 5.4 Resultados de la segunda subregión de la región 26

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
34	157.780	456.193	2.891	526.832	60	10.45	4.71	21.99
39	1692.039	4212.696	2.490	5649.766	45	20.44	4.22	24.89
43	595.839	2160.000	3.625	1989.523	39	5.96	3.97	26.66
45	853.204	2498.069	2.928	2848.872	38	15.32	3.92	27.01
52	159.679	581.737	3.643	533.173	30	6.34	3.52	30.65
54	243.538	1031.143	4.234	813.180	27	7.86	3.34	32.59
56	143.973	512.828	3.562	480.730	37	8.92	3.88	27.37

Tabla 5.5 Resultados de la tercera subregión de la región 26

Región No. 27

Al aplicar la prueba de Langbein a esta región se concluye que ésta se divide en dos subregiones homogéneas, formando a la primera de ellas las estaciones mostradas en la tabla 5.6; mientras que la segunda subregión esta formada por las estaciones consignadas en la tabla 5.7. Los resultados de la aplicación de esta prueba indican que las estaciones 66, 74 y 82 no pertenecen a ninguna de las dos subregiones mencionadas.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R = Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
64	1293.784	2744.683	2.121	2593.663	47	9.61	4.29	24.40
65	1949.333	2853.409	1.464	3907.849	10	53.76	1.85	70.75
69	1185.254	2471.500	2.085	2376.092	15	9.06	2.40	49.16
71	124.000	244.000	1.968	248.584	27	13.06	3.34	32.59
73	27.604	53.950	1.954	55.338	23	10.50	3.07	36.03
75	224.150	525.000	2.342	449.356	23	9.14	3.07	36.03
76	3044.682	6869.545	2.256	6103.707	32	8.77	3.63	29.56
77	1008.136	1481.455	1.469	2021.021	32	27.24	3.63	29.56
78	1139.429	1837.294	1.612	2284.226	33	14.86	3.68	29.07
79	1085.208	1766.000	1.627	2175.528	19	11.75	2.76	41.05
80	242.007	517.750	2.139	485.154	31	9.02	3.57	30.09
81	303.707	916.222	3.017	608.845	17	8.10	2.59	44.57

Tabla 5.6 Resultados de la primera subregión correspondiente a la región 27

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R = Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
63	1062.560	2247.714	2.115	2848.704	48	13.91	4.33	24.17
67	1243.185	2988.000	2.404	3332.956	39	13.95	3.97	26.66
68	202.267	468.870	2.318	542.274	35	19.83	3.78	28.17
70	135.956	431.111	3.171	364.496	26	9.06	3.27	33.35
72	21.874	49.500	2.263	58.644	19	15.00	2.76	41.05
83	73.344	211.267	2.880	196.634	17	7.78	2.59	44.57
84	418.950	1514.714	3.616	1123.197	13	5.52	2.19	55.43

Tabla 5.7 Resultados de la segunda subregión correspondiente a la región 27

Región No. 28

Al aplicar la prueba de homogeneidad a todas las estaciones localizadas en esta región hidrológica varias estaciones quedan fuera de los intervalos permitidos, por lo que se procedió a determinar las posibles subregiones homogéneas, llegando a la conclusión de que al igual que la región hidrológica 27, la región hidrológica 28 se divide en dos subregiones, las cuales se muestran en las tablas 5.8 y 5.9.

Los resultados de esta prueba muestran que las estaciones 97, 98, 106 y 118 no pueden ser incorporadas a ninguna de las dos subregiones definidas, ya que dichas estaciones quedan fuera de los límites permisibles.

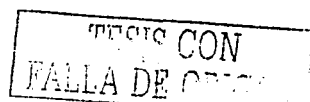
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
86	1211.314	2152.000	1.777	2330.946	49	13.24	4.36	23.95
89	2324.409	3944.756	1.697	4472.888	40	17.45	4.01	26.33
92	444.879	1036.069	2.329	856.086	28	7.76	3.40	31.90
94	320.116	537.000	1.678	616.003	29	11.53	3.46	31.25
96	275.684	622.857	2.259	530.502	27	7.29	3.34	32.59
99	412.485	653.918	1.585	793.750	48	17.58	4.33	24.17
101	1410.541	2349.442	1.666	2714.321	28	12.74	3.40	31.90
102	840.888	1491.500	1.774	1618.131	31	14.95	3.57	30.09
103	503.564	1138.222	2.260	969.014	26	4.33	3.27	33.35
104	876.553	1567.916	1.789	1686.762	46	17.49	4.26	24.64
105	299.694	416.667	1.390	576.705	26	20.35	3.27	33.35
109	80.879	250.571	3.098	155.636	20	5.91	2.84	39.59
110	120.138	250.364	2.084	231.183	21	5.39	2.92	38.28
111	658.686	1446.105	2.195	1267.517	37	8.81	3.88	27.37
112	372.463	649.433	1.744	716.735	36	14.21	3.83	27.76
113	75.272	145.111	1.928	144.847	26	9.76	3.27	33.35
114	549.073	884.098	1.610	1056.588	25	15.01	3.21	34.16
115	789.891	1687.743	2.137	1519.997	34	7.86	3.73	28.61
116	295.827	487.364	1.647	569.263	32	23.51	3.63	29.56
117	686.717	1263.258	1.840	1321.458	30	10.97	3.52	30.65

Tabla 5.8 Resultados de la primera subregión de la región 28

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
85	1288.16	2166.222	1.682	2138.097	26	9.846	3.273	33.347
87	1198.98	1782.245	1.486	1990.076	52	20.05	4.467	23.336
88	1101.042	2082.128	1.891	1827.517	46	6.306	4.255	24.639
90	1114.653	2097.263	1.882	1850.109	18	4.545	2.674	42.7
91	723.224	1128.932	1.561	1200.412	32	16.6	3.627	29.563
93	623.892	902.806	1.447	1035.540	30	18.98	3.516	30.649
95	392.053	645.883	1.647	650.732	46	11.05	4.255	24.639
100	1517.634	2154.129	1.419	2518.980	41	18.37	4.055	26.01
107	612.624	1232.6	2.012	1016.838	24	6.744	3.139	35.055
108	495.86	976.571	1.969	823.032	13	8.398	2.191	55.428
119	2005.104	3223.973	1.608	3328.086	11	10.6	1.966	64.505
120	1088.546	1831.9	1.683	1806.776	19	9.638	2.759	41.053
121	1232.867	1590.04	1.290	2046.321	20	18.5	2.841	39.589

Tabla 5.9 Resultados de la segunda subregión correspondiente a la región 28



Región No. 29

En esta región hidrológica todas las estaciones pasan de forma satisfactoria la prueba como puede observarse en la tabla 5.10.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R = Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p * Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
122	3603.812	6421.079	1.782	6241.938	36	9.08	3.83	27.76
123	1172.140	2128.000	1.815	2030.191	39	7.78	3.97	26.66
124	1259.120	2019.489	1.604	2180.843	17	22.80	2.59	44.57
125	1599.245	2391.660	1.495	2769.952	23	11.29	3.07	36.03
126	213.325	419.158	1.965	369.487	22	5.54	3.00	37.10
127	497.826	727.026	1.460	862.253	13	13.32	2.19	55.43
128	431.538	880.813	2.041	747.440	14	6.14	2.30	52.03
129	536.863	909.073	1.693	929.867	16	10.77	2.49	46.70

Tabla 5.10 Resultados de la prueba a la región 29

Región No. 30

Los resultados obtenidos al aplicar la prueba de homogeneidad indican que esta región hidrológica no puede tratarse como una sola región homogénea, ya que varias estaciones quedan fuera de los límites permisibles, por lo que se estudio la posibilidad de dividir dicha región en dos o más subregiones. Con esto, se encontró la región mencionada puede dividirse en tres subregiones, las cuales están definidas por las estaciones mostradas en las tablas 5.11, 5.12 y 5.13. De las mismas se puede observar que las estaciones 130, 136, 145, 146, 154, 159, 164 y 166 no pueden ser agrupadas en ninguna de las tres subregiones homogéneas.

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R = Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p * Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
131	5650.641	7385.992	1.307	7482.344	44	10.62	4.18	25.15
137	1306.555	1902.309	1.456	1730.086	43	8.48	4.14	25.42
153	3908.011	4865.648	1.245	5174.826	28	13.93	3.40	31.90
155	243.068	320.517	1.319	321.861	28	10.30	3.40	31.90
156	559.092	776.000	1.388	740.326	15	7.26	2.40	49.16
157	384.693	477.222	1.241	509.394	26	13.52	3.27	33.35
158	320.754	418.154	1.304	424.729	12	10.35	2.08	59.51
160	176.000	205.200	1.166	233.052	24	22.44	3.14	35.06
161	1182.414	1615.615	1.366	1565.703	25	9.25	3.21	34.16
162	978.428	1270.471	1.298	1295.594	16	11.28	2.49	46.70
163	292.806	453.737	1.550	387.722	18	3.57	2.67	42.70
165	2077.375	2598.000	1.251	2750.774	23	21.06	3.07	36.03

Tabla 5.11 Resultados de la primera subregión correspondiente a la región 30



Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
135	1247.659	1673.455	1.341	1936.983	21	37.06	2.92	38.28
138	781.659	1347.021	1.723	1213.521	18	4.98	2.67	42.70
140	746.525	959.737	1.286	1158.975	18	40.53	2.67	42.70
147	224.931	366.553	1.630	349.204	14	6.51	2.30	52.03
151	317.036	496.000	1.564	492.196	24	9.93	3.14	35.06
132	262.220	464.308	1.771	407.095	51	9.38	4.43	23.53

Tabla 5.12 Resultados de la segunda subregión correspondiente a la región 30

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación R= Q ₁₀ /Q _{2.33}	R _p *Q _{2.33} (Q _m)	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀					LI	LS
133	358.570	539.571	1.505	629.084	41	18.83	4.06	26.01
134	766.834	1729.800	2.256	1345.352	43	8.16	4.14	25.42
139	578.274	932.500	1.613	1014.538	31	15.82	3.57	30.09
141	612.503	974.154	1.590	1074.590	38	21.98	3.92	27.01
142	427.416	825.385	1.931	749.869	23	6.00	3.07	36.03
143	1468.685	2148.286	1.463	2576.696	20	15.16	2.84	39.59
144	506.550	1353.124	2.671	888.704	30	5.80	3.52	30.65
148	1479.676	3000.570	2.028	2595.979	32	6.71	3.63	29.56
149	215.916	280.264	1.298	378.808	21	98.12	2.92	38.28
150	198.824	284.200	1.429	348.822	19	16.78	2.76	41.05
152	1394.007	2226.250	1.597	2445.680	31	12.85	3.57	30.09
167	302.984	506.633	1.672	531.562	21	10.85	2.92	38.28

Tabla 5.13 Resultados de la tercera subregión correspondiente a la región 30

Aplicación de la prueba a estaciones de diferentes regiones

Una vez que se ha hecho un análisis en cada región por separado se procedió a verificar si es posible asociar estaciones hidrométricas de diferentes subregiones, llegando a la siguiente conclusión:

Se probó con todas las subregiones definidas, sin embargo solo las estaciones de la segunda subregión de la región hidrológica 28 pueden asociarse con las estaciones correspondientes a la única subregión definida en la región 29, ya que las estaciones de las subregiones mencionadas quedan dentro de los límites permitidos por la prueba de homogeneidad de Langbein.

Los resultados de este último análisis se consignan en la tabla 5.14

Estación	Gasto máximo (m ³ /s)		Relación	R _p * Q _{2.33}	n'	Tr para Q _m	Límites del Tr	
	Q _{2.33}	Q ₁₀	R = Q ₁₀ /Q _{2.33}	(Q _m)			LI	LS
85	1288.160	2166.222	1.682	2173.543	26	10.04	3.27	33.35
87	1198.980	1782.245	1.486	2023.067	52	22.12	4.47	23.34
88	1101.042	2082.128	1.891	1857.814	46	6.46	4.26	24.64
90	1114.653	2097.263	1.882	1880.780	18	4.61	2.67	42.70
91	723.224	1128.932	1.561	1220.313	32	17.03	3.63	29.56
93	623.892	902.806	1.447	1052.708	30	21.75	3.52	30.65
95	392.053	645.883	1.647	661.520	46	16.07	4.26	24.64
100	1517.634	2154.129	1.419	2560.739	41	19.85	4.06	26.01
107	612.624	1232.600	2.012	1033.695	24	6.91	3.14	35.06
108	495.860	976.571	1.969	836.676	13	8.54	2.19	55.43
119	2005.104	3223.973	1.608	3383.259	11	10.92	1.97	64.51
120	1088.546	1831.900	1.683	1836.729	19	11.68	2.76	41.05
121	1232.867	1590.040	1.290	2080.245	20	19.13	2.84	39.59
122	3603.812	6421.079	1.782	6080.797	36	7.96	3.83	27.76
123	1172.140	2128.000	1.815	1977.779	39	7.62	3.97	26.66
124	1259.120	2019.489	1.604	2124.543	17	16.01	2.59	44.57
125	1599.245	2391.660	1.495	2698.444	23	11.04	3.07	36.03
126	213.325	419.158	1.965	359.948	22	5.42	3.00	37.10
127	497.826	727.026	1.460	839.993	13	12.77	2.19	55.43
128	431.538	880.813	2.041	728.144	14	5.54	2.30	52.03
129	536.863	909.073	1.693	905.862	16	9.88	2.49	46.70

Tabla 5.14 Resultados al combinar la segunda subregión de la región 28 y las estaciones de la región hidrológica 29

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2 Prueba de Kolmogorov - Smirnov (K-S)

Esta prueba es de tipo no paramétrica, ya que permite determinar si los datos (en este caso gastos máximos anuales) de dos muestras provienen o no de una misma función de distribución, aun cuando ésta se desconozca. La única consideración de esta prueba es que las muestras a comparar son independientes entre sí.

5.2.1 Descripción de la prueba

La prueba se lleva a cabo mediante la obtención del parámetro D^* , el cual representa el máximo valor absoluto de la diferencia entre las dos funciones de distribución de probabilidad acumulada, esto es (Benjamin, 1970)

$$D^* = \max |F_1^*(q) - F_2^*(q)| \quad (5.13)$$

donde

$F_1^*(q)$ y $F_2^*(q)$ son los valores de la función de distribución acumulada de la primera y segunda muestra respectivamente, la cual puede calcularse como

$$F_1^*(q^{(i)}) = \frac{i}{n_1} \quad \text{y} \quad F_2^*(q^{(j)}) = \frac{j}{n_2} \quad (5.14)$$

$q^{(i)}$ es el i -ésimo valor observado, ordenado de mayor a menor en la muestra de tamaño n .

Una vez que se ha obtenido el valor de D^* se compara con el valor crítico del estadístico D , el cual se obtiene en función del nivel de significancia α adoptado y del tamaño de la muestra n .

Algunos valores de D se muestran en la tabla 5.15, donde el valor de n a usar está dado por (Benjamin, 1970)

$$n = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \quad (5.14a)$$

donde n_1 y n_2 son las longitudes de las dos muestras.

La prueba de la hipótesis nula de que las dos muestras provienen de la misma población se refleja en el nivel de significancia seleccionado, entonces si el valor del estadístico D^* es menor que el estadístico crítico D (obtenido de la tabla 5.15) las muestras efectivamente provienen de la misma población, es decir la hipótesis nula se acepta. Otra forma de probar la hipótesis nula es obtener el valor correspondiente del nivel de significancia para el valor del D^* y n , y si el nivel de significancia obtenido es menor que el nivel de significancia adoptado, entonces las muestras no pertenecen a la misma población y la hipótesis nula debe de ser rechazada.

Longitud de la muestra (n)	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
Para valores de n mayores	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Tabla 5.15 Valores del estadístico crítico D para la prueba de Kolmogorov – Smirnov (Benjamín, 1970)

5.2.2 Resultados de la prueba

De acuerdo con los resultados obtenidos, se dedujo que esta prueba es mucho más estricta que la prueba de Langbein, ya que al considerarse un nivel de significancia del 5% se obtuvieron un número grande de subregiones, con pocas estaciones en cada una de ellas, además de que varias estaciones no se pudieron agrupar en alguna subregión. Por esta razón se decidió tomar un nivel de significancia del 3%.

En general con esta prueba a diferencia de la prueba de Langbein, no es posible definir con exactitud las subregiones para la zona de estudio, ya que como se mencionó anteriormente esta prueba compara dos estaciones solamente lo que no permite visualizar la comparación de más de dos estaciones como conjunto. De acuerdo con esto, esta prueba solamente fue útil para dar una idea del comportamiento de las estaciones dentro de cada una de las regiones hidrológicas, es decir para ver en cuántas subregiones se puede dividir cada una de las regiones hidrológicas y cuáles estaciones se podrían asociar con cada una de las subregiones. Sin embargo con esta prueba se puede determinar qué estaciones en forma definitiva no pueden ser agrupadas o consideradas en una subregión homogénea.

A continuación se presenta el análisis de la prueba de homogeneidad de K-S de cada una de las regiones hidrológicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Región No. 24

De acuerdo con los resultados obtenidos, y mostrados en la tabla 5.16 se puede observar que esta región hidrológica no se puede dividir en más de una subregión, además se deduce que la estación 10 no puede ser incorporada en una región homogénea con ninguna de las otras estaciones, por lo que de acuerdo con esta prueba ésta estación no debe ser considerada en la determinación de los modelos regionales.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0.00	1.00									
3	0.01	0.00	1.00								
4	0.88	0.00	0.00	1.00							
5	0.00	0.00	0.03	0.00	1.00						
6	0.13	0.14	0.00	0.23	0.00	1.00					
7	0.04	0.00	0.00	0.05	0.01	0.01	1.00				
8	0.03	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.97	1.00			
9	0.01	0.97	0.00	0.03	0.00	0.39	0.00	1.00	1.00		
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.32	0.00	0.05	0.13	0.00	0.00	1.00
12	0.00	0.00	0.56	0.00	0.47	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
 Tabla 5.16 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 24

Región No. 25

En esta región de acuerdo con los resultados de la prueba mostrados en la tablas 5.17 se concluye que las estaciones de esta región pueden ser agrupadas en dos subregiones, en las cuales la primera de ellas esta formada por las estaciones 14, 15, 16, 17, 21, 23, 24, 31 y 32; mientras que a la segunda subregión la componen las estaciones 18, 19, 20, 26, 27, 28 y 30. Los resultados en la tabla indican también que las estaciones 13, 22, 25 y 29 no pueden ser consideradas en las subregiones mencionadas.

Región No. 26

Según los resultados al aplicar la prueba de K-S a esta región (tabla 5.18), no fue posible dividir dicha región en más subregiones, ya que de acuerdo con esta prueba no es claro el comportamiento de las estaciones hidrométricas.

De acuerdo con lo anterior los resultados obtenidos solo servirán para visualizar que estaciones de plano no son homogéneas con el resto de las estaciones de esta región. Estas estaciones son: 33, 38, 44, 48, 53, 58 y 60.

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14	0.00	1.00											
15	0.01	0.00	1.00										
16	0.00	0.01	0.56	1.00									
17	0.00	0.90	0.00	0.00	1.00								
18	0.00	0.03	0.24	0.54	0.02	1.00							
19	0.25	0.00	0.36	0.12	0.00	0.03	1.00						
20	0.01	0.01	0.78	0.65	0.01	0.57	0.24	1.00					
21	0.00	0.36	0.00	0.01	0.18	0.07	0.00	0.03	1.00				
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	1.00			
23	0.00	0.18	0.00	0.03	0.21	0.06	0.00	0.10	1.00	0.00	1.00		
24	0.00	0.38	0.00	0.00	0.43	0.01	0.00	0.00	0.21	0.00	0.17	1.00	
25	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	1.00
26	0.10	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.17	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.21	0.00	0.00	0.46	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.37	0.00
28	0.00	0.27	0.01	0.04	0.55	0.06	0.00	0.07	0.27	0.04	0.30	0.14	0.15
29	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.22	0.21	0.58	0.13	0.84	0.02	0.63	0.22	0.02	0.32	0.05	0.02
31	0.00	0.55	0.01	0.01	0.93	0.04	0.00	0.01	0.15	0.01	0.13	1.00	0.02
32	0.00	0.01	0.14	0.49	0.01	0.50	0.22	0.82	0.29	0.01	0.40	0.01	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si

Tabla 5.17 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 25

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estación	26	27	28	29	30	31	32
26	1.00						
27	0.00	1.00					
28	0.00	0.14	1.00				
29	0.28	0.00	0.00	1.00			
30	0.03	0.05	0.24	0.00	1.00		
31	0.00	0.86	0.03	0.00	0.09	1.00	
32	0.09	0.00	0.03	0.00	0.25	0.01	1.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si

Tabla 5.17 (Continuación)

Estación	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
33	1.00														
34	0.00	1.00													
35	0.00	0.53	1.00												
36	0.00	0.25	0.64	1.00											
37	0.00	0.01	0.02	0.01	1.00										
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00									
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.00								
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.49	1.00							
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00						
42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	1.00				
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.08	0.00	0.00	0.00	1.00			
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.05	0.03	0.00	0.02	0.00	1.00		
46	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	0.05	0.00	0.00	0.00	1.00
48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.72
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.21	0.89	0.01	0.00	0.00	0.08	0.05	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.03	0.17	0.00	0.00	0.00	0.55
52	0.00	0.87	0.77	0.47	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
54	0.00	0.29	0.98	0.86	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
56	0.00	0.42	0.60	0.55	0.01	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	0.00	0.26	0.34	0.34	0.01	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00
62	0.00	0.07	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
 Tabla 5.18 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 26

Estación	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
48	1.00													
49	0.00	1.00												
50	0.00	0.00	1.00											
51	0.00	0.89	0.00	1.00										
52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00									
53	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	1.00								
54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00	1.00							
55	0.24	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00						
56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.75	0.00	1.00					
57	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00				
58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.15	0.00	0.14	0.00	0.00	1.00		
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	1.00	
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.05	0.00	0.19

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
 Tabla 5.18 (continuación)

Región No. 27

Esta región cuenta con 22 estaciones hidrométricas, las cuales de acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 5.19 tienden a agruparse en dos subregiones, formando a la primera de ellas las estaciones 63, 64, 65, 67, 69, 77, 78 y 79; mientras que las estaciones 70, 71, 74, 75, 80, 81, 82 y 84 conforman la segunda subregión. También de la tabla mencionada se deduce que de acuerdo con la prueba de homogeneidad de K-S las estaciones 66, 72, 73, 75, 76 y 83, no pueden ser agrupadas en ninguna de las dos subregiones definidas.

Estación	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
64	0.63	1.00									
65	0.04	0.12	1.00								
66	0.00	0.00	0.00	1.00							
67	0.31	0.31	0.09	0.00	1.00						
68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
69	0.56	0.86	0.75	0.01	0.10	0.00	1.00				
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	1.00			
71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.12	1.00		
72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	1.00
74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
76	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
77	0.52	0.06	0.00	0.00	0.28	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00
78	0.89	0.20	0.02	0.00	0.43	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00
79	0.55	0.18	0.05	0.00	0.07	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.16	0.99	0.00	0.00
83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
84	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
Tabla 5.19. Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 27

Estación	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
74	1.00									
75	0.00	1.00								
76	0.00	0.00	1.00							
77	0.00	0.00	0.00	1.00						
78	0.00	0.00	0.00	0.81	1.00					
79	0.00	0.00	0.00	0.20	0.65	1.00				
80	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
81	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	1.00		
82	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
83	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.01	1.00
84	0.00	0.14	0.00	0.01	0.00	0.00	0.29	0.59	0.00	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
Tabla 5.19. (continuación)

CON
FALLA DE ORIGEN

Región No. 28

En esta región hidrológica los resultados de la prueba de K-S (tabla 5.20) muestran de una manera clara que dicha región se puede dividir en dos subregiones homogéneas. La primera subregión está formada por las estaciones 96, 97, 98, 99, 103, 104, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116 y 117; mientras que la segunda subregión la componen las estaciones 85, 87, 90, 91, 95, 100, 101, 102, 107, 108, 118, 119, 120 y 121.

Sin embargo las estaciones 86, 88, 89, 92, 94, 110 y 113 no pudieron ser incorporadas a ninguna de las dos subregiones, por lo que de acuerdo con esta prueba de homogeneidad no se deben de tomar en cuenta para la determinación de los modelos regionales.

Estación	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
86	0.03	1.00																
87	0.16	0.16	1.00															
88	0.00	0.57	0.24	1.00														
89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00													
90	0.23	0.57	0.86	0.65	0.00	1.00												
91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00											
92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00										
93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	1.00									
94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	1.00								
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.07	1.00							
96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.69	0.13	1.00						
97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00				
99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.07	0.29	0.17	0.00	0.05	1.00			
100	0.17	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
101	0.30	0.04	0.07	0.01	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	1.00	
102	0.00	0.19	0.00	0.25	0.00	0.08	0.14	0.00	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
103	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.02	0.05	0.00	0.13	0.00	0.27	0.18	0.00	0.00	0.01
104	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03	0.16	0.02	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
105	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.72	0.01	0.56	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
106	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.01	0.36	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
107	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.01	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03
108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.36	0.19	0.00	0.13	0.00	0.00	0.87	0.06	0.00	0.00	0.01
109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03
112	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.19	0.55	0.67	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00
113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.25	0.17	0.00	0.01	0.00	0.00	0.20	0.01	0.00	0.00	0.00
115	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.58	0.01	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.88	0.09	0.66	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00
117	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05	0.00
120	0.06	0.62	0.41	0.91	0.00	0.57	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.42
121	0.37	0.57	0.90	0.77	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.14	0.19

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.20 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 28.

Estación	103	104	105	106	107	108	109	110	114	112	113	114	115	116	117	118	119	120
103	1.00																	
104	0.04	1.00																
105	0.01	0.00	1.00															
106	0.00	0.00	0.75	1.00														
107	0.05	0.13	0.00	0.00	1.00													
108	0.39	0.02	0.00	0.00	0.30	1.00												
109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00											
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00										
111	0.79	0.12	0.00	0.00	0.13	0.25	0.00	0.00	1.00									
112	0.19	0.00	0.16	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	1.00								
113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	1.00							
114	0.18	0.01	0.00	0.00	0.31	0.85	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00	1.00						
115	0.04	0.47	0.00	0.00	0.27	0.04	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.02	1.00					
116	0.02	0.00	0.54	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00				
117	0.00	0.18	0.00	0.00	0.34	0.04	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.07	0.68	0.00	1.00			
118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.68	1.00		
119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
120	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00
121	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.20 (continuación)

Región 29

Al aplicar la prueba de homogeneidad de K-S a esta región se concluye que no forman una subregión homogénea, ya que solo tres estaciones pasan la prueba de homogeneidad, las cuales son: 127, 128 y 129 (tabla 5.21), por lo que para determinar los modelos regionales en esta zona se tomará en cuenta básicamente los resultados obtenidos con la prueba de Langbein.

Estación	122	123	124	125	126	127	128
123	0.00	1.00					
124	0.00	0.55	1.00				
125	0.00	0.00	0.01	1.00			
126	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
127	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
128	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	1.00
129	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.25

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.21 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 29.

TRM 100M
FALLA DE ORIGEN

Región 30

Los resultados de la prueba de homogeneidad aplicada a esta región indican que las estaciones tienden a agruparse en tres subregiones, las cuales están compuestas como sigue:

Subregión 1. La conforman las estaciones 133, 137, 141, 142, 143, 146, 148, 149, 150, 152, 166 y 167.

Subregión 2. Esta compuesta por las estaciones 132, 136, 138, 140, 144, 145, 147, 151 y 164.

Subregión 3. Las estaciones que la forman son: 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162 y 163.

Sin embargo ocho estaciones quedaron fuera de estas subregiones, las cuales son: 130, 131, 134, 135, 139, 153, 154 y 165.

