

01162
1
2ej.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Facultad de Ingeniería

**ANALISIS REGIONAL PARA PARAMETRIZAR LAS CARACTERISTICAS
ESTADISTICAS DE GASTOS MAXIMOS OCASIONADOS POR CICLONES**

GUADALUPE ESTHER FUENTES MARILES

TESIS

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE

POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(HIDRAULICA)

CIUDAD UNIVERSITARIA

1991



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 está 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.

INDICE

I.	Introducción	1
II.	Métodos de Regionalización	5
III.	Selección de la Región	19
IV.	Análisis de los Registros Históricos	33
V.	Regionalización en el Golfo de México	49
VI.	Aplicaciones	67
VII.	Conclusiones y Recomendaciones	71
VIII.	Bibliografía	81

Capítulo I

Introducción

En algunas zonas del país se presentan problemas con las lluvias extraordinarias producidas por ciclones, los que influyen de manera directa en el valor de los gastos máximos que en dichas zonas se registran, los cuales repercuten directamente en la estimación de las avenidas de diseño.

En la actualidad una de las formas que ayuda a estimar la avenida de diseño de distintas obras hidráulicas consiste en observar la tendencia que se define al dibujar los gastos máximos anuales registrados contra sus respectivos periodos de retorno.

Para ello a estos gastos se les ajustan diferentes distribuciones de probabilidad con el fin de escoger aquella que se apegue mejor a la tendencia de los datos para así determinar el gasto de pico que tiene asignado un periodo de retorno dado.

Sin embargo, cuando se desea conocer el gasto para un periodo de retorno mayor al número de años de registro, surge el problema de cómo extrapolar esa tendencia hasta el periodo de retorno deseado; esto hace que la predicción sea poco confiable, debido principalmente a que el ajuste se realiza con pocos años de registro.

En el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se está desarrollando una metodología que permita disminuir el error que se comete en la estimación de los gastos asociados a periodos de retorno grandes, para aplicar el procedimiento propuesto se escogieron dos zonas de estudio que comprenden varias cuencas tanto en el Océano Pacífico como en el Golfo de México.

La contribución del presente escrito consiste en estudiar con una nueva metodología el comportamiento de las cuencas que vierten al centro y norte del Golfo de México y obtener conclusiones que ayuden a mejorar la realización de trabajos similares.

Asimismo, se presenta el análisis crítico de varias metodologías que han sido desarrolladas en otros países, describiendo dos de ellas por considerarlas como representativas.

El enfoque bajo el cual se ha preparado la metodología es de tipo regional, es decir, se trata de incorporar los gastos máximos anuales registrados en las cuencas de la zona en estudio a una sola muestra, la cual contará con un número mayor de datos, para que la extrapolación sea más confiable.

La comparación de ésta con las dos metodologías anteriores, se presentan en el Capítulo VII.

Por otra parte, se sabe que la zona en estudio es susceptible a la incidencia de ciclones y que éstos influyen directamente en la magnitud de las avenidas que ahí se presentan; es decir, en algunas ocasiones los gastos máximos anuales ocurren como consecuencia del ingreso de un ciclón y otras no, por lo que la información está constituida por eventos distintos, unos por precipitaciones originadas por fenómenos meteorológicos normales y otros por precipitaciones ciclónicas.

Por lo anterior, si se representa en un papel de probabilidades de Gumbel a los gastos máximos con respecto a su periodo de retorno y se observa la tendencia de los datos, es posible apreciar si se trata de un solo evento (una población) o de dos eventos distintos (dos poblaciones). Esta representación es un indicador muy útil para proceder a ajustar la información a una cierta distribución de frecuencias. Cabe aclarar que cuando todos los puntos tienden a agruparse a una sola recta, se trata con una sola población.

La metodología desarrollada por el CENAPRED¹ utiliza como único parámetro de regionalización al área de la cuenca. No obstante que con ello se obtienen resultados más confiables que los que se obtendrían trabajando cada cuenca por separado, en esta tesis se analiza la posibilidad de utilizar más parámetros, como son por ejemplo, la pendiente del cauce principal, la situación geográfica, etc.

Con dicho parámetro se puede obtener una curva que contempla a todos los datos de la región, con la cual se puede inferir, avenidas en aquellos sitios en que no se disponga de información o bien ésta sea muy escasa, con la ventaja de que mediante un enfoque regional se evitan las incongruencias a las que puede conducir el estudio de problemas aislados.

En el Capítulo II se describen dos métodos de regionalización tratando de destacar el enfoque bajo el cual cada autor presenta su teoría.

Las características principales de la zona en estudio y la ubicación de las estaciones hidrométricas a las que se les aplicó la metodología propuesta se describen en el Capítulo III.

En el Capítulo IV se explica la forma como tradicionalmente se ha venido estudiando el comportamiento de gastos máximos, en caso de tener una o dos poblaciones.

El método de regionalización desarrollado en este trabajo, se presenta en el Capítulo V. En este mismo capítulo se reportan los resultados obtenidos para la región del Golfo de México y se analiza su validez.

La aplicación a un caso específico de la teoría desarrollada en este trabajo se lleva a cabo en el Capítulo VI, a partir de esta aplicación se encontraron algunos aspectos que deben ser mejorados. Estos aspectos se comentan en el Capítulo VII donde se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron.

Análisis Regional de Avenidas

Capítulo II

Métodos de Regionalización

Antecedentes.

Para realizar todo trabajo de Hidrología, es necesario hacer uso de la información que proporcionan los equipos de medición; sin embargo, en nuestro país, gran parte del territorio no cuenta con equipo de medición o en ocasiones éste no se opera de manera adecuada, lo que repercute directamente en la baja calidad o confiabilidad de la información o bien en la escasez de la misma, lo que origina que la estimación de una avenida de diseño sea poco confiable. Por esta causa se recurre al uso de coeficientes de seguridad grandes los cuales se traducen en un costo alto de las obras.

Con el enfoque regional que se propone, se trata de incorporar los datos de varias estaciones hidrométricas en una sola muestra, y se pretende contar con mayor cantidad de información y como consecuencia de esto, al estimar el gasto esperado en un sitio donde la información hidrométrica es escasa o inexistente, el resultado sea más confiable que el que se obtendría estudiando cada estación por separado.

Los métodos de regionalización, en general, se basan en escoger la distribución de probabilidad que mejor se ajuste entre los datos observados y los obtenidos a partir de la estimación teórica, ello se hace en función de los parámetros estadísticos en esta tesis se propone en cambio, utilizar como índice de regionalización una o varias características fisiográficas de las cuencas (área de la cuenca, la pendiente del cauce principal, etc.). En este trabajo se manejó como parámetro de regionalización al área de la cuenca debido a que la información con que se contó no fue muy completa y adicionalmente se intentó introducir otros parámetros.

En seguida se hace la descripción breve de dos métodos de regionalización representativos de los reportados en la literatura técnica, que la autora juzgó conveniente incluir en el presente trabajo con el objeto de destacar la utilidad del método propuesto en comparación con estos otros procedimientos.

II.1 Método de Índice de Avenida

La idea básica de este método, desarrollado por Dalrymple², es determinar la magnitud y frecuencia de un gasto, utilizando como índice de regionalización a la media de los gastos máximos anuales registrados en la zona de estudio, con lo que se puede inferir la magnitud del gasto ligado a un determinado periodo de retorno en cualquier corriente de la región si se dispone o no de información.

Es necesario señalar que este procedimiento es muy útil para el análisis del comportamiento de los datos con periodos de retorno menores o iguales al número de años de registro, pero cuando se pretende extrapolar a periodos de retorno mayores el método es de poca utilidad.

El procedimiento que se sigue para hacer un análisis de frecuencia de avenidas en una región se enumera a continuación.

- 1.- Se lista el conjunto de datos disponibles de cada estación hidrométrica que se encuentre dentro de la zona en estudio. Generalmente, se excluyen todas las estaciones que tienen menos de cinco años de registro de gastos así como todas las corrientes reguladas o controladas (Tabla II.1).
- 2.- Se prepara una gráfica de barras mostrando el periodo de registro de cada estación, en ella se observa cuál estación o estaciones tienen el tamaño de registro más grande, la selección del periodo base de estudio se hace tomando en cuenta que éste debe incluir el máximo número de estaciones-año. (ver Figura II.1).
- 3.- En aquellas estaciones en que no se tengan todos los datos en el periodo base elegido, éstos se pueden completar mediante correlaciones entre estaciones. Para completar el registro se hace la correlación de avenidas anuales del registro completo con respecto al registro incompleto. Así, según se muestra en la Figura II.1, se tiene que la estación El Cuchillo, es la que tiene completo el registro para el periodo base elegido.

Estación	Periodo de registro	Años de registro
1 Alamo	1957 - 1969	13
2 Buenos Aires	1962 - 1988	27
3 Cabezones	1952 - 1984	32
4 Camacho	1951 - 1985	33
5 Ciudad Mier	1931 - 1964	34
6 Corona	1962 - 1985	24
7 El Barretal	1951 - 1985	28
8 La Esperanza	1962 - 1985	24
9 Libertad	1959 - 1985	26
10 Magüeyes	1962 - 1985	24
11 Martínez de la Torre	1952 - 1985	32
12 Pablillo	1951 - 1985	31
13 Padilla	1948 - 1971	24
14 Poza Rica	1952 - 1985	33
15 Puente Henríquez	1944 - 1969	26
16 Rancho Apulco	1945 - 1977	32
17 El Remolino	1961 - 1988	28
18 San Joaquín	1953 - 1969	17
19 Sontalaco	1963 - 1988	26
20 Tecuantepec	1961 - 1988	27
21 Xilita	1952 - 1975	24
22 El Cuchillo	1931 - 1988	58

Tabla II.1

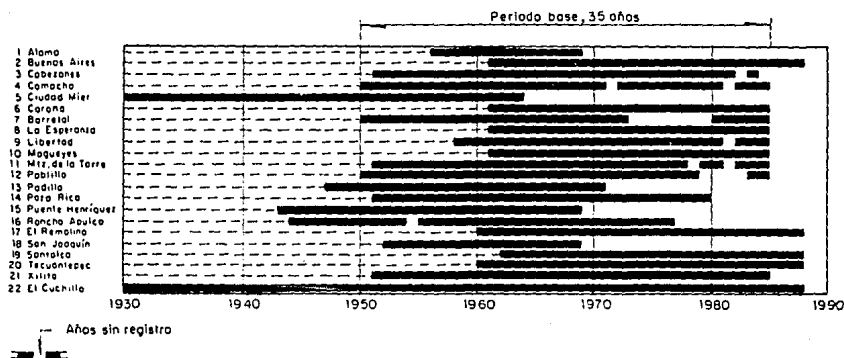


Figura II.1

En la Figura II.2 se muestra la correlación de gastos máximos anuales para las estaciones El Cuchillo y El Remolino, cuya recta de regresión es

$$y = 0.15x + 2967.4$$

donde

- y** información a completar de la estación El Remolino.
- x** datos de la estación El Cuchillo para los años de registro por completar en la estación El Remolino.

A manera de ejemplo se completará la información de la estación El Remolino con la recta de regresión obtenida. En la Tabla II.2 se muestran los datos para las estaciones El Cuchillo y El Remolino, a ésta última se le estimaron los datos de los años de 1951 a 1960, tal como se muestra en la tabla (valores entre paréntesis rectangulares).

Correlacion El Cuchillo - El Remolino

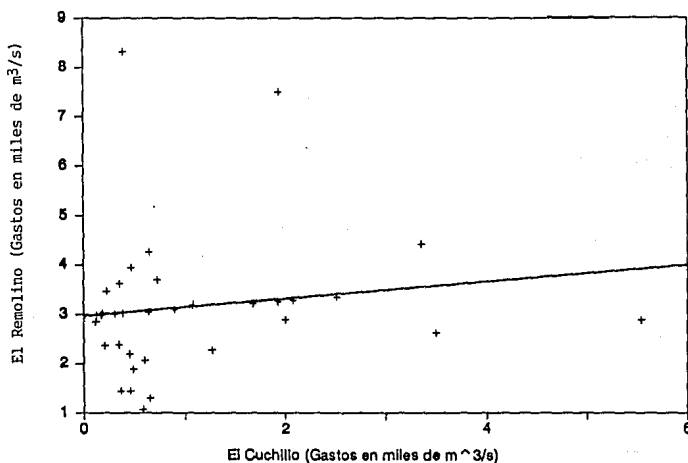


Figura II.2

- 4.- Una vez completado el registro se le asigna un número de orden, dando el número 1 al registro máximo, 2 al que le sigue y así sucesivamente. El número de orden se muestra en la columna 4 de la Tabla II.2.
- 5.- Se estiman los periodos de retorno, T, para cada evento mediante la ecuación,

$$\hat{T} = \frac{n + 1}{m} \quad (II.1)$$

donde

n tamaño de la muestra

m número de orden

En la columna 5, de la Tabla II.2 se listan los valores de T .

1	2	3	4	5
Año	ElCuchillo	El Remolino	m	$\hat{T}_r$
1951	2077	[3276.90]	27	
1952	167	[2992.34]	34	
1953	2512	[3341.71]	26	
1954	304	[3012.75]	32	
1955	385	[3024.82]	31	
1956	125	[2986.08]	35	
1957	900	[3101.55]	30	
1958	1927	[3254.55]	28	
1959	177	[2993.83]	33	
1960	1678	[3217.45]	29	
1961	492	1892	21	1.71
1962	585	1072	25	1.44
1963	603	2067	20	1.80
1964	348	2383	16	2.25
1965	1274	2271	18	2.00
1966	727	3701	6	6.00
1967	5540	2882	13	2.77
1968	465	1452	22	1.64
1969	471	3952	5	7.20
1970	655	1295	24	1.50
1971	649	4258	4	9.00
1972	455	2188	19	1.89
1973	3356	4415	3	12.00
1974	1935	7491	2	18.00
1975	643	3049	10	3.60
1976	1081	3188	9	4.00
1977	2000	2892	12	3.00
1978	3500	2622	15	2.40
1979	355	3621	7	5.14
1980	226	3467	8	4.50
1981	396	8321	1	36.00
1982	210	2360	17	2.12
1983	367	1444	23	1.57
1984	184	3024	11	3.27
1985	115	2847	14	2.57

Tabla II.2

- 6.- Para cada estación se dibuja la relación entre el periodo de retorno, T , con respecto a la magnitud del evento, (gastos máximos) y a ojo se ajusta una curva. La media para cada distribución de frecuencias se estima de manera gráfica, por la intersección de la curva de ajuste con la línea correspondiente a $T = 2.33$ años, ya que para una función de distribución Gumbel o de Valores Extremos Tipo I se demuestra³ que a la media de los datos les corresponde un $T = 2.33$ años.

En el ejemplo para El Remolino la media es $3037 \text{ m}^3/\text{s}$, leída de la curva de ajuste (ver Figura II.3), mientras que la media aritmética calculada para los 25 años de registro, es de $3126 \text{ m}^3/\text{s}$.

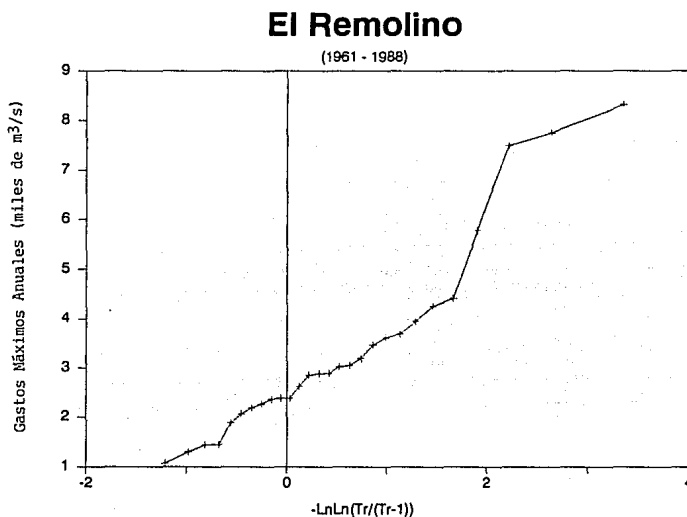


Figura II.3

- 7.- Una vez obtenida la media, el siguiente paso es hacer la prueba de homogeneidad, para comprobar si las estaciones en estudio tienen, con un cierto grado de incertidumbre, un comportamiento similar.

Para obtener la medida de la incertidumbre se trabaja con la función de distribución Gumbel estándar, definida por

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

donde

y variable estandarizada expresada por

$$y = \frac{x - a}{c}$$

donde

x variable aleatoria correspondiente a los datos que se analizan.

a, c parámetros de la función de distribución Gumbel, definidos por

Media

$$\mu = 0.5772 c + a$$

Variancia

$$\sigma^2 = (\pi^2/6) c^2$$

De esta forma dicha incertidumbre se define en función de la desviación estándar de la variable estandarizada⁴, y,

$$\sigma_y = \frac{c^y}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{T-1}} \quad (II.2)$$

donde

T periodo de retorno

n número de años de registro

y variable estandarizada

Se eligió como tolerancia un rango de variación de dos veces la desviación estándar, por lo que los límites de confianza están dados por

$$2\sigma_y = 2 \left[\frac{c^y}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{T-1}} \right] \quad (II.3)$$

Para un periodo de retorno de T = 10 años, la variable estandarizada en la distribución Gumbel vale 2.25, por lo que, sustituyendo en la ec II.3, se obtiene

$$2\sigma_y = 2 \left[\frac{c^{2.25}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{9}} \right]$$

$$2\sigma_y = \pm \frac{0.666}{\sqrt{n}} c^{2.25} = \pm \frac{6.33}{\sqrt{n}} \quad (II.4)$$

de tal forma que para diferentes valores de n se puede obtener los límites superior e inferior para delimitar el rango dentro del cual deben encontrarse las estaciones en estudio.