Estación	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
131	0.00	1.00																		
132	0.00	0.00	1.00																	
133	0.00	0.00	0.00	1.00																
134	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00															
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00														
136	0.00	0.00	0.10	0.02	0.00	0.00	1.00													
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	1.00												
138	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	1.00											
139	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00										
140	0.01	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.50	0.02	1.00									
141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.08	1.00								
142	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.17	1.00								
143	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00							
144	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.53	0.64	0.00	1.00					
145	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	1.00				
146	0.00	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1.00			
147	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.54	1.00		
148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
149	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.84	0.00	0.00	1.00
150	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.31	0.42	0.00	0.61
151	0.00	0.00	0.02	0.22	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.26	0.03	0.03	0.00	0.00
152	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
153	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
154	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.06	0.99	0.17	0.00	0.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24	0.44	0.00	0.24
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.06	0.45	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
157	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.01	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
158	0.00	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.41	0.08	0.04	0.01
159	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.12	0.40	0.00	0.19
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
161	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
162	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
163	0.00	0.00	0.10	0.55	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.62	0.03	0.03	0.00	0.01
164	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.02
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
166	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.10	0.00	0.05
167	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.19	0.74	0.61	0.00	0.02

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí

Tabla 5.22 Valores del nivel de significancia de las estaciones de la región 30.

Estación	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
150	1.00																
151	0.00	1.00															
152	0.00	0.00	1.00														
153	0.00	0.00	0.00	1.00													
154	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00												
155	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00											
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	1.00										
157	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00									
158	0.02	0.98	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.16	1.00								
159	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.06	1.00							
160	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00						
161	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
162	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	1.00				
163	0.01	0.83	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.20	0.95	0.02	0.00	0.00	0.00	1.00			
164	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	1.00		
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
166	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	1.00
167	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.02	0.06	0.04	0.01	0.00	0.00	0.06	0.07	0.00	0.06

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
 Tabla 5.22 (continuación)

Una vez que la prueba se aplicó a cada una de las regiones del estudio, se procedió al manejo de estaciones hidrométricas de diferentes subregiones para saber si dos o más subregiones pueden formar una sola subregión, llegando a la conclusión de que ninguna de las subregiones definidas anteriormente se puede asociar con otra subregión.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.3 Prueba de Wilcoxon

Esta prueba al igual que la de K-S es de tipo no paramétrica, y consiste en probar la hipótesis nula de que dos muestras provienen de una misma población, aun cuando no se conozca su función de distribución. La diferencia entre las pruebas es que mientras en la de K-S las muestras son totalmente independientes, mientras que en la de Wilcoxon no lo son, ya que ésta toma en cuenta solo datos aparejados entre las muestras; es decir si al aplicar la prueba en dos estaciones hidrométricas, solamente en una de ellas existe registro de gasto para un cierto año, entonces, dicho registro debe descartarse del análisis.

5.3.1 Descripción de la prueba

Esta prueba se lleva a cabo mediante la obtención de las diferencias (D_i) para cada uno de los n pares de datos, es decir

$$D_i = X_i - Y_i \quad (5.15)$$

En donde X_i y Y_i son los valores de las observaciones de la primera y segunda muestra respectivamente. Si las diferencias son iguales a cero, éstas se eliminan, por lo que el número de pares de datos (n) se reduce.

Posteriormente se ordenan los valores absolutos de las diferencias asignándole rango uno al más pequeño, rango dos al siguiente, y así sucesivamente. Si dos o más valores absolutos de las diferencias son iguales para un mismo rango, entonces se le asigna a cada miembro del conjunto empatado el promedio de los rangos que se les había asignado a estas diferencias. Por ejemplo, si dos valores absolutos de las diferencias son iguales para los rangos 6 y 7, entonces cada uno recibe el rango de 6.5 y a la siguiente diferencia mayor absoluta se le asigna el rango 8.

Una vez echo lo anterior se calcula la suma de los rangos para las diferencias negativas T_c^- y también para las diferencias positivas T_c^+ y al valor más pequeño de ambas sumas se le denomina estadístico de prueba T , el cual se utiliza para probar la hipótesis de que las muestras provienen de la misma población.

Para probar la hipótesis es necesario calcular la región de rechazo, lo cual se lleva a cabo mediante la obtención del estadístico crítico T_c , el cual es función del nivel de significancia adoptado y del número de pares de datos n . Si el valor de T es mayor o igual que T_c la hipótesis se acepta, de lo contrario la hipótesis debe ser rechazada. Otra forma de probar la hipótesis es calcular el nivel de significancia para el valor de T y el número de pares de datos n , y si dicho nivel de significancia es mayor o igual que el nivel de significancia adoptado la hipótesis se acepta de lo contrario se rechaza.

En la tabla 5.23 se muestran los valores de T_c para diferentes niveles de significancia y para varios números de pares de datos (Mendenhall 1994)

α	Número de datos aparejados																
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0.10	1	2	4	6	8	11	14	17	21	26	30	36	41	47	54	60	68
0.05		1	2	4	6	8	11	14	17	21	25	30	35	40	46	52	59
0.02			0	2	3	5	7	10	13	16	20	24	28	33	38	43	49
0.01				0	2	3	5	7	10	13	16	19	23	28	32	37	33

α	Número de datos aparejados																
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
0.10	75	83	92	101	110	120	130	141	152	163	175	188	201	214	228	242	
0.05	66	73	81	90	99	107	117	127	137	148	159	171	183	195	208	222	
0.02	56	62	69	77	85	93	102	111	120	130	141	151	162	174	186	198	
0.01	49	55	68	68	76	84	92	100	109	118	128	138	149	160	171	183	

α	Número de datos aparejados												
	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0.10	256	271	287	303	319	336	353	371	389	408	427	446	466
0.05	235	250	264	279	295	311	327	344	361	379	397	415	434
0.02	211	224	238	252	267	281	297	313	329	345	362	380	398
0.01	195	208	221	234	248	262	277	292	307	323	339	356	373

Tabla 5.23 Valores críticos de T_c para la prueba de Wilcoxon

5.3.2 Resultados de la prueba

Al igual que con la prueba de K-S, al aplicar esta prueba se obtuvieron para un nivel de significancia del 5% varias subregiones las cuales están formadas con muy pocas estaciones, además de que varias estaciones no pasaron la prueba, por esta razón se decidió tomar un nivel de significancia del 3%.

Con los resultados obtenidos en esta prueba al igual que la prueba de K-S no es posible definir con exactitud las subregiones homogéneas, ya que la prueba se basa únicamente en la aplicación de la misma a pares de estaciones y no a un conjunto de ellas. Sin embargo esta prueba puede dar una idea en la determinación de las subregiones homogéneas además de que se puede definir qué estaciones de plano no son homogéneas con las demás estaciones.

A continuación se describen los resultados obtenidos por la prueba de Wilcoxon aplicada a cada una de las regiones hidrológicas en estudio.

Región No. 24

Los resultados mostrados en la tabla 5.24 indica que las estaciones de esta región no forman una región homogénea; sin embargo estos resultados muestran que las estaciones 2, 3 y 4 definitivamente no son homogéneas con respecto al resto de las estaciones.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0.00	1.00									
3	0.00	0.00	1.00								
4	0.30	0.00	0.00	1.00							
5	0.00	0.00	0.01	0.00	1.00						
6	0.02	0.11	0.00	0.03	0.00	1.00					
7	0.08	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	1.00				
8	0.07	0.00	0.00	0.74	0.01	0.00	0.57	1.00			
9	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	1.00		
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
11	0.00	0.00	0.01	0.18	0.52	0.00	0.05	0.01	0.00	0.05	1.00
12	0.02	0.00	0.15	0.02	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.26

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
5.24 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 24)

Región No. 25

Al aplicar la prueba de homogeneidad de Wilcoxon a esta región hidrológica, se observó que solo se puede tratar como una sola subregión homogénea, además no se pudo definir con certeza que estaciones no sean homogéneas con respecto a las demás, por lo que la división de subregiones de esta región se hará con base a los resultados obtenidos con las pruebas de Langbein y K-S.

Estación	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14	0.00	1.00											
15	0.01	0.00	1.00										
16	0.01	0.00	0.38	1.00									
17	0.00	0.56	0.00	0.00	1.00								
18	0.79	0.00	0.30	0.73	0.00	1.00							
19	0.87	0.00	0.08	0.07	0.00	0.79	1.00						
20	0.11	0.00	0.60	0.90	0.00	0.08	0.01	1.00					
21	0.00	0.29	0.00	0.00	0.14	0.02	0.00	0.02	1.00				
22	0.87	0.18	0.98	0.85	0.16	0.01	0.29	0.62	0.30	1.00			
23	0.00	0.55	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.66	0.26	1.00		
24	0.00	0.43	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.00	0.09	0.16	0.03	1.00	
25	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	1.00
26	0.10	0.00	0.02	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.49	0.00	0.01	0.18	0.10	0.00	0.00	0.11	0.37	0.10	0.68	0.50
28	0.00	0.11	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.42	0.09	0.14	0.69	0.07
29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.91	0.03	0.69	0.96	0.01	0.26	0.68	0.91	0.25	0.00	0.20	0.04	0.03
31	0.06	0.96	0.03	0.07	0.68	0.30	0.01	0.02	0.22	0.01	0.68	0.48	-
32	1.00	0.03	0.35	0.59	0.02	0.40	0.17	0.86	0.19	0.00	0.08	0.00	-

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.25 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 25)

Estación	26	27	28	29	30	31	32
26	1.00						
27	0.00	1.00					
28	0.00	0.64	1.00				
29	0.01	0.00	0.00	1.00			
30	0.02	0.21	0.01	0.02	1.00		
31	0.00	0.65	0.52	0.01	0.22	1.00	
32	0.05	0.02	0.11	0.03	0.26	0.02	1.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
 Tabla 5.25 (Continuación)

Región No. 26

Al aplicar la prueba de Wilcoxon a esta región se observó que no es claro la división en más subregiones homogéneas, ya que los resultados mostrados en la tabla 5.26 así lo indican, también con los resultados se dedujo que las estaciones 33, 39, 44, 50, 53 y 58 definitivamente no pueden ser consideradas en la obtención de los modelos regionales.

De acuerdo con lo anterior, para determinar los modelos regionales en esta región se utilizaran solamente los resultados obtenidos en la prueba de Langbein, ya que, los obtenidos por la prueba de K-S muestran el mismo comportamiento que los de Wilcoxon.

Estación	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
33	1.00														
34	0.00	1.00													
35	0.00	0.60	1.00												
36	0.00	0.21	0.08	1.00											
37	0.00	0.04	0.74	0.32	1.00										
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00									
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00								
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.11	1.00							
41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00						
42	0.00	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.16	0.00	1.00				
44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.04	0.00	0.00	0.00	1.00			
45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	1.00		
46	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
47	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00
48	0.00	0.00	0.98	0.77	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.23
50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
51	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.19
52	0.00	0.19	0.21	0.42	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
53	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
54	0.00	0.28	0.15	0.12	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
55	0.00	0.00	0.81	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56	0.00	0.50	0.06	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.55	0.00	0.00	0.14	0.00	0.45	0.00	0.00
58	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	0.00	0.69	0.81	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.65	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
61	0.00	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75
62	0.00	0.43	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
 Tabla 5.26 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 26)

TEST CON
 FALLA DE ORIGEN

Estación	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
48	1.00													
49	0.00	1.00												
50	0.00	0.00	1.00											
51	0.00	0.20	0.00	1.00										
52	0.10	0.00	0.00	0.00	1.00									
53	0.00	0.39	0.00	0.76	0.00	1.00								
54	0.17	0.01	0.00	0.01	0.47	0.00	1.00							
55	0.11	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.16	1.00						
56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.35	0.00	1.00					
57	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00				
58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.75	0.00	0.65	0.00	0.00	1.00		
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.05	0.01	1.00	
61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.40	0.00	0.32	0.00	0.00	0.01	0.03	1.00
62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.64	0.00	0.54	0.00	0.00	0.09	0.08	0.02

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.26 (continuación)

Región No. 27

Los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 5.27 al aplicar la prueba de Wilcoxon a esta región muestran que las estaciones hidrométricas de esta región tienden a agruparse en dos subregiones. La primera subregión esta formada por las estaciones 63, 64, 65, 66, 67, 69, 76, 77, 78 y 79; mientras que la segunda subregión la forman las estaciones 68, 70, 71, 74, 75, 80, 81, 82, 83 y 84.

También los resultados muestran que las estaciones 72 y 73 no pertenecen a ninguna de las dos subregiones definidas.

Estación	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
64	0.16	1.00									
65	0.05	0.01	1.00								
66	0.00	0.00	0.01	1.00							
67	0.40	0.33	0.01	0.00	1.00						
68	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	1.00					
69	0.69	0.65	-	0.03	0.36	0.00	1.00				
70	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	1.00			
71	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	-	0.94	1.00		
72	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	-	0.00	0.00	1.00	
73	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.72	1.00
74	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.46	-	0.03	0.93	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.73	-	0.03	0.00	0.00	0.00
76	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
77	0.05	0.02	0.01	0.00	0.16	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00
78	0.49	0.10	0.03	0.00	0.69	0.00	0.25	0.01	0.00	0.00	0.00
79	0.06	0.87	0.03	0.00	0.31	0.00	-	0.02	0.02	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.14	0.00	0.25	0.02	0.00	0.00
81	0.06	0.01	0.04	0.14	0.07	-	-	0.00	0.00	0.01	0.01
82	0.00	0.00	0.04	0.03	0.04	-	-	0.65	0.27	0.01	0.01
83	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.69	-	0.04	0.05	0.00	0.01
84	0.06	0.05	0.03	0.35	0.18	0.11	-	0.00	0.01	0.01	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si
Tabla 5.27 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 27)

Estación	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
74	1.00									
75	0.00	1.00								
76	0.00	0.00	1.00							
77	0.00	0.00	0.00	1.00						
78	0.00	0.00	0.00	0.22	1.00					
79	0.00	0.00	0.00	0.15	0.40	1.00				
80	0.57	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			
81	0.01	0.33	0.11	0.11	0.11	0.11	0.66	1.00		
82	0.40	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.59	0.00	1.00	
83	0.08	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.14	1.00
84	0.00	0.11	0.03	0.12	0.03	0.08	0.50	0.58	0.04	0.00

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre si

Tabla 5.27 (Continuación)

Región No. 28

Los resultados mostrados en la tabla 5.28 muestran que esta subregión puede dividirse en dos subregiones, la primera de ellas formada por las estaciones 86, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106, 112, 114, 115, 116 y 117; mientras que la segunda la forman las estaciones 85, 87, 88, 90, 91, 93, 95, 100, 101, 107, 108, 118, 119, 120 y 121.

También en la tabla 5.28 puede observarse que las estaciones 89, 109, 110 y 113 no pueden ser agrupadas en ninguna de las dos subregiones definidas anteriormente.

Región No. 29

Los resultados obtenidos en la aplicación de la prueba de homogeneidad, los cuales se muestran en la tabla 5.29, indican que las estaciones localizadas en esta región no definen de una manera satisfactoria una región homogénea, sin embargo se puede concluir de los resultados que las estaciones 122 y 126 definitivamente no son homogéneas con alguna otra estación.

Los modelos regionales en esta región se determinaran utilizando los resultados obtenidos con la prueba de homogeneidad de Langbein.

Región No. 30

Esta región hidrológica puede dividirse en dos subregiones (tabla 5.30), perteneciendo las estaciones 133, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 149, 150, 152 y 167 a la primera de ellas; mientras que la segunda subregión esta formada por las estaciones 132, 135, 136, 138, 140, 145, 146, 147, 151, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164 y 166. Sin embargo las estaciones 130, 131, 148, 153 y 165 no pueden agruparse en ninguna de las dos subregiones definidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Estación	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
86	0.17	1.00																
87	0.57	0.48	1.00															
88	0.48	0.46	0.08	1.00														
89	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00													
90	0.60	0.47	0.37	0.35	0.00	1.00												
91	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00											
92	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00										
93	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	1.00									
94	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00								
95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.08	1.00							
96	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.82	0.12	1.00						
97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.17	0.00	0.16	1.00					
98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	1.00				
99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.05	0.45	0.23	0.00	0.01	1.00			
100	0.11	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
101	0.59	0.05	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	1.00	
102	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
103	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.09	0.07	0.00	0.10	0.01	0.00	0.86	0.07	0.00	0.00	0.00
104	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.15	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
105	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.32	0.04	0.69	0.30	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
106	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.18	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
108	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.39	0.15	0.12	0.03	0.08	0.06	0.70	0.17	0.00	0.00	0.01
109	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.38	0.04	0.98	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.15
112	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.88	0.80	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.39	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.08	0.06	0.00	0.00	0.01
115	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.33	0.01	0.75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
116	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.87	0.13	0.42	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
117	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.79	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.14	0.14	0.14	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21
119	0.13	0.01	0.00	0.05	0.07	0.29	0.04	0.07	0.04	0.04	0.00	0.07	0.00	0.03	0.00	0.09	0.16	0.02
120	0.06	0.81	0.04	0.03	0.02	-	0.66	0.18	0.18	0.18	0.00	-	0.00	0.01	0.00	0.00	0.23	0.17
121	0.06	0.82	0.15	0.06	0.01	-	0.66	0.18	0.18	0.18	0.00	-	0.00	0.01	0.00	0.02	0.23	0.50

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
 Tabla 5.28 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 28)

TFCIS CON
 FALLA DE OF

Estación	103	104	105	106	107	108	109	110	114	112	113	114	115	116	117	118	119	120
103	1.00																	
104	0.22	1.00																
105	0.00	0.00	1.00															
106	0.00	0.00	0.22	1.00														
107	0.00	0.42	0.00	0.00	1.00													
108	0.75	0.51	0.00	0.00	0.39	1.00												
109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00											
110	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	1.00										
111	0.12	0.03	0.00	0.00	0.52	0.11	0.00	0.00	1.00									
112	0.07	0.00	0.19	0.14	0.00	0.31	0.00	0.01	0.00	1.00								
113	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00							
114	0.64	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.70	0.00	0.00	1.00						
115	0.06	0.09	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00					
116	0.07	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	1.00				
117	0.00	0.45	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.00	0.01	0.76	0.00	1.00			
118	0.60	0.01	0.04	0.04	0.75	0.04	0.04	0.07	0.07	0.00	0.00	0.06	0.61	0.00	0.61	1.00		
119	0.03	0.00	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	
120	0.11	0.75	0.18	0.18	0.07	0.18	0.18	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.01	0.00	0.01	1.00
121	0.11	0.82	0.18	0.18	0.07	0.18	0.18	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.94

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
 Tabla 5.28 (Continuación)

Estación	122	123	124	125	126	127	128
123	0.00	1.00					
124	0.00	0.05	1.00				
125	0.00	0.01	0.04	1.00			
126	0.00	0.00	0.02	0.00	1.00		
127	0.00	0.09	0.18	0.00	0.00	1.00	
128	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.52	1.00
129	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.80	0.27

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí
 Tabla 5.29 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 29)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Estación	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149
131	0.00	1.00																		
132	0.00	0.00	1.00																	
133	0.00	0.00	0.00	1.00																
134	0.17	0.00	0.00	0.00	1.00															
135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	1.00														
136	0.00	0.00	0.08	0.45	0.00	0.00	1.00													
137	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	1.00												
138	0.53	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.01	0.00	1.00											
139	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	1.00										
140	0.01	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.03	0.00	0.15	0.06	1.00									
141	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.60	0.65	1.00								
142	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00							
143	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	0.97	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00						
144	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.70	0.20	0.43	0.13	0.00	1.00					
145	0.00	0.00	0.00	0.80	0.02	0.00	0.33	0.00	0.00	0.03	0.02	0.21	0.47	0.00	0.01	1.00				
146	0.00	0.00	0.85	0.03	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00				
147	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.78	1.00			
148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
149	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	0.09	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.91	0.81	0.00	1.00
150	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.30	0.00	0.04
151	0.00	0.00	0.07	0.11	0.00	0.01	0.88	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.86	0.01	0.00	0.00	0.00
152	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.98	0.03	0.00	0.03	0.00	0.64	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
153	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
154	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.92	0.63	0.75	0.70	0.12	0.00	0.59	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
155	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.01	0.41	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.47	0.75	0.00	0.46
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.18	0.03	0.09	0.03	0.93	0.00	0.14	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
157	0.00	0.00	0.02	0.55	0.00	0.01	0.51	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.03	0.01	0.00	0.00
158	0.00	0.00	0.53	0.04	0.00	0.03	0.35	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.12	0.03	0.00
159	0.00	0.00	0.50	0.15	0.02	0.03	0.19	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.47	0.01	0.16	0.00	0.31
160	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.05
161	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	0.74	0.00	0.01	0.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
162	0.33	0.00	0.00	0.00	0.23	0.20	0.00	0.00	0.17	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
163	0.00	0.00	0.18	0.03	0.00	0.01	0.12	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.29	0.00	0.00	0.00
164	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.01	0.00	0.06
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.11	0.00	0.11	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
166	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
167	0.00	0.00	0.94	0.03	0.00	0.11	0.77	0.00	0.18	0.00	0.18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.35	0.97	0.09	0.00	0.51

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí

Tabla 5.30 Resultados de la prueba de homogeneidad de Wilcoxon (Región 30)

Estación	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
150	1.00																
151	0.00	1.00															
152	0.00	0.00	1.00														
153	0.00	0.00	0.00	1.00													
154	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00												
155	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00											
156	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	1.00										
157	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00									
158	0.03	0.24	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.24	1.00								
159	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.46	0.01	0.09	0.01	1.00							
160	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.00						
161	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00					
162	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	1.00				
163	0.00	0.49	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.41	0.09	0.00	0.00	0.00	1.00			
164	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.07	0.78	0.00	0.00	0.00	1.00		
165	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.00	
166	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	1.00
167	0.48	0.28	0.00	0.00	0.02	0.82	0.01	0.10	0.77	0.41	0.05	0.00	0.01	0.88	0.05	0.00	0.05

Nota: El valor del nivel de significancia en negritas indica que las estaciones correspondientes son homogéneas entre sí

Tabla 5.30 (Continuación)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4 Comparación de los resultados entre las pruebas

En este punto se hace una descripción de los resultados obtenidos por cada una de las pruebas de homogeneidad.

De acuerdo con los resultados, al aplicar cada una de las pruebas de homogeneidad se tienen los siguientes puntos comunes para la zona de estudio:

- a) De acuerdo con las pruebas de K-S y Wilcoxon, las regiones hidrológicas 24 y 26 no pueden dividirse en dos o más subregiones. La aplicación de estas pruebas en las regiones mencionadas sirven para dar una idea de las estaciones hidrométricas que pueden quedar fuera en la determinación de los modelos regionales.
- b) Las regiones hidrológicas 27 y 28 se dividen cada una de ellas en dos subregiones según los resultados obtenidos por las tres pruebas de homogeneidad aplicadas.
- c) Según las pruebas de K-S y de Wilcoxon las estaciones de la región 29 no presentan una clara homogeneidad entre ellas, mientras que la prueba de Langbein indica que las estaciones de esta región son perfectamente homogéneas.
- d) La prueba de Langbein al igual que la de K-S indica que la región hidrológica 30 se divide en tres subregiones y además, ambas muestran que ocho estaciones quedan fuera de dichas subregiones.

Algunas diferencias entre los resultados obtenidos con las pruebas de homogeneidad son:

- a) Con las pruebas de K-S y Wilcoxon hay regiones hidrológicas en las que no se puede determinar de una manera clara las subregiones, mientras que con la prueba de Langbein esto no sucede.
- b) Los resultados de la prueba de Langbein indican que la segunda subregión correspondiente a la región 28 puede asociarse con las estaciones de la región hidrológica 29, situación que con las otras dos pruebas de homogeneidad no es posible.
- c) De acuerdo con las pruebas de Langbein y de K-S la región hidrológica 30 se divide en tres subregiones, mientras que con la prueba de Wilcoxon dicha región solamente se divide en dos.
- d) Con la prueba de Langbein se descartan del estudio 34 estaciones hidrométricas, mientras que la prueba de K-S indica que 38 estaciones quedan fuera del estudio y 22 estaciones quedan fuera con la prueba de Wilcoxon. Las estaciones que quedaron fuera con cada una de las pruebas de homogeneidad no son necesariamente las mismas.
- e) La prueba de Langbein indica que la zona de estudio se divide en 12 subregiones, mientras que, con la prueba de K-S, se definieron nueve subregiones y seis subregiones con la prueba de Wilcoxon.

Las estaciones hidrométricas que componen a cada una de las subregiones definidas por cada una de las pruebas se muestran en la tabla 5.31.

Reg. hidrol.	Subregión homogénea	Prueba de Langbein	Prueba de Kolmogorov-Smirnov	Prueba de Wilcoxon
24-24-24	1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12	No se pudieron definir subregiones homogéneas	No se pudieron definir subregiones homogéneas
25-25-25	2	13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 23, 24, 27, 28, 29, 31, 32	14, 15, 16, 17, 21, 23, 24, 31, 32	No se pudieron definir subregiones homogéneas
26-25-25	3	40, 47, 55, 57, 58, 59	18, 19, 20, 26, 27, 28, 30	No esta bien definida la región
26-26-26	4	33, 37, 41, 42, 44, 46, 48, 51, 61	No se pudieron definir subregiones homogéneas	No se pudieron definir subregiones homogéneas
26	5	34, 39, 43, 45, 52, 54, 56		
27-27-27	6	64, 65, 69, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81	63, 64, 65, 67, 69, 77, 78, 79	63, 64, 65, 66, 67, 69, 76, 77, 78, 79
27-27-27	7	63, 67, 68, 70, 72, 83, 84	70, 71, 74, 75, 80, 81, 82, 84	68, 70, 71, 74, 75, 80, 81, 82, 83, 84
28-28-28	8	86, 89, 92, 94, 96, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117	96, 97, 98, 99, 103, 104, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117	86, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106, 112, 114, 115, 116, 117
28-28-28	9	85, 87, 88, 90, 91, 93, 95, 100, 107, 108, 119, 120, 121	85, 87, 90, 91, 95, 100, 101, 102, 107, 108, 118, 119, 120, 121	85, 87, 88, 90, 91, 93, 95, 100, 101, 107, 108, 118, 119, 120, 121
29-29-29	10	122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129	No se pudieron definir subregiones homogéneas	No se pudieron definir subregiones homogéneas
30-30-30	11	131, 137, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165	133, 137, 141, 142, 143, 146, 148, 149, 150, 152, 166, 167	133, 134, 137, 139, 141, 142, 143, 144, 149, 150, 152, 167
30-30-30	12	135, 138, 140, 147, 151, 132	132, 136, 138, 140, 144, 145, 147, 151, 164	132, 135, 136, 138, 140, 145, 146, 147, 151, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 166
30-30	13	133, 134, 139, 141, 142, 143, 144, 148, 149, 150, 152, 167	155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163	

Tabla 5.31 Estaciones hidrométricas de cada subregión de acuerdo con cada prueba.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.5 Definición de las subregiones homogéneas

Para la definición de las subregiones de la zona en estudio se le dio mas peso a los resultados obtenidos con la prueba de Langbein, ya que a diferencia de las otras dos pruebas, además de tener bases estadísticas, está deducida con bases hidrológicas. Otra razón para ello es que esta prueba supone que los registros de los gastos máximos anuales de las estaciones hidrométricas siguen una función de distribución de Gumbel.

De acuerdo con lo anterior, la región hidrológica 24 se tomará como una subregión homogénea, ya que con ninguna de las tres pruebas de homogeneidad se pudieron definir más subregiones.

Al igual que la región 24, la región hidrológica 25 no se pudo dividir en más subregiones de acuerdo con las pruebas de Langbein y de Wilcoxon, por lo que se tomará una sola subregión. También se puede observar que las estaciones 18, 20, 26 y 30, a pesar de que fueron descartadas por la prueba de Langbein, por las otras dos pruebas no lo fueron, por lo que éstas se agregarán al grupo de estaciones que conforman la única subregión homogénea definida con la prueba de Langbein.

Como en la región 26 la homogeneidad no estuvo bien definida con las pruebas de K-S y de Wilcoxon, se tomarán las subregiones obtenidas con los resultados de la prueba de Langbein. A pesar de que entre las estaciones hidrométricas que fueron descartadas por esta última prueba, las estaciones 35, 36, 49 y 62 no lo fueron por las dos primeras pruebas; por lo que serán añadidas a las subregiones correspondientes a las definidas por Langbein.

Las subregiones definidas por la prueba de Langbein en la región 27 serán consideradas en la regionalización definitiva, ya que también, esas mismas subregiones son similares a las definidas por las otras dos pruebas de homogeneidad.

El resto de las subregiones serán las definidas por la prueba de Langbein, ya que la homogeneidad de la región 29 sólo se pudo definir con esta prueba, mientras que la región 28 se dividió en dos subregiones por las tres pruebas y por ultimo la región 30 si dividió en tres subregiones de acuerdo con la prueba de K-S y Langbein.

Cabe aclarar que según los resultados obtenidos por la prueba de Langbein, la segunda subregión de la región hidrológica 28 a pesar que es homogénea con las estaciones de la región hidrológica 29, no se tomará como una sola subregión homogénea, ya que de acuerdo con los resultados del análisis de incidencia de ciclones (capitulo 3), la afectación de los ciclones a estas dos regiones hidrológicas es distinta, es decir una se ve mas afectada que la otra por los ciclones.

Con base en lo mencionado anteriormente la zona de estudio se dividió en 13 subregiones homogéneas, las cuales se muestran en la siguiente tabla y en las figuras 5.1 a 5.7.

Subregión homogénea	Estaciones hidrométricas	Región hidrológica
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12	24 Oriente
2	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32	25
3	35, 36, 40, 47, 55, 57, 58, 59	26
4	33, 37, 41, 42, 44, 46, 48, 51, 61, 62	26
5	34, 39, 43, 45, 49, 52, 54, 56	26
6	64, 65, 69, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81	27
7	63, 67, 68, 70, 72, 83, 84	27
8	86, 89, 92, 94, 96, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117	28
9	85, 87, 88, 90, 91, 93, 95, 100, 107, 108, 119, 120, 121	28
10	122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129	29
11	131, 137, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165	30
12	132, 135, 138, 140, 147, 151	30
13	133, 134, 139, 141, 142, 143, 144, 148, 149, 150, 152, 167	30

Tabla 5.32 Estaciones que forman cada una de las subregiones finales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

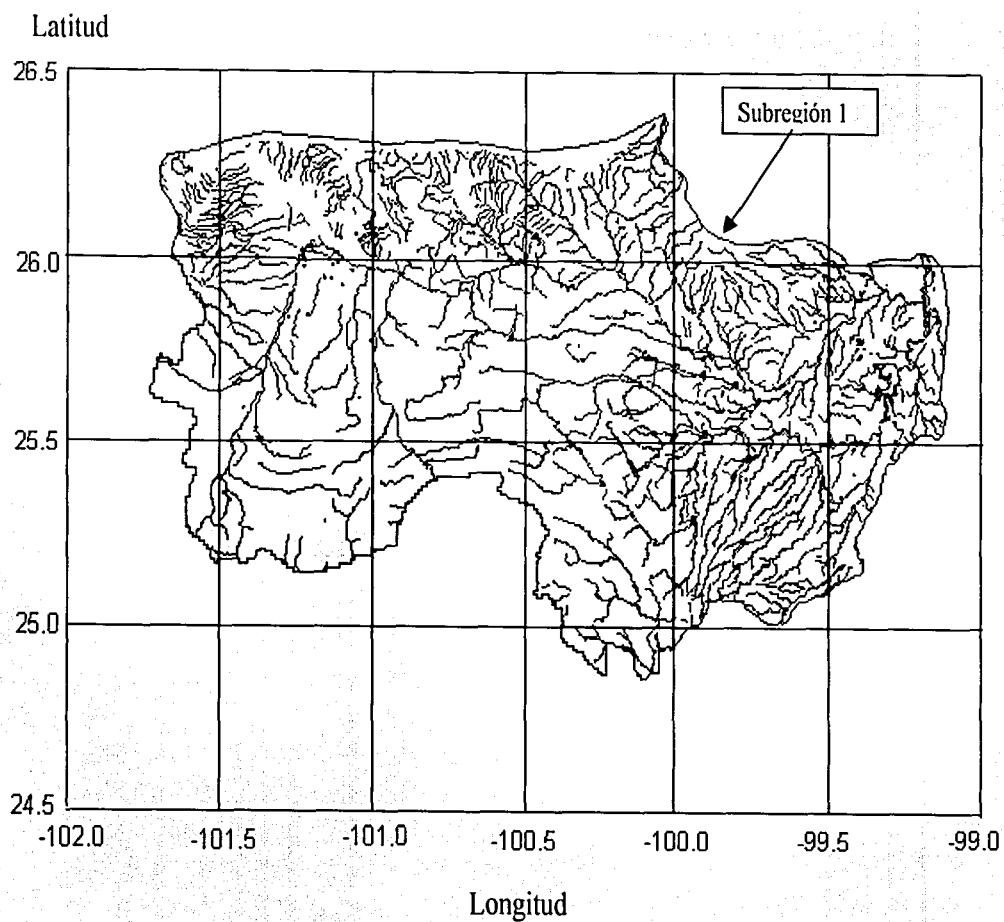
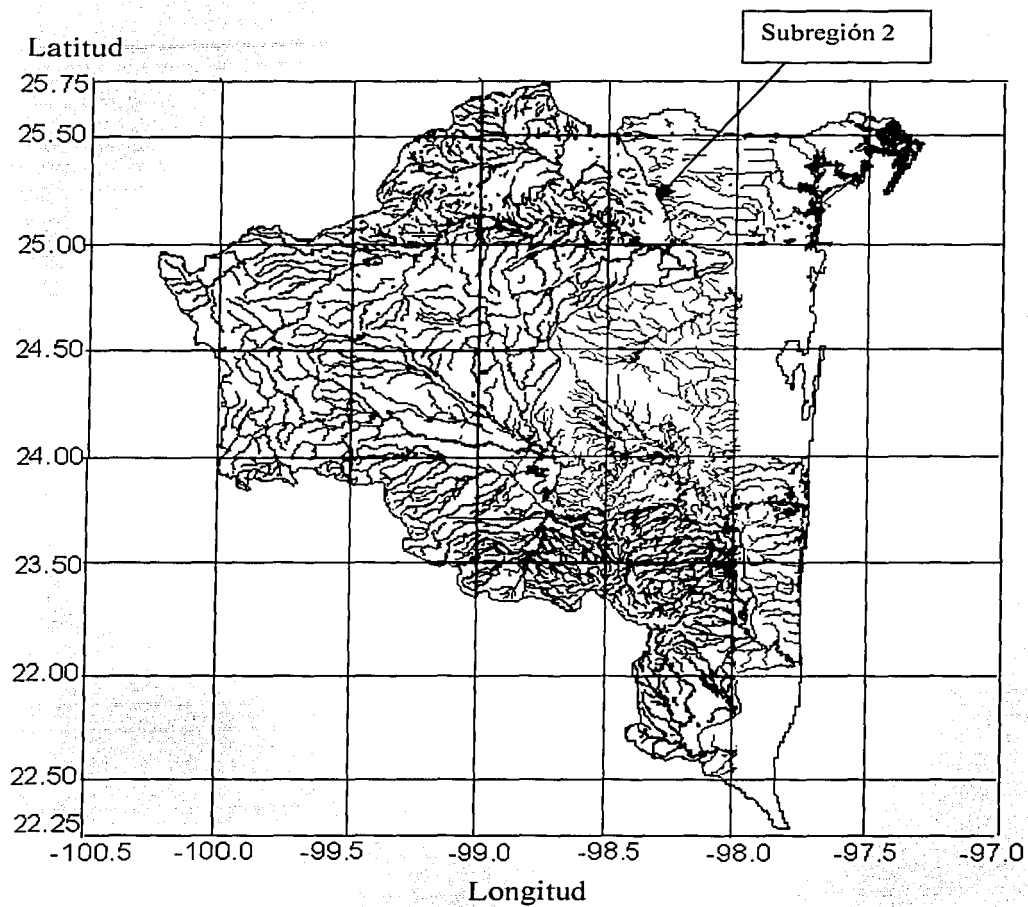


Figura 5.1 Subregión homogénea 1



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.2 Subregión homogénea 2

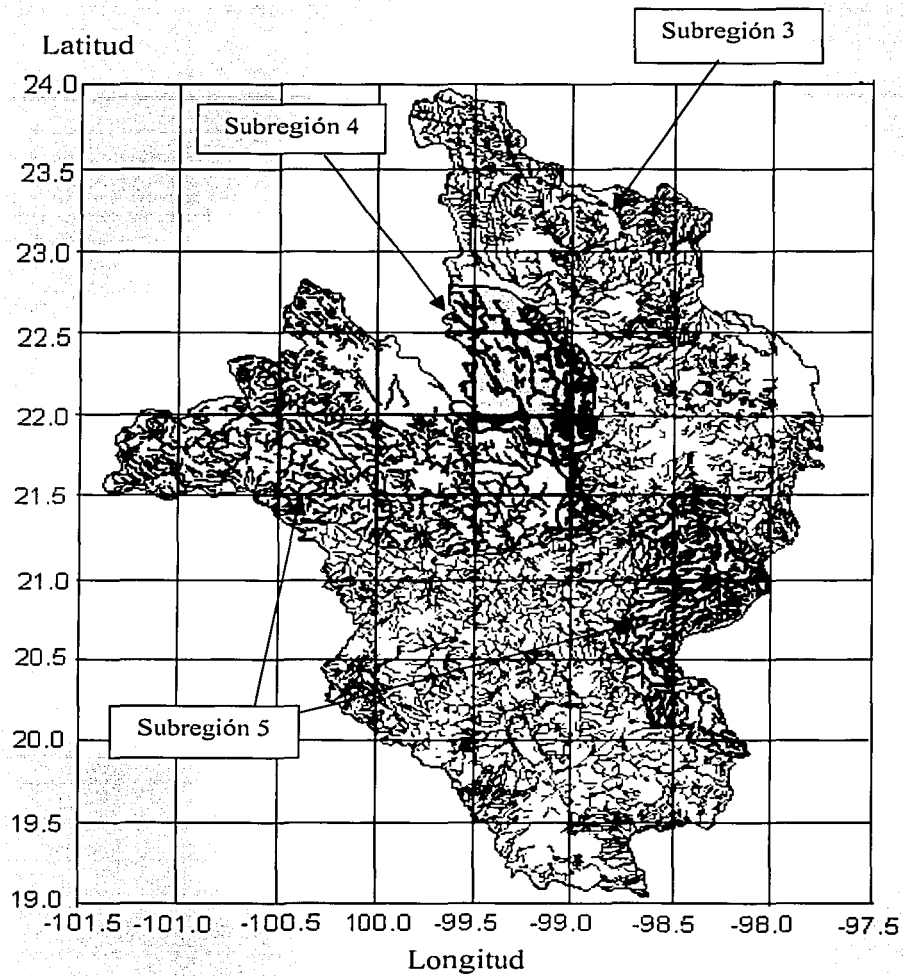
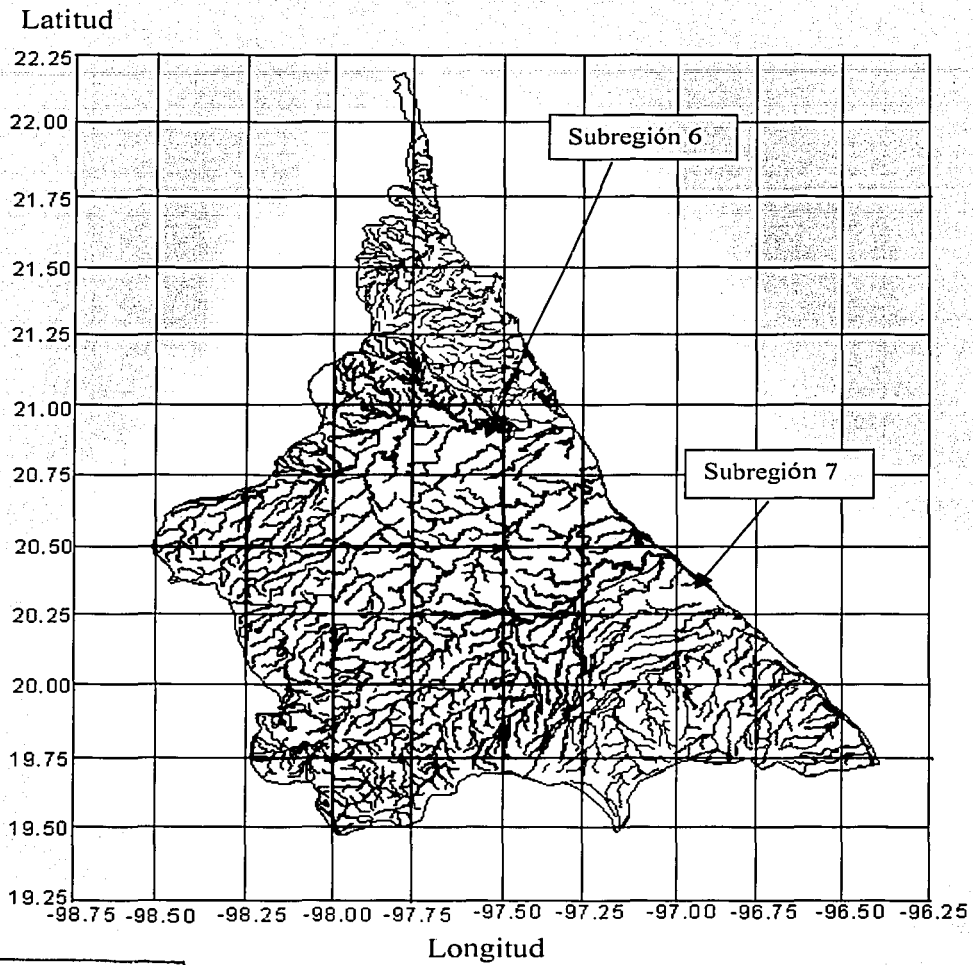


Figura 5.3 Subregiones homogéneas 3, 4 y 5.



TRUCO CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.4 Subregiones homogéneas 6 y 7

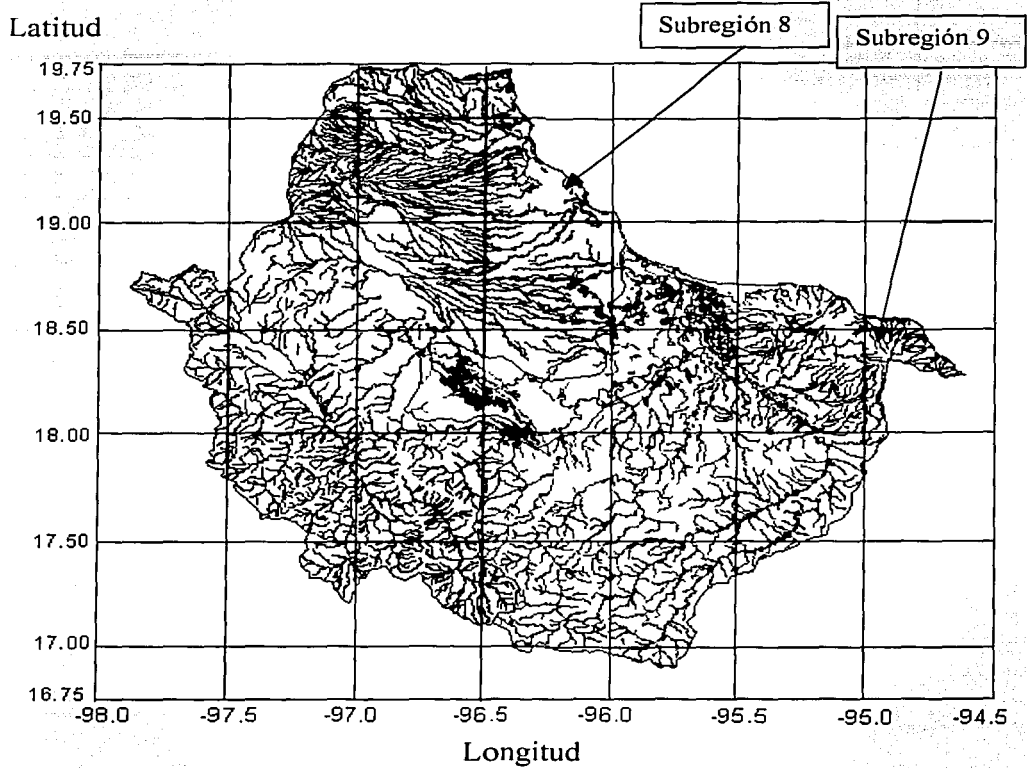


Figura 5.5 Subregiones homogéneas 8 y 9

Latitud

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

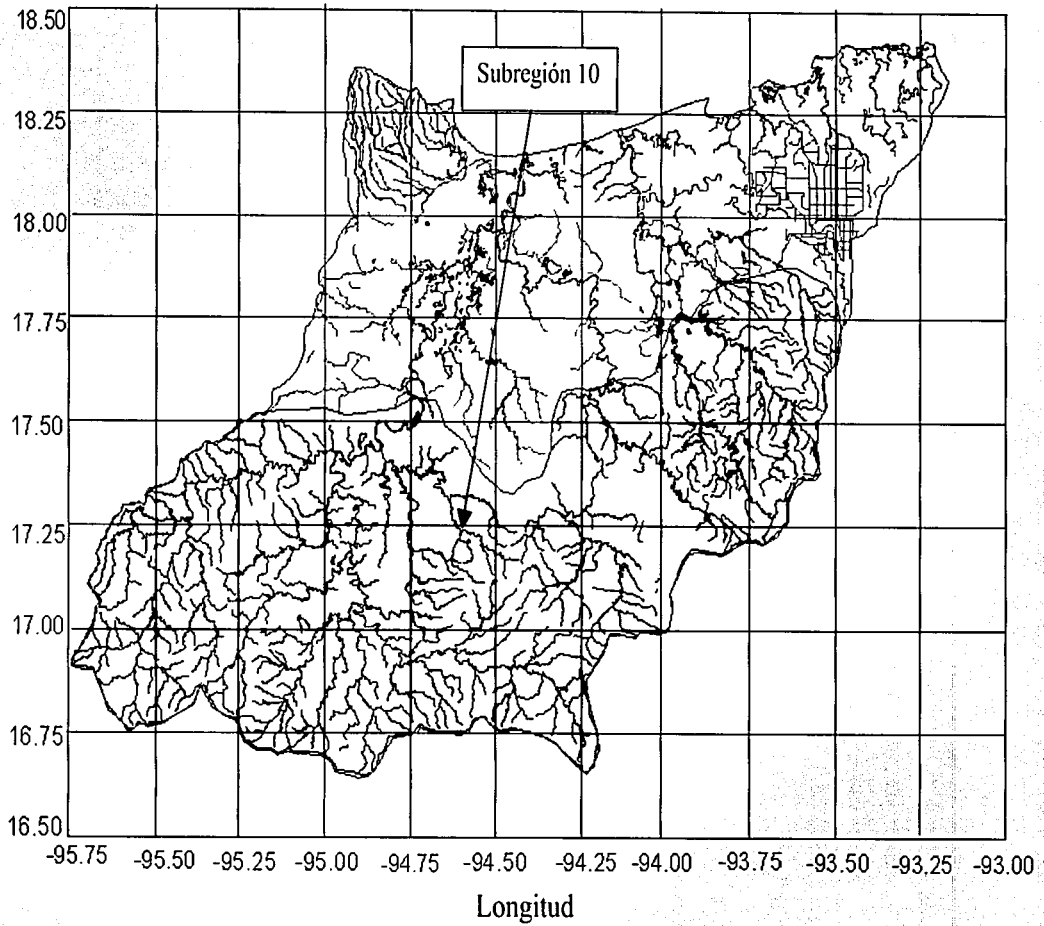


Figura 5.6 Subregión homogénea 10

Latitud

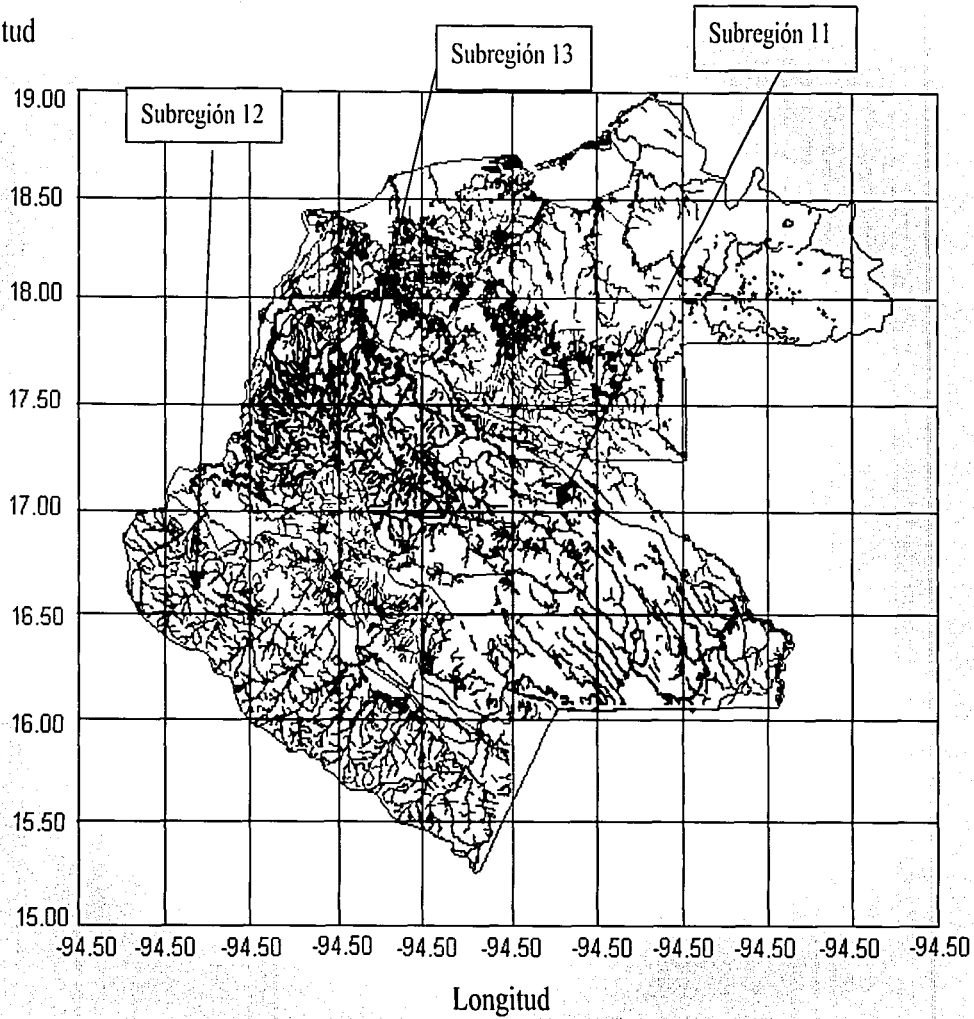


Figura 5.7 Subregiones homogéneas 11, 12 y 13

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6

Modelos regionales

Para el dimensionamiento de una obra hidráulica es necesario obtener su gasto de diseño, el cual puede calcularse por medio de un análisis de frecuencias de gastos máximos (capítulo 4). Para poder llevar a cabo dicho análisis es necesario contar con un registro de gastos máximos anuales en el lugar donde se desea construir la obra. Sin embargo, en ocasiones o no se cuenta con este tipo de información o dicha información es escasa.

Una alternativa para resolver este problema es la transferencia de información de otro lugar, el cual tenga características tanto fisiográficas como meteorológicas similares al lugar de estudio, o bien la obtención de modelos regionales que permitan estimar el gasto de diseño en función de las características fisiográficas y climatológicas del sitio de interés.

En este capítulo se obtendrán los modelos regionales mediante un análisis estadístico para cada una de las 13 regiones homogéneas definidas en el capítulo anterior. Con tales modelos se podrán estimar los gastos máximos para diferentes periodos de retorno en cuencas no aforadas conociendo solamente algunas de las características fisiográficas y climatológicas de las mismas.

6.1 Modelos regionales mediante métodos de regresión

Existe un gran número de funciones diferentes que se pueden utilizar como un modelo del valor medio de la variable de respuesta y_i (gastos máximos o parámetros de la función Gumbel doble) en función de varias variables independientes (características de la cuenca).

Cruff y Rantz (Viessman *et al.*, 1989) estudiaron varios métodos de análisis regional de avenidas y encontraron que en cuencas no aforadas los modelos de regresión de potencias dan mejores estimaciones de gastos máximos, incluso que el método de la avenida índice o que cualquier método de ajuste de frecuencias.

El Plan Nacional Hidráulico en 1975 (SARH, 1975) utilizó funciones de regresión de potencias para la determinación de los modelos regionales a las 13 regiones homogéneas definidas por el mismo, dichos modelos mostraron buenos resultados; James A. Smith (1989) utilizó el mismo tipo de modelos en un estudio realizado en la región central de los Apalaches en Estados Unidos. El IMTA en 1997 aplicó el mismo tipo de modelos a 23 regiones homogéneas previamente definidas dentro de México.

En general los trabajos mencionados en los antecedentes en el capítulo 1 utilizaron las funciones de potencias para la determinación de los modelos regionales, los cuales han demostrado dar mejores resultados que otras funciones de regresión. Por ello los modelos regionales que se determinarán para las subregiones homogéneas definidas en el capítulo anterior tendrán la forma de funciones de regresión de potencias.

De acuerdo con las características fisiográficas y climatológicas de las cuencas que se utilizarán en los modelos regionales, las cuales fueron definidas en el capítulo 2, los modelos regionales tendrán la forma

$$y_i = m_0 A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} \varepsilon \quad (6.1)$$

donde

$m_0, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6$ son los parámetros a determinar del modelo de regresión.

ε Término multiplicativo, el cual es una variable aleatoria que se puede interpretar como la incapacidad de tener un modelo exacto de la realidad, que en este caso se tomará igual a la unidad.

y_i Variable dependiente, que en este caso es cada uno de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble o de los gastos máximos para un cierto periodo de retorno

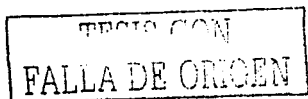
A Área de la cuenca en km^2

L Longitud del cauce principal en km

Ha Precipitación media anual en mm

Hm Precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años en mm

S Pendiente del cauce principal



Un procedimiento usual para estimar los parámetros de la ecuación (6.1) es linealizar dicha ecuación mediante una transformación logarítmica y entonces, estimar los parámetros del modelo linealizado por medio del método de mínimos cuadrados.

La ecuación linealizada es

$$\ln(y_i) = \ln(m_0) + m_1 \ln(A) + m_2 \ln(L) + m_3 \ln(Ha) + m_4 \ln(Hm) + m_5 \ln(S) + \ln(\varepsilon)$$

o bien

$$y_i' = b + m_1 A' + m_2 L' + m_3 Ha' + m_4 Hm' + m_5 S' \quad (6.2)$$

donde

$$\begin{aligned} y_i' &= \ln(y) , \quad A' = \ln(A) , \quad L' = \ln(L) , \quad Ha' = \ln(Ha) \\ Hm' &= \ln(Hm) , \quad S' = \ln(S) , \quad b = \ln(m_0) \end{aligned} \quad (6.3)$$

para resolver la ecuación 6.2 se utilizará el método de mínimos cuadrados, el cual consiste en minimizar la suma de los cuadrados de los errores entre los valores reales de la variable dependiente y los valores estimados con el modelo (ec. 6.2), esto es:

Minimizar

$$EC = \sum_{i=1}^N (y_i' - y_i')^2 \quad (6.4)$$

donde:

N Número total de puntos conocidos (estaciones hidrométricas) para el cual se ajustará el modelo

y_i' Logaritmo natural de la variable dependiente real

Para minimizar EC es necesario derivar la ecuación anterior con respecto a cada uno de los parámetros a determinar e igualar a cero cada una de las derivadas resultantes y posteriormente resolver el sistema de ecuaciones algebraicas por un método numérico.