Así, por ejemplo. para $n = 20$ de la ecuación II.4 se tiene que

$$2\sigma y = 1.42$$

$$2.25 - 2\sigma y = 0.83$$

$$2.25 + 2\sigma y = 3.67$$

La función de distribución Gumbel tiene la forma

$$F(x) = c^{-c^{\frac{x-a}{c}}} \quad (II.5)$$

si

$$\frac{x-a}{c} = 0.83$$

$$\frac{x-a}{c} = 3.67$$

para los límites inferior y superior respectivamente, sustituyendo en la ecuación II.5, se tiene que

$$F(x)_i = 0.65$$

$$F(x)_s = 0.97$$

dado que existe una relación entre la función de distribución y el periodo de retorno⁵, dada por

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr}$$

de donde

$$Tr = \frac{1}{(1 - F(x))}$$

se obtiene finalmente que

$$Tr_i = \frac{1}{(1 - 0.65)} = 2.8$$

$$Tr_s = \frac{1}{(1 - 0.97)} = 40$$

Procediendo de la misma forma para diferentes valores de n, se obtienen los límites que se indican en la siguiente tabla

Tamaño de la muestra n	Límite inferior		Límite superior	
	2.25-2σy	T _i	2.25 + 2σy	T _s
5	-0.5	1.20	5.09	160
10	0.25	1.85	4.25	70
20	0.83	2.80	3.67	40
50	1.35	4.40	3.15	24
100	1.62	5.60	2.88	18
200	1.80	6.50	2.70	15.5
500	1.97	7.70	2.53	13
1000	2.05	8.30	2.45	12

De esta forma toda cuenca que se encuentre dentro de los límites de confianza se considera homogénea y aquélla que esté fuera, como no homogénea.

De la información de gastos máximos registrados en cada estación se estiman los gastos asociados a periodos de retorno de 2.33 y 10 años respectivamente, ver columnas 4 y 5 de la Tabla II.3. Cada gasto asociado a $Tr = 10$ años se divide entre el gasto asociado a $Tr = 2.33$ años (gasto medio) y de estos resultados se obtiene su promedio, (ver columna 6, Tabla II.3).

El gasto medio se multiplica por el promedio de las relaciones de la columna 6 y para cada uno de ellos se determina su periodo de retorno, (ver columnas 7 y 8), Tabla II.3).

En seguida, se define un periodo de registro ajustado, el cual está constituido por el número de años de registro de cada estación dentro del periodo base elegido, más la mitad de los años de registro completados por estación (paso 3). De tal modo que para el ejemplo de la estación El Remolino se tiene

25 años de registro

10 años de registro (aumentado)

$25 + 10/2 = 30$ años

valor que aparece en la columna 9, Tabla II.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
No.	Estacion	Area de drenaje [km ²]	Avenida media anual Q _{2.33}	Avenida T = 10 ajustado Q ₁₀	Relacion Q ₁₀ /Q _{2.33}	Q _{2.33} *3.34	Tr	Periodo de registro [años]
1	Alamo	4341.00	-	-	-	-	-	-
2	Buenos Aires	1344.00	225.00	548.85	2.44	752.49	38	30
3	Cabezones	1166.00	247.21	889.35	3.60	826.77	9	34
4	Camacho	428.00	286.57	635.03	2.22	958.41	28	34
5	Ciudad Mier	4381.00	398.00	1430.00	3.59	1331.08	9	25
6	Corona	1329.00	470.35	875.40	1.86	1573.05	37	29
7	El Barretal	3517.00	563.50	2704.84	4.80	1884.58	7	28
8	La Esperanza	1110.00	304.16	2440.84	8.02	1017.24	3	30
9	Libertad	173.00	586.13	879.87	1.50	1960.27	99	28
10	Maguyces	242.00	140.27	252.61	1.80	469.12	19	30
11	Mtz. de la Torre	1467.00	1011.70	2335.54	2.31	3383.55	16	31
12	Pablillo	994.00	107.69	410.25	3.81	360.16	8	33
13	Padilla	3940.00	246.11	1952.00	7.93	823.09	4	28
14	Poza Rica	1600.00	1034.06	2785.06	2.69	3458.33	11	35
15	Puente Henriquez	437.60	137.78	431.11	3.13	460.79	10	27
16	Rancho Apulco	1164.00	114.92	228.28	1.99	384.34	77	31
17	El Remolino	7172.00	3037.34	7509.21	2.47	10158.14	76	30
18	San Joaquin	337.40	-	-	-	-	-	-
19	Sontalaco	41.00	45.75	191.33	4.18	153.01	9	29
20	Tecuanatepec	1067.00	1123.00	1741.43	1.55	3755.78	62	30
21	Xilitla	7.80	30.93	72.98	2.36	103.44	16	30
22	El Cuchillo	8690.00	724.52	3355.71	4.63	2423.10	7	35
suma					66.89			
promedio					3.34			

Tabla II.3

En la Figura II.4 se representa a las parejas de valores de las columnas 8 y 9 de la Tabla II.3. En ella se observa qué estaciones se encuentran dentro de los límites de confianza; aquellas que no estén dentro de estos límites no se toman en cuenta en los pasos siguientes de la metodología. En la región del Golfo de México, las estaciones 2, 6, 9, 16, 17 y 20 fueron sacadas del análisis por no cumplir con la condición de homogeneidad.

Siguiendo con el ejemplo, cabe mencionar que las estaciones 1 y 18 se sacaron del análisis debido a que se utilizaron sólo aquellas estaciones que tuvieran por lo menos 20 años de registro.

- 8.- Con las estaciones que si pasaron la prueba de homogeneidad se procede a calcular para diferentes periodos de retorno, T, las relaciones $QT / Q_{2.33}$. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla II.4, donde también se calcula la mediana de dichos valores.

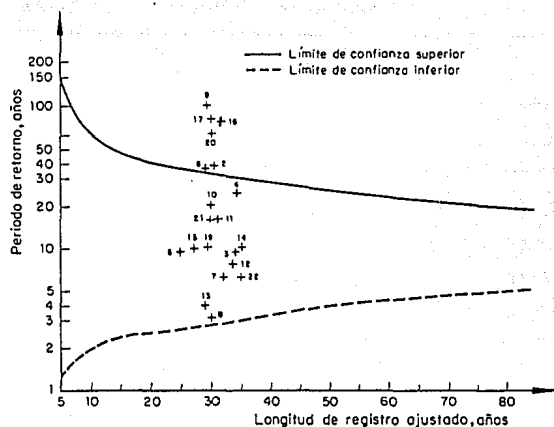
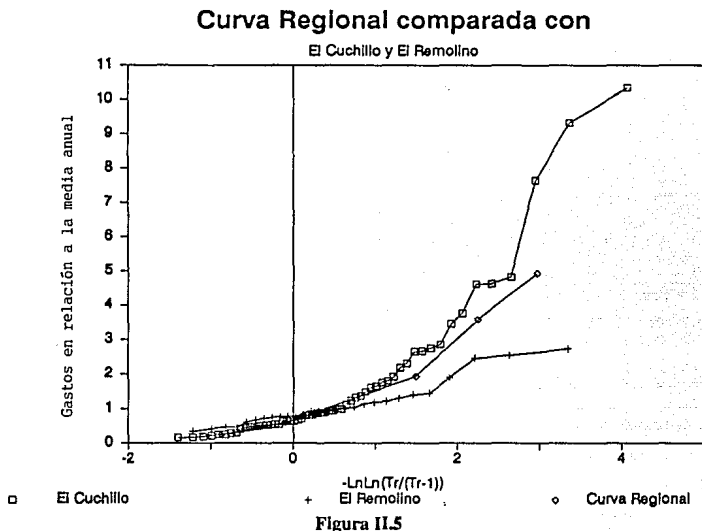


Figura II.4

Estación		Períodos de retorno [años]				
		1.1 Q _{1.1}	1.5 Q _{1.5}	5 Q ₅	10 Q ₁₀	20 Q ₂₀
		Q _{2.33}	Q _{2.33}	Q _{2.33}	Q _{2.33}	Q _{2.33}
3	Cabezones	0.14	0.54	2.35	3.60	4.06
4	Camacho	0.08	0.47	1.94	2.22	2.71
5	Cd. Mier	0.40	0.69	1.53	3.59	6.14
7	El Barretal	0.23	0.45	2.05	4.80	5.48
8	La Esperanza	0.002	0.36	4.98	8.19	14.25
10	Maguayes	0.18	0.46	1.40	1.80	3.15
11	Mtz. de la T.	0.38	0.70	1.68	2.31	3.76
12	Pablillo	0.13	0.70	2.55	3.81	4.22
13	Padilla	0.09	0.48	4.53	7.93	11.67
14	Poza Rica	0.46	0.60	1.56	2.69	4.94
15	Pte. Henríquez	0.62	0.83	1.94	3.11	4.98
19	Sontalaco	0.44	0.73	1.63	4.18	6.14
20	Tecuanatepec	0.44	0.72	1.25	1.55	1.94
21	Xilita	0.32	0.46	1.80	2.36	4.13
22	El Cuchillo	0.25	0.64	2.66	4.63	7.70
mediana		0.25	0.60	1.94	3.59	4.94

Tabla II.4

- 9.- Cada mediana se dibuja con respecto a su correspondiente periodo de retorno, obteniéndose así una curva regional de frecuencias (ver Figura II.5).



II.2 Método de regionalización propuesto por Smith.

Este método, desarrollado por J.A. Smith⁶, difiere del Método de Índice de Avenidas, en que el índice de regionalización no es la media de los gastos máximos anuales, sino que utiliza un gasto extremo límite.

La idea fundamental del modelo de Smith es que, a partir de los registros de gastos máximos de distintas estaciones hidrométricas, se defina un gasto límite, estableciendo que todos los gastos que se encuentren por arriba de él tendrán una distribución de probabilidades condicionadas del tipo de la distribución de Pareto, que posteriormente se definirá.

Smith basa su modelo en la premisa de que las grandes avenidas reflejan procesos hidrológicos y meteorológicos diferentes a los de las avenidas pequeñas.

A continuación se describe brevemente el método.

Se supone que para cada estación, i , se tienen N años de registro de gastos máximos anuales

$$Q_{ij}; i = 1, \dots, M; j = 1, \dots, N$$

donde

M	número de estaciones aforadas
N	número de años de registro
Q_{ij}	gasto máximo para el año j en la estación i

además se puede tener un vector de información X_i , cuyos elementos están constituidos por el área de la cuenca, geología, etc.

$$X_i = (X_{i,1}, \dots, X_{i,q})$$

Los gastos máximos de cada estación tienen una distribución de probabilidades

$$F_i(q) = P \{ Q_{ij} \leq q \} \quad q > 0 \quad (II.6)$$

Si se elige una probabilidad, P_0 , cercana a uno, a la que le corresponde un gasto, u_i

$$u_i = F_i^{-1}(P_0) \quad (II.7)$$

la distribución de probabilidades de una variable aleatoria

$$Y_i = Q_i - u_i \quad (II.8)$$

dada la condición de que

$$Q_i > u_i$$

estará dada por la ecuación

$$F_i(q|u_i) = \frac{F_i(u_i + q) - F_i(u_i)}{1 - F_i(u_i)} \quad (II.9)$$

Se ha demostrado que las excedencias sobre un gasto límite determinado tienen una distribución de probabilidades de Pareto, dada por la ecuación

$$G(q|s,k) = 1 - (1 - ks^{-1}q)^{k-1} \quad (II.10)$$

donde

k	parámetro de forma
s	parámetro de escala

Smith (1989), considera que el parámetro de forma debe ser el mismo para todas las cuencas de una región y el parámetro de escala, en cambio, es función de las características de cada cuenca.

Entonces, para P_0 , cercano a uno

$$F_i(q | u_i) = G(q | s_i, k) \quad (II.11)$$

El procedimiento consiste entonces en ajustar una función de distribución de Pareto a los gastos que excedan a u_i , ecuación II.7, para cada cuenca de la región en estudio, obligando a que el parámetro de forma, k , sea igual en todos los casos y el parámetro de escala, s , sea una función de las características fisiográficas de la cuenca.

Este modelo fue aplicado a una región central de los Apalaches donde se utilizó como parámetro de escala

$$s_i = \exp \{c + b_1 \log(A_i) + b_2 X_i\}$$

donde

A_i	área de drenaje de la cuenca i
X_i	indicador, que toma el valor de 1 si la cuenca es de montaña y el valor de 0 si la cuenca está en planicie.

Aunque el método tiene un enfoque tal que permitiría la estimación de valores de gasto para periodos de retorno grandes, no es fácil su aplicación en nuestro país debido a que pocas estaciones cuentan con registros suficientemente largos (20 ó 30 años) para estimar correctamente la función de distribución de los valores más grandes.

Capítulo III

Selección de la Región

La presencia de fenómenos meteorológicos como los ciclones es determinante en la magnitud de las avenidas, de tal forma que se ha observado que en numerosas estaciones hidrométricas el gasto máximo registrado coincide con la presencia de un ciclón en el sitio.

Para los fines de esta tesis, la zona en estudio considerada es la del Golfo de México debido a que en ella la presencia de ciclones es muy significativa y corresponde, según la división propuesta por la SARH, a las Regiones Hidrológicas número 25, 27 y 24 Oriente.

El factor orográfico es de gran importancia en la precipitación dado que los vientos cargados de humedad que llegan del Golfo de México, sufren un levantamiento debido a la presencia de la sierra, descargando una buena parte de la humedad precipitable antes de pasar al otro lado de la barrera montañosa. Es por ello que la región en estudio se limita a las estaciones hidrométricas que se encuentran en barlovento, puesto que, más allá de la barrera montañosa, ésta proporciona abrigo a las cuencas localizadas en esa zona.

A continuación se hace una breve descripción de cada una de las Regiones Hidrológicas en estudio.

Región Hidrológica No. 27, Tuxpan - Nautla⁷

La Región Hidrológica No. 27 se localiza en la parte central del Golfo de México (ver Figura III.1). Las corrientes de esta región hidrológica aún cuando se desarrollan principalmente en el Estado de Veracruz, cubren una importante zona del Estado de Puebla y áreas menores de los Estados de Hidalgo y Tlaxcala.

El accidente orográfico más importante de la Región Hidrológica está constituido por la Sierra Madre Oriental. Esta Sierra y la Cordillera Neovolcánica constituyen los sitios donde ocurren las mayores precipitaciones; en consecuencia, en ella se generan los escurrimientos que fluyen hacia la planicie dando lugar a las corrientes generalmente torrenciales, con gastos de consideración aún en estiaje, además de la formación de grandes avenidas de origen ciclónico.

El clima de la región se clasifica como "muy húmedo o húmedo sin estación seca bien definida". Las precipitaciones más elevadas se registran entre los meses de junio y octubre.

Región Hidrológica No. 25, Cuencas de los ríos San Fernando, Soto La Marina y San Rafael (Golfo Norte⁸).

Esta región corresponde a todas las corrientes que desembocan al Golfo de México comprendidas entre las cuencas de los ríos Bravo y Pánuco. La superficie de la Región Hidrológica es de aproximadamente 57000 km² distribuida en dos estados, Nuevo León y Tamaulipas, con un porcentaje de área en cada estado de 20 y 80 % respectivamente, su ubicación puede verse en la Figura III.1. Las precipitaciones más importantes se presentan en los meses de mayo a octubre.

Su clima no es demasiado extremo, al punto que sólo existen dentro de ella cuatro clasificaciones, a) Clima "semiseco, sin estación seca bien definida, cálido con invierno benigno", b) Clima "seco, sin estación seca bien definida, cálido con invierno benigno", c) Clima "seco, con invierno y primavera secos, semicálidos sin estación invernal bien definida" y d) Clima "seco, con invierno y primavera secos, templado con invierno benigno".

Es conveniente señalar que, en algunos años, la precipitación anual excede notablemente el promedio de los años registrados. En algunos meses con intensa actividad ciclónica, la lámina de lluvia mensual llega a superar dicho promedio anual, hecho que confirma la susceptibilidad de la zona para recibir lluvias muy abundantes en breves periodos de tiempo por efecto de las perturbaciones ciclónicas que ocurren frecuentemente en el Golfo de México.

Región Hidrológica No. 24 Oriente, Cuencas del Bajo Río Bravo (incluidos los ríos San Juan y Alamo) y de la Región Golfo Norte⁹. La ubicación de la Región puede apreciarse en la Figura III.1. En cuanto a las lluvias que prevalecen en la región, se tiene que en ella ocurren precipitaciones de tres tipos principalmente. 1) Lluvias orográficas debidas a corrientes de aire húmedo procedentes del Golfo de México. 2) Lluvias ciclónicas ocasionadas por perturbaciones de este tipo en el Golfo de México, que

provocan grandes avenidas en la región. 3) En menor escala, lluvias de invierno originadas por el encuentro de masas de aire frío continental con masas de aire húmedo.



Figura III.1

De las Regiones Hidrológicas descritas, se seleccionaron para el estudio aquellas estaciones que cumplieran con las tres condiciones siguientes.

- 1.- Que su ubicación fuera tal que estuvieran en el barlovento de la montaña.
- 2.- Que contaran con más de 10 años de registro.
- 3.- Que no existieran obras de regulación importantes aguas arriba de la estación hidrométrica.