El sistema de ecuaciones del modelo lineal a resolver entonces es:

$$\begin{aligned} bN + m_1 \sum_{i=1}^N A_i' + m_2 \sum_{i=1}^N L_i' + m_3 \sum_{i=1}^N Ha_i' + m_4 \sum_{i=1}^N Hm_i' + m_5 \sum_{i=1}^N S_i' &= \sum_{i=1}^N y_i' \\ b \sum_{i=1}^N A_i' + m_1 \sum_{i=1}^N A_i'^2 + m_2 \sum_{i=1}^N A_i' L_i' + m_3 \sum_{i=1}^N A_i' Ha_i' + m_4 \sum_{i=1}^N A_i' Hm_i' + m_5 \sum_{i=1}^N A_i' S_i' &= \sum_{i=1}^N A_i' y_i' \\ b \sum_{i=1}^N L_i' + m_1 \sum_{i=1}^N A_i' L_i' + m_2 \sum_{i=1}^N L_i'^2 + m_3 \sum_{i=1}^N L_i' Ha_i' + m_4 \sum_{i=1}^N L_i' Hm_i' + m_5 \sum_{i=1}^N L_i' S_i' &= \sum_{i=1}^N L_i' y_i' \\ b \sum_{i=1}^N Ha_i' + m_1 \sum_{i=1}^N A_i' Ha_i' + m_2 \sum_{i=1}^N L_i' Ha_i' + m_3 \sum_{i=1}^N Ha_i'^2 + m_4 \sum_{i=1}^N Ha_i' Hm_i' + m_5 \sum_{i=1}^N S_i' Ha_i' &= \sum_{i=1}^N Ha_i' y_i' \\ b \sum_{i=1}^N Hm_i' + m_1 \sum_{i=1}^N A_i' Hm_i' + m_2 \sum_{i=1}^N L_i' Hm_i' + m_3 \sum_{i=1}^N Ha_i' Hm_i' + m_4 \sum_{i=1}^N Hm_i'^2 + m_5 \sum_{i=1}^N S_i' Hm_i' &= \sum_{i=1}^N Hm_i' y_i' \\ b \sum_{i=1}^N S_i' + m_1 \sum_{i=1}^N A_i' S_i' + m_2 \sum_{i=1}^N L_i' S_i' + m_3 \sum_{i=1}^N Ha_i' S_i' + m_4 \sum_{i=1}^N Hm_i' S_i' + m_5 \sum_{i=1}^N S_i'^2 &= \sum_{i=1}^N S_i' y_i' \end{aligned} \quad (6.5)$$

6.1.1 Coeficiente de correlación

Una vez que se han calculado los parámetros del modelo lineal, es necesario conocer qué tan bien se ajustan los datos reales al modelo obtenido. Una forma de medir la calidad del ajuste es mediante el conocido coeficiente de correlación lineal, el cual está dado por (Aparicio, 1997)

$$R = \left(1 - \frac{S_{y_i'}^2}{S_y^2} \right) \quad (6.6)$$

donde

$$S_{y_i'}^2 = \frac{1}{N-3} \sum_{i=1}^N (y_i' - \hat{y}_i')^2 \quad (6.7)$$

S_y^2 = Variancia de y_i' .

\hat{y}_i' = Valor estimado de y_i' (ecuación 6.2)

6.2 Determinación de los modelos regionales

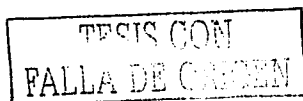
6.2.1 Modelos regionales para los parámetros de la función de distribución Gumbel doble

A los tipos de modelos regionales que se obtendrán en este apartado, los cuales sirven para determinar los parámetros de la función de distribución Gumbel doble, y con éstos estimar los gastos máximos en las cuencas no aforadas, se le denominarán de aquí en adelante *modelos regionales indirectos*.

En las tablas 6.1 a la 6.13 se muestran los valores de los parámetros de los modelos regionales como los de la ecuación (6.1), así como el coeficiente de correlación r^2 para cada uno de los modelos en cada una de las subregiones homogéneas definidas en el capítulo anterior. En las tablas mencionadas se tomó como variable dependiente a cada uno de los parámetros de la función de distribución de probabilidad Gumbel doble (ver tabla 4.1); y como variables independientes las características fisiográficas y climatológicas de las cuencas que forman a la región homogénea (ver tabla 2.2).

Para calcular cada uno de los parámetros de la función de distribución para un determinado sitio, en donde se conocen únicamente sus características fisiográficas y climatológicas, se sustituyen los coeficientes del modelo correspondiente al modelo regional, así como sus características mencionadas (ecuación 6.1)

Una vez calculados los cinco parámetros de la función de distribución de probabilidad, el valor del gasto máximo para un periodo de retorno Tr se obtiene resolviendo mediante un método numérico (por ejemplo la bisección) la siguiente ecuación:



$$F(Q_{Tr}) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\} \quad (6.8)$$

donde

Q_{Tr} es el gasto correspondiente al periodo de retorno Tr

$P, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ y β_2 son los parámetros de la función de distribución Gumbel doble obtenidos con los modelos regionales.

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r'
P	-0.7151	0.0540	-0.1754	-0.0223	0.3175	0.0726	0.33
α_1 (m ³ /s)	-11.7717	-0.2254	0.8326	0.7722	1.3434	-0.5538	0.92
β_1 (m ³ /s)	-12.6980	-0.5515	1.1395	0.4611	1.6043	-1.1252	0.91
α_2 (m ³ /s)	-11.4735	0.3699	-0.5289	1.4470	0.9531	-0.6477	0.86
β_2 (m ³ /s)	-14.2107	-0.0513	0.2070	-0.8547	5.0623	-0.3135	0.83

Tabla 6.1 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 1

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r'
P	0.1958	0.0542	-0.2016	-0.0861	0.0558	-0.0692	0.26
α_1 (m ³ /s)	-23.1457	0.2672	0.1595	2.6162	1.8991	0.3420	0.58
β_1 (m ³ /s)	-14.7360	0.3492	0.3628	3.0454	-0.6020	0.3650	0.58
α_2 (m ³ /s)	-38.1387	0.1352	0.8831	3.8391	3.2874	0.6116	0.84
β_2 (m ³ /s)	-20.9136	0.1679	0.4722	2.4739	1.8666	0.3215	0.71

Tabla 6.2 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 2

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r'
P	-0.4502	-0.0111	0.0583	0.4025	-0.5255	-0.0072	0.60
α_1 (m ³ /s)	2.5007	1.3625	-1.5169	4.8508	-7.1910	-0.4203	0.94
β_1 (m ³ /s)	-6.6541	0.8938	-0.4975	10.7701	-14.1708	-0.9847	0.96
α_2 (m ³ /s)	31.0320	3.5019	-5.0797	-2.2898	-2.2166	0.3244	0.98
β_2 (m ³ /s)	10.1502	1.1605	-1.0974	1.0274	-2.8749	-0.0824	0.97

Tabla 6.3 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 3

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
P	-0.5061	0.0729	-0.0961	-0.0960	0.1623	-0.0251	0.61
α_1 (m ³ /s)	-5.7928	0.4893	-0.1042	-0.0445	1.4556	-0.0854	0.60
β_1 (m ³ /s)	3.7360	0.4890	-0.2610	0.2223	-0.7809	-0.3225	0.69
α_2 (m ³ /s)	-13.6538	-0.0266	1.1218	2.2049	-0.4233	-0.1485	0.80
β_2 (m ³ /s)	-3.3577	0.4122	0.1291	0.6480	0.1881	-0.1564	0.68

Tabla 6.4 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 4

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
P	1.9180	-0.2858	0.3208	-0.3161	0.1307	-0.0216	0.80
α_1 (m ³ /s)	-10.4170	1.4608	-1.9112	3.1001	-1.7842	-0.1534	0.98
β_1 (m ³ /s)	-16.2785	1.3769	-1.4678	3.9372	-1.8592	-0.0245	1.00
α_2 (m ³ /s)	-6.3534	2.6515	-3.7168	5.1370	-5.0879	0.0836	0.63
β_2 (m ³ /s)	-1.9568	0.6442	-0.4276	2.4615	-2.0605	0.0584	0.65

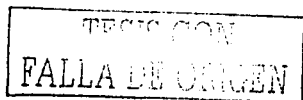
Tabla 6.5 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 5

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
P	-0.7556	-0.0228	0.0956	0.0240	0.0917	0.0699	0.21
α_1 (m ³ /s)	-18.7909	1.2659	-0.5673	8.9190	-9.1750	0.5601	0.29
β_1 (m ³ /s)	-18.5784	0.9611	0.0357	8.6092	-8.6871	0.5735	0.33
α_2 (m ³ /s)	-11.8308	-0.9128	3.7277	-4.6698	10.7801	2.8186	0.40
β_2 (m ³ /s)	-18.9808	0.1708	1.3214	5.1206	-2.5881	1.2993	0.41

Tabla 6.6 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 6

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
P	5.4108	0.4036	0.0540	-2.8953	2.7974	0.3898	0.90
α_1 (m ³ /s)	-31.9663	-0.8462	0.4635	13.0472	-12.5462	-2.4539	1.00
β_1 (m ³ /s)	-39.2412	-0.8551	-0.7190	17.0926	-16.2042	-2.9172	0.89
α_2 (m ³ /s)	-61.7404	-3.3633	0.5934	31.7285	-32.6046	-5.4929	0.95
β_2 (m ³ /s)	-45.8537	-1.5313	-1.5690	23.4016	-23.6652	-4.8476	1.00

Tabla 6.7 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 7



Parámetro	<i>b</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>m</i> ₃	<i>m</i> ₄	<i>m</i> ₅	<i>r</i> '
<i>P</i>	-0.4481	-0.0233	0.0897	0.1250	-0.1244	0.0472	0.26
<i>α</i> ₁ (m ³ /s)	-1.9362	0.7346	-0.4835	-0.0714	0.9335	0.0363	0.65
<i>β</i> ₁ (m ³ /s)	-7.9121	0.6817	-0.0145	1.3087	0.1622	0.2021	0.79
<i>α</i> ₂ (m ³ /s)	-0.5168	0.1902	0.6645	-0.1965	1.1413	0.4440	0.49
<i>β</i> ₂ (m ³ /s)	-6.9716	1.1029	-0.9578	1.0405	0.6000	0.0155	0.66

Tabla 6.8 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 8

Parámetro	<i>b</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>m</i> ₃	<i>m</i> ₄	<i>m</i> ₅	<i>r</i> '
<i>P</i>	14.6255	0.5463	-0.6322	-0.1212	-2.5695	0.5044	0.50
<i>α</i> ₁ (m ³ /s)	-2.2488	1.3574	-0.1154	0.0472	0.4003	0.6855	0.55
<i>β</i> ₁ (m ³ /s)	4.0657	1.3796	-0.0256	0.1307	-0.7735	0.7357	0.55
<i>α</i> ₂ (m ³ /s)	15.8878	0.7778	0.1157	-0.7256	-1.3202	0.7158	0.27
<i>β</i> ₂ (m ³ /s)	9.7381	1.8108	-0.8287	0.5703	-2.4765	0.5471	0.65

Tabla 6.9 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 9

Parámetro	<i>b</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>m</i> ₃	<i>m</i> ₄	<i>m</i> ₅	<i>r</i> '
<i>P</i>	2.5335	-0.6476	1.6872	0.0855	-1.0548	0.3327	0.57
<i>α</i> ₁ (m ³ /s)	-16.2637	0.6006	0.6466	1.5925	0.6353	0.2382	0.90
<i>β</i> ₁ (m ³ /s)	-5.1238	0.9647	-0.2021	-0.4954	1.6556	-0.0546	0.97
<i>α</i> ₂ (m ³ /s)	-12.0308	0.6401	0.3452	-0.8921	3.2140	-0.1132	0.56
<i>β</i> ₂ (m ³ /s)	-7.0403	1.2696	-0.9504	-1.3044	3.3462	-0.2017	0.94

Tabla 6.10 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 10

Parámetro	<i>b</i>	<i>m</i> ₁	<i>m</i> ₂	<i>m</i> ₃	<i>m</i> ₄	<i>m</i> ₅	<i>r</i> '
<i>P</i>	0.7098	-0.0421	-0.0287	-0.0755	-0.0722	-0.0707	0.45
<i>α</i> ₁ (m ³ /s)	2.1893	0.9689	-0.4611	0.1674	-0.9684	-0.1308	0.96
<i>β</i> ₁ (m ³ /s)	5.5294	0.9812	-0.8492	-0.5284	-0.3482	-0.4565	0.97
<i>α</i> ₂ (m ³ /s)	-10.3813	0.4495	0.7583	-1.8234	5.5969	1.0376	0.61
<i>β</i> ₂ (m ³ /s)	7.4501	0.9004	-0.8059	-0.9065	-0.0895	-0.4981	0.93

Tabla 6.11 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 11

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r
P	2.1763	-0.1685	0.1411	-0.4558	0.3855	0.0298	1.00
α_1 (m ³ /s)	-15.4503	1.6887	0.3397	3.1850	-3.5280	0.0901	1.00
β_1 (m ³ /s)	-23.0788	1.7766	0.3626	3.4306	-2.4962	-0.1068	1.00
α_2 (m ³ /s)	-38.4654	-1.0655	4.4963	1.0054	5.3028	0.2062	1.00
β_2 (m ³ /s)	-15.0372	0.6684	1.8174	1.2746	-0.1066	0.0192	1.00

Tabla 6.12 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 12

Parámetro	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r
P	-1.1337	0.0345	-0.0002	0.1976	-0.1043	0.0255	0.57
α_1 (m ³ /s)	1.5939	0.4148	0.5222	-0.9983	1.5874	0.4086	0.82
β_1 (m ³ /s)	-4.3761	0.3004	1.3841	-0.9028	2.3022	0.4342	0.83
α_2 (m ³ /s)	-6.7613	-0.2492	2.8923	0.1332	1.1412	0.9112	0.70
β_2 (m ³ /s)	-3.0774	0.4202	1.2150	-0.7040	1.9972	0.5002	0.91

Tabla 6.13 Valores de los coeficientes del modelo regional correspondiente a la subregión 13

De acuerdo con los resultados obtenidos de los modelos regionales, los cuales se muestran en las tablas anteriores, se puede concluir que los modelos regionales indirectos en general no son confiables, ya que el coeficiente de correlación para el parámetro P por lo regular es menor a 0.80, con excepción de las subregiones 5, 7 y 12, y en cuanto a los otros cuatro parámetros de la función Gumbel doble, solo en las subregiones 1, 3, 7 y 12 el coeficiente de correlación es mayor o igual a 0.8.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.2.2 Modelos regionales para los gastos máximos con diferentes periodos de retorno

En este punto se obtienen modelos regionales para las mismas regiones homogéneas del punto anterior, pero ahora utilizando como variables independientes los gastos máximos correspondientes a los diferentes periodos de retorno (ver los valores en la tabla 4.2). A este tipo de modelos se les denominará de aquí en adelante *modelos regionales directos*.

Lo anterior se hace con la finalidad de evitar tener que evaluar una ecuación como la 6.1 para cada uno de los parámetros de la función Gumbel doble y además de resolver la ecuación 6.8. Así, esto es,

$$Q_{Tr} = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H A^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5}$$

donde Q_{Tr} es el valor del gasto correspondiente al periodo de retorno Tr

De acuerdo con lo anterior en las tablas 6.14 a la 6.26 se dan los valores de los coeficientes de cada uno de los modelos regionales, así como su correspondiente coeficiente de correlación r^2 . Con estos modelos, los gastos se calculan de una forma directa para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 75, 100, 500 y 1000 años.

Gasto (Q_{Tr}) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-9.5006	-0.5729	1.8796	0.2949	1.1566	-0.6390	0.95
Q_{10}	-8.0470	-0.7160	2.4288	0.4973	0.3867	-0.6021	0.90
Q_{20}	-7.0983	-0.2354	1.1496	0.6978	0.5653	-0.5916	0.85
Q_{50}	-11.7587	0.0238	0.1543	0.0706	3.1093	-0.5633	0.92
Q_{75}	-11.5866	0.0550	0.0816	0.1719	2.9782	-0.5682	0.92
Q_{100}	-11.4647	0.0729	0.0415	0.2355	2.8897	-0.5716	0.91
Q_{500}	-10.8882	0.1404	-0.1010	0.4967	2.5004	-0.5871	0.91
Q_{1000}	-10.6891	0.1600	-0.1404	0.5766	2.3761	-0.5922	0.91

Tabla 6.14 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 1)

Gasto (Q_{Tr}) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-20.5826	0.1809	0.7760	3.0762	0.8389	0.5142	0.70
Q_{10}	-22.3428	0.1800	0.7873	2.9954	1.3565	0.4974	0.77
Q_{20}	-26.0171	0.1415	0.8173	3.0878	2.0404	0.4779	0.80
Q_{50}	-28.1373	0.1388	0.8193	3.2838	2.2746	0.4954	0.82
Q_{75}	-28.7382	0.1406	0.8195	3.3392	2.3431	0.5025	0.83
Q_{100}	-29.0943	0.1417	0.8201	3.3721	2.3843	0.5071	0.83
Q_{500}	-30.4577	0.1472	0.8242	3.4970	2.5518	0.5270	0.84
Q_{1000}	-30.8475	0.1490	0.8260	3.5334	2.6024	0.5335	0.84

Tabla 6.15 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 2)

Gasto (Q_{Tr}) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-0.3808	0.7488	-0.4190	5.4420	-7.3317	-0.5067	0.93
Q_{10}	4.3423	0.9373	-0.7241	3.6187	-5.5962	-0.3842	0.90
Q_{20}	13.6626	1.5186	-1.7962	0.4141	-2.6452	-0.1250	0.97
Q_{50}	16.3733	1.7563	-2.2071	-0.4530	-1.8265	-0.0188	0.98
Q_{75}	17.0646	1.8252	-2.3242	-0.6552	-1.6371	0.0111	0.98
Q_{100}	17.4856	1.8677	-2.3964	-0.7724	-1.5296	0.0290	0.98
Q_{500}	18.4627	1.9642	-2.5706	-1.2695	-0.8970	0.1103	0.98
Q_{1000}	18.6506	1.9810	-2.6043	-1.4251	-0.6711	0.1366	0.98

Tabla 6.16 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 3)

Gasto (Q_{Tr}) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-1.6124	0.2462	0.2158	0.7078	-0.0376	-0.0583	0.58
Q_{10}	-3.0884	0.2658	0.2370	0.7883	0.1648	-0.0406	0.60
Q_{20}	-3.7604	0.2541	0.2889	0.9357	0.1023	-0.0424	0.61
Q_{50}	-3.9681	0.1779	0.4393	1.2945	-0.3542	-0.0646	0.63
Q_{75}	-4.0072	0.1458	0.4999	1.4359	-0.5426	-0.0745	0.64
Q_{100}	-4.0453	0.1278	0.5344	1.5158	-0.6453	-0.0806	0.64
Q_{500}	-4.3279	0.0714	0.6475	1.7752	-0.9395	-0.1031	0.66
Q_{1000}	-4.4442	0.0588	0.6747	1.8374	-0.9971	-0.1095	0.66

Tabla 6.17 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 4)

Gasto (Q_{Tr}) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-16.6481	2.0638	-2.2241	3.8547	-1.7536	-0.0031	0.98
Q_{10}	-14.0948	2.5032	-3.3998	3.7791	-1.6966	-0.0764	0.97
Q_{20}	-8.4172	2.2966	-3.2684	4.7679	-3.8809	-0.0348	0.98
Q_{50}	-5.8457	1.8978	-2.5326	4.2430	-3.6081	0.0456	0.89
Q_{75}	-5.3566	1.8460	-2.4320	4.1625	-3.5751	0.0618	0.86
Q_{100}	-5.0926	1.8242	-2.3878	4.1258	-3.5647	0.0705	0.84
Q_{500}	-4.1771	1.7864	-2.2971	4.0404	-3.5748	0.0998	0.76
Q_{1000}	-3.9239	1.7858	-2.2888	4.0284	-3.5898	0.1074	0.74

Tabla 6.18 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 5)

TRONCO CON
FALLA DE ORIGEN

Gasto (Q_T) (m ³ /s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-14.6827	0.8265	0.9193	5.7163	-6.4635	-0.3162	0.94
Q_{10}	-15.6685	0.7111	1.3323	6.0240	-6.7640	-0.2066	0.95
Q_{20}	-20.2054	0.4109	2.8627	4.6366	-3.9149	0.6598	0.93
Q_{50}	-22.4033	0.2551	3.5550	3.9052	-2.3950	1.0505	0.90
Q_{75}	-22.9132	0.2175	3.7058	3.7033	-1.9767	1.1438	0.89
Q_{100}	-23.2055	0.1955	3.7914	3.5856	-1.7312	1.1974	0.88
Q_{500}	-24.2737	0.1085	4.1073	3.1441	-0.7990	1.3951	0.86
Q_{1000}	-24.5664	0.0822	4.1970	3.0201	-0.5332	1.4505	0.86

Tabla 6.19 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 6)

Gasto (Q_T) (m ³ /s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-3.4704	0.7055	2.3681	-6.3932	9.3425	1.1336	0.95
Q_{10}	6.0495	1.6848	0.9256	-10.6976	13.9217	1.5354	0.95
Q_{20}	9.6099	1.9813	1.1501	-13.1796	16.5076	1.7901	0.97
Q_{50}	11.9232	2.0369	1.5132	-15.0539	18.6879	2.1136	0.97
Q_{75}	12.1158	2.0390	1.5419	-15.1967	18.8615	2.1357	0.97
Q_{100}	12.2093	2.0382	1.5572	-15.2605	18.9407	2.1457	0.97
Q_{500}	12.4802	2.0290	1.6068	-15.4317	19.1710	2.1737	0.96
Q_{1000}	12.5528	2.0249	1.6203	-15.4691	19.2257	2.1802	0.96

Tabla 6.20 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 7)

Gasto (Q_T) (m ³ /s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-2.5454	0.8148	-0.5674	0.2256	0.8686	-0.0097	0.78
Q_{10}	-2.1767	0.8495	-0.6435	0.1874	0.9489	0.0191	0.77
Q_{20}	-2.1917	0.8533	-0.6114	0.2286	0.9715	0.0825	0.77
Q_{50}	-1.2156	0.7206	-0.3507	0.1038	1.0369	0.1583	0.73
Q_{75}	-0.7767	0.6744	-0.2636	0.0420	1.0677	0.1829	0.72
Q_{100}	-0.5249	0.6485	-0.2150	0.0071	1.0853	0.1967	0.71
Q_{500}	0.4087	0.5574	-0.0431	-0.1146	1.1480	0.2458	0.67
Q_{1000}	0.6791	0.5330	0.0034	-0.1476	1.1656	0.2593	0.66

Tabla 6.21 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 8)

Gasto (Q_T) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	8.8584	1.0317	0.0647	-0.0219	-0.8672	0.8127	0.74
Q_{10}	10.7320	1.0325	-0.0858	-0.0401	-1.0849	0.7537	0.76
Q_{20}	10.3573	1.0848	-0.0686	-0.0666	-1.0414	0.7431	0.79
Q_{50}	9.7821	1.1202	-0.0183	-0.1167	-0.9457	0.7186	0.76
Q_{75}	9.5636	1.1220	0.0087	-0.1367	-0.8939	0.7138	0.75
Q_{100}	9.4162	1.1218	0.0273	-0.1492	-0.8578	0.7115	0.74
Q_{500}	8.6881	1.1124	0.1171	-0.2004	-0.6772	0.7057	0.71
Q_{1000}	8.4235	1.1071	0.1492	-0.2160	-0.6115	0.7047	0.70

Tabla 6.22 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 9)

Gasto (Q_T) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-5.6577	0.7882	0.2825	-0.6502	2.0508	0.0574	0.98
Q_{10}	-6.9713	0.9285	-0.0691	-0.5249	2.2147	0.0106	0.98
Q_{20}	-7.5276	1.0329	-0.3585	-0.3225	2.1144	-0.0303	0.96
Q_{50}	-8.0394	1.0193	-0.3493	-0.1098	1.9541	-0.0233	0.94
Q_{75}	-8.1972	1.0086	-0.3317	-0.0335	1.8908	-0.0185	0.94
Q_{100}	-8.2928	1.0008	-0.3181	0.0157	1.8488	-0.0151	0.93
Q_{500}	-8.6534	0.9637	-0.2530	0.2305	1.6591	0.0007	0.92
Q_{1000}	-8.7426	0.9518	-0.2337	0.2992	1.5966	0.0055	0.91

Tabla 6.23 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 10)

Gasto (Q_T) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	6.0786	0.9505	-0.7102	-0.5320	-0.3583	-0.3621	0.96
Q_{10}	5.0095	0.8860	-0.4717	-0.4502	-0.1917	-0.2247	0.95
Q_{20}	3.5469	0.7944	-0.1463	-0.3254	-0.0054	-0.0511	0.91
Q_{50}	2.6190	0.7360	0.0689	-0.2359	0.1064	0.0639	0.87
Q_{75}	2.3490	0.7186	0.1349	-0.2062	0.1357	0.0992	0.86
Q_{100}	2.1906	0.7081	0.1747	-0.1887	0.1539	0.1204	0.85
Q_{500}	1.6651	0.6647	0.3302	-0.1348	0.2383	0.2026	0.82
Q_{1000}	1.5434	0.6512	0.3755	-0.1241	0.2682	0.2263	0.81

Tabla 6.24 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 11)

TECNOLOGIA
FALLA DE ORIGEN

Gasto (Q_T) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	-18.5470	1.3188	0.7692	2.4073	-1.5055	-0.1786	1.00
Q_{10}	-19.7044	1.3190	0.8968	2.3697	-1.1913	-0.1178	1.00
Q_{20}	-20.2405	1.2553	1.2130	2.3635	-1.0369	0.0098	1.00
Q_{50}	-22.0913	1.3629	1.1835	2.6301	-1.1104	0.0515	1.00
Q_{75}	-22.7246	1.4111	1.1444	2.7381	-1.1591	0.0609	1.00
Q_{100}	-23.0849	1.4423	1.1139	2.8060	-1.1940	0.0661	1.00
Q_{500}	-23.9328	1.5686	0.9170	3.0557	-1.3626	0.0793	1.00
Q_{1000}	-23.9678	1.6036	0.8371	3.1154	-1.4143	0.0795	1.00

Tabla 6.25 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 12)

Gasto (Q_T) (m^3/s)	b	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	r^2
Q_5	0.2350	0.3011	1.0735	-1.1303	2.0654	0.4114	0.85
Q_{10}	-0.0596	0.2893	1.2684	-1.0184	1.9496	0.4774	0.89
Q_{20}	-0.5651	1.2553	1.2130	2.3635	-1.0369	0.0098	1.00
Q_{50}	-0.7765	0.1975	1.5816	-0.7253	1.7056	0.5661	0.92
Q_{75}	-0.8045	0.1807	1.6199	-0.6886	1.6736	0.5768	0.92
Q_{100}	-0.8131	0.1700	1.6433	-0.6666	1.6540	0.5833	0.93
Q_{500}	-0.7836	0.1225	1.7407	-0.5778	1.5723	0.6103	0.92
Q_{1000}	-0.7532	0.1068	1.7712	-0.5508	1.5469	0.6187	0.92

Tabla 6.26 Modelos regionales para gastos máximos (subregión 13)

De acuerdo con los resultados de los modelos regionales para los gastos máximos correspondientes a diferentes periodos de retorno, se concluye que dichos modelos son adecuados para las subregiones 1, 3, 6, 7, 10, 11, 12 y 13, ya que el coeficiente de correlación es mayor a 0.8. Sin embargo, en las subregiones 2 y 5, se deben de aplicar con mucho cuidado ya que para algunos periodos de retorno el coeficiente de correlación es poco mayor que 0.7; en las subregiones 4, 8 y 9 definitivamente no se recomienda utilizar los modelos definidos en este apartado, ya que el coeficiente de correlación no es suficiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En las subregiones homogéneas en donde los modelos regionales obtenidos tanto directos como indirectos no tengan un valor del coeficiente de correlación mayor o igual a 0.80, se recomienda estimar los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno en cuencas no aforadas por algún otro método, por ejemplo mediante algún modelo lluvia - escurrimiento.

En la tabla 6.27 se muestra un resumen de la aplicabilidad de los modelos regionales a cada una de las subregiones homogéneas.

Subregión homogénea	Modelos regionales indirectos	Modelos regionales directos
1	Aplicable	Aplicable
2	Aplicable	No aplicable
3	No aplicable	Aplicable
4	No aplicable	No aplicable
5	No aplicable	No aplicable
6	No aplicable	Aplicable
7	Aplicable	Aplicable
8	No aplicable	No aplicable
9	No aplicable	No aplicable
10	No aplicable	Aplicable
11	No aplicable	Aplicable
12	Aplicable	Aplicable
13	No aplicable	Aplicable

Tabla 6.27 Aplicabilidad de los modelos regionales

De la tabla anterior se concluye que los modelos regionales directos se ajustan mucho mejor que los modelos regionales indirectos, por lo que es preferible utilizar los primeros.

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3 Aplicación de los modelos regionales a cuencas aforadas

En este apartado se muestra la aplicación de los modelos regionales obtenidos a cuencas aforadas. Los resultados obtenidos se comparan con los resultados obtenidos de un análisis de frecuencias de gastos máximos anuales a los registros de la estación hidrométrica.

6.3.1 Ejemplo 1

Calcular las avenidas máximas para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 75, 100, 500 y 1000 años de la cuenca correspondiente a la estación hidrométrica *El cuchillo*, la cual se encuentra ubicada sobre el río *San Juan*, dentro de la cuenca *San Juan*. La estación hidrométrica se encuentra localizada en el estado de Nuevo León, con las siguientes coordenadas geográficas: longitud oeste 99° 15' 29" y latitud norte 25° 43' 8.4".

Las características fisiográficas y climatológicas correspondientes a la cuenca son (ver tabla 2.2):

Área de la cuenca: 8,794 km²

Longitud del cauce principal: 275.75 km

Pendiente del cauce principal: 0.0030

Precipitación media anual: 671 mm

Precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años: 140 mm

Solución:

De acuerdo con la ubicación de la estación hidrométrica, ésta se encuentra localizada en la subregión homogénea 1, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes.

I) Cálculo de las avenidas de diseño con los modelos regionales de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.1, los cuales corresponden a la subregión 1, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$P = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 0.812$$

$$\alpha_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 311.633 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 474.521 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\alpha_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 901.776 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 2346.865 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

A continuación se sustituyen los valores de los parámetros anteriores en la función de distribución de probabilidad Gumbel doble, la cual es:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\}$$

La solución de ecuación anterior se obtuvo mediante la aplicación del método de la bisección, lo cual permitió la obtención de las avenidas de diseño para los periodos de retorno.

$$\begin{aligned} Q_5 &= 1523.5 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= 2607.1 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{20} &= 3406.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{50} &= 4317.4 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{75} &= 4700.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= 4968.0 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{500} &= 6439.1 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{1000} &= 7066.6 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

II) Cálculo de las avenidas mediante los modelos directos para los gastos máximos

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.14, los cuales corresponden a la subregión 1, se obtienen las avenidas de diseño para los periodos de retorno, resultando:

$$\begin{aligned} Q_5 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1347.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2308.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{20} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2969.1 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{50} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 4543.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{75} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 4955.5 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 5238.3 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{500} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 6760.5 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{1000} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 7405.5 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

TRCIS CON
FALLA DE CASCEN

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que tanto los modelos regionales indirectos como los modelos regionales directos dan valores similares para la cuenca El Cuchillo.

En la figura 6.1 se muestran los resultados de los gastos para diferentes periodos de retorno obtenidos con los modelos regionales, los cuales se comparan con los obtenidos del análisis de frecuencias de gastos máximos anuales presentado en el capítulo 4, y mostrados en la tabla 4.2.

En figura 6.1 puede observarse que los modelos regionales en este caso sobre estimaron los gastos con respecto al análisis de frecuencias. Sin embargo lo anterior no quiere decir que los resultados obtenidos con los modelos regionales no sean correctos, ya que en muchas ocasiones las mediciones en las estaciones hidrométricas presentan algunos errores.

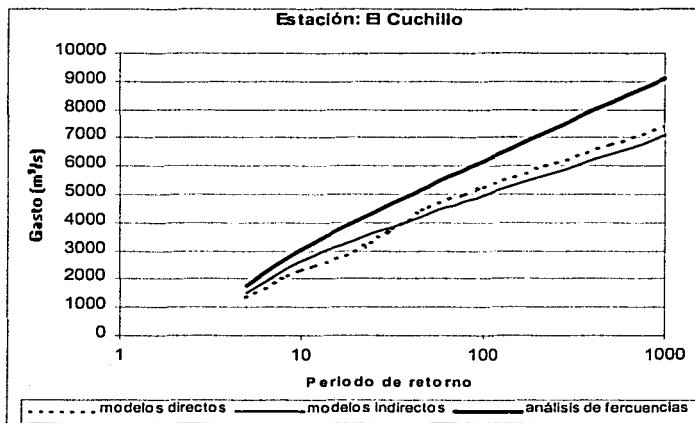


Figura 6.1 Comparación entre los resultados de los modelos regionales y del análisis de frecuencias de gastos máximos anuales

6.3.2 Ejemplo 2

Calcular la avenida máxima de diseño para los mismos periodos de retorno del ejemplo 1 de la cuenca de aportación al punto en donde se encuentra la estación hidrométrica *Puente Enríquez*, la cual se encuentra ubicada sobre el *Río Tonalá*, dentro de la cuenca del *Río Nautla*. La estación hidrométrica se encuentra localizada en el estado de Veracruz, con las siguientes coordenadas geográficas: longitud oeste $97^{\circ} 12' 36''$ y latitud norte $19^{\circ} 55' 1.2''$.

De acuerdo con la tabla 2.2, las características fisiográficas y climatológicas de la cuenca son:

Área de la cuenca: 437.6 km²

Longitud del cauce principal: 29.25 km

Pendiente del cauce principal: 0.0531

Precipitación media anual: 1,284 mm

Precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años: 133 mm

Solución:

De acuerdo con la ubicación de la estación hidrométrica, ésta se encuentra localizada en la subregión homogénea 7, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes a dicha subregión.

I) Cálculo de las avenidas de diseño con los modelos regionales de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.7, los cuales corresponden a la subregión 7, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$P = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 0.869$$

$$\alpha_1 = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 40.011 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

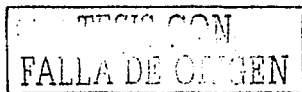
$$\beta_1 = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 120.929 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\alpha_2 = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 36.262 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_2 = \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 254.455 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

a continuación se sustituyen los valores de los parámetros anteriores en la función de distribución de probabilidad Gumbel doble, la cual es:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\}$$



Finalmente al resolver la ecuación anterior para cada uno de los periodos de retorno por algún método numérico (en este caso se utilizó el de la bisección) se obtienen los valores de las avenidas de diseño para los diferentes periodos de retorno; dichos valores son:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= 216.3 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= 260.9 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= 293.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= 330.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{75} &= 345.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= 356.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= 417.1 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= 442.9 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

II) Cálculo de las avenidas mediante los modelos directos para los gastos máximos

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.20, los cuales corresponden a la subregión 7, se obtienen los valores de las avenidas de diseño para los periodos de retorno, resultando:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 224.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 616.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 795.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 946.2 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{75} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,009.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,052.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,286.0 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,384.8 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Los resultados obtenidos con los modelos regionales al igual que los resultados obtenidos del análisis de frecuencias de gastos máximos en el capítulo 4 (tabla 4.2) se muestran en la figura 6.2, de la cual se puede deducir que los resultados obtenidos con los modelos regionales indirectos no son correctos, ya que dan valores muy pequeños. Sin embargo los resultados obtenidos con los modelos regionales directos dan resultados parecidos a los obtenidos por el análisis de frecuencias, por lo que se concluye que éstos últimos son los más confiables.

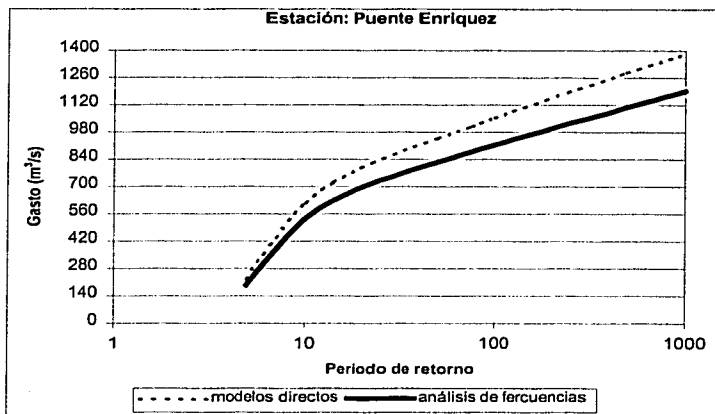


Figura 6.2 Comparación entre los resultados de los modelos regionales y del análisis de frecuencias de gastos máximos anuales

RESISTENCIA
 FALLA DE CULIEN

6.3.3 Ejemplo 3

Calcular la avenida máxima de diseño de la cuenca de aportación al punto en donde se encuentra la estación hidrométrica *Argelia*, la cual se encuentra ubicada sobre el río *San Miguel* y dentro de la cuenca del río *Grijalva*. La estación hidrométrica se encuentra localizada en el estado de Chiapas y en las siguientes coordenadas geográficas: longitud oeste $92^{\circ} 12' 0''$ y latitud norte $17^{\circ} 57' 0''$.

De la tabla 2.2 se tiene las características fisiográficas y climatológicas de la estación son:

Área de la cuenca: 5189 km^2

Longitud del cauce principal: 93.94 km

Pendiente del cauce principal: 0.0011

Precipitación media anual: $1,007 \text{ mm}$

Precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años: 95 mm

Solución:

De acuerdo con la ubicación de la estación hidrométrica, ésta se encuentra localizada en la subregión homogénea 12, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes a dicha subregión.

I) Cálculo de las avenidas de diseño con los modelos regionales de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.12, los cuales corresponden a la subregión 12, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$P = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 0.80$$

$$\alpha_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 358.534 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 941.798 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\alpha_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 12.690 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 1,253.391 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Sustituyendo los valores de los parámetros anteriores en la siguiente ecuación, se tiene que:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right]\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right]\right\}$$

Por lo que al resolver la ecuación anterior para cada uno de los periodos de retorno por algún método numérico (en este caso se utilizo el de la bisección) se obtienen los valores de las avenidas de diseño, los cuales son:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= 1,388.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= 1,663.7 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= 1,924.4 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= 2,259.9 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{75} &= 2,406.7 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= 2,510.7 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= 3,089.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= 3,338.2 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

II) Cálculo de las avenidas mediante los modelos directos para los gastos máximos.

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.25, los cuales corresponden a la subregión 12, se obtienen las avenidas de diseño para los periodos de retorno, resultando:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,387.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,662.2 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,924.2 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2,258.7 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{75} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2,404.1 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2,510.3 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 3,087.4 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= \exp(b) A^m L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 3,336.1 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

En la figura 6.3 se muestran los resultados obtenidos con los modelos regionales, los cuales en ambos casos los valores de los gastos obtenidos son iguales que los obtenidos con el análisis de frecuencia, esto se debe a que el coeficiente de correlación es igual a 1 en ambos modelos.

TERCIA CLON
 FALLA DE ORIGEN

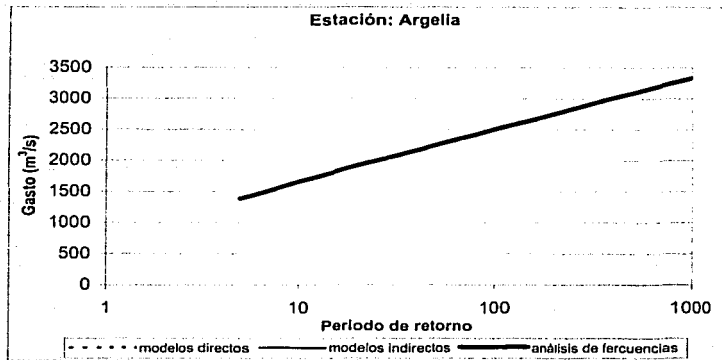


Figura 6.3 Comparación entre los resultados de los modelos regionales y del análisis de frecuencias de gastos máximos anuales

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en las cuencas de los dos primeros ejemplos el coeficiente de correlación de los modelos regionales es diferente de 1, por lo que era de esperarse que los resultados de los gastos máximos obtenidos no fueran iguales a los obtenidos con el análisis de frecuencias de gastos máximos anuales.

6.4 Aplicación de los modelos regionales a cuencas no aforadas

Una vez que se han obtenido los modelos regionales para cada una de las subregiones homogéneas, las cuales fueron determinadas en el capítulo anterior, es posible estimar las avenidas de diseño para diferentes periodos de retorno en aquellos sitios que no tienen registros de hidrometría, lo cual se logra conociendo únicamente las características del área de la cuenca, la longitud y la pendiente del cauce principal, la precipitación media anual y la precipitación máxima en 24 horas correspondiente a un periodo de retorno de diez años para el dichos sitios, así como los modelos regionales correspondientes.

En este punto se presentan tres ejemplos de aplicación de los modelos regionales obtenidos en aquellos sitios en donde no se cuenta con información histórica de escurrimientos.

6.4.1 Ejemplo 1

Se desea estimar la magnitud de la avenida de diseño para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años en la cuenca correspondiente al río Quilate, la cual no cuenta con información hidrométrica alguna,. La información necesaria para poder llevar a cabo la estimación de la magnitud de la avenida de diseño es la siguiente:

Ubicación

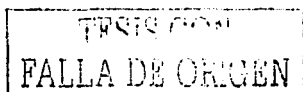
Estado: Veracruz
Región hidrológica: 27
Longitud: -96.98
Latitud: 20.09

Características fisiográficas de la cuenca

Área de la cuenca: 318.64 km²
Longitud del cauce principal: 40.63 km
Pendiente del cauce principal: 0.01085

Características climatológicas de la cuenca

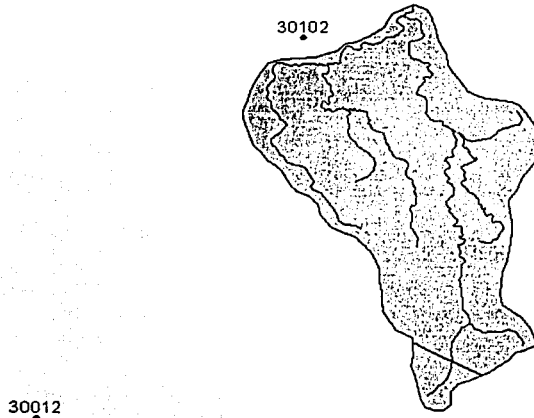
En la cuenca en estudio se encuentran localizadas cerca de ésta sólo dos estaciones climatológicas, los valores tanto de la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años son:



Estaciones climatológicas utilizadas para cuenca del Río Quilate

Clave	Estación	Peso de Thiessen	Ha (mm)	Hm (mm)
30102	Martínez de la Torre	0.94	1,850.4	230.0
30012	Atzalan	0.06	1,750.9	170.0

Ha= Precipitación media anual Hm= Precipitación máxima en 24 horas para un Tr=10 años



Cuenca correspondiente al río Quilate

Solución:

El primer paso es determinar a que subregión homogénea pertenece la cuenca del río Quilate; de acuerdo con las coordenadas de su ubicación, se determinó que ésta pertenece a la subregión 7, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes a dicha subregión.

Posteriormente es necesario calcular la precipitación media en la cuenca, tanto la precipitación anual como la máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años. De acuerdo con la información mostrada en la tabla anterior se tiene que la precipitación media anual en la cuenca es de 1,844.43 mm, mientras que la máxima en 24 horas para un Tr=10 años es de 226.4 mm.

TRIS CON
FALLA DE TIEN

I) Cálculo de las magnitudes con los modelos regionales indirectos

Estimación de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.7, los cuales corresponden a la subregión 7, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$\begin{aligned}P &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 0.65 \\ \alpha_1 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 427.478 \text{ m}^3/\text{s} \\ \beta_1 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 1,134.510 \text{ m}^3/\text{s} \\ \alpha_2 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 2,260.452 \text{ m}^3/\text{s} \\ \beta_2 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 8,904.562 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Cálculo de los gastos de diseño para los distintos periodos de retorno

Sustituyendo los valores de los parámetros en ecuación 6.9 se tiene que

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\}$$

finalmente al resolver la ecuación anterior para cada uno de los periodos de retorno por algún método numérico (en este caso se utilizó el de la bisección) se obtienen los valores de las avenidas de diseño para tales periodos de retorno; dichos valores son:

$$\begin{aligned}Q_5 &= 9,279.1 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= 11,366.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{20} &= 13,131.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{50} &= 15,308.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= 16,908.6 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{500} &= 20,572.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{1000} &= 20,986.2 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II) Cálculo de las magnitudes mediante los modelos regionales directos

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.20, los cuales corresponden a la subregión 7, se obtienen los gastos de diseño para los diferentes periodos de retorno, resultando:

$$Q_5 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 918.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 1,460.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{20} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 1,983.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 2,529.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 2,876.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{500} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 3,643.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{1000} = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 3,966.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

La cuenca del río Quilate comprende a la subcuenca correspondiente a la estación hidrométrica con clave 27005 y nombre Libertad. Ésta última cuenta con un área de 173 km², por lo que se esperaba que los gastos calculados en la cuenca del Quilate para los diferentes periodos de retorno sean mayores a los de la estación Libertad obtenidos con el análisis de frecuencias (ver tabla 4.2), los cuales son:

Periodo de retorno (años)	5	10	20	50	100	500	1000
Gasto (m ³ /s)	695.8	843.0	991.4	1,182.8	1,325.8	1,655.5	1,797.1

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que los modelos regionales que dan mejor resultado para la cuenca el Quilate, son los obtenidos modelos regionales directos (Inciso II), lo cual era de esperarse, ya que éstos tienen mejor coeficiente de correlación.

6.42 Ejemplo 2

Se desea estimar en la cuenca correspondiente al río Patos, la cual no cuenta con información hidrométrica alguna, la magnitud de la avenida de diseño para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años. La información necesaria para poder llevar a cabo la estimación de la magnitud de la avenida de diseño es la siguiente:

Ubicación

Estado: Nuevo León

Región hidrológica: 24

Longitud: -101.22

Latitud: 26.01

Distancia aguas arriba de la estación Icamole: 56 km aproximadamente

Características fisiográficas de la cuenca

Área de la cuenca: 3,400.56 km²

Longitud del cauce principal: 119.6 km

Pendiente del cauce principal: 0.00833

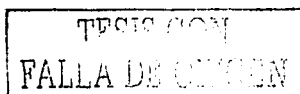
Características climatológicas de la cuenca

En la cuenca correspondiente a dicho punto, ocho estaciones climatológicas tienen influencia en la misma, dichas estaciones y sus valores tanto de la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años son las siguientes:

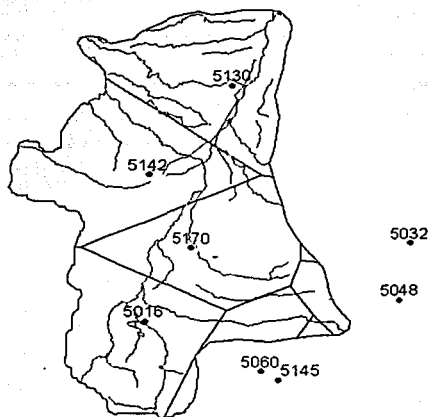
Clave	Estación	Peso de Thiessen	Ha (mm)	Hm (mm)
5016	General Cepeda	0.206	344.0	64.7
5032	Ramos Arizpe	0.002	249.8	59.4
5048	Saltillo	0.026	360.7	56.0
5060	Derramadero	0.059	623.3	91.0
5130	La Saucedá	0.248	299.0	83.1
5142	Hipólito	0.253	170.0	97.3
5145	San Juan de la V	0.005	447.0	72.3
5170	La Rosa	0.201	503.2	120.4

Ha= Precipitación media anual

Hm= Precipitación máxima en 24 horas para un Tr=10 años



De acuerdo con la tabla anterior se tiene que la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años es 338 mm y 90 mm respectivamente.



Solución:

De acuerdo con las coordenadas de ubicación de la cuenca se tiene que esta pertenece a la subregión 1, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes a dicha subregión.

I) Cálculo de los gastos máximos mediante los modelos regionales indirectos

Estimación de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.1, los cuales corresponden a la subregión 1, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$P = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 0.849$$

$$\alpha_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 35.582 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_1 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 35.174 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\alpha_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 123.954 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\beta_2 = \exp(b) A^m L^{m_2} H a^{m_3} H m^{m_4} S^{m_5} = 288.847 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Cálculo de los gastos de diseño para los distintos periodos de retorno

Sustituyendo los valores de los parámetros en ecuación 6.9 se tiene que

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\}$$

Finalmente se resuelve la ecuación anterior para cada uno de los periodos de retorno, y así se obtienen los valores de los gastos máximos. Resultando pues:

$$\begin{aligned} Q_5 &= 132.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= 280.6 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{20} &= 401.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{50} &= 530.7 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= 621.1 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{500} &= 824.0 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{1000} &= 910.3 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

II) Cálculo de las magnitudes mediante los modelos regionales directos

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.14 los cuales corresponden a la subregión 1, se obtienen los gastos de diseño para esta cuenca, los cuales son:

$$\begin{aligned} Q_5 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 123.3 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 194.4 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{20} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 375.2 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{50} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 530.0 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{100} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 625.0 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{500} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 832.9 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{1000} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 920.5 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos concluir que para esta cuenca se pueden utilizar cualquiera de los dos tipos de modelos obtenidos, ya que la variación de los gastos de uno con respecto del otro es pequeña.

TRABAJO CON
FALLA DE ORIGEN

La cuenca correspondiente a la estación Icamole, que se encuentra aguas abajo, tiene un área de 11,438 km² (tabla 2.2), por lo que los gastos obtenidos en la cuenca los Patos deben de ser menor a los correspondientes a la estación mencionada, ya que el área de la cuenca en cuestión es de 3,400.56 km².

Los gastos de la estación Icamole para los diferentes periodos de retorno, los cuales se obtuvieron en el capítulo 4 son:

Periodo de retorno (años)	5	10	20	50	100	500	1000
Gasto (m³/s)	212.4	344.5	819.5	1101.8	1,278.5	1,661.5	1,822.7

Como puede observarse efectivamente los gastos en la estación Icamole son mayores a los obtenidos con la aplicación de los modelos regionales a la cuenca del río los Patos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.43 Ejemplo 3

Se desea estimar la magnitud de la avenida de diseño para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años en una cuenca que comprende los ríos Campanita, San Antonio y Tomellin, que posteriormente, confluye con el río Grande. La información necesaria para poder llevar a cabo la estimación de la magnitud de la avenida de diseño es la siguiente:

Ubicación

Estado: Oaxaca

Región hidrológica: 28

Longitud: -96.96

Latitud: 17.76

Distancia a la confluencia del río grande: 23 km aproximadamente

Corriente: Río Tomellin

Características fisiográficas de la cuenca

Área de la cuenca: 908.59 km²

Longitud del cauce principal: 71.832 km

Pendiente del cauce principal: 0.0180

Características climatológicas de la cuenca

En la cuenca correspondiente a dicho punto 11 estaciones climatológicas tienen influencia en la misma, dichas estaciones y sus valores tanto de la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años es la siguiente:

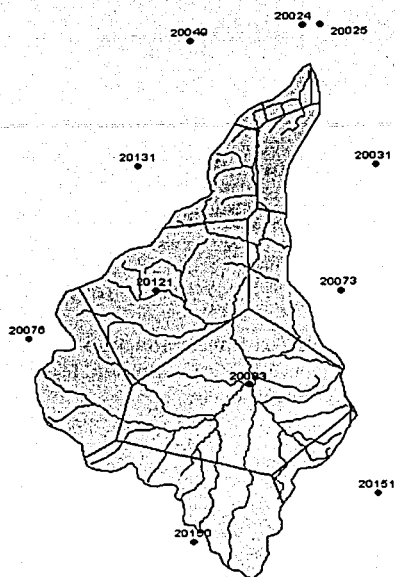
Clave:	Nombre	Peso de Thiessen	Ha (mm)	Hm (mm)
20024	San Juan Cuicatlán, DGE	0.017	497.3	81.7
20025	San Juan Cuicatlán, SMN	0.003	409.2	73.9
20031	Dominguillo	0.047	459.1	60.4
20049	San Pedro Jocotipac	0.006	584.3	72.5
20073	Santiago Nacaltepec	0.071	599.3	62.5
20083	Parian	0.300	496.9	56.0
20121	San Pedro Cantaros	0.219	605.5	60.9
20131	Santiago Apoala	0.059	675.1	73.7
20150	Tejocotes	0.138	822.2	64.4
20076	Asunción Nochistla	0.114	421.2	66.1
20151	San Fco. Telixtlahuaca	0.025	757.3	83.3

HPA= Precipitación media anual

HPM= Precipitación máxima en 24 horas para un Tr=10 años

TRABAJADO CON
FALLA DE ORIGEN

De acuerdo con la tabla anterior se tiene que la precipitación media anual y máxima en 24 horas para un periodo de retorno es 579.23 mm y 62.31 mm respectivamente.



Solución:

De acuerdo con las coordenadas de ubicación de la cuenca se tiene que esta pertenece a la subregión 8, por lo que se utilizarán los modelos regionales correspondientes a dicha subregión.

I) Cálculo de las magnitudes con los modelos para los parámetros de la función Gumbel doble

Estimación de los parámetros de la función Gumbel doble

Para estimar los valores de los parámetros de la función de distribución Gumbel doble de la cuenca en cuestión se utilizan los valores de los coeficientes de los modelos regionales de la tabla 6.8, los cuales corresponden a la subregión 8, entonces los valores de dichos parámetros son:

$$\begin{aligned}
 P &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 0.876 \\
 \alpha_1 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 70.701 \text{ (m}^3/\text{s)} \\
 \beta_1 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 128.184 \text{ (m}^3/\text{s)} \\
 \alpha_2 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 200.600 \text{ (m}^3/\text{s)} \\
 \beta_2 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 240.721 \text{ (m}^3/\text{s)}
 \end{aligned}$$

Cálculo de los gastos de diseño para los distintos periodos de retorno

Sustituyendo los valores de los parámetros en ecuación 6.9 se tiene que

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} = P \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_1)}{\alpha_1}\right)\right\} + (1-P) \exp\left\{-\exp\left(-\frac{(Q_{Tr}-\beta_2)}{\alpha_2}\right)\right\}$$

finalmente al resolver la ecuación anterior para cada uno de los periodos de retorno por algún método numérico (en este caso la bisección) se obtienen los valores de las avenidas de diseño para tales periodos de retorno; dichos valores son:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= 259.9 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= 339.1 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= 436.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= 601.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{75} &= 682.3 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= 740.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= 1,067.1 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= 1,206.9 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

II) Cálculo de las magnitudes mediante los modelos directos para cada periodo de retorno.

Utilizando los valores de los coeficientes de los modelos de la tabla 6.21, los cuales corresponden a la subregión 8 se obtienen los gastos de diseño para esta cuenca, los cuales son:

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 47.2 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{10} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 103.3 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{20} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 213.6 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{50} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 101.9 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{100} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 140.4 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{500} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 241.5 \text{ m}^3/\text{s} \\
 Q_{1000} &= \exp(b) A^{m_1} L^{m_2} Ha^{m_3} Hm^{m_4} S^{m_5} = 288.9 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Para saber cuales modelos regionales proporcionan los resultados correctos, es necesario tener una referencia para así decidir cuales gastos vamos a tomar como correctos.

La única referencia que se tiene es que la cuenca en cuestión esta ubicada dentro de la cuenca correspondiente a la estación con clave 28019 y con nombre Quiotepec, la cual tienen un área de 4,920.7 km² (tabla 2.2), la cual es 5.4 veces mas grande que la cuenca en cuestión, por lo que se esperaba que los gastos obtenidos en la cuenca de interés sean menores a los de la estación hidrométrica mencionada.

De acuerdo con la tabla 4.2, los gastos para los diferentes periodos de retorno de la estación Quiotepec son:

Periodo de retorno (años)	5	10	20	50	75	100	500	1000
Gasto m ³ /s	722.6	1,075.6	1,369.0	1,690.7	1,823.9	1,916.6	2,423.6	2,639.3

De acuerdo con lo anterior se puede concluir que nuevamente los modelos para obtener los gastos directamente dan mejores resultados.

Una conclusión de este capítulo es que los modelos que dan mejor resultados son aquellos obtenidos directamente de los gastos para los diferentes periodos de retorno, debido a que el coeficiente de correlación es mejor que en los modelos para los parámetros de la función de distribución Gumbel doble.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con el desarrollo realizado en este trabajo y los resultados obtenidos en el mismo se presentan a continuación las conclusiones y recomendaciones.