Bajo estas condiciones se seleccionaron para la Región Hidrológica No. 27 las estaciones Alamo, Libertad, Martínez de la Torre, Poza Rica, Puente Henríquez, El Remolino y Tecuantepec; para la Región Hidrológica No. 25 las estaciones Cabezones, Camacho, Corona, La Esperanza, Magueyes, Pablillo y Padilla. Finalmente, para la Región Hidrológica No. 24 Oriente, las estaciones Ciudad Mier y El Cuchillo. Contando con un total de 16 estaciones. En las siguientes tablas se muestran los registros de gastos máximos anuales, para cada una de ellas así como el área de drenaje correspondiente.

Análisis Regional de Avenidas

Estación Alamo
Area 4341 km²

AÑO Q_{max} mes

1957	127	nov
1958	130	dic
1959	850.449	jul
1960	1458	sep
1961	1095.5	jun
1962	1276	jul
1963	2722	jul
1964	592.6	jun
1965	1461	ago
1966	2882.5	jun
1967	1823.775	sep
1968	2355	sep
1969	2664.474	sep

Estación Cabezones
Area 1166 km²

AÑO Q_{max} mes

1952	2.47	oct
1953	126	oct
1954	69	oct
1955	174	sep
1956	148	ago
1957	59.9	oct
1958	570	oct
1959	43.3	ago
1960	175	may
1961	326.6	jun
1962	69.88	jun
1963	587.4	ago
1964	77.23	sep
1965	211	oct
1966	274	jun
1967	590.41	sep
1968	286	sep
1969	1128	sep
1970	230	oct
1971	437	sep
1972	218	jun
1973	990	jun
1974	280	sep
1975	322	jul
1976	581	sep
1977	951	sep
1978	820	sep
1979	150	sep
1980	34.4	oct
1981	205.4	jun
1982	27.03	oct
1983		
1984	93.33	sep

Estación Area	Camacho 428 km ²		Estación Area	Ciudad Mier 4381 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1951	2.82	dic	1931	600	jul
1952	106	oct	1932	568	sep
1953	516	ago	1933	2170	sep
1954	184	oct	1934	352	abr
1955	639.5	sep	1935	101	may
1956	21.15	may	1936	284	ago
1957	155.8	oct	1937	98.1	ago
1958	95.3	oct	1938	574	ago
1959	88.3	sep	1939	344	abr
1960	630	oct	1940	348	jun
1961	391	jun	1941	200	sep
1962	124.3	oct	1942	278	oct
1963	73.4	may	1943	174	sep
1964	222	may	1944	1710	ago
1965	272.8	ago	1945	334	oct
1966	338.2	ago	1946	564	oct
1967	546.5	sep	1947	229	ago
1968	346	sep	1948	4100	sep
1969	592	oct	1949	401	abr
1970	193.4	sep	1950	333	sep
1971	460.6	sep	1951	500	sep
1972			1952	253	may
1973	710	jun	1953	1220	ago
1974	77	sep	1954	398	abr
1975	272	jul	1955	198	sep
1976	1086	jul	1956	270	may
1977	600	sep	1957	631	abr
1978	449	sep	1958	630	oct
1979	101	ago	1959	238	ago
1980	14.92	oct	1960	362	jul
1981	99.83	oct	1961	156	oct
1982			1962	247	sep
1983	308	jul	1963	608	jun
1984	156.4	sep	1964	570	sep
1985	161.6	sep			

Análisis Regional de Avenidas

Estación Area	Corona 1329 km ²		Estación Area	El Cuchillo 8690 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1962	168.16	oct	1931	994	
1963	202.68	sep	1932	332.5	
1964	249.5	may	1933	2736.5	
1965	83.3	oct	1934	393.5	
1966	525.2	oct	1935	602.8	
1967	1260	sep	1936	1307	
1968	194.9	sep	1937	139	
1969	254.88	oct	1938	6758.49	
1970	819	sep	1939	720	
1971	659	oct	1940	404	
1972	576	jun	1941	1194	
1973	507	jun	1942	817.21	
1974	458	sep	1943	675.5	
1975	290	jul	1944	1584.8	
1976	835	jul	1945	3358	
1977	936	sep	1946	526	oct
1978	653	sep	1947	1394	ago
1979	245	sep	1948	1175	sep
1980	132.969	oct	1949	382	abr
1981	546.65	jun	1950	469	oct
1982	112.067	oct	1951	2077	sep
1983	202.2	jul	1952	167	jun
1984	70.55	jun	1953	2512	ago
1985	92.56	sep	1954	304	may
			1955	385	jul
			1956	125	ago
			1957	900	oct
			1958	1927	sep
			1959	177	sep
			1960	1678	oct
			1961	492	sep
			1962	585	oct
			1963	603	sep
			1964	348.2	oct
			1965	1274	
			1966	726.75	
			1967	5540	
			1968	464.5	
			1969	470.56	
			1970	655.4	
			1971	649	
			1972	454.6	
			1973	3355.5	
			1974	1935	
			1975	643	
			1976	1081	
			1977	2000	
			1978	3500	
			1979	355	
			1980	225.93	

Selección de la Región

AÑO	Qmax	mes	Estación Area	AÑO	La Esperanza 11110 km2 Qmax	mes
1981	396			1962	136	sep
1982	210			1963	2.77	may
1983	366.87			1964	0.13	ene
1984	183.87			1965	0.03	ago
1985	115.17			1966	5500	oct
1986	963.67			1967	2427	sep
1987	688.61			1968	2.18	ene
1988	7500			1969	456	sep
				1970	525.2	sep
				1971	109.12	sep
				1972	1535	jul
				1973	1386	oct
				1974	1515	jul
				1975	217	sep
				1976	1464	jul
				1977	963	jun
				1978	123	sep
				1979	111	sep
				1980	72.93	sep
				1981	74.8	ago
				1982	6.87	jun
				1983	253	jul
				1984	286.6	sep
				1985	132.94	jun
				1986		
				1987		
				1988		

Estación Area	Libertad 173 km ²		Estación Area	Magueyes 242 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1959	111.4	nov	1962	63.5	oct
1960	121	oct	1963	25.8	jun
1961	355.2	nov	1964	64.6	sep
1962	105	abr	1965	118	ago
1963	165	sep	1966	126	jun
1964	102.86	nov	1967	620	ago
1965	163.89	ene	1968	104.4	jun
1966	198.5	sep	1969	61.71	sep
1967	816.35	oct	1970	176.5	sep
1968	170.3	dic	1971	219.38	sep
1969	480.23	nov	1972	308	jun
1970	562	oct	1973	147	ago
1971	366	oct	1974	32	sep
1972	602	nov	1975	111	jul
1973	633	may	1976	197	jul
1974	1376	jun	1977	138	sep
1975	1261	feb	1978	173	sep
1976	539	jul	1979	25	ago
1977	696	nov	1980	199.44	sep
1978	659	sep	1981	149.5	jun
1979	588	ago	1982	60	may
1980	637.31	sep	1983	154.5	sep
1981	529	ago	1984	30.5	sep
1982			1985	2.4	oct
1983	618	oct			
1984	586	sep			
1985	519	sep			

Estación Area	Martínez de la Torre 1467 km ²		Estación Area	Pablillo 994 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1952	142.5	dic	1951	2.73	dic
1953	1626.5	oct	1952	129	oct
1954	2240	sep	1953	472	ago
1955	4540	sep	1954	112.4	may
1956	829	sep	1955	369	sep
1957	478	sep	1956	33.3	may
1958	913.75	nov	1957	68	may
1959	584.3	oct	1958	129	oct
1960	381.76	abr	1959	9.57	sep
1961	1053	oct	1960	99	sep
1962	321.63	sep	1961	106	jun
1963	719.3	sep	1962	238	oct
1964	574.9	nov	1963	78.08	sep
1965	614.7	ene	1964	79.92	may
1966	1382	sep	1965	71.17	ago
1967	3600	sep	1966	95.92	jun
1968	456.56	jul	1967	448	sep
1969	2334.5	sep	1968	56.35	sep
1970	548	oct	1969	96	oct
1971	710	oct	1970	153	sep
1972	898	nov	1971	106.1	oct
1973	1113	may	1972	278	jun
1974	1932	sep	1973	270	jun
1975	778	sep	1974	45	sep
1976	1834	nov	1975	56	jul
1977	988	sep	1976	424	jul
1978	1016	sep	1977	296	sep
1979			1978	218	sep
1980	1270	sep	1979	58	sep
1981	1200	ago	1980		
1982			1981		
1983	884	oct	1982		
1984	1345	sep	1983		
1985	586	oct	1984	88.4	sep
			1985	14.8	ago

Análisis Regional de Avenidas

Estación Area	Padilla 3940 km ²		Estación Area	Poza Rica 1600 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1948	250	sep	1952	48.8	dic
1949	175	sep	1953	717.33	oct
1950	18	may	1954	5040	dic
1951	73	jul	1955	5412.5	sep
1952	19	oct	1956	866.05	sep
1953	81	ago	1957	479	jul
1954	1236	oct	1958	1596	oct
1955	3310	sep	1959	1017.4	oct
1956	242	may	1960	665.3	sep
1957	57	sep	1961	531	jul
1958	1082	oct	1962	600	jul
1959	82	jun	1963	1060	jul
1960	373	sep	1964	477.6	jun
1961	302	ago	1965	608	ago
1962	158	sep	1966	1248.73	jun
1963	208	sep	1967	828	sep
1964	119	may	1968	1380	jun
1965	72	ago	1969	1437	sep
1966	1171	oct	1970	840	jun
1967	2436	sep	1971	1596	oct
1968	232	sep	1972	618	jul
1969	317	sep	1973	1000	jun
1970	1468	sep	1974	3514	sep
1971	92	sep	1975	1588	sep
			1976	1965	oct
			1977	603	nov
			1978	1578	oct
			1979	1680	sep
			1980	513	sep
			1981		
			1982	485	oct
			1983	628	sep
			1984	1365	sep
			1985	390	oct

Estación Area	Puente Henriquez 437.6 km ²		Estación Area	El Remolino 7172 km ²	
AÑO	Qmax	mes	AÑO	Qmax	mes
1944	692	sep	1961	1892	oct
1945	188	oct	1962	1072	sep
1946	122	jun	1963	2067	jul
1947	203	abr	1964	2383	dic
1948	110	jul	1965	2271	ago
1949	128	mar	1966	3701	sep
1950	325	abr	1967	2882	sep
1951	120	jun	1968	1452	sep
1952	114	sep	1969	3952	sep
1953	114	ago	1970	1295	sep
1954	360	sep	1971	4258	oct
1955	680	sep	1972	2188	jun
1956	114	sep	1973	4415	ago
1957	212	ago	1974	7491	Sep
1958	51.9	jun	1975	3049	sep
1959	131	oct	1976	3188	oct
1960	117	jun	1977	2892	nov
1961	178	sep	1978	2622	oct
1962	90	sep	1979	3621	sep
1963	134	sep	1980	3467	sep
1964	82.4	nov	1981	8321	ago
1965	108	oct	1982	2360	abr
1966	145	jun	1983	1444	sep
1967	139	jun	1984	3024	sep
1968	115	jul	1985	2847	oct
1969	311	ago	1986	7755	nov
			1987	2384	jul
			1988	5782	sep

Estación
Area Tecuantepec
 1067 km²

AÑO	Qmax	mes
1961	560	sep
1962	1608	sep
1963	806	jul
1964	514	oct
1965	932	oct
1966	1165	sep
1967	744	sep
1968	489	ago
1969	1706	sep
1970	595	ago
1971	1123	oct
1972	1244	jul
1973	1954	ago
1974	2484	sep
1975	1294	sep
1976	1250	oct
1977	492	jul
1978	1032	oct
1979	993	ago
1980	997	sep
1981	1644	jul
1982	842	sep
1983	390	jul
1984	877.1	sep
1985		
1986	1297	nov
1987	669	jul
1988	1210	sep

En la Figura III.2 se presenta un croquis con la ubicación de las mismas.

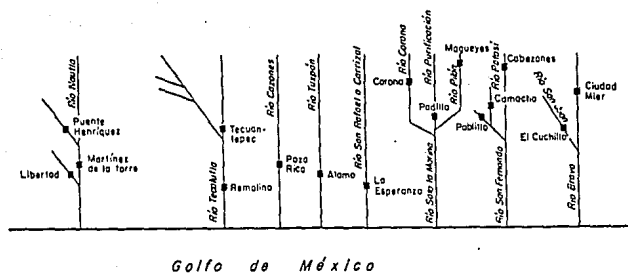


Figura III.2

Capítulo IV

Análisis de los Registros Históricos

Una vez definida la zona de estudio y las estaciones hidrométricas involucradas, se procede a analizar el comportamiento de cada estación, para lo cual se definen a continuación algunos conceptos básicos.

El concepto principal utilizado en la teoría del análisis de frecuencias es el de la función de distribución de probabilidad.

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

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

Sus principales propiedades son :

$$F_u(\infty) = 1$$

$$F_u(-\infty) = 0$$

$$F_u(x + \Delta x) \geq F_u(x) \text{ si } \Delta x \geq 0$$

Debido a que en problemas de Hidrología es común que lo que interese sea la probabilidad de que la variable exceda un determinado valor, además que frecuentemente se trabaja con probabilidad de excedencia muy cercana a cero , por estos dos motivos , se ha introducido el concepto de periodo de retorno, T_r , que se

define como el número de años en promedio en el que un evento puede ser igualado o excedido.

Si, como es común en Hidrología, la variable u representa a los valores máximos anuales y el valor que tome dicha variable en un año es independiente del que tome en los otros, los conceptos anteriores se pueden relacionar mediante la siguiente expresión

$$Tr(x) = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (IV.1)$$

donde

$Tr(x)$ es el periodo de retorno, en años, asociado a un valor x .

$F(x)$ es la función de distribución de los valores máximos anuales.

Función de Distribución Gumbel

La función de distribución de Gumbel o de valores extremos, tiene la forma :

$$F(x) = \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x+a}{c} \right) \right\} \quad (IV.2)$$

donde

a y c son los parámetros de la función.

Tomando en dos ocasiones el logaritmo natural a la expresión IV.2 se tiene

$$\text{LnLn} \frac{1}{F(x)} = - \frac{x+a}{c} \quad (IV.3)$$

tomando en cuenta la ecuación IV.1 y sustituyendo en la ecuación IV.3, se obtiene

$$- \text{Ln Ln} \frac{Tr}{Tr - 1} = \frac{x+a}{c} \quad (IV.4)$$

De acuerdo con este resultado, el papel de Gumbel se construye tomando a $-\text{LnLn}(Tr/Tr-1)$ como abscisa y a los gastos máximos como ordenada. De esta forma, una variable aleatoria con distribución Gumbel, es una recta al ser representada en papel Gumbel.

A continuación se presenta la metodología tradicional que se sigue para el análisis de una muestra.

La información básica que se requiere para el análisis es el gasto máximo anual para cada uno de los años de registro de la estación.

Por ejemplo, para la estación El Remolino se tiene

Año	Mes	Gasto Máximo [m ³ /s]	Año	Mes	Gasto Máximo [m ³ /s]
1961	oct	1892	1975	sep	3049
1962	sep	1072	1976	oct	3188
1963	jul	2067	1977	nov	2892
1964	dic	2383	1978	oct	2622
1965	ago	2271	1979	sep	3621
1966	sep	3701	1980	sep	3467
1967	sep	2882	1981	ago	8321
1968	sep	1452	1982	abr	2360
1969	sep	3952	1983	sep	1444
1970	sep	1295	1984	sep	3024
1971	oct	4258	1985	oct	2847
1972	jun	2188	1986	nov	7755
1973	ago	4415	1987	jul	2384
1974	sep	7491	1988	sep	5782

Los gastos máximos se ordenan de mayor a menor y a cada uno de ellos se le asigna un número de orden m , creciente, de tal forma que al valor más grande le corresponderá $m = 1$ y al más pequeño $m = n$. Tal como en el método de Índice de Avenida, Capítulo II, el periodo de retorno empírico se evalúa con la expresión

$$\hat{T} = \frac{n + 1}{m} \quad (IV.5)$$

donde

n	número de años de registro
m	número de orden
$\hat{T}$	periodo de retorno empírico

de esta manera para la muestra en estudio se determina el periodo de retorno correspondiente a cada gasto máximo y además se estima el valor del doble logaritmo natural para así construir el papel Gumbel y poder observar la tendencia de los datos.

m	Gasto Máximo [m ³ /s]	Periodo de retorno	-LnLn(Tr/(Tr-1))
1	8321	29.00	3.350
2	7755	14.50	2.639
3	7491	9.66	2.215
4	5782	7.25	1.908
5	4415	5.80	1.665
6	4258	4.83	1.461
7	3952	4.14	1.286
8	3701	3.63	1.131
9	3621	3.22	0.990
10	3467	2.90	0.861
11	3188	2.64	0.740
12	3049	2.42	0.627
13	3024	2.23	0.519
14	2892	2.07	0.416
15	2882	1.93	0.317
16	2847	1.81	0.220
17	2622	1.71	0.124
18	2384	1.61	0.031
19	2383	1.53	-0.063
20	2360	1.45	-0.157
21	2271	1.38	-0.254
22	2188	1.32	-0.352
23	2067	1.26	-0.456
24	1892	1.21	-0.565
25	1452	1.16	-0.684
26	1444	1.12	-0.821
27	1295	1.07	-0.984
28	1072	1.04	-1.220

Si se representan los datos del doble logaritmo natural en el eje horizontal y los datos de gasto máximo anual ordenados en el vertical, se obtiene la gráfica de la Figura IV.1, en la que se aprecia la presencia de dos poblaciones, puesto que se definen dos rectas de pendiente diferente.