7.1 Conclusiones

El tamaño de una obra hidráulica depende en gran parte de la magnitud de la avenida de diseño calculada para el periodo de retorno requerido. La determinación de la magnitud de la avenida depende fundamentalmente de la información disponible en el sitio en donde se va a construir la obra. En la mayor parte de los sitios en donde se va a construir la obra no se dispone de información hidrométrica, por lo que el cálculo de la avenida de diseño debe determinarse con alguna otra metodología.

Los modelos regionales de gastos máximos obtenidos en este trabajo permiten estimar las magnitudes de las avenidas de diseño para diferentes periodos de retorno en los sitios que no cuenten con hidrometría, conociendo únicamente el área de la cuenca, la longitud y pendiente del cauce principal, la precipitación media en la cuenca y la precipitación máxima en 24 horas en un periodo de retorno de 10 años.

El trabajo fue desarrollado con información de las regiones hidrológicas 24 a 30, las cuales tienen su vertiente en el golfo de México y que cuentan con el número suficiente de estaciones hidrométricas. Las regiones hidrológicas 31, 32 y 33 no fueron consideradas debido a que no

cuentan con información hidrométrica adecuada. El número de estaciones hidrométricas utilizadas en este trabajo fueron de 167 y 1061 estaciones climatológicas.

Para la determinación de los modelos regionales fue necesario previamente realizar un análisis de frecuencias de gastos máximos anuales. La función de distribución de probabilidad utilizada fue la Gumbel doble, esto debido a que se ha demostrado, en diversos estudios, que esta función proporciona resultados buenos y a que fue especialmente planteada para valores extremos.

Con la finalidad de determinar el parámetro de la probabilidad de la función de distribución Gumbel doble y realizar el análisis de frecuencias de gastos máximos, se llevó a cabo un análisis de incidencia de ciclones en la zona de estudio tomando un radio de influencia de 200 km. Del análisis se concluyó que no es posible determinar de una manera exacta dicho parámetro ya que en la mayoría de las estaciones los gastos más grandes corresponden a años en los cuales no se presentó algún ciclón en la región correspondiente a dichas estaciones.

Los modelos regionales fueron obtenidos mediante un análisis de regresión lineal múltiple, utilizando funciones de potencia, las cuales han sido probadas por varios investigadores en diferentes partes del mundo con buenos resultados.

Se determinaron los modelos regionales en 13 subregiones homogéneas. Dichas subregiones fueron definidas utilizando tres pruebas de homogeneidad, a saber: la prueba de Langbein, la de Kolmogorov - Smirnov y la de Wilcoxon. La prueba que arrojó mejores resultados fue la de Langbein.

Se obtuvieron dos grupos de ecuaciones regionales para cada una de las subregiones homogéneas. El primero estima los parámetros de la función de distribución Gumbel doble con las características fisiográficas y climatológicas ya mencionadas. A estos modelos se les denominó *modelos regionales indirectos*, ya que es necesario primero determinar dichos parámetros para posteriormente calcular los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno. El segundo tipo de modelos regionales se denominaron *modelos regionales directos*, ya que con estos modelos se estiman directamente los gastos de diseño para diferentes periodos de retorno.

Los modelos regionales directos dieron mejor ajuste en cada una de las subregiones homogéneas, ya que el coeficiente de correlación es mejor que el obtenido con los modelos regionales indirectos.

Los modelos regionales se aplicaron a tres cuencas aforadas, con la finalidad de comparar que tan buenos resultados se obtienen de los modelos regionales con referencia a los resultados del análisis de frecuencias de gastos máximos anuales en dichas cuencas, concluyendo que en general los resultados de modelos regionales directos son parecidos a los obtenidos del análisis de frecuencias.

También los modelos regionales se aplicaron a tres cuencas no aforadas, los resultados obtenidos con los modelos regionales directos fueron aceptables al compararlos con la información hidrométrica disponible aguas abajo de dichas cuencas.

Los modelos regionales son particularmente útiles para la estimación de eventos en cuencas no aforadas o con poca información. La condición para la aplicación de una ecuación regional es que

la cuenca bajo estudio se encuentre en la misma región homogénea que aquellas que brindaron la información básica para la obtención del modelo regional.

La aplicación de una fórmula regional para gastos máximos o para los parámetros de una función de distribución es rápida y sencilla. Sin embargo, los resultados deberán tomarse con precaución, ya que la estimación del evento no está basado en un registro histórico en el sitio, sino en una ponderación de los efectos de una región homogénea.

De cualquier forma, a falta de los datos suficientes para llevar a cabo una modelación más compleja (del proceso lluvia - escurrimiento), la aplicación de un modelo regional de gastos máximos puede brindar información suficiente para realizar los estudios preliminares sobre el diseño de una gran obra o un estimado del gasto para el diseño de obras pequeñas.

7.2 Recomendaciones

En algunas subregiones homogéneas los modelos regionales no se ajustaron del todo bien, por lo que se recomienda utilizar en dichas subregiones algún otro procedimiento para la determinación de los gastos máximos de diseño. Un procedimiento que puede utilizarse en estos casos son los modelos lluvia escurrimiento aplicables a cuencas no aforadas. El modelo lluvia-escurrimiento de este tipo que requiere las características fisiográficas utilizadas en este trabajo es el de Mockus y el de Chow (Aparicio, 1997).

Se recomienda que para la aplicación de las ecuaciones regionales, la pendiente del cauce principal se determine con el método utilizado aquí (Taylor-Schwarz), ya que la utilización de un método que no de un valor de ésta característica apropiado, por ejemplo el de la línea compensadora (Aparicio, 1997), podría subestimar o sobreestimar los resultados de las avenidas de diseño. Se recomienda también que los valores de la precipitación media anual y la precipitación máxima en 24 hr con un periodo de retorno de 10 años se calculen con el método de los polígonos de Thiessen o con el método de las isoyetas, para que los resultados de los modelos regionales sean más confiables.

Los gastos de diseño obtenidos con los modelos regionales, son solo una estimación aproximada de la avenida, por lo que para cuencas grandes (mayores a 250km^2) se recomienda comparar los resultados con los obtenidos con otra metodología, por ejemplo algún modelo completo lluvia - escurrimiento, y así poder tomar una decisión mas adecuada en la determinación de la avenida final de diseño.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Bibliografía y Referencias

- Aparicio, M. F. J., "*Fundamentos de hidrología de superficie*", Limusa, México, 1997.
- Benjamin, J. R., Cornell, C.A., "*Probability, statistics and decision for civil engineers*", McGraw Hill, New York, 1970, pags. 509-510.
- Burden, R. L., Faires, J. D. "*Análisis numérico*", Grupo editorial Iberoamérica, México, D.F., 1985
- Campos, A. D. F., "*Estimación de los parámetros óptimos de la distribución Gumbel mixta por medio del algoritmo de Rosenbrock*", Ingeniería Hidráulica en México, enero-abril, México., 1989.
- Campos, A. D. F., "*Procesos del ciclo hidrológico*", Universitaria Potosina, México, 1992
- Campos, A. D. F., "*Aplicación de técnicas del análisis regional de frecuencia de crecientes en la región Hidrológica No 10 Sinaloa*", UASLP, Fac. de Ingeniería, SLP, México., 1994.
- Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (CNA, IMTA). "*Datos hidrométricos de México 1937-1985 (CD-HIDRO)*", México D.F., 1990.
- Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (CNA, IMTA). "*Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*", México, D.F., 2000.
- Cruff, R. W. and Rants, S. E. "*A comparison of Methods Used in flood Frequency Studies for Coastal Basins in California in Flood Hydrology*", U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1580. Washington, DC, Government Printing Office, 1965
- Dalrymple, T., "*Flood frequency analysis*". US Geol. Surv. Water Supply Paper, 1543 A, 1960.
- Dennis, J. E., Jr. and J. J. Moré, "Quasi-Newton Methods, Motivation and Teory", SIAM Review 19, No. 1, 1977
- González, V., F.J. "*Contribución al análisis de frecuencias de valores extremos de los gastos máximos en un río*", Instituto de Ingeniería de la UNAM, núm. 277, 24 pp., México, D.F., 1970.
- Groupe de recherche en hydrologie statistique (GREHYS), "*Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis*", J. Hidrol, (186), 63-64, 1996.
- Groupe de recherche en hydrologie statistique (GREHYS²), "*Inter-comparasion of regional flood frequency procedures for Canadian rivers*", J. Hidrol, (186), 85-103, 1996.
- Gumbel, E. J., "*Statistics of estremes*", Columbia University Press, New York, London, 1958.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). "*Extractor rápido de información climatológica (ERIC II)*"; México, D.F., 2000.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). "*Estimación de gastos máximos mediante análisis regional*"; Jiutepec, Mor., México, 1997.

Haan, Charles. T., "*Statistical Methods in Hydrology*". Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1977

Kite, G. W. "*Frequency and risk analysis in hydrology*". Water Res. Publ. Colo. St. Univ. Fort Collins, 1977

Kuester, J.L and Mize, J.H. "*Optimization Techniques with Fortran*"; (9): Multivariable unconstrained Methods (Rosenbrock Algorithm), pp. 320-330, McGraw-Hill book Co., New York, EUA, 1973.

Mendenhall, W, D. Wackerly D., L. Scheaffer R. "*Estadística Matemática con aplicaciones*", Iberoamericana, México, 1994.

Miller, I., E. Freund, J., "*Probabilidad y Estadística para Ingenieros*", Prentice Hall, México, 1986.

Nathan R.J. and T.A. McMahon, "*Identification of Homogeneous Regions for the Purposes of Regionalisation*", J. Hidrol, 121, 217-238, 1990.

Neumann, C.J. (1993): "Global Overview" - Chapter 1" Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting, WMO/TC-No. 560, Report No. TCP-31, World Meteorological Organization; Geneva, Switzerland

Rosenbrock, H. H, "*An automatic method for finding the greatest or least value of a funcion*", Computer Journal, Vol. 3, 1960.

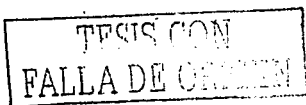
Plan Nacional Hidráulico (PNH), "*Regionalización del País*"; México, DF., 1973.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), "*Plan Nacional Hidráulico, 1975, segunda parte*", México, DF., 1975.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), "*Atlas del Agua de la República Mexicana*", México, DF., 1976.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH), "*Recomendaciones para el diseño y revisión de estructuras para el control de avenidas*", México, DF., 1978, , pags. 8.2-8.9

Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH), Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH), "*Plan Nacional Hidráulico*", México, DF., 1981.



Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), "*Cartas hidrográficas con base en imágenes de satélite escala 1:1000 000, 1: 500 000 y 1:250 000*", SIGSA, México, 1987.

Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática (CGSNEGI), "*Cartas topográficas escala 1:250 000*", México, 1981.

Simpson, R.H. and H. Riehl (1981): "*The Hurricane and Its Impact*" Louisiana State Univ. Press, Baton Rouge (ISBN 0-8071-0688-7), 398 pp.

Smith, James, A., "*Regional Flood Frequency Analysis Using Extreme Order Statistics of the annual Peak Record*", Water Resources Research, 25(2), 311-317, 1989.

Spiegel, M.R., "*Estadística*", McGraw Hill, México, 1970

Viessman, W., Lewis, G.L. and Knapp, J. W. "*Introduction to Hydrology*", Harper & Row, New York, EUA, 1989

PAGINACIÓN DISCONTINUA

ANEXO A
Gastos máximos anuales registrados

Año	24087	24088	24192	24196	24291	24301	24326	24327	24351	24384	24387	24399
1927												
1928		54.40										
1929		34.20										
1930	317.90	994.00										
1931	446.50	332.50										
1932	244.10	162.81										
1933	201.80	2736.50										
1934	73.82	393.52										
1935	318.90	602.80										
1936	403.00	1307.00										
1937	70.90	139.80										
1938	609.20	6758.48										
1939	232.40	720.40										
1940	479.80	404.00	130.00									
1941	854.68	1194.00	288.00							0.88		
1942	318.50	817.20	250.00	449.46						12.50		
1943	192.60	675.50	127.20	226.00						0.36		
1944	487.20	1584.80	109.50	1251.23						9.20		
1945	104.00	3358.00	64.56	261.60						173.30		
1946	469.20	526.35	30.24	299.30						1.64		
1947	526.00	1393.85	254.00	564.00						53.72		
1948	1162.20	1173.10	92.40	630.52						1.34		
1949	241.00	381.80	6.97	218.00						21.20		
1950	352.40	469.00	21.60	269.86						2.35		
1951	404.00	2084.40	102.00	897.63						11.01		
1952	59.60	167.40	19.30	74.21								
1953	1980.00	2511.50	110.00	1380.00								
1954	760.00	302.70	80.40	328.00	205.20							
1955	881.52	384.50	90.48	416.95	47.38					0.12		
1956	275.00	125.00	95.50	244.00	15.16					0.08		
1957	320.00	900.00	55.60	336.50	31.23					26.18		
1958	1285.12	1927.00	137.00	905.00	911.00	1632.00				37.00		
1959	581.00	177.00	79.00	172.00	42.35	166.00				26.60		
1960	382.50	1677.60	29.27	1049.00	116.00	134.00				9.67		
1961	519.50	492.00	15.37	571.00	125.00	326.20				15.56		
1962	193.00	584.50	11.57	258.75	103.00	439.60	384.00	697.00		124.00		
1963	870.80	603.00	50.26	643.40	420.00	404.70	623.00	286.00		16.80		
1964	293.13	348.20	7.11	563.30	160.15	278.80	153.00	250.00		16.80		
1965	297.30	1274.00	163.00	910.00	110.65	369.75	762.00	55.68		9.04		

Tabla A.1 Gastos máximos anuales registrados en la región 24 (m³/s).

TRICIA CON
FALLA DE ORIGEN

Año	24087	24088	24192	24196	24291	24301	24326	24327	24351	24384	24387	24399
1966	299.00	726.75	60.20	188.00	90.50	544.00	214.40	95.00				
1967	2154.00	5540.00	282.50		980.62		1876.00	1082.00		178.00		
1968	317.00	464.50	20.56		154.46	490.20	147.42	99.14	431.34	14.80		
1969	111.00	470.56	48.50	76.92	31.32	355.20	101.00	85.08	454.00			
1970	995.00	655.40	37.48	438.00	96.50	389.10	428.00	33.76	955.66	5.24		
1971	820.00	649.00	84.48	453.00	778.04	577.00	546.00	122.00	1336.66	6.17		
1972	61.20	454.60	64.00	335.00	99.00	684.00	119.00	94.20	930.04			
1973	708.20	3355.50	345.00	274.37	242.78	2014.00	86.50	826.00	3471.12	68.03		
1974	346.60	1935.00	71.55	269.30	63.60	1795.06	78.00	851.00	1816.47	246.70	270.72	
1975	420.00	643.71	56.80	125.50	50.00	1148.00	38.69	228.80	756.00	58.28	310.00	
1976	1228.00	1081.00		391.28	173.00	936.00	398.00	441.50	1169.00	5.51	156.40	390.00
1977	223.80	2000.00		254.50	53.50	1020.00	151.73	249.50	2350.00	525.30	180.80	116.00
1978	373.00	3500.00		358.00	135.63	2114.00	534.50	390.00	4344.90	259.00	171.20	69.30
1979	181.60	355.00	28.33		28.34	629.04	96.90	184.40		58.77	58.20	6.86
1980	261.00	225.93	17.66	330.48	44.03	137.60		291.00	265.00	12.05	216.30	60.16
1981	260.20	392.20	78.70		150.50		297.90	219.00	938.98	25.95	119.80	62.87
1982	200.00	208.90	21.90		234.75	167.80	118.37		273.04		142.90	65.41
1983		379.00	17.86	237.29	167.24	469.90	73.23	257.80	537.50	0.73	197.40	37.12
1984	186.40	214.00	25.50	93.40	111.00	292.00	106.40	178.10	243.80	13.85	133.00	66.11
1985	205.20	115.20	5.55	586.00	213.10	112.30	220.40	105.80	423.00	18.08	93.20	98.30
1986	216.10	994.02	169.06	269.60	142.09	1394.13	379.30		927.20	71.96	254.21	477.28
1987	754.99	692.53	118.08	200.92	169.62	560.94	284.64	99.80	516.40	106.72	95.96	107.16
1988	1045.77	4788.59	637.53	33.34	300.90	5144.03	799.19	156.66			277.63	
1989	127.49	506.08	81.16	107.52		558.96	143.93	327.62	351.33	46.54	111.80	4.73
1990	7.46	366.88	120.22			485.90	213.80	127.41	437.95		102.93	54.73
1991	294.65	187.75	5.12		105.24	112.49	144.92	127.29		20.94	70.38	177.84
1992	105.84		18.32		34.05	51.88	90.56	6.42	148.99	33.33	31.31	18.91
1993	191.77	227.56	45.96		144.09	576.19	242.27	425.31	364.86	106.72	52.88	
1994	140.63		20.12	122.19	98.97	227.83		268.60	169.00	6.01	87.80	
1995	117.70				33.42	587.08	843.00					496.41
1996	198.00		184.41	276.04	4.18	349.27	397.19	420.23				307.84
1997	382.47			356.85	9.98	242.39		101.02				113.01
1998	191.15		108.30	898.90		263.02						48.43
1999			22.36		7.81	302.46						112.91

Tabla A.1 Gastos máximos anuales registrados en la región 24 (m³/s) (continuación)

Año	25009	25010	25027	25030	25034	25037	25038	25039	25040	25042	25043	25044
1930	360.89											
1931	216.67											
1932	423.00											
1933	1310.00											
1934	314.87											
1935	382.00											
1936	478.00											
1937	365.25											
1938	905.50											
1939	244.60											
1940	321.78											
1941	429.00											
1942	407.62											
1943	310.00											
1944	845.00											
1945	283.80											
1946	223.50											
1947	673.00											
1948	686.00											
1949	246.21											
1950	1010.00											
1951	1310.75	24.90	2.82									
1952	166.60	129.00	106.00	2.47								
1953	581.60	472.00	516.00	126.00								
1954	330.21	112.40	184.00	69.00								
1955	809.20	369.00	639.50	174.00								
1956	331.91	33.30	21.15	148.00								
1957	575.00	68.00	155.80	59.90								
1958	540.00	129.00	95.30	570.00								
1959	362.34	9.56	88.30	43.30								
1960	440.00	99.00	630.00	175.00								
1961	635.00	106.00	391.00	326.00								
1962	249.90	238.00	124.30	69.88		136.00	168.16	22.50	63.50			
1963	407.00	78.08	73.40	587.40	13.50	2.76	202.68	2.98	25.80		13.50	
1964	248.50	79.92	222.00	77.23	90.50		249.50		64.60		192.00	
1965	337.36	71.17	272.80	211.00	223.50		83.30		118.00	707.15	105.00	
1966	514.00	95.92	338.20	274.00	150.00	5500.00	525.20	93.00	126.00	400.00	182.00	122.10
1967	2257.52	448.00	546.50	590.41	132.10	2427.00	1260.00	946.00	620.00	916.70	290.50	139.54
1968	200.47	56.35	346.00	286.00	37.00	2.17	194.90	18.90	104.40	76.00	136.00	72.50
1969	330.32	96.00	592.00	1128.00	300.66	456.00	254.88	241.16	61.71	1199.00	177.00	69.73
1970	524.90	153.00	193.40	280.00	112.50	525.20	819.00	490.00	176.50	817.80	154.77	188.20
1971	444.22	106.10	460.60	437.00	50.25	109.11	659.00	5.27	219.37	813.40	102.00	69.64
1972	383.02	278.00	443.00	218.40	100.70	1535.00	576.04	438.00	307.50	518.23	519.20	114.60
1973	983.12	270.00	710.00	990.00	127.00	1386.26	507.00	1160.00	147.45	1146.00	255.00	167.50

Tabla A.2 Gastos máximos anuales registrados en la región 25 (m³/s).

TRABAJADO CON
FALLA DE ORIGEN

Año	25009	25010	25027	25030	25034	25037	25038	25039	25040	25042	25043	25044
1974	258.38	44.55	77.00	280.00	190.00	1514.80	458.00	504.00	31.82	320.00	53.40	58.69
1975	544.50	56.27	272.00	322.00	75.92	217.40	290.00	233.92	110.56	78.00	140.70	260.00
1976	390.42	424.00	1086.00	584.00	173.22	1463.84	834.72	935.50	197.00	891.00	334.50	90.60
1977	727.00	296.00	600.00	951.00	489.50	962.66	936.20	849.00	138.28	1056.57	160.80	121.90
1978	965.06	218.00	449.00	820.00	463.30	122.68	652.80	523.25	173.46	1192.00	395.30	471.50
1979	294.66	58.22	100.60	150.00	57.28	110.50	245.20	360.00	24.66	198.91	81.70	170.25
1980	238.01	14.22	14.92	34.40	81.14	72.93	132.96	80.61	199.44	20.14	65.41	37.82
1981	371.40	84.80	99.83	205.40	122.50	74.80	537.46	202.26	149.50		130.00	172.40
1982	199.80	40.50		27.03	66.60	6.87	112.06	1.39	60.00	3.36	70.32	39.15
1983	451.40		308.00		75.36		202.20	123.20	154.50		240.00	100.00
1984	161.20		156.40	93.32	67.30	244.50	292.90	241.56	30.50		89.42	59.05
1985	136.77	14.80	161.60		82.30	135.00	92.56	148.98	2.40	1.16	6.35	54.33
1986	206.00	94.36	669.21	203.46	47.90	89.78			111.57	2.86	245.23	104.19
1987	114.66	124.27	330.76	336.32	14.10	8.92			168.03	5.02	13.93	37.97
1988		446.11	815.09	656.42	150.14	80.62			101.79	23.75	260.53	50.87
1989	60.89	51.73	53.57	68.26	21.80	20.53			177.93	5.80	32.42	42.35
1990	104.91	289.71	217.19		84.50	975.00			159.70	0.19	117.26	103.24
1991		23.55	158.87	52.74	60.21	467.50	194.00	303.00	670.55	0.19	164.52	56.92
1992		37.35	487.51	65.16	7.01	38.83			43.15	0.17	26.60	61.12
1993	219.72	33.08	135.48	177.18	365.67	202.90	618.11	247.45	89.49	0.20	149.00	105.83
1994	81.23	125.36	553.49	64.31	74.05	871.10	191.18	120.00	145.04	0.12	109.66	48.20
1995	275.90	243.78	324.46	607.15	188.77	334.20	562.30	739.20	237.70	0.70	153.20	170.49
1996	243.90	112.20			160.32	54.65	416.50	24.09	266.70	0.30	28.00	
1997		33.40			11.60	118.49	123.53	150.37	14.25	0.27		
1998		186.12			28.20	93.29		178.91	349.72	0.23		
1999		35.67		363.68	34.14	300.79		156.01	83.41	0.63	71.42	

Tabla A.2 Gastos máximos anuales registrados en la región 25 (m³/s) (continuación).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	25061	25062	25087	25091
1930				
1931				
1932				
1933				
1934				
1935				
1936				
1937				
1938				
1939				
1940				429.66
1941				519.10
1942				842.60
1943				242.09
1944				2341.69
1945				440.75
1946				812.01
1947				970.20
1948	243.75			196.53
1949	171.02			181.94
1950				520.67
1951				2804.34
1952				436.59
1953	78.68			121.04
1954	1205.10			528.53
1955				2993.76
1956	235.95			168.17
1957	55.38			46.48
1958	1054.95			1065.31
1959	79.95			124.19
1960	363.68			383.83
1961	294.65			341.88
1962	154.05			215.85
1963	202.80			364.98
1964	115.75			160.78
1965	69.79	51.92		113.06
1966		1141.73		1602.89
1967	25.28	2375.90	275.00	2604.32
1968	13.50	226.04	5.69	226.84
1969	12.46	308.87	111.56	330.79
1970	31.30	1431.30	272.03	1497.34
1971	29.35		50.82	604.11

Año	25061	25062	25085	25087	25091	25092	25093	25102
1972	39.00	1037.00			1025.64	328.24		
1973	115.50	845.00		45.73	840.84	1882.00		
1974	27.65	863.00		240.47	949.07	515.00		
1975	31.54	370.40	99.82	77.68	367.55	283.16		
1976	62.40	1253.36	119.84	406.21	1106.40	950.00		
1977	462.50	2037.09	75.25	159.18	1908.66	2698.00		
1978	123.10	1960.80	162.00	158.62	2149.60	50.53		
1979	37.28	369.50	91.00	354.10	306.61	73.20	36.68	
1980		189.00	55.20	4.06	298.00	23.96		
1981		1250.00	164.00	21.63	1318.75	198.33	122.40	273.40
1982		137.00	81.40	18.34	228.87	4.46	57.84	10.06
1983		355.59	75.02	6.56	451.96	73.94		101.20
1984		598.80	78.78	74.06	999.93	98.48		
1985		80.00	62.90	9.92	49.94	238.60		
1986		226.00	104.53	3.29	346.48	152.30	76.68	207.34
1987		195.50	71.32	127.50	218.43	10.00	209.68	305.34
1988		1049.60	208.10	255.70	1648.68	78.30	116.60	146.46
1989		95.45	51.91		125.66	8.90	158.76	132.92
1990		251.11	69.21	78.00	376.69	486.00	102.86	256.63
1991		204.00	71.80		65.50	156.00	65.51	251.66
1992		150.00	35.00			0.27	70.43	90.79
1993		1532.22		227.03		875.33	228.62	143.98
1994		181.86		104.52	71.38	610.21		129.87
1995		825.90			1560.80	130.00	123.84	582.49
1996		902.60			1649.80	57.80	46.87	174.29
1997		110.75	64.01			291.67	66.97	494.32
1998		327.66	68.63			76.35	32.41	
1999			84.21	7.58		105.84	60.03	

Tabla A.2 Gastos máximos anuales registrados en la región 25 (m³/s) (continuación).

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	26030	26042	26149	26218	26241	26243	26248	26249	26263	26267	26268	26272	26277	26278	26280
1930	42.00														
1931	74.00														
1932	39.20														
1933															
1934	28.70														
1935	74.50														
1936	50.20														
1937	101.20	113.00													
1938	42.20	52.00													
1939	29.10	198.20													
1940	36.10	9.50													
1941	77.30	218.20													
1942	93.30	250.00													
1943	75.40	231.60	49.70												
1944	96.00	1000.20	1692.40												
1945	42.20	149.00	46.10												
1946	66.90	254.00	113.70												
1947	100.00	85.90	341.00												
1948	74.10	92.50	61.40												
1949	25.20	126.00	40.50												
1950	70.30	75.40	61.10	15.20											
1951	58.60	73.10	1783.70												
1952	86.60	84.50	109.50	71.50											
1953	87.40	56.70	46.40	85.10											
1954	41.10	1701.20	254.70	244.20	263.00	1473.00						3100.00			
1955	62.00	3548.00	2414.00		425.00	2637.40	6000.00	4500.00				6052.00			
1956	42.30	300.00	88.90	113.00	202.00	1715.00	4424.00	1150.60				2395.00			
1957	30.90	18.10	85.30	15.70	91.90	558.00	449.00	261.60				564.30			
1958	107.60	373.00	145.00	146.00	269.90	1754.10	4100.00	491.30				3064.00			
1959	44.40	107.00	69.50	43.20	85.10	513.00	1507.60	1384.00	505.00	159.00	323.00	685.00			
1960	51.70	28.20	69.40	55.40	110.20	510.90	1277.00	509.90	341.50	253.50	113.80	854.00	452.60	37.00	150.40
1961	43.10	63.00	170.00	117.60	154.90	657.90	852.90	1239.90	728.00	246.50	600.70	1449.30	434.50	87.00	486.90
1962	17.20	30.50	479.60	495.90	83.80	553.00	739.20	1589.00	324.00	147.00	146.10	484.40	457.50	30.00	480.00
1963	46.30	90.40	88.50	72.50	174.10	811.20	1800.00	363.60	973.00	216.00	259.00	1516.60	947.40	113.10	158.00
1964	110.50	12.40	61.20	100.30	94.90	1274.00	748.00	513.80	145.20	179.00	172.20	428.00	258.00	12.10	118.00
1965	164.40	168.00	95.00	50.90	120.70	340.00	792.70	851.50	360.00	239.40	216.80	1125.80	414.90	68.70	437.00
1966	122.10	106.50	1826.00	1540.00	381.40	998.20	1778.00	3737.50	1691.50	507.00	965.80	2230.00	742.20	112.90	475.00
1967	114.50	201.50	589.00	600.00	251.00	1073.90	2245.00	2124.20	912.00	475.00	1551.40	2860.00	1009.40	143.20	369.50
1968	55.90	115.70	48.70	107.30	126.20	1056.00	1145.00	908.00	769.50	219.80	537.00	983.00	1096.00	54.80	537.20
1969	82.20	270.80	114.00	124.00	260.60	972.00	1948.00	633.00	1244.00	462.50	2106.00	2845.30	825.00	123.60	453.00
1970	47.80	462.00	967.20	446.00	279.40	886.20	1418.00	3403.60	803.00	595.50	1401.00	2630.00	800.00	138.00	895.00

Tabla A.3 Gastos máximos anuales registrados en la región 26 (m³/s).