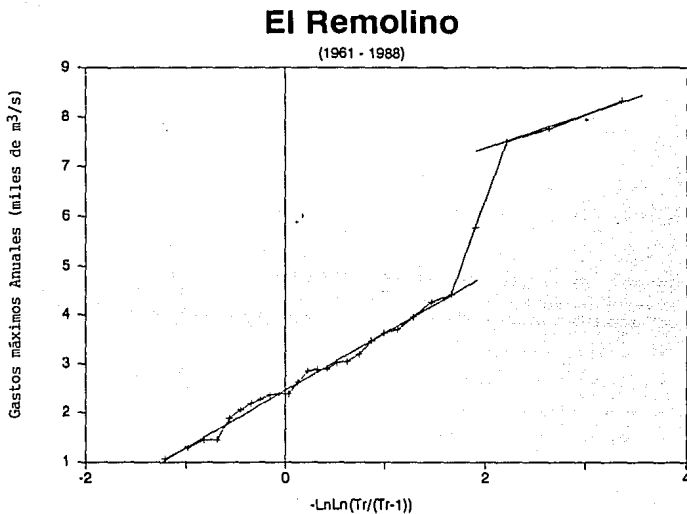
A pesar de ello, con objeto de describir el proceso completo, se proseguirá el análisis suponiendo que existiera una sola población y que la función de distribución que mejor se ajusta a los datos es la de Gumbel. Para estimar el valor de los parámetros a y c , se puede utilizar diferentes métodos¹⁰, utilizando el de momentos se obtuvieron los valores siguientes

$$c = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S = 1477.26$$

$$a = 0.5772 c - \bar{X} = -2507.17$$

donde

- $\bar{X}$ valor de la media de los gastos máximos anuales (3360 para el caso de la estación El Remolino)
- S desviación estándar de los gastos máximos anuales (1895 para el caso de la estación El Remolino)



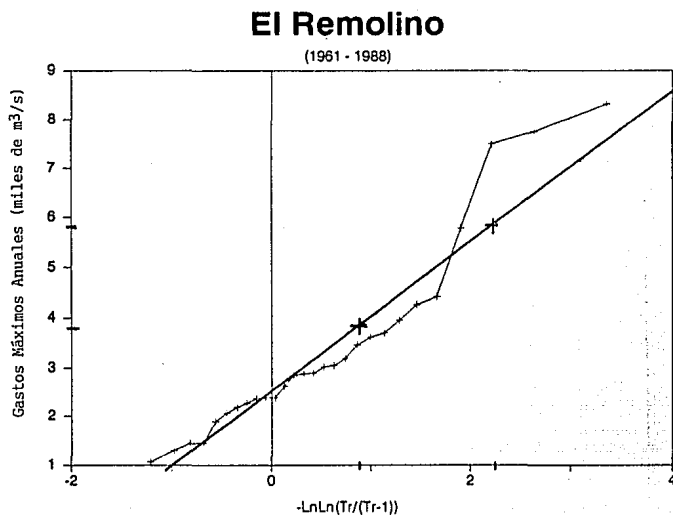
Una vez estimados los parámetros de la función, el valor asociado a un periodo de retorno cualquiera se estima mediante la expresión

$$X = -a + c \left[-\text{Ln Ln } \frac{T_r}{T_r - 1} \right] \quad (\text{IV.6})$$

Así por ejemplo, para periodos de retorno de 3 y 10 años, en la estación El Remolino se tiene

Estimados	Registrados
$X_{T=3} = 3841 \text{ m}^3/\text{s}$	$X_{T=3} = 3495 \text{ m}^3/\text{s}$
$X_{T=10} = 5832 \text{ m}^3/\text{s}$	$X_{T=10} = 7485 \text{ m}^3/\text{s}$

En la Figura IV.2 se observa que, para un periodo de retorno pequeño, no se comete un error muy grande en la estimación del gasto, pero cuando se trata de gastos asociados a periodos de retorno más grandes, el error puede ser muy importante.



Resultados semejantes se obtuvieron al analizar la información de las otras 15 cuencas en estudio, como se muestra en las figuras IV.3 a IV.18. En ellas se señala si los valores más grandes de gastos máximos corresponden a la incidencia de algún ciclón.

En la Tabla IV.1 se presenta los ciclones que han influido en la zona de estudio .

CICLONES

Estación	Beulah sep 67	Edith sep 71	Fern oct 67	Ella sep 70	Ines oct 66	Inga nov 61	Janet sep 55
1 Libertad			X			X	
2 Cabezones	X	X					
3 Pablillo	X						
4 Padilla	X			X	X		
5 Corona	X			X	X		
6 La Esperanza	X				X		
7 Poza Rica							X
8 Mtz. de la Torre	X						X
9 Puente Henríquez							X

Tabla IV.1

Alamo

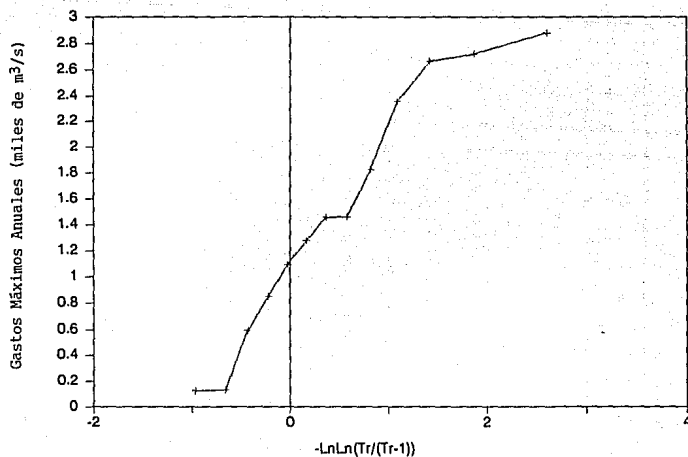


Figura IV.3

Cabezones

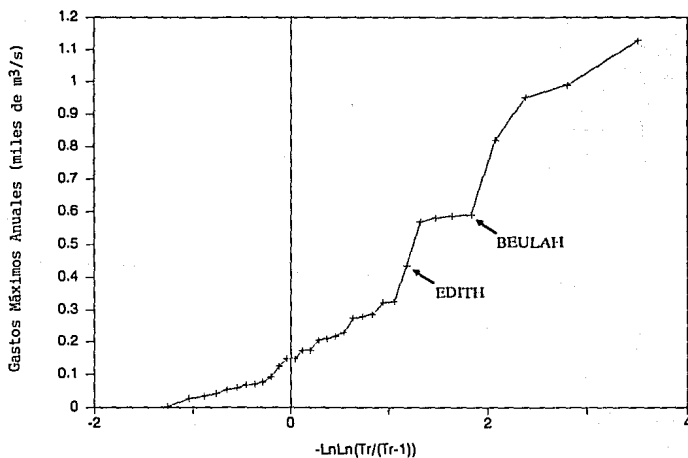


Figura IV.4

Camacho

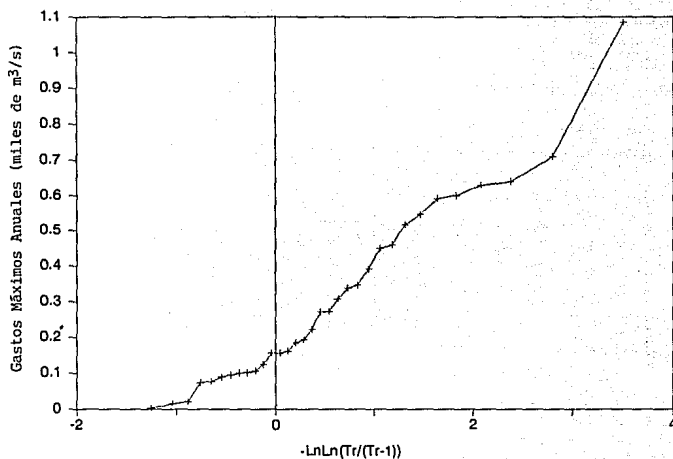


Figura IV.5

Ciudad Mier

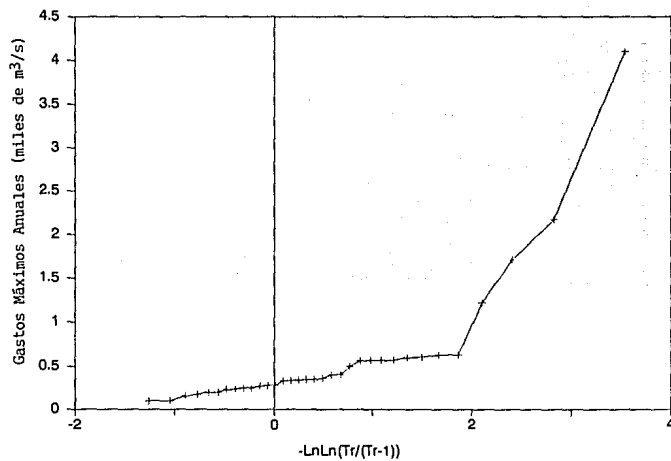


Figura IV.6

Corona

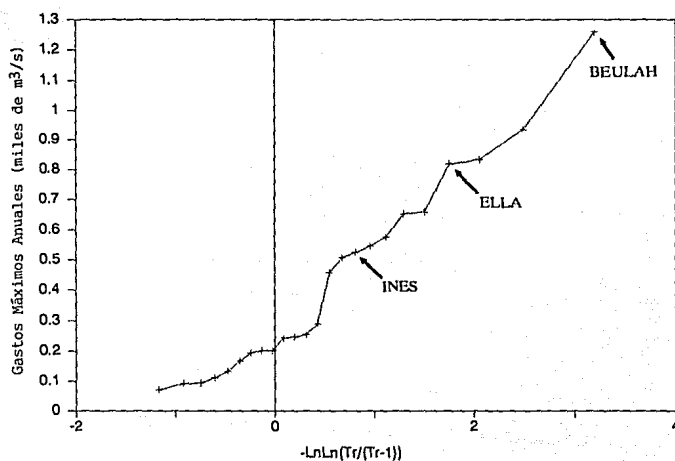


Figura IV.7

El Cuchillo

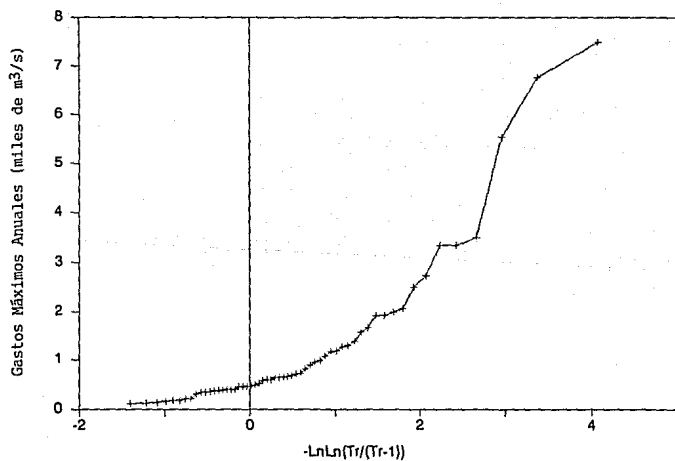


Figura IV.8

La Esperanza

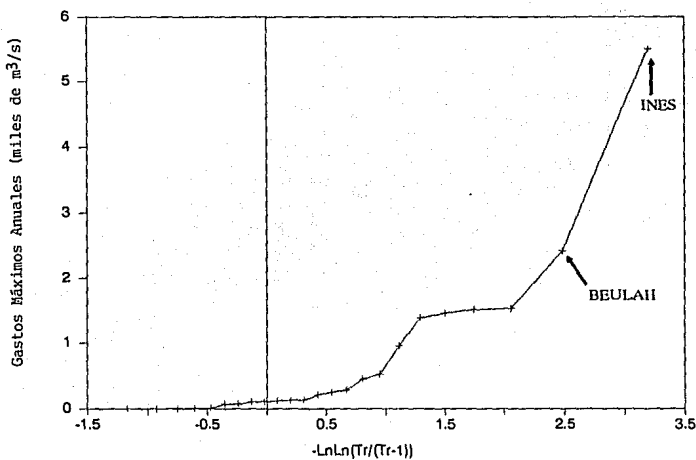


Figura IV.9

Libertad

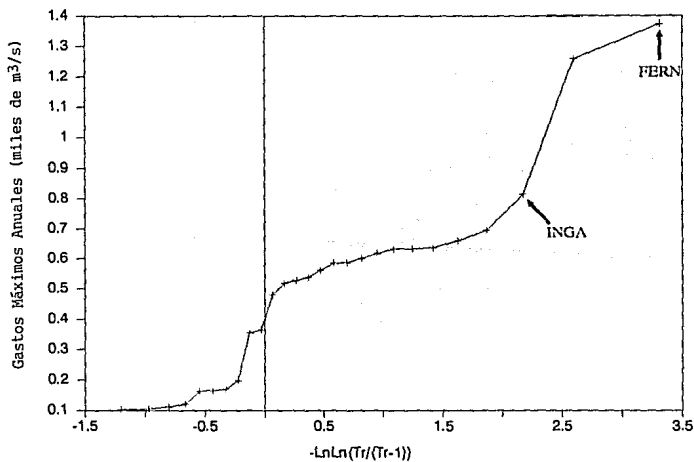


Figura IV.10

Magueyes

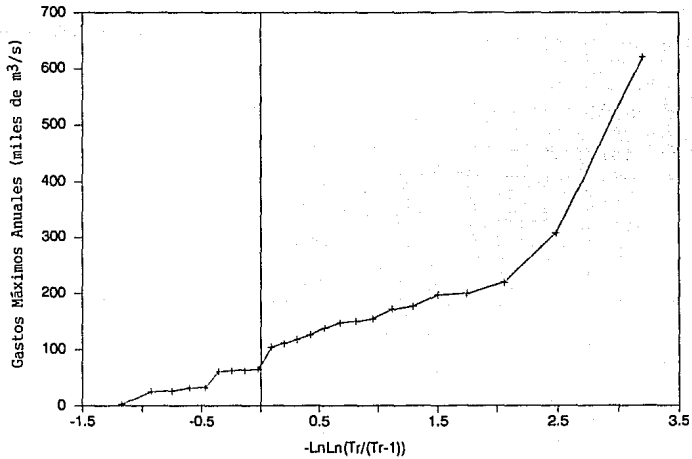


Figura IV.11

Martínez de la Torre

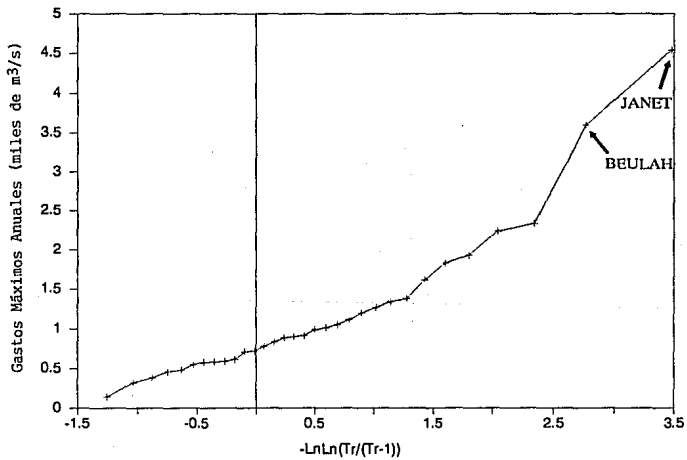


Figura IV.12

Pablillo

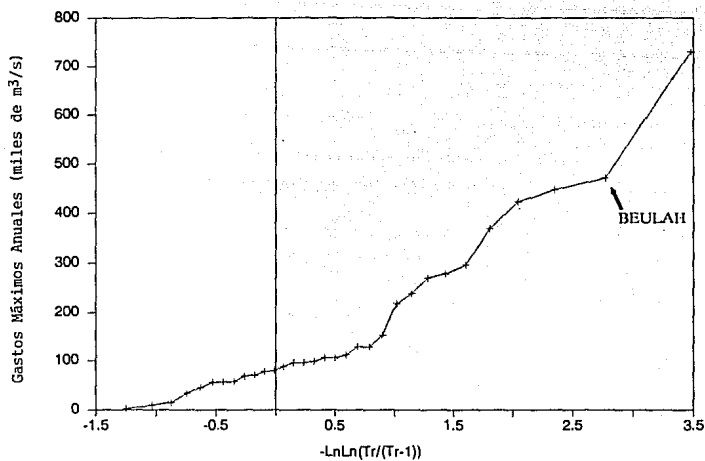


Figura IV.13

Padilla

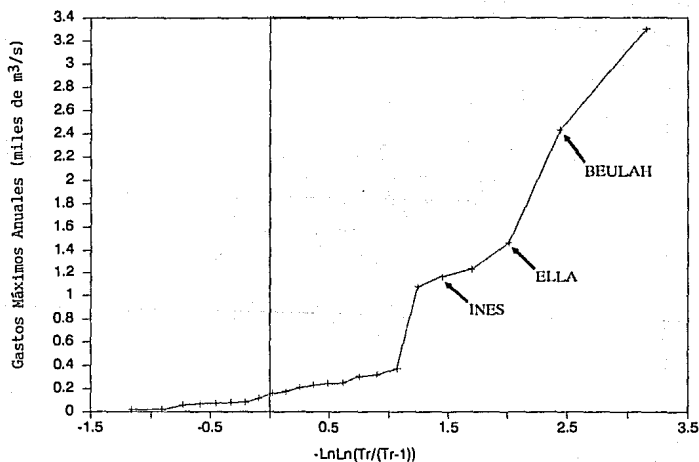


Figura IV.14

Puente Henríquez

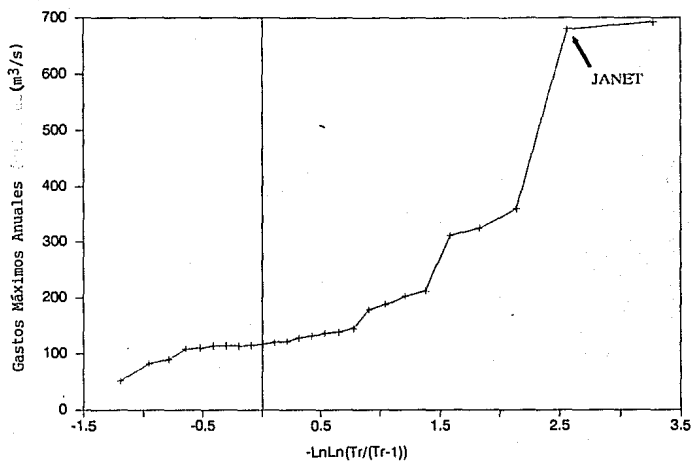


Figura IV.15

Poza Rica

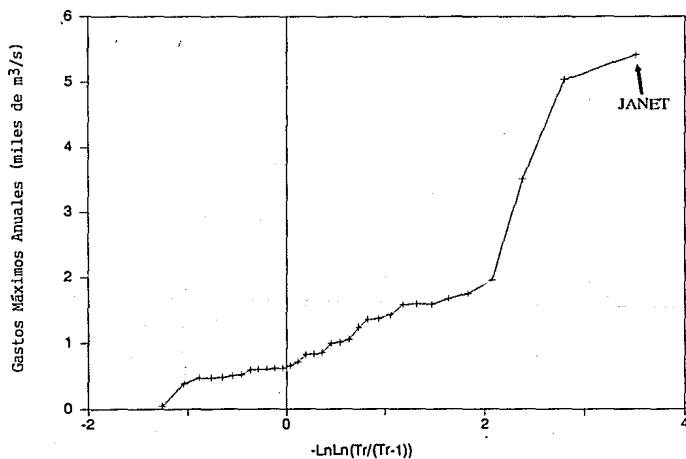


Figura IV.16

El Remolino

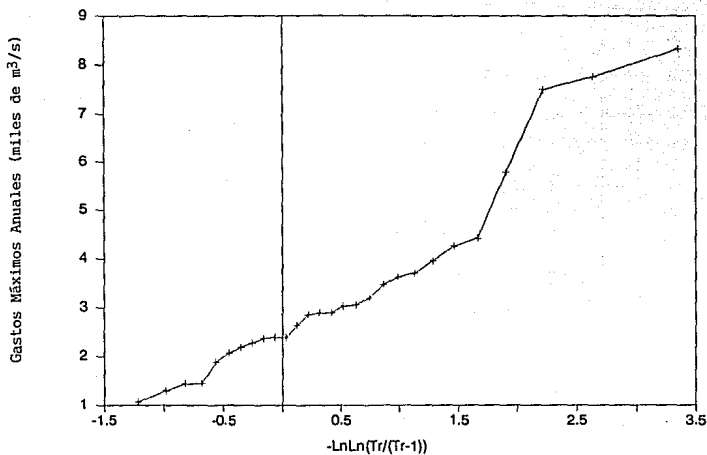


Figura IV.17

Tecuntepec

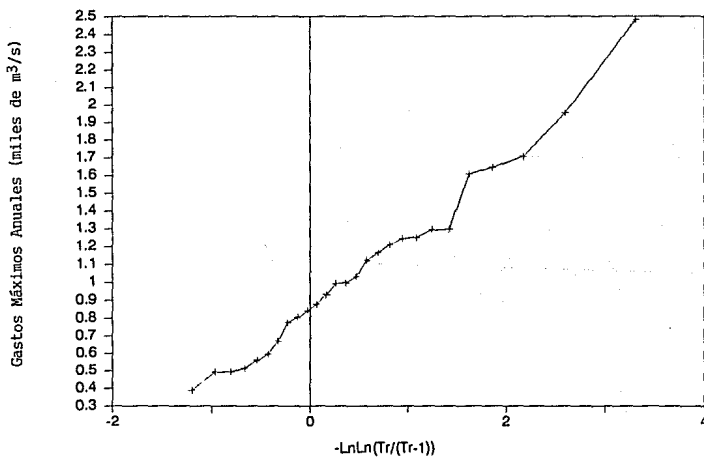


Figura IV.18

El resultado obtenido muestra la importancia de considerar la posible presencia de dos poblaciones y lo aventurado que resulta estimar gastos si se pasa por alto esta observación.

En vista de que para el caso en que se tengan dos poblaciones, la función de distribución de Gumbel no proporciona resultados satisfactorios, fue necesario desarrollar una teoría específicamente dirigida al análisis de estos casos (ref 11y 12).

Cuando los gastos máximos anuales son provocados por la mezcla de dos poblaciones se utiliza la función doble Gumbel definida como

$$F(q) = e^{-e^{-\frac{q-a_1}{c_1}}} \left[p + (1-p) e^{-e^{-\frac{q-a_2}{c_2}}} \right] \quad (IV.7)$$

donde

- $a_1, c_1,$ son los parámetros de la primera población (no originada por la incidencia directa de ciclones)
- $a_2, c_2,$ son los parámetros de la segunda población (originada por ciclones)
- p parámetro que representa la probabilidad de ocurrencia de un evento no ciclónico

El método para determinar los valores de estos parámetros, se presenta en el Capítulo V. Debido a que para este caso el número de parámetros por definir es grande, el método de momentos resulta poco preciso.

Capítulo V

Regionalización en el Golfo de México

Debido a que la metodología tradicional de estimación de avenidas de diseño se enfoca al análisis de cada cuenca por separado y que para la estimación de gastos máximos asociados a periodos de retorno grandes ésta es poco confiable, dado que, en la mayoría de los casos las estaciones hidrométricas que se tienen, han operado durante pocos años, al pretender estimar un gasto para un periodo de retorno grande se puede cometer un error considerable.

En este capítulo se trata de explicar los beneficios que ofrece utilizar información de toda una región en conjunto.

Dado que las cuencas no son iguales entre sí, para poder utilizar la información de toda la región, es necesario transformar los gastos máximos con un factor que tome en cuenta las características fisiográficas de cada cuenca.

En otras palabras, es necesario para cada cuenca, i , transformar los gastos Q_{ij} registrados en los años j a una nueva variable "reducida", q_i , eliminando el efecto de las características fisiográficas de la cuenca.

En estas condiciones, la nueva variable q tendrá valores comparables entre sí.

Una vez realizado el análisis estadístico de la variable "reducida" q , será necesario realizar la transformación inversa correspondiente a cada cuenca i .

En México se han hecho intentos en este sentido¹³, basados en suponer que las características fisiográficas de las cuencas pueden representarse a través de los parámetros a y c de la función de distribución Gumbel, y en otras partes se ha aplicado el llamado método del Índice de Avenida. En ambos casos es posible obtener buenos resultados cuando los gastos máximos anuales corresponden a una sola población pero no cuando existe el fenómeno de dos poblaciones.

Si se tiene una región formada por varias cuencas, sujeta a la incidencia de ciclones, cada una ellas puede ser afectada por éstos de manera diferente.

Por este motivo, se propone buscar una función de transformación de los valores registrados Q , a la variable "reducida" q , expresada directamente en términos de las características de las cuencas. Debido a lo limitado de la información disponible, en este trabajo se desarrolló inicialmente, una transformación en términos únicamente del área de la cuenca, a pesar de lo cual los resultados obtenidos son confiables.

Para llegar a la fórmula de transformación se analizaron dos aspectos:

a) Fórmulas empíricas que relacionan gastos máximos con el área de la cuenca.

Algunas de estas fórmulas son

- Envoltentes de Creager

$$Q = c_1 \cdot 0.503 \left[0.386 A \right] \left(\frac{0.894}{(0.386 A)^{0.048}} \right)^{-1} A \quad (V.1)$$

- Envoltentes de Lowry

$$Q = \frac{c_2}{(A + 259)^{0.8}} A \quad (V.2)$$

- Flood Studies Report. Ecuación deducida para la Gran Bretaña¹⁴

$$Q = c_3 A^{0.94} \quad (V.3)$$

- Ecuación propuesta para calcular gastos de diseño en cuencas urbano/rurales de la Gran Bretaña¹⁵

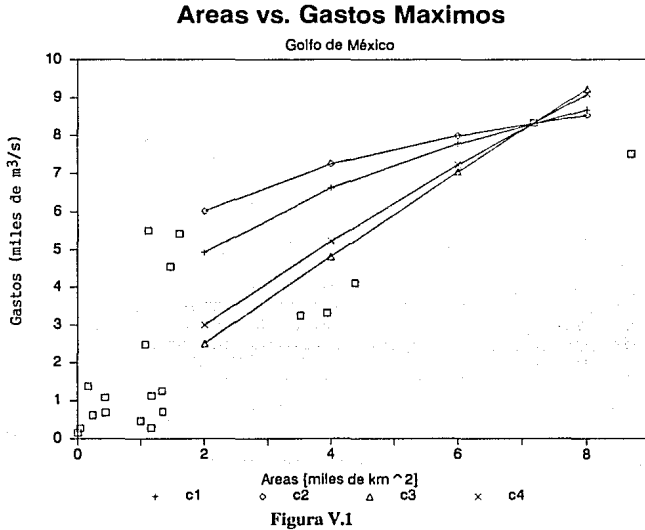
$$Q = c_4 A^{0.80} \quad (V.4)$$

donde, en las ecuaciones V.1 a V.4

A área de la cuenca, km^2

c_1, c_2, c_3 y c_4 parámetros

- b) Con los datos de las cuencas analizadas se dibujaron los gastos máximos registrados, asociados a la incidencia de un ciclón contra el área de la cuenca respectiva, ver Figura V.1. En la misma figura se muestran las curvas correspondientes a las ecuaciones V.1 a V.4, que fueron construídas obligando a que las constantes c_1 a c_4 pasaran por los valores correspondientes a la cuenca El Remolino.



Finalmente, se decidió utilizar la función de transformación

$$q_k = \frac{Q_{ij}}{(A_i + 259)^{0.8}} \quad (V.5)$$

donde

q_k	gastos transformados y el índice k va de 1 al número de estaciones-año disponibles en cada región.
Q_{ij}	gastos máximos anuales registrados en la estación i y en el año j , en m^3/s
A_i	área de la cuenca, en km^2

De esta forma, la información correspondiente a 16 cuencas, con distintos años de registro cada una, se transforma a una muestra homogénea de valores q_k compuesta por 469 datos.

Los 469 datos de la muestra regional, se ordenaron de mayor a menor y se les asignó un periodo de retorno nuevamente con la ecuación

$$Tr = \frac{N + 1}{m} \quad (V.6)$$

donde, para este caso, $N = 469$ y m es el número de orden.

En la Figura V.2 se muestran los resultados obtenidos, dibujados en papel Gumbel. Evidentemente existe una tendencia bien definida, al menos para periodos de retorno de hasta 500 años (en ese caso la variable reducida $-\ln \ln(Tr/(Tr-1))$ tiene un valor de 6.2).

GASTOS PARAMETRIZADOS CON EL AREA

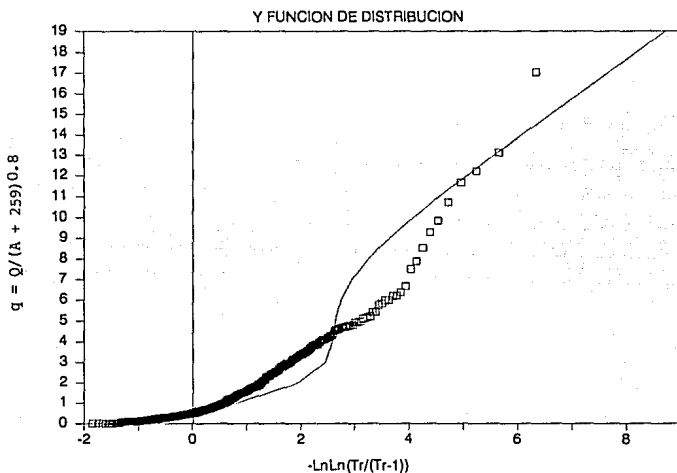


Figura V.2

Si se requiere trabajar con periodos de retorno bastante mayores que 500 años es necesario ajustar una función doble Gumbel (ecuación IV.7) a los datos homogeneizados. Debido a que dicha función contiene 5 parámetros (a_1 , c_1 , a_2 , c_2 y p) no es conveniente utilizar el procedimiento de ajuste por momentos, por lo que se prefirió realizar una serie de tanteos buscando minimizar la diferencia entre los valores obtenidos de la función de distribución y los valores registrados. Así mismo, se buscó que la función tuviera un mejor ajuste hacia la parte final de la tendencia de los datos, puesto que es precisamente la parte más importante, por considerar que dentro de esa zona se tiene la población de origen ciclónico, que corresponde a periodos de retorno más grandes. En la Figura V.3, aparece con línea continua la función de mejor ajuste y con línea y simbología el registro de los 469 datos.

De esta forma se consideraron los valores iniciales siguientes

$$a_1 = 0.4, \quad c_1 = 0.6$$

$$a_2 = 4.5, \quad c_2 = 1.9$$

para diferentes valores de p

$$p = 0.98, 0.96, 0.94, 0.93, 0.92, 0.90, 0.85$$

En cada caso se evaluó la función de distribución doble Gumbel para diferentes valores de q , desde 0 hasta 20.

En una segunda iteración se cambió el valor de a_2 a 7.5 y se evaluó nuevamente la función, para diferentes valores de p .

Resultando de esta forma que la distribución que mejor se ajustó a la gráfica de valores q vs Tr tiene los siguientes parámetros,

$$a_1 = 0.4, \quad c_1 = 0.6$$

$$a_2 = 7.5, \quad c_2 = 1.9$$

y $p = 0.93$, por lo que la función de distribución doble Gumbel quedó definida por

$$F(q) = e^{-e^{-\frac{q-0.4}{0.6}}} \left[0.93 + (1 - 0.93) e^{-e^{-\frac{q-7.5}{1.9}}} \right] \quad (V.7)$$

Es decir que de 469 datos, $0.93(469) = 436$ son considerados de origen no ciclónico y 33 de origen ciclónico.

Metodología

A continuación se resume la metodología que se siguió para obtener la curva regional.

1. Los gastos máximos registrados en cada estación hidrométrica fueron parametrizados con respecto a su área de acuerdo con la ecuación V.5, de tal modo que se obtuvieron tantos valores q_i como estaciones hidrométricas - años.
- 2.- Los gastos parametrizados fueron ordenados de mayor a menor y se calculó su correspondiente periodo de retorno, ecuación V.6.
- 3.- Se elaboró el papel de probabilidades de Gumbel (Capítulo IV), representando en el eje horizontal a los valores de $-\text{LnLn}(Tr/(Tr-1))$ y en el vertical a los valores q_i .

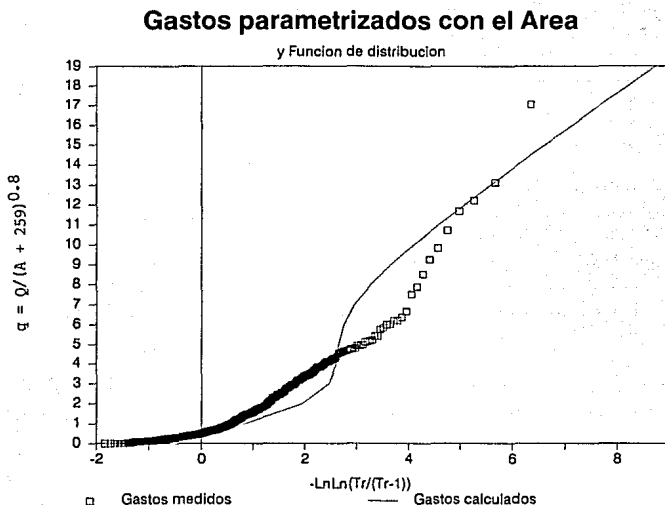


Figura V.3

4.- Se ajustó una función de distribución doble Gumbel, conforme lo explicado previamente a la metodología $F(q)$.

Haciendo un análisis del comportamiento de los registros de cada una de las cuencas, Figuras V.4 a V.19 con respecto a la función de distribución se tiene que de las 16 estaciones elegidas la tendencia es semejante al aplicar el método propuesto.

En las figuras de las estaciones El Remolino, Tecuantepec, Libertad, Martínez de la Torre y Poza Rica, los valores registrados pasan por arriba de la curva de predicción, aunque siguiendo su tendencia, en cambio en El Cuchillo y Ciudad Mier los datos registrados quedan ligeramente por abajo de la curva de predicción.

En estas 16 estaciones el método regional propuesto permite una extrapolación más confiable que si se trabaja con cada estación por separado.

La estación Pabillo no parece haber sido afectada directamente por ciclones durante su periodo de registro, por lo que según la Figura III.2, la ubicación es tal vez un factor importante, puesto que esta estación se encuentra relativamente adentro y es posible que esté protegidas por alguna barrera montañosa.