Año	26030	26042	26149	26218	26241	26243	26248	26249	26263	26267	26268	26272	26277	26278	26280
1971	44.80	241.50	129.50	133.10	162.40	1062.10	1630.00	2311.60	636.00	365.30	573.00	1467.60	1064.00	84.70	472.00
1972	50.80	68.30	663.00	435.00	279.00	597.00	989.00	2286.00	393.60	408.80	436.00	1585.00	1110.00	76.40	391.00
1973	71.60	159.10	246.30	223.00	255.00	639.00	1668.00	2997.40	951.30	395.50	1058.00	2064.00	749.00	106.90	579.00
1974	73.20	922.20	123.20	161.50	456.00	1942.30	4950.00	796.00	1480.00	829.50	1695.70	4140.00	1950.00	171.40	358.50
1975	52.70	257.10		423.00	385.50	1516.00	4040.00	1460.30	662.00	475.10	2115.30	3038.00	2470.00	117.80	595.00
1976		152.00		1006.00	260.90	1088.00	1275.00	5510.00	2588.00	610.00	3205.00	4902.00	937.70	168.80	1676.00
1977		96.00		2194.10	90.90	410.00	514.00	2600.00	1884.00	251.00	318.00	2683.00	559.00	167.20	803.20
1978	52.10	71.80		468.00	358.00	2643.70	3725.00	967.00	372.20	421.50	2160.00	3056.00	2874.00	118.40	265.00
1979			309.40	134.70		1173.00	1655.90	778.40	283.40	252.10	570.20	1301.00	1082.00	30.40	558.20
1980			109.20	102.10	261.70	1013.50	1162.00	429.50	161.80	273.40	365.00	1142.90	583.20	35.70	89.70
1981	43.30	125.60		126.30	292.30	1257.30	2020.00	934.50	289.00	309.00	794.80	1583.30	1650.30	89.70	311.80
1982		30.40		106.90	77.70	404.70	539.60	349.50	64.90	81.20	171.90	364.60	340.00	61.70	73.60
1983	51.20	38.30		138.00	193.10	1095.00	868.00	996.00	525.00	465.00	344.20	1711.50	544.00	92.10	319.30
1984	62.20	160.50	298.50	130.60	272.50	1140.30	4030.00	584.40	461.70	342.00	1590.00	1987.10	2834.90	95.30	198.00
1985	30.90	229.30	27.10	37.50	199.00	765.20	1882.00	1071.10	361.30	293.70	339.40	1346.00	938.40	93.20	366.00
1986	28.60	39.90	36.20	106.30	206.40	448.00	476.00	742.00	353.30	258.20	77.80	946.00	308.00	86.10	211.50
1987	83.20	21.00	43.50	62.40	270.70	625.00	1765.00	2040.00	187.00	207.90	184.00	896.00	1440.00	67.30	290.00
1988	50.60	241.40	630.00	287.50	481.00	1333.00	3265.00	1190.00	898.00	320.60	1950.00	1625.00	4350.00	76.80	361.00
1989	47.30	176.10	40.40	75.00	199.00	594.00	649.00	653.00	267.00	184.50	201.00	696.00	644.00	89.30	297.00
1990	33.30	411.40	204.00	150.50	680.00	2025.00	1611.00	534.00	800.00	460.00	2315.00	2760.00		144.40	158.00
1991	94.00	96.60	222.00	247.00			3532.00	2500.00	1163.00	470.00	1500.00	2270.00		128.60	542.00
1992	75.70	54.60	55.90	96.60	136.20	649.20	2291.00	3111.90	1272.80	344.10	369.80	2165.00	762.80		930.50
1993	33.50	174.40	1306.00	912.30	638.80	1940.40	6120.00	2231.60	1933.70	664.90	3037.50	4760.50	1684.10		995.50
1994	32.70		262.00	134.10	117.50	752.30	1133.00	1648.20	233.60	252.60	167.60		723.80		181.00
1995	56.80	82.10	1176.90	624.90			742.00	1513.30	479.90			1404.90	568.00		393.60
1996		65.20	633.20	646.70	202.90		683.00	1401.50	771.50			2097.20	804.00		490.40
1997	44.20	23.70	187.40	216.10	358.20	970.10	905.00	1036.80	221.90	246.70	272.30	1133.30	428.40		384.20
1998		242.60	115.60			797.60	1266.90	794.50	234.20	271.50	691.80	1249.80	260.90		360.40
1999		1278.50	197.20	215.80	323.70	657.90	2693.70	1921.60	286.70	267.20	268.90	1244.10	630.90		604.80

Tabla A.3 Gastos máximos anuales registrados en la región 26 (m³/s) (Continuación).

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	26285	26286	26289	26291	26292	26296	26337	26388	26389	26416	26422	26423	26429	26430	26431
1961	342.00	303.50	525.00	226.80	170.10	685.33		349.00	67.86						
1962	206.90	262.00	565.90	282.70	60.75	429.20		439.50	42.70						
1963	185.60	481.00	895.93	353.50	47.80	265.00		163.25	62.82						
1964	105.20	188.60	397.10	502.60	66.40	215.35		222.00	119.11						
1965	171.00	338.00	659.40	252.00	56.25	615.00	71.50	176.96	62.18						
1966	293.60	287.00	1121.66	439.00	529.37	716.50	999.00	540.80	504.33						
1967	308.10	854.20	1153.00	942.00	778.00	507.86	1224.00	316.00	734.27						
1968	218.00	476.00	611.16	908.00	216.00	632.00		183.00	261.50						
1969	385.30	555.84	2224.20	725.00	486.17	576.00	312.56	241.94	426.50						
1970	375.40	560.00	1420.00	497.50	273.50	877.00	462.40	400.10	382.00						
1971	209.80	720.40	1488.50	525.05	269.60	668.00	704.00	375.00	262.48						
1972	262.50	320.00	529.00	371.90	192.00	562.00	244.40	314.50	123.60						
1973	259.00	392.00	1740.00	467.12	244.50	702.00	112.16	504.00	271.00		26.55	184.00	132.12	103.30	106.07
1974	383.60	1198.26	3187.81	1180.20	583.18	449.57	347.00	193.25	677.20	1710.00	5.96	233.50	13.80	173.90	170.70
1975	351.00	1204.20	2085.00	1094.00	374.00	744.00	456.82	437.84	270.50	1102.00	6.96	116.10	6.76	99.93	112.40
1976	600.00	419.66	1000.50	422.75	2163.30		246.30	834.80			30.57	373.90	107.21	103.40	116.40
1977	401.30	179.10	291.20	159.00	61.20	949.33	1780.00	478.85	65.00	2148.00	18.83	187.50	443.80	70.50	64.14
1978	242.00	1390.00	2152.25	2097.75	572.00	457.37	86.20	498.80	558.15	1157.00	8.24	170.00	75.89	140.55	149.20
1979	223.00	666.96	659.10	597.00	108.40	568.00	328.62	140.80	102.68	1147.00	5.95	128.00	5.15	69.66	142.20
1980	144.10	357.00	994.10	509.00	65.66	194.87	49.02	139.41	9.57	449.50	0.21	7.08	4.36	91.45	102.50
1981	279.00	765.23		1565.50	137.60	429.45	123.76	173.85	153.51	1170.00	11.16	77.70	8.26	166.50	170.80
1982	64.60	182.30	491.42	47.11	28.60	181.96	10.70	239.00	12.21	427.50	0.64	80.20	1.32	31.93	21.35
1983	322.50	269.80	768.35	492.42	102.40	579.44	125.70	317.00	104.00	1180.00	10.60	94.00	6.86	125.97	
1984	259.00	572.00	2981.00	1150.55	129.60	321.23	105.20	255.56	140.40	1124.00		164.10	8.70	117.20	
1985	188.30	457.00	1487.73	466.13	81.60	554.93	43.60	366.90	89.77	1140.00	11.45	175.76	12.13	79.30	85.03
1986	184.40	192.00	434.00	273.80	34.64	459.30		267.00	17.28	674.00		81.00	2.37	91.15	95.70
1987	160.50	346.80	2635.00	380.00	72.20	532.00		580.00	75.70	1525.00		181.20	2.24	74.00	92.20
1988	256.20	356.00	3710.00	583.00		443.36		197.00	126.51	1256.00	29.68	125.80	235.00	62.50	116.00
1989	125.20	306.00	2100.00	282.00		524.00		164.10	30.75		29.80	207.00	16.93	75.17	112.00
1990	276.40	306.00	702.00	762.00		281.00		163.00	297.26	850.00	6.12	130.00	144.00	159.21	181.00
1991	355.30	1248.00	2860.00	416.00		691.00		309.00	297.26	1750.00		266.90	129.30	114.60	182.00
1992	344.60	790.00	1607.50	224.16	41.35	968.45	128.30	620.47	21.94	1918.10			15.86	96.53	134.91
1993	785.90	865.48	3422.50	219.85		955.32	252.17	374.63	291.68	2387.01			309.48	11.02	207.25
1994		412.00	1237.85	449.43		561.31	2.00	402.49	49.49	1202.63			79.00	89.78	
1995	259.00		531.00		72.41	597.00	78.93	182.15	73.71	965.93			320.35		106.68
1996	504.50		507.64			803.36	81.21	240.09	152.03	1063.35			21.31	196.18	155.86
1997	213.20	348.17	362.51	568.58		532.45	1.05	308.39	16.05	990.74				86.31	68.63
1998	174.60		1605.84	338.60		508.40				870.56			1.58	147.17	136.74
1999	260.40		3328.34	325.54	93.52		197.97	312.20	145.67	1092.91			65.74	139.03	

Tabla A.3 Gastos máximos anuales registrados en la región 26 (m³/s) (Continuación).

Año	27001	27002	27004	27005	27006	27007	27020	27021	27024	27030
1944							692.00			
1945							188.00			
1946							122.00			
1947							203.00			
1948							110.00	108.00		
1949							128.00	124.00		
1950							325.00	20.70		
1951							120.00	135.00		
1952	142.50						114.00	250.00	24.12	
1953	1626.50	717.33					114.00	79.00	14.12	
1954	2240.00	5040.00					360.00		22.78	
1955	4540.00	5412.50					680.00			
1956	829.00	866.05					114.00			
1957	478.00	479.00					212.00	39.00		31.14
1958	913.75	1596.00					51.90	243.00		28.55
1959	584.30	1017.40					131.00	164.00	15.10	11.60
1960	381.76	665.30	1458.00	121.00			117.00	95.39	20.59	11.20
1961	1053.00	531.00	1095.00	355.20	424.00		178.00	288.00	67.80	34.50
1962	321.62	608.00	1276.00	105.00	335.50		90.00	142.00	11.00	11.20
1963	719.30	1060.00	2722.50	165.00	564.00		134.00	189.00	49.50	25.60
1964	574.90	477.60	592.60	102.86	282.08		82.40	94.10	17.40	24.60
1965	614.70	608.00	1641.00		415.38	5.62	108.00	94.80	16.00	14.00
1966	1382.00	1248.73	2882.50		2244.40	11.38	145.00	124.00	39.90	30.30
1967	3600.00	828.00	1823.77	816.34	2110.00	115.50	139.00	94.80	30.70	19.40
1968	456.56	1380.00	2355.00	170.30	345.50	73.30	115.00	112.00	11.00	8.20
1969	2334.50	1437.00	2664.47	480.23	410.00	262.00	311.00	220.00	37.40	59.50
1970	548.00	840.00		562.00	1068.52	223.50		178.00	19.90	9.90
1971	709.60	1595.50			543.00	369.60		90.00	21.30	48.40
1972	897.50	618.00		602.00	1026.00	440.00		55.90	16.60	23.10
1973	1113.00	999.60		633.00	503.00	516.50		88.60	12.90	21.70
1974	1932.60	3513.75		1376.00	960.66	770.00		135.00	41.20	82.90
1975	778.00	1588.00		1261.40	1396.00	178.00		111.00		39.30
1976	1245.07	1965.00		539.22	1689.16	311.31		166.00		36.90
1977	1833.63	602.50		695.98	595.00	447.50		112.00		15.20
1978	988.00	1757.50		658.67	1369.33	338.00				25.20
1979	1016.00	1680.20		587.73	1255.60	288.50				30.00
1980	1270.00	512.66		637.31	1596.57	425.88				
1981	1200.00	1890.31		529.04	1667.60	339.00				

Tabla A.4 Gastos máximos anuales registrados en la región 27 (m³/s).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	27001	27002	27005	27006	27007	27015
1982	896.60	484.57	583.00	3178.12	158.00	869.00
1983	883.57	628.31	617.60	883.75	160.05	594.00
1984	1345.00	1365.00	586.13	1242.60	456.34	1623.00
1985	586.00	390.00	519.00	1353.52	172.70	442.00
1986	1542.35	505.72	910.51	2988.00	147.10	627.00
1987	690.08	3606.43	510.60	518.00	87.29	15.80
1988	1843.14	2590.87	681.82	2490.00	171.60	3079.00
1989	1102.19	1553.66	471.25	1232.00	57.18	1347.00
1990	1062.87	2386.99	686.57	1099.00	107.60	2269.00
1991	1473.53	2106.02	431.99	2408.00	159.70	1177.00
1992	1423.43	2215.32	520.61	1244.60	156.70	2149.00
1993	980.50	972.00	526.00	768.00	159.20	1248.00
1994	770.00	684.50	386.20	428.00	26.74	652.00
1995	3730.00	1120.00	506.00	6860.00	400.00	698.00
1996	868.00	604.00	514.00	479.00	112.00	460.00
1997	741.90	1150.00	513.00	534.90	38.10	
1998	892.50	1983.28	429.55	1243.31	146.60	
1999	2111.40	998.66	696.77	4840.10	493.93	

Tabla A.4 Gastos máximos anuales registrados en la región 27 (m³/s) (continuación).

Año	27037	27038	27042	27047	27049	27050	27052	27068	27069	27075	27076
1946								254.00	134.74		
1947								291.00	99.72		
1948								176.00	84.74		
1949								686.00	150.65		
1950								172.00	135.04		
1951								333.00	215.66		
1952								429.00	148.40		
1953								343.00	92.50	159.92	
1954								2758.00	725.50	179.52	
1955										23.10	1369.00
1956										208.30	693.00
1957	70.73	125.31						197.00	114.83	24.95	162.00
1958	137.00	336.00						412.00	109.36	72.00	315.00
1959	76.70	78.10						294.00	81.50	70.20	315.00
1960	47.50	174.00						161.00	94.71	24.70	1709.00
1961	173.00	165.00						393.00	256.00	148.00	231.00
1962	78.80	162.00	1072.00	324.00	1608.00	755.00		107.00	45.10	61.68	981.00
1963	90.10	228.00	2067.00	486.00	806.00	1095.00	134.00	154.00	100.00	133.00	98.50
1964	90.70	119.00	2383.00	427.00	514.00	842.00	192.00	114.00	69.20	54.10	420.00
1965	99.70	323.00	2271.00	1009.00	932.00	1301.00	183.00			77.40	195.00
1966	104.00	264.00	3701.00	1245.00	1165.00	1049.00	440.00			58.60	225.00
1967	101.00	152.00	2882.00	1393.00	774.00		181.00			235.00	501.00
1968	47.90	141.00	1452.00	2101.00	489.00	677.00	282.00			45.40	
1969	296.00	701.00	3952.00	777.00	1706.00	1465.00	87.70			19.70	

Tabla A.4 Gastos máximos anuales registrados en la región 27 (m³/s) (continuación).

Año	27037	27038	27042	27047	27049	27050	27052
1970	938.00	230.00	1295.00	1872.00	595.00	771.00	232.00
1971	179.00	269.00	4258.00	1149.00	1123.00	4101.00	148.00
1972	85.60	203.00	2188.00	1208.00	1244.00	908.00	256.00
1973	252.00	156.00	4415.00	1278.00	1954.00	1536.00	711.00
1974	994.00	1277.00	7491.00	557.00	2484.00	820.00	249.00
1975	427.00	349.00	3049.00	1308.00	1294.00	1079.00	41.20
1976	89.60	216.00	3188.00	379.00	1250.00	1250.00	225.00
1977	32.10	51.00	2892.00	564.00	492.00	1291.00	413.00
1978	90.80	181.00			10032.00	1766.00	
1979	102.60	258.00		1231.00	993.00	1021.00	
1980				443.00	997.00	733.00	225.00
1981			8321.00	1004.00	1644.00	765.00	451.00
1982							221.00
1983			1444.00	480.00	390.00		152.00
1984			3024.00	1532.00	877.10		655.00
1985							245.00
1986			7755.00	1039.00	1297.00		196.00
1987			2384.00	942.00	669.00		128.00
1988			5782.00	1335.00	1210.00		540.00
1989			4481.00	780.00	1225.00		404.00
1990			2130.00	977.00	1055.00		175.00
1991			2140.00	683.00	690.00		184.00
1992			3740.00	853.00	1040.00		326.00
1993			1657.00	661.00	908.00		241.00
1994			1389.00	312.00	450.00		86.00
1995			3247.00	1122.00	1234.00		448.00
1996			1546.00	872.00	829.00		
1997			1993.00				
1998			3049.00				

Tabla A.4 Gastos máximos anuales registrados en la región 27 (m³/s) (continuación).

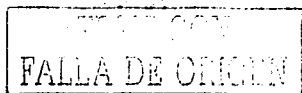
TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	28001	28003	28013	28015	28016	28017	28018	28019	28020	28023	28025	28026	28030
1948			630.00	519.00	900.30								
1949			702.00	641.00	938.00		496.51	208.00	352.00	170.00	452.00	134.00	
1950			750.00	652.00	2926.74		474.00	611.00	451.00	237.00	390.00	300.00	203.00
1951		1018.00	974.00	763.00	2306.87		611.60	390.00	506.00	303.00	501.00	179.00	428.00
1952		1394.00	1320.00	854.00	2585.00		740.00	637.00	541.00	368.00	764.00	506.00	
1953		832.00	942.00	598.00	1565.00		406.52	657.00	327.00	189.00	491.00	70.40	38.80
1954		699.66	1240.00	678.00	2178.00		498.50	492.00	524.00	188.00	343.00	468.00	149.00
1955		2026.00	915.00	990.00	1772.20		785.70	765.00	654.00	354.00	1192.00	220.00	1220.00
1956		726.62	947.00	738.00	2171.55		534.00	328.00	464.00	279.00	654.00	192.00	85.10
1957		707.77	705.00	710.00	1290.00	494.00	596.00	103.00	532.00	196.00	183.00	246.00	42.30
1958		1085.00	1023.00	943.00	4880.00	1276.00	733.00	1415.00	638.00	321.00	492.00	509.00	98.70
1959		1388.00	7285.00	610.00	1958.00	785.00	538.00	260.00	339.00	320.00	168.00	276.00	97.10
1960		2847.00	1270.00	1190.00	3060.00	1505.00	830.00	739.00	913.00	298.00	656.00	248.00	194.00
1961		3378.00	975.00	875.00	2505.00	1134.00	674.00	491.00	685.00	795.00	213.00	429.00	528.80
1962		615.04	735.00	681.00	1609.00		400.00	221.00	432.00	192.00	205.00	157.00	237.00
1963		556.44	750.00	1232.00	1725.00	717.00	500.00	410.00	659.00	203.00	429.00	152.00	130.20
1964		297.60	741.00	626.00	1765.20		542.00	152.00	449.00	217.00	330.00	611.00	33.67
1965		1081.00	770.00	693.00	2470.00	972.00	533.00	338.00	546.00	199.00	364.00	259.00	
1966		1388.86	722.00	1188.00	2437.11	992.00	745.00	357.00	803.00	218.00	384.00	233.00	428.80
1967		1366.20	733.00	608.00	1685.00	816.00	485.00	320.00	594.00	228.00	610.00	353.00	106.80
1968		741.71	1320.00	1224.00	2351.87	1130.00	734.00	305.00	704.00	259.00	394.00	232.00	66.50
1969		1913.60	1404.00	4165.00	3960.00	2075.00	1950.00	815.00	1014.00	537.00	436.00	402.00	137.50
1970		824.57	906.00	1000.00	2212.00	760.00	624.00	457.00	546.00	443.00	173.00	519.00	64.15
1971	952.00	508.76	960.00	773.00	1425.93	795.00	578.00		787.00		471.00	135.00	36.41
1972	1023.00	1420.83	970.00	772.00	2548.00	1040.00	623.00	362.00	483.00	342.00			596.00
1973	1984.00	1215.00	1593.00	2100.00	3835.00	1945.00	950.00	1008.00	834.00	350.00			185.60
1974	2970.00	2152.00	2093.00	2076.00	3594.00	2408.00	1026.00	1430.00	709.00	813.00	501.00	694.00	1122.00
1975	1850.00	1189.18	1952.00	1907.00	3968.00	2080.00	955.00		1110.00	535.00	213.00	694.00	165.20
1976	983.00	1335.21	1480.00	795.00	1990.87	1019.00	875.06	431.00	524.00	325.00	272.00	205.00	541.63
1977	817.00	379.50	740.00	553.00	994.80		676.40	93.50	467.00	80.00	72.00	183.00	100.55
1978	2804.00	901.00	1560.00	2184.00	1732.53		1196.00	371.00	732.00	370.00	205.00		448.00
1979		1388.00	986.00	784.00	2772.92		779.70						298.00
1980		1519.20	1805.00	1709.00	2150.78		1187.75						130.33
1981		1580.44	1738.00	1326.00	5082.00								239.18
1982	948.56	396.00	1367.00	852.42	1353.16						210.41		51.10
1983	1343.97	1140.88	1321.00	1401.21	3691.00						139.50		131.00
1984	1295.01	1923.70	1202.00	1123.03	2392.00						333.46		272.06
1985	977.20	511.58	1090.00	816.23	1760.00						115.35		81.00
1986	1240.17	442.43	1198.00	929.52	2021.88						215.58		93.79
1987	1440.92	405.93	1602.07	1196.15	1779.80						121.88		52.55
1988	1583.89	1696.21	1483.39	1943.62							327.59		58.07
1989	1283.76	829.00	1182.88	2398.30							320.17		66.41
1990	1052.99	550.61	1022.62								329.38		85.66
1991	1323.90	1016.49	1657.98	1460.61							475.10		121.79
1992	1187.33	1207.17	1871.96	1616.00							412.57		164.47
1993	1199.62	2570.14	1098.66								480.86		710.00
1994	634.79	726.90	681.02								96.24		65.90
1995	1178.60	840.00	844.00	1333.50							111.00		548.00
1996	1219.40	574.00	1270.00	1743.81							431.00		182.31
1997	1332.00	1928.00	1241.00								392.50		208.90
1998	1059.65	1877.01	1115.48								311.57		162.41
1999	1434.06	2279.56	769.11								643.10		566.87

Tabla A.5 Gastos máximos anuales registrados en la región 28 (m³/s).

Año	28039	28040	28056	28062	28064	28066	28069	28072	28074	28075	28099	28102
1952	462.42	362.24										
1953	362.00	138.60	2396.00									
1954	600.00	327.98	1257.00	1402.00	1260.00	506.00	1010.80					
1955	652.00	615.60	1518.00	1679.00	1242.00	1034.00	759.50	709.60	301.00			
1956	500.00	482.00	1134.00	1113.00	650.00	360.00	458.00	305.60	123.00	571.00		
1957	500.00	133.00	975.00	889.00	392.00	219.00	412.00	236.10	267.00	500.00		
1958	553.00	404.00	2593.00	2305.00	1648.00	1440.00	627.60	251.00	268.00	1316.00	547.00	
1959	521.20	254.00	1860.00	1370.00	825.00	502.00	612.20	410.00	355.00	380.00	667.00	52.00
1960	538.00	585.00	1624.00	1652.00	1300.00	843.00	469.66	281.00	381.00	668.00	1360.00	38.00
1961	520.00	613.31	1804.00	1418.00	968.00	582.00	1000.00	81.00	175.00	1333.00	382.00	23.10
1962	408.00	336.00	1252.00	1366.00	545.00	295.00	68.02	361.00	409.00	445.00	304.00	43.50
1963	322.00	170.00	920.00	1075.00	734.00	338.00	144.10	281.00	220.00	344.00	551.00	129.00
1964	229.00	201.00	1033.00	999.00	495.00	189.00	369.00	169.00	212.00	326.00	482.00	136.00
1965	291.00	247.18	1233.00	1673.00	772.00	177.00	43.47	149.00	103.00	659.00	400.00	62.20
1966	421.64	291.62	943.00	815.00	678.00	206.00	644.80	361.00	269.00	488.00		96.80
1967	490.00	546.60	1580.00	1234.00	535.00	233.00	732.00	232.00	197.00	433.00	371.00	61.20
1968	269.85	383.10	1388.00	1194.00	724.00	256.00	350.50	208.00	132.00	696.00		35.00
1969	695.00	718.00	1995.00	1707.00	1697.00	1052.00	404.85	440.00	431.00	949.00		55.20
1970	472.22	266.15	1059.00	1262.00	656.00	508.00	866.32	233.00	253.00	571.00		71.70
1971	284.00	187.80	988.00	920.00	503.00	335.00	283.52	353.00	325.00	479.00		109.00
1972	747.00	650.00	1220.00	1910.00	822.00	385.00	1050.00	234.00	213.00	454.00		188.00
1973	476.73	1215.00	2800.00	2000.00	1340.00	1016.00	668.50	286.00	259.00	808.00		263.00
1974	920.00	647.00	1785.00	1572.00	1497.00	1505.00	1417.18	345.00	358.00		380.00	48.00
1975	779.00	522.00	2120.00	3050.00	1475.00	1032.00	1137.73	269.00	260.00	1177.00	689.00	125.00
1976	545.20	488.00	1668.00	1071.00		490.00	947.04	346.00	267.00	674.00	496.00	72.50
1977	300.40	197.40	612.00	534.00	204.00	140.00	415.40	138.00	157.00	463.00	319.00	81.00
1978	403.00	281.50	1385.00	1055.00	276.00	325.00	519.68	309.00	322.00	597.00		261.00
1979	518.00	333.50			280.00		1068.25	295.90				
1980	555.50	425.66			1418.00		1637.67	386.80				
1981		533.33					892.10					
1982		129.00	1504.52	1044.12	716.46		792.80					
1983		445.38	2160.46	2949.41	1303.79	760.96	1263.52			967.04		
1984		201.11	1416.67	1721.69	888.08		1075.00					
1985		266.60	1138.37				856.48			446.48		
1986	405.40	223.27	1748.21		735.69		477.24					
1987	291.13	261.76	787.08		1010.39		419.77					
1988	419.13	529.47	1477.13				2024.76					
1989		567.85	1624.83				878.78					
1990		186.81	724.55				1058.16					
1991	447.95	591.69	1290.06				1434.37					
1992	395.46	567.62	2123.00				1451.31					
1993	467.23	2570.14	2133.87				1789.92					
1994	226.45	253.46	881.90				1080.00					
1995		303.70	1238.26				1544.00					
1996		123.30	1800.26				613.98					
1997		698.00					210.33					
1998	549.92	304.59					430.52					
1999		412.76					1655.58					

Tabla A.5 Gastos máximos anuales registrados en la región 28 (m³/s) (continuación).