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

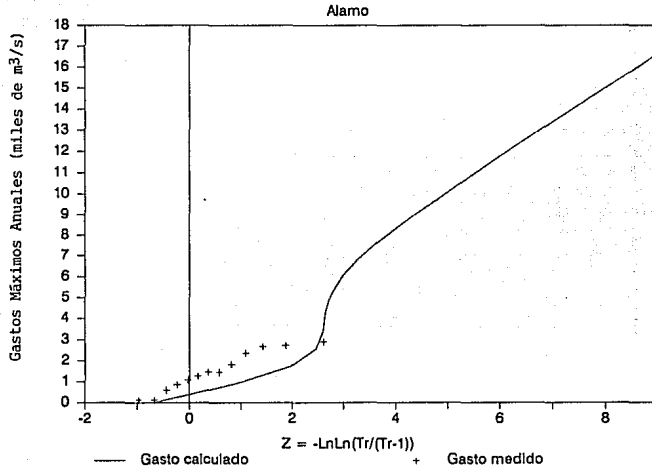


Figura V.4

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

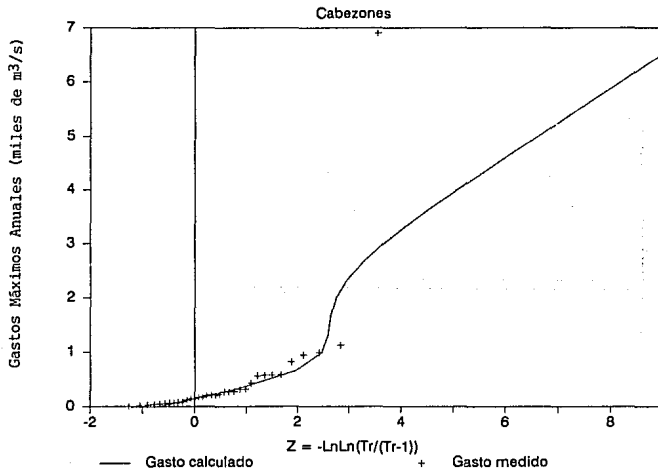


Figura V.5

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

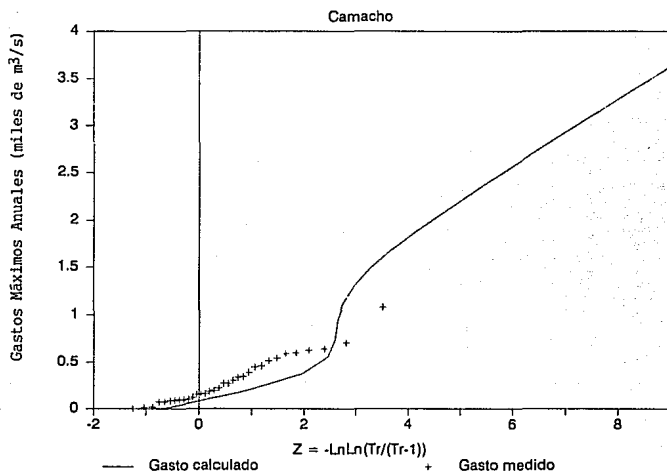


Figura V.6

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

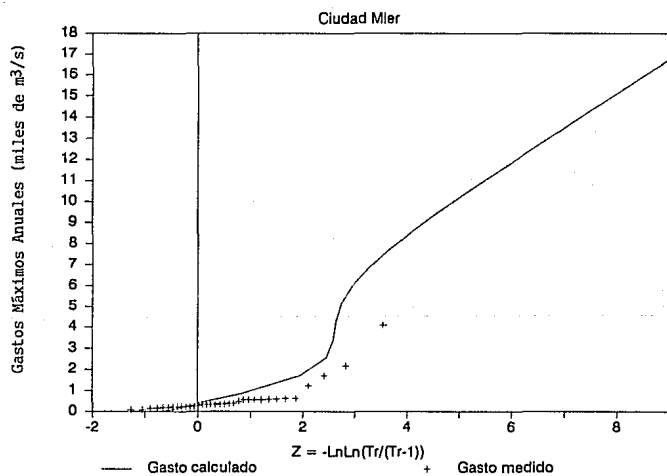


Figura V.7

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Corona

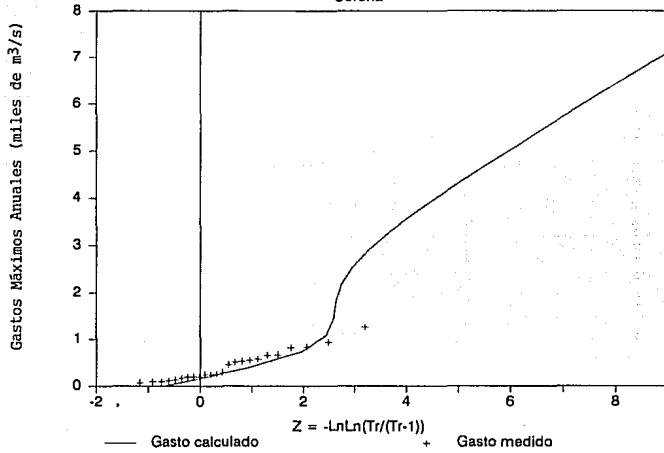


Figura V.8

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

El Cuchillo

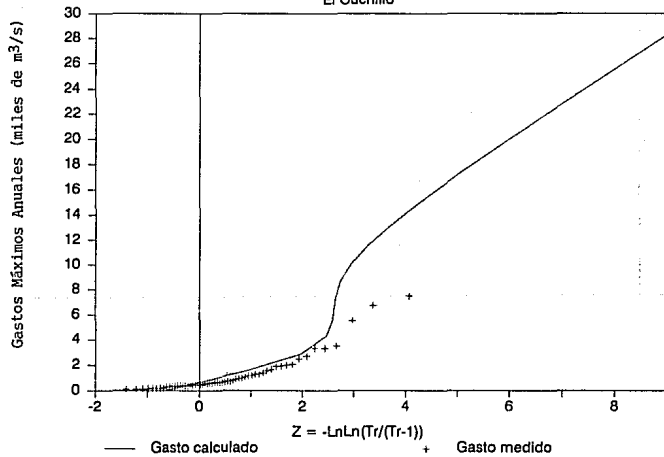


Figura V.9

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

La Esperanza

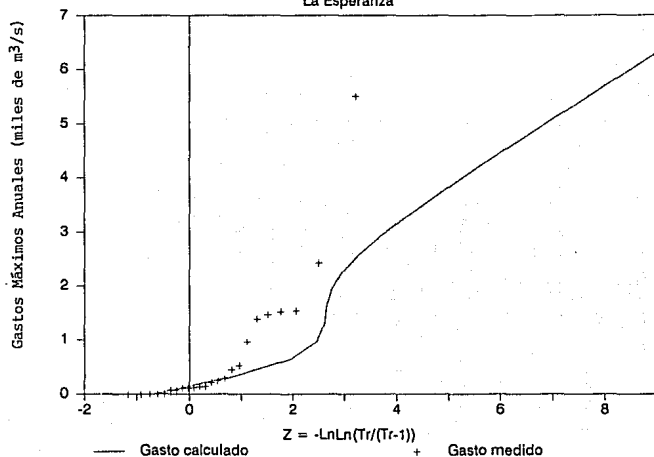


Figura V.10

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Libertad

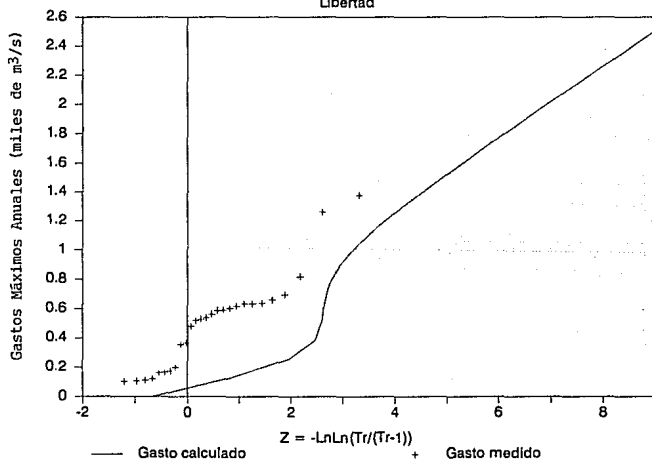


Figura V.11

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

MAGUEYES

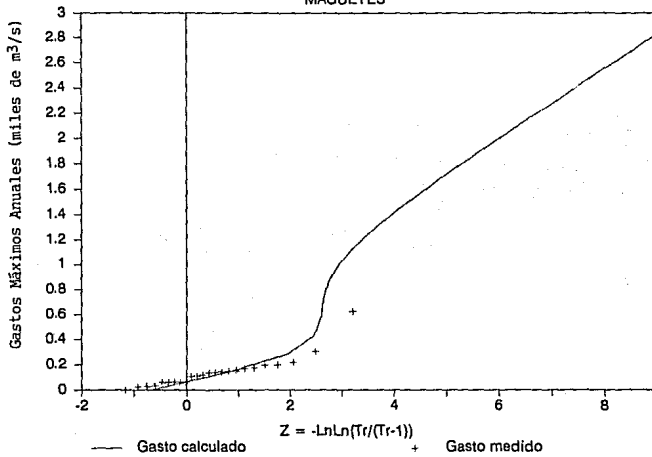


Figura V.12

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Martínez de la Torre

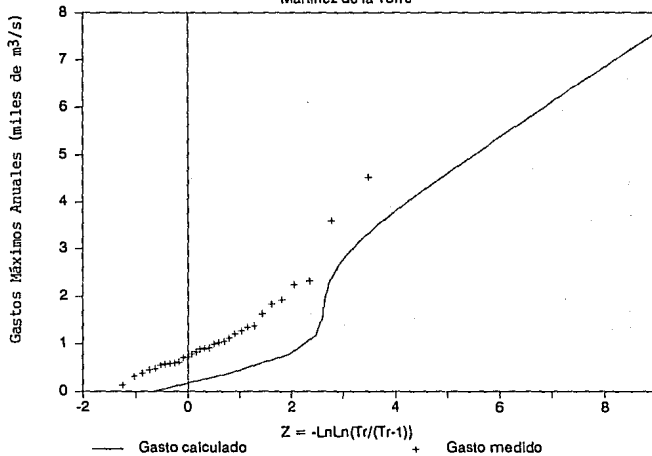


Figura V.13

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

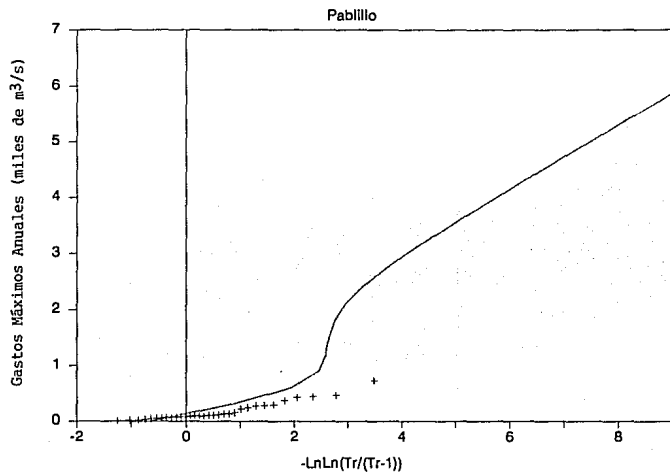


Figura V.14

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

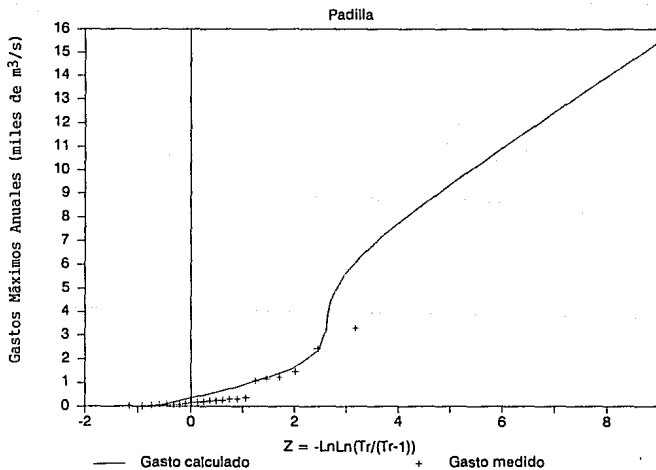


Figura V.15

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Poza Rica

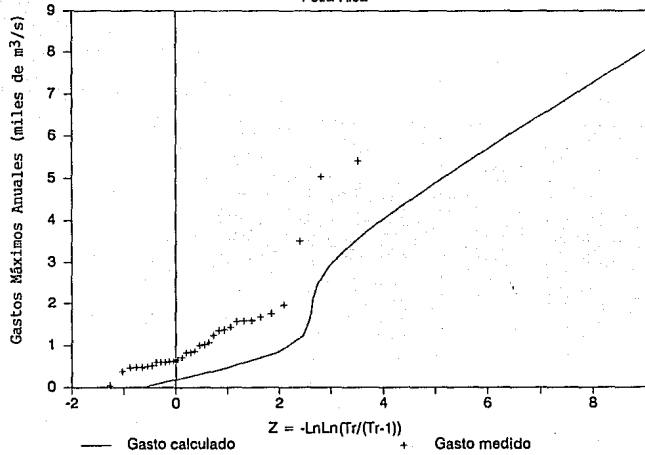


Figura V.16

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Puente Henríquez

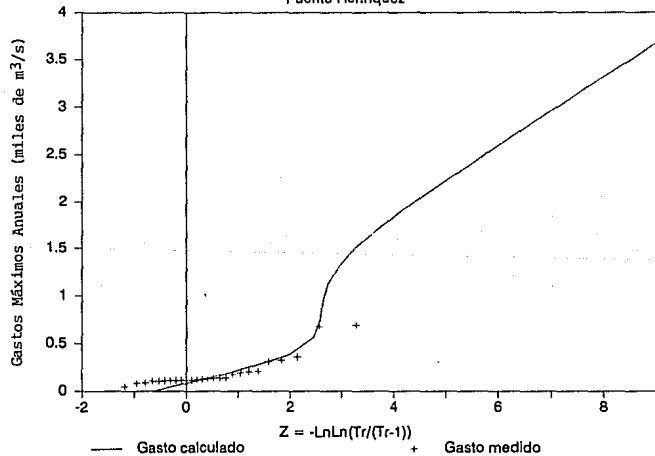


Figura V.17

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

El Remolino

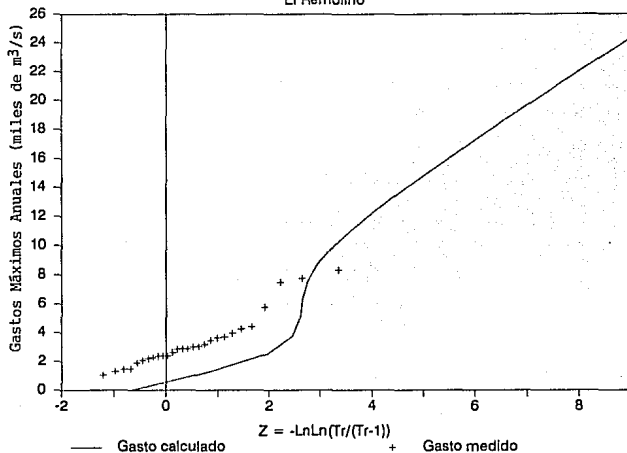


Figura V.18

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

Tecantepec

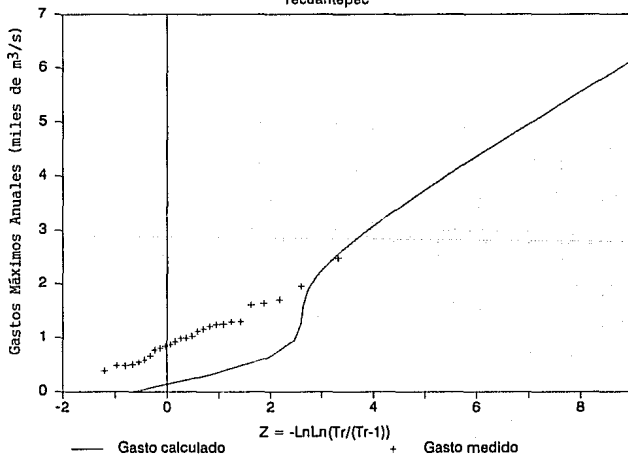


Figura V.19

La estación, La Esperanza, registró máximos mucho mayores que los dados por la curva de predicción, por información adicional⁷ se sabe que el registro de ese gasto no es confiable.

Con las estaciones, Puente Henríquez, Alamo, Cabezones, Camacho, Corona, Magueyes y Padilla, se logró obtener resultados satisfactorios.

Tal como se señala en los párrafos anteriores, se observó que existen casos en que la tendencia de los datos y la función de distribución propuesta son afines, sin embargo, existen otras en que esto no sucede.

Por tal motivo la autora intentó involucrar otros parámetros adicionales al área de la cuenca para observar si se lograba mejorar los resultados hasta ahora obtenidos.

Para ello se intentó caracterizar a las diferencias entre los resultados obtenidos y los que se obtendrían en el mejor de los casos, por medio de un Factor "ideal" (FI) con base en la tendencia de los datos respecto a la función de distribución (regional), es decir, identificar si los datos se encontraban por arriba de la curva regional o por abajo de ella aún con una tendencia similar, para lo que se buscó un factor (FI) que al ser multiplicado por la curva regional ésta se aproximara a los datos medidos, este factor resultó ser mayor que 1 cuando los datos medidos estaban por arriba de la curva regional y menor que 1 en el caso contrario.

Posteriormente, se intentó relacionar el comportamiento del escurrimiento en la cuenca con base en la forma de la misma, en este caso es pertinente aclarar que fue necesario conocer los registros de gastos medios diarios para la cuenca en estudio, lo que originó que se particularizara la metodología y el sentido de regionalización se perdiera, sin embargo, se deseaban involucrar otros factores diferentes al área, así para cada gasto máximo se buscaron los gastos medios diarios registrados dos días antes y dos días después de la fecha en que se presentó el gasto máximo, con el objeto de conocer a grandes rasgos la forma del hidrograma, puesto que, según dicha forma, se quiso caracterizar a la cuenca, de esta manera se procedió a dividir al gasto medio diario entre el gasto máximo y con dicha relación como ordenada, se dibujaron los diagramas de barras que proporcionaron una idea de la forma del hidrograma, para que la curva regional tuviera un mayor ajuste a los datos ésta se multiplicó por factores a los que se les llamó de forma que iban desde 0.16 hasta 0.74 sin tendencia bien definida por lo que de este intento no se obtuvieron resultados alentadores.

Aunque no se logró un avance al establecer este parámetro se dibujó una curva, ver Figura V.20, donde se relacionó al Factor "ideal" con el de forma mostrando que no existe relación posible entre ellos, lo que hace reflexionar sobre la necesidad de encontrar una función que permita obtener un factor diferente posiblemente dado en términos de otras características fisiográficas de las cuencas.

Relación Factor de forma-Factor "ideal"

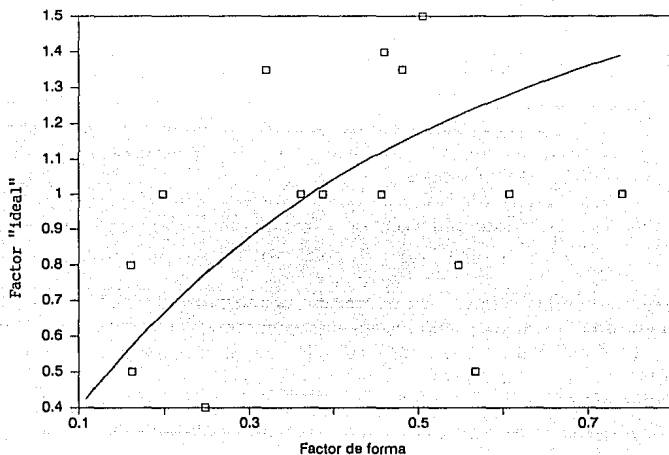


Figura V.20

Por otra parte, se intentó establecer una relación con la pendiente del cauce principal que permitiera tipificar el comportamiento de las cuencas en estudio, sin embargo, éstas no mostraron tendencia alguna como se puede ver en la Figura V.21, por lo que no se encontró manera de clasificar a las cuencas en estudio bajo este criterio.

En la Figura V.22 se dibujó el área de la cuenca contra el Factor "ideal" con el fin de conocer si entre ambos existía alguna relación, sin embargo, como se observa en la figura, dicha relación no define una tendencia precisa que permita hacer inferencias al respecto por lo que no se obtuvo de ella mayor información.

Finalmente, se trató de involucrar un Factor denominado geológico, la definición del mismo se hizo con base en el tipo de material existente en la zona de ubicación de la estación hidrométrica en estudio y se observó que el tipo de roca se va modificando conforme pasa de la zona sur (a la altura del río Nautla) a la zona norte (a la altura del río Bravo).

Bajo esta consideración se asignaron números del 1 al 8 a las estaciones según su posición geográfica correspondiendo el número 1 a las estaciones que se localizan al sur y dando numeración ascendente según se ubicaran hacia el norte.

Aparentemente este parámetro de situación geográfica, muestra una cierta relación con el Factor "ideal", ver Figura V.23, sin embargo, algunas estaciones están alejadas de la tendencia aparente, por lo que no permiten definir un comportamiento general.

Relación Pendiente-Factor "ideal"

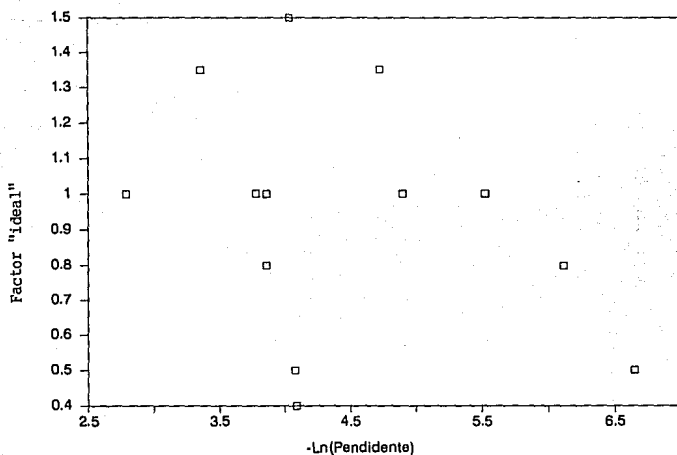


Figura V.21

Relación Area - Factor "ideal"

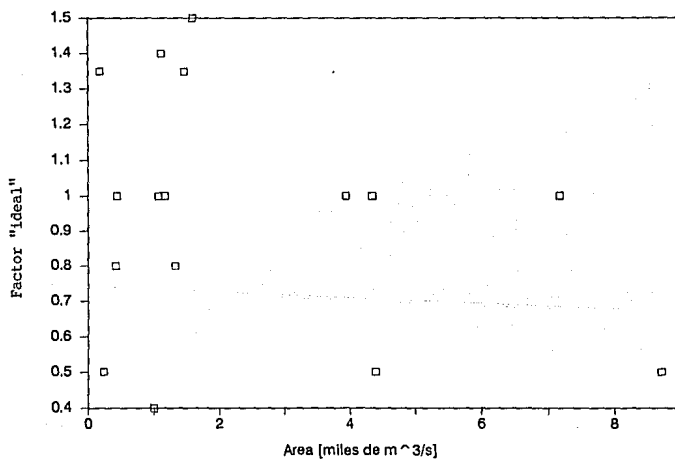
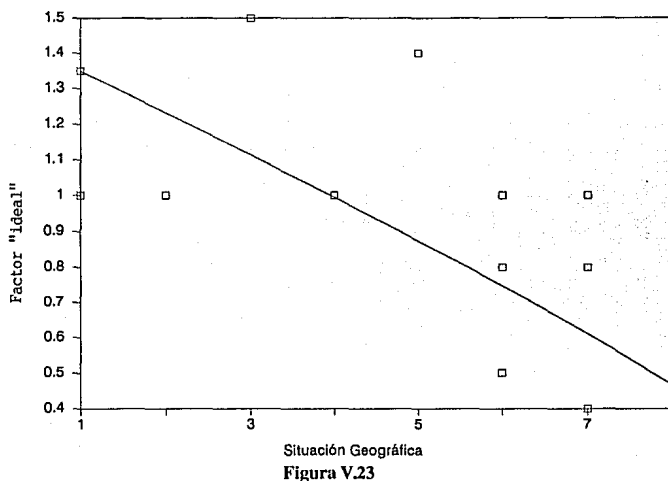


Figura V.22

Situación Geográfica - Factor "ideal"



Situación Geográfica
Figura V.23

Es muy probable que existan algunos otros parámetros que si reflejen concordancia con el área de la cuenca, tal es caso de la humedad antecedente¹⁶, debido a que es posible que haya una relación muy estrecha entre dicha humedad y el escurrimiento que se presente, sin embargo, este punto no se pudo comprobar debido a que no se contó con la información necesaria para la estimación del parámetro que permitiera afirmar esta aseveración.

Capítulo VI

Aplicaciones

Los resultados utilizando el área de la cuenca como parámetro de regionalización se resumen en la ecuación V.7, figura V.3. A partir de ella es posible obtener una estimación de los gastos en cualquier cuenca de la región, incluyendo aquellas que no cuenten con registro histórico de gastos máximos anuales.

En seguida se presenta, paso a paso, el procedimiento para la aplicación de los resultados.

- 1.- Se verifica que la cuenca en estudio esté expuesta a la incidencia directa de los ciclones (esto excluye a las cuencas que estén protegidas por una barrera montañosa).
- 2.- Se definen los periodos de retorno para los cuales se desea estimar el gasto y se calcula el valor correspondiente de la función de distribución de probabilidades, mediante la ecuación siguiente

$$F(q) = (Tr(q) - 1) / Tr(q) \quad (VI.1)$$

- 3.- Para cada valor de $F(q)$, se obtiene el valor de la variable reducida q , por medio de aproximaciones sucesivas, iniciando con un valor cercano determinado con la ayuda de la figura V.3
- 4.- Se calcula el factor $(A + 259)^{0.8}$, donde A es el área de la cuenca considerada, medida en km^2 .

- 5.- Finalmente, se obtienen los gastos asociados a los periodos de retorno seleccionados en el paso 2, multiplicando el factor obtenido en el paso 4 por los valores de q obtenidos en el paso 3.

Con objeto de describir la aplicación de los resultados obtenidos, a continuación se presentan dos ejemplos, uno para una cuenca con registro histórico y otra cuyo único dato es su área.

Supóngase que se desea estimar el gasto asociado a periodos de retorno de 20 y 500 años en la estación hidrométrica El Cuchillo.

- 1.- La cuenca sí está expuesta a la incidencia de ciclones.
- 2.- De acuerdo con la ecuación V.6, para periodos de retorno de 20, 500 años, la función de distribución, $F(q)$, según la ecuación VI.1 toma los valores

$Tr(q)$	$F(q)$
20	$(20-1)/20 = 0.950$
500	$(500-1)/500 = 0.998$

- 3.- De la Figura V.3, se lee para los distintos periodos de retorno el valor de q , y con éste se inicia el cálculo para la estimación del q que satisface la ecuación V.7. De tal modo que para los valores iniciales que toma q para los distintos valores de T la función de distribución vale

$T(q)$	q	$F(q)$
20	7.00	0.949
500	13.9	0.998

la función de distribución se satisface para el periodo de retorno de 500 años por lo que respecta al de 20 años, se vuelve a calcular la función para otro valor de q , se consideró $q = 7.1$ con este valor se obtuvo $F(q) = 0.950$ por lo tanto este nuevo valor de q es el que satisface a la ecuación V.7.

- 4.- El factor $(A + 259)^{0.8}$, para la cuenca considerada vale $(8690 + 259)^{0.8} = 1450.172$ de esta manera los valores de los gastos para los periodos de retorno son

Tr	q	$(A + 259)^{0.8}$	Q [m ³ /s] (registrado) 19 años	Q [m ³ /s] (registrado) 58 años	Q [m ³ /s] (estimado)
20	7.1	1450.172	1643	4658	10296.223
500	13.9	1450.172	3054	15475	20157.39

En las Figuras VI.1 y VI.2 se presentan las tendencias de los registros de la estación El Cuchillo.

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

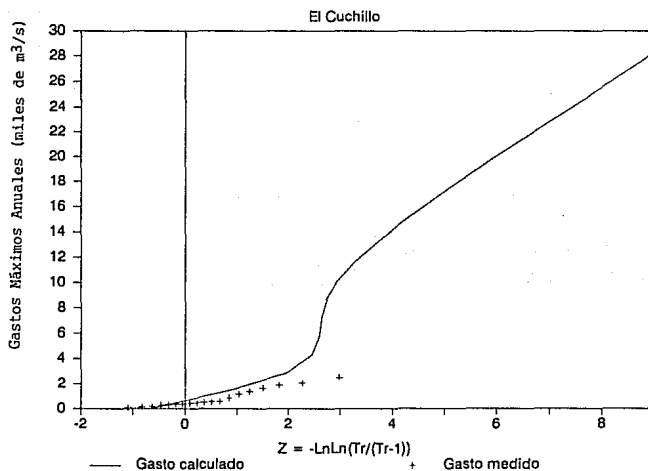


Figura VI.1

REGIONALIZACION DE LA CUENCA DE

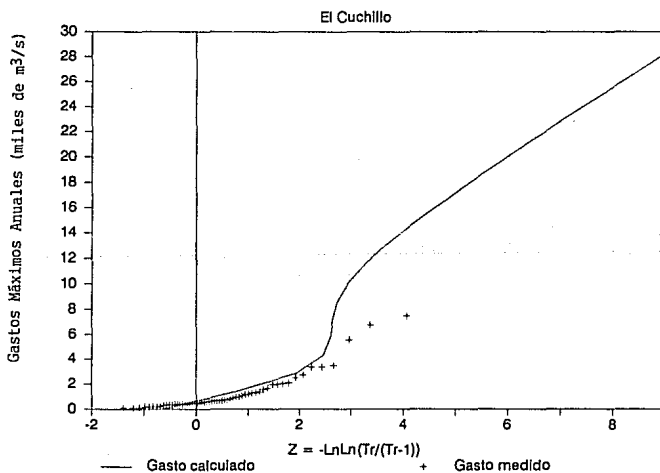


Figura VI.2

Ahora supóngase que se desea conocer el gasto asociado a los mismos periodos de retorno 20 y 500 años pero esta vez en una estación en la que sólo se conoce su área de drenaje.

Siguiendo la metodología para la estación San Fernando, cuya área de drenaje es de 14797 Km^2 , se obtiene lo siguiente.

Tr	q	$(A + 259)^{0.8}$	$\frac{Q}{[\text{m}^3/\text{s}]}$ (estimado)
20	7.1	2198.71	15610.83
500	13.9	2198.71	30562.05

Con los ejemplos anteriores se puede observar que la aplicación de la metodología descrita es muy sencilla. Los comentarios al respecto se señalan en el Capítulo VII.

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Las conclusiones que se listan a continuación sobre el método de Índice de Avenida, pretenden dar énfasis, por un lado, al enfoque que éste sigue y por otro el propuesto en esta tesis.

El método de Índice de Avenida plantea la idea de que cada año el mismo fenómeno meteorológico afecta varias cuencas y por lo tanto las diferencias entre gastos máximos anuales se deben a dos causas :

- a) Diferencias en las características fisiográficas de las cuencas (Area, Longitud del cauce, Pendiente, etc.).
- b) Diferencias aleatorias (medición, centro de la tormenta, etc).

Las diferencias del tipo (a) se eliminan dividiendo entre $Q_{2.33}$ y las del tipo (b) promediando las relaciones $Q_T/Q_{2.33}$.

En el caso que se analizó en esta tesis (y eso se observa directamente del ejemplo, Capítulo VI) , muchas estaciones no cumplieron con la prueba de homogeneidad, porque los fenómenos meteorológicos (particularmente los ciclones) pueden afectar a cualesquiera de las cuencas, pero en un año sólo pueden afectar a una o dos y otro año a otras.

Por lo que respecta al método de Smith, aunque éste tiene la ventaja de hacer énfasis en los valores más grandes de las funciones de distribución, su aplicación en México es difícil debido a que pocas estaciones cuentan con registros suficientemente largos como para estimar correctamente la función de distribución de los valores más grandes.

En este trabajo se muestra el desarrollo de un procedimiento de regionalización que permite hacer estimaciones de gastos máximos, para periodos de retorno grandes, en zonas de incidencia ciclónica.

La aplicación del método a la zona norte del Golfo de México, utilizando el área de la cuenca como parámetro de regionalización ha dado resultados útiles en la práctica.

Sin embargo, existen algunos casos en que se presentaron discrepancias las cuales se comentan a continuación.

La función de distribución doble Gumbel que se ha considerado como representativa, se definió, tratando de que se ajustara lo mejor posible a la muestra de todos los datos de una región, tal como se observa en la Figura V.3; sin embargo, al aplicarla a cada muestra en particular hubo algunas que se quedaron muy por abajo o por arriba, con respecto a dicha función, observándose que existe una relación estrecha entre el tamaño del registro, la magnitud de los eventos registrados y su comportamiento con respecto a la función de distribución de ajuste.

En las Figuras VII.1 a VII.10 se presenta cómo es la tendencia de los datos con respecto al tamaño de registro, de tal forma que hubo casos en que al aumentar los años de registro, la tendencia se apegó más a la función de distribución obtenida. Este aumento de registro se consiguió al obtener información más actualizada, sin embargo, esto no se logró en todas las estaciones de estudio.

Analizando cada uno de los comportamientos, éstos se pueden agrupar en tres casos a saber

- 1.- Estaciones cuya tendencia hacia la función de distribución mejoró al aumentar el registro (Camacho, El Cuchillo, Poza Rica, Martínez de la Torre, La Esperanza y Libertad)
- 2.- Estaciones cuya tendencia hacia la función de distribución empeoró al aumentar el registro (Cabezones)
- 3.- Estaciones cuya tendencia hacia la función de distribución no tuvo cambios al aumentar el registro (Corona, Pablillo y Magueyes)

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA CABEZONES

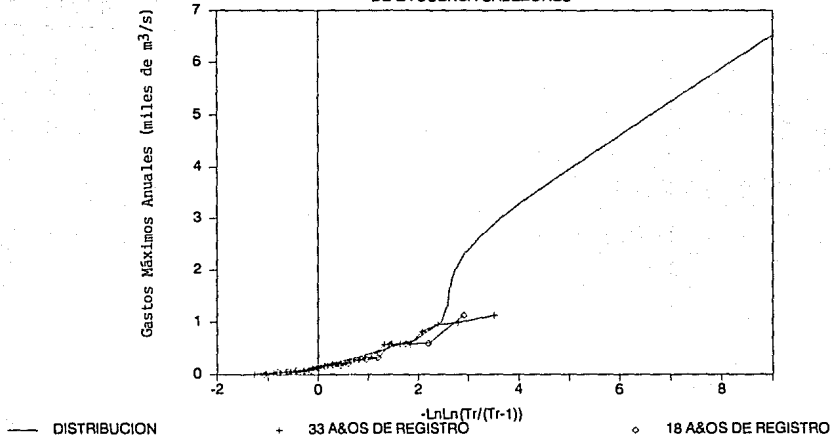


Figura VII.1

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA CAMACHO

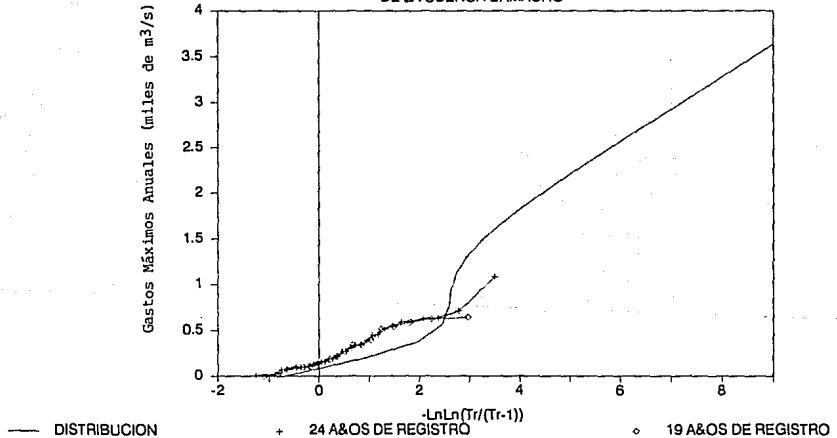


Figura VII.2

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA CORONA

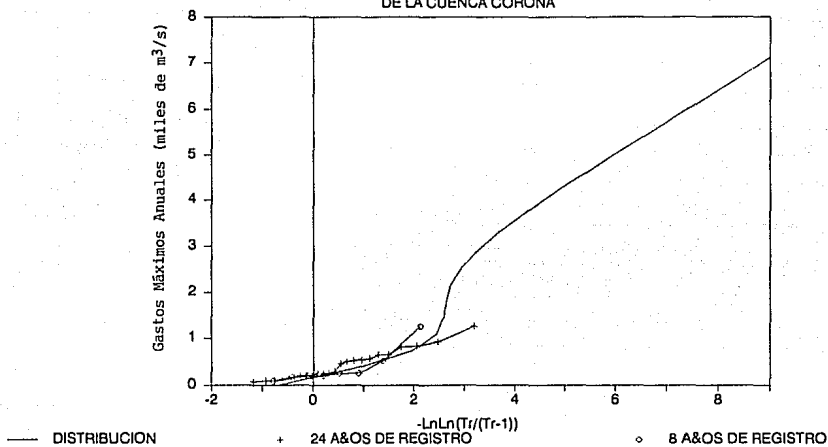


Figura VII.3

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA EL CUCHILLO

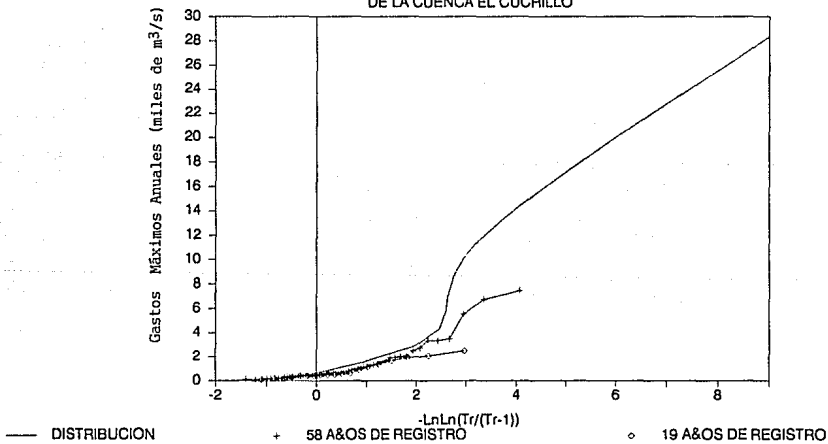


Figura VII.4

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA PABLILLO

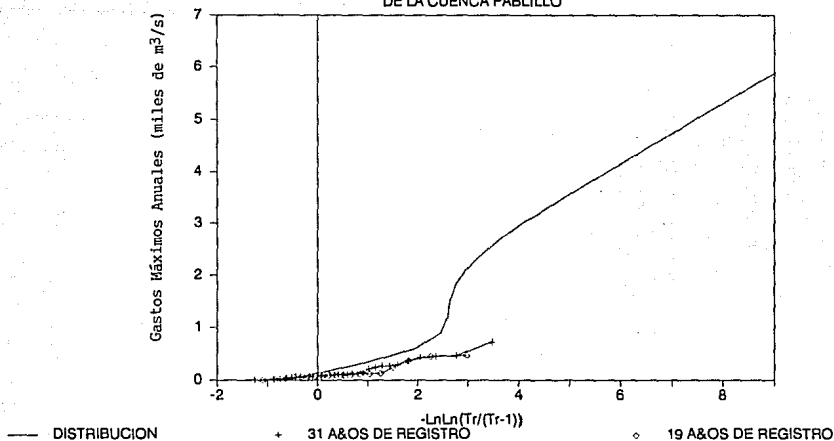


Figura VII.5

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA POZA RICA

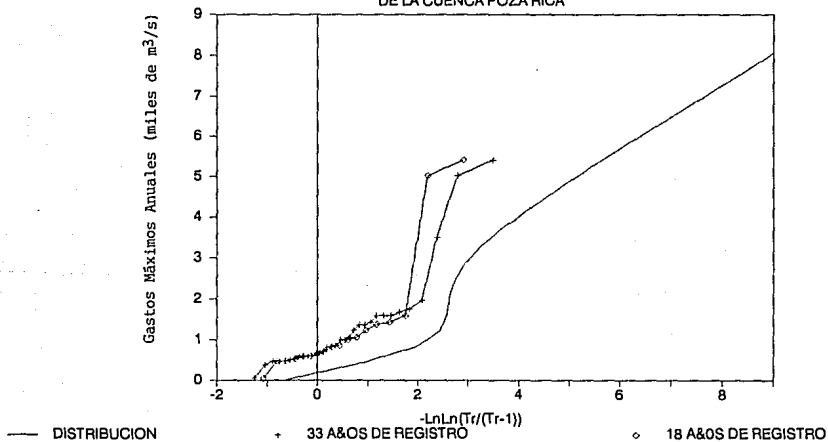


Figura VII.6

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA MAGUEYES

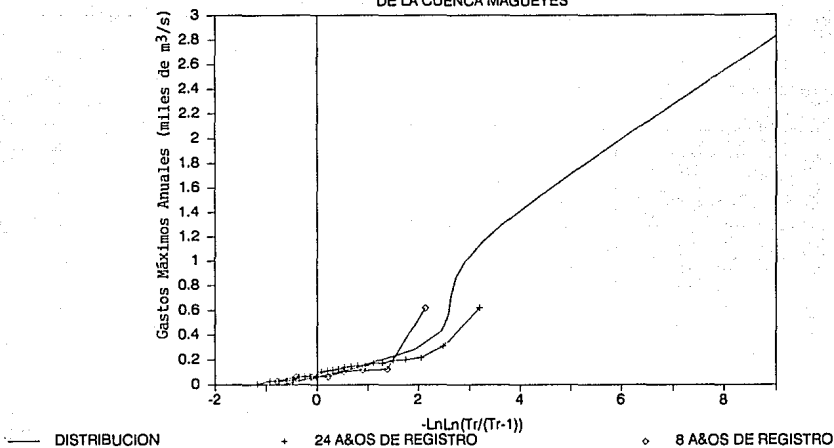


Figura VII.7

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA MTZ. DE LA TORRE

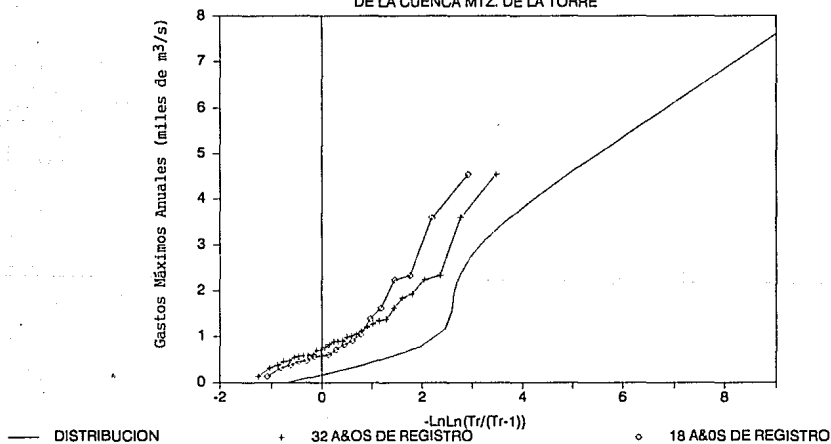


Figura VII.8

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA LA ESPERANZA

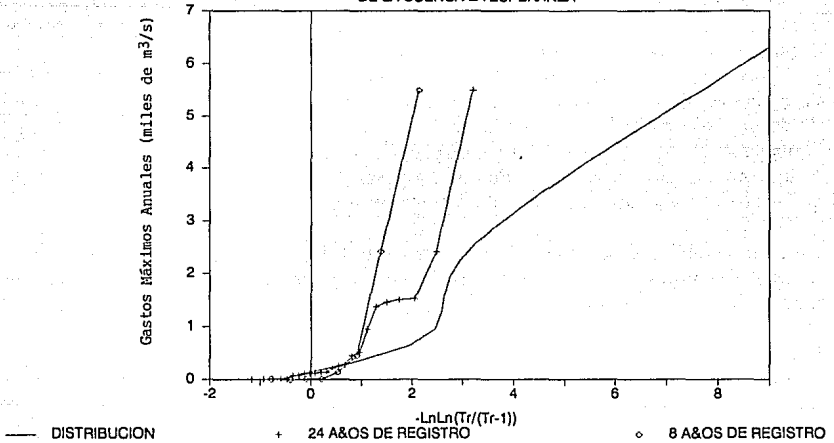


Figura VII.9

CURVAS DE PREDICCIÓN Y REGISTRO

DE LA CUENCA LIBERTAD

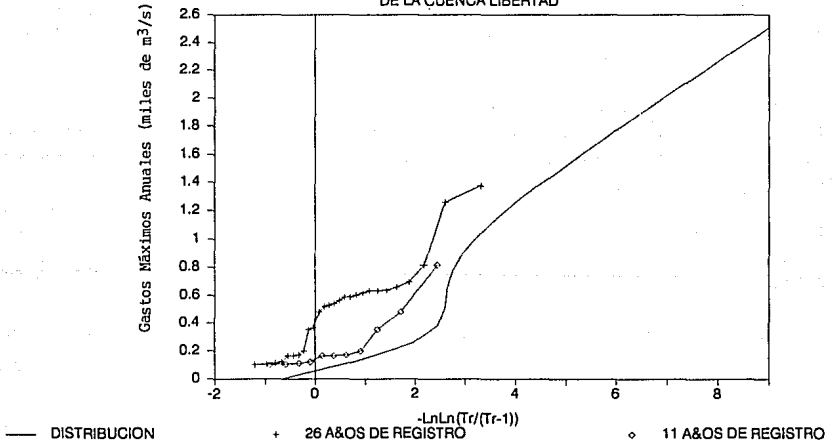


Figura VII.10

En particular una de las estaciones analizadas, La Esperanza, tiene un gasto máximo registrado que está muy por arriba de la función de distribución ajustada. Por información adicional⁷ de la estación, se sabe que dicho gasto no fue aforado efectivamente, puesto que el día que se presentó el pico máximo no fue posible aforar debido a que se desbordó el río en la sección de aforos.

Al comparar la tendencia de los datos de registro de la estación Camacho, cuya área de drenaje es de 428 km² y la de la estación Pablillo con área de drenaje de 994 km² con respecto a la función de distribución propuesta, se observa que la estación Camacho se ajusta mejor que la estación Pablillo, a pesar de que la segunda tiene un área de cuenca de aproximadamente el doble que la primera.

En la estación Pablillo se contó con la magnitud del gasto que se registró en 1988 después del paso del huracán Gilberto. Este valor no provocó un mejor ajuste hacia la función de distribución.

Por lo que respecta al hecho de considerar al área de drenaje como parámetro de regionalización, si se observa la Figura V.1, se puede apreciar una gran dispersión al relacionar los gastos máximos registrados con respecto a las áreas de drenaje, lo que hace patente la necesidad de involucrar otros factores como son la pendiente de la cuenca, la del cauce principal, la longitud del mismo, etc.

Como se mencionó en el Capítulo V, se intentó involucrar, entre otros factores, a la pendiente del cauce principal, sin conseguir con ello mejorar los resultados, sin embargo, esto pudo deberse a que las cuencas de las estaciones analizadas aún cuando se localizan en el barlovento de la montaña, no son "comparables" debido a que algunas se encuentran más próximas a la costa y otras no, lo que necesariamente repercute en la magnitud de la pendiente del cauce principal y dada la diversidad de magnitudes obtenidas no se logró establecer un comportamiento definido. Por otra parte, cuando se quiso relacionar el escurrimiento con la forma de hidrograma de la cuenca, ésta resultó ser tan variada que no permitió definir su tendencia. Por lo que respecta al intento de relacionar el tipo de suelo con su respuesta al escurrimiento, tampoco se logró tipificar el comportamiento.

Los tres puntos anteriores, así como lo comentado en el Capítulo V respecto a la humedad antecedente constatan la necesidad de continuar en el intento introducir nuevos parámetros que permitan modelar mejor la respuesta de la cuenca.

Si se analiza el hecho de utilizar un factor "ideal", se llegó a la conclusión de que no se puede recomendar la magnitud que éste debe tener debido a que no se agrupa o define alguna tendencia.

Al analizar la posible relación entre el área de la cuenca y el Factor "ideal", se pudo observar que éstos no tienen entre sí comportamientos semejantes.

Además, se deben evitar las estaciones que por su ubicación registren el mismo evento. Es decir, que una de ellas se encuentre aguas abajo de la otra.

El ejemplo de aplicación, para la estación hidrométrica de El Cuchillo, donde se contaba con 19 años de registro, muestra como el procedimiento propuesto conduce a resultados mucho más confiables que los métodos de uso común, sobre todo cuando se requiere estimar el gasto para periodos de retorno mayores de 50 años.

Recomendaciones

Tomando en cuenta la facilidad de contar con información, se recomienda utilizar los resultados de este trabajo en los siguientes casos.

- a) Si la información histórica cuenta con pocos años de registro (menos de 15) y se desea conocer el gasto asociado a un periodo de retorno mayor o igual a 100 años. Considerando inclusive cuencas sin aforos.
- b) Si el registro histórico contiene menos de 20 años y se busca conocer el gasto para un periodo de retorno mayor a 500 años.
- c) Si se pretende hacer estimaciones para un periodo de retorno mayor que 1000 años.

Capítulo VIII

Bibliografía

- 1.- R. Domínguez, R. Martínez y T. Vázquez,
"Avenidas de Diseño en Zonas Sujetas a la Acción Directa de Ciclones",
CENAPRED, 1991.
- 2.- T. Dalrymple,
"Flood-Frequency-Analyses",
Geological Survey Water Supply Paper 1543 - A, 1960.
- 3.- W. Viessman, J.W. Knapp, G.L. Lewis, T.E. Harbaugh,
"Introduction to Hydrology",
Harper & Row, 1977.
- 4.- G.W. Kite,
"Frequency and Risk Analyses in Hydrology",
Water Resources Publications, 1977.
- 5.- F.J. Aparicio M.,
"Fundamentos de Hidrología de Superficie",
Limusa, 1989.
- 6.- J.A. Smith,
"Regional Flood Frequency Analyses Using Extreme Order Statistics of the Annual Peak Record",
Water Resources Research, Vol 25, No.2, págs 311 - 317, february 1989.

Análisis Regional de Avenidas

- 7.- Boletín Hidrológico, Tomos I, II y III,
Secretaría de Recursos Hidráulicos, Región Hidrológica No. 27.
- 8.- Boletín Hidrológico No. 54, Tomos I, II y III,
Secretaría de Recursos Hidráulicos, Región Hidrológica No. 25.
- 9.- Boletín Hidrológico, Tomos I, II y III,
Secretaría de Recursos Hidráulicos, Región Hidrológica No. 24 Oriente.
- 10.- R. Domínguez M.,
"Análisis Regional de Tormentas y Avenidas de Diseño. Aplicación a la Cuenca del Papaloapan",
Tesis de Maestría, DEPMI, U.N.A.M., 1981.

de para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Hidráulica, U.N.A.M., 1982.
- 11.- F.J. González V.,
"Contribución al Análisis de Frecuencias de Valores Extremos de los Gastos Máximos en un Río",
Publicación 277, Instituto de Ingeniería, 1970.
- 12.- F.J. González V.,
"Estudio de Regionalización y Predicción de Tormentas y Avenidas de Diseño",
Informe Interno, Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., 1971.
- 13.- G.E. Ortega G.,
"Regionalización de Gastos Máximos para la República Mexicana",
SARH, Plan Nacional Hidráulico, 1975, segunda parte.
- 14.- Natural Environment Research Council.
Flood Studies Report, 5 vols,
1975.
- 15.- R. Domínguez M.
"Design floods for mixed urban/rural catchments",
Report No. IT 221, Hydraulics Research Station, Wallingford,
England, 1983.
- 16.- P. W. Jowitt
"Maximum Entropy and Bayesian Methods"
Ed. J. Skilling, 1989.