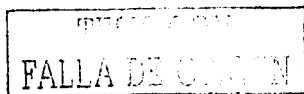


Año	28103	28108	28111	28119	28122	28125	28133	28134	28136	28143	28154	28158
1959	95.00											
1960	166.00											
1961	119.00							3314.00				
1962		786.60						633.00				
1963	64.80	975.12					405.00	414.00				
1964	246.00	132.75	114.58				213.00	263.00				
1965	85.30	417.80	209.20				360.00	630.00				
1966	101.00	1436.00	374.25		398.00	1429.38	231.00	936.00				
1967	119.00	314.60	103.80		358.00	537.66	222.00	703.00				
1968	105.00	128.20	110.00	3.45	393.00	548.80	233.00	757.00				
1969	328.00	836.00	277.26	5.07		785.24	503.00	1267.00				
1970	167.00	358.00	204.50	5.70	723.00	677.86	429.00	635.00				
1971	59.70	188.00	44.68	5.12	370.00	490.75	177.00	372.00				
1972	110.00	2583.00	703.14	4.60	458.00	945.00	456.00	684.00				
1973	106.00	804.00	372.80	4.87	515.00	956.00	454.00	1238.00				
1974	252.00	1837.60	747.80	5.11	970.00	1787.40	659.00	1711.00	1073.00	2085.00		
1975	234.00	861.41	447.50	5.85	610.00	864.00	296.00	888.00	910.00	3570.00		
1976		721.60	603.00	4.70	604.00	664.00	174.00	690.00	795.00	1563.00		
1977		338.50	186.00		335.00	250.00	116.00	285.00	467.00	780.00	628.00	575.00
1978		458.14	525.00	5.59	451.00	839.67	338.00	544.00	970.00	1570.00	1384.00	1223.00
1979	103.86	896.12	565.10	5.05		690.00		688.00				
1980	180.09	345.00	419.62	94.00		900.00	503.00	576.00				
1981	206.91	911.35	559.80	173.56		894.33	460.00					
1982	36.82	221.50	114.10	130.40		268.86	106.00		662.36	2526.11	691.60	431.96
1983	121.14	662.68	349.90	80.23		460.00	295.00	511.00	725.86	1532.34	1141.46	1142.14
1984		931.42	552.40			790.00	206.00	817.00	623.53	1628.45	940.90	705.37
1985			222.89			479.94	167.00	613.00	650.17	1407.86	666.45	739.64
1986		701.51	212.91	56.72	363.53	316.08		354.00	648.56		1216.90	1282.93
1987		169.09	56.32		280.07	494.79	242.00	618.00	737.34			978.98
1988		289.25	197.76	84.33	1531.44	815.86	288.00	895.00	626.03		1860.62	1613.67
1989		515.03	401.73	141.52	375.94	346.95	134.00	428.00	663.19		719.20	778.63
1990		379.12	85.23	61.49	476.29	402.75	139.00	540.00	572.95		635.93	1278.96
1991		650.28	231.95	96.19	845.92	879.66	297.00		692.55		1600.29	1236.48
1992		924.25	372.42	72.28	556.09	636.53	213.00		793.41		1403.01	1429.67
1993		1500.00	800.00	144.00	622.69	1041.43	217.00	810.00	576.35		740.71	916.59
1994		63.40	89.00	79.93	364.36	666.20		563.00	436.38		564.66	366.97
1995		516.00	196.00	99.40	570.00	696.00	249.00		478.00		916.00	1109.21
1996		438.30	285.00	48.08	332.00	370.00	312.00		526.00		1055.00	2181.21
1997		271.00	199.00	149.00	780.00	1613.00	440.00		582.00		1365.00	1448.26
1998		412.25	632.17			1821.25			681.20	2272.83	1012.67	1233.01
1999		262.36	538.76		748.17	2011.49			780.38	2531.92	1831.90	1304.99

Tabla A.5 Gastos máximos anuales registrados en la región 28 (m³/s) (continuación).

Año	29005	29006	29007	29008	29009	29010	29012	29014
1953		521.00						
1954	2230.00	1069.00						
1955	3220.00	873.00						
1956	2246.00	1360.00						
1957	1804.00	974.00						
1958	2737.00	1216.00						
1959	2070.00	620.00						
1960	3682.00	1675.00						
1961	4240.00	1552.00						
1962	2367.00	988.00						
1963	7061.00	1293.00						
1964	2489.00	927.32						
1965	2350.00	892.35						
1966	3706.87	1137.56						
1967	2675.00	1179.50	850.00					
1968	6267.14	2153.60	876.50					
1969	5971.00	2128.00	760.50					
1970	4743.50	1440.00	1724.00					
1971	6000.00	1080.00	1465.00					
1972	4060.00	1115.00	1508.00					
1973	6900.00	3150.00	1617.50					
1974			2159.40					
1975	3113.76				197.75			
1976	2414.00	760.40	789.00	1368.00	464.50			
1977				1436.00	182.40			
1978	7430.00		800.33	1760.00	238.70			
1979		2100.00	822.00	1544.30	158.36			
1980			2002.00	1398.00	404.16			
1981	3113.50	1134.00	905.45	1496.00	295.37	559.30	330.00	301.00
1982	4804.33	2468.00	1190.90	1803.20	263.55	552.50	711.12	417.50
1983	3207.00	1461.10	982.46	1708.20	428.80		220.57	585.00
1984		1061.60	680.57	1459.20			329.51	424.10
1985			1733.68				471.09	1097.34
1986		1453.33		1354.52	205.86		407.28	706.84
1987		1071.20		1382.48	205.74			420.26
1988	3074.00	852.00		1460.00			552.74	550.64
1989	4488.39	336.20		1720.00	243.14	591.82	283.84	409.62
1990		268.00		1472.00	81.43	604.81		
1991	4194.00			1625.20	146.50	401.18	245.70	587.81
1992				1272.00	209.95	366.49	429.51	414.19
1993	2656.80	584.00		1416.80	176.00	397.00	401.26	508.21
1994	1009.80	228.80		1034.00	81.30	315.00		
1995	3904.60	1413.60		1645.20	155.00	392.00	433.38	868.73
1996	3593.80	1250.10		1783.36	279.50	480.60	790.65	351.51
1997	2764.00	1231.60		1688.60	386.40	498.00		417.12
1998	2366.36	695.33		2980.12	103.63	420.07	1061.14	732.60
1999	3474.23	698.15		4050.48	170.45	889.98		

Tabla A.6 Gastos máximos anuales registrados en la región 29(m³/s).



Año	30016	30019	30020	30031	30032	30040	30041	30042	30053	30055	30056	30057
1947	544.00											
1948	795.00	4196.00	9.60									
1949	747.00	4089.00	17.65									
1950	708.00	5163.00	40.20	87.20								
1951	739.00	3860.00	10.20	915.00	1038.00							
1952	889.00	5589.00	282.00	235.00	1018.00							
1953	767.00	5150.00	181.00	253.00	1004.00			1538.00				
1954	744.00	5252.00	260.00	252.00	587.00	1263.00	486.00	932.00				
1955	788.00	5835.00	272.00	399.00	980.00	1328.00	610.00	1459.00				
1956	737.00	5442.00	222.00	420.00	692.00	1243.00	278.00	1249.00	630.00	910.00	1099.00	679.00
1957	750.00	4394.00	80.00	280.00	1090.00	612.00	246.00	1334.00	573.00	575.00	675.00	
1958	805.00	4270.00	299.00	302.00	822.00	898.00	255.00	1279.00	664.00	636.00	734.00	434.00
1959	750.00	3614.00	168.00	541.00	692.00	759.00	295.00	1486.00	625.00	621.00	371.00	526.00
1960	771.00	5249.00	239.00	221.00	386.00	1245.00		1107.00	819.00	536.00	640.00	386.00
1961	929.00	4024.00	139.00	335.00	794.00	886.00		1392.00	780.00	639.00	573.00	658.75
1962	932.00	4576.00	290.00	250.00	499.00	1429.00		1085.00	1306.00	462.00	952.00	408.00
1963	889.00	5300.00	623.00	423.00	704.00	1921.00		1273.70	1343.80	434.00	858.00	453.67
1964	960.00	4133.12	158.00	535.00	1028.50	926.00	675.00	1761.08	1004.40	544.00	502.00	919.40
1965	834.90	6070.00	129.60	503.50	765.00	1261.00	625.00	1010.00	1198.00	478.05	528.30	851.00
1966	842.00	6074.00	238.00	254.00	655.14	1075.48		1230.25	782.00	520.51	797.00	333.50
1967	922.40	6600.00	185.40	667.37		996.00	474.61	2059.20	400.50	-1304.66	442.80	1368.07
1968	920.00	5322.31	181.30	358.68	746.80	1250.00	665.00	1610.00	619.38	565.60	749.10	937.12
1969	907.33	6146.85	296.00	335.00	781.60	1002.47	587.14	1322.42	632.15	479.50	583.50	1031.80
1970	874.00	5811.20	323.36	342.00	881.00	1456.00	520.50	1182.00	1405.00	433.80	878.66	610.00
1971	944.00	4583.20	268.60	252.60	376.52	1327.60	422.20	1543.00	618.00	453.04	734.00	359.80
1972	806.00	6102.00	266.50	369.80	1868.00	660.80	130.40	1231.60	435.93	546.00	809.26	816.00
1973	900.50	5909.07	501.00	364.90	1979.20	1755.00	621.00	2020.00	1026.62	1017.20	793.54	812.66
1974	831.00	6270.00	285.50	485.37	2375.00	933.00	287.38	1565.00		568.00		780.00
1975	868.00	6435.00	151.02	402.37	1850.30		169.00	2565.00		780.00		620.00
1976	820.00	4873.66	242.40	406.00	729.94		117.50	1138.00		640.25		500.00
1977	857.00	4728.00	82.34	519.00	838.00		119.70	1164.00		588.00		711.00
1978	922.00	6058.00	263.30	544.00	1585.20		495.25	1302.00		940.00		1024.00
1979	904.00	6376.00	218.00	250.00	969.87		260.85	1217.00		634.00		601.50
1980	906.00	5652.00	545.00	396.50	659.00		892.96	1097.00		653.90		970.00
1981	950.00		316.31	272.50	970.00		230.32	1337.00		670.00		698.00
1982	890.00	7620.00	342.00	360.50	523.00		235.40	1105.00		532.03		667.42
1983	696.00		276.50		372.20		164.60	1028.00		454.55		295.17
1984	881.00				587.50		265.81	1359.00		553.50		429.00
1985	677.00	3872.00	165.90		615.50		139.80	936.00		390.50		380.00
1986	888.12		306.38		570.83		125.60	1307.48		397.19		329.60
1987			173.28				156.26					290.06
1988		7583.83	270.45		610.27		347.15	2027.85				355.50
1989	988.57	7231.69	767.72		736.03		621.84					565.00
1990	1275.00	7578.87	99.83				206.16	1618.38				
1991	718.50	5049.89	111.50				34.27	1268.60				
1992	1021.00	5560.50	183.81	292.62	586.82		250.79	1306.44				
1993		5784.86	259.92	175.70	350.10		194.48	1124.87				
1994	692.50	4975.38	76.41	273.37	589.50		25.68	1072.65				
1995	837.59	7833.43	246.68	347.24			92.49	1255.75				318.23
1996	865.50	5647.81	205.58	263.99			123.34	1104.89				372.27
1997	840.06		336.24	354.63	488.57		208.37					387.47
1998	831.79		727.44	231.86	446.22			1096.27				290.54
1999	894.86		307.11	294.78	621.44							215.54

Tabla A.7 Gastos máximos anuales registrados en la región 30 (m³/s).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Año	30066	30070	30071	30072	30088	30091	30093	30094	30096	30102	30111	30123	30133
1952					263.00								
1953					405.00								
1954					484.00								
1955					655.00								
1956					584.00								
1957					149.00								
1958					182.00								
1959					112.00								
1960					247.00								
1961	391.00	1825.00	651.00		214.00								
1962	200.00	972.00	284.00	482.00	118.00								
1963	286.00	874.00	558.68	798.00	422.00								
1964	318.00	908.00	365.00	436.00	102.00								
1965	375.00	1085.14	243.66	243.00	350.20	197.32	1009.12	194.60	212.90	316.88		2962.00	
1966	258.00	820.40	440.00	309.20	649.50	221.19	1328.87	153.25	156.60	411.00	1260.00	3915.00	
1967		2060.00	409.39	271.50	178.40	230.90	3386.00	276.30	284.20	255.86		5220.00	
1968	442.00	932.00	346.60	279.00	259.00	179.60	1080.20	196.68	189.90	288.53	1105.00	3985.00	427.00
1969	414.75	1069.33	528.60	348.80	239.00		1760.00	152.40	119.60	823.38	1497.00	3577.00	736.00
1970	652.00	1406.00	1396.55	741.25	202.30	327.80	1541.03	173.50	152.00	317.50	1393.00	3722.00	945.00
1971	185.91	602.80	670.80	434.00	76.05	135.25	1367.10	108.40	88.52	205.00	2200.00	3255.00	521.00
1972	370.14	1585.00	700.00	184.75	153.60	144.00	1149.80	186.95	177.22	196.35	630.20	4030.00	481.00
1973	758.50	2163.00	1453.20	1162.70	242.10	255.12	3142.25	185.70	252.00	294.83	2750.00	4340.00	1658.00
1974	1150.00		638.00	378.83	58.16	200.20	3200.00	285.20	166.31	250.20	3230.00	4839.40	571.00
1975	608.16	1661.33	431.68	192.00	164.40	228.33	2020.00	267.40	233.00	334.20	2235.00	5778.00	525.00
1976	458.80	1644.00	386.80	142.16	150.50	104.37	1207.50	261.20	230.60	206.23	744.30	3472.14	378.00
1977	433.40	1357.90	400.60	79.96	114.80	178.00	1316.00	281.75	155.70	302.50	808.00	3172.84	305.00
1978	892.27	1924.00	537.20	310.80	190.70	363.33	2190.92	208.00	126.00	367.40	1765.00	4162.66	20.40
1979	750.00	3095.57	499.58	301.50	509.20	373.00	1880.00		280.75	623.50	1552.00	4526.66	1061.00
1980	350.00	1468.75	3246.96	9350.00	484.60		876.00		379.50	358.41	695.14	3248.67	510.00
1981	472.00	1464.17	1060.00	581.25	158.00		1713.00	227.72	252.00	335.50	1070.00	3699.00	1050.00
1982	412.70		345.00	154.40	373.50		1097.00			409.34	1068.67	4200.00	705.00
1983	252.00		396.00	499.20	155.40		1128.00		150.80	183.50	1268.00	3566.00	375.00
1984			1008.00		293.10		1878.52	268.00	149.80		1844.00		853.00
1985	316.00		291.30	190.00	111.20		642.64	251.60		169.50	762.00	3106.60	404.00
1986							2752.63				1397.00	3887.13	254.00
1987					231.32		1385.11				1904.00	3875.03	381.00
1988				1881.21	326.99		996.65	211.80			1196.35	3965.14	
1989				2890.76	507.46		1532.00					3694.29	
1990				119.20	261.23		2585.24				2062.06	3706.40	
1991			220.44	162.52	200.32		934.26			210.30	267.91	3174.62	
1992			251.70	183.52	218.63		1330.49				1003.05	3900.01	
1993				257.73	180.89		1499.42				873.07	3983.19	
1994			302.93	64.07	206.32		954.84				759.17		
1995			509.84		425.36		1220.24	119.99		283.01			
1996			215.51	195.52	244.25			135.06		324.81	2005.42		
1997				184.86						306.64	854.77		
1998				1194.74			1254.30	219.54			1311.57		
1999				264.82							1808.63		

Tabla A.7 .Gastos máximos anuales registrados en la región 30 (m³/s) (continuación).

FALLA DE ORO EN

Año	30137	30140	30141	30143	30145	30149	30150	30151	30152	30155	30177	30181	30182
1964										184.00		79.60	
1965								727.00	213.00	135.00		83.40	
1966	244.00	452.00	339.00					911.00	243.00	80.10		94.80	
1967	206.00	761.00	469.00					1408.00	420.00	53.10		104.80	
1968	217.00	421.00	310.00			176.00	945.00	830.00	208.00	134.00		176.80	
1969	242.00		402.00	474.00	236.00	200.00	1417.00	1241.00	351.00	224.00		223.20	
1970	233.00	821.00	304.00	272.00	265.00	187.00	1189.00	1107.00	309.00	298.00		99.00	
1971	219.00	594.00	377.00	219.00	217.00	154.00	851.00	905.00	266.00	130.00	1645.00	34.68	
1972	141.00	447.00	345.00	353.00	264.00	178.00	1398.00	985.00	272.00	75.50	2087.00	77.33	160.44
1973	279.00	557.00	442.00	320.00	230.00	177.00	1300.00	1112.00	287.00	329.00	2238.00	155.30	402.70
1974	288.00	602.00	506.00	289.00	203.00	121.00	982.00	1148.00	467.00	111.00	1951.00	110.70	360.80
1975	208.00	541.00	285.00	341.00	269.00	147.00	1512.00	982.00	294.00	98.30	2105.00	190.70	300.33
1976	230.00	383.00	256.00	235.00	215.00	159.00	1031.00	539.00	273.00	125.00	1705.00	107.50	92.50
1977	140.00	377.00	147.00	244.00	197.00	135.00	929.00	541.00	170.00	117.00	1597.00	45.58	113.80
1978	158.00	466.00	392.00	322.00			974.00	926.00	453.00	165.00	2051.00	131.90	372.00
1979	202.00	544.00	380.00	337.00		161.00		971.00	424.00	213.00	2414.00	215.40	636.91
1980	200.00	575.00	231.00	187.00			962.00	666.00	283.00	139.00	1831.00	191.10	131.88
1981	286.00	687.00			236.00	210.00	1193.00		409.00	173.00	2602.00	149.30	
1982	341.00		424.00		194.00	148.00	1291.00				2452.00	254.10	137.81
1983	351.00		271.00		226.00	148.00	8.79				1710.00	123.30	81.00
1984	294.00		436.00		329.00	239.00	1903.00				2799.00		169.88
1985	182.00		193.00		226.00	134.00	907.00				1846.00		428.00
1986	219.00		204.00		236.00	127.00	1088.00				1517.00		536.12
1987	246.00		343.00		250.00	187.00	1527.00				2057.00		113.94
1988	319.00		444.00			202.00	1047.00				2594.00	205.81	308.23
1989	251.00		306.00		1094.00	149.00	1186.00		194.00		1858.00		381.67
1990	257.00		417.00		176.00	176.00	1165.00				2586.00		305.32
1991	178.00				190.00	132.00	968.00				1262.00		194.55
1992	310.00				1765.00	142.00	866.00				1752.00		181.09
1993	219.00		398.00		924.00	193.00	1815.00				2449.00		78.86
1994													
1995												3073.93	
1996												621.92	
1997												383.63	
1998												250.51	
1999												165.00	

Tabla A.7 Gastos máximos anuales registrados en la región 30 (m³/s) (continuación).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO B

**Métodos para la estimación de los
parámetros de una función de distribución de
probabilidad**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

B.1 Algoritmo de Rosenbrock

B.1.1 Descripción general

El objetivo principal de este algoritmo es minimizar o maximizar una función no lineal de múltiples variables no restringidas, esto es:

$$\text{Minimizar } F(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad \text{ó} \quad \text{Maximizar } F(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (\text{B. 1})$$

En este caso el algoritmo se aplica a minimizar el error entre los gastos máximos anuales registrados y los gastos estimados mediante la función de distribución de probabilidad (FDP) Gumbel doble, esto es:

$$\text{Minimizar } E = \sum_{i=1}^n [\hat{F}(q_i) - F(q_i)]^2 W_i$$

Con

$$\hat{F}(q_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$$

y

$$F(q) = P \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{(q-\beta_1)}{\alpha_1} \right) \right\} + (1-P) \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{(q-\beta_2)}{\alpha_1} \right) \right\}$$

donde

$F(q)$ Es la función de distribución de probabilidad Gumbel doble

$\hat{F}(q_m)$ Es el valor estimado de la función de distribución de probabilidad para el gasto máximo anual.

m Es el número de orden del gasto máximo anual (q), cuando estos son ordenados en forma decreciente.

n Es el número de registros.

W_i Es el peso asignado al error cometido, que es la estimación de la función de distribución en el gasto de orden i .

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

El procedimiento del algoritmo para minimizar es como sigue (Rosenbrock, 1960):

- a) Se escoge o se calcula un punto inicial x_i y también incrementos iniciales S_i , $i=1,2,\dots,N$ y se evalúa la función objetivo (F_0).

El punto inicial se calcula proponiendo el valor del parámetro P de la FDP Gumbel doble y posteriormente se calculan los otros cuatro parámetros mediante las formulas (Kite, 1977)

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} SS_1 \quad \beta_1 = q_1 - 0.5772\alpha_1$$

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} SS_1 \quad \beta_1 = q_1 - 0.5772\alpha_1$$

donde

q_1 y SS_1 son la media y la desviación estándar de los gastos máximos registrados de la población de eventos no ciclónicos respectivamente.

q_2 y SS_2 son la media y la desviación estándar de los gastos máximos registrados de la población de eventos ciclónicos respectivamente.

- b) La primera variable x_i se incrementa una distancia S_i paralela su eje, y se evalúa la función objetivo. Si el valor de la función objetivo (F_0) decrece, el incremento es denominado éxito y S_i se multiplica por un factor α ($\alpha \geq 1.0$). Si el valor de F_0 aumenta, el incremento es denominado fracaso y S_i se multiplica por un factor β ($0 \leq \beta \leq 1.0$), y se invierte la dirección de movimiento.
- c) Los pasos anteriores se repiten para las demás variables, hasta encontrar un éxito (reducción de F_0 y un fracaso (aumento de F_0) en todas las N direcciones.
- d) Una vez que los pasos anteriores se han llevado a cabo, se realiza la rotación de los ejes, la cual se designa como una etapa, por medio de las ecuaciones (Kuester y Mize, 1973)

$$M_{i,j}^{(k+1)} = \frac{D_{i,j}^{(k)}}{\left[\sum_{j=1}^N (D_{i,j}^{(k)})^2 \right]^{1/2}} \quad (\text{B.2})$$

con

$$D_{i,1}^{(k)} = A_{i,1}^{(k)} \quad (\text{B.3})$$

$$D_{i,j}^{(k)} = A_{i,j}^{(k)} - \sum_{l=1}^{j-1} \left[\left(\sum_{n=1}^{l-1} M_{n,j}^{(k+1)} A_{n,j}^{(k)} \right) M_{i,j}^{(k+1)} \right] \quad j = 2, 3, \dots, N \quad (\text{B.4})$$

$$A_{i,i}^{(k)} = \sum d_i^{(k)} M_{i,i}^{(k)} \quad (\text{B.5})$$

donde:

i es el índice de las variables $1, 2, 3, \dots, N$

j es el índice de la dirección $1, 2, 3, \dots, N$

k es el índice que indica una etapa

d_i es la suma de las distancias movidas en la dirección i desde la ultima rotación de los ejes

$M_{i,j}$ es la componente de la nueva dirección del vector

- c) La búsqueda prosigue en cada una de las x direcciones usando los nuevos ejes coordenados:

$$\text{Nuevo } x_i^{(k+1)} = \text{anterior } x_i^{(k)} + S_j^{(k)} M_{i,j}^{(k)} \quad (\text{B.6})$$

- f) El procedimiento termina cuando se satisface el criterio de convergencia, es decir, cuando la diferencia absoluta entre el valor actual de F_0 y el de la etapa anterior es inferior a una tolerancia establecida.

Un código en el lenguaje de programación Basic de este algoritmo, aplicado a la función de distribución Gumbel doble (ecuación 4.5) puede consultarse en Campos (1989) y un código en Fortran para una función en general esta dado en Kuester y Mize (1973).

TRCIC CON
FALLA DE ORIGEN

B.2 Método para resolver un sistema de ecuaciones no lineal (Burden, 1985)

La forma general de un sistema de ecuaciones no lineal es

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0 \end{aligned} \tag{B.7}$$

el sistema anterior se puede representar en la forma

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = (f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_n(x_1, x_2, \dots, x_n))^T \tag{B.8}$$

si se utiliza la forma vectorial \underline{x} para representar las variables x_1, x_2, \dots, x_n , el sistema es

$$F(\underline{x}) = 0 \tag{B.9}$$

El sistema de ecuaciones anterior se puede resolver mediante el método de Newton, el cual una vez propuesto un punto inicial de solución está definido por el siguiente proceso iterativo:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - J(x^{(k)})^{-1} F(x^{(k)}) \tag{B.10}$$

en donde $J(x)$ es la matriz Jacobiana o Jacobiano, definido como

$$J(x)_{i,j} = \frac{\partial f_i(x)}{\partial x_j} \quad \text{para } i \geq 1, n \geq j \tag{B.11}$$

Este método tiene convergencia cuadrática, sin embargo tiene la desventaja de que se tiene que evaluar la matriz Jacobiana, así como calcular su matriz inversa en cada iteración. La matriz Jacobiana asociada con un sistema de n ecuaciones no lineales escrita en la forma $F(x)=0$ requiere de la evaluación y de la determinación de las n^2 derivadas parciales de las n componentes de F . Dichas derivadas en ocasiones son complicadas; por lo que para evitar esto se

estima la matriz del Jacobiano mediante una aproximación en diferencias finitas mediante la ecuación

$$\frac{\partial f_j}{\partial x_k}(x^{(n)}) \approx \frac{f_j(x^{(n)} + e_k h) - f_j(x^{(n)})}{h} \quad (\text{B.12})$$

donde h es un valor pequeño en valor absoluto, e_k es un vector cuyo único elemento difiere de cero en un uno en la k -ésima componente.

La aproximación de la matriz Jacobiana mediante diferencias finitas evita la necesidad de calcular las derivadas, sin embargo no reduce el número de cálculos en cada iteración.

Para reducir el número de cálculos se utiliza una generalización del método de la secante a sistemas de ecuaciones no lineales, considerando una técnica particular conocida como el "Método de Broyden", dicho método consiste en remplazar la matriz Jacobiana por una matriz A_k , la cual esta dada por:

$$A_k = A_{k-1} + \frac{(y_k A_{k-1} S_k)}{|S_k|^2} S_k \quad (\text{B.13})$$

por lo que la ecuación B.10 será

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - A(x^{(k)})^{-1} F(x^{(k)}) \quad (\text{B.14})$$

donde

$$y_k = F(x^{(k)}) - F(x^{(k-1)}) \quad (\text{B.15})$$

$$S_k = x^{(k)} - x^{(k-1)} \quad (\text{B.16})$$

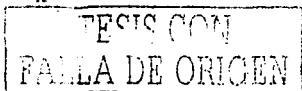
Sherman y Morrison (Dennis and Moré, 1977) incorporaron una fórmula de inversión matricial, lo que permite calcular A^{-1} directamente, eliminando la necesidad de invertir una matriz en cada iteración; dicha matriz está dada por

$$A_i^{-1} = A_{i-1}^{-1} + \frac{(S_i - A_{i-1}^{-1} y_i)(S_i A_{i-1}^{-1})}{S_i A_{i-1}^{-1} y_i} \quad (\text{B.17})$$

A continuación se hace una descripción general del algoritmo de Broyden:

1. Fijar una tolerancia (Tol) y un número de iteraciones (N).
2. Se proponen o calculan valores iniciales de las variables a determinar $x^{(0)}$. ($k=0$)

Los valores iniciales se calculan de la misma manera que en el inciso a del Algoritmo de Rosenbrock.



3. Calcular:

$$A_0 = J(x^{(0)})A \quad (\text{ecuación B.11})$$

$$v = F(x^{(0)})$$

$$A = A_0^{-1}$$

4. $k=1$

$$S_k = -Av$$

$$x^{(k)} = x^{(k-1)} + S_k$$

5. Calcular:

$$y_k = F(x^{(k)}) - F(x^{(k-1)}) \quad (\text{ecuación B. 15})$$

$$z = -A_{k-1}^{-1}y_k$$

$$p = -S_k z$$

$$C = pI + (S_k + z)S_k$$

$$A_k^{-1} = \left(\frac{1}{p}\right)CA_{k-1}^{-1} \quad (\text{ecuación B. 17})$$

$$S_k = -A_k^{-1}F(x^{(k)})$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + S_k \quad (\text{ecuación B. 14})$$

si $\|S\| \leq \text{tol}$, entonces la solución es $x^{(k+1)}$ (termino el proceso iterativo)

6. $k=k+1$

Si $k < N$, regresar al paso 5

Si $k > N$, la solución no se encontró (aumentar el número de iteraciones).

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN