

01162

1



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

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

***CURVAS  $H_p$ -d-T DE LA REPÚBLICA MEXICANA  
PARA DURACIONES DE UNO A DIEZ DÍAS***

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA  
(HIDRÁULICA)**

**P R E S E N T A:  
JAIME JESÚS CARRERA HERNÁNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS: DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL



MEXICO D.F.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ABRIL 2002



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.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A mis padres,  
por su entrega y amor;  
por ser mi guía en la vida.

## Agradecimientos

A mis padres, por todo lo que me han dado; porque este es un logro que ha sido posible gracias a ellos. No existen palabras para expresar mi agradecimiento y amor a ustedes.

A Bárbara, por tu sonrisa y alegría; por ser parte de mi vida.

Al Dr. Carlos Escalante por la dirección del presente trabajo; por los conocimientos que me ha transmitido, por su apoyo y amistad.

Al Dr. Gabriel Echávez, por su amistad y por el apoyo que me ha brindado.

Al M. en I. Víctor Franco por haberme permitido ser parte del programa de becarios en el Instituto de Ingeniería, así como por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo y por las observaciones realizadas al mismo.

Al Ing. Gonzalo López de Haro, por haber cambiado mi percepción de la Hidrología.

Al Dr. Rodolfo Silva, Dra. Lilia Reyes y Dr. Rafael Carmona les agradezco los comentarios realizados al presente trabajo, así como el tiempo dedicado a la revisión del mismo.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado, por el apoyo económico que me otorgó.

A la Facultad de Ingeniería, por la formación y los conocimientos que me ha dado.

A la UNAM, mi *alma mater*.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ÍNDICE

---

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1</b>	
Curvas Intensidad – duración – Período de retorno	4
1.1.- Conceptos de probabilidad	5
1.1.1.- Período de retorno	6
1.1.2.- Variable aleatoria	7
1.2.- Análisis de frecuencias	9
1.2.1.- Pruebas de Homogeneidad	11
1.2.1.1.- Prueba de Helmer	11
1.2.1.2.- Prueba de las Secuencias	12
1.2.1.3.- Prueba de la t de Student	13
1.2.1.4.- Prueba de Cramer	14
1.2.2.- Pruebas de independencia	15
1.2.3.- Estimación de Parámetros	16
1.2.3.1.- Momentos	17
1.2.3.2.- Máxima Verosimilitud	19
1.2.3.3.- Momentos L	20
1.2.3.4.- Estimación de momentos a partir de los registros existentes	23
1.2.4.- Distribuciones de probabilidad Unvariadas	25
1.2.4.1.- Distribución Normal	25
1.2.4.2.- Distribución exponencial	26

---

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

---

1.2.4.3.- Distribución Lognormal de dos parámetros	27
1.2.4.4.- Distribución Lognormal de tres parámetros	27
1.2.4.5.- Distribución Gamma de dos parámetros	28
1.2.4.6.- Distribución Gamma con tres parámetros	29
1.2.4.7.- LogPearson Tipo III	30
1.2.4.8.- Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel)	30
1.2.4.9.- Distribución General de valores extremos	31
1.2.4.10.- Distribución Gumbel de dos componentes (Gumbel mixta univariada)	33
1.2.5.- Técnicas de bondad de ajuste	34
1.3.- Fórmulas empíricas	35
1.3.1.- Fórmula de Bell	35
1.3.2.- Fórmula de Chen	37
1.4.- Método de correlación lineal múltiple	40
<b>Capítulo 2</b>	
Métodos de interpolación	43
2.1.- Geoestadística	45
2.1.1.-Continuidad espacial	47
2.1.2.- Diagramas de dispersión	51
2.1.3.- El semivariograma	54
2.1.4.- Ajuste del semivariograma	54
2.2.- Método Kriging	56
<b>Capítulo 3</b>	
Curvas Hp-d-T para la República Mexicana	62
3.1.- Metodología	63
3.1.1.- Selección de registros	63

---

---

3.2.- Análisis de frecuencias	67
3.2.1.- Parámetros estadísticos	69
3.2.2.- Prueba de independencia	69
3.2.3.- Pruebas de homogeneidad	70
3.2.4.- Ajuste de las distribuciones	73
3.3.- Regionalización	74
3.4.- Selección de la distribución regional característica	76
3.5.- Comparación del método propuesto con la metodología actual	80
3.6.- Importancia de la regionalización	87
3.7.- Tablas Hp-d-T	89
<b>Capítulo 4</b>	
Aplicación de las Curvas Intensidad – duración – Período de retorno	91
4.1 Parámetros Geomorfológicos de una cuenca hidrológica	100
4.1.1.- Leyes de Horton	100
4.1.2.- Ley de los números de corriente	100
4.1.3.- Leyes de longitudes y áreas de corrientes	100
4.2.- Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico	100
4.2.1.- Estimación de la función de distribución de probabilidad de los tiempos de viaje	100
4.2.2.- Probabilidad de seguir una trayectoria determinada	100
4.2.3.- Definición del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico	100
4.3.- Cuenca del río Piaxtla	101
4.3.1- Descripción de la zona de estudio	101
4.3.2- Parámetros fisiográficos	102
4.3.2.1.- Área y centroide de la cuenca	103
4.3.2.2.- Longitud del cauce principal	105

---

---

4.3.2.3.- Pendiente de la corriente_____	105
4.3.3- Geomorfología de la Cuenca_____	107
4.3.3.1.- Orden de la corriente_____	107
4.3.3.2.- Relación de áreas, longitud y número de corrientes_____	107
4.3.4.- Obtención del hidrograma_____	114
<b>Conclusiones_____</b>	<b>128</b>
<b>Bibliografía_____</b>	<b>130</b>
<b>Anexo A</b>	
Ubicación de las estaciones climatológicas ubicadas en los estados de Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora_____	136
<b>Anexo B</b>	
Relación Hp-d-T para algunas estaciones de los estados de Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora_____	144
<b>Anexo C</b>	
Lista de símbolos_____	167
<b>Anexo D</b>	
Planos_____	170



# INTRODUCCIÓN

---

Para conocer las dimensiones de una estructura de almacenamiento o control, es necesario conocer el gasto y/o el volumen máximo que se puede presentar en el sitio de interés. En muchas ocasiones, se carece de información hidrométrica, por lo que es necesario recurrir a modelos lluvia - escurrimiento.

Las tormentas de diseño, definidas como la intensidad de lluvia ( $H_p/d$ ) para una duración de tormenta ( $d$ ) y un período de retorno ( $T$ ), son necesarias en la mayoría de los estudios hidrológicos y generalmente las duraciones pueden variar desde cinco minutos hasta diez días.

En nuestro país, se cuenta con mapas que muestran la relación  $H_p-d-T$  para algunos períodos de retorno y duraciones de hasta 120 minutos y 24 horas elaborados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1990). Lamentablemente, las duraciones mencionadas no son suficientes para aquellos casos en los que se desea utilizar un modelo lluvia - escurrimiento en cuencas hidrológicas cuyo tiempo de concentración es mayor a 24 horas.

La construcción de las curvas altura de lluvia-duración-período de retorno se realiza de acuerdo con la fuente de información disponible, ya sea pluviométrica o pluviográfica. El primer caso es el más común, ya que generalmente se cuenta con un

número mayor de pluviómetros en la red de monitoreo meteorológico y nuestro país no es la excepción, ya que únicamente el 13% de las estaciones climatológicas cuentan con pluviógrafo (Escalante y Domínguez, 2001). Por lo anterior, resulta atractivo el utilizar los registros de las estaciones pluviométricas, para así lograr una mayor cobertura del territorio nacional.

Debido a la necesidad y carencia de la relación Hp-d-T en nuestro país, el objetivo del presente trabajo es obtener estas relaciones para duraciones de 24 horas hasta 10 días. El análisis que se realizó en este trabajo, a diferencia de otros trabajos existentes, está sustentado en la regionalización de las estaciones climatológicas mediante el Coeficiente de Variación ( Cv ) de la lluvia máxima en 24 horas.

Para obtener estas relaciones, se utilizó la siguiente secuencia:

- 1.- Filtrado de los registros existentes, para seleccionar el número adecuado de estaciones.
- 2.- Regionalización de las estaciones climatológicas.
- 3.- Obtención de la distribución de probabilidad característica de cada una de las regiones homogéneas.
- 4.- Obtención de los parámetros para las distribuciones correspondientes a las regiones homogéneas.
- 5.- Obtención de la relación Hp-d-T.

Este trabajo se encuentra dividido en cinco capítulos. El primer capítulo, **Curvas Hp-d-T**, trata la obtención de dichas curvas mediante dos técnicas: análisis de frecuencias y fórmulas empíricas. Para delimitar las regiones homogéneas, es necesario estudiar el comportamiento del Coeficiente de Variación en el espacio, por lo cual es necesario

realizar interpolaciones con los valores conocidos; debido a esto, en el segundo capítulo, titulado **Métodos de Interpolación**, se abordan las técnicas de interpolación existentes enfocándose de forma particular en un método de interpolación. En el tercer capítulo, **Curvas Hp-d-T para la República Mexicana**, se explica a detalle el procedimiento que se utilizó para obtener las relaciones Hp-d-T, expuesto anteriormente. Para ilustrar la utilidad y necesidad de las curvas obtenidas, en el capítulo cuatro, **Aplicación de las curvas Hp-d-T**, se obtiene el hidrograma del Río Piaxtla, cuya cuenca abarca una superficie de aproximadamente 5,414 km<sup>2</sup> mediante el modelo del Hidrograma Unitario Geomorfológico; por último, se presentan las conclusiones.

Finalmente, cabe hacer notar que actualmente se están desarrollando trabajos similares al presente en diversas partes del mundo. En Estados Unidos de Norteamérica, el Departamento de Transporte de Michigan (Michigan Department of Transportation, 2002) está elaborando las curvas *Hp-d-T* para lluvias con duraciones de hasta 10 días, así como su Servicio Meteorológico Nacional lo está haciendo para la cuenca del río Ohio (U.S. National Weather Service , 2002 ), Hawai (U.S. National Weather Service, 2001) y Alaska.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPÍTULO 1

## Curvas altura de precipitación – duración – período de retorno

Las curvas altura de precipitación – duración – período de retorno ( $H_p$ -d-T) son una de las herramientas más utilizadas en Hidrología para planear, diseñar y operar proyectos hidráulicos, así como para la protección de diversas obras de Ingeniería, como carreteras, contra inundaciones y generalmente se presentan como se muestra a continuación, en la figura 1.1

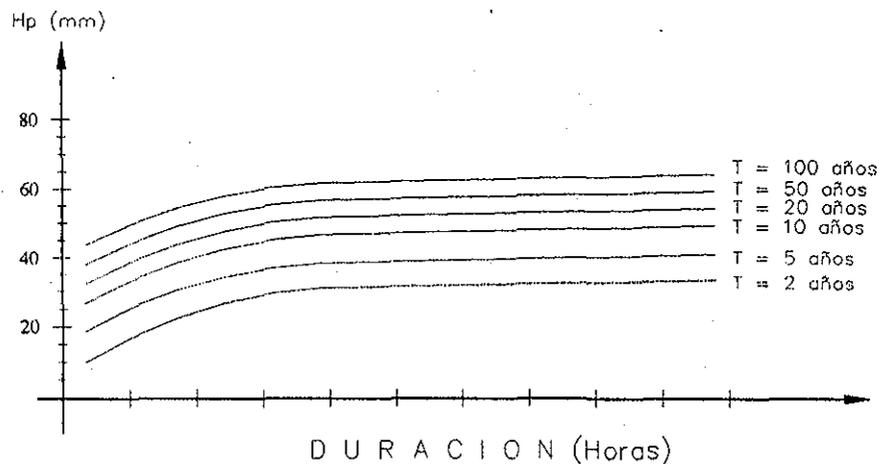


Figura 1.1.- Curvas  $H_p$ -d-T

El establecimiento de estas relaciones se remonta a 1932 (Koutsuyiannis, 1998) y desde entonces, se han desarrollado en diferentes países. Desde los años 60's, la

distribución geográfica de las Hp-d-T se ha estudiado en los países desarrollados y se han construido mapas en los que se muestran las intensidades o alturas de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno. Por ejemplo, en Estados Unidos estos mapas se han desarrollado desde 1961 por el US Weather Bureau (Hershfield, 1961; Miller, 1964) y por la NOAA para el oeste de dicho país (Miller, 1973), mismos que se han reproducido en libros como Chow (1964), Linsley et al (1975), Chow et al (1988) y Maidment et al (1993). En el Reino Unido e Irlanda, estos mapas fueron hechos por el Institute of Hydrology (NERC, 1975) y a su vez se muestran en libros de texto (Wilson, 1990). En nuestro país, se cuenta con mapas de este tipo desarrollados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1990), para duraciones pequeñas (hasta 120 minutos) y 24 horas con periodos de retorno de hasta 100 años.

Existen básicamente tres métodos para determinar la relación entre las variables Hp-d-T para un sitio determinado. El primero, llamado de altura de precipitación - periodo de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en Hidrología al realizar un análisis de frecuencias; el segundo método relaciona estas tres variables mediante formulas empíricas; finalmente, el tercer método consiste en relacionar estas tres variables mediante una correlación lineal múltiple (Aparicio, 1993).

### **1.1.- Conceptos de probabilidad**

Los problemas hidrológicos son visualizados y analizados a través de un modelo, el cual puede ser una conceptualización mental; una relación empírica; un implemento físico o una colección de declaraciones matemáticas, estadísticas o empíricas.

Un modelo hidrológico puede ser clasificado como determinístico, paramétrico, estocástico o una combinación de algunos o todos ellos (Haan, 1979). Un modelo completamente determinístico es aquel que se obtiene al considerar las relaciones físicas que lo gobiernan y para el cual no se utilizan datos experimentales; un modelo paramétrico puede ser visto como determinístico en el sentido que una vez que se han obtenido los parámetros del modelo éste siempre produce los mismos resultados para los mismos valores de entrada, pero por otro lado un modelo de este tipo es estocástico, debido a que la estimación de los parámetros depende de los valores observados y su valor cambiará conforme los datos varíen. Un modelo estocástico es aquél en el cual los resultados se obtienen por medios estadísticos; los valores que se obtengan con este modelo serán diferentes, aún cuando se utilicen los mismos datos de entrada.

Sin importar el tipo de modelo estocástico que se use, es necesario estimar los parámetros del modelo a partir de registros hidrológicos. La validez y aplicabilidad de un modelo de este tipo depende directamente de las características de los datos utilizados para estimar los parámetros del modelo; un modelo estocástico no puede ser mejor que los datos disponibles para estimar los parámetros (Haan, 1979). Los datos que se utilicen para estimar los parámetros del modelo deben ser representativos de la situación para la cual se va a utilizar el modelo; obviamente si se desea modelar el gasto en una zona urbana, los parámetros del modelo no pueden estimarse a partir de datos pertenecientes a una cuenca boscosa.

### **1.1.1.- Período de retorno**

Un concepto básico en Hidrología es el período de retorno ( $T$ ), el cual es el tiempo promedio que transcurre entre la ocurrencia o excedencia de un evento con cierta

magnitud. Por ejemplo, la lámina de 25 años período de retorno es aquella que es igualada o superada una vez cada 25 años en caso de que se utilicen series de máximos anuales. Lo anterior no implica que la excedencia de este evento ocurre exactamente cada 25 años, sino que el tiempo promedio de excedencia es de 25 años. Evidentemente, el concepto de período de retorno no se aplica únicamente a eventos máximos o extremos, sino que también se puede aplicar a gastos mínimos o sequías; en estos casos el período de retorno es el tiempo promedio que transcurre entre que se presente un evento con cierta magnitud o bien, menor a éste. Un evento de este tipo también puede ser denominado como excedente, ya que la severidad de una sequía puede exceder un valor determinado (Haan, 1979).

Sin importar el hecho de que el período de retorno se refiera a un evento mayor o menor a un cierto valor, el período de retorno puede relacionarse a una probabilidad de excedencia. Si un excedente ocurre en un lapso promedio igual a 25 años, entonces la probabilidad de que dicho evento se presente en un año cualquiera es de  $1/25 = 0.04$  o 4%. De lo anterior, la probabilidad  $P$  y el período de retorno  $T$  están relacionados por:

$$T = \frac{1}{P} \quad (1.2)$$

### 1.1.2.- Variable aleatoria

Otro concepto importante en Hidrología es el de muestra aleatoria. Una muestra es una colección de objetos seleccionada de una colección mayor de objetos del mismo tipo. La colección de objetos más grande, si incluye a todos los objetos posibles, es llamada la población (Haan, 1979). Por ejemplo, 20 años de registros correspondientes a gastos máximos en un río es una muestra de todos los gastos máximos posibles en el mismo. Una muestra aleatoria es aquella que es seleccionada de tal manera que tenga la

misma probabilidad de ser seleccionada que cualquier otra. Si los 20 años de registro son considerados una muestra aleatoria, entonces se está asumiendo que esos 20 años tienen la misma probabilidad de ser elegidos que otros 20 años de registro.

En algunos tipos de análisis, el orden de ocurrencia de los datos no es importante; lo que importa son las magnitudes de los datos; un ejemplo de esto es el análisis de frecuencias. Si la muestra contiene elementos que son independientes entre sí, entonces el orden de ocurrencia no es importante; lo anterior equivale a decir que la magnitud de un elemento en la muestra no se ve afectada por la magnitud de los eventos restantes en la muestra, por lo cual se considera que cada elemento en la muestra es una variable aleatoria. Por otro lado, existen situaciones donde el orden de los eventos es importante. Por ejemplo, al diseñar una presa de almacenamiento para satisfacer ciertas demandas de agua, el hecho de que gastos pequeños sean precedidos por gastos pequeños hace necesario el diseñar un mayor almacenamiento que aquél necesario en caso de que los gastos pequeños se presentaran de forma aleatoria en el tiempo; a esta situación se le denomina persistencia e indica que los elementos de una muestra no son independientes entre sí, por lo cual a toda la secuencia de datos se le considera como la variable aleatoria. Los eventos que componen a la muestra no son independientes (Haan, 1979).

El comportamiento de una variable aleatoria puede ser descrito por su distribución de probabilidad, es decir, que a cada evento posible de un experimento se le asigna un valor numérico de acuerdo con una función discreta de probabilidad de masa, o bien, de acuerdo con una función de probabilidad continua. En Hidrología, las variables aleatorias discretas son utilizadas para describir el número de ocurrencias que satisfacen un cierto criterio, como por ejemplo el número de gastos que exceden un cierto valor o el número

de tormentas que ocurren en un punto determinado. La función de distribución de probabilidad (FDP) se define como:

$$P(a \leq x \leq b) = \sum_{a \leq x_i \leq b} P(x_i) \quad (1.3)$$

Por otro lado, para una variable aleatoria continua, el área debajo de la función de densidad de probabilidad  $f(x)$  (fdp) representa la probabilidad, por lo cual:

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (1.4)$$

Y el área total bajo la fdp es igual a 1.0:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1.0 \quad (1.5)$$

La función que se obtiene al efectuar la integración mencionada con anterioridad, es llamada función de distribución de probabilidad (FDP), la cual se define como:

$$F(x_1) = P(-\infty \leq x \leq x_1) = \int_{-\infty}^{x_1} f(x) dx \quad (1.6)$$

## 1.2.- Análisis de frecuencias

El análisis de frecuencias es un problema de información: si se contara con un registro lo suficientemente largo de gastos o lluvias, entonces la distribución de frecuencias para un sitio estaría determinado de forma precisa, siempre y cuando los cambios como la urbanización no alteraran el fenómeno en estudio. Lo anterior obliga a los hidrólogos a utilizar un conocimiento práctico de los procesos involucrados en el fenómeno de interés, así como el utilizar técnicas estadísticas robustas y eficientes con la finalidad de calcular el mejor valor estimado del evento futuro. Las técnicas mencionadas anteriormente se

encuentran restringidas al uso de muestras cuya longitud varía de 10 a 100 años en el mejor de los casos y en ocasiones se utilizan para obtener la probabilidad de excedencia de 1 en 1,000 o inclusive de 1 en 10,000 para el diseño de obras de excedencia.

Cuando se cuenta con registros pluviométricos o pluviográficos, se pueden construir las curvas Hp-d-T utilizando el análisis de frecuencias, de acuerdo a los siguientes pasos:

- 1.- Seleccionar el tiempo de duración de la lluvia.
- 2.- Para cada año del registro se escoge la máxima altura de precipitación para la duración obtenida en el paso anterior.
- 3.- Se debe probar la independencia y la homogeneidad de la muestra (Escalante, inédito).
- 4.- Se ajusta una función de probabilidad. Para determinar cuál es la función que se debe utilizar, se escoge aquella con el menor error estándar de ajuste (Escalante, inédito).
- 5.- Con la función de probabilidad seleccionada, se obtienen los eventos de diseño para los diferentes periodos de retorno.
- 6.- Se repiten los pasos dos a cinco en caso de que se requieran otras duraciones.

Para poder realizar un análisis de frecuencias, se requiere que los registros sean homogéneos e independientes (Escalante, inédito). La restricción de homogeneidad asegura que todas las observaciones pertenezcan a una misma población (por ejemplo que una estación hidrométrica no ha sido cambiada de lugar, que una cuenca no ha sido urbanizada o que en un cauce no han sido construidas estructuras de regulación y/o almacenamiento). Por otro lado, la prueba de independencia asegura que un evento hidrológico no depende de otros eventos hidrológicos ocurridos con anterioridad.

### 1.2.1.- Pruebas de homogeneidad

Una serie de datos es homogénea si es una muestra de una sola población. La homogeneidad de una serie se puede perder por causas físicas, tales como cambios en la estación pluviométrica (o pluviográfica) así como por cambios en el medio ambiente. A continuación se muestran algunas de las causas que ocasionan la pérdida de homogeneidad en un registro de precipitación (Campos,1988):

- Cambio en la localización del pluviómetro o pluviógrafo.
- Cambio en la forma de exposición o reposición del aparato.
- Cambio en el procedimiento de observación.
- Construcción de embalses en las cercanías.
- Deforestación o reforestación en la zona.
- Deseccación de pantanos
- Industrialización o urbanización en áreas circundantes.

Las causas anteriores conducen a errores de tipo sistemático, los cuales son importantes, ya que su efecto es acumulativo. De forma adicional, existen los errores de tipo accidental o aleatorio y que se pueden deber al observador o bien, al transcribir o copiar los registros. Para analizar la homogeneidad de los registros, se utilizan cuatro pruebas, las cuales se exponen en los siguientes apartados.

#### a) Prueba estadística de Helmer

Consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento de la serie con respecto a su valor medio. Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo,

entonces se forma una secuencia (S), mientras que cuando cambia de signo se presenta un cambio (C). Para que la serie sea homogénea, la diferencia entre el número de secuencias y cambios se debe de encontrar por debajo de un cierto límite, el cual depende de la longitud del registro y que está dado por

$$S - C = \pm \sqrt{n-1} \quad (1.7)$$

**b) Prueba estadística de las secuencias**

En esta prueba, se deben contar las secuencias que se encuentran por arriba o por abajo de la mediana de la serie. El valor de la mediana se obtiene al ordenar los datos con respecto a su magnitud y seleccionando el valor central en el caso de que  $n$  sea impar, o bien, la media aritmética de los dos valores centrales en caso de que  $n$  sea par. En caso de que un valor de la serie sea mayor que la mediana, se le asigna una A; en caso contrario la letra correspondiente es B; finalmente, se cuentan las sucesiones de A o B (cada sucesión representa una secuencia). La serie es homogénea si el número de secuencias se encuentra dentro del rango marcado en la siguiente tabla.

Número de Datos	Rango de secuencias
12	5 a 8
14	5 a 10
16	6 a 11
18	7 a 12
20	8 a 13
22	9 a 14
24	9 a 16
26	10 a 17
28	11 a 18
30	12 a 19

Número de Datos	Rango de secuencias
32	13 a 20
34	14 a 21
36	15 a 22
38	16 a 23
40	16 a 25
50	22 a 30
60	26 a 36
70	31 a 41
80	35 a 47
100	45 a 57

**Tabla 1.8.-** Prueba de las secuencias para verificar la homogeneidad de registros.

c) Prueba de t de student

Esta prueba es útil para detectar inconsistencias de la media. Para su uso se recomienda que el tamaño de los registros que se utilizan para comparar dos medias sean similares. A continuación se muestra la ecuación fundamental de esta prueba.

$$t_d = \frac{x_1 - x_2}{\left[ \frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1.9)$$

En esta ecuación,  $s_1^2$  y  $s_2^2$  son las varianzas de  $x_i$  en los correspondientes periodos de registro, por lo cual  $n_1 s_1^2$  y  $n_2 s_2^2$  se pueden calcular con la siguiente ecuación

$$n_1 s_1^2 = \sum_1^n x_i^2 - \frac{1}{n_1} \left( \sum_1^n x_i \right)^2 \quad (1.10)$$

El valor absoluto de  $t_d$  se compara generalmente con el valor de  $t$  de la distribución t de Student de dos colas y con  $v = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y con un nivel de significancia del 5%. Los valores de  $t$  corresponden a los que se muestran en la tabla 1.11.

Se concluye que la diferencia entre las medias es muestra de no homogeneidad si y sólo si el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que el de  $t$ .

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Grados de libertad	Nivel de significancia	
	5% (1)	5% (2)
1	6.314	12.706
2	2.920	4.303
3	2.353	3.182
4	2.132	2.776
5	2.015	2.571
6	1.943	2.447
7	1.895	2.365
8	1.860	2.306
9	1.833	2.262
10	1.812	2.228
11	1.796	2.201
12	1.782	2.179
13	1.771	2.160
14	1.761	2.145
15	1.753	2.131
16	1.746	2.120
17	1.740	2.110

Grados de libertad	Nivel de significancia	
	5% (1)	5% (2)
18	1.734	2.101
19	1.729	2.093
20	1.725	2.086
21	1.721	2.080
22	1.717	2.074
23	1.714	2.069
24	1.711	2.064
25	1.708	2.060
26	1.706	2.056
27	1.703	2.052
28	1.701	2.048
29	1.699	2.045
30	1.697	2.042
31	1.684	2.021
32	1.671	2.000
33	1.658	1.980
34	1.645	1.960

(1) Prueba de una cola  
(2) Prueba de dos colas

**Tabla 1.11.-** Prueba de la *t* de Student para verificar la homogeneidad de registros.

**d) Prueba estadística de Cramer**



Esta prueba consiste en comparar la media de toda la serie con la media de una cierta parte del registro para comprobar la homogeneidad de la serie; asimismo, es complemento de la *t* de Student, ya que ésta no es recomendable cuando  $n_1$  y  $n_2$  no son parecidos. En las siguientes fórmulas,  $s$  y  $x$  corresponden a la desviación y a la media del registro total, mientras que  $x_k$  es la media del subperiodo con  $n'$  valores.

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=k+1}^{i=k+n} x_i}{n'} \quad \tau_k = \frac{(x_k - \bar{x})}{s} \quad t_k = \left[ \frac{n'(n-2)}{n-n'(1+\tau_k^2)} \right]^2 \tau_k \quad (1.12)$$

El valor  $t_k$  debe tener distribución  $t$  de Student de dos colas con  $v = n-2$  grados de libertad; en caso de que esto no suceda, la serie no es homogénea.

### 1.2.2.- Prueba de independencia

El análisis de la independencia de los registros es muy importante, ya que para poder aplicar funciones de probabilidad a dichos registros, éstos deben ser aleatorios, lo cual sucede cuando la muestra es independiente. Para analizar la independencia de una muestra es necesario realizar la prueba de Anderson o prueba del correlograma. Dependiendo del tamaño de la muestra, se deben obtener  $k$  coeficientes de autocorrelación con la siguiente expresión

$$k = \frac{n}{3} \quad r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})} \quad (1.13)$$

Los límites del valor de cada coeficiente de correlación lineal está dado por la siguiente expresión:

$$\gamma_{k(95\%)} = \frac{-1 \pm 1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (1.14)$$

Una vez que se obtienen los límites y los coeficientes de autocorrelación, se representan gráficamente y se observa qué porcentaje de los coeficientes exceden los

límites; en caso que mas del 10% de estos puntos excedan dichos límites, entonces se concluye que la muestra no es independiente.

### 1.2.3.- Estimación de parámetros

Los parámetros de las distribuciones de probabilidad que se utilicen para obtener los eventos de diseño, deben tener las siguientes características (Haan, 1979):

- *Sesgo Nulo:* Un estimador  $\hat{\theta}$  de un parámetro  $\theta$  se dice que es no sesgado si el valor  $E(\hat{\theta})=\theta$
- *Consistencia* Un estimador  $\hat{\theta}$  de un parámetro  $\theta$  se dice que es consistente si la probabilidad de que  $\hat{\theta}$  difiera de  $\theta$  por mas de una constante arbitraria  $\zeta$  se aproxima a cero conforme el tamaño de la muestra tienda a infinito.
- *Eficiencia:* Un estimador  $\hat{\theta}$  se dice que es el mas eficiente estimador para  $\theta$  si tiene sesgo nulo y su varianza es al menos tan pequeña como la de cualquier otro estimador sin sesgo de  $\theta$
- *Suficiencia:* Un estimador  $\hat{\theta}$  se dice que es un estimador suficiente de  $\theta$  si  $\hat{\theta}$  utiliza toda la Información relevante a  $\theta$  que se encuentra en la muestra.

### 1.2.3.1.- Estimación de parámetros por el método de momentos

Este es uno de los procedimientos mas comunes para estimar los parámetros de una distribución de probabilidad. Para una distribución de  $m$  parámetros, el procedimiento consiste en igualar los primeros  $m$  momentos de la distribución con los primeros  $m$  momentos de la muestra, lo cual resulta en un sistema de  $m$  ecuaciones con  $m$  incógnitas (Haan, 1979).

Para una función discreta de probabilidad el n-ésimo momento con respecto al origen se define como:

$$\mu_n' = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x_i^n P(x_i) \quad (1.15)$$

Mientras que para una distribución continua es:

$$\mu_n' = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f(x) dx \quad (1.16)$$

El primer momento con respecto al origen es la media o valor esperado y se denota por  $E[X]$ , por lo cual:

$$E[X] \equiv \mu = \sum_{-\infty}^{\infty} x_i P(x_i) \quad \text{Para una función discreta} \quad (1.17)$$

$$E[X] \equiv \mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx \quad \text{Para una función continua} \quad (1.18)$$

La media es una medida de tendencia central y también se le llama parámetro de ubicación, ya que indica el lugar, - en el eje x - para el cual se encuentra acumulada la función.

Los momentos de mayor orden con respecto al origen generalmente no son necesarios. En su lugar, se utilizan los momentos centrales respecto a la media, los cuales, para una función discreta se definen por

$$\mu_n = \sum_{-\infty}^{\infty} (x_i - \mu)^n P(x_i) \quad (1.19)$$

Y para una función continua es

$$\mu_n = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^n f(x) dx \quad (1.20)$$

Estos momentos son simplemente el valor esperado de la diferencia entre  $x$  y la media, elevado a la  $n$ -ésima potencia. Evidentemente el primer momento central es igual a cero. El segundo momento es conocido como varianza, la cual se define de la siguiente forma para variables aleatorias discretas

$$\text{Var}(x) \equiv \sigma^2 = \mu_2 = E[(x - \mu)^2] = \sum_{-\infty}^{\infty} (x_i - \mu)^2 P(x_i) \quad (1.21)$$

Mientras que para variables aleatorias continuas es

$$\text{Var}(x) \equiv \sigma^2 = \mu_2 = E[(x - \mu)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (1.22)$$

La varianza es el cuadrado del valor esperado de las desviaciones con respecto a la media y representa la escala o dispersión de la distribución. Una medida equivalente es la desviación estándar ( $\sigma$ ), que es simplemente la raíz cuadrada de la varianza.

Otro momento muy utilizado en Hidrología es la asimetría o sesgo ( $g$ ), que es igual al tercer momento central normalizado por el cubo de la desviación estándar.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

$$g \equiv \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (1.23)$$

La asimetría es un parámetro de forma; cuando la distribución es simétrica, el valor de la asimetría es igual a cero.

Adicionalmente, existe un parámetro estadístico adicional llamado coeficiente de variación ( $C_v$ ), el cual es un parámetro de escala normalizado. Este coeficiente se define como la relación existente entre la desviación estándar y la media, por lo cual

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1.24)$$

### 1.2.3.2.- Estimación de parámetros por el método de máxima verosimilitud

Si se tienen  $n$  observaciones al azar  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , su distribución conjunta de probabilidad está dada por  $p_x(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ . Debido a que en una muestra al azar las  $x_i$  son independientes, su probabilidad conjunta puede escribirse como  $p_x(x_1; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)p_x(x_2; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)\dots p_x(x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ . Esta última expresión es proporcional a la probabilidad de que la muestra aleatoria sea obtenida a partir de la población y se conoce como función de similitud (Haan, 1979; Sing, 1990).

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) = \prod_{i=1}^n p_x(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \quad (1.25)$$

Los  $m$  parámetros son desconocidos. Los valores de estos  $m$  parámetros que maximizan la similitud de que la muestra que se tiene es aquella que se obtendría si  $n$  observaciones realizadas al azar fueran seleccionadas de  $p_x(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$  son conocidos como los estimadores de máxima verosimilitud. El procedimiento de estimación de parámetros consiste en encontrar los valores de  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$  que maximicen la función

de similitud. Lo anterior se logra al tomar la derivada parcial de  $L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$  con respecto a cada una de las  $\theta_i$  e igualar las expresiones resultantes a cero; este sistema de  $m$  ecuaciones para  $m$  incógnitas se resuelve para los  $m$  parámetros desconocidos.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \theta_1} L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \theta_2} L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) &= 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial}{\partial \theta_m} L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) &= 0 \end{aligned} \tag{1.26}$$

Debido a que algunas funciones de probabilidad involucran a la función exponencial, a veces es más sencillo el maximizar el logaritmo natural de la función de similitud; ya que la función logarítmica es monótona, los valores de las  $\theta_i$  que maximizan al logaritmo de la función de similitud también maximizan a la función de similitud.

### 1.2.3.3.- Estimación de parámetros por el método de momentos – L

Los momentos L son otra alternativa para encontrar los parámetros de las distribuciones de probabilidad. El primer estimador por momentos L es la media, definida como (Stedinger et al, 1993)

$$\lambda_1 = E[x] \tag{1.27}$$

Sea  $X_{(i|n)}$  la  $i$ -ésima observación en una muestra de tamaño  $n$  ordenada de mayor a menor ( $i=1$  corresponde a la muestra mas grande). Entonces, para cualquier distribución de probabilidad el segundo momento L es una descripción de escala basada en la diferencia esperada entre dos observaciones seleccionadas de forma aleatoria (Stedinger et al, 1993)

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E[X_{(1|2)} - X_{(2|2)}] \quad (1.28)$$

De forma similar, la asimetría por momentos L es (Stedinger, 1993)

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} E[X_{(1|3)} - 2X_{(2|3)} + X_{(3|3)}] \quad (1.29)$$

Así como la varianza o el coeficiente de asimetría de una función aleatoria son funciones de los momentos  $E[X]$ ,  $E[X^2]$ ,  $E[X^3]$ , los momentos L pueden escribirse en función de los momentos de probabilidad pesada (MPP), que se pueden definir como (Stedinger et al, 1993; Sankarasubramanian, 1999):

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (1.30)$$

Donde  $F(X)$  es la función de distribución acumulada para  $X$ . Los momentos de probabilidad pesada son el valor esperado de  $X$  veces la potencia de  $F(X)$ . Para  $r = 0$ ,  $\beta_0$  es la media poblacional  $\mu_x$ .

Los estimadores de los momentos L son comúnmente escritos como funciones lineales de los estimadores de los momentos de probabilidad pesada. El primer estimador del momento de probabilidad pesada  $b_0$  de  $\beta_0$  es la media (Stedinger et al, 1993)

$$b_0 = \mu_x = \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (1.31)$$

Para estimar otros momentos de probabilidad pesada, se utilizan las observaciones ordenadas, o los estadísticos de orden, en los que la muestra se ordena en forma descendente:

$$X_{(n)} \leq X_{(n-1)} \leq \dots \leq X_{(1)}$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Entonces, un estimador  $\beta_r$ , para  $r \geq 1$  es (Stedinger et al, 1993)

$$b_r^* = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{(j)} \left[ 1 - \frac{(j-0.35)}{n} \right]^r \quad (1.32)$$

Donde  $1-(j-0.35)/n$  es un estimador de  $F(x(j))$ . El uso de  $b_r^*$  se recomienda para ajustar una distribución de probabilidad a la muestra de un sitio determinado, debido a que es un estimador con sesgo. En caso de que se realicen estudios de regionalización, Stedinger et al (1993) recomiendan el uso de los siguientes estimadores para los momentos de probabilidad pesada

$$b_0 = \bar{X} \quad (1.33)$$

$$b_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(n-j)X_{(j)}}{n(n-1)} \quad (1.34)$$

$$b_2 = \sum_{j=1}^{n-2} \frac{(n-j)(n-j-1)X_{(j)}}{n(n-1)(n-2)} \quad (1.35)$$

$$b_3 = \sum_{j=1}^{n-3} \frac{(n-j)(n-j-1)(n-j-2)X_{(j)}}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (1.36)$$

Los estimadores mostrados arriba, se obtienen a partir de la siguiente fórmula general (Stedinger, 1993; Sankarasubramanian, 1999)

$$\beta_r = b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n-r} \frac{\binom{n-j}{r} X_{(j)}}{\binom{n-1}{r}} \quad (1.37)$$

Para  $r=1, \dots, n-1$

La fórmula anterior se obtiene al considerar que  $(r+1)\beta_r$  es el valor esperado de aquella observación cuya magnitud sea la mayor en una muestra de tamaño  $(r+1)$

Para cualquier distribución, los momentos-L se pueden obtener en términos de los momentos de probabilidad pesada de la siguiente forma (Stedinger et al, 1993)

$$\lambda_1 = \beta_0 \tag{1.38}$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \tag{1.39}$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \tag{1.40}$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \tag{1.41}$$

Los valores estimados de  $\lambda_i$  se obtienen al reemplazar la incógnita  $\beta_r$  por los estimadores muestrales  $b_r$ .

#### 1.2.3.4.- Estimación de momentos a partir de los registros existentes

Si se tienen valores de los parámetros de una distribución, entonces es posible generar varias series  $x_1, x_2, \dots, x_n$  de variables aleatorias que pertenezcan a una FDP. Estas series de longitud infinita formarían la población de todas las variables aleatorias pertenecientes a una distribución de probabilidad. De forma similar, los parámetros de la distribución definen los momentos de la misma ya que como se vio en la sección anterior, estos se encuentran relacionados. Los eventos hidrológicos son resultado de una combinación de procesos físicos (el escurrimiento medido en una estación hidrométrica es el resultado del grado de saturación del suelo y de la cantidad de lluvia que se presente) y están sujetas al error humano, por lo cual no se ajustarán de forma perfecta a una distribución; debido a lo anterior, los valores poblacionales de los momentos calculados a partir de los registros serán desconocidos. Sin embargo, se pueden obtener valores estimados de dichos

momentos a partir de las muestras, como se muestra a continuación para los tres momentos mas utilizados en Hidrología (Bedient y Huber, 1988).

Si el número de eventos independientes de una variable aleatoria es  $n$ , un estimado de la media es:

$$\mu = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.42)$$

Los momentos de mayor orden, son sujetos a presentar sesgo en sus valores estimados. Un estimador sin sesgo es aquel para el cual el valor esperado del estimado es igual al valor poblacional. Para la varianza, un estimador sin sesgo es:

$$\sigma^2 \equiv S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1.43)$$

Donde el denominador  $n-1$  (en lugar del valor lógico  $n$ ) elimina el sesgo. Es evidente que para muestras con periodos de registro largos, el denominador  $n$  arrojaría casi el mismo resultado, e inclusive se puede observar en la práctica el uso de ambos valores, aunque es aconsejable utilizar el estimador sin sesgo.

El coeficiente de asimetría presenta mayores problemas, debido a que involucra la sumatoria de las desviaciones con respecto a la media elevadas al cubo, por lo cual presenta un mayor sesgo al momento de obtenerlo. Un estimador sin sesgo de la asimetría es:

$$\hat{g} = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3}{S_x^3} \quad (1.44)$$

Donde  $S_x^2$  está dado por la ecuación 1.43.

**1.2.4.- Distribuciones de probabilidad univariadas**

**1.2.4.1.- Distribución Normal**

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (1.45)$$

Donde :

$\mu$  = media (parámetro de ubicación)     $\sigma$  = desviación estándar (parámetro de escala)

**Obtención de los parámetros por momentos**

$$\mu = \bar{x} \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1} \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (1.46)$$

**Obtención de los parámetros por momentos L**

$$\lambda_1 = \mu \quad \lambda_2 = \frac{\sigma}{\sqrt{\pi}} \quad (1.47)$$

El evento de diseño deseado (para un periodo de retorno  $T$ ), se obtiene de la siguiente forma:

$$X_T = \mu + \sigma U_T \quad (1.48)$$

donde

$$U_T \cong W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (1.49)$$

$$C_0 = 2.515517 \quad d_1 = 1.432788$$

$$C_1 = 0.802853 \quad d_2 = 0.189269$$

$$C_2 = 0.010328 \quad d_3 = 0.001308$$

$$W = \begin{cases} \sqrt{\text{Ln}\left\{\frac{1}{[P(t)]^P}\right\}} & \text{Si } P(t) < 0.5 \\ \sqrt{\text{Ln}\left\{\frac{1}{[1-P(t)]^P}\right\}} & \text{Si } P(t) > 0.5 \end{cases} \quad \mu_T = -\mu_T \quad (1.50)$$

La distribución normal tiene un coeficiente de asimetría igual a cero ( $\gamma = 0$ ).

### 1.2.4.2.- Distribución exponencial

De un parámetro:

$$F(x) = 1 - \beta e^{-\beta x} \quad x > 0 \quad (1.51)$$

$$\text{Media} = \frac{1}{\beta} \quad \text{Varianza} = \frac{1}{\beta^2} \quad (1.52)$$

$\beta$  = Parámetro de escala.

De dos parámetros:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad (1.53)$$

$$\text{Media} = X_0 + \beta \quad \text{Varianza} = \beta^2 \quad \text{Sesgo} = g = 2 \quad (1.54)$$

$X_0$  = Parámetro de ubicación       $\beta$  = Parámetro de escala

Obtención de los parámetros por momentos:

$$\hat{\beta} = S \quad \hat{X}_0 = \bar{x} - S \quad (1.55)$$

Obtención de los parámetros por máxima verosimilitud:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_1)}{N-1} \quad \hat{x}_0 = x_1 - \frac{1}{N} \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_1)}{N-1} \right] \quad (1.56)$$

Donde  $X_i$  corresponde al primer valor de la muestra ordenada de menor a mayor

(Valor mas pequeño de la muestra)

1.2.4.3.- Distribución Lognormal de dos parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2} \quad (1.57)$$

$\mu_y$  = Parámetro de ubicación       $\sigma_y$  = Parámetro de escala       $\gamma > 0$

Obtención de los parámetros por momentos:

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \quad \sigma_y = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (\ln(x_i) - \mu_y)^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (1.58)$$

Y los eventos de diseño se calculan con:

$$x_T = \exp[\mu_y + u_T \sigma_y] \quad (1.59)$$

1.2.4.4.- Distribución Lognormal de tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x-x_0)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (1.60)$$

$\mu_y$  = Parámetro de forma       $\sigma_y$  = Parámetro de escala

$x_0$  = Parámetro de ubicación

Obtención de los parámetros:

Momentos:

$$x_0 = \bar{x} - \frac{S}{\eta_z} \quad \eta_z = \frac{1-w^{2/3}}{w^{1/3}} \quad w = \frac{(g^2+4)^{1/2} - g}{2} \quad (1.61)$$

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \quad \sigma_y = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (\ln(x_i) - \mu_y)^2}{N-1} \right]^{1/2} \quad (1.62)$$

Finalmente, los eventos de diseño se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$x_T = x_0 + \exp[\mu_y + u_T \sigma_y] \quad (1.63)$$

Al utilizar la función Lognormal, se comienza con la Lognormal de tres parámetros; en caso de que el parámetro  $x_0$  sea casi igual a cero, entonces se debe utilizar la de dos parámetros.

#### 1.2.4.5.- Distribución Gamma de dos parámetros

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \quad (1.64)$$

$\alpha > 0$        $0 < \beta < 2$       si  $\beta < 10$  no se recomienda su uso

$$\text{Media} = \beta x \quad \text{Varianza} = \alpha^2 \beta \quad \text{Sesgo} = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (1.65)$$

Obtención de los parámetros:

Momentos:

$$\hat{\alpha} = \frac{S^2}{x} \quad \hat{\beta} = \left( \frac{x}{S} \right)^2 \quad (1.66)$$

Máxima verosimilitud:

$$\hat{\alpha} = \frac{x}{\hat{\beta}} \quad \hat{\beta} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} A}}{4A} \quad A = \ln x - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(x_i) \quad (1.67)$$

El evento de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$x_T = \hat{\alpha} \hat{\beta} \left[ 1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + u_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}} \right]^3 \quad (1.68)$$

1.2.4.6.- Distribución Gamma con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left( \frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{x-x_0}{\alpha} \right)} \quad (1.69)$$

$x_0$  = Parámetro de ubicación     $\alpha$  = Parámetro de escala     $\beta$  = Parámetro de forma

$$\text{Media} = x_0 + \beta\alpha \quad \text{Varianza} = \alpha^2\beta \quad \text{Sesgo} = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (1.70)$$

Obtención de los parámetros:

Por momentos:

$$\hat{\beta} = \frac{4}{g^2} \quad \hat{\alpha} = \frac{gS}{2} \quad \hat{x}_0 = \bar{x} - \hat{\alpha}\hat{\beta} \quad (1.71)$$

Por máxima verosimilitud:

$$\hat{\beta} = \frac{1}{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_0) \sum_{i=1}^N \left[ \frac{1}{x_i - \hat{x}_0} \right]}{N^2}} \quad \hat{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_0) - \frac{N}{\sum_{i=1}^N \left[ \frac{1}{x_i - \hat{x}_0} \right]} \quad (1.72)$$

Donde  $x_0$  se obtiene al resolver:

$$F(\hat{x}_0) = \sum_{i=1}^N \text{Ln}(x_i - \hat{x}_0) - N \text{Ln}(\hat{\alpha}) - N \Psi(\hat{\beta}) = 0 \quad (1.73)$$

A su vez,  $\psi(\beta)$  (función digamma de  $\beta$ ) está dada por:

$$\Psi(\hat{\beta}) = \text{Ln} \hat{\beta} - \frac{1}{2\hat{\beta}} - \frac{1}{12\hat{\beta}^2} \quad (1.74)$$

Si se va a utilizar la función Gamma, primero se debe utilizar la función Gamma de dos parámetros para obtener los parámetros de inicio para la función Gamma de tres parámetros.

#### 1.2.4.7.- LogPearson Tipo III

Esta función es similar a la función Gamma de tres parámetros, con la diferencia de que se utilizan logaritmos.

Los eventos de diseño se calculan con

$$x_T = \exp \left[ \alpha \beta \left( 1 - \frac{1}{9\beta} + u_T \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right)^3 + \hat{x}_0 \right] \quad (1.75)$$

#### 1.2.4.8.- Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel)

$$f(x) = -\frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (1.76)$$

$u$  = Parámetro de ubicación       $\alpha$  = Parámetro de escala

$$\text{Media} = u + 0.5772\alpha \quad \text{Varianza} = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad \text{Sesgo} = 1.14 \quad \text{Curtosis} = 5.4 \quad (1.77)$$

Obtención de los parámetros:

Por momentos:

$$\hat{u} = \bar{x} - 0.45S \quad \hat{\alpha} = 0.78S \quad (1.78)$$

Por máxima verosimilitud:

$$P = N - \sum_{i=1}^N e^{-y_i} \quad R = N + \sum_{i=1}^N y_i e^{-y_i} - \sum_{i=1}^N y_i \quad y_i = \frac{x_i - \hat{u}}{\hat{\alpha}} \quad (1.79)$$

$$\hat{u}_{j+1} = u_j + \delta u_j \qquad \hat{\alpha}_{j+1} = \alpha_j + \delta \alpha_j \qquad (1.80)$$

$$\delta u_j = \left(1.11P_j - 0.26R_j\right) \frac{\hat{\alpha}_j}{N} \qquad \delta \alpha_j = \left(0.26P_j - 0.61R_j\right) \frac{\hat{\alpha}_j}{N} \qquad (1.81)$$

La obtención de estos parámetros es un proceso iterativo que comienza con los parámetros obtenidos por momentos. Los incrementos se deben hacer hasta que:

$$\left(\frac{\partial LL}{\partial u}\right)_j = \frac{P}{\hat{\alpha}} \cong 0 \qquad \left(\frac{\partial LL}{\partial \alpha}\right)_j = -\frac{R}{\hat{\alpha}} \cong 0 \qquad (1.82)$$

Por momentos L:

$$\lambda_1 = \mu + 0.5772\alpha \qquad \lambda_2 = \alpha \ln 2 \qquad (1.83)$$

Finalmente, los eventos de diseño se calculan mediante:

$$x_T = \hat{u} - \hat{\alpha} \left[ \text{Ln} \left[ -\text{Ln} (F(x)) \right] \right] \qquad F(x) = P(t) \qquad (1.84)$$

#### 1.2.4.9.- Distribución General de valores extremos

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \left( \frac{x - \mu}{\alpha} \right) \beta \right]^{\beta-1} e^{-\left[ 1 - \left( \frac{x - \mu}{\alpha} \right) \beta \right]^{\frac{1}{\beta}}} \qquad F(x) = e^{-\left[ 1 - \left( \frac{x - \mu}{\alpha} \right) \beta \right]^{\frac{1}{\beta}}} \qquad (1.85)$$

$\mu$  = Ubicación       $\alpha$  = Parámetro de escala       $\beta$  = Parámetro de forma.

Obtención de los parámetros:

Por momentos.

a) Si  $-11.35 < \gamma < 1.1396$

$$\beta = 0.279434 - 0.333535g + 0.048306g^2 + 0.023314g^3 + 0.00376g^4 + 0.000263g^5 \qquad (1.86)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

b) Si  $1.14 < \gamma < 18.95$

$$\hat{\beta} = 0.25031 - 0.29219g + 0.75357 \times 10^{-1} g^2 - 0.010883g^3 + 0.000904g^4 - 0.000043g^5 \quad (1.87)$$

En caso de que  $\beta < 0$ , entonces la variable es de tipo II:

$$A = \hat{u} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} \qquad B = -\frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} \quad (1.88)$$

$$\hat{B} = \left[ \frac{\text{var } x_2}{\text{var } y_2} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad \hat{A} = x - \hat{B}E(y_2) \qquad E(y_2) = \Gamma(1 + \hat{\beta}) \quad (1.89)$$

$$\hat{\alpha} = -\hat{\beta}\hat{B} \qquad \hat{u} = \hat{A} + \hat{B} \quad (1.90)$$

Si  $\beta > 0$ , entonces es una variable de tipo III:

$$x_3 = \hat{u} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} + \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\beta}} y_3 \qquad \hat{\alpha} = \hat{\beta}\hat{B} \qquad \hat{u} = \hat{A} - \hat{B} \quad (1.91)$$

$$\hat{A} = x - \hat{B}E(y_3) \qquad \hat{B} = \left[ \frac{\text{var}(x_3)}{\text{var}(y_3)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.92)$$

$$E(y_3) = \Gamma(1 + \hat{\beta}) \qquad \text{Var}(y_3) = \Gamma(1 + 2\hat{\beta}) - \Gamma^2(1 + \hat{\beta}) \quad (1.93)$$

Por máxima verosimilitud:

$$P = N - \sum_{i=1}^N e^{-y_i} \qquad Q = \sum_{i=1}^N e^{-y_i + \beta y_i} - (1 - \beta) \sum_{i=1}^N e^{\beta y_i} \quad (1.94)$$

$$R = N - \sum_{i=1}^N y_i + \sum_{i=1}^N y_i e^{-y_i} \qquad y_i = -\text{Ln} \left[ 1 - \left( \frac{x_i - u}{\alpha} \right) \beta \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (1.95)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$u_{j+1} = u_j + \delta u_j \quad \alpha_{j+1} = \alpha_j + \delta \alpha_j \quad \beta_{j+1} = \beta_j + \delta \beta_j \quad (1.96)$$

$$\delta u_j = -\frac{\alpha_j}{N} \left\langle bQ_j + \frac{h(P_j + Q_j)}{\beta_j} + \frac{f}{\beta_j} \left[ R_j - \frac{P_j + Q_j}{\beta_j} \right] \right\rangle \quad (1.97)$$

$$\delta \alpha_j = -\frac{\alpha_j}{N} \left\langle hQ_j + \frac{a(P_j + Q_j)}{\beta_j} + \frac{g}{\beta_j} \left[ R_j - \left( \frac{P_j + Q_j}{\beta_j} \right) \right] \right\rangle \quad (1.98)$$

$$\delta \beta_j = -\frac{1}{N} \left\langle fQ_j + g \frac{P_j + Q_j}{\beta_j} + \frac{c}{\beta_j} \left[ -R_j - \left( \frac{P_j + Q_j}{\beta_j} \right) \right] \right\rangle \quad (1.99)$$

Donde:

$$a = 0.6528 - 0.5598\beta + 1.087\beta^2 - 0.054\beta^3 - 0.127\beta^4 \quad (1.100)$$

$$b = 1.2488 - 0.2052\beta - 0.2225\beta^2 + 0.096\beta^3 - 8.13 \times 10^{-2} \beta^4 \quad (1.101)$$

$$c = 0.4725 - 0.7603\beta + 0.2836\beta^2 - 0.1886\beta^3 + 0.1931\beta^4 \quad (1.102)$$

$$f = 0.2597 - 0.1727\beta - 0.137\beta^2 - 0.2437\beta^3 + 0.2937\beta^4 \quad (1.103)$$

$$g = 0.1432 + 0.4419\beta - 0.4261\beta^2 - 0.1562\beta^3 \quad (1.104)$$

$$h = 0.3386 - 1.204\beta - 0.1333\beta^2 \quad (1.105)$$

#### 1.2.4.10.- Distribución Gumbel de dos componentes (Gumbel mixta univariada)

$$F(x) = pe^{-e^{-\left(\frac{x-\mu_1}{\alpha_1}\right)}} + (1-p)e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu_2}{\alpha_2}\right)}} \quad p = \frac{N_1}{N} \quad (1.106)$$

$u_1$  = Parámetro de ubicación (1a población)  $\alpha_1$  = Parámetro de escala (1a población)

$u_2$  = Parámetro de ubicación (2a población)  $\alpha_2$  = Parámetro de escala (2a población)

$p$  = Parámetro de asociación, el cual relaciona el tamaño de la primera población con el total de la muestra.

La función de densidad de probabilidad está dada por

$$f(x) = \frac{P}{\alpha_1} e^{-e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)}} e^{-\left(\frac{x-u_1}{\alpha_1}\right)} + \left(\frac{1-p}{\alpha_2}\right) e^{-e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)}} e^{-\left(\frac{x-u_2}{\alpha_2}\right)} \quad (1.107)$$

Para  $\alpha_i > 0, x > 0, 0 < p < 1$

Obtención de parámetros.

Para obtener los parámetros de esta distribución, se puede utilizar un método de optimización con la finalidad de reducir la diferencia entre los valores estimados y los reales, como el método de máximo ascenso (González, 1970) o el algoritmo de Rosenbrock (Kuester y Mize, 1973). Con el algoritmo de Rosenbrock, se busca optimizar la función de verosimilitud (Cfr. Ec. 1.25).

$$LnL = Ln \prod_{i=1}^n f(x_i; u_1, \alpha_1, u_2, \alpha_2, p) \quad (1.108)$$

$$LnL = Ln \prod_{i=1}^n \left\{ \frac{P}{\alpha_1} e^{-e^{-\left(\frac{x_i-u_1}{\alpha_1}\right)}} e^{-\left(\frac{x_i-u_1}{\alpha_1}\right)} + \left(\frac{1-p}{\alpha_2}\right) e^{-e^{-\left(\frac{x_i-u_2}{\alpha_2}\right)}} e^{-\left(\frac{x_i-u_2}{\alpha_2}\right)} \right\} \quad (1.109)$$

### 1.2.5.- Técnicas de bondad de ajuste

Para verificar el ajuste de la función de probabilidad utilizada con la muestra poblacional, se utiliza el error estándar de ajuste (Escalante, inédito)

$$EE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_r - x_c)^2}{N - P}} \quad (1.110)$$

Donde

$N$  = Tamaño de la muestra       $P$  = Número de parámetros en la distribución.

$X_r$  = Eventos registrados       $X_c$  = Eventos calculados para una probabilidad igual a  $X_r$

### 1.3.- Fórmulas empíricas

#### 1.3.1.- Fórmula de Bell

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Bell (1969) estudió los datos de lluvia de series de excedentes anuales de Estados Unidos, Hawai, Alaska y Puerto Rico y realizó comparaciones con datos de Australia, así como del sur y norte de África. Propuso una relación empírica basada en relaciones altura de lluvia - duración, en la que utilizó datos de 157 estaciones en Estados Unidos y siete en Australia, con lo que obtuvo una relación de la lámina asociada a una cierta lámina de precipitación para un cierto período de retorno con la lámina de una hora (60 minutos) para el mismo período de retorno ( $P_d^T/P_{60}^T$ ) y que se muestran en la tabla 1.111:

Área de estudio	Duración (min)			
	5	15	30	120
EEUU				
Promedio	0.29	0.57	0.79	1.25
Australia				
T = 2 años	0.30	0.57	0.77	1.24
T = 10 años	0.31	0.58	0.78	1.25
T = 25 años	0.30	0.58	0.79	1.23
Promedio	0.30	0.57	0.78	1.24

**Tabla 1.111.-** Relación altura de precipitación-duración-período de retorno utilizadas por Bell(1969)

Bell observó que estas relaciones tienden a ajustarse en una línea recta en papel de probabilidad Gumbel, cuya ecuación se muestra a continuación:

$$\frac{P_d^T}{P_{60}^T} = 0.54d^{0.25} - 0.50 \quad (1.112)$$

Que está restringida a una cierta duración:

$$5 \leq d \leq 120 \text{ min}$$

Asimismo, Bell (1969) también obtuvo relaciones altura de lluvia-período de retorno, para las cuales utilizó una duración de 60 minutos para diferentes períodos de retorno y una lámina de 60 minutos con períodos de retorno de dos y diez años; estas relaciones se muestran a continuación, en la tabla 1.113.

T (años)	EEUUA	Australia
1	0.54	0.52
2	0.63	0.65
5	0.85	0.85
25	1.17	1.18
50	1.31	1.33
100	1.46	1.50

**Tabla 1.113.**- Prueba de las secuencias para verificar la homogeneidad de registros.

De igual forma que con las relaciones altura de lluvia – duración, Bell(1969) obtuvo las ecuaciones de ajuste para ésta como

$$\frac{P_d^T}{P_d^{10}} = 0.21 \ln T + 0.52 \tag{1.114}$$

$$2 \leq T \leq 100 \text{ años}$$

Si se utilizan las ecuaciones para ambas relaciones, se llega a lo siguiente

$$P_d^T = (0.21 \ln T + 0.52) (0.54 d^{0.25} - 0.50) P_{60}^{10} \tag{1.115}$$

O bien

$$P_d^T = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 d^{0.25} - 0.50) P_{60}^2 \tag{1.116}$$

Cabe hacer la aclaración que estas fórmulas son válidas únicamente para duraciones de cinco a 120 minutos y períodos de retorno de dos a cien años. Asimismo, el único dato que se requiere para poder utilizar las ecuaciones propuestas por Bell, es necesaria únicamente la precipitación de una hora para un período de retorno de dos o diez años.

### 1.3.2.- Fórmula de Chen

Chen (1983) desarrolló un método para obtener una fórmula generalizada de intensidad – duración – período de retorno para cualquier sitio en los Estados Unidos de Norteamérica. Los datos necesarios para utilizarlo son las láminas de una y 24 horas para un período de retorno de diez años ( $R_1^{10}$ ,  $R_{24}^{10}$ ) y finalmente, la lluvia de una hora para un período de retorno de 100 años ( $R_1^{100}$ ).

Chen (1983) utiliza la fórmula propuesta por Sherman (1931) para relacionar la intensidad, duración y periodo de retorno, como se muestra a continuación

$$I = \frac{a}{(d+b)^c} \quad (1.117)$$

Donde:

$I$  = intensidad media de lluvia en milímetros por hora.

$d$  = tiempo de duración de la lluvia en minutos.

$a, b, c$  = Parámetros de la tormenta.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La intensidad  $I$  puede expresarse en términos de la lámina de lluvia, al multiplicar el lado derecho por  $d/60$ , por lo que la precipitación en términos de lámina está dada por

$$P = \frac{at}{60(d+b)^c} \quad (1.118)$$

Donde:

$P$  = Lámina total de precipitación en milímetros.

Chen (1983) considera que la relación Intensidad de lluvia – duración, se expresa como

$$\frac{I_d^T}{I_{60}^T} = \frac{a_1}{(d+b_1)^{c_1}} \quad (1.119)$$

Donde:

$I_d^T$  = Intensidad de lluvia (mm/hr) para un período de retorno de  $T$  años y una duración  $d$  (min)

$I_{60}^T$  = Intensidad de lluvia (mm/hr) para  $T$  años y  $d = 60$  minutos.

$a_1, b_1, c_1$  = Parámetros de la tormenta, que se obtienen de la figura 1.120

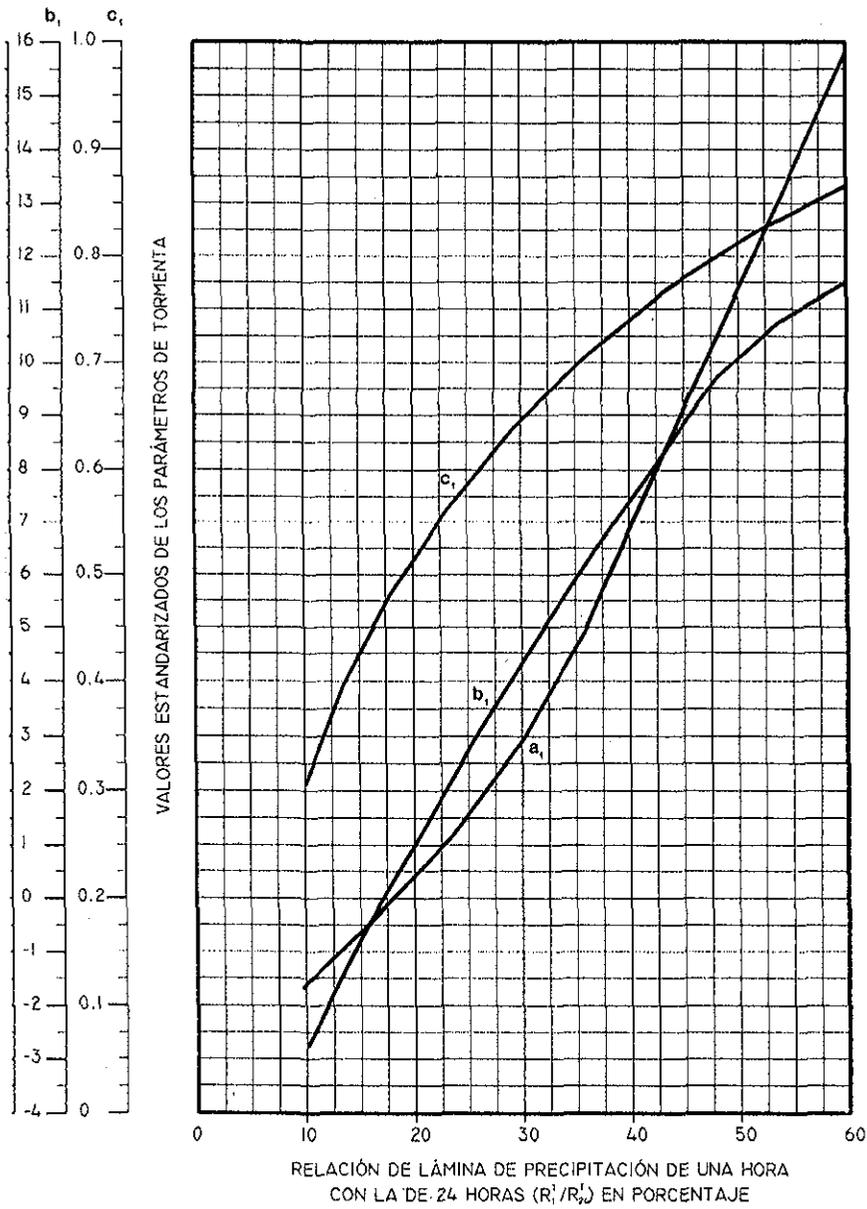


Figura 1.120.- Valores empíricos para la fórmula de Chen.

De la ecuación 1.119, Chen(1983) obtuvo una expresión general de la relación Intensidad-duración período de retorno:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$r_1^T = \frac{a_1 r_1^{10} \log(10^{2-x} T_p^{x-1})}{(t+b)^c}$$

(1.121)

Que expresada en términos de lámina de precipitación queda como:

$$R_d^T = \frac{\alpha_1 R_1^{10} \log(10^{2-x} T_p^{x-1})}{(d+b)^c} \left(\frac{d}{60}\right) \quad (1.122)$$

Para llegar a esta ecuación, Chen hizo las siguientes consideraciones:

- 1.- La relación  $R_1^T/R_{24}^T$  que se utiliza en la obtención de  $a_1$ ,  $b$  y  $c$  para un punto determinado no varían significativamente para  $T_p$
- 2.- La relación  $R_d^{100}/R_d^{10}$  para un mismo sitio no varía de forma significativa conforme  $d$  varía.

Las ecuaciones 1.121 y 1.122 son válidas para:

$$T_p \geq 1 \text{ año} \quad 5 \text{ min} \leq d \leq 24 \text{ horas}$$

Se puede observar que la fórmula de Chen requiere de dos parámetros adicionales que la de Bell, pero de acuerdo a este último (1983) la fórmula de Chen es un caso particular de la ecuación 1.112, ya que no considera la variación geográfica de la lluvia medida por la relación altura de precipitación – duración ( $R_1^T/R_d^{10}$ ), así como tampoco la medida por la relación lámina de precipitación – período de retorno ( $(R_d^{100}/R_d^{10})$ ), por lo cual la ecuación 1.121 no es tan general como la ecuación 1.115.

#### 1.4.- Método de correlación lineal múltiple.

Este método es muy utilizado en nuestro país (Aparicio, 1993) para obtener la relación entre las variables I,d,T y considera que las curvas I-d-T se pueden representar de acuerdo a la siguiente expresión

$$I = \frac{kT^m}{(d+c)^n} \quad (1.123)$$

Donde  $k$ ,  $m$ ,  $n$  y  $c$  son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple al calcular los logaritmos de la ecuación anterior y despejar, como se muestra a continuación

$$\log I = \log k + m \log T - n \log(d+c) \quad (1.124)$$

Que se puede expresar como

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (1.125)$$

donde:

$$y = \log(I) \quad a_0 = \log(k) \quad a_1 = m \quad x_1 = \log(T) \quad a_2 = -n \quad x_2 = \log$$

La ecuación 1.125 es la de una familia de rectas de pendiente  $a_2$ , ordenada al origen  $a_0$  y espaciamiento  $a_1$ .

Al realizar un ajuste de correlación lineal múltiple, se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\sum y = a_0 N + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 \quad (1.126)$$

$$\sum (x_1 y) = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum (x_1^2) + a_2 \sum (x_1 x_2) \quad (1.127)$$

$$\sum (x_2 y) = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum (x_1 x_2) + a_2 \sum x_2^2 \quad (1.128)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

donde

$N$  = número de datos       $a_0, a_1$  y  $a_2$  = incógnitas

$x_1$  = logaritmo del período de retorno       $x_2$  = logaritmo de la duración

$y$  = logaritmo de la intensidad

Una vez que se han calculado los coeficientes  $a_0, a_1$  y  $a_2$  es posible encontrar el valor de los parámetros  $k, m$  y  $n$  de la ecuación 1.124.

Cabe hacer notar que el método de correlación lineal múltiple proporciona errores de hasta un 40% para períodos de retorno mayores a 10 años (Lafragua, 1996), por lo cual su uso no es muy recomendado.

# CAPÍTULO 2

---

## Métodos de interpolación

Uno de los principales problemas en el diseño de obras hidráulicas es la estimación de los eventos hidrológicos en un sitio específico, ya que en la mayoría de las ocasiones la información disponible es escasa o nula. En estos casos, el valor buscado se puede estimar mediante una interpolación espacial de los registros existentes en sitios cercanos al de interés.

El análisis de la variación espacial de diversos procesos hidrológicos en general y particularmente el de la precipitación, ha sido motivo de investigación durante un gran período de tiempo, ya que este tipo de análisis tienen aplicaciones en estudios hidrológicos tales como transposición de registros, cálculos de balances hidrológicos, predicción de inundaciones mediante modelos lluvia-escorrentía, así como para el diseño de redes de monitoreo hidrometeorológicas (Tabios y Salas, 1985).

A lo largo del tiempo, se han desarrollado diferentes técnicas para lograr una adecuada interpolación de eventos hidrológicos, como por ejemplo el modelo propuesto por Thiessen (1911) para estimar la precipitación media en un área determinada y que se ha empleado ampliamente en estudios hidrológicos; sin embargo, este modelo de

interpolación no proporciona una representación continua del proceso hidrológico en estudio. El primer intento para analizar la variación espacial de un evento sobre un área determinada fue hecho por Drozdov y Sphelevskii (1946) en un estudio para establecer un criterio de error en una interpolación espacial y para establecer la densidad de una red de monitoreo; debido a problemas de traducción, este trabajo no se conoció hasta mediados de los años sesenta con los trabajos de Gandin (1965) y Belousov (1971), quienes formalizaron la técnica denominada como interpolación óptima para describir la variación espacial de un proceso determinado. Matheron (1971) desarrolló la teoría de variables regionalizadas para estimar promedios en áreas considerados como la realización de un proceso estocástico. Esta teoría fue la base para el desarrollo de la técnica de interpolación Kriging, la cual es una modificación de la técnica de interpolación óptima; la diferencia estriba en que para la última se utiliza una función de correlación espacial, mientras que en la primera se utiliza el semivariograma.

A la fecha, se han publicado varios trabajos en los cuales se comparan las diferentes técnicas de interpolación existentes: Tabios y Salas (1985) realizan una comparación entre siete diferentes métodos (Thiessen, interpolación polinomial por mínimos cuadrados y por Lagrange, distancia inversa, interpolación multicuadrática, interpolación óptima y Kriging), así como Goovaerts (2000), quien realiza una comparación similar, incluyendo una variante del Kriging conocida como Cokriging. En estos dos trabajos, se muestra la eficiencia del método Kriging sobre las técnicas de interpolación consideradas debido a que este método considera la variación espacial que presentan eventos como la precipitación; en México, trabajos similares han sido publicados por Collado (1988), así como por Cisneros y Domínguez (2001). Este método de interpolación pertenece a un área de estudio relativamente nueva, la Geoestadística, la cual está basada en la teoría de variables regionalizadas (Goovaerts, 1997) y por la

cual se ha mostrado preferencia en su uso, debido a que se puede verificar la correlación espacial existente entre dos puntos aledaños con observaciones, para estimar los valores en los puntos intermedios y para los cuales no se tienen datos. Debido a lo anterior, en el presente trabajo se utilizarán métodos geoestadísticos.

## 2.1.- Geoestadística

La geoestadística es un conjunto de técnicas estadísticas de estimación que involucran cantidades que varían en el espacio. Estas técnicas tienen aplicación en una gran cantidad de casos, como en Hidrología y Geofísica, ya que son útiles cuando se desea realizar un análisis con las siguientes características (Kitanidis, 1993):

- 1.- Se trabaja con variables espaciales, como pueden ser la precipitación, el contenido de humedad en una región determinada o la ubicación del nivel freático.
- 2.- Las variables se derivan de observaciones realizadas en el sitio en estudio.
- 3.- La variabilidad espacial y el tipo de mediciones son tales que una estimación determinística (libre de errores) no es posible. Por ejemplo, si se sabe la carga presente en dos pozos que se encuentran ubicados en un mismo acuífero, para un punto ubicado a la mitad de la distancia entre los pozos mencionados no se sabe con certeza.

Tradicionalmente, en Hidrología se utilizan técnicas manuales o relativamente empíricas para la solución de problemas en los que se necesita interpolar o calcular

valores medios. Por ejemplo, las isoyetas se realizan generalmente a mano o el método de distancia inversa es utilizado en casos de interpolación, mientras que el método de los polígonos de Thiessen es utilizado para determinar la precipitación media en un área determinada. Las ventajas que los métodos geoestadísticos presentan sobre los métodos tradicionales se pueden resumir en los siguientes cuatro puntos siguientes:

- a) Son sujetos a automatización y los resultados que arrojan se pueden repetir de forma idéntica.
- b) Se basan en un modelo explícito de variabilidad espacial, el cual se ajusta con datos del sitio en estudio, así como de información adicional que influya en el fenómeno en estudio. Por ejemplo, al calcular la precipitación media para un área determinada, el área de influencia de cada estación pluviométrica (o pluviográfica) se determina a partir de un análisis de la estructura que presenta la precipitación sobre el área en estudio, en contraste con el método de los polígonos de Thiessen.
- c) Proveen mejores valores estimados y medidas para verificar la confiabilidad de dichos valores, lo cual implica que la geoestadística es particularmente útil para evaluar la necesidad de aumentar los lugares de registro o para diseñar redes de monitoreo.
- d) Son métodos más objetivos y potencialmente más precisos que las técnicas de calibración manual.

Un análisis geoestadístico de variables espaciales se puede dividir en dos fases (Kitanidis 1993)

- 1.- Análisis estructural: Consiste en la selección de un modelo de variación espacial, y se resume en la estimación del semivariograma, por lo cual en ocasiones es llamado variografía.
  
- 2.- Estimación óptima lineal sin sesgo (BLUE por sus siglas en inglés). Esta fase consiste en encontrar, como funciones lineales de los datos, los valores estimados para los sitios sin registro, de tal forma que presenten sesgo nulo y que tengan una varianza mínima, utilizando el modelo seleccionado en la fase anterior.

### **2.1.1.-Continuidad espacial**

La continuidad espacial existe en casi todos los eventos geográficos. En un evento de este tipo, es casi seguro que los valores registrados en dos puntos cercanos van a ser más parecidos que aquellos registros de dos puntos alejados. Cuando uno observa, por ejemplo, un plano topográfico, se aprecia que los valores no se ubican de forma aleatoria, sino que los puntos más altos tienden a estar cerca de los puntos elevados, mientras que los puntos con menor elevación, se encuentran también en zonas bajas. Para analizar la continuidad espacial, es necesario relacionar un punto con los que lo rodean, para lo cual se recurre a una distancia entre los puntos que se quiere relacionar, así como de otras características, como se describe a continuación.

La separación entre dos puntos, está definida por un vector  $h$ , como se muestra en la figura 2.1 el cual tiene un ángulo con respecto a la vertical, en sentido horario (en el caso de la figura el ángulo sería negativo).

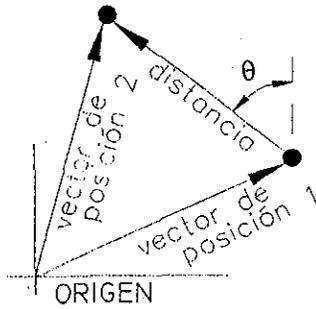


Figura 2.1.- Incremento utilizado en la estimación del semivariograma

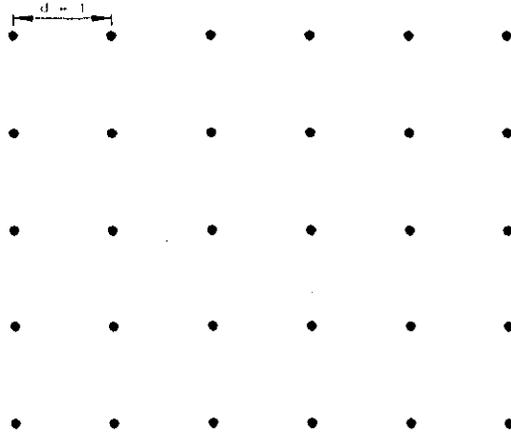


Figura 2.2.- Ejemplo de arreglo de datos para la obtención del semivariograma

En caso de que se tengan varios puntos, como el arreglo mostrado en la figura 2.2, se pueden tener varias condiciones:

- 1.- Si  $\theta = 90^\circ$ ,  $|h| = 1$  existen 25 pares de puntos.
- 2.- Si  $\theta = 90^\circ$ ,  $|h| = 2$  existen 20 pares de puntos.
- 3.- Si  $\theta = 90^\circ$ ,  $|h| = 3$  existen 15 pares de puntos.
- 4.- Si  $\theta = 90^\circ$ ,  $|h| = 4$  existen 10 pares de puntos.
- 5.- Si  $\theta = 90^\circ$ ,  $|h| = 5$ , existen 5 pares de puntos.

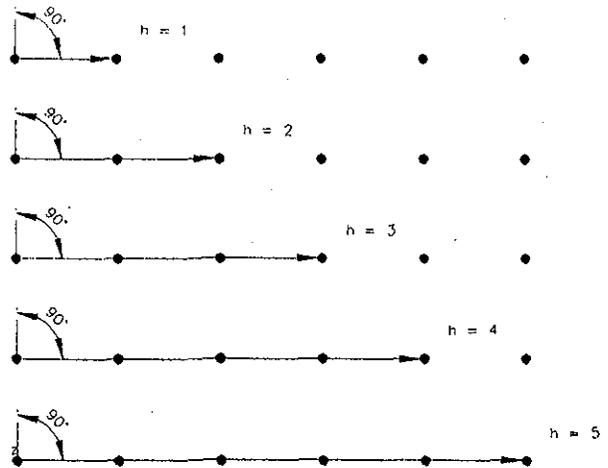


Figura 2.3.- Relación entre pares de puntos para  $\theta = 90^\circ$ , y diferentes distancias

Se observa que conforme aumenta la distancia, la cantidad de pares de puntos disminuye, por lo cual el semivariograma se deteriora; también se aprecia que la relación entre los puntos está dada por el ángulo o azimut que se elija. Por ejemplo:

- 1.- si  $\theta = 45^\circ$ ,  $|hl| = 2^{1/2}$ , existen 20 pares.
- 2.- Si  $\theta = 45^\circ$ ,  $|hl| = 2(2)^{1/2}$ , existen 12 pares.

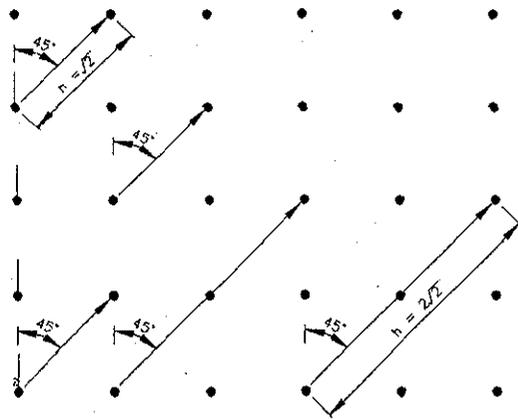


Figura 2.4.- Relación entre pares de puntos para  $\theta = 90^\circ$ , y diferentes distancias

Si en el ejemplo anterior la distancia fuera igual a dos unidades, se observa que no habría puntos que estuvieran relacionados, ya que no existen puntos que se encuentren exactamente a esa distancia. Debido a lo anterior, se relacionan puntos que se encuentran dentro de un cierto rango para la distancia deseada, por lo cual se necesita una tolerancia en la distancia, la cual es usualmente la mitad de la menor distancia considerada.

Si se continúa con el ejemplo anterior ( $\theta = 45^\circ$ ,  $|hl| = 2$ ) y se considera una tolerancia de 1 unidad, entonces se relacionarán los puntos que estén separados por una distancia ubicada dentro del intervalo  $1 < |hl| < 3$ , como se muestra en la figura 2.5.

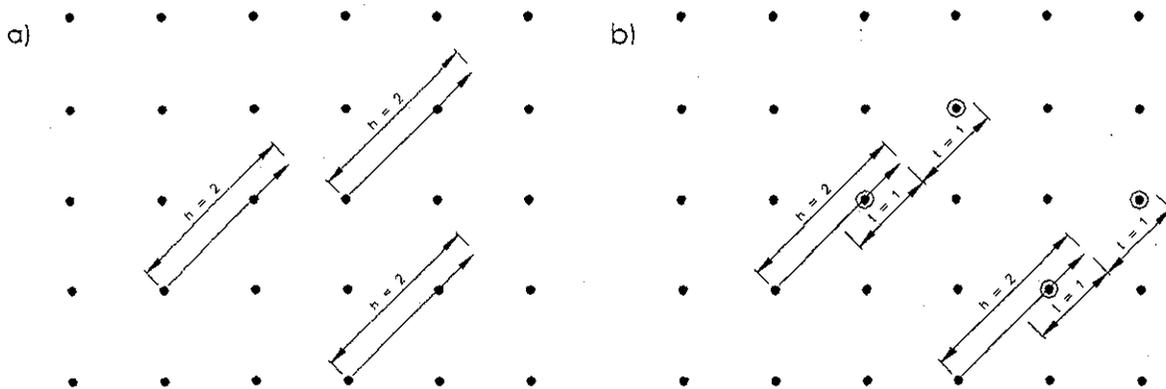


Figura 2.5.- Relación entre pares de puntos para  $\theta = 45^\circ$ ,  $|hl| = 2$ .

Así como es necesaria una tolerancia en la distancia, también es necesaria una tolerancia angular, para de esta forma incluir un número suficiente de puntos. Volviendo una vez más a la figura 2.2, supóngase que se desea conocer la correlación existente

entre los puntos en un ángulo de  $75^\circ$  a una distancia de dos unidades, con una

tolerancia de una unidad en la distancia; debido a que no existen puntos en esa dirección, se recurre también a una tolerancia angular, por lo cual se puede utilizar una tolerancia angular de  $15^\circ$ ; en consecuencia, todos los puntos que se encuentren entre  $60^\circ$  y  $90^\circ$  serán utilizados, como se puede apreciar en la figura 2.6.

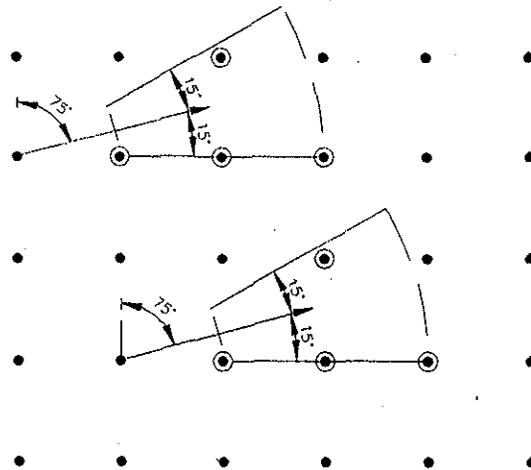


Figura 2.6.- Relación entre pares de puntos para  $\theta = 75^\circ$  con  $h_l = 2$  y tolerancias de 1 unidad en la distancia y  $15^\circ$ .

Como se observa en la figura 2.6, al utilizar una tolerancia angular, el ancho de la superficie se incrementa conforme aumenta la distancia respecto al punto de interés, por lo cual se especifica un "ancho de banda" (AB), para limitar los puntos que se incluyen. Al realizar lo anterior, se obtienen superficies en forma de lápiz, como se muestra en la figura 2.7.

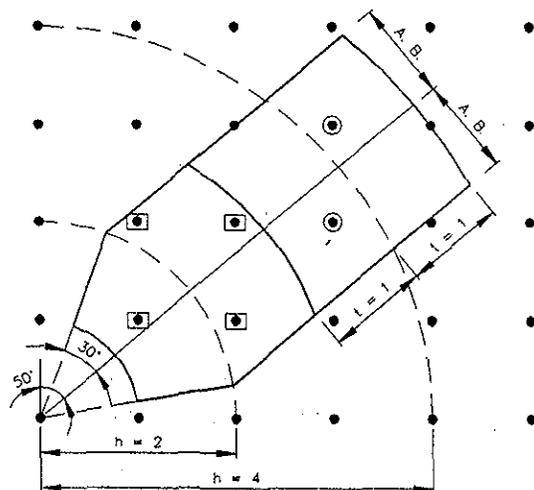


Figura 2.7.- Relación entre pares de puntos para  $\theta = 75^\circ$  con  $h_l = 2.4$ ; tolerancias de 1 unidad y  $15^\circ$  en el ángulo. Ancho de banda = 1 unidad.

Como se puede observar en la figura 2.7, para el primer intervalo de distancia considerado se encuentran cuatro pares de puntos (puntos encerrados por rectángulos), mientras que para el segundo intervalo, se encuentran únicamente dos pares. Evidentemente, esta relación se obtuvo al considerar únicamente un punto y se debe realizar para todos los puntos que se van a tomar en cuenta. Para visualizar la relación espacial de la variable a estudiar, se recurre a los diagramas de dispersión  $h$ , como se explica en la siguiente sección.

### 2.1.2.- Diagramas de dispersión

Como se mencionó en la sección anterior, una forma de visualizar la relación espacial es por medio de diagramas de dispersión, los cuales se realizan para cada valor  $h$ , por lo cual se denominan diagramas de dispersión  $h$ . En estos diagramas, el eje de las abscisas corresponde a los valores  $Z(u)$ , mientras que en las ordenadas se encuentran los valores de  $Z(u+h)$ .

La forma de la nube de puntos en una gráfica de dispersión- $h$ , indica qué tan continuos son los valores para una cierta distancia y una cierta dirección. Si los datos que se tienen en los puntos separados por  $h$  son muy similares, entonces los puntos se encontrarán cerca de la recta  $x = y$ , (línea discontinua en la figura 2.8). Conforme la similitud del valor de los datos que se utilicen sea menor, entonces la nube de puntos se hace mas ancha y difusa.

En la figura 2.8 (Isaaks y Srivastava, 1989) se observan cuatro gráficas diferentes, para valores ubicados a una distancia de uno a cuatro metros. En ella se puede observar

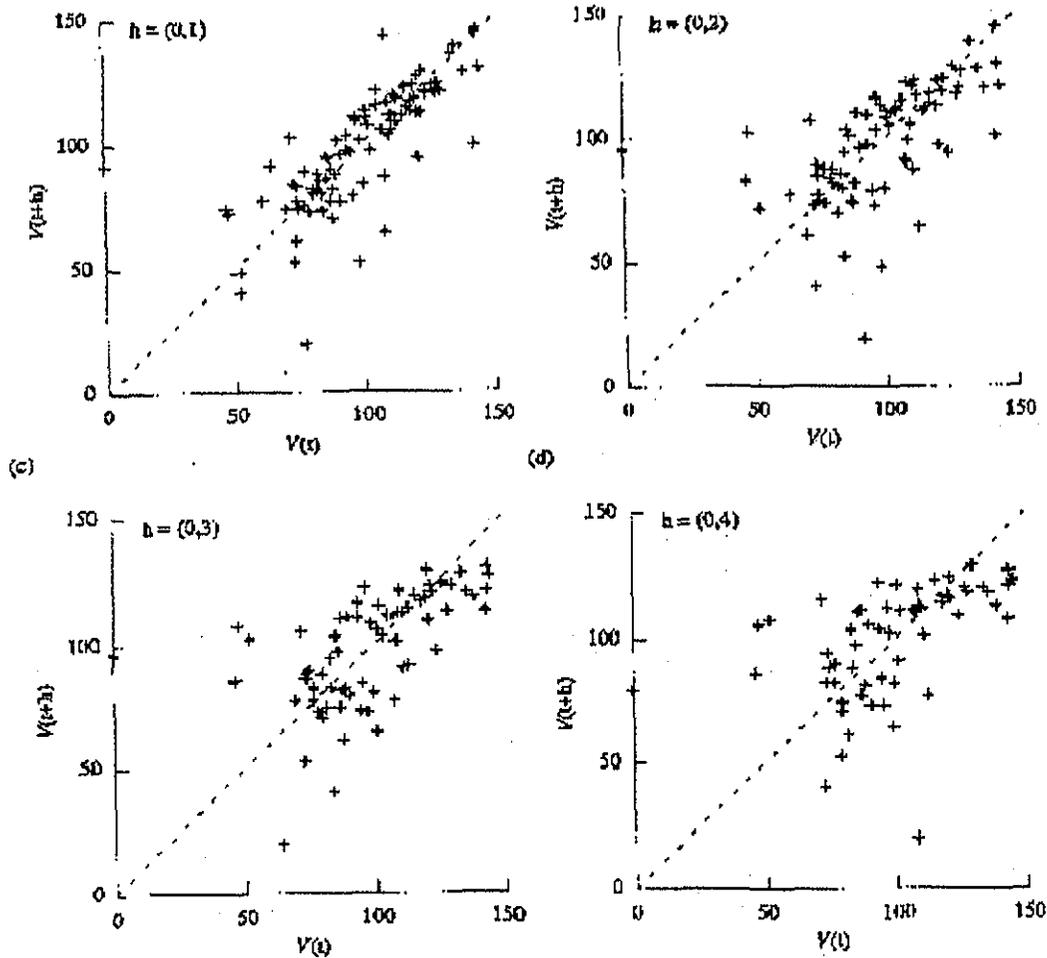


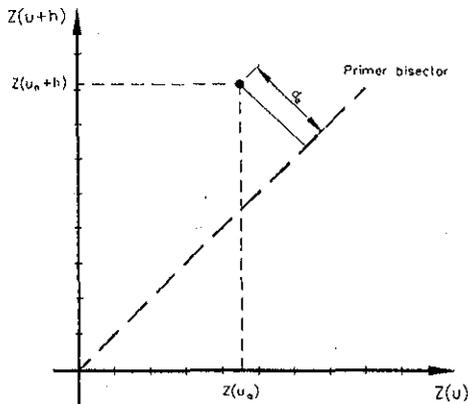
Figura 2.8.- Diagramas de dispersión  $h$  para cuatro valores de  $h$ . (Tomado de Isaaks y Srivastava, 1989)

que para la distancia de un metro (figura superior derecha), los puntos se ubican cerca de la recta a  $45^\circ$ , mientras que para la mayor distancia los puntos muestran una mayor dispersión. Cabe hacer notar que para construir el diagrama se debe considerar la dirección de  $h$ , ya que no es simétrico respecto a la recta mencionada con anterioridad. Un par de valores  $Z_i$  y  $Z_j$  aparece en dicho diagrama solo una vez como  $(Z_i, Z_j)$  y no como  $(Z_j, Z_i)$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para analizar de forma cuantitativa la relación espacial mostrada en los diagramas de dispersión  $h$ , se recurre al momento de inercia de la nube de puntos respecto a la recta  $x = y$ , que se calcula como:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



$$\begin{aligned}
 M.I. &= \frac{1}{N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} d_{\alpha}^2 \\
 &= \frac{1}{N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2 \cdot [\cos(45^{\circ})]^2 \\
 &= \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2 \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

Figura 2.9.- Momento de inercia de un punto con respecto al primer bisector

Donde  $N(h)$  es el número de pares de puntos separados por  $h$ .

Se puede observar que, para cada valor de  $h$ , se obtiene un valor determinado, por lo cual, al utilizar la figura 2.8 se obtienen cuatro valores con la ecuación 2.10. Los valores obtenidos, se representan en un gráfico de dispersión conocido como semivariograma experimental, como se muestra en la figura 2.11

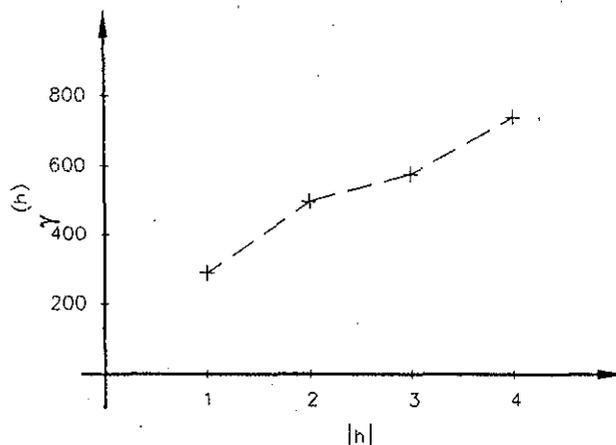


Figura 2.11.- Semivariograma experimental correspondiente a la fig. 2.8

### 2.1.3.- El semivariograma

El semivariograma es una herramienta que cuantifica la correlación espacial entre puntos y se define como el promedio de la diferencia elevada al cuadrado de los valores separados por una distancia determinada, o bien, un medio de la varianza de la diferencia de los valores para dos puntos determinados:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum [z(u) - z(u+h)]^2 \quad (2.12)$$

Donde  $N(h)$  es el número de pares de puntos separados por  $h$ .

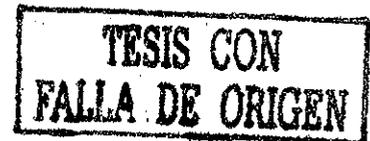
De acuerdo a lo expuesto con anterioridad, el semivariograma para el caso de la figura 2.3, se obtiene de la siguiente forma:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(25)} \sum_{i=1}^{25} [z(u_i) - z(u_i + h)]^2 \quad \text{Para } h = 1$$

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(15)} \sum_{i=1}^{15} [z(u_i) - z(u_i + h)]^2 \quad \text{Para } h = 2$$

Estos valores, corresponden al semivariograma experimental, por lo cual el siguiente paso consiste en ajustar un modelo a estos puntos para poder conocer el valor del semivariograma para cualquier distancia.

### 2.1.4.- Ajuste del semivariograma



Una vez que se ha obtenido el semivariograma experimental, es necesario ajustar a los puntos obtenidos un modelo de semivariograma, como se muestra en la figura 2.13. De forma adicional, en esta figura se muestran los componentes del semivariograma.

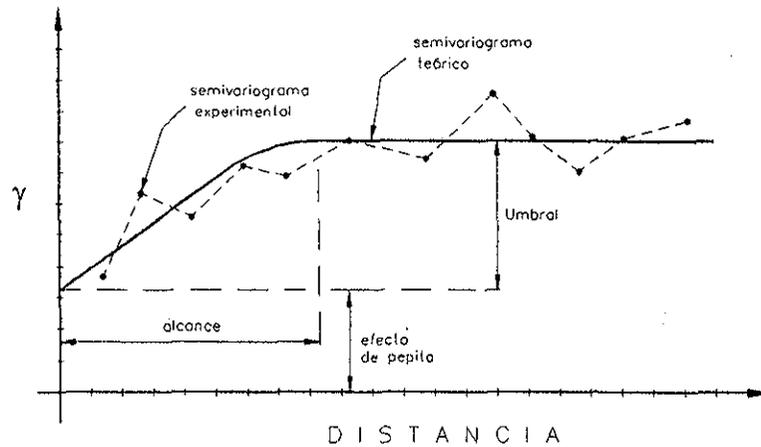


Figura 2.13.- Componentes del semivariograma.

Existen diferentes modelos de variograma, siendo los principales (Tabios y Salas, 1985; Goovaerts, 1997; Isaaks y Srivastava, 1989):

1.- Modelo lineal

$$\gamma(h) = a|h| \quad (2.14)$$

2.- Modelo potencial

$$\gamma(h) = a|h|^\omega \quad (2.15)$$

3.- Modelo exponencial

$$\gamma(h) = a[1 - e^{-c|h|}] \quad c > 0 \quad (2.16)$$

4.- Modelo gaussiano

$$\gamma(h) = a[1 - e^{-c|h|^2}] \quad c > 0 \quad (2.17)$$

5.- Modelo esférico

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} a \left[ 3 \frac{|h|}{c} - \left( \frac{|h|}{c} \right)^3 \right] \quad |h| \leq c \quad (2.18)$$

$$\gamma(h) = a \quad |h| > c$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

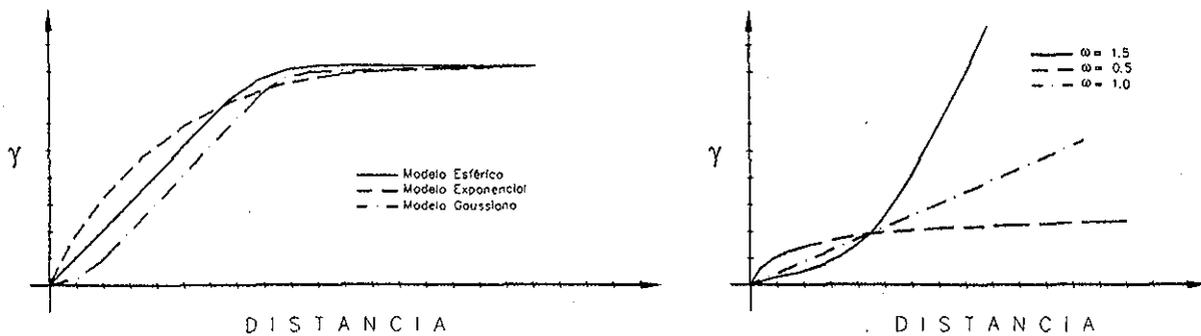


Figura 2.19 a) Modelos de semivariograma usuales. b) Comportamiento del modelo polinomial para tres diferentes valores de  $\alpha$ .

Para seleccionar el método adecuado, se puede utilizar el método de los mínimos cuadrados pesados (Pebezma, 2001), para de esta forma obtener la función del variograma que mejor se ajusta al semivariograma experimental.

Por otro lado, Goovaerts (1997), así como Deutsch y Journel (1998), no recomiendan el uso del modelo con el que se obtenga el menor error de ajuste, sino aquel que mejor refleje el comportamiento de los datos, lo cual hace necesario obtener el semivariograma experimental y compararlo con el modelo seleccionado, como se muestra en la figura 2.13.

## 2.2.- Método Kriging

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como se mencionó anteriormente, existen diferentes técnicas de interpolación, las cuales utilizan promedios pesados para encontrar el valor del fenómeno en estudio en un punto dado; en esos métodos, los pesos que se asignan a los valores conocidos dependen únicamente de la ubicación de dichos valores con respecto al punto en estudio y no consideran ninguna información respecto a qué tan similares pueden ser los valores obtenidos en el sitio de interés, comparados con los valores existentes. El método Kriging

incorpora correlaciones entre los valores existentes para asignar los pesos a cada uno de ellos y así obtener el valor en el punto deseado; este método debe su nombre a Danie Krige.

Considérese el problema de estimar el valor de un atributo constante  $z$  en un punto  $u$  sin registros del mismo, usando los registros existentes en un área determinada y sea  $\{z(u_\alpha), \alpha=1, \dots, n\}$  el conjunto de registros medidos en  $u_\alpha$ . Los valores estimados por el método Kriging son variantes del valor obtenido por la regresión lineal  $Z^*(u)$ , que se define como (Goovaerts, 1997)

$$Z^*(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_\alpha(u) [Z(u_\alpha) - m(u_\alpha)] \quad (2.20)$$

Donde  $\lambda_\alpha(u)$  es el peso asignado al dato  $Z(u)$  interpretado como una realización de la variable aleatoria (VA)  $Z(u_\alpha)$ . Las variables  $m(u)$  y  $m(u_\alpha)$  son los valores esperados de las VA's  $Z(u)$  y  $Z(u_\alpha)$ . El número de datos involucrados en la estimación, así como sus correspondientes pesos cambia de una locación a otra. En la práctica, solo el dato  $n(u)$  mas cercano al punto  $u$  que está siendo estimado se utiliza.

La interpretación de la variable desconocida  $z(u)$  y los valores de los datos  $z(u_\alpha)$  como realizaciones de las VA's  $Z(u)$  y  $Z(u_\alpha)$  permite definir el error de estimación como una VA  $Z^*(u) - Z(u)$ . El objetivo de la interpolación es el minimizar la estimación o varianza del error  $\sigma_E^2(u)$ , bajo la restricción de sesgo nulo del valor estimado, es decir (Goovaerts, 1997):

$$\sigma_E^2(u) = \text{Var}\{Z^*(u) - Z(u)\} \quad (2.21)$$

Que se minimiza bajo la siguiente restricción (Goovaerts, 1997)

$$E\{Z^*(u) - Z(u)\} = 0 \quad (2.22)$$

El valor estimado por el Kriging varía dependiendo del modelo adoptado para la función aleatoria  $Z(u)$ . Usualmente, la FA  $Z(u)$  se descompone en una componente residual  $R(u)$  y una componente de tendencia  $m(u)$  (Goovaerts, 1997)

$$Z(u) = R(u) + m(u) \quad (2.23)$$

La componente residual se modela como una FA con media cero y con la siguiente covarianza (Goovaerts, 1997):

$$E\{R(u)\} = 0 \quad (2.24)$$

$$Cov\{R(u), R(u+h)\} = E\{R(u) \cdot R(u+h)\} = C_R(h)$$

El valor esperado de la VA  $Z$  en el punto  $u$  es, por lo tanto, el valor de la componente de tendencia en ese punto:

$$E\{Z(u)\} = m(u) \quad (2.25)$$

El método Kriging Ordinario (KO) considera fluctuaciones locales de la media al limitar el dominio sobre el cual la media es estacionaria a una región local  $W(u)$ , cuyo centro se ubica en el punto  $u$ , que está siendo estimado:

$$m(u') = \text{constante, pero desconocida} \quad \forall u' \in W(u)$$

El estimador lineal (2.20), es entonces una combinación lineal de las  $n(u)$  variables aleatorias  $Z(u_\alpha)$ , más la media constante local  $m(u)$  (Goovaerts, 1997)

$$Z^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_\alpha(u) Z(u_\alpha) + \left[ 1 - \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_\alpha(u) \right] m(u) \quad (2.26)$$

La media local desconocida  $m(u)$  es filtrada del estimador lineal al forzar que la suma de los pesos obtenidos sea igual a uno. El estimador Kriging ordinario  $Z_{KO}^*(u)$ , se escribe entonces como una combinación lineal únicamente de las  $n(u)$  variables aleatorias  $Z(u_\alpha)$  (Goovaerts, 1997)

$$Z_{KO}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) Z(u_{\alpha}) \quad \text{Donde} \quad \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) = 1 \quad (2.27)$$

Los  $n(u)$  pesos  $\lambda_{\alpha}^{KO}(u)$  se determinan de tal forma que se minimice la varianza del error, con la restricción de la ecuación 2.22. Como se observa a continuación, el estimador KO tiene sesgo nulo, ya que la media del error es igual a cero (Goovaerts, 1997)

$$\begin{aligned} E\{Z_{KO}^*(u) - Z(u)\} &= \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) m(u) - m(u) \\ &= m(u) - m(u) = 0 \end{aligned} \quad (2.28)$$

La minimización de la varianza del error bajo la restricción de sesgo nulo, hace necesario el utilizar el Lagrangiano  $L(u)$ , el cual es una función de los pesos correspondientes a los datos  $\lambda_{\alpha}^{KO}(u)$ , y de un parámetro de Lagrange igual a  $2\mu_{KO}(u)$  (Goovaerts, 1997).

$$L(\lambda_{\alpha}^{KO}(u), \alpha = 1, \dots, n(u), 2\mu_{KO}(u)) = \sigma_E^2(u) + 2\mu_{KO}(u) \left[ \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) - 1 \right] \quad (2.29)$$

El valor óptimo de los pesos  $\lambda_{\alpha}^{KO}(u)$  se obtienen al igualar a cero cada una de las  $(n(u)+1)$  primeras derivadas parciales (Goovaerts, 1997)

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial L(u)}{\partial \lambda_{\alpha}^{KO}(u)} &= \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) C_R(u_{\alpha} - u_{\beta}) - C_R(u_{\alpha} - u) + \mu_{KO}(u) = 0 \quad \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \frac{1}{2} \frac{\partial L(u)}{\partial \mu_{KO}(u)} &= \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) - 1 = 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

Al derivar parcialmente e igualar a cero, se forma un sistema lineal de  $(n(u)+1)$  ecuaciones con  $(n(u)+1)$  incógnitas: los  $n(u)$  pesos  $\lambda_{\alpha}^{KO}(u)$  y el parámetro de Lagrange, que sirve como restricción para los pesos, por lo que (2.30) puede escribirse como (Goovaerts, 1997)

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) C_R(u_{\alpha} - u_{\beta}) + \mu_{KO}(u) = C_R(u_{\alpha} - u) & \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) = 1 \end{cases} \quad (2.31)$$

Aun cuando se asume que la media  $m(u)$  es estacionaria únicamente en la región local  $W(u)$ , en la práctica, la covarianza residual se considera como la covarianza global de la variable que está siendo modelada y que es inferida de todos los datos existentes, por lo cual se forma el siguiente sistema de ecuaciones (Goovaerts, 1997)

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) C(u_{\alpha} - u_{\beta}) + \mu_{KO}(u) = C(u_{\alpha} - u) & \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) = 1 \end{cases} \quad (2.32)$$

La mínima varianza del error resultante, se obtiene al sustituir las primeras  $n(u)$  ecuaciones del sistema Kriging ordinario (2.32) en la varianza del error (2.21), por lo cual (Goovaerts, 1997)

$$\sigma_{KO}^2(u) = C(0) - \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{KO}(u) C(u_{\alpha} - u) - \mu_{KO}(u) \quad (2.33)$$

En la ecuación 2.33, se utiliza la covarianza, pero no el variograma, los cuales están relacionados como se muestra en la figura 2.34 (Deutsch y Journel, 1998; Isaaks y Srivastava, 1989).

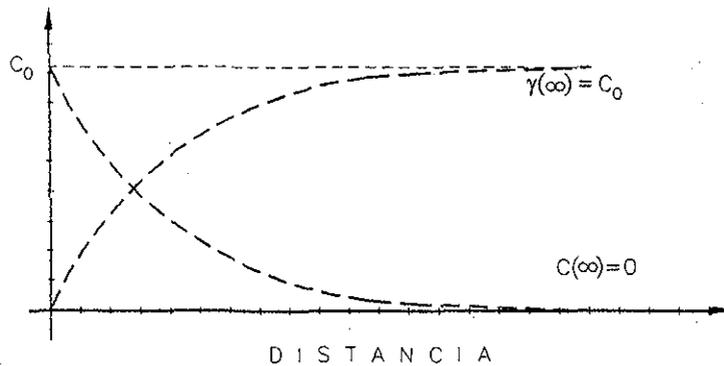


Figura 2.34 Relación entre la covarianza y el semivariograma

De la figura arriba mostrada, se puede observar que la covarianza y el semivariograma están relacionados de la siguiente forma:  $C(h) = C(0) - \gamma(h)$ , por lo cual, la ecuación 2.33 se puede escribir como (Goovaerts, 1997)

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) [C(0) - \gamma(u_{\alpha} - u_{\beta})] + \mu_{KO}(u) = C(0) - \gamma(u_{\alpha} - u) & \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) = 1 \end{cases} \quad (2.35)$$

Debido a la condición de sesgo nulo (la suma de los pesos es igual a uno), el término de covarianza  $C(0)$  se cancela de las primeras  $n(u)$  ecuaciones, por lo cual:

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) \gamma(u_{\alpha} - u_{\beta}) - \mu_{KO}(u) = \gamma(u_{\alpha} - u) & \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{KO}(u) = 1 \end{cases} \quad (2.36)$$

Al resolver el sistema de ecuaciones dado por 2.36, se obtiene el valor del evento en estudio para el punto deseado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPÍTULO 3

---

## Curvas Hp-d-T para la República Mexicana

Como se mencionó en el capítulo anterior, actualmente se cuenta con un estudio realizado por la SCT (1990) en el cual se muestran mapas de precipitación para una duración y un período de retorno determinados, pero las duraciones que se utilizan en dicho estudio son, como máximo, de 24 horas. El obtener la relación Hp-d-T para duraciones mayores a la mencionada anteriormente es necesaria cuando se realizan estudios hidrológicos en cuencas cuyo tiempo de concentración es mayor a un día.

En contraste con el análisis estadístico tradicional "en sitio", en el cual se utiliza como criterio de selección el menor error estándar de ajuste, en el presente trabajo se hizo un análisis regional. La finalidad del análisis regional es el de formar grupos de estaciones que satisfagan una condición de homogeneidad, independientemente de los factores de escala propios de cada estación. Las estaciones pueden ser agrupadas de forma subjetiva por las características de cada una de ellas (como pueden ser latitud, longitud, elevación y precipitación media anual). Por ejemplo, Schaefer (1990) definió regiones homogéneas basándose en la precipitación media anual para un estudio regional de lluvias máximas en el estado de Washington.

La regionalización del presente trabajo está basada en el coeficiente de variación y la ubicación geográfica de las estaciones. Se optó por utilizar el  $C_v$  debido a que el valor de éste en una región homogénea debe ser constante (Naghavi, 1995). Asimismo, Hershfield (1981) sugirió que el uso del estadístico  $C_v$  es útil al analizar lluvias extremas para una duración en particular, ya que exhibe un patrón geográfico que trasciende las variaciones en la precipitación asociadas a una clasificación climatológica.

En los estudios regionales, se puede decir que existen tres tareas básicas (Naghavi, 1995).

- 1.- Identificación de las regiones homogéneas.
- 2.- Identificación de la distribución regional.
- 3.- Selección de un método adecuado para la obtención de los parámetros de la distribución regional.

### **3.1.- Metodología**

#### **3.1.1.- Selección de registros**

Los registros de lluvia que fueron analizados, se obtuvieron del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC). En esta base de datos, se muestran los registros correspondientes a lluvias de 24 horas (registros pluviométricos), como se muestra en la tabla 3.1

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	0	0	0
2	7.3	0	0	0	0	0	4.3	0	0	25.3	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7	0	0
4	0.1	0	0	0	0	0	12.9	13.8	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0.4	0.2	0	0	0	0
6	0	0	0	0.8	0	0	38	64.4	1.2	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	3.7	42.2	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	7.2	17.8	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	9.1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0.5	0	4	0	10.6	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	3.7	0.2	0	0	0	15.8
12	0	0	0	0	0	0	33	4.3	0	0	0	28.7
13	0	0	0	0	0	0	32.7	0	12.1	0	0	16.5
14	0	0	0	0	0	0	0.3	0	1.3	0	0	6.3
15	0	0	0	0	0	0	49	4.4	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	3.2	36.6	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	2.2	5.3	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	24.3	4.5	15.1	1.3	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	17.5	0	11.4	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	18.5	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	34	1.1	53.7	0	0	1.3	0
23	0	0	0	0	0	7	36.7	0	14.8	0	8.6	0
24	0	0	0	0	0	0	3.2	30.7	3.6	18.7	0	0
25	0	0	0	0	0	13	0	0.3	0	1.5	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	1.8	0	0.2	0.1	0	0	0
28	0	0	0	0	0	4.3	0.1	0	0.4	0	0	18.3
29	65	0	0	0	0	0.8	1.2	0.1	3.7	0	0	0
30	0NO_D		0	0	0	23.3	0	2.2	0	0	0	0
31	0NO_D		0NO_D		0NO_D		24.8	3.2NO_D		0NO_D		0

Tabla 3.1.- Registros diarios de la estación  
25115, año de 1984

El primer paso consistió en determinar el número de estaciones a utilizar en el estudio. El criterio que se utilizó fue el de longitud efectiva de registro, ya que aquellas estaciones con un registro efectivo menor a diez años no fueron utilizadas. Primero se verificó para cada estación la fecha de inicio y fin de registros para finalmente verificar que no existieran años intermedios sin datos. Al realizar lo anterior, se obtuvo la tabla 3.2,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

en la que se muestra el número de estaciones por estado que cumplen con el criterio de selección:

Estado	No. Estaciones
Aguascalientes	48
Baja California	65
Baja California Sur	94
Campeche	47
Coahuila	40
Colima	27
Chiapas	181
Chihuahua	165
Distrito Federal	48
Durango	95
Guanajuato	76
Guerrero	122
Hidalgo	85
Jalisco	166
México	160
Michoacán	149

Estado	No. Estaciones
Morelos	31
Nayarit	45
Nuevo León	73
Oaxaca	180
Puebla	117
Querétaro	29
Quintana Roo	26
San Luis Potosí	119
Sinaloa	85
Sonora	99
Tabasco	50
Tamaulipas	131
Tlaxcala	32
Veracruz	216
Yucatán	40
Zacatecas	83

**TOTAL: 2924**

**Tabla 3.2.-** Número de estaciones en la República Mexicana con una longitud mínima de registro igual a diez años.

Una vez que fueron seleccionadas las estaciones a utilizar en el análisis, posteriormente se obtuvieron las láminas de precipitación máximas para las diez diferentes duraciones. Para obtener la lámina de 24 horas, simplemente se vio cuál fue la máxima lámina anual; para la duración de dos días, se analizaron todas las posibles

combinaciones y se compararon entre sí para obtener la máxima precipitación. Evidentemente, el procedimiento para las duraciones de tres a diez días fue similar.

Al realizar el análisis indicado anteriormente a los registros de la estación 25115, se obtuvo la tabla 3.3.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1961	80.4	80.4	98.5	98.5	100.3	100.3	111.6	111.6	122.7	126.1
1962	65	65	128.9	129.4	132.8	133.3	158.8	159.8	161.4	207.5
1963	24	29.6	33.6	44.5	45.7	45.7	46.9	46.9	64	65.2
1964	123	123.6	123.6	154	154.6	154.8	155.1	155.1	155.1	156.4
1965	110	110	141	141	165	171.8	175.4	177	177	186.3
1966	33.7	39.3	49.9	56.4	56.4	64.8	66.3	66.8	84.8	93.7
1967	51.5	52.1	54.6	55.8	56.6	61.8	63.1	67.1	67.1	67.4
1968	57	57	58.6	58.7	58.7	75.3	75.3	77.4	114.5	115.1
1969	50.6	60	60	60	60	64.8	66.3	66.8	84.8	93.7
1970	56.4	79.4	101.2	108.7	108.7	108.7	108.7	114.7	114.7	116.4
1971	104.5	113.5	115.4	124.7	124.7	164.7	164.7	172.2	214.8	223.8
1972	86.5	88	146.5	146.5	165.2	165.2	165.2	165.2	165.8	165.8
1973	35.2	48.6	78.8	81.3	88.3	98	106.5	111.4	116	116.9
1974	43.2	62.7	76.8	76.8	76.8	80.7	86.7	89	95	95.2
1975	35	42.8	58.8	82.3	97.8	97.8	128.6	128.8	135.9	136.1
1976	50.5	61.5	79.4	97.2	102.7	117.2	122.7	141.4	145	151.2
1977	33.2	45	52	56.5	58.9	59.3	59.4	65.5	65.5	66.3
1978	60	104.4	104.4	108.9	108.9	108.9	108.9	117.2	168.9	175.4
1979	79.4	81.6	92.5	94.7	94.7	98.7	100.3	100.3	102	108.1
1980	71.5	71.5	83.8	87.7	117	134.5	134.5	146.8	146.8	155.4
1981	101	101	101	136	146.4	149.6	149.6	162.1	166.3	166.3
1982	44.5	60.7	61.7	61.7	61.7	61.7	61.7	81.3	84.7	85.7
1983	83.5	85	123.2	125.4	126.2	128.6	128.6	138.3	148.9	148.9
1984	65	106.6	113.8	122.9	151.6	156.9	161.4	165.1	169.1	171.8
1985	80	115.6	122.3	124.5	153.8	160.5	160.5	160.5	164	181.7

**Tabla 3.3.-** Serie de máximos anuales para  
1 ≤ d ≤ 10 días. Estación 25115

La tabla 3.3 es la base tanto del análisis regional como del análisis de frecuencias realizado en el presente trabajo. Una vez que se obtuvieron tablas similares a la 3.3 para las estaciones de la República, el siguiente paso consistió en realizar el análisis de

frecuencias correspondiente a las duraciones de Interés para posteriormente obtener las regiones homogéneas .

Es importante hacer notar que los registros de pluviómetro deben ser multiplicados por 1.13 para que representen la lluvia máxima diaria (Weiss, 1964). En la tabla 3.4 se muestra el factor por el cual deben ser multiplicados los registros de lluvia dependiendo del número de lecturas que se realicen durante un día.

Intervalos fijos de medición en un día	Relación de la precipitación máxima diaria con respecto al registro
1	1.13
2	1.04
3	1.03
6	1.02
12	1.00
24	1.00

Tabla 3.4.- Corrección de registros dependiendo de la frecuencia de lecturas.

### 3.2.- Análisis de frecuencias

Al realizar el análisis de frecuencias, primero se analizó la independencia y homogeneidad de las series, para posteriormente obtener el ajuste con diferentes funciones de probabilidad. Las funciones de probabilidad utilizadas, con la combinación resultante de los diferentes métodos de obtención de parámetros suman un total de 19 opciones, como se muestra a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- 1.- Normal por momentos.
- 2.- Normal por momentos L.
- 3.- Lognormal de dos parámetros por momentos.
- 4.- Lognormal de tres parámetros por momentos.
- 5.- Lognormal de tres parámetros por máxima verosimilitud.
- 6.- Gamma de dos parámetros por momentos.
- 7.- Gamma de dos parámetros por máxima verosimilitud.
- 8.- Gamma de dos parámetros por momentos L.
- 9.- Gamma de tres parámetros por momentos.
- 10.- Gamma de tres parámetros por máxima verosimilitud.
- 11.- LogPearson tipo tres por momentos.
- 12.- Exponencial por momentos.
- 13.- Gumbel por momentos.
- 14.- Gumbel por máxima verosimilitud.
- 15.- Gumbel por momentos L.
- 16.- General de valores extremos por momentos.
- 17.- General de valores extremos por máxima verosimilitud.
- 18.- General de valores extremos por momentos L.
- 19.- Gumbel mixta por máxima verosimilitud.

Para ejemplificar el análisis de frecuencia realizado, se utilizarán los registros de la estación climatológica 25115, mostrados en la tabla 3.3.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.1.- Parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos correspondientes a las diez diferentes duraciones de series anuales, se muestran en la tabla 3.4

	un día	dos días	tres días	cuatro días	cinco días	seis días	siete días	ocho días	nueve días	diez días
media	65.204	75.396	90.412	97.364	104.54	110.54	114.672	119.532	129.392	135.056
$S^2$	698.35	721.12	996.56	1094.63	1474.1	1572.68	1631.36	1644.89	1668.62	1985.82
$S$	26.426	26.854	31.568	33.085	38.394	39.66	40.39	40.56	40.85	44.56
$r$	0.488	0.215	0.040	0.034	0.079	0.033	-0.134	-0.221	-0.038	0.089
$K$	3.064	2.455	2.438	2.224	2.248	2.177	2.164	2.150	2.690	2.695
$Cv$	0.405	0.356	0.349	0.340	0.367	0.359	0.352	0.339	0.316	0.330

Tabla 3.4.- Parámetros estadísticos.

Estación 25115

### 3.2.2.- Prueba de Independencia



Como se vio anteriormente, la prueba de independencia se realiza mediante la prueba del correlograma o de Anderson (ec. 1.13). Al realizar dicha prueba a los registros de la estación 25115, se puede observar en la tabla 3.5 y en la figura 3.6 que la serie es independiente, debido a que todos los puntos del correlograma se encuentran dentro de los límites.

Límite Superior	$rk_1$	$rk_2$	$rk_3$	$rk_4$	$rk_5$	$rk_6$	$rk_7$	$rk_8$	$rk_9$	$rk_{10}$	Lím. Inferior
0.3500	0.0428	0.1255	0.0463	0.0021	0.0971	0.1169	0.0664	0.0629	-0.0711	-0.1240	-0.4333
0.3562	-0.2026	-0.2165	-0.0822	-0.0683	-0.1555	-0.2394	-0.2574	-0.2198	-0.2205	-0.1779	-0.4432
0.3628	0.0111	-0.0550	-0.1016	-0.0869	-0.0572	-0.1131	-0.0202	-0.0021	0.0745	0.0621	-0.4537
0.3698	-0.0508	-0.1144	-0.2537	-0.2646	-0.1728	-0.1302	-0.1152	-0.1052	-0.1500	-0.1491	-0.4650
0.3772	-0.1965	-0.1135	-0.1633	-0.1261	-0.0793	-0.0711	-0.0861	-0.0319	-0.0900	-0.0934	-0.4772
0.3850	-0.0589	0.1366	0.0106	0.0266	0.0018	-0.0055	-0.0559	-0.0453	0.0099	-0.0014	-0.4903
0.3934	0.2717	0.3128	0.1607	0.1037	0.0576	0.0899	-0.0224	-0.0296	0.1478	0.1342	-0.5045
0.4024	-0.0760	-0.1335	0.0324	0.0775	0.0964	0.0463	0.0143	0.0153	-0.1060	-0.1425	-0.5200

Tabla 3.5.- Prueba de independencia de los registros de la estación 25115.

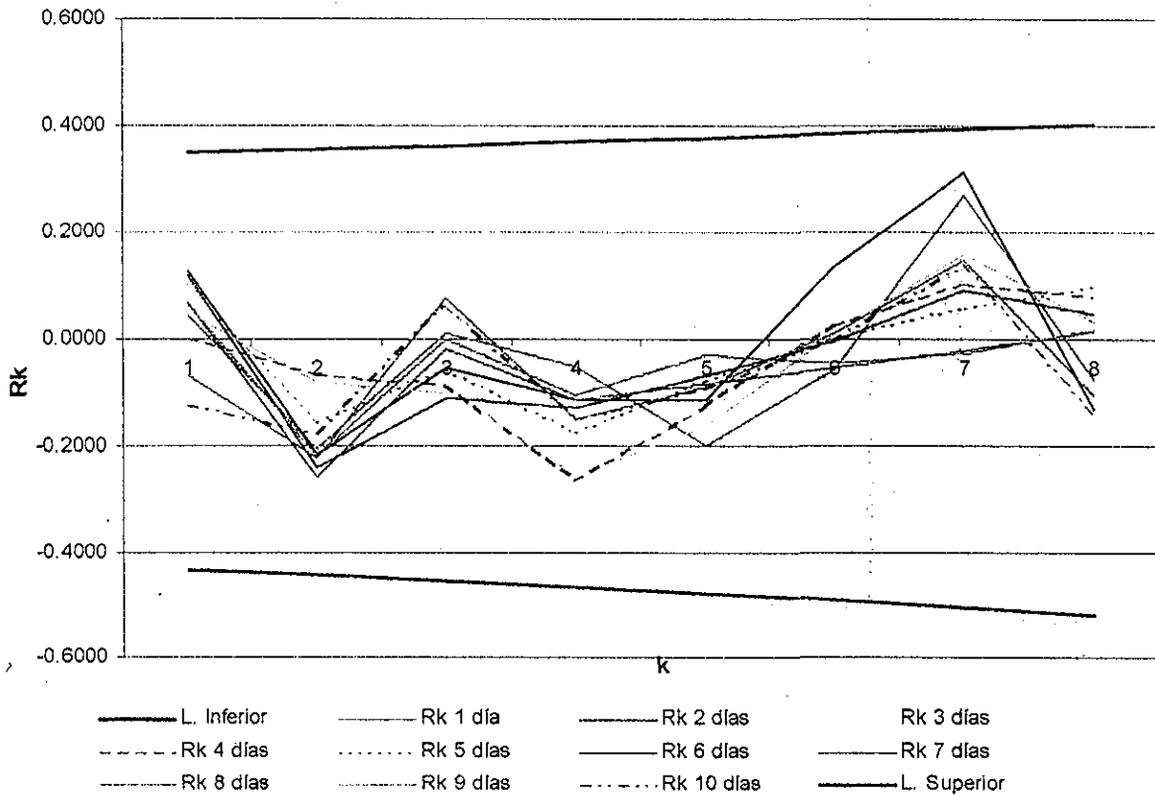


Figura 3.6.- Correlograma correspondiente a los registros de la estación 25115.



### 3.2.3.- Pruebas de homogeneidad

Como se mencionó en el capítulo I, se debe verificar la homogeneidad de los registros que se analizan, para comprobar que la serie de registros pertenece a una sola población. Las pruebas de homogeneidad que se realizaron a los registros de todas las estaciones fueron tres:

- 1.- Prueba de Helmert o de las secuencias.
- 2.- Prueba de t de student.
- 3.- Prueba de Cramer.

Los análisis correspondientes se muestran en las tablas 3.7 a 3.9. Cabe hacer notar que se deben realizar las tres pruebas, y con base en los resultados de cada una de ellas, concluir si la serie es o no homogénea.

**Test de Helmert**

Duración (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Media	65.204	75.396	90.41	97.36	104.54	110.54	114.672	119.53	129.392	135.056
No. Secuencias	14	14	14	14	13	13	13	13	11	11
No. Cambios	10	10	10	10	11	11	11	11	13	13
ABS (S - C)	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2
Tolerancia	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89
ABS(S-C) < Tol	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Conclusión	Homog.									

**Tabla 3.7** Test de Helmert para verificar la homogeneidad de los registros de la estación 25115.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Prueba de la t de Student**

Duración (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
N <sub>1</sub>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
X <sub>1</sub>	70.675	74.824	92.649	98.183	102.391	109.266	113.116	115.05	127.225	134.783
S <sub>1</sub>	30.647	29.841	39.453	41.023	45.913	46.948	48.452	48.854	47.798	52.961
N <sub>2</sub>	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
X <sub>2</sub>	60.153	75.923	88.346	96.607	106.523	111.723	116.107	123.669	131.392	135.307
S <sub>2</sub>	21.866	25.006	23.593	25.401	31.731	33.492	33.257	32.607	35.127	37.421
td	0.953	0.095	0.32	0.111	0.252	0.145	0.173	0.501	0.239	0.027
tc	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069
td < tc	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Conclusión	Homog.									

**Tabla 3.8** Prueba de la t de student para verificar la homogeneidad de los registros de la estación 25115.

a)

**Test de Cramèr**

**Análisis por bloques**

**Primer Bloque**

Duración (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
X	63.529	78.111	92.447	99.752	108.435	115.047	118.488	125.094	134.6	138.747
S	22.789	24.038	26.782	27.77	33.506	36.358	35.779	35.46	39.703	41.421
v	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
tk	0.444	0.714	0.452	0.507	0.827	0.804	0.666	0.978	0.907	0.583
tc	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069
tk<tc	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Conclusión	Homog.									

b)

**Segundo Bloque**

Duración (días)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
X	68.677	85.711	94.966	102.033	113.244	117.633	118.322	126.344	135.133	139.955
S	20.59	23.492	25.268	28.823	36.003	38.36	38.845	37.083	40.178	42.439
v	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
tk	0.475	1.442	0.522	0.51	0.717	0.648	0.325	0.609	0.508	0.396
tc	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069	2.069
tk<tc	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Conclusión	Homog.									

Tabla 3.9 Prueba de Cramer para verificar la homogeneidad de los registros de la estación 25115.

Como se puede observar de las tablas anteriores, las series de la estación 25115 son homogéneas por los tres métodos utilizados para la verificación de la homogeneidad; por lo anterior, se concluye que las series de la estación 25115 son homogéneas.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 3.2.4.- Ajuste de las distribuciones

Una vez que se realizaron las pruebas de independencia y homogeneidad, se puede realizar el análisis de frecuencias. Al realizar dicho análisis a los registros de la estación 25115, se obtuvieron las tablas 3.6, en la cual se muestran los parámetros y el error estándar de ajuste correspondientes a las diferentes funciones de probabilidad.

	Normal	Normal ML	LNormal 2 (M, MV)	Lognormal 3 M	Lognormal 3 MV	Gamma 2 M	Gamma 2 MV	Gamma 2 ML	Gamma 3 M	Gamma 3 MV
Ubicación	65.2040	65.2040	4.09434	-98.687	-16.952	0	0	0	-43.118	13.62653
Escala	26.4263	27.0212	0.42611	0.15567	0.3194	10.7103	10.5615	11.7177	6.44701	14.4485
Forma	0	0	0	5.0869	4.35843	6.08796	6.17369	5.56456	16.8018	3.56973
EE	5.13700	4.93537	3.84170	4.67597	4.14117	3.97991	4.09277	3.34733	4.12734	3.94416

	L Pearson III M	Exponencial	Gumbel M	Gumbel MV	Gumbel ML	GVE M	GVE MV	GVE ML	Gumbel Mixta MV	
Ubicación	1.07707	0	53.3121	52.8862	52.5054	54.2821	53.9202	53.3599	45.778	86.5505
Escala	0.06017	65.2040	20.6046	21.5186	21.9996	23.8652	22.2325	23.597	16.2138	13.609
Forma*	50.1385	0	0	0	0	0.13558	0.08824	0.08176	0.74513	0
EE	4.81827	29.6664	4.69951	4.00554	3.74930	3.96242	4.53424	3.45871	3.95507	0

\*Para la Gumbel Mixta, el valor corresponde al parámetro de asociación  $p$

**Tabla 3.10** Error estándar y parámetros de ajuste correspondientes a la estación 25115.

Como se puede observar en la tabla 3.6, la distribución con el menor error estándar de ajuste es la Gamma de dos parámetros por ML. También se puede observar que la diferencia existente entre los errores de ajuste es muy pequeña, lo cual hace necesario un análisis regional para determinar cuál es la función de probabilidad que debe usarse.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 3.3.- Regionalización

Para obtener las regiones homogéneas, se analizó la distribución geográfica del coeficiente de variación correspondiente a los registros de 24 horas. Lo anterior se debe a que dicho coeficiente tiende a estabilizarse conforme la duración de la lluvia aumenta, como puede observarse en la figura 3.11. La distribución geográfica del  $C_v$  se obtuvo mediante el método de interpolación Kriging, ya que es un método adecuado para interpolar fenómenos que varían geográficamente (cfr. Cap II) . La variación geográfica del  $C_v$  para la República se muestra en el Anexo A, el cual es la base para la determinación de las regiones homogéneas a utilizar. Para realizar el mapa que se muestra en el Anexo A fue necesario calcular el  $C_v$  para todas las estaciones ubicadas en la República Mexicana (Cfr. Tabla 3.2) y ubicarlas geográficamente, para lo cual se utilizaron las coordenadas del ERIC.

En las figuras 3.11 y 3.12 se muestra la nube de semivariograma y el semivariograma omnidireccional, para la península de Baja California. En la figura 3.11 se puede observar cómo a medida que la distancia se hace mayor, la nube de puntos se dispersa, lo cual se observa también en el semivariograma de la figura 3.12. Del semivariograma experimental se puede observar que el modelo lineal es el que muestra un comportamiento similar a los puntos graficados. Para obtener el variograma omnidireccional, el ángulo con respecto al norte es nulo y la tolerancia angular tiene un valor de 90°. Estos variogramas se construyeron al utilizar un incremento en la distancia igual a tres kilómetros.

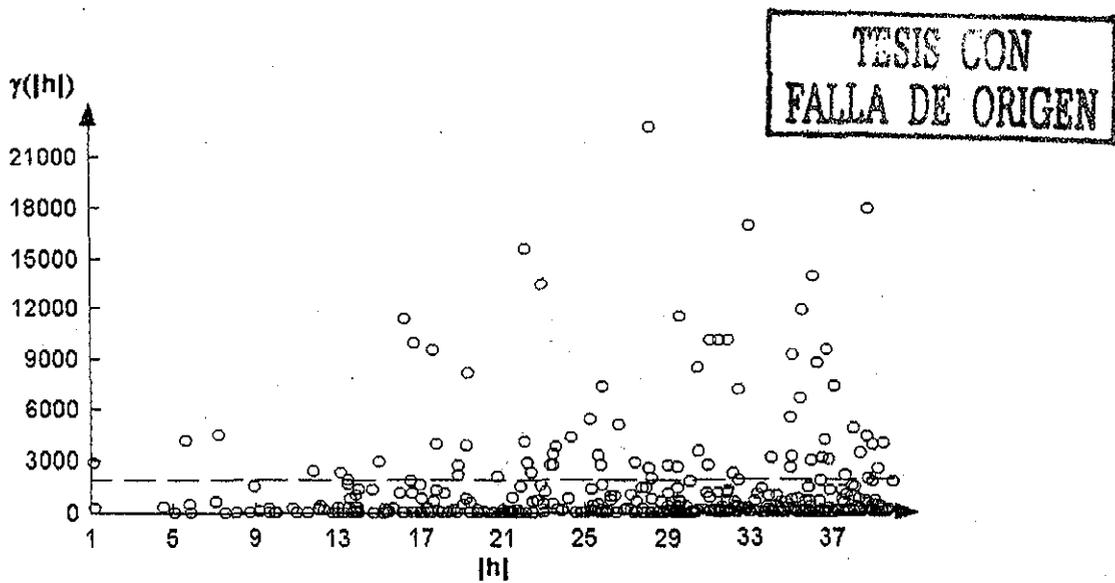


Figura 3.11 Ubicación de estaciones climatológicas en tres regiones homogéneas.

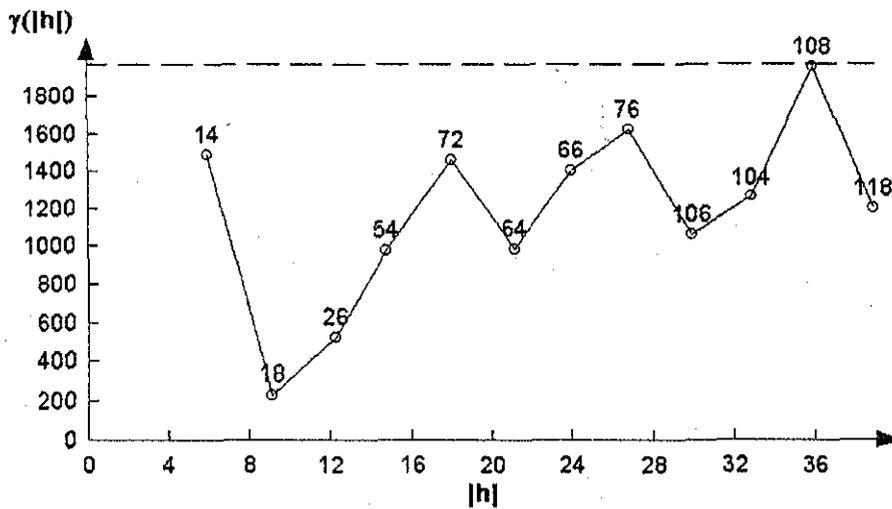


Figura 3.12 Semivariograma experimental para la península de Baja California.

Para obtener los semivariogramas mostrados se utilizó el programa de cómputo Variowin (Pannatier,1996), el cual se puede obtener de forma gratuita ([www.sst.unil.ch/geostatistics.html](http://www.sst.unil.ch/geostatistics.html)). Una vez que se ha obtenido el modelo adecuado para el semivariograma se obtiene la variación geográfica de los coeficientes de

variación mediante el método de Interpolación Kriging. Actualmente existen varios programas de cómputo para realizar este tipo de interpolación, como son el GSLIB (Deutsch y Journel, 1997), o el GSTAT (Pebezma, 2001).

### 3.4.- Selección de la distribución regional característica

Con el mapa de regionalización (variación geográfica del  $C_v$ ) y el análisis de frecuencias de cada estación, el siguiente paso a realizar es el obtener la distribución regional. En la figura 3.11 se pueden observar las estaciones climatológicas ubicadas cerca de la estación 25115. Asimismo, en la figura mencionada se muestran las distribuciones con las que se obtuvo el menor error estándar de ajuste para cada una de las estaciones.

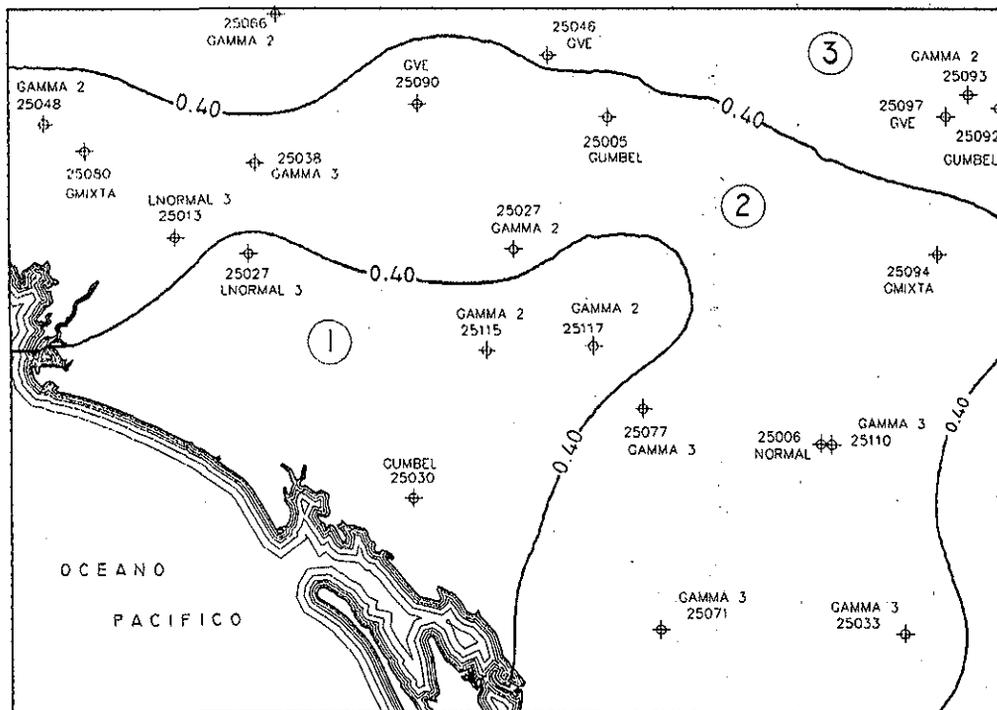


Figura 3.13 Ubicación de estaciones climatológicas en tres regiones homogéneas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para las 19 estaciones que se muestran en la figura 3.11, las distribuciones con las que se obtuvieron los cinco menores errores estándar de ajuste para la lluvia de 24 horas se muestran a continuación, en la tabla 3.14.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Estación	25048	25080	25013	25027	25038	25066	25090	25030	25115	25099
D1	Gam2	Gmix	Lnor 3	Lnor3	Gam3	Gam2	GVE	Gum	Gam2	Gam2
EE1	14.57	15.35	7.61	13.76	17.34	3.8	11.1	14.03	3.34	7.32
D2	LP3	Gam3	LP3	Gam3	LP3	GVE	Nor	Gam2	GVE	Gum
EE2	14.64	17.19	8.03	13.98	17.66	3.82	11.18	14.48	3.45	7.77
D3	Gam2	LP3	Gam2	LP3	Gam2	Lnor2	GVE	Gum	Gum	Lnor2
EE3	14.67	17.66	8.29	14.1	18.36	3.83	11.3	14.54	3.74	8.06
D4	LNor 2	GVE	GVE	GVE	Gum	Gum	Nor	GVE	Lnor2	GVE
EE4	14.7	17.95	8.3	14.2	18.68	3.85	11.41	14.54	3.84	8.13

Estación	25046	25117	25005	25071	25006	25033	25094	25097	25093
D1	Gam3	Gam2	Gum	Gam3	Nor	Gam3	Gmix	GVE	Gam2
EE1	14.74	5.07	11.61	24.08	7.28	37.1	10.85	5.21	18.36
D2	LP3	GVE	Gum	LP3	Nor	LP3	Gam2	Gum	Gam2
EE2	15.13	5.14	12.25	24.6	7.46	37.97	33.96	5.31	19.26
D3	GVE	Gum	Gam2	GVE	GVE	GVE	Gam2	LP3	Gum
EE3	15.34	5.14	12.37	25.2	7.51	38.6	34.64	5.31	19.84
D4	GVE	Gam2	Gum	GVE	GVE	GVE	Gum	Gum	GVE
EE4	15.94	5.16	12.39	25.39	7.6	39.6	35.2	5.36	20.13

**Tabla 3.14** Distribuciones de probabilidad con el menor error estándar de ajuste para la estación 25115.

Como se puede observar en la figura 3.13, la zona en estudio se dividió en tres regiones homogéneas de acuerdo al coeficiente de variación. En la zona 1 se ubican las estaciones 25115, 25117 y 25030. Cabe hacer notar que la estación 25030 no forma una región independiente, ya que una sola estación no puede formar una región.

En las estaciones 25115 y 25117 se observa que la distribución con el menor EE es la Gamma de dos parámetros; por otro lado, en la estación 25030 la distribución con el mejor ajuste es la Gumbel, pero debido a que se encuentra en la región 1, se verifica que la distribución que dio un mejor ajuste en las estaciones restantes (25115 y 25117) se pueda aplicar en sustitución de la distribución Gumbel. Como se observa en la tabla 3.12, el EE de la distribución Gamma de dos parámetros es casi igual al EE de la distribución Gumbel para la estación 25030, por lo cual se opta por la primera distribución como distribución regional. El método de estimación de parámetros será aquél con el cual se tenga el menor EE en el sitio de interés para la distribución regional. En la región dos, se ubican 14 estaciones; la distribución Gamma de tres parámetros es la mejor opción en seis de ellas, por otro lado, las distribuciones que mejor se ajustan a las estaciones restantes no forman parte de las mejores distribuciones de ajuste, por lo cual se opta por utilizar la función Gamma de tres parámetros en la zona dos, de tal forma que la regionalización correspondiente se muestra en la figura 3.15.

Al continuar con la metodología expuesta, se logra obtener la distribución que corresponde a cada una de las regiones homogéneas para zonas más grandes. Para ejemplificar, esta regionalización se muestra en los mapas 3.16 a 3.20 ubicados en el anexo C, en los cuales se muestran las distribuciones regionalizadas para los estados de Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora.

Una vez que se ha hecho la regionalización de las distribuciones, se utilizan los eventos de diseño obtenidos al realizar el análisis de frecuencias en cada una de las estaciones, con lo cual se obtienen las tablas *Hp-d-T*, como se muestra en la tabla 3.21 y que se pueden representar de forma gráfica, como se muestra en la figura 3.22.

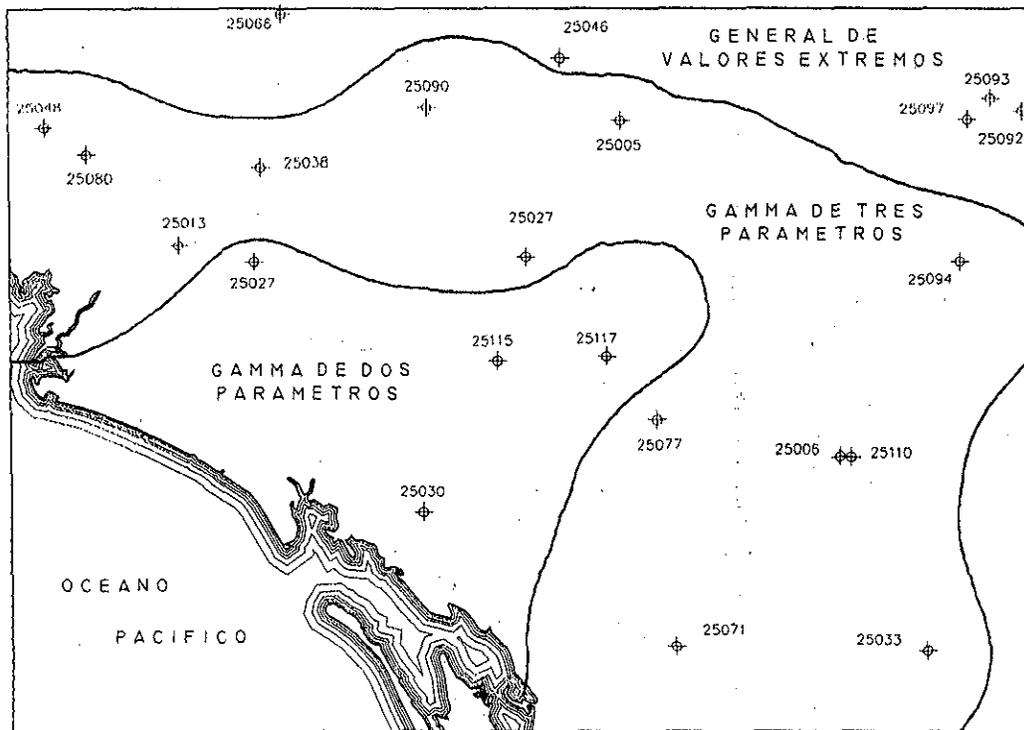


Figura 3.15 Distribuciones regionales para una zona del Estado de Sinaloa

**ESTACION 25115**

Gamma de dos parámetros

Escala	11.7177	10.5957	12.2421	12.4747	15.6901	15.8421	15.7539	15.1533	13.9421	16.1963
Forma	5.56456	7.11573	7.38532	7.80494	6.66282	6.97788	7.27895	7.8882	9.28068	8.33869

Eventos de diseño

T (años)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	69	81	98	105	112	119	124	129	141	147
5	98	110	132	141	154	162	167	173	184	194
10	115	128	152	162	179	188	194	199	210	223
20	131	144	171	182	202	211	217	223	233	249
50	151	163	193	205	230	240	246	251	261	280
100	165	177	209	222	250	261	267	272	281	302
500	197	207	245	258	294	306	312	316	323	350
1000	210	219	259	273	312	324	331	334	341	370
5000	239	247	292	307	353	366	373	375	380	415
10000	251	259	306	321	370	383	390	393	397	433

Tabla 3.21 Relación Hp-d-T en forma tabular.

Estación 25115

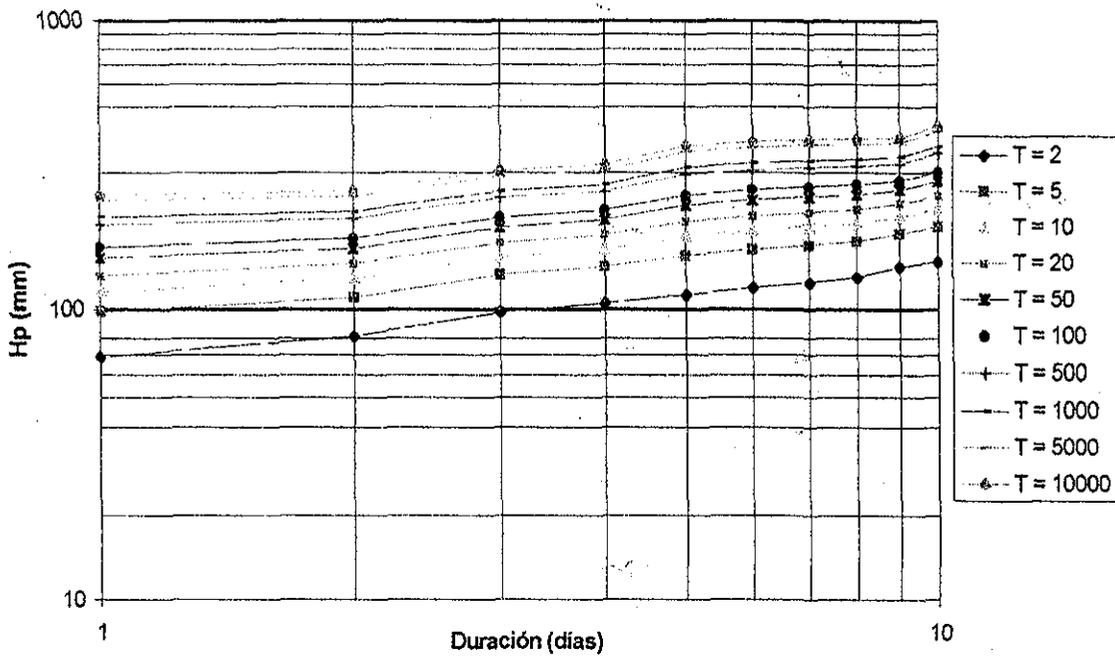


Figura 3.22 Relación Hp-d-T en forma gráfica.

Estación 25115

### 3.5.- Comparación del método propuesto con la metodología actual

Para estimar la lámina de precipitación correspondiente a duraciones mayores a 24 horas, actualmente se utiliza el método del U.S. Soil Conservation Service (USSCS, Campos, 1983), el cual consiste en dibujar en un papel logarítmico las cantidades de lluvia estimadas para duraciones de una y veinticuatro horas, uniendo ambos puntos con una línea recta. En caso de que se necesiten láminas para duraciones mayores a un día, simplemente se continúa la línea hasta la duración deseada, con lo cual se obtiene el valor buscado. Cuando no se tienen registros pluviográficos, se utiliza la figura 3.18.

El método se puede resumir en los siguientes pasos (Campos, 1983):

1.- Seleccionar los períodos de retorno que tendrán las curvas.

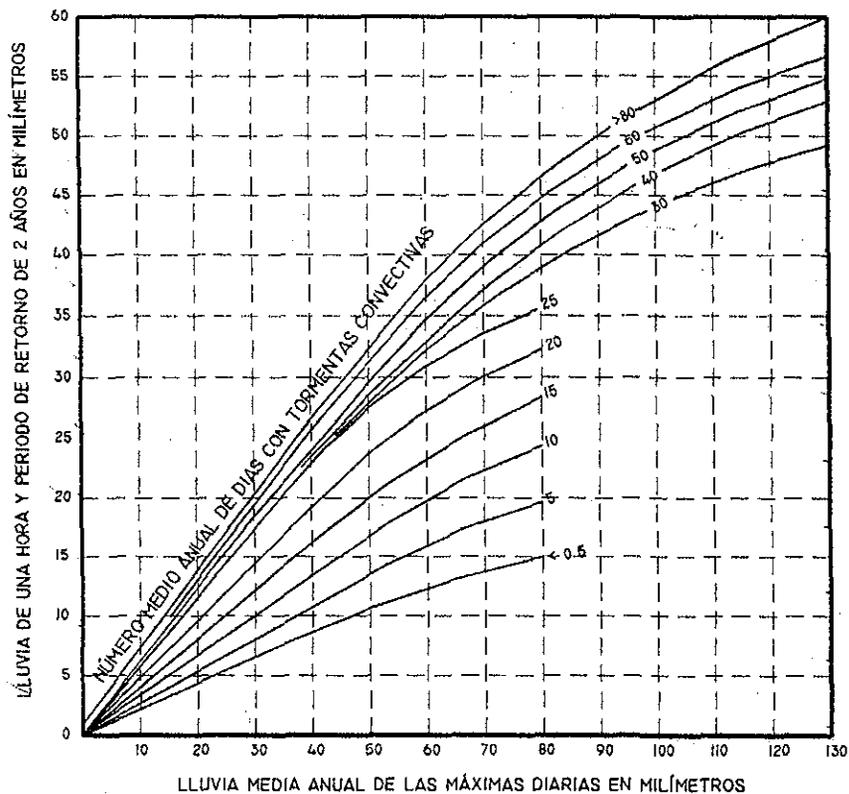
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2.- Calcular los valores de la lluvia máxima en 24 horas para los periodos de retorno de las curvas y para el de dos años.

3.- Calcular la lluvia de una hora y período de retorno de dos años, o bien seleccionar el coeficiente entre la lluvia y la de 24 horas, también para dos años período de retorno. En caso de que no se cuente con registros pluviográficos, se utiliza la figura 3.23.

4.- Se ubican los valores obtenidos en el inciso anterior en papel logarítmico y se unen mediante una recta, la cual se continúa hasta la duración deseada.

Estas rectas son las relaciones Hp-d-T.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.23 Obtención de la precipitación de una hora y período de retorno igual a dos años a partir de registros pluviométricos

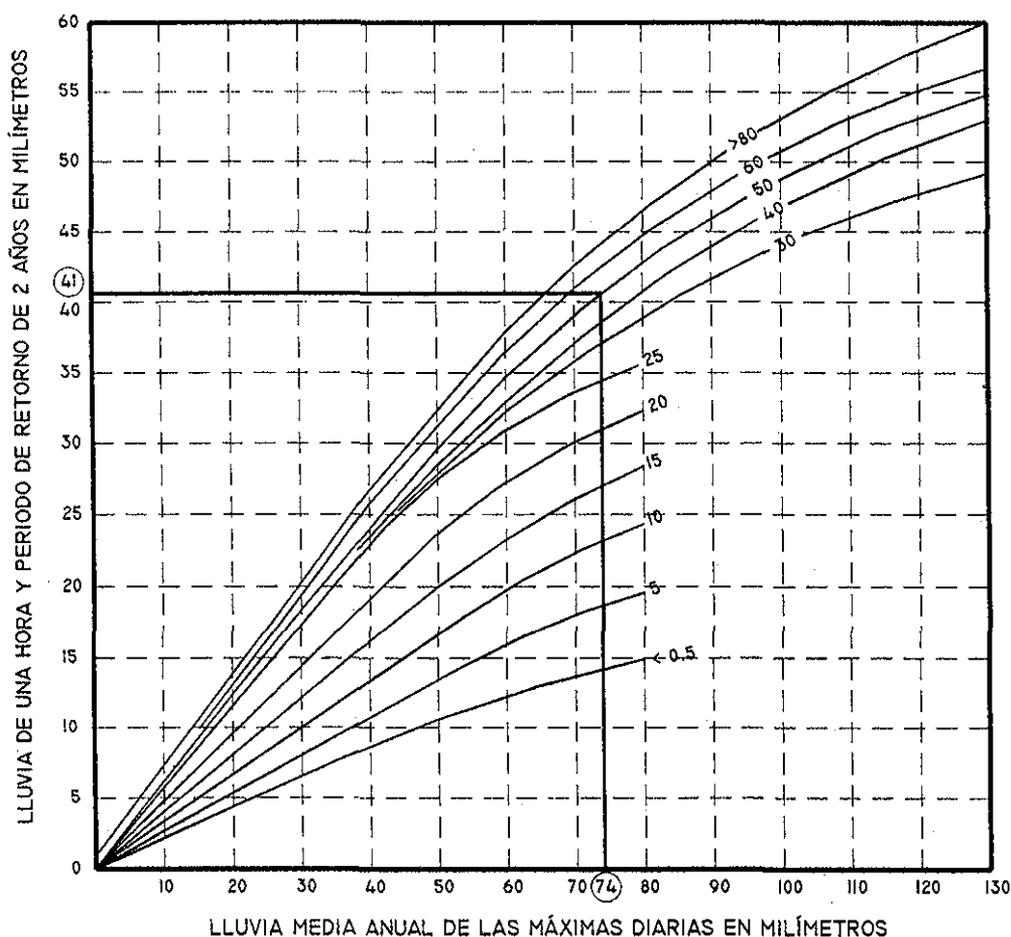
Para el caso de la estación 25115, no se cuenta con registros de pluviógrafo, por lo cual es necesario utilizar la figura 3.23. Para poder utilizar dicha figura, se necesita saber el número promedio anual de días con lluvia, así como la lluvia media anual de las precipitaciones máximas diarias. Para obtener los datos necesarios, se recurre a los registros diarios de la estación de interés, los cuales se muestran en el anexo B. A partir de los registros antes mencionados, se construye la tabla 3.24, en donde se ejemplifica la obtención de los valores necesarios para utilizar la gráfica 3.23.

N	Año	No. Días con lluvia	Máxima en 24 horas
1	1961	57	80.4
2	1962	55	65.0
3	1963	25	24.0
4	1964	52	123.0
5	1965	68	110.0
6	1966	57	33.7
7	1967	64	57.0
8	1968	73	57.0
9	1969	52	50.6
10	1970	44	56.4
11	1971	56	104.5
12	1972	52	86.5
13	1973	41	35.2
14	1974	52	43.2
15	1975	49	35.0
16	1976	56	50.5
17	1977	49	33.2
18	1978	58	60.0
19	1979	42	79.4
20	1980	60	71.5
21	1981	65	101.0
22	1982	44	44.5
23	1983	54	83.5
24	1984	79	65.0
25	1985	38	80.0
$\Sigma$		1342	1630.1
Promedio		53.68	65.204

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 3.24** Obtención de la precipitación media anual en 24 horas y días promedio de lluvia anual. Estación 25115

En la tabla 3.24 se puede observar que, en promedio, llueve 54 días al año en la estación 25115, y que la precipitación media diaria anual es de 65 mm. Para obtener la máxima diaria, es necesario multiplicar la lluvia media diaria por 1.13, como se muestra en la tabla 3.4, por lo cual la lámina mencionada es igual a 73.68. Como se explico en el párrafo precedente, con estos valores se puede obtener la precipitación de una hora para un período de retorno igual a dos años. En la figura 3.25 se muestra cómo se obtiene dicha lámina para la estación 25115 con este procedimiento, la cual es igual a 41 milímetros.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 3.25 Obtención de la precipitación de una hora y período de retorno igual a dos años. Estación 25115

Para obtener las curvas  $Hp-d-T$  para diferentes períodos de retorno y duraciones, es necesario realizar un análisis de frecuencias a los registros de 24 horas y obtener los eventos de diseño correspondientes. Para este caso, se utilizarán los valores de la tabla 3.21 debido a que para esta estación la distribución regional es igual a la distribución "en sitio". Como se explicó anteriormente, para obtener las curvas  $Hp-d-T$  se debe ubicar en papel logarítmico la precipitación de una hora y dos años período de retorno y la precipitación de 24 horas para el mismo período de retorno; una vez ubicados estos dos puntos, se unen con una recta. La recta trazada de esta forma corresponde a la relación  $Hp-d-T$  para  $T = 2$  años; para obtener las curvas correspondientes a los períodos de retorno restantes, es necesario ubicar los eventos de diseño para una duración de 24 horas en la gráfica y a partir de dichos puntos dibujar rectas con la pendiente de la recta ya trazada ( $T=2$  años). Para obtener la lámina correspondiente a duraciones mayores a 24 horas, simplemente se prolonga la recta hasta la duración deseada. Al realizar el procedimiento descrito para la estación 25115, se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 3.26.

A partir de la figura 3.26, se obtuvo la tabla 3.27, en la cual se muestra la relación Hp-d-T de forma similar a la tabla 3.21.

Estación 25115

T	d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2		69	76	82	85	89	92	94	97	99	101
5		98	110	118	123	128	131	135	139	141	144
10		115	128	136	143	148	153	158	161	164	167
20		131	146	157	164	170	176	180	185	189	191
50		151	169	181	190	197	201	208	211	215	218
100		165	186	200	209	213	220	224	230	235	239
500		197	218	231	244	251	260	267	274	280	285
1000		210	232	250	261	270	280	289	295	300	305
5000		239	266	289	300	310	319	325	331	339	344
10000		251	261	301	314	322	332	341	350	355	361

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 3.27** Forma tabular de la relación  $Hp-d-T$  obtenida con el método del USSCS.

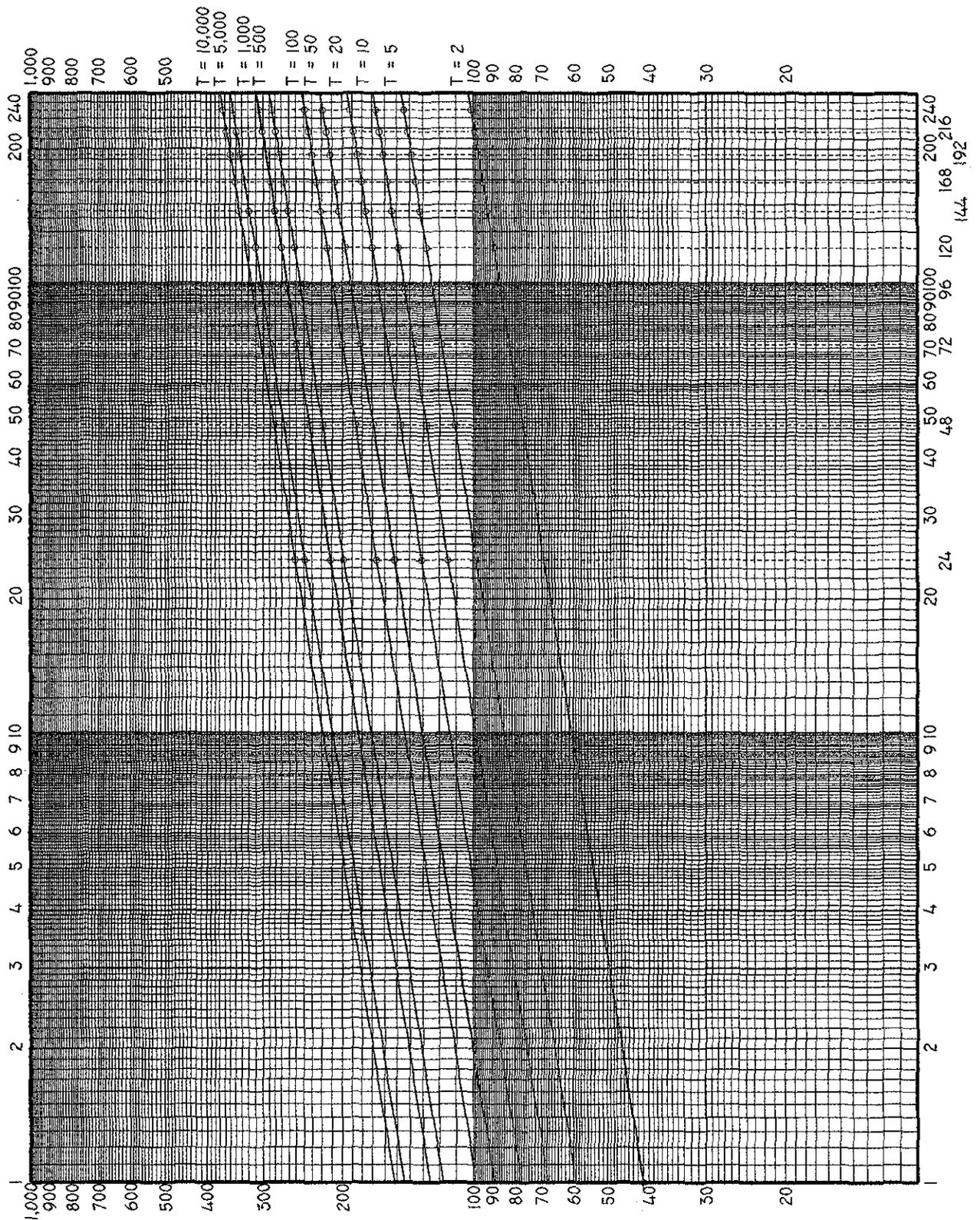


Figura 3.26 Obtención de la relación  $H_p-d-T$  con el método del USSCS.

Para comparar los resultados que se obtuvieron con el método del USSCS y el método propuesto, en la figura 3.28 se muestran las curvas para cuatro diferentes períodos de retorno. En esta figura, se puede observar que los eventos de diseño obtenidos con el método del USSCS son menores a los obtenidos al realizar un análisis de frecuencias para cada duración de forma separada. El método del USSCS no considera los eventos que se presentan para duraciones mayores a 24 horas y se puede observar que cuando la duración es de 24 o 48 horas, los eventos de diseño obtenidos con ambos métodos son muy similares. Cuando la duración de la lluvia es mayor a 48 horas, el valor de los eventos de diseño difiere considerablemente; por ejemplo el evento para  $T = 5$  y  $d = 10$  días obtenido con el método del USSCS es casi igual al obtenido con el método utilizado en el presente trabajo pero para  $T = 2$  años.

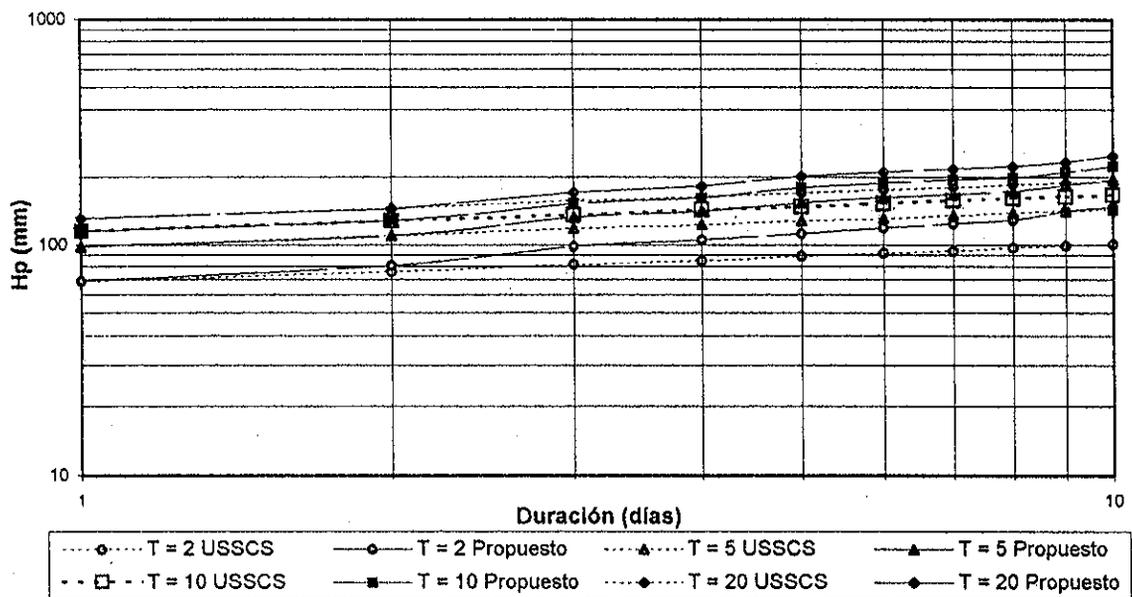


Figura 3.28 Comparación de la relación Hp-d-T con el método propuesto y el método del USSCS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.6.- Importancia de la regionalización

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, una parte fundamental del análisis consiste en considerar regiones homogéneas con base en el coeficiente de variación, tomando en cuenta el "comportamiento" de las estaciones aledañas. Para mostrar la importancia de la regionalización, se utilizará ahora una región del estado de Baja California Sur, como se muestra en la figura 3.29, en la cual se puede apreciar que en la mayoría de las estaciones la distribución con el menor EEA es la Gumbel Mixta, ya que únicamente en cuatro de las 16 estaciones mostradas dicha distribución no presentó el mejor ajuste. En las estaciones 3074, 3023, 3077 y 3104 la distribución con el menor EEA corresponde a la GVE, mientras que en la estación 3049 la mejor distribución corresponde a la Lognormal de tres parámetros.

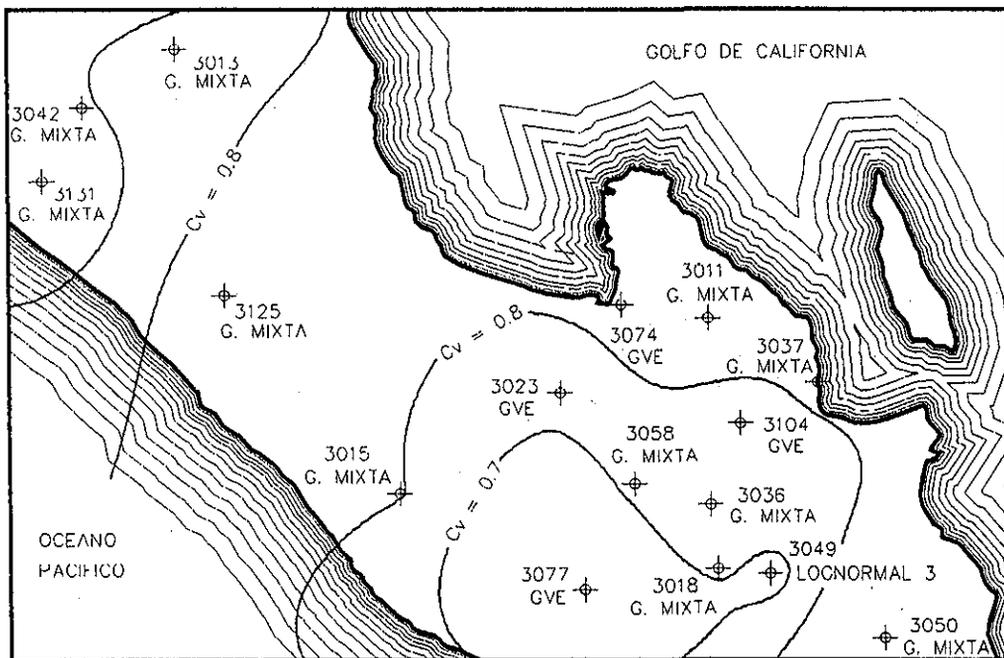


Figura 3.29 Regionalización en una zona del estado de Baja California Sur

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Si el análisis de frecuencias se realizara en la forma tradicional, los eventos de diseño correspondientes a la precipitación de 24 horas para las estaciones indicadas en el párrafo precedente, serían los que se muestran a continuación, en la tabla 3.30.

T (años)	3023 GVE M	3049 LNormal 3 M	3074 GVE M	3104 GVE M
2	54.16	50.471	30.836	54.037
5	85.362	96.512	52.499	101.415
10	112.115	128.375	74.141	180.978
20	143.563	159.789	102.885	342.312
50	194.781	201.741	156.679	834.853
100	242.817	234.233	214.342	1669.248
500	396.717	313.316	440.570	8531.712
1000	487.161	349.230	599.932	17287.908
5000	777.836	437.545	1226.702	89297.406
10000	948.840	477.863	1668.569	181176.140
EE	8.933	13.347	9.219	26.220

**Tabla 3.30** Eventos de diseño para d = 24 horas sin considerar la regionalización en una región de Baja California Sur

Una vez que se realiza la regionalización, se observa que la distribución que se debe utilizar en estas cuatro estaciones es la Gumbel Mixta, por lo cual los eventos de diseño para una duración de 24 horas corresponden a los valores mostrados en la tabla 3.31.

T (años)	3023 Gumbel Mixta MV	3049 Gumbel Mixta MV	3074 Gumbel Mixta MV	3104 Gumbel Mixta MV
2	61	60	36	65
5	96	78	57	101
10	130	97	83	186
20	166	122	117	275
50	211	158	160	377
100	244	185	190	451
500	320	246	259	618
1000	352	272	288	689
5000	427	333	356	854
10000	459	360	385	925
EE	9.304	18.74	9.646	40.941

**Tabla 3.31** Eventos de diseño para d = 24 horas al considerar la regionalización en una región de Baja California Sur

Al comparar las tablas 3.30 y 3.31 se puede observar que los eventos de diseño obtenidos al considerar la regionalización son congruentes, a diferencia de algunos eventos que se muestran en la tabla 3.30, por lo cual la regionalización es una parte clave para la correcta obtención de los eventos de diseño.

### **3.7.- Tablas Hp-d-T para algunas estaciones del noroeste de la República**

Con la metodología expuesta a lo largo del presente capítulo, se obtuvo la relación *Hp-d-T* para las estaciones de la República. Con fines ilustrativos se muestran las tablas para algunas de las estaciones climatológicas ubicadas en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, como complemento de los mapas 3.16 a 3.20, que se muestran en el anexo B. Con estas tablas se pueden elaborar mapas que muestren las curvas Hp-d-T para una duración y período de retorno determinados. A manera de ejemplo, en los mapas 3.32 a 3.36, ubicados en el anexo D, se muestran las curvas *Hp-d-T* para una duración de 24 horas y un período de retorno igual a diez años para los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. Para mostrar el uso que se puede dar a las tablas del anexo B, en el siguiente capítulo se obtiene el hidrograma de salida para una Cuenca mediante un modelo lluvia escurrimiento.

# CAPÍTULO 4

---

## Aplicación de las curvas Hp-d-T

Como se mencionó en la Introducción y en el capítulo 1, las curvas *Hp-d-T* se pueden utilizar para determinar el hidrograma de una corriente cuando ésta no está aforada o cuando la longitud de registros de la estación hidrométrica no tiene la longitud suficiente. Para ejemplificar el uso de las tablas *Hp-d-T*, en el presente capítulo se obtiene el hidrograma de diseño para el río Piaxtla, ubicado en el estado de Sinaloa. Debido a que la superficie de esta cuenca es considerable, el uso de la fórmula racional no es adecuado para obtener el hidrograma de diseño, por lo cual se utilizará el modelo Geomorfológico.

### 4.1 Parámetros Geomorfológicos de una cuenca hidrológica

#### 4.1.1.- Leyes de Horton

El análisis cuantitativo de una red de ríos comenzó en 1945 con la clasificación propuesta por Horton (1945) para determinar el orden de una corriente, la cual se establece de acuerdo con los siguientes criterios:

- 1) Los canales que se originan en una fuente son definidas como corrientes de primer orden.
- 2) Cuando dos corrientes de orden  $\omega$  se unen, se crea una corriente de orden  $\omega+1$ .
- 3) Cuando dos corrientes de diferente orden confluyen, el segmento de canal inmediatamente aguas abajo se considera como la continuación de la corriente de orden mas grande.
- 4) El orden de una cuenca es el valor mas alto de la corriente  $\Omega$ .

#### 4.1.2.- Ley de los números de corriente

Esta ley establece que el número de corrientes de un orden dado sigue una relación inversa con el orden de la corriente:

$$N_{\omega} = R_B^{\Omega-\omega} \quad (4.1)$$

$\Omega$  Orden mas alto de la cuenca.

$\omega$  Orden de interés.

$R_B$  Relación de bifurcación

La gráfica de  $N_{\omega} - \omega$  sigue una línea recta con pendiente negativa y el número total de corrientes en una red es:

$$\sum_{\omega=1}^{\Omega} N_{\omega} = 1 + R_B + R_B^2 + \dots + R_B^{\Omega-1} = \sum_{\omega=1}^{\Omega} R_B^{\omega-1} \quad (4.2)$$

$$R_B = \frac{N_{\omega-1}}{N_{\omega}} \quad (4.3)$$

Lo que implica que en promedio existen  $R_B$  corrientes de orden  $\Omega-1$ .

#### 4.1.3.- Leyes de longitudes y áreas de corrientes

$L_\omega$  = Longitud de las corrientes de orden  $\omega$

$\bar{L}_\omega$  = Promedio de la longitud de las corrientes

de orden  $\omega$

$$\bar{L}_\omega = \frac{1}{N_\omega} \sum_{i=1}^{N_\omega} L_{\omega_i} \quad (4.4)$$

$A_{\omega i}$  = Área que contribuye a la descarga de la

corriente de orden  $\omega$  y sus tributarios.

$\bar{A}_\omega$  = Promedio de las áreas de las cuencas de

orden  $\omega$

$$\bar{A}_\omega = \frac{1}{N_\omega} \sum_{i=1}^{N_\omega} A_{\omega_i} \quad (4.5)$$

#### 4.2.- Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico

Rodríguez Iturbe y Valdés (1979) fueron los primeros en introducir el concepto del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico (HUIG), y posteriormente distintos investigadores han profundizado en este modelo, como Gupta (1980) y Sivapalan (1994), y como su nombre lo indica, este modelo se basa en la geomorfología de la cuenca.

El modelo del HUIG de una cuenca es igual a la función de densidad de probabilidad del tiempo de viaje  $T_B$  hasta la salida de la cuenca de una gota que cae en la superficie de la misma de forma aleatoria con distribución espacialmente uniforme. El viaje de una gota a través de una cuenca va teniendo transiciones, es decir, viaja por

corrientes de distinto orden. Una transición se define como un cambio de estado, donde el estado  $\omega$  es el orden de la corriente donde la gota está viajando. El viaje de una gota está gobernado por las siguientes reglas:

- 1.- Para una gota que cae en una ladera, su estado correspondiente es  $a_\omega$ , donde  $\omega$  es el orden de la corriente asociada a la ladera.
- 2.- Del estado  $a_\omega$ , la gota pasa al estado  $r_\omega$  correspondiente.
- 3.- De un estado  $r_\omega$ , se puede pasar a cualquier estado  $r_j$ , si  $j > i$ .
- 4.- Del estado  $a_\Omega$ , se pasa a la salida.

El conjunto de reglas anterior define un conjunto finito de trayectorias que puede seguir una gota hasta alcanzar la salida de la cuenca. Así, por ejemplo, para una cuenca de orden tres, las trayectorias posibles son:

$$S_1: a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3 \rightarrow salida$$

$$S_2: a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_3 \rightarrow salida$$

$$S_3: a_2 \rightarrow r_3 \rightarrow salida$$

$$S_4: a_3 \rightarrow r_3 \rightarrow salida$$

Con estas condiciones la función de probabilidades del tiempo de escurrimiento de una gota hasta la salida de la cuenca está dada por:

$$P(T_B \leq t) = \sum_{s_i \in S} P(T_{s_i} \leq t) P(s_i) \quad (4.6)$$

Donde  $T_B$  es el tiempo de viaje a la salida de la cuenca;  $T_{S_i}$  es el tiempo de viaje en una trayectoria particular  $S_i$ ,  $P(S_i)$  es la probabilidad de que una gota tome una trayectoria  $S_i$  y  $S$  es el conjunto de todas las trayectorias posibles que una gota puede tomar después de caer en la cuenca.

#### 4.2.1.- Estimación de la función de distribución de probabilidad de los tiempos de viaje

El tiempo de viaje  $T_{S_i}$  para una trayectoria en particular, es igual a la suma de los tiempos de viaje en los elementos de esa trayectoria. Así, para las trayectorias de una cuenca de orden dos, se presentan dos posibles trayectorias:

$$S_1: \quad a_1 \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow salida$$
$$S_2: \quad a_2 \rightarrow r_2 \rightarrow salida$$

Y los tiempos de viaje correspondientes son:

$$T_{S1} = T_{a1} + T_{r1} + T_{r2}$$
$$T_{S2} = T_{a2} + T_{r2}$$

Debido a la gran cantidad de laderas y corrientes para un orden determinado, los tiempos de viaje son tomados como variables aleatorias con funciones de densidad de probabilidad  $f_{T_{a1}}(t)$  o  $f_{T_{r1}}(t)$  respectivamente. La función densidad de probabilidad del tiempo de viaje total en una trayectoria  $T_S$  se obtiene por la convolución de las funciones

de densidad de cada tramo de la trayectoria, como se muestra en la ecuación 4.7 y en la cual (\*) corresponde a la convolución.

$$f_{T_s}(t) = f_{T_{s_1}}(t) * f_{T_{s_2}}(t) * \dots * f_{T_{s_n}}(t) \quad (4.7)$$

Por ejemplo, para las trayectorias  $S_1$  y  $S_2$  mostradas con anterioridad, las funciones de densidad de probabilidad correspondiente a cada una de ellas corresponden a las que se muestran en las ecuaciones 4.8 y 4.9:

$$f_{T_{S_1}}(t) = f_{T_{s_1}}(t) * f_{T_{s_2}}(t) * f_{T_{s_3}}(t) \quad (4.8)$$

$$f_{T_{S_2}}(t) = f_{T_{s_2}}(t) * f_{T_{s_3}}(t) \quad (4.9)$$

Y al desarrollar las convoluciones, se tiene que:

$$f_{T_{S_1}}(t) = \int_0^t \int_0^{t-t'} f_{T_{s_1}}(t') \cdot f_{T_{s_2}}(t''-t') \cdot f_{T_{s_3}}(t-t'') dt'' \quad (4.10)$$

$$f_{T_{S_2}}(t) = \int_0^t f_{T_{s_2}}(t') \cdot f_{T_{s_3}}(t-t') dt' \quad (4.11)$$

Ya que la función de distribución de probabilidad del tiempo de escurrimiento de una gota para cualquier trayectoria  $S$  está dada por:

$$P[T_{S_1} \leq t] = \int_0^t f_{T_{S_1}}(t) dt \quad (4.12)$$

Para una cuenca de segundo orden, la función de distribución de probabilidad de los tiempos de viaje son:

$$P(T_B \leq t) = P(T_{S_1} \leq t) \cdot P(S_1) + P(T_{S_2} \leq t) \cdot P(S_2) \quad (4.13)$$

Donde las probabilidades de los tiempos están dadas por las ecuaciones 4.10, 4.11 y 4.12.

#### 4.2.2. - Probabilidad de seguir una trayectoria determinada

La probabilidad  $P(s)$  de que una gota de agua siga una trayectoria determinada, está dada por:

$$P(s) = \theta_i P_{ij} P_{jk} \dots P_{r\Omega} \quad (4.14)$$

Donde  $\theta_i$  es la probabilidad de que la gota caiga en una ladera adyacente a una corriente de orden  $i$  y  $P_{ij}$  es la probabilidad de transición de una corriente de orden  $i$  a una de orden  $j$ ; estas probabilidades están en función de la geomorfología y de la geometría de la cuenca en estudio. La interpretación física de estas probabilidades son:

$$\theta_i = \frac{\text{área total que drena directamente a las corrientes de orden } i}{\text{área total de la cuenca}}$$

$$P_{ij} = \frac{\text{No. de } r_i \text{ que drenan a las } r_j}{\text{No. total de } r_j}$$

Si se hace uso de los órdenes de Strahler y de las leyes de Horton,  $\theta_i$  y  $P_{ij}$  se pueden calcular mediante las siguientes expresiones:

$$P_{ij} = \frac{(N_i - 2N_{i-1})E(j, \Omega)}{\sum_{k=i+1}^{\Omega} E(k, \Omega)N_i} + \frac{2N_{i+1}}{N_i} \delta_{i-1, j} \quad (4.15)$$

Donde  $\delta_{i-1, j} = 1$  si  $j = i+1$  y  $\delta_{i-1, j} = 0$  en caso contrario.  $E(i, \theta)$  señala el número promedio de enlaces interiores de orden  $i$  en una red finita de orden  $\theta$  y se obtiene como se muestra en la ecuación 4.16; un enlace interior es un segmento de la red de corrientes, entre dos uniones sucesivas o entre la salida y la primer unión aguas arriba.

$$E(i, \Omega) = N_i \prod_{j=2}^i \frac{(N_{j-1} - 1)}{2N_j - 1}, \quad i = 2, \dots, \Omega \quad (4.16)$$

La probabilidad de que una gota calga en una superficie de orden  $\omega$ , puede ser aproximada mediante la ecuación 4.17:

$$\theta_1 = \frac{N_1 \bar{A}_1}{A_\Omega} \quad \theta_\omega = \frac{N_\omega}{A_\Omega} \left[ \bar{A}_\omega - \sum_{j=1}^{\omega-1} \bar{A}_j \left( \frac{N_j P_{j\omega}}{N_\omega} \right) \right] \quad \omega = 2, \dots, \Omega \quad (4.17)$$

Así como la expresión 4.15 se expresa en función de los parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio, la ecuación 4.17 puede ser expresada en función de  $R_A$  y  $R_B$ .

#### 4.2.3.- Definición del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico

El Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico se define como la función de densidad de las probabilidades de  $T_B$  y por lo tanto:

$$h_B(t) = \frac{d}{dt} [P(T_B \leq t)] = \sum_{s \in S} f_{T_n}(t) * \dots * f_{T_n}(t) P(s) \quad (4.18)$$

Donde  $f_{T_{ri}}(t)$  es la función de densidad de probabilidad de  $T_{ri}$ .

Rodríguez Iturbe y Valdés (1979) supusieron que se puede despreciar el tiempo de viaje en la ladera en comparación con el tiempo total de viaje de una gota de agua dentro de la cuenca; asimismo, consideraron que el tiempo de viaje en una corriente de orden  $\omega$ , tiene una función de densidad de probabilidad exponencial dada por:

$$f_{T_\omega}(t) = K_\omega e^{-K_\omega t} \quad (4.19)$$

Donde  $1/K_w$  es el tiempo promedio de viaje y que puede estimarse como:

$$K_w = \frac{V}{L_w} \quad (4.20)$$

Donde  $V$  es una velocidad característica que se supone igual en cualquier parte de la cuenca para cualquier tiempo dado.

La ecuación 4.13 describe de forma completa el hidrograma unitario instantáneo geomorfológico; sin embargo, su complejidad ha llevado a algunas simplificaciones, de tal forma que Rodríguez Iturbe y Valdés (1979) sugirieron el uso de un hidrograma unitario instantáneo triangular cuyo gasto de pico  $q_p$  y tiempo pico  $t_p$  fueron obtenidos con regresiones ajustadas a la solución analítica de la ecuación 4.13 y están dados por

$$q_p = \frac{1.31}{L_\Omega} R_L^{0.43} V \quad t_p = \frac{0.44 L_\Omega}{V} \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \quad (4.21)$$

Donde  $L_\Omega$  es la longitud en kilómetros de la corriente de mayor orden y  $V$  es la velocidad de pico esperada en metros por segundos. La velocidad de pico puede ser calculada en función de la intensidad de la precipitación efectiva ( $i$ ) y su duración, de tal forma que  $q_p$  y  $t_p$  se pueden expresar de la siguiente forma.

$$q_p = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}} \quad (4.22)$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} \quad (4.23)$$

Donde:

$$\Pi_i = \frac{L_\Omega^{2.5}}{i_r A_\Omega R_L \alpha_n^{1.5}} \quad (4.24)$$

$$\alpha_n = \frac{1}{nb_{\Omega}^{2/3}} s_{\Omega}^{1/2} \quad (4.25)$$

La ecuación 4.25 corresponde a la ecuación de Manning para un canal rectangular muy ancho. En esta ecuación,  $b_{\Omega}$  y  $S_{\Omega}$  son la anchura media y la pendiente de la corriente de mayor orden en la cuenca y  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Si se supone un hidrograma unitario instantáneo triangular con  $q_p$  y  $t_p$ , al convolucionar estas variables con una tormenta uniforme rectangular de intensidad efectiva  $i_r$  y duración  $t_r$ , se obtienen las siguientes expresiones para el gasto de pico:

$$\frac{Q_p}{Q_c} = t_r q_p \left( 1 - \frac{t_r q_p}{4} \right) \quad t_r \leq t_c = t_B \quad (4.26)$$

$$Q_p = Q_c = i_r A \quad t_r = t_c \quad (4.27)$$

Donde  $t_B$  es el tiempo base del hidrograma unitario instantáneo, que es igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Si se sustituyen las ecuaciones 4.17 y 4.18 en las ecuaciones 4.26 y 4.27, se obtiene entonces:

$$Q_p = 2.42 \frac{i_r A_{\Omega} t_r}{\Pi_i^{0.4}} \left( 1 - \frac{0.218 t_r}{\Pi_i^{0.4}} \right) \quad (4.28)$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_r \quad (4.29)$$

Ecuaciones que corresponden al gasto de pico y al tiempo pico en función de la intensidad y la duración de la lluvia en exceso.

### 4.3.- Cuenca del río Piaxtla

#### 4.3.1 - Descripción de la zona de estudio

Este río ocupa el 5º lugar dentro del grupo de los grandes ríos sinaloenses, con un cauce principal de 220 km de longitud. Su nacimiento ocurre en la Sierra Madre Occidental, a más de 2,800 msnm. Las fuentes originales del río se unen rápidamente y dan lugar a una corriente llamada río Miravalle, que fluye de norte a sur en la ladera este del cerro Colorado, cambiando después al nombre de Piaxtla, así como de dirección para seguir un rumbo de S60°W. La cuenca se encuentra limitada por los paralelos 23°40' y 24°30' de latitud Norte y los meridianos 105°20' y 106°50' de longitud oeste, abarcando parte de los estados de Durango y Sinaloa.

Dentro del estado de Durango, el río Piaxtla tiene un afluente derecho importante llamado Quebrada del Pilar, con una cuenca de 503 km<sup>2</sup>. A continuación tiene otro afluente por la margen izquierda llamado arroyo Los Aposentos y cuya dirección general es de este a oeste; antes de entrar al estado de Sinaloa, el Piaxtla tiene otros tres afluentes hacia aguas abajo, el arroyo de La Alameda, la Quebrada de la Vinata y el arroyo de la Quebrada. Trece kilómetros aguas abajo del último afluente mencionado, el río pasa por Tayoltita y tres kilómetros adelante cruza el límite entre los estados de Durango y Sinaloa. Una vez dentro de este último estado, el Piaxtla recorre 50 km antes de tener una nueva confluencia importante por su margen derecha y que corresponde al río Verde, el cual fluye de norte a sur, con una cuenca de 1,505 km<sup>2</sup>. Después, 10 km aguas abajo pasa por San Ignacio y más adelante por Ixpalino y por Piaxtla, cerca del cruce con la carretera Federal No 15. Finalmente, después de 30 km de recorrido a partir del cruce mencionado,

desemboca en el Océano Pacífico a la altura del poblado de Dimas, frente a Punta Piaxtla.

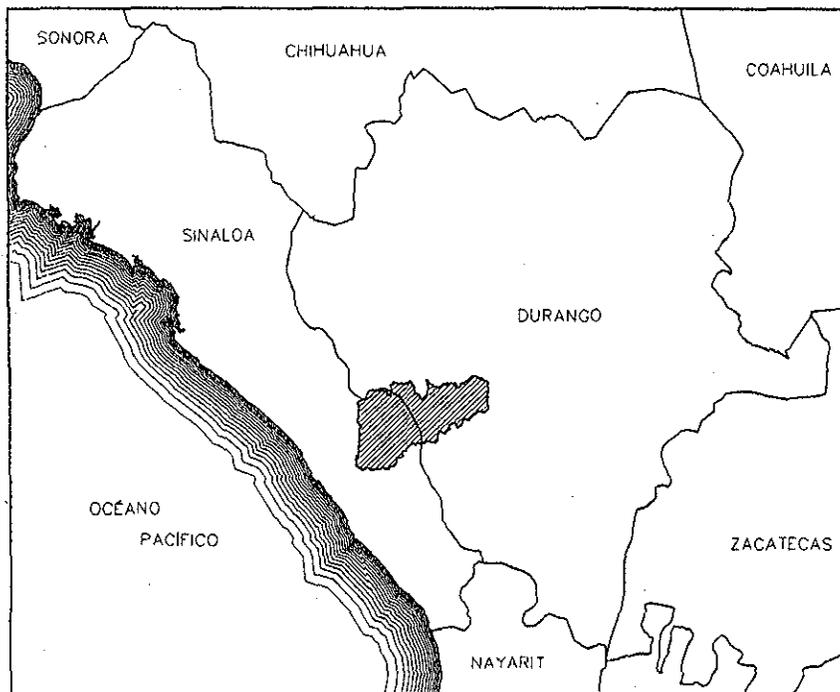


Figura 4.30.- Ubicación de la cuenca del río Piaxtla

#### 4.3.2- Parámetros fisiográficos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para la obtención de los parámetros fisiográficos se utilizaron los Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA) desarrollados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). El GEMA consiste en una base de imágenes tipo raster, en las cuales se muestran en arreglos matriciales la ubicación de puntos a cada 3'' (aproximadamente 29 metros) con sus correspondientes elevaciones, mismos que se conocen como modelos de elevación digital (o DEM por sus siglas en inglés). Para procesar dichas imágenes, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) llamado GRASS, el cual funciona bajo el sistema operativo LINUX y que puede ser adquirido de forma gratuita (GRASS Development Team, 2001a). Con este

programa se delimitó el parteaguas de la Cuenca del Río Piaxtla, así como sus correspondientes subcuencas (GRASS Development Team, 2001b); también se utilizaron las cartas topográficas editadas por el INEGI a escala 1:50,000 correspondientes a la zona en estudio.

En la figura 4.31 se puede observar el DEM de la Cuenca en estudio; en esta figura se pueden apreciar, en color blanco, el parteaguas de la Cuenca y las corrientes que la drenan, mientras que en el plano del anexo C se muestra la topografía de la Cuenca y las subcuencas que la conforman.

#### 4.3.2.1.- Área y centroide de la cuenca (A)

Para el presente estudio se consideró el área de la Cuenca que drena hasta la estación hidrométrica Piaxtla, ubicada cerca del poblado de San Ignacio. El área de la Cuenca hasta dicho punto es:

$$A_{\text{Piaxtla}} = 5414.206 \text{ km}^2.$$

Las coordenadas mostradas en la figura 4.31 corresponden a la proyección UTM zona 13, NAD 27, la cual es igual a la utilizada en las cartas editadas por el INEGI. De acuerdo a la proyección indicada, el centroide de la cuenca del Río Piaxtla se ubica en las siguientes coordenadas:

$$X_c = 401,651.3987 \quad Y_c = 2,672,989.7616$$

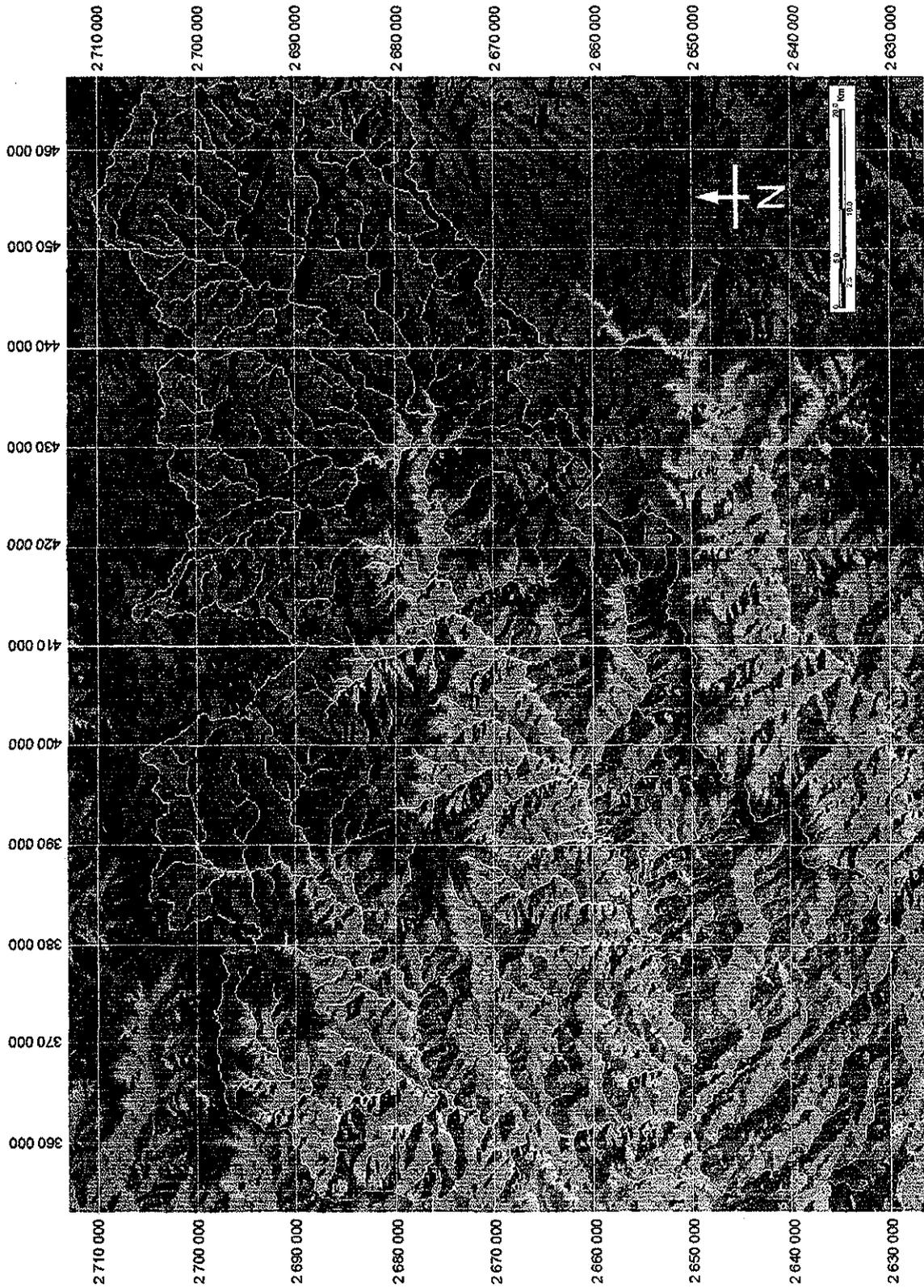


Figura 4.31.- DEM de la cuenca del río Piactla

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.3.2.2.- Longitud del cauce principal (*L*)

La longitud del cauce principal es

$$L_{\text{Piaxtla}} = 180.311 \text{ km}$$

#### 4.3.2.3.- Pendiente de la corriente (*S*)

Las elevaciones y longitudes entre cada uno de los puntos tomados para obtener la pendiente de la corriente, se pueden observar en la tabla 4.32

La pendiente media del cauce se obtuvo con el criterio de Taylor – Schwarz (Aparicio, 1993), ya que para obtener la pendiente se utiliza la velocidad media, misma que se utiliza en el HUG. La pendiente por este criterio se obtiene de la siguiente forma:

$$S = \left[ \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2 \quad (4.33)$$

Donde  $l_i$  y  $S_i$  corresponden a cada uno de los tramos en los que se haya dividido a la corriente, mientras que  $L$  representa la longitud total de la misma. Al aplicar este método, se obtiene la pendiente media de la corriente, la cual se muestra a continuación.

$$S_{\text{Piaxtla}} = 0.005851$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 4  
 Aplicación de las curvas *Hp-d-T*

Pi	Pf	Elev i	Elev f	L(m)	Si	Li / (Si) <sup>0.5</sup>
1	2	2600	2550	6640.8917	0.0075	76534.0322
2	3	2550	2500	6073.0152	0.0082	66930.1117
3	4	2500	2450	4256.8949	0.0117	39278.4544
4	5	2450	2400	3498.0390	0.0143	29258.4940
5	6	2400	2350	8064.1521	0.0062	102412.5226
6	7	2350	2300	12936.7292	0.0039	208090.2485
7	8	2300	2250	4807.1545	0.0104	47135.3915
8	9	2250	2200	2367.4787	0.0211	16290.8640
9	10	2200	2150	1165.0905	0.0429	5624.1188
10	11	2150	2100	1093.7309	0.0457	5115.4132
11	12	2100	2050	628.0635	0.0796	2225.9752
12	13	2050	2000	468.1588	0.1068	1432.5335
13	14	2000	1950	1088.7595	0.0459	5080.5758
14	15	1950	1900	767.7020	0.0651	3008.1813
15	16	1900	1850	1416.6056	0.0353	7540.2966
16	17	1850	1800	1740.0946	0.0287	10265.3624
17	18	1800	1750	976.9750	0.0512	4318.5721
18	19	1750	1700	1093.2270	0.0457	5111.8785
19	20	1700	1650	503.5678	0.0993	1598.0925
20	21	1650	1600	240.1708	0.2082	526.3751
21	22	1600	1550	86.4866	0.5781	113.7466
22	23	1550	1500	94.7328	0.5278	130.3964
23	24	1500	1450	192.5519	0.2597	377.8650
24	25	1450	1400	296.8005	0.1685	723.1228
25	26	1400	1350	236.9008	0.2111	515.6616
26	27	1350	1300	115.8090	0.4317	176.2497
27	28	1300	1250	907.6097	0.0551	3866.9067
28	29	1250	1200	525.1141	0.0952	1701.7491
29	30	1200	1150	1054.7143	0.0474	4844.1463
30	31	1150	1100	649.4078	0.0770	2340.4062
31	32	1100	1050	3641.5490	0.0137	31077.3683
32	33	1050	1000	869.5384	0.0575	3626.1699
33	34	1000	950	734.8813	0.0680	2817.3499
34	35	950	900	634.8608	0.0788	2262.2092
35	36	900	850	2984.9646	0.0168	23063.4236
36	37	850	800	552.0532	0.0906	1834.3677
37	38	800	750	3961.3232	0.0126	35259.4403
38	39	750	700	3515.3547	0.0142	29476.0121
39	40	700	650	5651.7995	0.0088	60089.0195
40	41	650	600	4669.7316	0.0107	45128.7056
41	42	600	550	5335.5551	0.0094	55116.8529
42	43	550	500	3917.1649	0.0128	34671.5118
43	44	500	450	12913.8767	0.0039	207539.1105
44	45	450	400	1374.9711	0.0364	7210.3335
45	46	400	350	13393.3708	0.0037	219204.6874
46	47	350	300	4102.9932	0.0122	37167.7434
47	48	300	250	19606.2528	0.0026	388245.9150
48	49	250	200	2329.5635	0.0215	15901.0875
49	50	200	130	26134.8128	0.0027	504986.8516

Total 180311.246 2357245.904

$S = 0.0058511$

Tabla 4.32.- Cálculo de la pendiente del cauce principal.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### 4.3.2.4.- Tiempo de concentración ( $t_c$ )

Para obtener el tiempo de concentración de la corriente en estudio, se utilizó la fórmula de Kirpich (Aparicio, 1993):

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (4.34)$$

Por lo cual el tiempo de concentración del río Piaxtla hasta la estación hidrométrica es:

$$T_c = 26.22 \text{ horas}$$

### 4.3.3- Geomorfología de la Cuenca

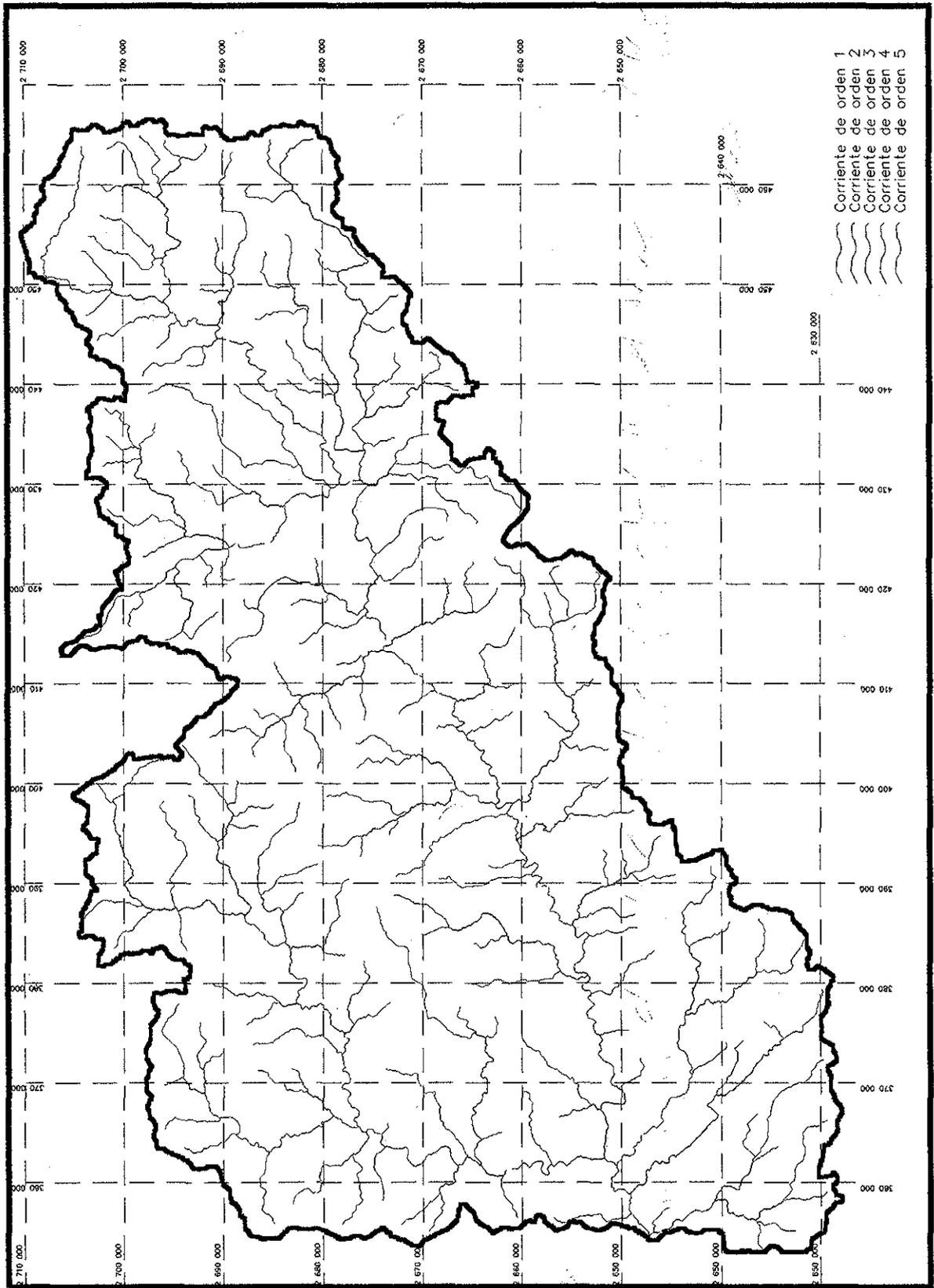
#### 4.3.3.1.- Orden de la corriente ( $\Omega$ )

Como se puede apreciar en la figura 4.33, el orden del Río Piaxtla hasta la estación hidrométrica con el mismo nombre, es de 5° orden.

$$\Omega_{\text{Piaxtla}} = 5$$

#### 4.3.3.2.- Relación de áreas, longitud y número de corrientes

Para encontrar el radio de bifurcación, así como la relación de corrientes y de áreas para la cuenca del río Piaxtla, primero se ubicaron las subcuencas de dicha Cuenca, mismas que se muestran en el plano Anexo. En las tablas 4.35 a 4.38 se muestra el área media y la longitud de corriente para las cuencas de diferente orden.



No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)	No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)	No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
1	0.658	383.73	46	7.080	2603.11	91	22.963	8137.738
2	0.512	382.30	47	15.752	5722.95	92	19.016	4865.848
3	8.258	3592.51	48	8.786	3098.61	93	5.797	3524.214
4	21.160	8140.60	49	8.704	4282.57	94	40.948	10808.987
5	19.617	7156.70	50	21.785	6521.12	95	26.210	9300.264
6	0.706	652.47	51	9.175	3300.27	96	8.688	1507.133
7	18.992	6668.31	52	33.811	10561.90	97	65.380	15677.697
8	44.074	13974.20	53	34.614	11898.56	98	6.009	3225.087
9	8.363	3068.00	54	11.473	2895.89	99	8.891	2371.910
10	12.634	5777.96	55	15.070	7927.98	100	42.929	13982.192
11	11.392	3675.48	56	3.881	2101.32	101	1.291	1268.308
12	0.252	254.87	57	11.278	4711.84	102	78.266	20630.219
13	12.033	4473.33	58	38.414	8103.86	103	10.393	4350.872
14	13.381	3841.67	59	21.322	7823.95	104	12.171	3352.733
15	21.095	5290.72	60	1.421	1072.26	107	17.287	5535.847
16	34.103	11543.68	61	24.936	6271.76	108	1.226	1268.096
17	3.995	2999.07	62	34.899	8501.36	109	10.093	3969.524
18	20.795	9291.48	63	12.366	4358.34	110	46.079	11768.900
19	9.581	1267.57	64	1.884	562.52	111	13.065	4848.224
20	14.234	5146.29	65	3.792	2477.69	112	31.068	7463.720
21	0.999	1560.45	66	22.354	6330.58	113	17.474	6202.929
22	26.316	6549.55	67	1.656	1215.42	114	17.124	3135.879
23	25.894	8598.96	68	17.206	7376.31	115	4.109	3338.492
24	6.877	2881.43	69	51.406	13245.70	116	41.565	10538.140
25	6.382	1432.70	70	8.729	2902.56	117	22.873	9025.440
26	2.736	1432.70	71	25.082	7794.93	118	10.531	4463.429
27	12.033	4546.18	72	46.161	13740.03	119	29.345	8124.875
28	9.078	5398.98	73	25.975	9653.82	120	8.501	3114.863
29	14.672	4791.57	74	21.363	6584.81	121	22.386	7248.456
30	31.740	11567.98	75	3.711	2414.68	122	14.307	6255.502
31	16.337	6518.15	76	1.502	1087.45	123	3.556	3060.912
32	1.413	1612.60	77	1.518	1379.70	124	34.135	10075.515
33	3.215	1973.78	78	21.623	8061.13	125	37.537	10973.333
34	1.153	1140.66	79	13.495	3308.79	126	7.543	3810.427
35	6.066	3061.76	80	11.652	4892.69	127	8.745	4473.333
36	32.617	9393.08	81	8.550	3183.37	128	6.829	2774.699
37	41.532	9000.82	82	10.645	3360.94	129	13.771	3660.598
38	11.181	4718.19	83	5.765	3788.35	130	44.277	15352.102
39	17.181	6341.33	84	25.829	12136.17	131	2.915	1214.887
40	14.754	3692.05	85	22.719	7323.211	132	1.835	2228.645
41	21.615	6934.88	86	11.230	2977.418	133	8.729	5072.808
42	7.511	3442.79	87	6.163	3512.784	134	23.953	7263.863
43	6.585	2971.39	88	9.533	2971.597	135	1.778	1342.745
44	8.428	2191.59	89	31.472	8640.699	136	14.031	4261.663
45	30.709	9156.79	90	1.754	1522.858	137	10.815	2242.886

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

Tabla 4.35.- Área y longitud de corrientes para las subcuencas de 1er orden.

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
138	15.996	5216.179
139	8.453	1994.899
140	27.087	9981.122
141	21.566	6908.822
142	21.631	7357.247
143	14.599	7233.048
144	31.123	10441.244
145	0.999	1358.258
146	8.079	2446.453
147	7.754	4350.872
148	10.060	2754.107

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
149	18.951	4808.353
150	33.218	7577.231
151	6.000	2536.616
152	7.292	2190.207
153	12.042	4696.645
154	8.777	2387.530
155	0.422	817.283
156	5.310	2738.063
157	10.889	3135.773
158	10.336	2451.850

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
159	24.375	6422.010
160	9.086	3630.420
161	13.739	6247.773
162	20.884	8333.152
163	22.289	5273.301
164	10.166	4275.056
165	13.982	4898.677
166	9.622	3369.625
167	1.681	1575.643
168	9.638	4471.849

Tabla 4.35 (continuación).- Área y longitud de corrientes para las subcuencas de 2° orden.

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
1	35.783	4546.18
2	159.950	18475.59
3	72.955	3524.21
4	39.664	4282.57
5	45.722	2971.39
6	31.618	2603.11
7	53.573	2101.32
8	43.733	1522.86
9	47.168	3512.78
10	76.188	7149.29
11	109.389	14535.66
12	225.535	26002.68
13	139.310	20488.81
14	102.113	12868.27
15	57.796	6908.82
16	185.211	18502.12
17	103.347	15440.67
18	106.539	4494.35
19	57.082	5284.16
20	129.738	19349.79
21	35.654	8498.28
22	54.613	4839.27

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
23	32.017	2032.8065
24	108.471	6484.3812
25	51.171	811.4625
26	37.577	1905.4784
27	39.892	5594.0800
28	79.973	6758.2513
29	142.638	14445.4251
30	205.267	36193.3963
31	48.029	8613.0651
32	100.693	4223.8617
33	74.595	10003.1982
34	56.400	4674.9922
35	216.593	27275.6049
36	68.408	8140.2823
37	91.550	9886.7699
38	86.809	8805.6170
39	82.554	10660.4308
40	137.792	27501.5946
41	91.752	7809.1747
42	104.890	9874.4920
43	57.398	1268.0959

Tabla 4.36.- Área y longitud de corrientes para las subcuencas de 2° orden.

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
1	269.46	24307.86
2	696.81	36553.72
3	168.638	5072.80
4	474.38	23224.28
5	515.43	51523.84
6	421.15	8144.30
7	246.42	22494.97
8	226.57	403.46
Prom.	<b>377.4</b>	<b>21465.7</b>

Tabla 4.37.- Área y longitud de corrientes para las cuencas de 3er orden.

No	A (km <sup>2</sup> )	L(m)
1	1482.896	37190.35
2	3299.732	93941.923
Total	<b>2391.314</b>	<b>65566.14</b>

Tabla 4.38.- Área y longitud de corrientes para las cuencas de 4º orden

Cabe hacer notar que para el área de las cuencas, se considera toda el área que drena a cada una de ellas, por lo cual (Gupta et al, 1980):

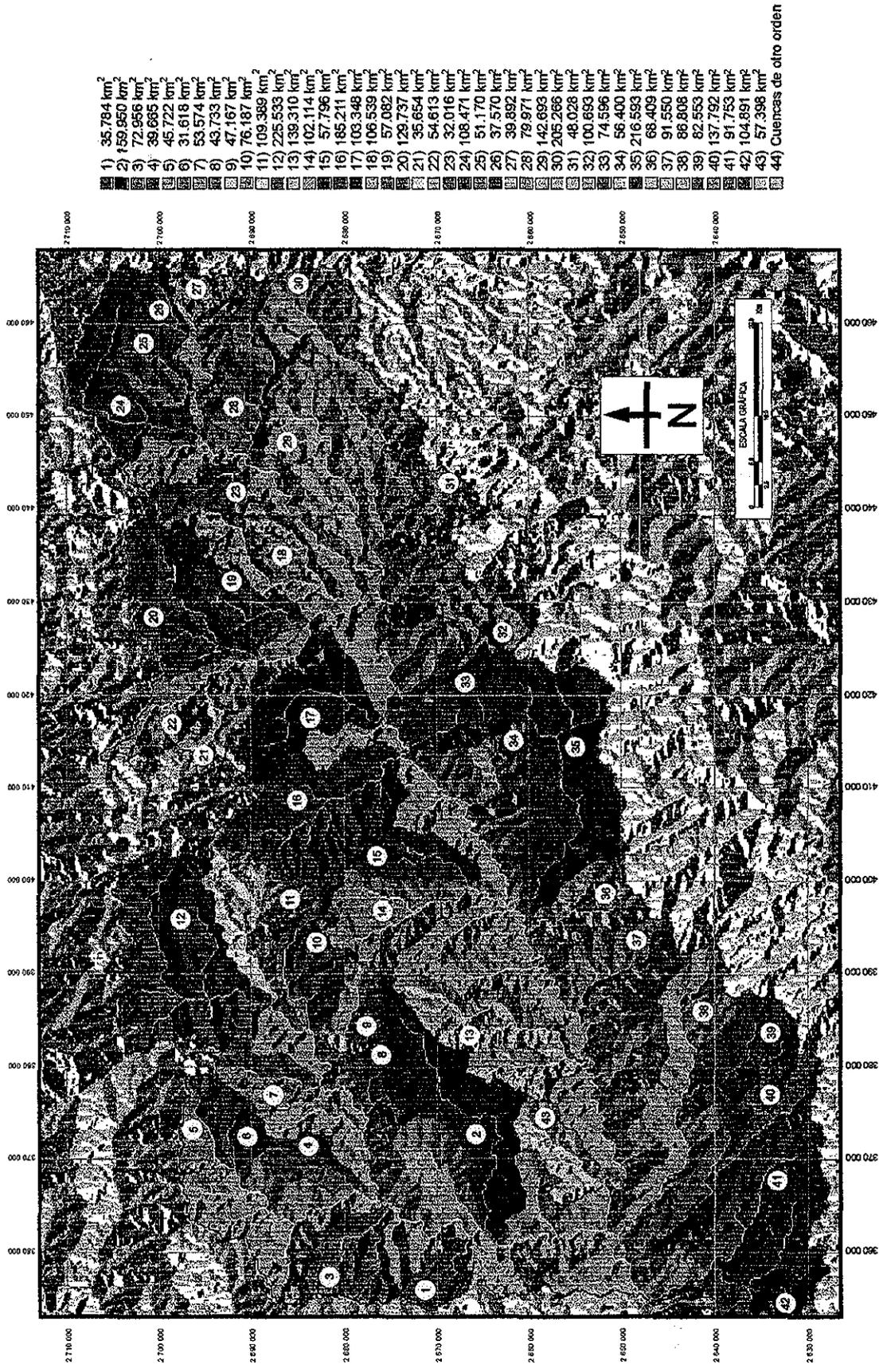
$$A_{\omega+1} > A_{\omega} \quad (4.39)$$

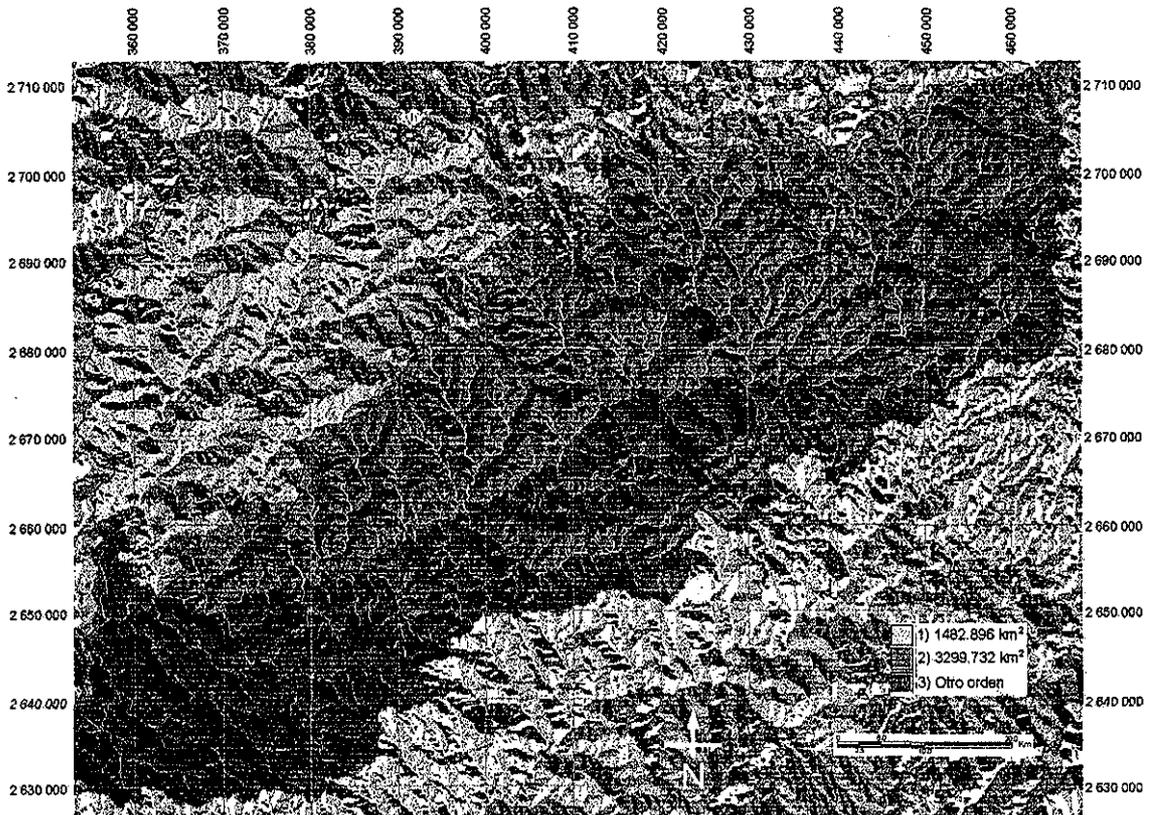
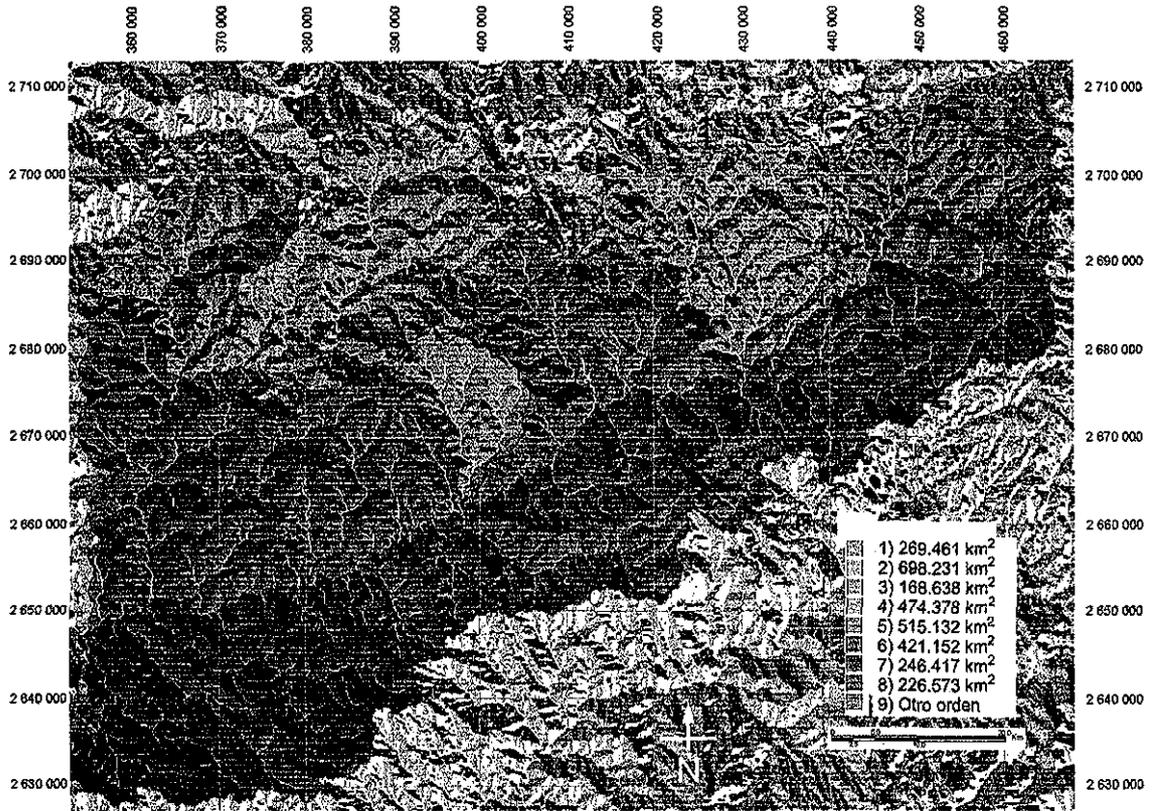
Para mostrar lo anterior, en las figuras 4.40 a 4.42 se muestran las cuencas de orden dos a cuatro. En la tabla 4.43 se muestran las áreas, longitudes y números de corriente para las subcuencas de diferente orden que conforman la cuenca del Piaxtla:

Orden $\omega$	$A_{\omega}$ (km <sup>2</sup> )	$L_{\omega}$ (m)	$N_{\omega}$
1	19.48	6,604.87	168
2	89	9,787.55	43
3	377.4	21,465.7	8
4	2391.314	65,566.14	2
5	5414.206	11,357.1	1

Tabla 4.43.- Área, longitudes y número de corrientes para los diferentes órdenes de cuenca.

En la figura 4.44 se muestra la gráfica de  $A_{\omega}-\omega$ , mientras que en la 4.45 se muestra la gráfica de  $L_{\omega}-\omega$ ; la gráfica de  $N_{\omega}-\omega$  se muestra en la figura 4.46.





Para obtener  $R_B$ ,  $R_A$  y  $R_L$  se realiza un ajuste logarítmico a los puntos mostrados (Chow et al, 1988); debido a que se obtiene una recta, la relación para cada parámetro permanece constante. A continuación se muestran las relaciones para la cuenca en estudio.

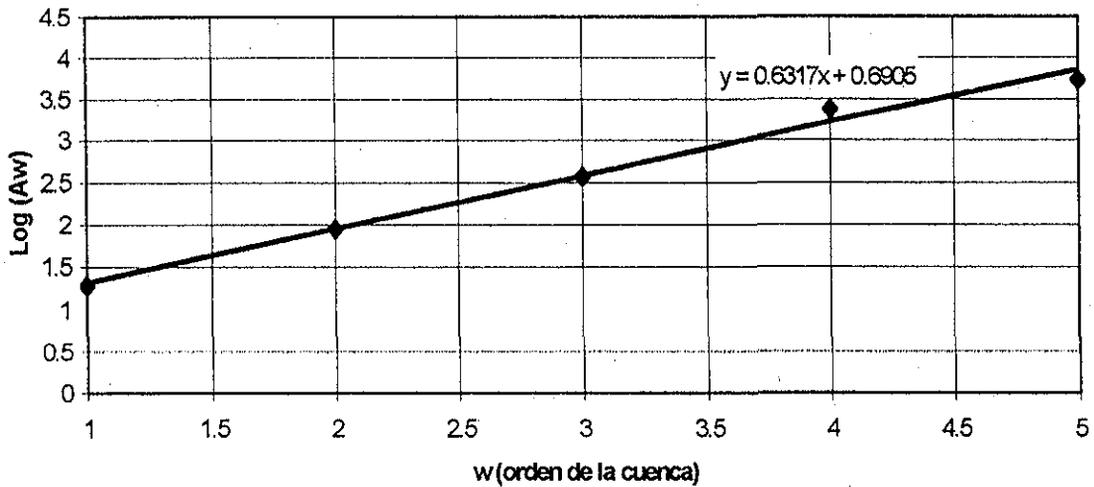


Figura 4.46.- Relación entre  $A_w$  y  $w$  para la cuenca del río Piaxtla

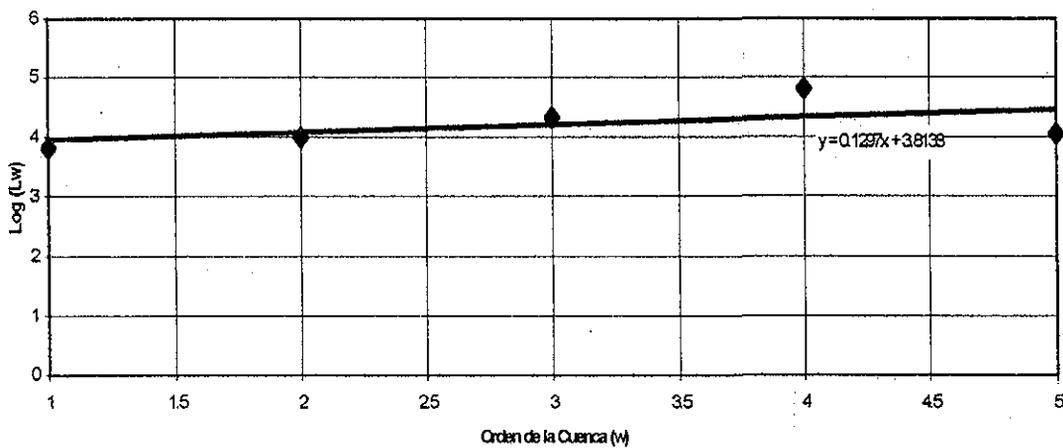


Figura 4.47.- Relación entre  $L_w$  y  $w$  para la cuenca del río Piaxtla

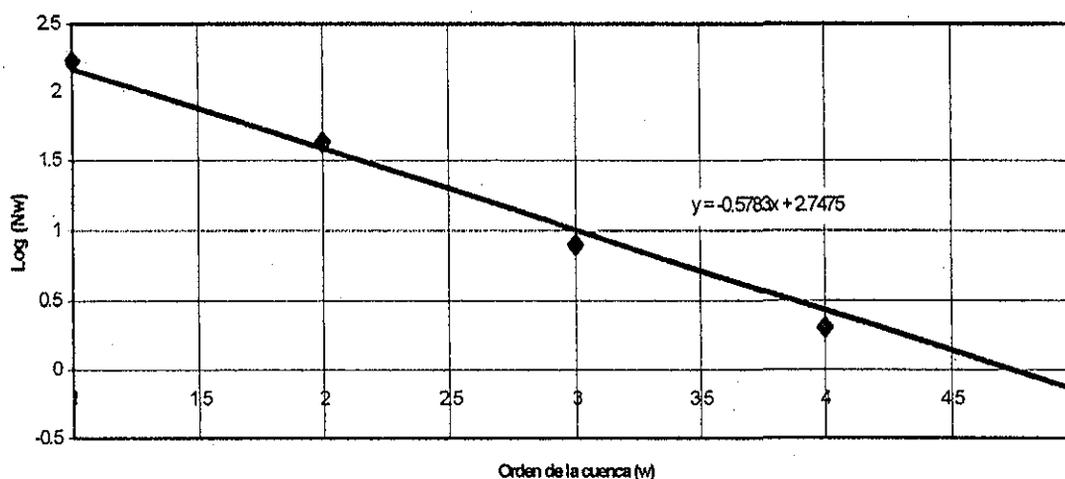


Figura 4.48.- Relación entre  $N_\omega$  y  $\omega$  para la cuenca del río Piaxtla

Las ecuaciones que se muestran en las figuras anteriores dan como resultado el logaritmo del orden de corrientes. Para obtener las relaciones correspondientes se calculan los antilogaritmos de  $N_\omega$  y posteriormente se calculan las relaciones  $R_A$ ,  $R_L$  y  $R_B$ . Los ajustes logarítmicos dan como resultado las siguientes ecuaciones:

$$N_\omega = 10^{-0.5783\omega + 2.7475}$$

$$L_\omega = 10^{0.1297\omega + 3.8138}$$

$$A_\omega = 10^{0.6317\omega + 0.6905}$$

De donde:

$$R_A = 4.28 \quad R_B = 3.79 \quad R_L = 1.35$$

#### 4.3.4.- Obtención del hidrograma.

Para poder obtener el hidrograma del río Piaxtla en la ubicación hidrométrica del mismo nombre, se presenta el problema de la selección adecuada de la duración de la tormenta de diseño. Para ello, es necesario relacionar los registros de las estaciones climatológicas ubicadas cerca de la cuenca del río Piaxtla y que se muestran en la figura

4.49 con los registros de la estación hidrométrica Piaxtla. Los gastos máximos anuales registrados en dicha estación hidrométrica se muestran en la tabla 4.50.

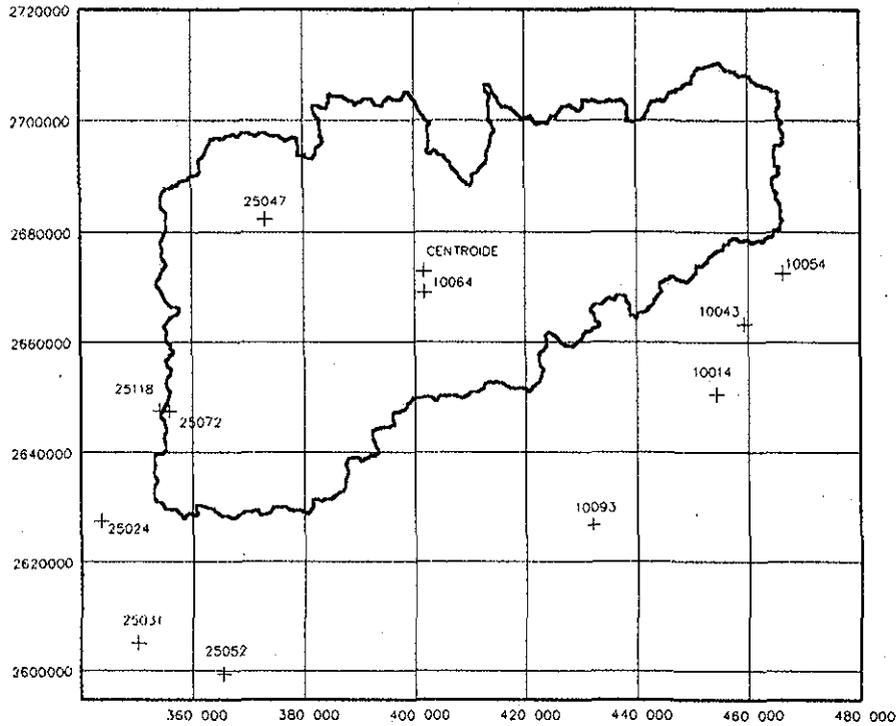


Figura 4.49.- Estaciones climatológicas cercanas a la cuenca del río Piaxtla.

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	n	Q (- a +)	Tr
1958	1344	1	6399	16
1959	510	2	3527	8
1960	443	3	2855	5.33
1961		4	1344	4
1962	1276	5	1276	3.2
1963	2855	6	937	2.66
1964	652	7	799	2.28
1965	614	8	765	2
1966	631	9	652	1.78
1967	937	10	640	1.6
1968	6399	11	631	1.45
1969	799	12	614	1.33
1970	765	13	510	1.23
1971	503	14	503	1.14
1972	3527	15	443	1.06
1973	640			

Tabla 4.50.- Registros hidrométricos de la estación Piaxtla.

Ahora se desea encontrar la relación de los registros de las estaciones climatológicas con las avenidas del registradas en la estación hidrométrica, para lo cual se relacionarán los registros de los años 1963, 1968, 1969 y 1972, como se muestra en las tablas 4.51 a 4.54.

**Septiembre 1968**

Día	$Q_{med}$ ( $m^3/s$ )	10014	10054	10064	10093	25024	25031	25118
3	109	1	0	0	0	0	0	0
4	90	0	1.5	6.2	5	0	0	16.5
5	101	15	14.4	11.3	20	0	0	2
6	190	0	0	0.6	3	0	0	1.5
7	158	10	0	0	5.3	0	0	0
8	132	14	5.5	0	0	0	0	3
9	129	6	0	0	13	0	0	0
10	150	4	21.5	4.4	30.5	3.5	7	61
11	132	4	28	1.5	109	3	1.5	0
12	190	84.5	12	80	60	212.5	151	112
13	4967	6	5.5	30.5	0	17.5	10	24.5
14	1615	0	0	0	0	0	0	0
15	830	0	0	0	0	0	0	0
16	392	0	0	0	0	0	0	0
17	282	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.51.- Registros hidrométricos y pluviométricos para el año de 1968 en la cuenca del río Piaxtla

**Diciembre 1963**

	$Q_{med}$ ( $m^3/s$ )	10014	10054	10064	10093	25024	25031	25118
1	8.5	0	0	0	0	0	0	0
2	8.5	0.2	0	0	0	0	0	0
3	8	0	0	0	0	0	0	0
4	7.5	0	0	0	0	0	0	0
5	7.5	1	0	0	0	0	0	0
6	7.5	7.5	0.5	10	0	0	0	1
7	7.5	1	0	0	0	0	0	0
8	8	1.7	0	1.7	8	0	0	0
9	8.5	12.5	0	1.5	8.8	8	0	1
10	8.5	12.6	0	32.2	37.5	20	11.5	21
11	48.5	43	6.4	81	44.6	34	19.5	38
12	780	60	1.5	61.1	0	0	34.5	47
13	1736	0	0	0	8.5	0	0	0
14	325	7.5	2.7	10	0	0	2	0
15	182	0	8.4	0	0	0	0	0
16	153	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.52.- Registros hidrométricos y pluviométricos para el año de 1963 en la cuenca del río Piaxtla

Noviembre 1972

Día	$Q_{med}$ ( $m^3/s$ )	10014	10043	10054	10064	10093	25024	25031	25047	25072
18	13.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	14.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	13.3	1	0	0	0	5	0	0	0	0
21	12.9	0	5.4	0	0	30	0.1	0	1	0.4
22	12.9	13.5	34.2	0	78	66	27	25	90	74
23	467	50.5	71.5	21.2	97	10	28	45	160	112.3
24	1392	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	331	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	172	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.53.- Registros hidrométricos y pluviométricos para el año de 1972 en la cuenca del río Piaxtla

Octubre 1969

Día	$Q_{med}$ ( $m^3/s$ )	10064	10093	10054	10014	10043	25024	25031	25118
1	25	0	0	0	0	0	0	0	0
2	23	0	34	5.9	0	0	0	0.8	0
3	22.5	0	0	9.3	22.5	0	1	4	0
4	21	0	0	0	0	0	0	0	0
5	21.5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	20	0	0	0	0	0	0	0	0
7	18.5	0	15.5	2.7	0	0	0	0	0
8	18.5	0	11	0	9	4.8	0	0	40
9	25	0	11	1	7.5	6.5	60	38.5	33.5
10	34.8	0	56	0	1.5	2.6	6	7	5.5
11	52	0	0	9.3	39.5	3.7	10.6	63	44.5
12	510	0	0	0	0	0	1	0	0
13	186	0	0	0	0.5	0	0	0	0
14	112	0	0	0	0	0	0	0	0
15	83.8	7.4	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.54.- Registros hidrométricos y pluviométricos para el año de 1969 en la cuenca del río Piaxtla

De las tablas 4.51 a 4.54 se puede establecer la relación existente entre los días continuos de lluvia y las avenidas máximas como se muestra en la tabla 4.55, en la cual se puede observar que generalmente la lluvia de cuatro días está asociada con las avenidas máximas registradas en la estación hidrométrica.

Año	$Q_{max}$ $m^3/s$	10014	10043	10054	10064	10093	25024	25031	25047	25072	25118
1968	6399	7	S/D	4	4	4	4	4	S/D	S/D	2
1972	3527	2	3	1	2	4	2	2	2	2	S/D
1963	2855	8	S/D	2	5	4	3	3	S/D	S/D	4
1969	799	4	4	1	NO	4	3	3	S/D	S/D	4

Tabla 4.55.- Días con lluvia asociados a las avenidas registradas en la estación hidrométrica Piaxtla

Las relaciones  $H_p-d-T$  que se utilizarán para obtener el hidrograma del río Piaxtla, se muestran en las tablas 4.56 a 4.64, y corresponden a las estaciones mostradas en la figura 4.49.

ESTACIÓN		25024									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	96.54	146.2	187.1	228.7	283.0	323.4	416.5	456.4	549.0	588.8	
2	111.4	168.7	215.9	263.9	326.5	373.2	480.6	526.6	633.4	679.4	
3	121.1	183.4	234.7	286.9	355.0	405.8	522.5	572.6	688.7	738.7	
4	128.5	194.6	249.1	304.5	376.7	430.6	554.5	607.6	730.9	783.9	
5	134.6	203.8	260.8	318.9	394.5	450.9	580.6	636.3	765.3	820.9	
6	139.7	211.6	270.8	331.1	409.6	468.2	602.9	660.7	794.7	852.3	
7	144.3	218.4	279.6	341.8	422.8	483.3	622.4	682	820.3	879.9	
8	148.3	224.6	287.4	351.3	434.7	496.8	639.8	701.1	843.3	904.5	
9	151.9	230.1	294.5	360	445.4	509	655.5	718.3	864	926.7	
10	155.3	235.1	300.9	367.9	455.1	520.2	669.9	734.1	883	947.1	

Tabla 4.56.- Relación  $H_p-d-T$ . Estación 25024

ESTACIÓN		25031									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	96.54	146.3	177.9	207.2	244.3	271.9	335.3	362.6	425.7	452.9	
2	111.7	169.2	205.8	239.7	282.6	314.5	387.9	419.4	492.5	524.0	
3	121.6	184.3	224.1	261.0	307.7	342.5	422.4	456.7	536.3	570.6	
4	129.2	195.8	238.1	277.2	326.9	363.8	448.7	485.2	569.7	606.1	
5	135.4	205.2	249.5	290.6	342.6	381.3	470.3	508.5	597.1	635.2	
6	140.7	213.2	259.3	301.9	356.0	396.2	488.6	528.3	620.4	660.0	
7	145.3	220.2	267.8	311.8	367.7	409.2	504.7	545.7	640.8	681.8	
8	149.5	226.5	275.5	320.7	378.2	420.9	519.1	561.3	659.1	701.2	
9	153.2	232.1	282.4	328.8	387.7	431.4	532.1	575.3	675.6	718.8	
10	156.6	237.3	288.7	336.1	396.3	441.1	544.0	588.2	690.7	734.8	

Tabla 4.57.- Relación  $H_p-d-T$ . Estación 25031

ESTACIÓN		25047									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	116.3	122.3	136.2	160.7	191.9	215.1	268.8	291.8	345.2	368.2	
2	143.1	150.5	167.6	197.7	236.1	264.7	330.7	359.1	424.8	453.1	
3	161.6	169.9	189.3	223.2	266.6	298.9	373.4	405.4	479.6	511.6	
4	176.1	185.1	206.3	243.3	290.6	325.8	407.0	441.8	522.7	557.6	
5	188.3	197.9	220.5	260.1	310.6	348.3	435.1	472.4	558.8	596.1	
6	198.8	209.0	232.9	274.7	328.0	367.8	459.5	498.9	590.2	629.5	
7	208.2	218.9	243.9	287.6	343.5	385.2	481.2	522.4	618.1	659.3	
8	216.7	227.8	253.9	299.4	357.5	400.9	500.8	543.7	643.3	686.1	
9	224.5	236.0	263.0	310.1	370.4	415.3	518.8	563.2	666.3	710.8	
10	231.7	243.6	271.4	320.0	382.2	428.6	535.4	581.3	687.7	733.5	

Tabla 4.58.- Relación Hp-d-T. Estación 25047

ESTACIÓN		25072									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	96.57	126.3	145.3	163.3	186.6	204.1	244.4	261.7	302.1	319.6	
2	120.7	157.8	181.5	204.1	233.2	255.0	305.4	327.1	377.6	399.3	
3	137.5	179.7	206.8	232.5	265.7	290.5	347.9	372.6	430.1	454.9	
4	150.8	197.1	226.9	255.1	291.4	318.6	381.6	408.7	471.8	499.0	
5	162.0	211.8	243.7	274.0	313.1	342.3	410.0	439.1	506.9	536.1	
6	171.8	224.6	258.4	290.6	332.0	363.0	434.7	465.6	537.5	568.5	
7	180.5	236.0	271.6	305.3	348.8	381.4	456.8	489.3	564.8	597.4	
8	188.4	246.4	283.5	318.7	364.1	398.2	476.8	510.7	589.6	623.6	
9	195.7	255.9	294.4	331.0	378.2	413.5	495.2	530.4	612.3	647.6	
10	202.5	264.7	304.6	342.4	391.2	427.8	512.3	548.7	633.4	670.0	

Tabla 4.59.- Relación Hp-d-T. Estación 25072

ESTACIÓN		25118									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	102.2	124.0	140.4	158.0	183.5	203.8	252.5	273.7	323.1	344.3	
2	123.9	150.3	170.1	191.5	222.3	246.9	306.0	331.6	391.4	417.2	
3	138.6	168.1	190.3	214.2	248.7	276.3	342.3	371.0	437.9	466.7	
4	150.1	182.0	206.0	232.0	269.3	299.2	370.7	401.8	474.2	505.4	
5	159.6	193.6	219.2	246.7	286.5	318.2	394.3	427.4	504.4	537.6	
6	167.9	203.7	230.5	259.5	301.3	334.7	414.7	449.5	530.5	565.4	
7	175.2	212.5	240.6	270.8	314.4	349.3	432.8	469.1	553.6	590.0	
8	181.8	220.6	249.6	281.0	326.3	362.4	449.1	486.7	574.5	612.3	
9	187.8	227.9	257.9	290.3	337.1	374.5	463.9	502.9	593.5	632.5	
10	193.4	234.6	265.5	298.9	347.1	385.5	477.7	517.7	611.1	651.3	

Tabla 4.60.- Relación Hp-d-T. Estación 25118

ESTACIÓN		10014								
T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	47.32	67.47	80.79	93.59	110.1	122.6	151.2	163.6	192.2	204.5
2	60.37	86.07	103.1	119.4	140.5	156.4	192.9	208.7	245.2	260.9
3	69.61	99.25	118.9	137.7	162.0	180.3	222.5	240.6	282.7	300.8
4	77.02	109.8	131.5	152.3	179.3	199.5	246.1	266.2	312.8	332.8
5	83.3	118.8	142.2	164.8	193.9	215.8	266.2	287.9	338.3	360.0
6	88.81	126.6	151.7	175.7	206.7	230.0	283.8	307.0	360.7	383.8
7	93.76	133.7	160.1	185.5	218.3	242.8	299.6	324.1	380.8	405.2
8	98.26	140.1	167.8	194.4	228.7	254.5	314.0	339.7	399.1	424.6
9	102.4	146	174.9	202.6	238.4	265.3	327.3	354.0	415.9	442.6
10	106.3	151.5	181.5	210.2	247.4	275.3	339.7	367.4	431.6	459.3

Tabla 4.61.- Relación Hp-d-T. Estación 10014

ESTACIÓN		10043								
T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	54.22	75.11	88.94	102.2	119.4	132.2	162.0	174.8	204.4	217.2
2	71.19	98.62	116.8	134.2	156.7	173.6	212.7	229.5	268.4	285.2
3	83.48	115.6	136.9	157.4	183.8	203.6	249.4	269.1	314.8	334.4
4	93.47	129.5	153.3	176.2	205.8	228.0	279.2	301.3	352.4	374.4
5	102.0	141.3	167.4	192.3	224.6	248.8	304.8	328.9	384.7	408.7
6	109.6	151.8	179.8	206.6	241.3	267.3	327.4	353.3	413.2	439.1
7	116.5	161.3	191.0	219.5	256.4	284.0	347.9	375.3	439.0	466.5
8	122.7	170.0	201.3	231.3	270.2	299.3	366.6	395.6	462.7	491.6
9	128.5	178.0	210.8	242.3	283.0	313.5	384.0	414.3	484.6	514.9
10	134.0	185.6	219.7	252.5	294.9	326.7	400.2	431.8	505.1	536.6

Tabla 4.62.- Relación Hp-d-T. Estación 10043

ESTACIÓN		10054								
T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	50.82	66.39	76.69	86.59	99.38	109	131.1	140.7	162.8	172.3
2	64.97	84.87	98.04	110.7	127.1	139.3	167.7	179.8	208.1	220.3
3	75.01	97.99	113.2	127.8	146.7	160.8	193.6	207.6	240.2	254.3
4	83.06	108.5	125.3	141.5	162.4	178.1	214.3	229.9	266	281.6
5	89.9	117.4	135.7	153.2	175.8	192.8	232	248.8	287.9	304.8
6	95.9	125.3	144.7	163.4	187.5	205.6	247.4	265.4	307.1	325.1
7	101.3	132.3	152.8	172.6	198.1	217.2	261.3	280.3	324.4	343.4
8	106.2	138.7	160.2	180.9	207.7	227.7	274	293.9	340.1	360
9	110.7	144.6	167.1	188.6	216.5	237.4	285.7	306.4	354.6	375.3
10	114.9	150.1	173.4	195.8	224.7	246.4	296.5	318.1	368.1	389.6

Tabla 4.63.- Relación Hp-d-T. Estación 10054

ESTACIÓN		10064									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	82.56	125.9	167.9	234.1	288.6	322	393.6	423.6	492.9	522.7	
2	99.91	152.3	203.2	283.2	349.3	389.7	476.3	512.6	596.4	632.5	
3	111.7	170.3	227.2	316.7	390.5	435.7	532.5	573.1	666.8	707.1	
4	120.9	184.3	245.9	342.7	422.7	471.6	576.3	620.3	721.8	765.4	
5	128.6	196	261.5	364.4	449.5	501.4	612.8	659.6	767.5	813.8	
6	135.2	206.1	275	383.2	472.6	527.2	644.3	693.5	806.9	855.7	
7	141	215	286.9	399.8	493	550	672.3	723.5	841.9	892.8	
8	146.3	223	297.6	414.8	511.5	570.6	697.4	750.6	873.4	926.2	
9	151.1	230.4	307.4	428.4	528.3	589.4	720.4	775.4	902.2	956.7	
10	155.6	237.1	316.4	441	543.9	606.8	741.6	798.2	928.7	984.9	

Tabla 4.64.- Relación  $H_p-d-T$ . Estación 10064

ESTACIÓN		10093									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	75.5	110.4	153.8	217.2	301.7	363.6	505.1	565.7	706.1	766.5	
2	94.04	137.5	191.6	270.6	375.8	453	629.2	704.7	879.5	954.8	
3	106.9	156.4	217.8	307.7	427.3	515.1	715.5	801.3	1000	1086	
4	117.1	171.3	238.6	337	468.1	564.3	783.8	877.8	1096	1189	
5	125.7	183.9	256.1	361.7	502.4	605.6	841.2	942.1	1176	1277	
6	133.2	194.8	271.4	383.2	532.3	641.6	891.3	998.1	1246	1352	
7	139.9	204.6	284.9	402.4	558.9	673.7	935.9	1048	1308	1420	
8	145.9	213.4	297.3	419.8	583.1	702.9	976.3	1093	1365	1482	
9	151.5	221.5	308.6	435.8	605.3	729.6	1013	1135	1417	1538	
10	156.6	229	319	450.6	625.8	754.4	1048	1174	1465	1590	

Tabla 4.65.- Relación  $H_p-d-T$ . Estación 10093

Ya que se cuenta con las relaciones  $H_p-d-T$  para la zona de interés, se obtiene ahora la lluvia media para una duración de cuatro días y diferentes períodos de retorno por medio de los polígonos de Thiessen, los cuales se muestran en la figura 4.66. En esta misma figura se muestra el porcentaje de superficie correspondiente a las cada una de las estaciones climatológicas.

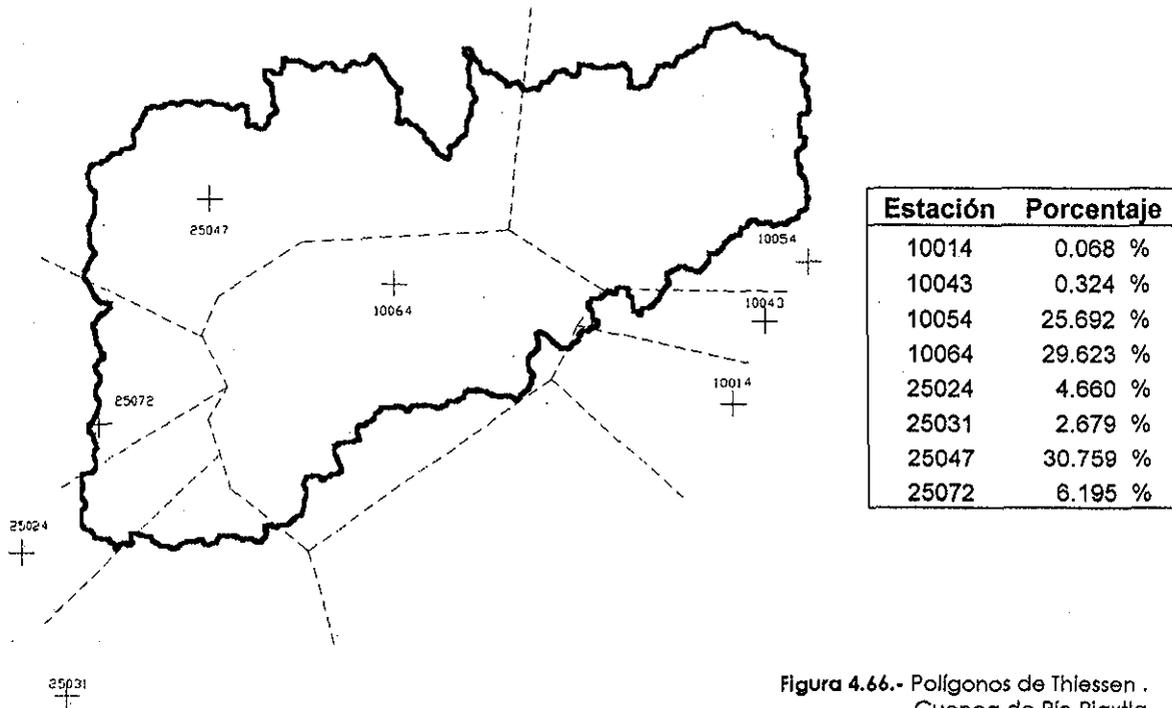


Figura 4.66.- Polígonos de Thiessen .  
 Cuenca de Río Piactla

Los eventos de lluvia que se utilizarán serán los de cinco y diez años período de retorno, con los cuales se obtendrá el hidrograma de salida de la cuenca mediante el modelo geomorfológico. Lo anterior se debe a que se quiere comparar el hidrograma obtenido mediante un modelo lluvia escurrimiento con el hidrograma registrado en la estación hidrométrica, y como se muestra en la tabla 4.50, la estación hidrométrica Piactla tiene únicamente 15 años de registro, por lo cual resulta conveniente comparar los eventos registrados para los períodos de retorno antes mencionados.

Para utilizar el modelo geomorfológico es necesario conocer la velocidad media del cauce, la cual se considera cercana a 1.9 m/s, obtenida al dividir la longitud del cauce principal entre el tiempo de concentración de la cuenca.

Para utilizar el modelo del HUIG es también necesario conocer el hietograma en exceso del evento de diseño, por lo cual se calculará la lluvia media de 24, 48, 74 y 96

horas para cada período de retorno a utilizar; para calcular la precipitación en exceso, se recurre al coeficiente de escurrimiento para la cuenca en estudio, el cual es igual a 0.208 (Reyes, 1997). Al multiplicar la lámina total por el coeficiente de escurrimiento se obtiene la precipitación en exceso, la cual se muestra a continuación en la tabla 4.67.

T	d	24	48	72	96
5		110.82	135.76	152.94	166.42
10		134.16	164.20	184.89	201.12

Tabla 4.67.- Precipitación media en la cuenca del río Piaxtla; método tradicional

T	d	24	48	72	96
5		23.05	28.24	31.81	34.62
10		27.91	34.15	38.46	41.83

Tabla 4.68.- Lluvia en exceso en la cuenca del río Piaxtla; método tradicional

Con los eventos mostrados en la tabla 4.67 se construyen ahora los hietogramas de diseño para incrementos de 12 horas de acuerdo con la técnica de los bloques (Chow,1988). En las figuras 4.68 y 4.69 se muestran dichos hietogramas para la precipitación correspondiente a los períodos de retorno de 5 y 10 años; cabe hacer notar que para utilizar el modelo geomorfológico se obtuvo el hietograma para intervalos a cada hora, pero con fines ilustrativos únicamente se muestran los hietogramas con intervalos de doce horas, ya que los incrementos de la lámina precipitada para el primer caso son muy pequeños.

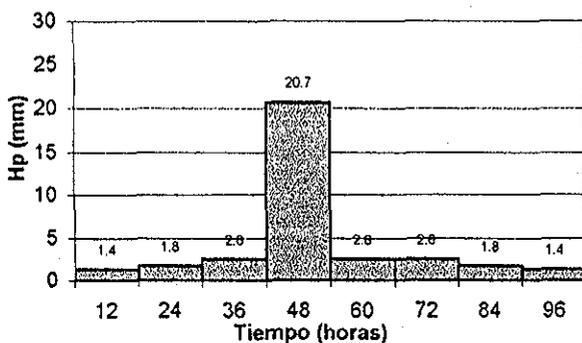


Figura 4.69.- Hietograma de diseño en el centroide de la cuenca del río Piaxtla T =5 años

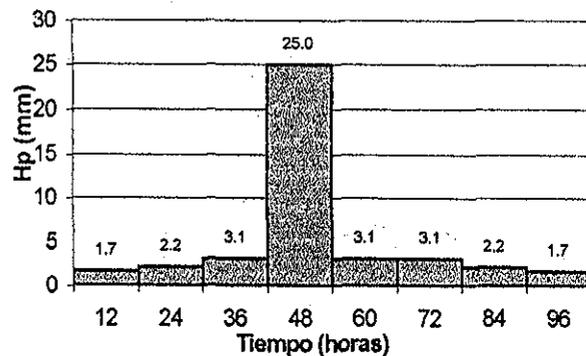


Figura 4.70.- Hietograma de diseño en el centroide de la cuenca del río Piaxtla T =10 años

Por otro lado, con el método que generalmente se utiliza es necesario calcular la lámina correspondiente al tiempo de concentración de la cuenca en estudio; como no se cuenta con registros pluviográficos, primero se utiliza la la figura 3.23 y posteriormente la 3.26. En la tabla 4.71 se muestran los valores necesarios para utilizar la primera de las figuras mencionadas, mientras que en la tabla 4.72 se muestra el análisis de frecuencias "en sitio" realizado en las estaciones correspondientes. Con los valores que se obtengan al utilizar la tabla 4.71 y la 4.72 se grafican los resultados en la figura 3.26 y se obtiene la lámina deseada, como se muestra en la tabla 4.73, la cual debe ser multiplicada por el coeficiente de escurrimiento, para obtener la precipitación en exceso, como se muestra en la tabla 4.74

T (años)	10014 Gamma 2 MV	10043 Gumbel MV	10054 Gamma 2 ML	10064 Gumbel Mixta	25024 Gumbel Mixta	25031 LNormal 3 MV	25047 Gumbel M	25072 Gumbel ML
2	51.05	50.31	51.86	83.58	94.98	92.75	78.53	91.76
5	71.93	69.69	67.20	127.40	143.82	136.99	110.48	122.40
10	84.82	82.52	76.31	170.00	184.06	173.66	131.64	142.69
20	96.56	94.83	84.42	236.93	225.02	214.31	151.93	162.15
50	111.01	110.76	94.22	292.19	278.39	275.13	178.20	187.34
100	121.40	122.70	101.15	325.97	318.20	327.13	197.88	206.21
500	144.37	150.29	116.20	398.40	409.76	470.42	243.37	249.83
1000	153.91	162.16	122.36	428.79	449.04	542.94	262.92	268.58
5000	175.53	189.68	136.14	498.93	540.10	739.89	308.30	312.10
10000	184.66	201.54	141.90	529.09	579.30	838.25	327.85	330.84

Tabla 4.72.- Eventos de diseño "en sitio" para las estaciones pluviométricas ubicadas cerca de la cuenca del río Piaxtla

T	d	1	24	48
5		63	107	120
10		79	133	161

Tabla 4.73.- Lluvia en exceso en la cuenca del río Piaxtla

T	d	1	24	48
5		13	22	25
10		16	27	33

Tabla 4.74.- Lluvia en exceso en la cuenca del río Piaxtla

Capítulo 4  
Aplicación de las curvas  $H_p-d-T$

Año	10014		10043		10064		10064		25024		25031		25047		25072	
	hp <sub>max</sub>	Días lluvia														
1954	45.5	100														
1955	39	51														
1956	22	47														
1957	75.5	73														
1958	82.5	115														
1959	28	101														
1960	55	78														
1961	74	91							42	47	48	82				
1962	50.2	91					48.5	56	126	58	78.5	54				
1963	60	103			32	41	81	88	73	40	119	60				
1964	37	101			56.5	66	93.4	77	55	44	85	48				
1965	50	70			56.1	49	17.3	70	93	42	168	56				
1966	45	90			53.2	68	36.5	81	102	45	55	42				
1967	53.5	92			63.2	70	24	72	94	43	78	57				
1968	84.5	94			47.5	63	80	74	212.5	46	151	53				
1969	75.5	79	33.7	78	32.5	40	49	46	91	49	63.5	22				
1970	41.5	89	45.1	74	55.5	55	190	83	108	53	76.4	47				
1971	36	93	56.2	67	29.5	63	120	66	60	64	89.2	56			83.8	69
1972	50.5	84	71.5	81	37.5	52	97	64	238	58	236	47	160	59	170	63
1973	39	82	40.4	78	78	54	90	59	65	53	70.5	39	70.5	94	121.7	67
1974			76.5	74	23	37	80	69	185	58	105	58	84.5	98	61.7	77
1975	48	89	40.7	81	57	54	91	60	70.5	47	137	48	55	88	125.5	65
1976	48	97	57.7	91	34.4	82	56	86	67	51	117	60	80	97	43.4	30
1977	40	89	44.7	50	37.2	58	85.5	88	72	58	63	47	74	53	74.5	90
1978	36	52			39	65	75	74	50	41	54.5	37	42	52	73.4	60
1979	89	65	37.4	59	33.2	48	282.1	57	83	43	84	40	34	44	73.5	51
1980	43	85	52.2	45	72.8	58	71	70	122	73	143	56	80	95	73.5	66
1981	65	114	32	72	41	74	85	89	172	68	160	63	51	98	107.5	72
1982	45	67	33	69	59	56	72	65	78	52	54.5	46	84	48	64	60
1983			68	87	63.2	70	115	68	83	55	60	55	82	85	103.3	60
1984	40	20			45.5	80	70	61	55	19	46	12			45	17
1985	30	96					62	35	129	59	99	42			85	62
1986	37	81							52	41	105.5	35			93.7	40
1987	20.6	80							32	47	58	36			56.7	49
1988	44.2	91							113	58	75	36			76.7	56
1989	83	90							82	60	93	46			103.2	61
1990	36	105							110	67	86.5	58			88.8	68
1991	1749	2945	689.1	1006	1046.8	1303	2071.3	1658	2915	1539	2859.1	1438	897	911	1724.9	1183
Prom.	49.97	84.14	49.22	71.86	47.58	59.23	86.30	69.08	94.03	49.65	92.23	46.39	74.75	75.92	86.25	59.15
x 1.13	56.47		55.62		53.77		97.52		106.26		104.22		84.47		97.46	
Hp2	35mm		35mm		33mm		52mm		50mm		49mm		46mm		49mm	

Tabla 4.71.- Valores para utilizar la figura 3.23

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



mediante el método propuesto, tanto en el tiempo de respuesta como en el gasto máximo y el volumen.

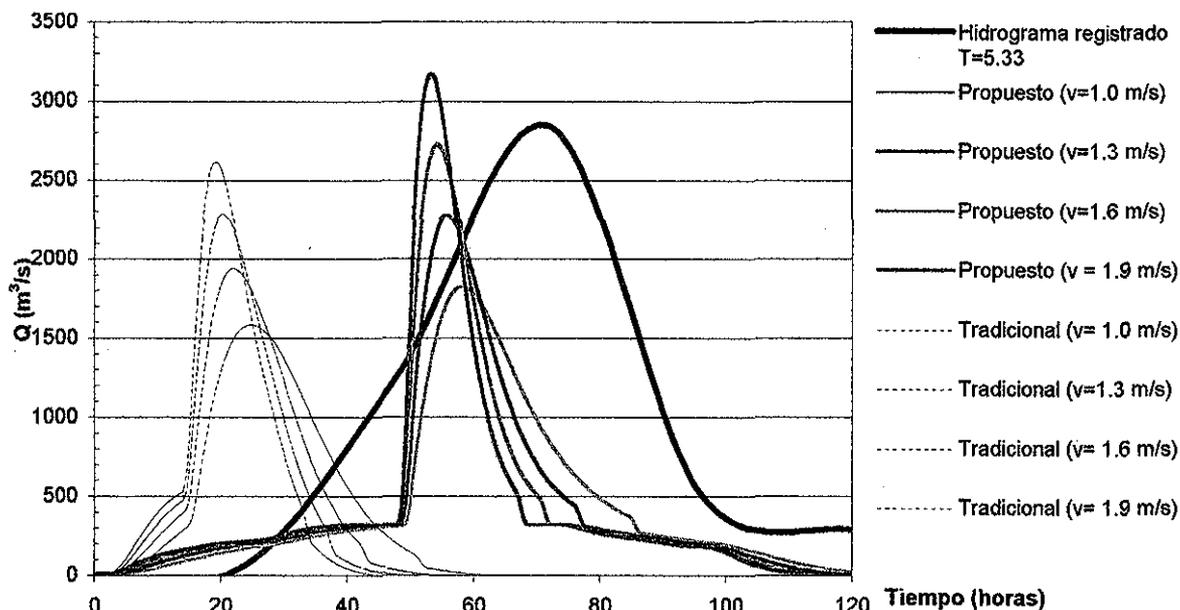


Figura 4.77.- Comparación del Hidrograma obtenido con la lluvia correspondiente a  $T = 5$  con respecto al hidrograma registrado y  $T = 5.33$ .

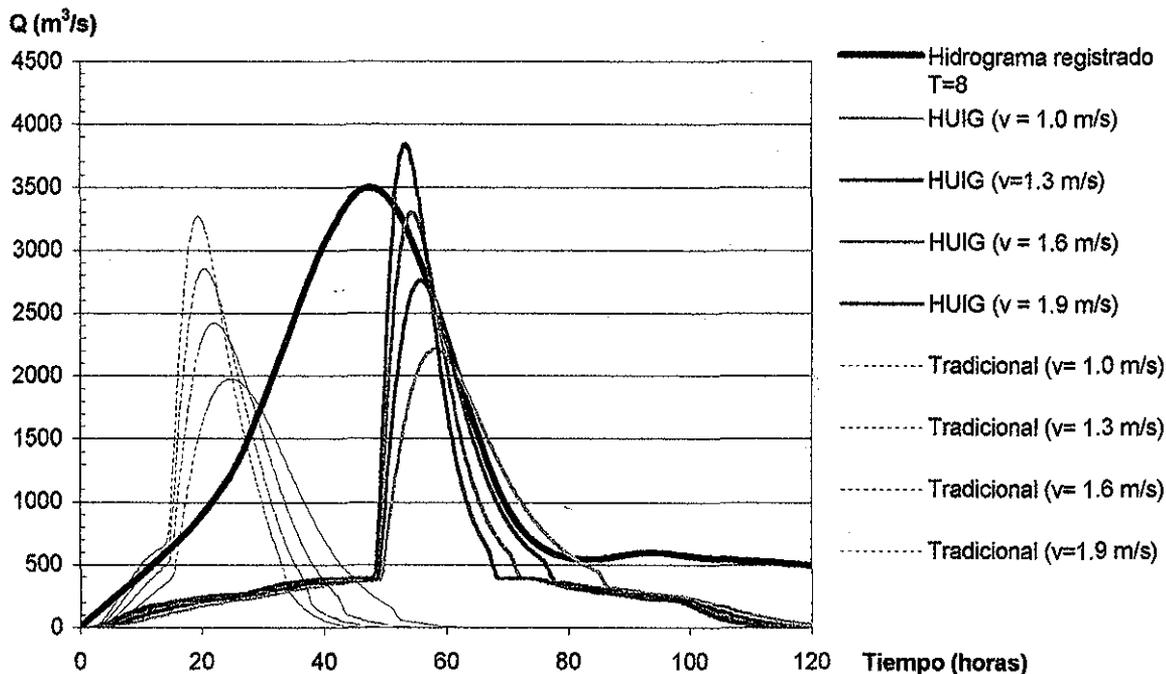


Figura 4.70.- Comparación del hidrograma obtenido con la lluvia correspondiente a  $T = 10$  con respecto al hidrograma registrado y  $T = 8$ .

# CONCLUSIONES

---

En este trabajo se obtuvieron las curvas intensidad-duración-período de retorno para duraciones de 24 a 240 horas. Algo muy importante en este trabajo, fue el regionalizar las estaciones climatológicas con el coeficiente de variación, con lo cual se consideran los eventos de las estaciones ubicadas dentro de una zona homogénea para obtener la distribución de probabilidad perteneciente a cada una de estas zonas.

En los capítulos precedentes se ejemplificó la metodología utilizada para obtener las curvas Hp-d-T en la República Mexicana para duraciones de uno a 10 días, mostrando los resultados obtenidos para los estados del Noroeste del país (Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sinaloa y Sonora).

Es importante hacer notar que la utilización de estas duraciones (de uno a diez días) no implica que llueva durante más de 24 horas de forma continua, ya que como se ejemplificó en el capítulo cuatro, los gastos máximos se presentan cuando ha llovido por cuatro días sucesivos, lo cual no sucede de forma continua (no llueve por 96 horas, sino que puede llover durante siete horas el primer día, nueve el segundo y de forma similar para los otros días restantes). Asimismo, en el mismo capítulo se mostró la necesidad de caracterizar a las avenidas, es decir, establecer los días de lluvia asociados a las avenidas,

por lo cual de esta forma no se utiliza el tiempo de concentración de la cuenca en estudio, como fue el caso de la cuenca del Río Piaxtla utilizada en el presente trabajo.

Para poder utilizar las tablas obtenidas en este trabajo, se recomienda realizar un análisis regional para caracterizar las avenidas alrededor de la cuenca en estudio y realizar un análisis similar al método de la avenida índice para relacionar las avenidas con el área de la cuenca y los días de lluvia asociados a las avenidas. En caso de utilizar el modelo geomorfológico se debe poner especial atención al cálculo de la velocidad media del cauce, por lo cual sería recomendable realizar una visita de campo para conocer las condiciones en la última sección de la corriente en estudio, ya que como se puede apreciar en los hidrogramas del capítulo cuatro, la velocidad juega un papel muy importante en el comportamiento del hidrograma.

El uso de las tablas obtenidas simplificará en gran medida la realización de estudios hidrológicos, ya que no será necesario realizar un análisis de frecuencias, sino únicamente leer de las tablas el valor de la lámina que se necesite, de acuerdo a su duración y período de retorno y utilizar dichos eventos en un modelo lluvia escurrimiento para obtener los hidrogramas de diseño.

# BIBLIOGRAFÍA

---

Aparicio Mijares, Francisco, **Fundamentos de Hidrología de superficie**, 2ª reimpresión, Limusa Noriega editores, México, 1993.

Bedient, Philip; Huber, Wayne; **Hydrology and floodplain analysis**; Addison -Wesley publishing Co; 1988.

Belousov, S. L., Gandin, L. S., Mashkovich, S. A., **Computing processing of meteorological data**. Israel program for scientific translation, Jerusalem, 1971.

Bell, F. C., **Generalized rainfall-duration-frequency relationships**, Journal of Hydraulic Div. ASCE, 95(1), 311-327, 1969.

Campos Aranda, Daniel; **Procesos del ciclo hidrológico**; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, 3ª reimpresión, México, 1988.

Collado, Jaime; **Estimación óptima de la precipitación media con el método Kriging**; Ingeniería Hidráulica en México, septiembre- diciembre, 1988.

Chen, C. L., **Rainfall intensity-duration-frequency formulas**, Journal of Hydraulic Engineering., 109(12), 1603-1621, 1983.

Chow, V.T. **Handbook of applied hydrology**, McGraw Hill, Nueva York, 1964.

Chow, Maidment, Mays; **Applied Hydrology**; McGraw Hill, 1988.

Cisneros, Héctor; Domínguez, Ramón; **Aplicación del método Kriging en la construcción de campos de tormenta en la ciudad de México**. Ingeniería Hidráulica en México, Vol XVI No. 3, pp. 5-14, julio - septiembre 2001.

---

Deutsch, Clayton; Journel, André; **GSLIB: Geostatistical software library and user's guide**; Oxford University Press, New York, 1998.

Drozdov, D.A., Sephelevskii, A. A., *The theory of interpolation in a stochastic field of meteorological elements and its application to meteorological maps and network regionalization problems*. Trudy NIU GUGMS, 1946.

Escalante, Carlos; *Apuntes de técnicas estadísticas en hidrología, curso de posgrado*. Inédito.

Escalante, Carlos; Domínguez, José; *Análisis regional de precipitación con base en una distribución bivariada ajustada por máxima entropía*. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVI No. 3, pp. 91-101, julio – septiembre 2001.

Éslava Morales, Héctor; **Programación y aplicación del hidrograma unitario geomorfológico**; Tesis de maestría, División de estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1997.

Gandin, L. S., *Objective analysis of meteorological fields*. Israel program for scientific translation, Jerusalem, 1965.

González, V., **Contribución al análisis de frecuencias de valores extremos de los gastos máximos en un río**, Instituto de Ingeniería, UNAM, núm. 277, México D.F., 1970.

Goovaerts, Pierre; **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**; Oxford University Press, New York, 1997.

Goovaerts, Pierre; **Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall**; Journal of Hydrology, 228, pp 113-129, 2000.

Grass Development Team; **Source code for GRASS 5.0.0**; <http://www3.baylor.edu/grass/download.html>; 2001a.

Grass Development Team; **Raster commands** <ftp://grass.baylor.edu/pub/grass/grass5>

---

---

/manuals, 2001b.

Grass Development Team; **Vector commands** <ftp://grass.baylor.edu/pub/grass/grass5>  
/manuals, 2001c.

Gupta, V. K; Waymire Ed; Wang, C. T.; **A representation of an Instantaneous Unit Hydrograph from Geomorphology**. Water Resources Research, Vol 16(5), pp 855 – 862, Octubre 1980.

Haan, Charles T.; **Statistical Methods in Hydrology**; The Iowa State University Press; First edition, 1977.

Hershfield, D. M., **Rainfall Frequency Atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to 100 years**. US Weather Bureau Technical paper No. 40, Washington D.C., 1961,

Hershfield, D. M., **The magnitude of the hydrological frequency factor in maximum rainfall estimation**, Journal of Hydrological Science, 26(2), pp. 171-177, 1981.

Horton, R. E., **Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology**, Bull. Geol. Soc. Am., 38(40), 275-370, 1945.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). **Extractor rápido de Información climatológica (ERIC)**, México, 1990.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), **Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA)**, México,

Isaaks, Edwards; Srivastava, Mohan; **An Introduction to applied geostatistics**, Oxford University Press, New York, 1989

Kitanidis, Peter; **Geostatistics, Cap. 20**; en Handbook of applied hydrology, Maidment et al, McGraw Hill, Nueva York, 1993.

- 
- Koutsoyiannis, Demetris et al; **A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships**; Journal of Hydrology, 206; 118-135, 1998.
- Kuester, J.L., Mize, J. H., **Optimization techniques with Fortran**, Multivariable unconstrained methods (Rosenbruck algorithm), pp 320-330, McGraw Hill, Nueva York, 1973.
- Lafragua Contreras Jacqueline; **Curvas Intensidad-duración-período de retorno para la vertiente del golfo de México**; Tesis de maestría; División de estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, 1996.
- Linsley, R. K., Kohler, M.A., Pauus, J. L., **Hydrology for engineers**, 2ª edición, McGraw Hill, Tokio, 1975.
- Maidment, **Handbook of applied hydrology**, McGraw Hill, Nueva York, 1993.
- Matheron, G., **The theory of regionalized variables and its applications**. Cahiers du centre de morphologie mathématique, Ecole des Mines, Fontainebleau, Francia, 1971.
- Michigan Department of Transportation; **Rainfall Frequency study for Michigan**, Final Report draft, 2002.
- Miller, J.F. **Two to ten day precipitation for return periods of 2 to 10 days**, U.S. Weather Bureau, Technical paper No. 49, Washington D.C. 1964.
- Miller, J.F., Fredcerick R.H., Tracey, R. J., **Precipitation frequency analysis of the western United States**, NOAA Atlas2. National Weather Service, NOAA, US Department of Commerce, Silver Spring, 1973.
- Naghavi, B., Xin Yu, F., **Regional frequency analysis of extreme precipitation in Louisiana**, Journal of Hydraulic Engineering, 121(11), 819-826, 1995.
- NERC (National Environmental Research Council); **Flood Studies Report**, Institute of Hydrology, Wallingford, 1975.
-

- 
- Pannatier, Y., **VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D**. Springer Verlag, Nueva York, 1996.
- Pebezma, Edzer; **GSTAT user's manual**. <http://www.geog.uu.nl/gstat>, mayo 2001.
- Reyes Chávez, Lilia; **Identificación y análisis de sequías**; Tesis de maestría, División de estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería; UNAM, pp.159, 1997.
- Rodríguez-Iturbe, I., Valdez, J.B.; **The geomorphic structure of hydrologic response**. Water Resour. Res., 15(6), 1409-1420, 1979.
- Sankarasubramanian, A., Srinivasan, K., **Investigation ad comparison of sampling properties of L-moments and conventional moments**; Journal of Hydrology, 218, pp. 13-34, 1999.
- Schaefer, M; **Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington state**; Water Resources Research; Vol. 26 (1), 119-131; enero 1990.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), **Isoyetas de Intensidad-duración-frecuencia de la República Mexicana**, México, 1990
- Sherman, C.V., **Frequency and intensity of excessive rainfalls at Boston, Massachusets**, Transactions ASCE, Vol 95, pp. 951-960, 1931.
- Sing, Vijay; **Hydrologic Systems, Volume 1, Rainfall-Runoff modeling**. Prentice Hall, 1990.
- Sivapalan, M., Snell, J.; **On geomorphological dispersion in natural catchments and the geomorphological unit hydrograph**; Water Resources Research; Vol. 30, No. 7, pp 2311-2323, Julio 1994.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M., Foufoula-Georgiou, E.; **Frequency analysis of extreme events, Cap. 18**; en Handbook of applied hydrology, Maidment et al, McGraw Hill, Nueva York, 1993.
- Tablos, G., Salas, J. **A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation**. Water Resources Bulletin, Vol 21 (3), junio 1985.
-

Thlessen, A.H., **Precipitation averages for large areas**. Monthly weather review 39(7), pp 1082-1084., 1911.

U.S. National Weather Service; **Hawaii precipitation frequency study, First Progress Report**, Agosto 2001.

U.S. National Weather Service; **Ohio river basin precipitation frequency study, Ninth Progress Report**, Enero 2002.

Weiss, L.L., **Ratio of true fixed interval to maximum rainfall**, Journal of the Hydraulics Division, 90(HY1), pp 77-82, 1964.

Wilson, E. M., **Engineering Hydrology**, 4a edición, Macmillan, Londres, 1990.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# ANEXO A

## A.1.- Estaciones del estado de Baja California.

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV	Inicio Reg.	Fin Reg.	Reg. efectivo	hp media	Cv
2002	BAHIA DE LOS ANGELES	28.5614	-113.3322	4	1953	1988	33	22.803	1.100
2004	BELÉN	32.1143	-116.2908	555	1964	1989	26	45.350	0.512
2005	BOQUILLA STA ROSA	32.0127	-116.4440	40	1948	1987	40	40.353	0.562
2006	CHAPALA	29.2317	-114.2150	823	1961	1988	28	31.732	0.524
2007	CERRO PRIETO	32.2400	-115.0800	140	1964	1976	13	20.200	0.962
2008	COL. GUERRERO	30.4343	-115.5955	40	1948	1989	30	26.897	0.553
2009	COL. JUAREZ KM 50	32.1755	-115.0058	7	1945	1989	33	21.536	1.020
2011	DELTA	32.2111	-115.1121	12	1948	1988	33	18.318	0.798
2012	EJIDO JOSE MARIA MORELOS	28.1800	-114.0133	20	1970	1987	16	22.919	0.750
2014	EL ALAMO	31.3536	-116.0316	1,115	1961	1988	28	51.750	0.492
2016	EL BARRIL	28.1809	-112.5242	50	1961	1988	28	31.854	0.849
2017	PLANTA BOMBEO ROSARITO	32.1833	-117.0151	22	1969	1988	18	33.439	0.432
2019	EL COMPADRE	32.1940	-116.1312	1,162	1948	1975	18	38.583	0.403
2022	EL ROSARIO	30.0334	-115.4324	15	1956	1986	31	30.529	0.667
2023	EL SOCORRO	30.1930	-115.4914	26	1970	1980	10	50.100	0.845
2027	ISLA DE LOS CEDROS	28.0538	-115.1014	5	1961	1988	21	19.329	0.705
2029	LA PROVIDENCIA	31.2257	-116.0925	15	1969	1988	19	45.884	0.358
2030	LA PUERTA (A. TECATE)	32.3238	-116.4042	515	1969	1989	21	40.095	0.462
2031	LA RUMOROSA	32.3255	-116.0247	1,200	1951	1989	39	29.818	0.680
2032	LAS ESCOBAS	30.3446	-115.5616	27	1948	1989	31	40.110	1.711
2033	MEXICALI	32.3954	-115.2721	45	1944	1988	33	21.785	0.648
2034	MEXICALI CMPO.AGR.EXP.	32.3300	-115.2800	3	1930	1985	43	52.767	1.044
2035	OJOS NEGROS	31.5442	-116.1553	720	1948	1989	41	31.049	0.481
2036	OLIVARES MEXICANOS	32.0257	-116.3651	351	1954	1989	25	44.060	0.588
2037	PRESA MORELOS	32.4214	-114.4346	35	1969	1987	18	23.544	1.318
2038	PRESA RODRIGUEZ	32.2649	-116.5428	140	1929	1989	55	28.584	0.559
2039	PUNTA PRIETA	28.5548	-114.0939	300	1954	1987	24	26.504	0.655
2040	RANCHO ALEGRE	28.1643	-113.5225	300	1956	1988	25	33.348	0.813
2041	ROSARITO	28.3804	-114.0100	125	1961	1989	29	30.821	0.632
2042	ROSARITO SN PEDRO MARTIR	30.2603	-115.2127	15	1961	1974	13	17.308	0.562
2043	SAN AGUSTIN	29.5615	-114.5801	580	1956	1988	33	32.085	0.717
2044	SAN BORJA	28.4407	-113.4509	412	1961	1989	24	37.758	0.470
2045	SAN CARLOS	31.4716	-116.2730	170	1962	1989	28	47.596	1.039

## A.1.- Estaciones de Baja California, continuación.

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV	Inicio Reg.	Fin Reg.	Reg. efectivo	hp media	Cv
2046	SAN FELIPE	31.0052	-114.5037	12	1948	1989	37	27.222	1.431
2047	SAN FERNANDO	29.5900	-115.1400	10	1961	1974	12	25.958	0.826
2048	SAN JOSE	31.0400	-115.3428	60	1961	1974	13	30.885	0.454
2049	SAN JUAN DE DIOS NORTE	32.0757	-116.0954	1,280	1956	1985	30	41.520	0.464
2050	SAN JUAN DE DIOS SUR	30.1104	-115.0815	600	1969	1978	9	34.011	0.447
2054	SAN RAFAEL	31.0544	-116.0131	230	1965	1979	14	39.357	0.789
2055	SAN TELMO	30.5814	-116.0525	175	1948	1986	39	31.436	0.594
2056	SAN VICENTE	31.1945	-116.1452	150	1949	1989	39	31.987	0.482
2057	SANTA CATARINA NORTE	31.3906	-115.4926	1,150	1961	1988	28	35.754	0.514
2058	SANTA CATARINA SUR	29.4319	-115.0749	325	1954	1988	33	33.676	0.554
2059	SANTA CLARA	31.1516	-115.1351	14	1962	1988	20	44.610	1.002
2060	SANTA CRUZ	30.5513	-115.3754	1,000	1961	1989	29	51.221	0.514
2061	SANTA GERTRUDIS	28.0424	-113.0612	400	1955	1989	29	33.097	0.658
2062	SANTA ISABEL	31.5216	-115.4902	1,480	1969	1983	14	40.107	0.521
2063	SANTA MARIA DEL MAR	30.2406	-115.5318	28	1957	1987	30	30.387	0.655
2064	SANTO DOMINGO	30.4731	-115.5054	28	1962	1989	26	47.062	0.997
2065	SANTO TOMAS	31.3308	-116.2422	28	1948	1988	41	35.141	0.399
2066	SIERRA DE JUAREZ	32.0013	-115.5654	1,545	1961	1985	24	42.021	0.481
2067	TEPIC	31.0930	-115.4314	1,000	1969	1983	14	54.036	0.452
2068	TIJUANA	32.3205	-117.0142	55	1948	1984	37	34.668	0.399
2069	VALLE DE PALMAS	32.2213	-116.3713	45	1949	1988	40	29.867	0.644
2070	VALLE REDONDO	32.3104	-116.4522	242	1970	1989	17	37.894	0.533
2071	VALLE DE LA TRINIDAD	31.2121	-115.4147	760	1957	1988	30	32.563	0.680
2072	ENSENADA	31.5158	-116.3741	24	1923	1983	57	34.919	0.435
2084	EL PROGRESO	29.5803	-115.1127	460	1974	1983	10	47.550	0.524
2088	EJIDO HEROES DE INDEPEN.	31.3637	-115.5616	1,070	1974	1983	10	50.950	0.424
2089	EJDO. EMILIO LOPEZ ZAMORA	31.0600	-116.1000	70	1974	1983	10	32.370	0.429
2090	EJIDO ERENDIRA	31.1638	-116.2306	2,500	1974	1983	10	32.150	0.351
2092	EJIDO SAN MATIAS	31.1953	-115.3237	968	1974	1987	13	32.792	0.497
2093	EJIDO V. DE LA TRINIDAD	31.2122	-115.4456	780	1974	1983	10	42.890	0.434
2095	LA BOCANA DE STO. TOMAS	31.3200	-116.3921	18	1974	1989	14	34.757	0.401
2096	LA CALENTURA	31.1629	-116.0213	210	1974	1986	13	45.477	0.455

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## A.2.- Estaciones del estado de Baja California Sur

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inicio	Fin	Reg. efectivo	hp media	Cv
3003	BOCA DEL SALADO	23.1608	-109.2607	800	1961	1990	30	75	0.778
3004	BUENAVISTA DE LORETO	25.0636	-111.4755	30	1940	1990	50	38	0.682
3005	CABO SAN LUCAS	22.5311	-109.5452	25	1937	1990	48	58	0.808
3006	CADEGE	26.2030	-112.2845	30	1961	1990	30	25	0.601
3007	CADUAÑO	23.1659	-109.4450	195	1942	1990	49	75	0.671
3008	COMONDU	26.0437	-111.5027	260	1939	1990	52	40	0.473
3009	EL AGUAJITO	24.5650	-111.0306	160	1961	1990	30	42	0.812
3010	EL ALAMO	27.0600	-112.5600	125	1955	1974	20	30	0.710
3011	EL CAJONCITO	24.0927	-110.0936	210	1964	1990	27	60	0.904
3012	EL PASO DE IRITU	24.4557	-111.0730	140	1941	1990	50	46	0.558
3013	EL PILAR	24.2801	-110.5910	125	1944	1990	47	43	0.662
3014	EL REFUGIO	24.4637	-111.4347	23	1941	1989	48	23	0.630
3015	EL ROSARIO	23.5250	-110.3556	122	1962	1990	29	42	0.705
3016	EL ROSARITO	26.2915	-111.3930	122	1941	1990	44	41	0.555
3017	EL TABLON	27.4527	-113.2020	80	1956	1974	19	30	0.830
3018	EL TRIUNFO	23.4842	-110.0700	432	1961	1990	30	77	0.616
3020	IRAQUI	24.5310	-111.1830	120	1961	1983	23	49	0.539
3022	LA ANGOSTURA	25.0345	-111.0349	240	1961	1990	30	45	0.444
3023	LAGUNILLAS	24.0222	-110.2218	200	1953	1987	35	65	0.618
3027	LA POZA GRANDE	25.4948	-112.0520	25	1941	1990	47	19	0.628
3028	LA POZA HONDA	25.2034	-111.3418	80	1952	1990	36	30	0.720
3029	LA PURISIMA	26.1137	-112.0530	95	1939	1990	52	32	0.709
3030	LA RIBERA	23.3504	-109.3314	15	1947	1990	44	56	0.714
3031	LA SOLEDAD	24.4956	-110.4733	320	1961	1990	30	58	0.755
3032	LAS BARRACAS	23.2800	-109.2500	12	1970	1990	21	96	0.839
3033	LAS CRUCES	25.2245	-111.4915	40	1952	1990	39	34	0.577
3034	LAS LAGUNAS	27.3529	-113.3328	30	1943	1976	30	51	1.150
3035	LORETO	26.0030	-111.2057	15	1941	1983	42	51	0.871
3036	LOS DIVISADEROS	23.5359	-110.0806	490	1943	1990	48	78	0.785
3037	LOS PLANES	24.0455	-109.5924	432	1952	1990	39	57	0.754
3038	MULEGE	26.5319	-112.0000	35	1922	1990	65	33	0.884
3039	OJO DE AGUA	26.1924	-111.5624	185	1941	1988	47	43	0.538
3041	PATROCINIO	26.4926	-112.4838	125	1961	1990	29	33	0.602
3042	PENJAMO	24.2225	-111.0700	50	1952	1990	39	41	0.593
3043	PUERTO ADOLFO L. MATEOS	25.1120	-112.0600	10	1965	1990	26	44	1.312
3045	PUERTO SAN CARLOS (DGE)	24.5830	-112.0500	10	1967	1990	24	31	0.933
3047	PUNTA ABREOJOS	26.4356	-113.3441	10	1955	1990	35	27	1.043
3050	SAN BARTOLO	23.4400	-109.5142	395	1941	1990	50	88	0.921
3051	SAN FELIPE	23.1030	-109.5106	440	1939	1990	51	112	0.942
3053	SAN JACINTO	23.1452	-110.0300	80	1953	1990	38	60	0.612
3054	SAN JAVIER	25.5343	-111.3418	435	1953	1990	38	60	0.907

**A.2.- Estaciones del estado de Baja California Sur, (continuación).**

#	NOMBRE	Lat. gg.mmss	Long gg.mmss	ELEV.	Inicio	Fin	Reg. Efectivo	hp media	Cv
3055	SAN JOSE DE GRACIA	26.2923	-112.4245	165	1954	1990	37	30	0.650
3056	SAN JOSE DEL CABO	23.0427	-109.3934	35	1933	1983	49	56	0.850
3057	SAN JUANICO	26.1520	-112.2840	12	1961	1990	28	22	0.730
3058	SAN PEDRO	23.5514	-110.1500	190	1944	1990	47	68	0.639
3060	SANTA GERTRUDIS	23.2945	-110.0657	450	1941	1990	50	75	0.761
3061	SANTA ROSALIA	27.1846	-112.1715	17	1930	1990	56	42	0.795
3062	SANTIAGO	23.2733	-109.4240	125	1939	1990	52	79	0.618
3063	SANTO DOMINGO	25.3030	-111.5645	18	1953	1990	36	38	0.859
3064	SIERRA DE LA LAGUNA	23.2815	-109.5256	1906	1961	1983	20	101	0.828
3065	TEPENTU	25.0615	-111.1400	160	1961	1990	30	37	0.621
3066	TODOS SANTOS (DGE)	23.2653	-110.1421	15	1961	1990	29	47	0.993
3067	YERECA	23.1321	-109.4815	205	1961	1990	30	84	0.690
3068	V.CONSTITUCION A KM.211	25.0052	-111.4006	45	1961	1990	30	37	0.685
3069	VILLA INSURGENTES	25.1300	-111.4530	30	1968	1990	23	38	0.647
3070	VIZCAINO	27.5901	-114.0757	114	1961	1971	11	15	0.905
3072	EL COYOTE	26.4300	-111.5400	5	1972	1990	19	43	0.582
3073	GUSTAVO DIAZ ORDAZ	27.4700	-113.2515	72	1972	1990	19	29	0.697
3074	LA PAZ	24.1000	-110.1726	32	1961	1990	30	41	0.747
3075	SAN PEDRO DE LA PRESA	24.5600	-110.5500	220	1972	1990	19	51	0.533
3077	EL CARRIZAL	23.4608	-110.1843	160	1961	1990	30	51	0.313
3093	SAN BRUNO MULEGE	27.0900	-112.1350	20	1973	1990	18	61	0.802
3094	SANTA ANITA	23.0920	-109.4130	120	1973	1990	18	76	0.537
3096	LAS CUEVAS	23.3000	-109.3500	105	1974	1990	17	52	0.482
3097	EL PESCADERO	23.2140	-110.1000	120	1974	1990	17	45	0.781
3098	LOS DOLORES	26.2850	-112.3720	120	1975	1988	14	25	0.630
3099	SAN JUAN LONDO	26.1430	-111.3230	15	1974	1990	16	46	1.226
3100	SAN ZACARIAS(A.EL ALAMO)	27.1245	-112.4750	125	1975	1990	16	28	0.723
3102	E. ZAPATA (A. EL TABLON)	27.3800	-113.2500	80	1974	1990	17	45	0.851
3103	SAN JOSE DE MAGDALENA	27.0120	-112.1530	130	1976	1990	15	87	0.882
3104	LOS ROBLES	24.0100	-110.0600	100	1977	1990	14	42	0.551
3106	SAN JOSE DEL PACIFICO	27.1900	-114.2100	125	1977	1990	14	37	0.607
3107	SANTA AGUEDA	27.1200	-112.2000	155	1977	1990	14	49	0.594
3108	HUATAMOTE	25.3400	-111.3000	342	1977	1990	13	55	0.753
3109	LA POZA DE LEON COMONDU	25.2500	-111.1000	350	1976	1990	13	54	0.533
3115	LOS LAURELES	27.3600	-113.3300	30	1977	1990	12	25	1.012
3116	LOS CERRITOS	25.1000	-111.2700	12	1978	1990	13	58	0.835
3117	BAHIA ASUNCION	26.5400	-112.0000	30	1980	1990	11	24	0.703
3119	BENITO JUAREZ	25.0800	-111.5100	30	1980	1990	11	33	0.794
3120	COL. P.E. CALLES	23.1400	-110.0700	140	1979	1990	12	42	0.680

## A.2.- Estaciones del estado de Baja California Sur, (continuación).

CLAVE	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inicio	Fin	Reg. Efectivo	hp media	Cv
3121	EL DATIL	26.4300	-112.4900	20	1980	1990	11	48	0.812
3125	SAN AGUSTIN	24.0800	-110.5300	100	1979	1990	12	36	0.782
3126	SAN ANTONIO DE LA SIERRA	26.3200	-112.3000	200	1981	1990	10	34	0.583
3128	SAN LUIS GONZAGA	24.5200	-111.1700	180	1979	1990	12	46	0.562
3129	SAN NICOLAS	26.3200	-111.3200	60	1979	1990	12	33	0.636
3130	SAN RAMON	25.1600	-111.1600	200	1980	1990	11	53	0.355
3134	LOS CANTILITOS	24.3600	-111.0100	40	1979	1990	12	54	0.475
3137	LA SOLEDAD SUR	24.0700	-109.5700	410	1978	1990	13	92	0.711
3138	LIGUI	25.4200	-111.1400	15	1979	1990	12	41	0.557
3141	SAN LUCAS	25.3700	-111.3100	170	1979	1990	12	39	0.445
3143	LAS PALMAS	23.4100	-109.4100	15	1978	1990	13	59	0.521
3144	MANGLE	23.1800	-109.3600	285	1978	1990	13	71	0.620
3146	SANTA RITA	24.3500	-111.2800	50	1978	1990	13	29	0.864
3148	EL MEZQUITAL	27.2300	-112.3500	30	1979	1990	12	26	0.609

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## A.3.- Estaciones del estado de Nayarit.

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inico reg	Fin reg	Reg Efectivo	Hp media	Cv
18001	ACAPONETA	22.30	-105.22	52	1946	1990	45	115	0.290
18002	AHUACATLAN	21.03	-104.29	984	1924	1989	65	57	0.320
18003	AMATLAN DE CAÑAS (SMN)	20.52	-104.26	800	1943	1974	32	61	0.349
18004	CAPOMAL	21.51	-105.07	27	1957	1990	34	119	0.302
18005	CERRO BLANCO	21.23	-104.33	2121	1963	1990	28	84	0.358
18006	COMPOSTELA	21.15	-104.55	874	1948	1976	27	74	0.367
18007	CUCHARAS	22.21	-105.11	126	1967	1990	22	118	0.483
18008	DESPEÑADERO	21.51	-104.44	600	1957	1990	34	64	0.373
18010	EL REFILON	21.20	-104.50	795	1969	1983	15	89	0.495
18012	HUAJICORI	22.39	-105.20	66	1965	1990	24	96	0.470
18013	HUAJIMIC	21.42	-104.19	1983	1963	1990	26	54	0.317
18014	HUAYNAMOTA	21.52	-104.43	960	1969	1983	15	59	0.260
18016	IXTLAN DEL RIO	21.02	-104.22	1042	1942	1989	43	56	0.401
18017	JALCOCOTAN	21.29	-105.07	425	1962	1985	24	95	0.392
18018	JESUS MARIA	21.15	-104.31	610	1963	1989	23	56	0.299
18019	JUMATAN	21.34	-104.58	365	1943	1989	43	104	0.521
18020	LA YESCA	21.21	-104.02	960	1969	1983	15	51	0.241
18021	LAS GAVIOTAS	20.55	-105.07	43	1955	1990	35	115	0.958
18022	MEXCALTITLAN	21.54	-105.29	10	1969	1990	22	99	0.381

## A.3.- Estaciones del estado de Nayarit (continuación).

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inicio Reg.	Fin Reg.	Reg. Efectivo	Hp media	Cv
18023	MIRAVALLS	21.18	-104.52	915	1961	1985	25	80	0.306
18024	NAVARRETE	21.38	-105.07	80	1962	1977	16	104	0.475
18025	PASO DE AROCHA	21.50	-105.08	30	1949	1990	42	135	0.393
18026	PUERTO DE PLATANARES	21.55	-104.58	133	1967	1985	19	155	0.498
18027	ROSARITO	22.06	-105.12	240	1970	1983	14	71	0.264
18028	ROSAMORADA	22.09	-105.12	44	1957	1990	34	116	0.303
18029	SAN BLAS	21.32	-105.17	2	1938	1987	42	116	0.450
18030	SAN JOSE DEL VALLE	20.45	-105.15	21	1969	1990	22	103	0.322
18031	SAN JUAN PEYOTAN	29.23	-104.20	400	1966	1990	24	58	0.312
18032	SAN PEDRO	21.59	-105.09	24	1946	1990	45	121	0.347
18033	SAN PEDRO IXCATAN	22.03	-104.55	24	1942	1978	32	127	0.389
18034	SANTIAGO IXCUINTLA	21.49	-105.13	11	1951	1990	40	117	0.490
18035	TECHICHILPA	22.52	-105.16	370	1971	1983	13	109	0.637
18036	TECUALA	22.24	-105.28	26	1961	1985	24	93	0.387
18037	EL TIZATE	21.45	-105.08	19	1967	1990	23	117	0.243
18038	TEPIC	21.30	-104.53	920	1950	1990	39	92	0.960
18041	TUXPAN	21.57	-105.18	39	1930	1976	34	107	0.340
18042	VALLE DE BANDERAS	20.49	-105.15	100	1959	1983	25	92	0.426
18043	ZACUALPAN	21.14	-105.10	72	1961	1990	30	109	0.399
18045	EL CARRIZAL	21.50	-104.48	960	1972	1989	17	78	0.292
18062	E.T.A. 41 GPE. VICTORIA	21.40	-105.20	4	1973	1982	10	147	0.456
18063	CHAPALACANA	21.57	-104.29	1018	1975	1990	16	63	0.299
18065	AMADO NERVO	21.44	-105.02	32	1977	1990	14	88	0.403
18070	LA ESTANCIA	22.35	-105.21	90	1979	1990	12	97	0.404
18073	PRESA DEL BAÑO	21.38	-104.41	920	1982	1990	9	71	0.470
18075	CACALUTAN	21.10	-104.18	760	1982	1990	9	72	0.371

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**A.4.- Estaciones del estado de Sinaloa.**

#	NOMBRE	Lat gg.mm	Long gg.mm	ELEV.	Inicio reg	Fin Reg.	Reg Efectivo	Hp media	Cv
25001	ACATITAN	24.04	-106.39	130	1961	1985	25	101	0.527
25002	AGUA CALIENTE	26.49	-108.25	180	1961	1985	21	69	0.370
25003	AHOME	25.55	-109.11	80	1962	1985	24	73	0.424
25005	BACUBIRITO	25.49	-107.55	280	1962	1981	19	100	0.539
25006	BADIRAGUATO (SMN)	25.22	-107.33	300	1961	1981	20	89	0.370
25007	BAMICORI	26.21	-108.29	152	1961	1985	25	79	0.372
25009	BOCA-TOMA SUFRAGIO (DGE)	26.05	-108.47	152	1961	1985	25	60	0.395
25011	CONCORDIA	23.16	-106.03	178	1961	1990	29	106	0.492
25012	COSALA	24.25	-106.42	300	1969	1988	20	90	0.409
25013	COREREPE (C.R.F.)GUASAVE	25.36	-108.35	8	1969	1985	17	72	0.524
25015	CULIACAN	24.49	-107.24	40	1961	1985	25	87	0.440
25016	CHAPULTEPEC	24.48	-107.24	68	1969	1977	9	92	0.319
25017	CHOIX PUEBLO	26.44	-108.20	360	1969	1985	16	70	0.309
25019	CHOIX	26.44	-108.16	225	1961	1985	25	71	0.392
25021	DIMAS	23.44	-106.47	12	1963	1985	22	116	0.548
25022	EL CARRIZO	26.16	-109.23	7	1969	1985	17	59	0.439
25023	EL FUERTE	26.26	-108.37	84	1961	1985	25	71	0.328
25024	EL LIMON	23.45	-106.32	135	1961	1990	30	97	0.509
25025	EL MAHOME	26.31	-108.36	12	1961	1985	25	70	0.281
25027	EL NUDO	25.35	-108.28	9	1962	1984	23	78	0.469
25028	ELOTA	23.57	-106.43	35	1961	1990	30	101	0.464
25029	EL PALMITO	23.26	-105.50	1875	1961	1990	29	107	0.549
25030	EL PLAYON	25.15	-108.11	5	1962	1985	24	96	0.366
25031	EL QUELITE	23.33	-106.28	60	1961	1990	30	95	0.454
25032	EL SABINO(A.EL SABINITO)	26.29	-108.44	123	1969	1985	17	70	0.315
25033	EL VAREJONAL	25.06	-107.24	122	1961	1985	25	108	0.610
25035	FRANCISCO	26.20	-108.56	46	1971	1983	13	58	0.489
25038	GUASAVE	25.43	-108.28	30	1969	1984	16	91	0.559
25041	GUATENIPA	25.21	-107.14	290	1964	1985	22	84	0.274
25042	HIGUERA DE ZARAGOZA	25.59	-109.20	9	1963	1984	22	81	0.770
25044	HUITES	26.54	-108.22	168	1961	1990	30	84	0.280
25045	IXPALINO	23.57	-106.37	300	1961	1985	25	94	0.477
25046	JAINA	25.54	-108.01	200	1961	1985	25	87	0.488
25047	JOCUIXTITA	24.15	-106.15	1150	1972	1983	12	75	0.442
25048	JUAN JOSE RIOS	25.45	-108.48	110	1969	1981	13	85	0.539
25049	LA CONCHA	22.32	-105.28	20	1961	1985	25	113	0.284
25050	LA CRUZ	23.55	-106.54	23	1969	1988	19	100	0.764
25052	LA NORIA	23.30	-106.19	89	1963	1990	28	108	0.572
25053	LA TINA	26.13	-108.36	89	1961	1985	25	82	0.461
25055	LAS CAÑAS	26.28	-108.36	84	1961	1985	25	62	0.267

**A.4.- Estaciones del estado de Sinaloa (continuación).**

CLAVE	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inicio	Fin	Efectivo	Hp med	Cv
25056	LAS ESTACAS	26.18	-108.43	61	1970	1985	16	65	0.267
25059	LAS ISABELES	26.10	-108.52	62	1971	1990	18	58	0.333
25061	LLANO DE LOS LOPEZ	26.25	-108.43	185	1971	1985	15	73	0.310
25065	MOCHICAHUI	25.58	-108.56	22	1963	1985	23	49	0.399
25066	OCORONI	25.56	-108.27	85	1961	1990	30	80	0.315
25068	PALO DULCE	27.01	-108.25	237	1961	1985	25	80	0.343
25069	PALOS BLANCOS	24.56	-107.23	88	1961	1982	22	93	0.487
25070	PANUCO	23.25	-105.56	600	1963	1983	21	117	0.528
25071	PERICOS	25.05	-107.47	600	1962	1985	24	93	0.644
25072	PIAXTLA	23.56	-106.25	600	1971	1990	20	86	0.411
25073	PLOMOSAS	23.04	-105.28	600	1963	1984	21	104	0.325
25074	POTRERILLOS	23.30	-105.53	1470	1969	1985	17	112	0.359
25076	QUILA	24.26	-107.14	85	1963	1985	23	79	0.543
25077	ROSA MORADA	25.24	-107.50	85	1969	1985	17	95	0.630
25078	ROSARIO	23.00	-105.55	27	1963	1985	23	115	0.551
25080	RUIZ CORTINES	25.43	-108.44	35	1962	1984	23	77	0.584
25081	SANALONA	24.48	-107.09	170	1961	1985	25	88	0.392
25082	SAN BLAS	26.06	-108.46	71	1961	1985	25	71	0.380
25083	SAN FCO. DEL RIO	26.54	-108.09	71	1961	1974	13	55	0.300
25085	SAN JOSE DE GRACIA	26.08	-107.57	375	1961	1990	28	76	0.363
25086	SAN MIGUEL ZAPOTITLAN	25.57	-109.02	375	1964	1985	22	81	0.499
25087	STA. CRUZ DE ALAYA	24.30	-106.51	2050	1961	1985	25	87	0.393
25088	SANTA ROSA	25.55	-108.54	84	1961	1985	25	59	0.461
25090	SINALOA DE LEYVA	25.49	-108.13	55	1961	1978	15	58	0.617
25091	SIQUEROS	23.20	-106.13	55	1961	1990	30	103	0.495
25092	SOYATITA	25.52	-107.18	690	1961	1990	30	72	0.331
25093	SURUTATO	25.53	-107.21	1400	1961	1985	24	133	0.616
25094	TAMEAPA	25.39	-107.23	1400	1969	1983	15	131	0.713
25097	TECUSIAPA	25.51	-107.23	640	1961	1990	30	70	0.310
25098	TOPOLOBAMPO	25.37	-109.03	34	1964	1985	20	57	0.485
25099	TOPOLOBAMPO	25.37	-108.03	34	1965	1977	13	72	0.546
25100	YECORATO	26.22	-108.18	407	1962	1990	29	83	0.246
25101	SOQUITITAN	24.10	-106.41	170	1961	1983	22	104	0.580
25110	BADIRAGUATO (DGE)	25.22	-107.32	230	1961	1985	24	123	0.702
25115	GUAMUCHIL	25.28	-108.05	50	1961	1985	25	65	0.424
25116	LOS MOCHIS	25.48	-109.00	14	1961	1985	23	68	0.520
25117	MOCORITO	25.29	-107.55	838	1961	1985	25	79	0.333
25118	SAN IGNACIO (CFE)	23.56	-106.26	146	1961	1990	30	95	0.316
25119	SIQUEROS	23.21	-106.15	55	1966	1982	16	108	0.613
25150	LAS TORTUGAS	23.05	-105.55	180	1974	1985	12	93	0.284

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**A.5.- Estaciones del estado de Sonora.**

#	NOMBRE	Lat gg.mm	Long gg.mm	ELEV	Inicio reg.	Fin reg.	Reg. Efectivo	Hp med	Cv
26001	AGUA PRIETA	31.20	-109.34	1,189	1969	1987	19	35.516	0.361
26003	ALTAR	30.43	-111.44	397	1969	1985	17	65.676	0.501
26004	ARIVECHI	28.56	-109.11	556	1961	1983	22	47.214	0.252
26005	ARIZPE	30.20	-110.11	870	1969	1987	19	48.500	0.389
26006	BACADEHUACHI	29.46	-109.17	386	1969	1987	19	43.826	0.336
26007	BACANUCHI	30.38	-110.45	937	1970	1986	17	57.753	0.832
26008	BANAMICHI	30.01	-110.13	4	1966	1987	22	53.827	0.296
26009	BATACOSA	27.32	-109.24	90	1966	1986	21	62.071	0.372
26010	VILLA JUAREZ(A.BATEVITO)	27.10	-109.49	20	1969	1987	19	80.111	0.745
26011	BAVIACORA	29.43	-110.09	620	1961	1984	17	39.753	0.393
26012	BAVISPE	30.29	-108.57	902	1961	1980	19	47.947	0.349
26013	CANANEA	30.59	-110.18	1,575	1961	1983	20	45.820	0.422
26016	CARBO	29.41	-110.57	464	1966	1987	21	46.267	0.356
26017	CAZANATE	26.43	-108.55	137	1969	1985	17	73.524	0.334
26018	CD. OBREGON	27.30	-109.56	100	1961	1983	22	75.073	0.603
26021	COCORAQUE	27.24	-109.37	470	1969	1987	19	66.574	0.703
26023	COL. OAXACA	30.44	-109.03	1,106	1966	1986	21	40.452	0.397
26024	P.A. RUIZ C. (CORTINA)	27.14	-109.05	144	1966	1983	17	59.829	0.384
26025	CUCURPE	30.20	-110.42	718	1969	1986	18	49.444	0.275
26026	CHUPASCLILLA	28.41	-111.29	60	1966	1986	18	34.533	0.405
26028	EL CARRIZAL	29.06	-111.44	50	1966	1986	21	36.200	0.508
26029	CD. CUBIL	28.38	-108.45	350	1969	1990	22	66.841	0.405
26031	EL NOVILLO	28.58	-109.38	192	1961	1990	28	62.557	0.435
26032	EL OREGANO	29.14	-110.43	282	1969	1987	19	51.932	0.340
26034	ETCHOJOA	26.55	-109.38	13	1966	1987	22	83.982	0.935
26035	FELIX GOMEZ	29.50	-111.30	614	1967	1987	21	44.976	0.377
26037	GOLFO DE SANTA CLARA	31.42	-114.29	10	1971	1983	13	23.462	0.837
26038	ATIL	30.50	-111.36	306	1961	1989	27	50.926	0.753
26041	QUITOVAC	31.32	-112.44	610	1969	1983	15	42.367	0.513
26044	HUATABAMPO	26.50	-109.39	8	1969	1988	20	84.085	1.124
26045	IMURIS	30.47	-110.52	826	1961	1988	28	59.736	0.559
26046	LA COLORADA	28.48	-110.35	500	1966	1987	22	48.205	0.359
26047	LA DURA	28.23	-109.33	177	1961	1985	25	50.720	0.228
26048	LA ESTRELLA	28.55	-109.38	177	1964	1987	24	78.946	1.013
26049	LA GUADALUPE	28.58	-108.43	750	1961	1990	30	48.973	0.280
26050	LAS PANELAS	27.24	-108.54	185	1966	1983	17	65.918	0.319
26051	EL LINDERO	26.54	-109.45	10	1970	1988	19	66.595	0.761
26052	MAZATAN	29.00	-110.07	1,100	1961	1983	18	58.150	0.305
26053	MINAS NUEVAS	27.03	-109.01	520	1961	1990	29	89.569	0.846
26056	MUMUNCUERA	26.50	-109.26	8	1966	1988	23	56.043	0.342
26057	NACO	31.20	-109.57	1,340	1966	1987	22	38.759	0.327

**A.5.- Estaciones del estado de Sonora (continuación).**

#	NOMBRE	Lat gg.mm	Long gg.mm	ELEV.	Inicio reg	Fin reg.	Reg. efectivo	Hp media	Cv
26058	NACORI GRANDE	29.04	-110.03	634	1961	1972	12	56.833	0.365
26059	NACUZARI DE GARCIA	30.22	-109.41	1,040	1961	1977	17	52.853	0.316
26066	PALO VERDE	28.48	-111.23	80	1969	1987	19	41.147	0.391
26067	PASO DE NACORI CHICO	29.20	-108.55	532	1961	1990	30	52.467	0.305
26068	PSA.A.OBREGON A.OVIACHIC	27.49	-109.54	70	1969	1988	20	57.800	0.409
26069	PSA. LA ANGOSTURA	30.27	-109.23	965	1961	1985	25	42.764	0.436
26073	PUNTA DE AGUA	28.25	-110.26	214	1961	1987	26	53.908	0.311
26074	QUEROBABI	30.03	-111.01	657	1970	1987	18	48.111	0.311
26075	QUIRIEGO	27.31	-109.15	251	1961	1988	26	74.335	0.387
26076	RIITO	32.08	-114.55	4	1961	1989	28	23.175	0.938
26078	SAHUARIPA	29.03	-109.14	460	1961	1990	29	53.507	0.253
26080	SAN BERNARDO	27.24	-108.51	205	1969	1987	17	75.206	0.300
26082	SAN ISIDRO	28.50	-111.40	36	1966	1987	22	46.736	0.639
26083	SAN JAVIER	28.37	-109.43	650	1961	1987	27	92.778	0.924
26084	SAN JORGE	28.40	-111.36	29	1966	1981	16	46.650	0.489
26085	SAN JOSE	28.51	-111.40	36	1966	1986	21	45.571	0.649
26086	S. L. RIO COLORADO (SMN)	32.29	-114.48	27	1966	1987	20	16.750	0.973
26088	SAN PEDRO DE LA CUEVA	29.17	-109.44	319	1961	1990	30	53.890	0.274
26089	STA. ANA	30.33	-111.08	676	1969	1986	18	45.956	0.430
26090	PSA. ABELARDO RODRIGUEZ	29.05	-110.56	211	1966	1987	22	52.805	0.469
26091	PRESA A. RUIZ CORTINES	27.13	-109.07	135	1966	1988	16	62.050	0.380
26092	PRESA CUAUHEMOC	30.52	-111.32	590	1969	1987	19	42.742	0.327
26093	PITIQUITO	30.42	-112.08	286	1966	1987	22	34.132	0.267
26094	SANTA ROSA	28.28	-109.07	1,020	1961	1989	29	70.524	0.305
26096	SONOYTA	31.52	-112.51	398	1966	1987	22	31.868	0.686
26098	TESIA	27.11	-109.22	47	1969	1988	20	76.310	0.612
26099	TESOCOMA	27.42	-109.15	260	1966	1988	23	74.239	0.446
26100	TESOPACO	27.50	-109.25	266	1966	1987	21	78.952	0.518
26101	TONICHI	28.35	-109.34	217	1961	1987	27	77.241	0.229
26102	TRES HERMANOS	27.12	-109.12	85	1964	1988	24	61.067	0.332
26103	TRINCHERAS	30.24	-111.33	505	1966	1987	22	42.818	0.442
26105	URES	29.26	-110.23	432	1961	1977	17	76.382	1.319
26106	VALLE TACUPETO	28.48	-109.11	542	1966	1987	22	53.223	0.334
26107	VICAM	27.39	-110.17	46	1962	1990	26	54.385	0.592
26109	YECORA	28.22	-108.57	1,500	1961	1990	30	55.320	0.454
26110	TEONADEPA	30.03	-109.01	740	1968	1982	15	44.893	0.342
26115	IMURIS	30.48	-110.52	825	1969	1987	18	50.194	0.224
26116	PSA. LA ANGOSTURA	30.27	-109.24	965	1969	1988	19	40.047	0.456
26117	PSA. PLUTARCO E. CALLES	28.59	-109.39	192	1966	1987	22	60.005	0.402
26123	YECORA	28.19	-108.58	460	1967	1987	20	64.775	0.385
26139	HERMOSILLO	29.06	-110.58	211	1966	1987	22	52.968	0.354

## A.5.- Estaciones del estado de Sonora (continuación).

#	NOMBRE	Lat	Long	ELEV.	Inicio	Fin	Efectivo	Hp med	Cv
26176	MASIACA	26.46	-109.14	42	1974	1983	10	52.670	0.195
26178	ARROYO HONDO	26.45	-108.47	251	1977	1986	10	53.660	0.443
26179	BAHIA KINO	28.49	-111.57	40	1974	1985	12	28.583	0.564
26180	EL CAJON	28.29	-110.44	390	1974	1987	14	61.736	0.372
26181	RAYON	29.42	-110.34	560	1974	1987	14	59.186	0.313
26182	PESQUEIRA	29.22	-110.53	350	1974	1985	12	47.750	0.342
26184	NACORI CHICO	29.41	-108.58	832	1975	1987	13	62.754	0.307
26185	BACANORA	28.59	-109.24	450	1975	1987	13	52.092	0.328
26186	EL TAPIRO	30.14	-109.49	890	1977	1987	11	54.955	0.327
26196	MA.DEL CARMEN	28.54	-111.33	54	1975	1987	13	43.100	0.605
26201	TECORIPA	28.37	-109.57	402	1977	1987	11	61.500	0.269
26202	TEPACHE	29.32	-109.31	600	1978	1987	10	49.870	0.242

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ANEXO B

## Tablas Hp-d-T para algunas estaciones.

### B.1.- Estado de Baja California

**ESTACIÓN**

**2002**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	14.93	38.94	62.85	83.45	108.45	126.69	168.32	186.13	227.42	245.19
2	15.98	41.68	67.27	89.32	116.08	135.61	180.16	199.23	243.42	262.44
3	16.63	43.37	70.00	92.94	120.79	141.11	187.47	207.31	253.30	273.09
4	17.10	44.62	72.00	95.60	124.25	145.15	192.84	213.25	260.55	280.91
5	17.48	45.60	73.59	97.72	127.00	148.36	197.10	217.97	266.31	287.13
6	17.80	46.43	74.92	99.48	129.29	151.04	200.66	221.90	271.12	292.31
7	18.07	47.13	76.06	101.00	131.26	153.34	203.72	225.28	275.25	296.76
8	18.31	47.76	77.07	102.33	132.99	155.36	206.40	228.25	278.88	300.67
9	18.52	48.31	77.96	103.52	134.54	157.17	208.80	230.90	282.12	304.17
10	18.71	48.81	78.77	104.59	135.94	158.80	210.97	233.30	285.05	307.33

**ESTACIÓN**

**2005**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	43.13	66.75	82.38	97.39	116.80	131.35	164.97	179.42	212.96	227.41
2	53.30	82.47	101.79	120.33	144.32	162.30	203.84	221.68	263.13	280.98
3	60.32	93.34	115.20	136.18	163.33	183.68	230.69	250.89	297.80	317.99
4	65.85	101.90	125.77	148.68	178.32	200.53	251.86	273.91	325.12	347.18
5	70.49	109.09	134.63	159.16	190.89	214.66	269.61	293.21	348.04	371.64
6	74.53	115.33	142.34	168.27	201.81	226.95	285.03	309.99	367.95	392.91
7	78.12	120.88	149.19	176.37	211.53	237.88	298.76	324.92	385.68	411.83
8	81.37	125.91	155.40	183.71	220.33	247.77	311.19	338.44	401.72	428.96
9	84.34	130.52	161.09	190.43	228.39	256.84	322.58	350.82	416.42	444.66
10	87.10	134.78	166.35	196.65	235.86	265.23	333.12	362.29	430.03	459.19

## ESTACIÓN

2007

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	12.62	41.39	54.30	65.31	78.92	88.93	111.89	121.71	144.52	154.33
2	13.54	44.41	58.27	70.08	84.69	95.44	120.07	130.61	155.08	165.62
3	14.11	46.29	60.73	73.04	88.26	99.46	125.13	136.12	161.62	172.60
4	14.53	47.66	62.53	75.21	90.88	102.41	128.84	140.16	166.42	177.72
5	14.86	48.76	63.97	76.93	92.97	104.77	131.80	143.38	170.24	181.81
6	15.14	49.67	65.16	78.38	94.71	106.73	134.27	146.07	173.43	185.21
7	15.38	50.46	66.20	79.62	96.21	108.42	136.40	148.38	176.17	188.14
8	15.59	51.15	67.10	80.71	97.53	109.90	138.26	150.41	178.58	190.72
9	15.78	51.76	67.91	81.68	98.70	111.22	139.93	152.22	180.74	193.02
10	15.95	52.32	68.64	82.56	99.77	112.42	141.44	153.86	182.69	195.10

## ESTACIÓN

2022

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	29.52	53.12	73.86	94.29	119.08	136.93	177.41	194.72	234.89	252.19
2	34.71	62.47	86.86	110.88	140.04	161.03	208.64	229.00	276.23	296.58
3	38.17	68.68	95.50	121.91	153.97	177.05	229.39	251.77	303.71	326.08
4	40.82	73.46	102.15	130.40	164.68	189.37	245.35	269.30	324.84	348.77
5	43.01	77.40	107.62	137.38	173.50	199.52	258.50	283.72	342.25	367.46
6	44.88	80.77	112.31	143.37	181.06	208.21	269.76	296.08	357.16	383.47
7	46.53	83.73	116.43	148.63	187.71	215.85	279.66	306.95	370.27	397.54
8	48.01	86.39	120.12	153.35	193.66	222.70	288.54	316.69	382.02	410.15
9	49.35	88.80	123.48	157.63	199.07	228.92	296.59	325.54	392.69	421.61
10	50.58	91.02	126.56	161.56	204.04	234.63	303.99	333.66	402.48	432.13

## ESTACIÓN

2029

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	49.90	73.93	85.43	97.83	115.91	130.21	163.85	178.37	212.07	226.58
2	65.48	97.01	112.11	128.38	152.11	170.87	215.01	234.06	278.29	297.32
3	76.77	113.73	131.42	150.50	178.31	200.31	252.06	274.39	326.23	348.55
4	85.93	127.30	147.11	168.46	199.60	224.22	282.15	307.15	365.18	390.16
5	93.79	138.94	160.56	183.86	217.85	244.72	307.94	335.23	398.56	425.83
6	100.74	149.24	172.46	197.49	233.99	262.85	330.76	360.06	428.09	457.38
7	107.01	158.53	183.20	209.79	248.56	279.23	351.36	382.49	454.76	485.87
8	112.76	167.05	193.05	221.06	261.92	294.23	370.25	403.05	479.20	511.98
9	118.09	174.95	202.17	231.51	274.30	308.14	387.74	422.10	501.85	536.18
10	123.07	182.32	210.70	241.27	285.87	321.13	404.09	439.90	523.01	558.79

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ESTACIÓN**

**2031**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	27.12	43.99	58.93	80.78	112.70	134.20	180.47	199.85	244.51	263.68
2	32.11	52.10	69.80	95.67	133.47	158.93	213.73	236.68	289.57	312.28
3	35.45	57.52	77.06	105.62	147.35	175.46	235.96	261.30	319.69	344.76
4	38.03	61.70	82.66	113.30	158.07	188.22	253.12	280.31	342.94	369.83
5	40.16	65.15	87.29	119.65	166.91	198.75	267.29	295.99	362.13	390.53
6	41.99	68.12	91.26	125.09	174.51	207.80	279.45	309.46	378.61	408.30
7	43.60	70.73	94.76	129.88	181.20	215.76	290.16	321.32	393.12	423.95
8	45.04	73.07	97.89	134.19	187.20	222.91	299.77	331.97	406.14	438.00
9	46.36	75.20	100.75	138.10	192.66	229.41	308.52	341.65	417.99	450.77
10	47.56	77.16	103.37	141.70	197.68	235.39	316.55	350.55	428.87	462.51

**ESTACIÓN**

**2033**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	25.28	52.26	65.04	76.10	89.84	99.96	123.18	133.12	156.21	166.14
2	28.51	58.93	73.34	85.80	101.30	112.71	138.90	150.11	176.14	187.34
3	30.58	63.21	78.67	92.05	108.67	120.91	149.00	161.03	188.96	200.97
4	32.15	66.44	82.70	96.75	114.22	127.09	156.62	169.26	198.61	211.24
5	33.41	69.06	85.95	100.57	118.73	132.10	162.79	175.93	206.44	219.57
6	34.49	71.28	88.71	103.79	122.54	136.34	168.01	181.58	213.07	226.61
7	35.42	73.21	91.11	106.60	125.85	140.03	172.56	186.49	218.83	232.75
8	36.25	74.92	93.25	109.10	128.80	143.31	176.60	190.86	223.95	238.20
9	37.00	76.47	95.17	111.35	131.45	146.26	180.24	194.79	228.57	243.11
10	37.68	77.88	96.92	113.40	133.88	148.95	183.56	198.38	232.78	247.58

**ESTACIÓN**

**2042**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	15.92	32.04	34.07	35.90	38.76	41.91	52.91	58.02	69.89	74.99
2	20.00	40.26	42.81	45.11	48.71	52.66	66.48	72.90	87.82	94.24
3	22.86	46.01	48.93	51.56	55.67	60.18	75.99	83.32	100.37	107.70
4	25.13	50.58	53.79	56.68	61.20	66.17	83.54	91.60	110.35	118.41
5	27.05	54.44	57.90	61.01	65.87	71.22	89.91	98.59	118.77	127.45
6	28.72	57.81	61.48	64.79	69.95	75.63	95.48	104.70	126.12	135.34
7	30.22	60.83	64.69	68.16	73.59	79.57	100.46	110.15	132.69	142.39
8	31.58	63.56	67.60	71.23	76.90	83.14	104.97	115.11	138.66	148.79
9	32.83	66.08	70.27	74.05	79.95	86.43	109.13	119.66	144.15	154.68
10	33.99	68.41	72.75	76.66	82.77	89.49	112.98	123.89	149.24	160.15

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ESTACIÓN**

**2065**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	40.04	55.94	64.72	72.80	83.22	91.12	109.74	117.90	137.09	145.46
2	53.65	74.96	86.73	97.54	111.51	122.10	147.05	157.98	183.70	194.90
3	63.67	88.95	102.92	115.76	132.32	144.89	174.50	187.48	217.99	231.29
4	71.89	100.44	116.21	130.70	149.41	163.60	197.04	211.69	246.14	261.16
5	78.99	110.36	127.69	143.61	164.17	179.76	216.50	232.60	270.45	286.95
6	85.31	119.19	137.90	155.10	177.30	194.14	233.82	251.21	292.09	309.91
7	91.05	127.21	147.17	165.53	189.23	207.20	249.54	268.10	311.73	330.75
8	96.33	134.58	155.71	175.13	200.20	219.21	264.01	283.64	329.81	349.93
9	101.24	141.44	163.65	184.06	210.41	230.39	277.47	298.10	346.62	367.77
10	105.84	147.88	171.09	192.43	219.98	240.87	290.09	311.66	362.39	384.50

**ESTACIÓN**

**2066**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	43.98	61.51	76.32	90.82	109.54	123.55	155.92	169.83	202.12	216.02
2	59.67	83.46	103.55	123.22	148.62	167.63	211.54	230.42	274.23	293.09
3	71.32	99.77	123.78	147.30	177.66	200.39	252.88	275.44	327.81	350.36
4	80.95	113.24	140.49	167.18	201.64	227.44	287.01	312.63	372.07	397.66
5	89.31	124.92	154.99	184.43	222.46	250.92	316.64	344.89	410.47	438.70
6	96.77	135.36	167.94	199.85	241.04	271.88	343.09	373.71	444.77	475.36
7	103.56	144.87	179.73	213.88	257.97	290.97	367.18	399.95	475.99	508.73
8	109.83	153.64	190.61	226.82	273.58	308.59	389.41	424.16	504.81	539.53
9	115.68	161.81	200.75	238.89	288.14	325.01	410.13	446.73	531.67	568.24
10	121.17	169.49	210.28	250.23	301.82	340.43	429.60	467.94	556.91	595.22

**ESTACIÓN**

**2072**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	34.94	54.67	67.74	80.27	96.50	108.65	136.76	148.83	176.87	188.94
2	44.37	69.43	86.02	101.94	122.55	137.98	173.67	189.00	224.61	239.94
3	51.02	79.85	98.93	117.23	140.93	158.69	199.73	217.36	258.30	275.93
4	56.34	88.17	109.24	129.46	155.63	175.23	220.55	240.02	285.23	304.70
5	60.85	95.22	117.98	139.81	168.07	189.24	238.19	259.21	308.04	329.07
6	64.80	101.40	125.63	148.88	178.98	201.52	253.64	276.03	328.03	350.42
7	68.33	106.93	132.49	157.00	188.74	212.52	267.48	291.09	345.93	369.54
8	71.55	111.97	138.73	164.40	197.64	222.53	280.08	304.81	362.23	386.95
9	74.52	116.61	144.48	171.21	205.83	231.75	291.69	317.44	377.24	402.99
10	77.28	120.93	149.83	177.55	213.44	240.32	302.48	329.18	391.19	417.89

**B.2.- Estado de Baja California Sur.**

<b>ESTACIÓN</b>		<b>3003</b>									
<b>T</b>	<b>D</b>	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		71.88	138.45	179.45	216.69	263.62	298.37	378.18	412.42	491.83	526.02
2		77.51	149.30	193.51	233.67	284.28	321.75	407.81	444.73	530.38	567.24
3		81.01	156.04	202.24	244.22	297.11	336.27	426.22	464.80	554.31	592.83
4		83.58	161.00	208.67	251.98	306.56	346.96	439.77	479.58	571.94	611.69
5		85.64	164.96	213.80	258.18	314.09	355.49	450.58	491.37	586.00	626.73
6		87.35	168.27	218.09	263.35	320.39	362.62	459.61	501.22	597.74	639.29
7		88.83	171.12	221.78	267.81	325.81	368.75	467.39	509.70	607.86	650.10
8		90.13	173.62	225.02	271.73	330.58	374.15	474.23	517.17	616.76	659.62
9		91.29	175.86	227.93	275.24	334.84	378.98	480.35	523.84	624.71	668.13
10		92.35	177.89	230.56	278.41	338.70	383.35	485.89	529.88	631.92	675.84

<b>ESTACIÓN</b>		<b>3005</b>									
<b>T</b>	<b>D</b>	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		54.71	94.82	122.88	150.98	189.17	219.18	293.42	327.56	412.38	451.44
2		61.42	106.44	137.94	169.49	212.36	246.05	329.40	367.73	462.95	506.79
3		65.72	113.89	147.60	181.35	227.22	263.27	352.45	393.46	495.35	542.27
4		68.95	119.49	154.85	190.27	238.39	276.21	369.78	412.81	519.71	568.93
5		71.57	124.03	160.73	197.49	247.44	286.69	383.81	428.47	539.42	590.51
6		73.78	127.86	165.69	203.59	255.08	295.55	395.67	441.71	556.08	608.75
7		75.70	131.19	170.01	208.89	261.73	303.25	405.98	453.21	570.57	624.61
8		77.40	134.14	173.84	213.60	267.62	310.08	415.12	463.42	583.43	638.68
9		78.94	136.81	177.29	217.84	272.93	316.23	423.36	472.62	595.00	651.36
10		80.34	139.23	180.43	221.70	277.78	321.84	430.87	481.00	605.56	662.91

<b>ESTACIÓN</b>		<b>3015</b>									
<b>T</b>	<b>D</b>	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		43.24	77.85	99.21	119.38	145.30	164.67	209.36	228.56	273.12	292.30
2		46.73	84.13	107.22	129.02	157.03	177.96	226.25	247.00	295.16	315.89
3		48.90	88.04	112.20	135.01	164.33	186.23	236.76	258.48	308.87	330.56
4		50.50	90.92	115.88	139.43	169.71	192.33	244.52	266.94	318.98	341.38
5		51.78	93.23	118.81	142.96	174.00	197.19	250.70	273.69	327.06	350.02
6		52.85	95.15	121.26	145.91	177.59	201.26	255.87	279.34	333.80	357.24
7		53.77	96.81	123.37	148.45	180.68	204.76	260.33	284.20	339.61	363.46
8		54.58	98.26	125.23	150.69	183.41	207.85	264.25	288.49	344.73	368.94
9		55.30	99.57	126.89	152.69	185.84	210.61	267.76	292.32	349.31	373.84
10		55.96	100.75	128.40	154.50	188.05	213.11	270.94	295.79	353.45	378.27

**ESTACIÓN**

**3027**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	19.71	27.85	32.88	40.98	51.41	59.19	77.16	84.88	102.79	110.50
2	22.98	32.46	38.33	47.77	59.93	69.00	89.95	98.95	119.83	128.81
3	25.14	35.51	41.93	52.26	65.55	75.47	98.39	108.23	131.07	140.89
4	26.79	37.84	44.68	55.69	69.86	80.43	104.85	115.34	139.68	150.15
5	28.14	39.76	46.94	58.51	73.39	84.50	110.16	121.18	146.75	157.75
6	29.30	41.39	48.88	60.91	76.41	87.97	114.69	126.16	152.79	164.24
7	30.32	42.83	50.57	63.03	79.06	91.03	118.67	130.54	158.08	169.94
8	31.23	44.11	52.09	64.92	81.43	93.75	122.22	134.45	162.82	175.03
9	32.05	45.28	53.46	66.63	83.58	96.23	125.45	138.00	167.12	179.65
10	32.81	46.34	54.72	68.20	85.55	98.50	128.41	141.25	171.06	183.89

**ESTACIÓN**

**3031**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	54.43	98.77	134.59	168.45	211.14	242.68	314.99	345.98	417.84	448.78
2	61.44	111.47	151.91	190.12	238.31	273.90	355.52	390.49	471.60	506.51
3	65.94	119.65	163.05	204.07	255.79	294.00	381.60	419.14	506.19	543.67
4	69.34	125.81	171.45	214.58	268.96	309.14	401.25	440.73	532.27	571.67
5	72.10	130.81	178.26	223.10	279.65	321.42	417.19	458.24	553.41	594.38
6	74.43	135.04	184.03	230.32	288.70	331.82	430.69	473.06	571.31	613.61
7	76.46	138.73	189.05	236.60	296.57	340.87	442.44	485.96	586.90	630.35
8	78.26	142.00	193.51	242.18	303.57	348.91	452.87	497.42	600.74	645.22
9	79.89	144.95	197.53	247.22	309.87	356.16	462.28	507.76	613.23	658.62
10	81.37	147.64	201.19	251.81	315.63	362.77	470.87	517.19	624.61	670.85

**ESTACIÓN**

**3047**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
D 1	21.32	54.41	80.70	107.90	145.11	174.15	244.28	275.57	350.54	383.78
2	23.39	59.70	88.54	118.38	159.21	191.07	268.01	302.33	384.59	421.06
3	24.69	63.02	93.47	124.98	168.08	201.71	282.95	319.18	406.02	444.52
4	25.66	65.50	97.14	129.88	174.68	209.63	294.05	331.70	421.95	461.96
5	26.43	67.48	100.08	133.82	179.97	215.98	302.95	341.75	434.73	475.95
6	27.09	69.15	102.55	137.12	184.41	221.31	310.43	350.19	445.46	487.70
7	27.65	70.59	104.69	139.98	188.25	225.92	316.90	357.48	454.74	497.86
8	28.15	71.86	106.58	142.50	191.64	229.99	322.61	363.92	462.93	506.83
9	28.60	73.00	108.27	144.76	194.69	233.64	327.73	369.70	470.28	514.88
10	29.00	74.04	109.80	146.82	197.45	236.96	332.38	374.95	476.96	522.19

**ESTACIÓN**

**3056**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	50.78	107.06	142.83	175.61	217.03	247.73	318.30	348.57	418.78	449.01
2	56.85	119.85	159.90	196.59	242.96	277.33	356.33	390.22	468.82	502.66
3	60.73	128.03	170.81	210.01	259.55	296.26	380.65	416.85	500.82	536.97
4	63.65	134.17	179.01	220.08	272.00	310.47	398.91	436.85	524.84	562.72
5	66.00	139.14	185.63	228.22	282.06	321.96	413.67	453.01	544.26	583.55
6	67.99	143.33	191.22	235.10	290.56	331.66	426.14	466.67	560.67	601.13
7	69.72	146.98	196.08	241.08	297.95	340.09	436.97	478.53	574.92	616.42
8	71.25	150.21	200.40	246.38	304.50	347.57	446.58	489.05	587.56	629.97
9	72.63	153.11	204.28	251.15	310.39	354.30	455.23	498.52	598.94	642.17
10	73.89	155.76	207.81	255.50	315.77	360.43	463.10	507.15	609.30	653.28

**ESTACIÓN**

**3057**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	20.37	38.16	50.62	63.14	80.18	93.59	126.88	142.22	180.46	198.12
2	21.94	41.10	54.53	68.01	86.37	100.82	136.68	153.21	194.40	213.41
3	22.91	42.93	56.95	71.04	90.21	105.30	142.75	160.02	203.04	222.90
4	23.63	44.27	58.74	73.26	93.04	108.60	147.23	165.04	209.41	229.89
5	24.21	45.35	60.16	75.04	95.29	111.23	150.80	169.03	214.48	235.46
6	24.68	46.24	61.35	76.52	97.17	113.43	153.78	172.37	218.72	240.11
7	25.10	47.01	62.37	77.80	98.80	115.32	156.34	175.25	222.37	244.12
8	25.46	47.69	63.28	78.92	100.22	116.99	158.60	177.78	225.58	247.64
9	25.78	48.30	64.08	79.93	101.50	118.47	160.61	180.04	228.44	250.79
10	26.08	48.85	64.81	80.83	102.65	119.82	162.44	182.09	231.04	253.64

**ESTACIÓN**

**3061**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	32.89	81.66	105.48	125.78	150.82	169.22	211.36	229.42	271.30	289.32
2	35.45	88.01	113.69	135.57	162.57	182.40	227.81	247.28	292.42	311.84
3	37.04	91.96	118.79	141.65	169.85	190.57	238.02	258.36	305.53	325.82
4	38.21	94.87	122.54	146.12	175.22	196.60	245.55	266.53	315.18	336.12
5	39.14	97.18	125.53	149.69	179.50	201.40	251.55	273.04	322.88	344.33
6	39.92	99.12	128.03	152.68	183.08	205.41	256.55	278.48	329.31	351.19
7	40.59	100.79	130.19	155.24	186.16	208.86	260.87	283.16	334.85	357.09
8	41.18	102.25	132.08	157.50	188.86	211.90	264.66	287.28	339.72	362.28
9	41.71	103.56	133.77	159.52	191.29	214.62	268.06	290.96	344.08	366.93
10	42.19	104.75	135.31	161.35	193.48	217.08	271.13	294.30	348.02	371.13

**ESTACIÓN**

**3064**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	75.43	182.56	260.19	328.94	414.01	476.49	619.43	680.65	822.58	883.66
2	82.58	199.86	284.85	360.10	453.24	521.64	678.13	745.14	900.52	967.39
3	87.07	210.73	300.34	379.69	477.89	550.01	715.01	785.67	949.50	1020.00
4	90.41	218.80	311.84	394.23	496.18	571.07	742.38	815.75	985.85	1059.06
5	93.08	225.27	321.06	405.88	510.86	587.96	764.34	839.87	1015.01	1090.38
6	95.32	230.69	328.80	415.67	523.17	602.13	782.76	860.11	1039.47	1116.65
7	97.26	235.39	335.49	424.12	533.81	614.37	798.67	877.60	1060.60	1139.36
8	98.97	239.53	341.39	431.58	543.20	625.18	812.73	893.04	1079.26	1159.41
9	100.51	243.24	346.68	438.27	551.62	634.87	825.32	906.89	1095.99	1177.38
10	101.90	246.61	351.48	444.34	559.26	643.67	836.76	919.45	1111.18	1193.69

**ESTACIÓN**

**3074**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	34.56	55.24	80.70	113.95	155.23	184.77	251.46	279.89	345.72	374.04
2	40.35	64.51	94.23	133.05	181.26	215.76	293.63	326.82	403.69	436.77
3	44.18	70.63	103.18	145.69	198.47	236.24	321.51	357.85	442.01	478.23
4	47.12	75.32	110.04	155.37	211.66	251.94	342.88	381.63	471.39	510.01
5	49.53	79.18	115.67	163.32	222.49	264.83	360.42	401.16	495.51	536.11
6	51.59	82.47	120.48	170.12	231.75	275.85	375.43	417.86	516.14	558.43
7	53.40	85.37	124.71	176.08	239.88	285.53	388.60	432.52	534.25	578.02
8	55.02	87.96	128.49	181.42	247.15	294.19	400.38	445.63	550.44	595.54
9	56.49	90.30	131.92	186.27	253.75	302.04	411.06	457.53	565.14	611.44
10	57.84	92.46	135.07	190.71	259.80	309.24	420.87	468.44	578.61	626.02

**ESTACIÓN**

**3129**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	30.20	52.39	68.20	82.64	100.73	114.08	144.69	157.82	188.27	201.38
2	33.02	57.28	74.56	90.35	110.12	124.71	158.18	172.53	205.82	220.15
3	34.78	60.34	78.55	95.18	116.02	131.39	166.64	181.76	216.84	231.93
4	36.09	62.62	81.50	98.77	120.39	136.34	172.92	188.61	225.01	240.67
5	37.15	64.44	83.88	101.64	123.89	140.30	177.95	194.10	231.56	247.68
6	38.03	65.97	85.87	104.06	126.83	143.63	182.17	198.70	237.05	253.55
7	38.79	67.29	87.59	106.14	129.37	146.51	185.82	202.68	241.79	258.63
8	39.46	68.45	89.10	107.98	131.61	149.04	189.04	206.19	245.98	263.11
9	40.06	69.50	90.46	109.62	133.62	151.32	191.92	209.34	249.74	267.12
10	40.61	70.45	91.70	111.12	135.44	153.38	194.54	212.19	253.14	270.77

## A.3.- Estado de Nayarit

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ESTACIÓN

18003

T D	ESTACIÓN									
	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	69.14	87.09	94.40	99.23	103.36	105.40	108.07	108.70	109.53	109.73
2	92.70	116.77	126.57	133.04	138.57	141.31	144.90	145.74	146.86	147.12
3	110.05	138.61	150.25	157.93	164.50	167.75	172.01	173.01	174.34	174.65
4	124.29	156.55	169.70	178.37	185.79	189.46	194.28	195.41	196.90	197.25
5	136.59	172.05	186.49	196.03	204.19	208.22	213.51	214.75	216.39	216.78
6	147.55	185.85	201.45	211.75	220.56	224.91	230.63	231.97	233.74	234.16
7	157.49	198.37	215.02	226.01	235.42	240.07	246.17	247.60	249.49	249.94
8	166.64	209.90	227.52	239.15	249.10	254.02	260.47	261.99	263.99	264.46
9	175.16	220.62	239.14	251.37	261.83	267.00	273.78	275.37	277.48	277.97
10	183.14	230.68	250.04	262.82	273.76	279.17	286.26	287.93	290.13	290.64

ESTACIÓN

18013

T D	ESTACIÓN									
	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	56.58	75.72	84.05	89.83	95.05	97.77	101.62	102.60	104.00	104.35
2	75.58	101.14	112.26	119.98	126.96	130.59	135.73	137.05	138.92	139.38
3	89.53	119.80	132.98	142.12	150.38	154.69	160.78	162.34	164.55	165.10
4	100.96	135.10	149.96	160.27	169.58	174.44	181.31	183.06	185.56	186.18
5	110.82	148.29	164.60	175.92	186.15	191.47	199.02	200.94	203.68	204.36
6	119.59	160.03	177.62	189.84	200.87	206.62	214.76	216.84	219.80	220.53
7	127.54	170.67	189.44	202.46	214.23	220.36	229.04	231.26	234.41	235.20
8	134.85	180.45	200.30	214.08	226.52	233.00	242.18	244.52	247.86	248.69
9	141.65	189.55	210.40	224.87	237.94	244.75	254.39	256.85	260.36	261.23
10	148.02	198.08	219.87	234.99	248.64	255.76	265.83	268.41	272.07	272.98

ESTACIÓN

18019

T D	ESTACIÓN									
	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	95.29	154.06	192.94	230.22	278.42	314.53	397.89	433.68	516.69	552.40
2	121.83	196.98	246.69	294.35	355.98	402.16	508.73	554.50	660.63	706.28
3	140.67	227.43	284.83	339.85	411.02	464.33	587.38	640.22	762.76	815.47
4	155.77	251.85	315.41	376.35	455.15	514.19	650.45	708.97	844.66	903.04
5	168.60	272.58	341.38	407.33	492.62	556.52	704.00	767.33	914.20	977.38
6	179.85	290.78	364.17	434.53	525.52	593.68	751.01	818.57	975.25	1042.65
7	189.96	307.12	384.63	458.94	555.04	627.03	793.19	864.56	1030.03	1101.22
8	199.17	322.01	403.28	481.19	581.95	657.43	831.65	906.47	1079.97	1154.60
9	207.66	335.74	420.48	501.71	606.76	685.46	867.11	945.12	1126.02	1203.84
10	215.56	348.52	436.48	520.81	629.86	711.55	900.12	981.10	1168.88	1249.66

**ESTACIÓN**

**18020**

D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
		1	53.84	66.44	73.97	80.63	88.52	93.95	105.00	109.20	117.79
2	72.86	89.91	100.10	109.11	119.80	127.14	142.09	147.77	159.40	163.82	
3	86.97	107.31	119.47	130.24	142.99	151.75	169.60	176.38	190.26	195.54	
4	98.60	121.67	135.46	147.66	162.12	172.05	192.29	199.98	215.72	221.70	
5	108.69	134.12	149.32	162.77	178.70	189.65	211.97	220.44	237.79	244.38	
6	117.69	145.23	161.68	176.25	193.50	205.36	229.52	238.69	257.48	264.62	
7	125.88	155.34	172.94	188.52	206.97	219.66	245.50	255.31	275.40	283.03	
8	133.43	164.66	183.31	199.83	219.39	232.84	260.23	270.63	291.93	300.02	
9	140.47	173.34	192.99	210.37	230.97	245.12	273.96	284.91	307.33	315.85	
10	147.08	181.50	202.07	220.27	241.84	256.66	286.85	298.31	321.79	330.71	

**ESTACIÓN**

**18022**

D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
		1	112.56	151.09	171.24	187.34	204.33	214.71	232.81	238.63	248.81
2	142.14	190.80	216.25	236.58	258.03	271.14	294.00	301.34	314.20	318.34	
3	162.93	218.71	247.88	271.18	295.77	310.80	337.00	345.42	360.15	364.89	
4	179.50	240.95	273.08	298.76	325.85	342.41	371.27	380.54	396.78	402.00	
5	193.51	259.75	294.39	322.06	351.27	369.12	400.23	410.23	427.74	433.37	
6	205.75	276.19	313.02	342.45	373.50	392.49	425.57	436.20	454.81	460.80	
7	216.71	290.90	329.70	360.69	393.40	413.39	448.24	459.43	479.04	485.34	
8	226.68	304.28	344.86	377.28	411.49	432.40	468.85	480.56	501.06	507.66	
9	235.85	316.59	358.81	392.54	428.13	449.89	487.81	500.00	521.33	528.19	
10	244.36	328.02	371.76	406.71	443.59	466.13	505.43	518.05	540.15	547.26	

**ESTACIÓN**

**18026**

D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
		1	151.53	225.56	272.55	316.15	370.54	409.83	496.04	531.22	608.78
2	209.46	311.79	376.74	437.01	512.20	566.51	685.67	734.31	841.52	885.35	
3	253.14	376.80	455.29	528.13	618.99	684.62	828.63	887.42	1016.98	1069.94	
4	289.54	430.99	520.77	604.08	708.01	783.08	947.80	1015.04	1163.23	1223.82	
5	321.35	478.34	577.97	670.44	785.78	869.10	1051.92	1126.54	1291.01	1358.25	
6	349.91	520.86	629.35	730.04	855.63	946.35	1145.42	1226.67	1405.77	1478.98	
7	376.03	559.74	676.33	784.54	919.51	1017.00	1230.93	1318.25	1510.72	1589.40	
8	400.23	595.76	719.86	835.02	978.68	1082.45	1310.14	1403.09	1607.94	1691.68	
9	422.87	629.46	760.57	882.25	1034.03	1143.67	1384.24	1482.44	1698.87	1787.35	
10	444.20	661.21	798.93	926.75	1086.19	1201.36	1454.06	1557.21	1784.57	1877.51	

**ESTACIÓN**

**18030**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	101.41	131.47	155.28	181.53	221.35	256.17	356.83	410.59	566.50	649.85
2	132.82	172.19	203.37	237.75	289.90	335.51	467.35	537.76	741.95	851.11
3	155.53	201.63	238.14	278.40	339.46	392.87	547.25	629.69	868.79	996.62
4	173.96	225.52	266.35	311.39	379.68	439.43	612.09	704.31	971.74	1114.71
5	189.74	245.99	290.52	339.64	414.14	479.30	667.64	768.22	1059.92	1215.87
6	203.70	264.08	311.89	364.62	444.60	514.55	716.74	824.72	1137.87	1305.29
7	216.30	280.41	331.18	387.17	472.09	546.37	761.06	875.72	1208.24	1386.01
8	227.84	295.37	348.84	407.83	497.28	575.52	801.67	922.44	1272.70	1459.95
9	238.52	309.22	365.21	426.96	520.61	602.52	839.28	965.72	1332.41	1528.45
10	248.51	322.17	380.50	444.84	542.40	627.75	874.41	1006.14	1388.19	1592.43

**ESTACIÓN**

**18035**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	102.14	170.81	216.62	260.09	315.56	356.59	450.22	490.16	582.54	622.29
2	124.59	208.36	264.24	317.28	384.94	434.99	549.21	597.93	710.62	759.11
3	139.95	234.05	296.82	356.39	432.40	488.62	616.91	671.64	798.23	852.69
4	151.98	254.17	322.34	387.03	469.57	530.63	669.96	729.39	866.86	926.01
5	162.03	270.96	343.64	412.60	500.60	565.69	714.22	777.58	924.13	987.19
6	170.72	285.50	362.08	434.75	527.46	596.05	752.55	819.31	973.73	1040.17
7	178.44	298.41	378.44	454.39	551.30	622.98	786.55	856.33	1017.73	1087.17
8	185.40	310.05	393.21	472.13	572.81	647.29	817.25	889.75	1057.45	1129.60
9	191.77	320.70	406.72	488.34	592.49	669.53	845.32	920.31	1093.77	1168.40
10	197.65	330.54	419.19	503.32	610.66	690.06	871.25	948.53	1127.31	1204.23

**ESTACIÓN**

**18041**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	115.49	153.22	173.00	188.84	205.58	215.84	233.78	239.56	249.70	252.98
2	146.45	194.30	219.38	239.47	260.70	273.71	296.46	303.79	316.65	320.81
3	168.29	223.26	252.09	275.17	299.56	314.51	340.65	349.07	363.86	368.63
4	185.72	246.39	278.20	303.68	330.60	347.10	375.94	385.24	401.56	406.83
5	200.48	265.97	300.31	327.81	356.87	374.69	405.82	415.85	433.47	439.16
6	213.41	283.12	319.68	348.94	379.88	398.84	431.99	442.67	461.41	467.47
7	224.98	298.48	337.02	367.87	400.49	420.48	455.42	466.68	486.44	492.83
8	235.52	312.46	352.80	385.10	419.24	440.17	476.74	488.53	509.22	515.91
9	245.22	325.33	367.33	400.96	436.51	458.30	496.38	508.65	530.20	537.16
10	254.24	337.29	380.83	415.70	452.56	475.15	514.63	527.35	549.69	556.91

**ESTACIÓN**

**18043**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	119.16	164.00	190.28	213.20	239.87	257.86	293.71	306.97	333.54	343.38
2	155.51	214.04	248.33	278.24	313.04	336.52	383.31	400.62	435.29	448.13
3	181.72	250.11	290.18	325.14	365.80	393.23	447.91	468.14	508.65	523.66
4	202.95	279.33	324.08	363.12	408.54	439.18	500.24	522.83	568.08	584.84
5	221.12	304.33	353.09	395.62	445.10	478.48	545.01	569.62	618.92	637.18
6	237.16	326.41	378.70	424.32	477.39	513.19	584.55	610.95	663.82	683.40
7	251.63	346.32	401.80	450.21	506.51	544.50	620.21	648.22	704.31	725.09
8	264.87	364.55	422.95	473.90	533.17	573.15	652.85	682.33	741.38	763.25
9	277.13	381.42	442.52	495.83	557.85	599.68	683.07	713.91	775.69	798.58
10	288.57	397.17	460.80	516.31	580.89	624.45	711.28	743.40	807.73	831.56

**ESTACIÓN**

**18062**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	169.38	243.81	286.48	323.05	364.80	392.42	446.04	465.33	502.95	516.52
2	263.41	379.17	445.51	502.39	567.32	610.27	693.65	723.64	782.16	803.26
3	341.04	490.91	576.82	650.46	734.52	790.13	898.09	936.92	1012.68	1040.00
4	409.63	589.65	692.83	781.29	882.26	949.05	1078.72	1125.36	1216.36	1249.18
5	472.21	679.72	798.66	900.63	1017.02	1094.02	1243.50	1297.27	1402.16	1439.99
6	530.36	763.44	897.03	1011.55	1142.28	1228.75	1396.65	1457.04	1574.85	1617.34
7	585.09	842.21	989.59	1115.93	1260.14	1355.54	1540.76	1607.38	1737.35	1784.23
8	637.04	916.99	1077.45	1215.01	1372.03	1475.90	1677.56	1750.09	1891.61	1942.64
9	686.67	988.44	1161.40	1309.68	1478.94	1590.90	1808.27	1886.46	2039.00	2094.01
10	734.35	1057.06	1242.03	1400.60	1581.61	1701.34	1933.81	2017.42	2180.56	2239.39

**ESTACIÓN**

**18063**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	68.67	87.37	100.45	113.55	131.35	145.35	179.97	195.90	235.46	253.67
2	87.15	110.88	127.48	144.11	166.70	184.47	228.40	248.62	298.82	321.93
3	100.18	127.47	146.55	165.67	191.64	212.06	262.57	285.81	343.52	370.09
4	110.60	140.72	161.79	182.89	211.57	234.11	289.87	315.52	379.24	408.57
5	119.42	151.94	174.69	197.47	228.44	252.78	312.99	340.69	409.48	441.15
6	127.14	161.77	185.99	210.25	243.21	269.13	333.24	362.73	435.97	469.69
7	134.06	170.58	196.11	221.69	256.45	283.78	351.37	382.47	459.70	495.26
8	140.36	178.59	205.33	232.11	268.50	297.12	367.88	400.44	481.30	518.53
9	146.16	185.97	213.81	241.70	279.60	309.40	383.08	416.99	501.19	539.95
10	151.55	192.83	221.70	250.62	289.91	320.81	397.22	432.37	519.68	559.87

**B.4.- Estado de Sinaloa**

		<b>ESTACIÓN 25001</b>									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		92.00	158.84	203.90	243.10	291.80	327.68	409.91	445.16	526.90	562.09
2		103.74	179.10	229.92	274.13	329.04	369.49	462.22	501.97	594.14	633.82
3		111.29	192.14	246.65	294.08	352.98	396.39	495.86	538.51	637.38	679.95
4		116.98	201.96	259.26	309.11	371.02	416.65	521.21	566.03	669.96	714.70
5		121.59	209.92	269.48	321.30	385.65	433.07	541.76	588.34	696.37	742.87
6		125.49	216.66	278.13	331.61	398.03	446.97	559.14	607.23	718.72	766.72
7		128.89	222.52	285.66	340.58	408.80	459.07	574.28	623.66	738.17	787.47
8		131.90	227.73	292.34	348.56	418.37	469.82	587.72	638.26	755.45	805.90
9		134.62	232.43	298.37	355.74	427.00	479.50	599.84	651.42	771.03	822.52
10		137.10	236.71	303.87	362.30	434.86	488.34	610.89	663.42	785.23	837.67

		<b>ESTACIÓN 25009</b>									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		64.88	88.98	103.35	116.05	131.03	141.28	162.11	169.98	186.05	192.14
2		78.11	107.13	124.43	139.72	157.75	170.09	195.18	204.65	224.00	231.32
3		87.06	119.42	138.70	155.74	175.85	189.60	217.56	228.12	249.69	257.85
4		94.04	128.98	149.80	168.21	189.93	204.78	234.98	246.38	269.68	278.50
5		99.83	136.92	159.03	178.57	201.62	217.39	249.45	261.55	286.29	295.64
6		104.82	143.77	166.98	187.50	211.71	228.27	261.93	274.64	300.61	310.44
7		109.24	149.83	174.02	195.40	220.63	237.88	272.97	286.21	313.28	323.52
8		113.21	155.28	180.35	202.52	228.66	246.54	282.90	296.63	324.68	335.29
9		116.84	160.26	186.13	209.00	235.99	254.44	291.97	306.14	335.08	346.04
10		120.18	164.85	191.46	214.99	242.74	261.72	300.32	314.90	344.67	355.94

		<b>ESTACIÓN 25015</b>									
T	D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1		79.56	126.78	151.30	173.50	201.54	222.34	270.15	290.67	338.26	358.76
2		91.05	145.09	173.15	198.56	230.64	254.44	309.16	332.65	387.11	410.56
3		98.52	157.00	187.37	214.86	249.58	275.33	334.54	359.96	418.89	444.27
4		104.19	166.04	198.15	227.23	263.95	291.19	353.81	380.68	443.01	469.85
5		108.82	173.41	206.95	237.31	275.66	304.11	369.51	397.58	462.67	490.70
6		112.75	179.67	214.42	245.89	285.62	315.09	382.85	411.93	479.38	508.42
7		116.18	185.14	220.95	253.37	294.32	324.69	394.51	424.48	493.98	523.91
8		119.24	190.01	226.77	260.04	302.07	333.24	404.90	435.65	506.99	537.70
9		122.00	194.42	232.03	266.07	309.07	340.96	414.29	445.75	518.74	550.16
10		124.53	198.45	236.83	271.58	315.47	348.03	422.87	454.99	529.49	561.56

**ESTACIÓN**

**25019**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	71.22	98.03	117.41	137.33	165.18	187.71	245.75	273.52	345.37	379.80
2	88.54	121.87	145.97	170.73	205.36	233.37	305.53	340.05	429.38	472.18
3	100.57	138.43	165.80	193.92	233.26	265.07	347.03	386.24	487.70	536.32
4	110.08	151.52	181.48	212.26	255.32	290.14	379.85	422.76	533.82	587.04
5	118.07	162.52	194.65	227.67	273.86	311.20	407.42	453.46	572.58	629.66
6	125.03	172.10	206.13	241.09	290.00	329.55	431.44	480.19	606.33	666.77
7	131.23	180.64	216.35	253.05	304.38	345.90	452.84	504.01	636.41	699.85
8	136.85	188.38	225.62	263.89	317.42	360.71	472.24	525.60	663.67	729.83
9	142.01	195.48	234.12	273.84	329.39	374.31	490.04	545.41	688.68	757.33
10	146.79	202.05	242.00	283.05	340.47	386.90	506.53	563.76	711.85	782.82

**ESTACIÓN**

**25025**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	79.52	97.37	107.98	117.95	130.73	140.26	162.24	171.69	193.60	203.04
2	101.59	124.38	137.94	150.67	167.00	179.18	207.25	219.33	247.31	259.38
3	117.23	143.54	159.19	173.88	192.71	206.77	239.17	253.10	285.40	299.32
4	129.77	158.89	176.21	192.48	213.33	228.89	264.76	280.18	315.93	331.34
5	140.42	171.92	190.67	208.26	230.83	247.67	286.47	303.16	341.84	358.51
6	149.76	183.36	203.35	222.12	246.18	264.14	305.53	323.33	364.59	382.37
7	158.14	193.62	214.73	234.55	259.96	278.93	322.63	341.42	384.99	403.77
8	165.78	202.98	225.11	245.88	272.52	292.40	338.21	357.92	403.59	423.27
9	172.82	211.60	234.67	256.32	284.10	304.82	352.58	373.12	420.73	441.25
10	179.38	219.62	243.57	266.04	294.87	316.38	365.95	387.27	436.69	457.98

**ESTACIÓN**

**25035**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	58.96	89.88	105.83	118.44	131.59	139.52	153.16	157.45	164.88	167.21
2	73.54	112.12	132.01	147.74	164.14	174.04	191.05	196.41	205.67	208.58
3	83.70	127.59	150.24	168.13	186.80	198.07	217.42	223.52	234.06	237.37
4	91.74	139.86	164.67	184.29	204.75	217.10	238.31	245.00	256.55	260.18
5	98.51	150.17	176.82	197.88	219.85	233.11	255.89	263.07	275.47	279.38
6	104.40	159.16	187.41	209.73	233.02	247.07	271.21	278.82	291.97	296.10
7	109.66	167.18	196.85	220.30	244.76	259.52	284.88	292.87	306.68	311.02
8	114.44	174.46	205.41	229.88	255.41	270.81	297.27	305.61	320.02	324.56
9	118.82	181.13	213.28	238.68	265.18	281.18	308.65	317.31	332.27	336.98
10	122.88	187.32	220.56	246.84	274.25	290.79	319.20	328.16	343.63	348.49

**ESTACIÓN**

**25045**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	99.12	138.46	175.50	228.41	271.14	297.29	353.31	376.80	430.99	454.29
2	113.01	157.86	200.09	260.41	309.13	338.95	402.82	429.59	491.37	517.93
3	122.02	170.45	216.04	281.17	333.78	365.97	434.93	463.84	530.55	559.22
4	128.84	179.98	228.12	296.89	352.44	386.43	459.25	489.78	560.22	590.50
5	134.40	187.74	237.96	309.69	367.64	403.10	479.05	510.89	584.37	615.96
6	139.11	194.33	246.31	320.56	380.54	417.24	495.86	528.82	604.88	637.57
7	143.23	200.08	253.60	330.05	391.80	429.59	510.53	544.47	622.78	656.44
8	146.89	205.19	260.09	338.49	401.82	440.58	523.60	558.40	638.71	673.23
9	150.20	209.82	265.95	346.12	410.88	450.50	535.39	570.98	653.10	688.40
10	153.23	214.04	271.30	353.08	419.15	459.57	546.17	582.47	666.24	702.26

**ESTACIÓN**

**25046**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	80.66	113.95	142.92	177.41	234.36	288.49	465.42	571.32	918.55	1126.59
2	101.53	143.43	179.89	223.30	294.98	363.11	585.80	719.10	1156.14	1418.00
3	116.15	164.09	205.81	255.47	337.47	415.42	670.19	822.68	1322.68	1622.26
4	127.79	180.53	226.43	281.06	371.28	457.04	737.33	905.10	1455.19	1784.78
5	137.61	194.40	243.83	302.66	399.82	492.17	794.01	974.68	1567.05	1921.98
6	146.20	206.53	259.04	321.54	424.76	522.87	843.54	1035.48	1664.80	2041.87
7	153.87	217.37	272.64	338.42	447.05	550.32	887.82	1089.83	1752.19	2149.05
8	160.84	227.22	284.99	353.76	467.31	575.26	928.05	1139.22	1831.59	2246.44
9	167.26	236.28	296.35	367.86	485.94	598.19	965.05	1184.63	1904.61	2335.99
10	173.21	244.69	306.90	380.95	503.24	619.48	999.39	1226.79	1972.39	2419.12

**ESTACIÓN**

**25065**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	50.68	69.18	82.53	96.23	115.37	130.83	170.57	189.54	238.55	261.99
2	57.85	78.97	94.21	109.85	131.70	149.34	194.71	216.37	272.31	299.07
3	62.51	85.33	101.79	118.69	142.30	161.36	210.38	233.79	294.23	323.15
4	66.04	90.15	107.54	125.40	150.33	170.48	222.26	247.00	310.85	341.40
5	68.91	94.07	112.22	130.86	156.88	177.90	231.94	257.75	324.38	356.26
6	71.36	97.41	116.20	135.49	162.44	184.20	240.16	266.88	335.88	368.88
7	73.49	100.32	119.67	139.54	167.29	189.71	247.33	274.85	345.91	379.90
8	75.39	102.91	122.76	143.15	171.61	194.61	253.72	281.95	354.85	389.71
9	77.10	105.25	125.55	146.40	175.52	199.03	259.49	288.37	362.92	398.58
10	78.67	107.39	128.11	149.38	179.08	203.08	264.77	294.23	370.29	406.68

**ESTACIÓN**

**25070**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	124.27	166.08	205.58	254.38	323.47	375.75	496.16	547.83	667.67	719.25
2	150.03	200.49	248.18	307.10	390.51	453.62	598.99	661.36	806.04	868.31
3	167.50	223.85	277.08	342.86	435.99	506.45	668.75	738.39	899.91	969.44
4	181.12	242.04	299.61	370.74	471.44	547.63	723.12	798.42	973.08	1048.26
5	192.44	257.17	318.34	393.91	500.90	581.86	768.32	848.33	1033.91	1113.79
6	202.22	270.24	334.51	413.92	526.34	611.41	807.34	891.41	1086.41	1170.35
7	210.87	281.79	348.82	431.62	548.86	637.56	841.87	929.54	1132.88	1220.41
8	218.66	292.21	361.70	447.57	569.14	661.12	872.98	963.89	1174.74	1265.50
9	225.77	301.71	373.47	462.13	587.65	682.62	901.37	995.23	1212.95	1306.66
10	232.32	310.47	384.31	475.55	604.71	702.44	927.55	1024.13	1248.17	1344.61

**ESTACIÓN**

**25076**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	80.45	135.61	170.74	193.94	220.50	239.51	282.51	300.86	343.35	361.64
2	86.62	146.01	183.84	208.82	237.41	257.88	304.18	323.93	369.69	389.38
3	90.45	152.46	191.96	218.04	247.90	269.27	317.62	338.24	386.02	406.58
4	93.26	157.21	197.94	224.83	255.62	277.66	327.51	348.78	398.04	419.25
5	95.51	160.99	202.71	230.24	261.78	284.34	335.40	357.18	407.63	429.34
6	97.38	164.15	206.68	234.76	266.92	289.92	341.98	364.19	415.63	437.77
7	99.00	166.87	210.11	238.65	271.34	294.73	347.65	370.22	422.51	445.02
8	100.42	169.26	213.12	242.08	275.23	298.95	352.63	375.53	428.57	451.40
9	101.69	171.40	215.81	245.13	278.71	302.73	357.09	380.28	433.99	457.11
10	102.84	173.34	218.25	247.90	281.86	306.15	361.12	384.57	438.89	462.27

**ESTACIÓN**

**25082**

T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	74.09	100.73	116.07	129.27	144.42	154.47	174.10	181.21	195.15	200.21
2	91.44	124.32	143.25	159.55	178.24	190.65	214.88	223.65	240.86	247.11
3	103.42	140.61	162.02	180.46	201.59	215.63	243.03	252.95	272.42	279.48
4	112.86	153.44	176.81	196.93	219.99	235.31	265.21	276.04	297.28	304.98
5	120.77	164.19	189.20	210.73	235.41	251.81	283.80	295.39	318.12	326.36
6	127.64	173.54	199.97	222.72	248.81	266.14	299.96	312.20	336.23	344.94
7	133.76	181.85	209.55	233.39	260.73	278.89	314.33	327.16	352.34	361.47
8	139.29	189.38	218.22	243.05	271.52	290.43	327.33	340.69	366.91	376.42
9	144.36	196.27	226.17	251.90	281.41	301.00	339.25	353.10	380.27	390.13
10	149.06	202.65	233.52	260.09	290.55	310.79	350.28	364.57	392.63	402.81

**B.5.- Estado de Sonora**

		ESTACIÓN					26001				
D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
	1		44.59	56.55	61.25	64.28	66.80	68.00	69.53	69.87	70.31
2		56.50	71.66	77.62	81.46	84.65	86.18	88.10	88.55	89.10	89.22
3		64.90	82.31	89.15	93.57	97.23	98.98	101.20	101.70	102.33	102.47
4		71.60	90.81	98.36	103.23	107.27	109.21	111.65	112.21	112.90	113.06
5		77.28	98.01	106.16	111.41	115.77	117.86	120.49	121.10	121.85	122.01
6		82.24	104.31	112.98	118.57	123.21	125.43	128.24	128.88	129.68	129.86
7		86.69	109.95	119.09	124.98	129.87	132.22	135.17	135.85	136.69	136.88
8		90.74	115.08	124.65	130.82	135.94	138.39	141.48	142.19	143.07	143.27
9		94.46	119.80	129.77	136.19	141.52	144.07	147.29	148.03	148.95	149.15
10		97.93	124.20	134.52	141.18	146.71	149.35	152.69	153.46	154.41	154.62

		ESTACIÓN					26032				
D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
	1		52.64	70.07	81.61	92.69	107.01	117.76	142.56	153.24	177.99
2		59.52	79.22	92.27	104.79	120.98	133.13	161.17	173.24	201.23	213.28
3		63.95	85.11	99.13	112.59	129.99	143.03	173.17	186.14	216.20	229.16
4		67.29	89.56	104.31	118.47	136.78	150.51	182.21	195.86	227.49	241.13
5		70.00	93.17	108.52	123.24	142.29	156.57	189.56	203.75	236.66	250.84
6		72.29	96.23	112.08	127.29	146.95	161.71	195.77	210.43	244.42	259.07
7		74.29	98.89	115.18	130.81	151.02	166.18	201.19	216.25	251.18	266.24
8		76.07	101.25	117.93	133.94	154.63	170.15	206.00	221.43	257.19	272.60
9		77.67	103.39	120.42	136.76	157.89	173.74	210.34	226.09	262.61	278.35
10		79.14	105.33	122.68	139.33	160.86	177.01	214.30	230.35	267.55	283.59

		ESTACIÓN					26037				
D	T	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
	1		20.39	48.25	62.54	75.69	92.41	104.84	133.47	145.76	174.28
2		20.14	47.66	61.78	74.76	91.28	103.56	131.84	143.98	172.15	184.27
3		20.00	47.32	61.33	74.22	90.63	102.82	130.89	142.94	170.91	182.94
4		19.89	47.08	61.02	73.85	90.16	102.29	130.22	142.21	170.04	182.01
5		19.82	46.89	60.78	73.55	89.81	101.89	129.71	141.65	169.37	181.29
6		19.75	46.74	60.58	73.32	89.52	101.56	129.29	141.19	168.82	180.70
7		19.70	46.61	60.42	73.11	89.27	101.28	128.93	140.80	168.36	180.21
8		19.65	46.50	60.27	72.94	89.06	101.04	128.63	140.47	167.96	179.78
9		19.61	46.40	60.15	72.79	88.87	100.83	128.36	140.18	167.60	179.41
10		19.57	46.31	60.03	72.65	88.71	100.64	128.12	139.91	167.29	179.07

**ESTACIÓN**

**26049**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	53.74	66.31	72.19	76.51	80.66	82.95	86.48	87.47	88.99	89.42
2	70.79	87.35	95.10	100.79	106.25	109.27	113.93	115.23	117.23	117.79
3	83.18	102.64	111.74	118.42	124.84	128.39	133.86	135.39	137.73	138.40
4	93.26	115.07	125.28	132.78	139.97	143.95	150.08	151.79	154.42	155.17
5	101.91	125.75	136.91	145.09	152.96	157.31	164.00	165.88	168.75	169.57
6	109.57	135.20	147.20	156.00	164.46	169.13	176.33	178.35	181.44	182.32
7	116.50	143.75	156.50	165.86	174.85	179.82	187.48	189.62	192.91	193.84
8	122.85	151.59	165.04	174.91	184.39	189.63	197.70	199.96	203.43	204.42
9	128.74	158.86	172.95	183.30	193.23	198.72	207.18	209.55	213.18	214.22
10	134.25	165.65	180.35	191.14	201.49	207.22	216.04	218.51	222.30	223.38

**ESTACIÓN**

**26052**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	58.74	76.36	88.02	99.20	113.68	124.53	149.60	160.38	185.40	196.17
2	74.52	96.87	111.65	125.84	144.21	157.98	189.77	203.45	235.18	248.84
3	85.64	111.33	128.32	144.63	165.74	181.56	218.11	233.82	270.29	285.99
4	94.53	122.88	141.63	159.64	182.94	200.40	240.74	258.08	298.34	315.67
5	102.05	132.66	152.91	172.34	197.49	216.35	259.89	278.62	322.08	340.79
6	108.64	141.22	162.78	183.47	210.25	230.31	276.67	296.60	342.88	362.79
7	114.54	148.90	171.62	193.44	221.67	242.83	291.70	312.72	361.50	382.50
8	119.91	155.88	179.67	202.51	232.06	254.21	305.38	327.38	378.46	400.43
9	124.86	162.31	187.08	210.86	241.63	264.70	317.98	340.88	394.07	416.95
10	129.46	168.28	193.97	218.62	250.53	274.44	329.69	353.43	408.57	432.30

**ESTACIÓN**

**26069**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	43.88	62.10	74.16	85.72	100.70	111.92	137.84	148.99	174.86	185.99
2	52.22	73.89	88.24	102.00	119.82	133.18	164.02	177.28	208.07	221.32
3	57.81	81.80	97.69	112.92	132.65	147.43	181.58	196.26	230.34	245.01
4	62.13	87.92	105.00	121.37	142.58	158.47	195.17	210.95	247.58	263.34
5	65.71	92.99	111.05	128.36	150.79	167.59	206.41	223.09	261.84	278.51
6	68.79	97.34	116.24	134.37	157.84	175.43	216.07	233.53	274.09	291.54
7	71.50	101.18	120.83	139.67	164.07	182.35	224.58	242.74	284.89	303.03
8	73.93	104.62	124.94	144.42	169.66	188.56	232.23	251.01	294.60	313.35
9	76.15	107.76	128.69	148.75	174.74	194.21	239.20	258.53	303.43	322.75
10	78.19	110.65	132.14	152.74	179.42	199.42	245.60	265.46	311.56	331.40

**ESTACIÓN**

**26086**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	16.14	28.10	42.02	55.44	72.31	84.77	113.39	125.66	154.14	166.40
2	16.83	29.31	43.83	57.82	75.41	88.41	118.27	131.06	160.76	173.55
3	17.25	30.04	44.92	59.26	77.29	90.61	121.22	134.33	164.77	177.87
4	17.55	30.57	45.71	60.31	78.66	92.21	123.35	136.70	167.68	181.01
5	17.79	30.98	46.34	61.13	79.73	93.47	125.04	138.56	169.96	183.48
6	17.99	31.33	46.85	61.81	80.62	94.51	126.43	140.11	171.85	185.52
7	18.16	31.62	47.29	62.39	81.38	95.40	127.62	141.42	173.47	187.27
8	18.31	31.88	47.68	62.90	82.04	96.18	128.66	142.58	174.88	188.79
9	18.44	32.11	48.02	63.35	82.63	96.87	129.58	143.60	176.14	190.15
10	18.56	32.32	48.33	63.76	83.16	97.49	130.41	144.52	177.27	191.37

**ESTACIÓN**

**26089**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	45.85	65.77	78.95	91.61	107.98	120.25	148.61	160.80	189.08	201.27
2	52.12	74.76	89.75	104.14	122.75	136.70	168.93	182.80	214.95	228.80
3	56.18	80.59	96.75	112.25	132.31	147.35	182.09	197.03	231.69	246.62
4	59.25	84.99	102.03	118.38	139.55	155.40	192.04	207.80	244.35	260.10
5	61.75	88.57	106.33	123.37	145.43	161.95	200.13	216.56	254.65	271.06
6	63.87	91.61	109.98	127.60	150.41	167.51	207.00	223.99	263.38	280.36
7	65.72	94.26	113.16	131.30	154.76	172.35	212.99	230.46	271.00	288.47
8	67.36	96.62	115.99	134.58	158.63	176.66	218.31	236.23	277.78	295.68
9	68.84	98.74	118.54	137.54	162.13	180.55	223.12	241.43	283.90	302.19
10	70.20	100.69	120.88	140.25	165.32	184.11	227.51	246.18	289.48	308.14

**ESTACIÓN**

**26105**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	75.73	188.08	262.47	333.82	426.19	495.40	655.33	724.09	883.66	952.38
2	85.49	212.30	296.28	376.81	481.07	559.20	739.72	817.34	997.46	1075.03
3	91.77	227.89	318.03	404.48	516.40	600.26	794.04	877.36	1070.71	1153.97
4	96.50	239.64	334.43	425.34	543.03	631.21	834.98	922.60	1125.92	1213.47
5	100.33	249.18	347.73	442.25	564.62	656.31	868.19	959.29	1170.69	1261.73
6	103.58	257.24	358.99	456.57	582.90	677.56	896.30	990.34	1208.59	1302.58
7	106.41	264.27	368.79	469.04	598.82	696.06	920.77	1017.39	1241.60	1338.15
8	108.92	270.51	377.50	480.11	612.96	712.50	942.51	1041.41	1270.91	1369.74
9	111.19	276.13	385.35	490.10	625.71	727.31	962.12	1063.07	1297.34	1398.23
10	113.26	281.26	392.51	499.20	637.33	740.83	980.00	1082.82	1321.45	1424.21

**ESTACIÓN**

**26139**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	54.59	74.24	87.25	99.73	115.88	127.98	155.95	167.98	195.88	207.90
2	60.78	82.67	97.15	111.04	129.03	142.51	173.65	187.05	218.12	231.50
3	64.73	88.03	103.45	118.25	137.41	151.76	184.92	199.19	232.27	246.52
4	67.68	92.05	108.18	123.65	143.67	158.68	193.36	208.28	242.87	257.77
5	70.06	95.29	111.98	128.00	148.73	164.27	200.17	215.61	251.42	266.85
6	72.07	98.02	115.20	131.67	153.00	168.98	205.91	221.79	258.63	274.50
7	73.82	100.39	117.98	134.86	156.70	173.07	210.89	227.16	264.89	281.14
8	75.36	102.50	120.45	137.68	159.98	176.69	215.31	231.91	270.44	287.03
9	76.75	104.39	122.67	140.22	162.93	179.95	219.28	236.19	275.42	292.32
10	78.02	106.11	124.69	142.53	165.61	182.91	222.89	240.08	279.96	297.14

**ESTACIÓN**

**26178**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	62.12	78.00	81.70	94.75	113.15	126.88	158.56	172.18	203.76	217.36
2	76.20	95.68	100.22	116.22	138.79	155.64	194.50	211.20	249.94	266.63
3	85.87	107.82	112.94	130.97	156.40	175.39	219.19	238.01	281.67	300.47
4	93.46	117.36	122.93	142.56	170.24	190.91	238.58	259.07	306.59	327.05
5	99.82	125.34	131.28	152.25	181.81	203.89	254.80	276.68	327.43	349.28
6	105.33	132.26	138.53	160.65	191.85	215.14	268.86	291.95	345.50	368.56
7	110.22	138.40	144.97	168.12	200.77	225.14	281.36	305.52	361.56	385.69
8	114.65	143.96	150.79	174.86	208.82	234.18	292.65	317.78	376.07	401.17
9	118.70	149.04	156.11	181.04	216.20	242.45	302.99	329.01	389.35	415.34
10	122.44	153.74	161.04	186.75	223.02	250.09	312.54	339.38	401.63	428.44

**ESTACIÓN**

**26179**

T D	2	5	10	20	50	100	500	1,000	5,000	10,000
1	29.21	48.63	61.38	72.61	86.57	96.86	120.41	130.50	153.90	163.98
2	33.41	55.62	70.21	83.05	99.02	110.78	137.72	149.26	176.02	187.55
3	36.14	60.17	75.94	89.83	107.11	119.84	148.98	161.46	190.41	202.88
4	38.21	63.62	80.30	94.98	113.25	126.71	157.52	170.71	201.32	214.51
5	39.90	66.43	83.84	99.18	118.26	132.31	164.48	178.26	210.22	223.98
6	41.33	68.82	86.86	102.75	122.51	137.06	170.39	184.67	217.78	232.04
7	42.58	70.91	89.49	105.86	126.22	141.22	175.56	190.27	224.38	239.07
8	43.70	72.76	91.84	108.64	129.53	144.92	180.16	195.25	230.26	245.34
9	44.71	74.44	93.96	111.15	132.52	148.27	184.32	199.76	235.58	251.00
10	45.63	75.98	95.90	113.44	135.25	151.33	188.12	203.88	240.43	256.18

# ANEXO C

## Lista de símbolos

---

- $T$  = Período de retorno (ecs. 1.2, 1.114, 1.115, 1.116, )  
 $P$  = Probabilidad (ec. 1.2)  
 $f(x)$  = Función de densidad de probabilidad (fdp) (ecs. 1.4, 1.5, 1.6, 1.18, 1.20, 1.22)  
 $F(x)$  = Función de distribución de probabilidad (FDP) (ec. 1.6)  
 $S$  = Número de secuencias (ec. 1.7)  
 $C$  = Número de cambios (ec. 1.7)  
 $n$  = Número de registros de la muestra (ecs. 1.7, 1.32, 1.34, 1.35, 1.36, 1.45)  
 $t_d$  = Valor para verificar la homogeneidad en la prueba  $t$  de Student (ec. 1.9)  
 $n_1$  = Número de registros del primer bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $n_2$  = Número de registros del segundo bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $s_1^2$  = Desviación estándar del primer bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $s_2^2$  = Desviación estándar del segundo bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $x_1$  = Media del primer bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $x_2$  = Media del segundo bloque de la muestra (ecs. 1.9, 1.10)  
 $t_k$  = Valor para verificar la homogeneidad con la prueba de Cramer (ec. 1.12)  
 $\mu'_n$  =  $n$ -ésimo momento de una función de probabilidad con respecto al origen (ecs. 1.15, 1.16)  
 $\mu$  = Media (ecs. 1.17, 1.18, 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.43)  
 $\mu_n$  =  $n$ -ésimo momento de una función de probabilidad con respecto a la media (ecs. 1.19, 1.20)  
 $\sigma^2$  = Varianza (ecs. 1.21, 1.22, )  
 $\sigma$  = Desviación estándar (ecs. 1.23, 1.24)  
 $g$  = Asimetría (ec. 1.23)  
 $L$  = Función de verosimilitud (ecs. 1.25, 1.26)  
 $\lambda_i$  = Estimadores por momentos  $L$  (ecs. 1.27, 1.28, 1.29)  
 $\beta_r$  = Momentos de probabilidad pesada (ecs. 1.30, 1.37, 1.38, 1.39, 1.40, 1.41, 1.42)  
 $b_i$  = Estimadores de los momentos de probabilidad pesada (ecs. 1.31, 1.32, 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37)  
 $\bar{x}$  = Valor estimado de la media (ecs. 1.42, 1.43, 1.44, 1.46, 1.55, 1.61, 1.66, 1.67, 1.78, 1.89)  
 $\hat{\mu}$  = Valor estimado de la media (ecs. 1.46, 1.47, 1.48)  
 $\hat{\sigma}^2$  = Valor estimado de la varianza (ecs. 1.43, 1.46)  
 $S^2$  = Valor estimado de la varianza (ec. 1.43)  
 $S$  = Valor estimado de la desviación estándar (ecs. 1.44, 1.55, 1.61, 1.71, 1.78)  
 $\hat{g}$  = Valor estimado de la asimetría (ecs. 1.44, 1.86, 1.87)  
 $\hat{\sigma}$  = Valor estimado de la desviación estándar (ecs. 1.46, 1.48)
-

- $\mu$  = Parámetro de ubicación (ecs. 1.45, 1.46, 1.85)  
 $\sigma$  = Parámetro de escala (ecs. 1.45, 1.46)  
 $\mu_y$  = Parámetro de ubicación (ecs. 1.57, 1.58, 1.59)  
 $\mu_y$  = Parámetro de forma (ecs. 1.60, 1.62, 1.63)  
 $\sigma_y$  = Parámetro de escala (ecs. 1.57, 1.58, 1.59, 1.60, 1.63)  
 $\beta$  = Parámetro de escala (ecs. 1.51, 1.52, 1.53, 1.54, 1.55, 1.56)  
 $x_o$  = Parámetro de ubicación (ecs. 1.53, 1.54, 1.55, 1.60, 1.61, 1.63, 1.69, 1.70, 1.71, 1.72, 1.73, 1.75)  
 $\alpha$  = Parámetro de escala (ecs. 1.64, 1.65, 1.66, 1.67, 1.68, 1.69, 1.70, 1.1.71, 1.72, 1.73, 1.75, 1.76, 1.77, 1.78, 1.79, 1.82, 1.83, 1.84, 1.85, 1.88, 1.90, 1.91)  
 $\beta$  = Parámetro de forma (ecs. 1.64, 1.65, 1.68, 1.69, 1.70, 1.71, 1.72, 1.73, 1.74, 1.75)  
 $u$  = Parámetro de ubicación (ecs. 1.76, 1.77, 1.78, 1.79)  
 $u_1$  = Parámetro de ubicación (1ª población) (ecs. 1.106, 1.107, 1.109)  
 $u_2$  = Parámetro de ubicación (2ª población) (ecs. 1.106, 1.107, 1.109)  
 $\alpha_1$  = Parámetro de ubicación (1ª población) (ecs. 1.106, 1.107, 1.109)  
 $\alpha_2$  = Parámetro de ubicación (2ª población) (ecs. 1.106, 1.107, 1.109)  
 $p$  = Parámetro de asociación (ecs. 1.106, 1.107, 1.109)  
 $P_d^T$  = Precipitación para un período de retorno T y una duración d (ecs. 1.114, 1.115, 1.116)  
 $z(u_\alpha)$  = Magnitud de una variable en el punto  $\alpha$  (ec. 2.10)  
 $z(u_\alpha+h)$  = Magnitud de una variable en un punto ubicado a una distancia  $h$  de otro punto (ec. 2.10)  
 $h$  = vector que separa a dos puntos (ecs. 2.10, 2.12)  
 $N(h)$  = Número de pares de puntos separados por  $h$  (ecs. 2.10, 2.12)  
 $\gamma(h)$  = Semivariograma (ecs. 2.12, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.35, 2.36)  
 $\lambda_\alpha(u)$  = Peso asignado al dato  $Z(u)$  (ecs. 2.20, 2.26)  
 $m(u)$  = Valor esperado de la variable aleatoria  $Z(u)$  (ec. 2.20)  
 $m(u_\alpha)$  = Valor esperado de la variable aleatoria  $Z(u_\alpha)$  (ec. 2.20)  
 $\sigma_E^2(u)$  = Varianza del error (ec. 2.21)  
 $Z(u)$  = Función aleatoria (ec. 2.23)  
 $R(u)$  = Componente residual de  $Z(u)$  (ecs. 2.23, 2.24)  
 $m(u)$  = Componente de tendencia de  $Z(u)$  (ecs. 2.23, 2.25, 2.26, 2.28)  
 $C_R(\cdot)$  = Covarianza del residual (ecs. 2.24, 2.30, 2.31)  
 $E\{Z(u)\}$  = Valor esperado de la variable aleatoria Z en el punto  $u$  (ec. 2.25)  
 $Z_{KO}^*(u)$  = Estimador Kriging ordinario (ecs. 2.27, 2.28)  
 $n(u)$  = Numero de variables aleatorias  $Z(u_\alpha)$  (ecs. 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.35, 2.36)  
 $\lambda_\alpha^{KO}(u)$  = Peso asignado al dato  $Z(u_\alpha)$  por medio de  $Z_{KO}^*(u)$  (ecs. 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.35, 2.36)  
 $L(u)$  = Lagrangiano (ecs. 2.29, 2.30)  
 $2\mu_{KO}(u)$  = Parámetro de Lagrange (ec. 2.29)  
 $C(\cdot)$  = Covarianza (ecs. 2.32, 2.33, 2.35)  
 $N_\omega$  = Número de corrientes de un determinado orden (ecs. 4.1, 4.2, 4.3, 4.16, 4.17)  
 $\omega$  = Orden de corriente (ecs. 4.1, 4.2, 4.3)  
 $R_B$  = Relación de bifurcación (ecs. 4.1, 4.2, 4.3, 4.21)  
 $\Omega$  = Orden mas alto de la cuenca (ecs. 4.1, 4.2, 4.3, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, )

- $L_\omega$  = Longitud de las corrientes de orden  $\omega$  (ec. 4.4)
- $\bar{L}_\omega$  = Promedio de la longitud de las corrientes de orden  $\omega$  (ecs. 4.4, 4.20),
- $A_{\omega i}$  = Área que contribuye a la descarga de la corriente de orden  $\omega$  y sus tributarios (ec. 4.5)
- $\bar{A}_\omega$  = Promedio de las áreas de las cuencas de orden  $\omega$  (ecs. 4.5, 4.17)
- $T_B$  = Tiempo de viaje a la salida de la cuenca hidrológica (ec. 4.6.)
- $S_i$  = Trayectoria en una cuenca hidrológica (ec. 4.6)
- $T_{S_i}$  = Tiempo de viaje en una trayectoria particular (ec. 4.6)
- $S$  = Conjunto de todas las trayectorias posibles de una gota en una cuenca (ec. 4.6)
- $P(S_i)$  = Probabilidad de que una gota tome una trayectoria  $S_i$  (ecs. 4.6, 4.13, 4.14)
- $f_{T_{al}}(t)$  = Funciones de densidad de probabilidad de tiempos de viaje en laderas (ecs. 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11)
- $f_{T_{ri}}(t)$  = Funciones de densidad de probabilidad de tiempos de viaje en corrientes (ecs. 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11)
- $P(T_B)$  = Probabilidad del tiempo de viaje de una gota (ec. 4.13)
- $\theta_i$  es la probabilidad de que la gota caiga en una ladera adyacente a una corriente de orden  $i$  (ecs. 4.14, 4.17, )
- $P_{ij}$  es la probabilidad de transición de una corriente de orden  $i$  a una de orden  $j$  (ecs. 4.14, 4.15, 4.17)
- $A_\Omega$  = Área de la cuenca (ecs. 4.17, 4.24, 4.28)
- $E(i, \theta)$  = Número promedio de enlaces interiores de orden  $i$  en una red finita de orden  $\theta$  (ec. 4.15, 4.16)
- $f_{T_{ri}}(t)$  = Función de densidad de probabilidad de  $T_{ri}$  (ec. 4.18, 4.19)
- $K_\omega$  = Inverso del tiempo promedio de viaje (ec. 4.20)
- $V$  = Velocidad característica que se supone igual en cualquier parte de la cuenca (ecs. 4.20, 4.21, )
- $L_\Omega$  = Longitud de la corriente de mayor orden (ec. 4.21, 4.24)
- $q_p$  = Gasto de pico (ec. 4.21, 4.22, 4.26)
- $t_p$  = Tiempo de pico (ec. 4.21, 4.23, 4.29)
- $R_A$  = Relación de área (ecs. 4.21)
- $R_L$  = Relación de longitudes de corriente (ecs. 4.21, 4.24)
- $b_\Omega$  = anchura media de la corriente de mayor orden en la cuenca (ec. 4.25)
- $S_\Omega$  = Pendiente de la corriente de mayor orden en la cuenca (ec. 4.25)
- $n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning (ec. 4.25)
- $Q_p$  = Gasto de pico en función de una tormenta (ec. 4.28)
- $i_r$  = Intensidad efectiva de una tormenta (ecs. 4.27, 4.28)
- $t_r$  = Duración de una tormenta (ecs. 4.26, 4.28, 4.29)
- $t_B$  = Tiempo base del hidrograma unitario instantáneo (ec. 4.26)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

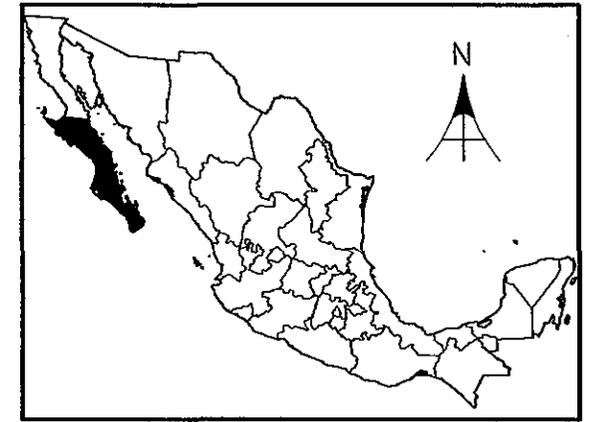
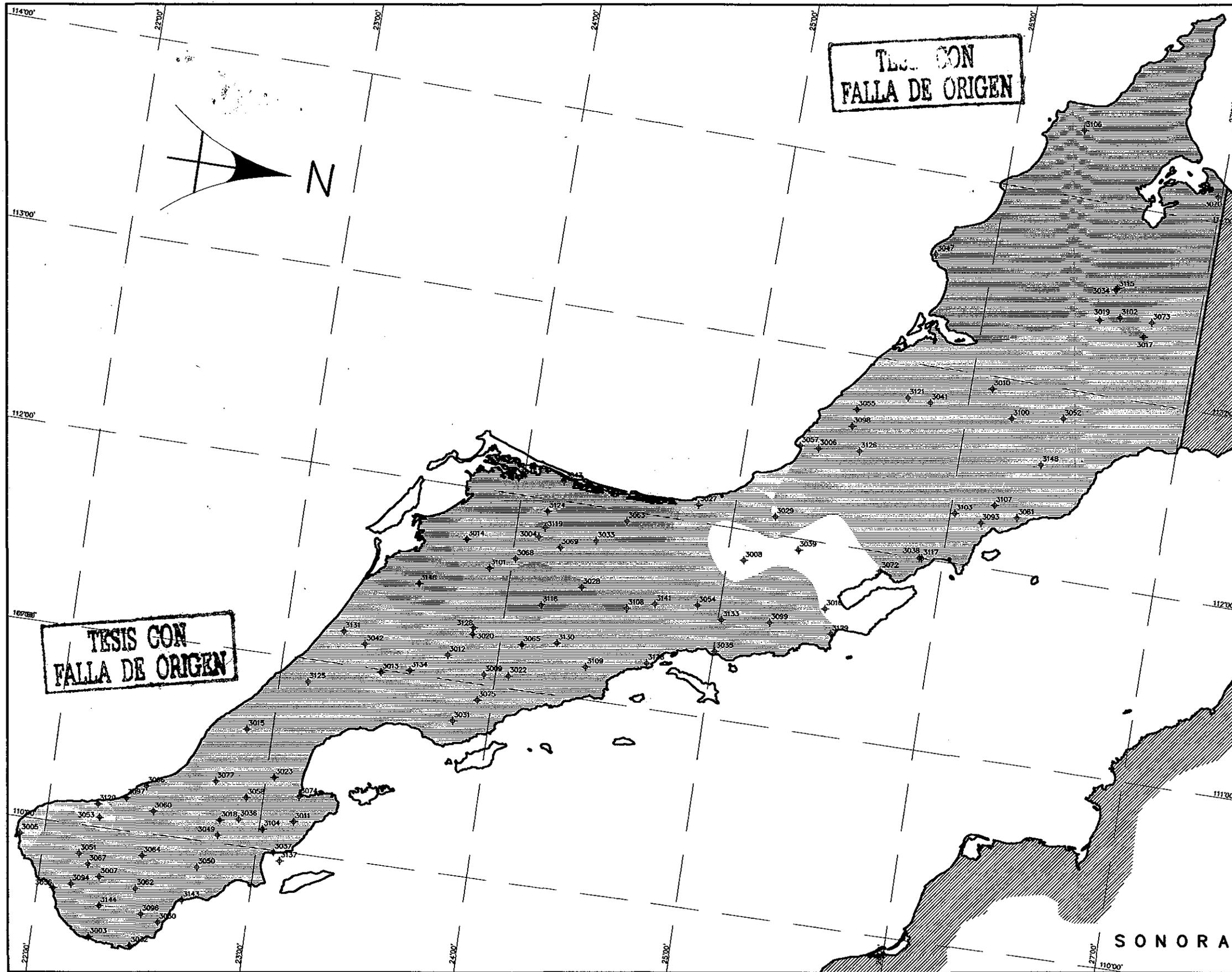
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- = 0.3
- = 0.4
- = 0.5
- = 0.6
- = 0.7
- = 0.8

 **UNAM**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA  
LA REPÚBLICA MEXICANA. LLUVIA DE  
VEINTICUATRO HORAS

CARRERA HERNANDEZ JAIME    ABRIL 2002



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
3003	BOCA DEL SALADO
3004	BUENAVISTA DE LORETO
3005	CABO SAN LUCAS
3006	CADEGE
3007	CADUJARO
3008	COMONDÚ
3009	EL AGUAITO
3010	EL ALAMO
3011	EL CAJONCITO
3012	EL PASO DE IRTU
3013	EL PILAR
3014	EL REFUGIO
3015	EL ROSARIO
3016	EL ROSARITO
3017	EL TABLON
3018	EL TRUNFO
3019	GUADALUPE
3020	IRAQUI
3022	LA ANGOSTURA
3023	LAGUNILLAS
3027	LA POZA GRANDE
3028	LA POZA HONDA
3029	LA PURISIMA
3030	LA RIBERA
3031	LA SOLEDAD
3032	LAS BARRACAS
3033	LAS CRUCES
3034	LAS LAGUNAS
3035	LORETO
3036	LOS DIVISADEROS
3037	LOS PLANES
3038	MULEGE
3039	OJO DE AGUA
3041	PATROCINIO
3042	PENJAMO
3043	PUERTO ADOLFO L. MATEOS
3045	PUERTO SAN CARLOS (DGE)
3047	PUNTA ABREOVIOS
3050	SAN BARTOLO
3051	SAN FELIPE
3053	SAN JACINTO
3054	SAN JAVIER
3055	SAN JOSE DE GRACIA
3056	SAN JOSE DEL CABO
3057	SAN JUANICO
3058	SAN PEDRO
3060	SANTA GERTRUDIS
3061	SANTA ROSALIA
3062	SANTIAGO
3063	SANTO DOMINGO

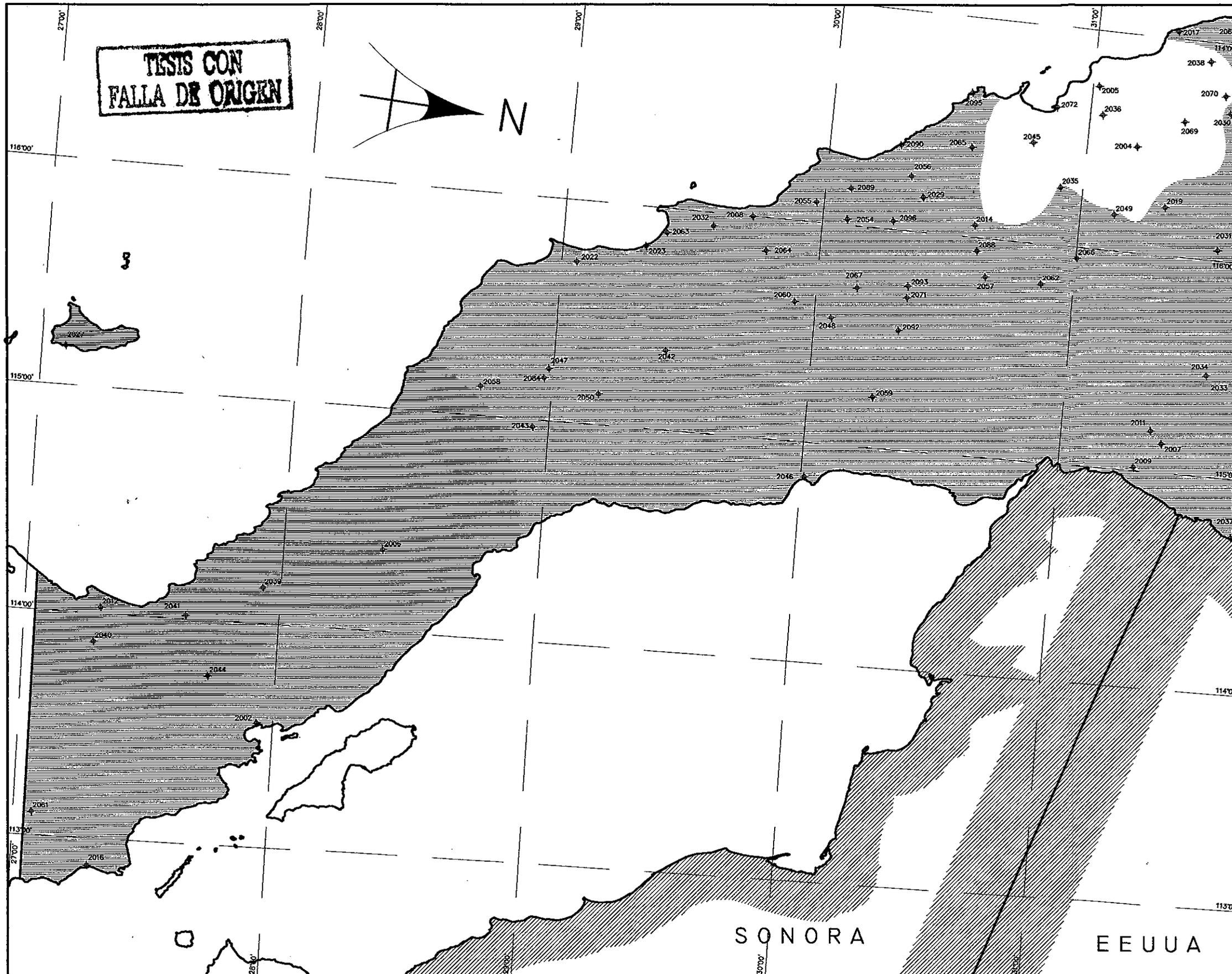
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
3064	SIERRA DE LA LAGUNA
3065	TEPENITU
3066	TODOS SANTOS (DGE)
3067	YERCA
3068	YCONSTITUCION A KM.211
3069	VILLA INSURGENTES
3070	VIZCAINO
3072	EL COYOTE
3073	GUSTAVO DIAZ ORDAZ
3074	LA PAZ
3075	SAN PEDRO DE LA PRESA
3077	EL CARRIZAL
3093	SAN BRUNO MULEGE
3094	SANTA ANITA
3096	LAS CUEVAS
3097	EL PESCADERO
3098	LOS DOLORES
3099	SAN JUAN LONDO
3100	SAN ZACARIAS(AEL ALAMO)
3101	VILLA MORELOS
3102	E. ZAPATA (A. EL TABLON)
3103	SAN JOSE DE MAGDALENA
3104	LOS ROBLES
3106	SAN JOSE DEL PACIFICO
3107	SANTA AGUEDA
3108	HUATAMOTE
3109	LA POZA DE LEON COMONDÚ
3115	LOS LAURELES
3116	LOS CERRITOS
3117	BAHIA ASUNCION
3119	BENITO JUAREZ
3120	COL. P.E. CALLES
3121	EL DATIL
3124	RAMADITAS
3125	SAN AGUSTIN
3126	SAN ANTONIO DE LA SIERRA
3128	SAN LUIS GONZAGA
3129	SAN NICOLAS
3130	SAN RAMON
3131	SANTA FE
3133	SAN ANTONIO NORTE
3134	LOS CANTILITOS
3137	LA SOLEDAD SUR
3138	LIGUI
3141	SAN LUCAS
3143	LAS PALMAS
3144	MANGLE
3146	SANTA RITA
3148	EL MEZQUITAL

- GUMBEL MIXTA
- GUMBEL
- GENERAL DE VALORES EXTREMOS
- GAMMA DE DOS PARÁMETROS
- GAMMA DE TRES PARÁMETROS


**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**MAPA 3.16 REGIONALIZACION DE DISTRIBUCIONES ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR**

CARRERA HERNANDEZ JAIME J.    ABRIL 2002



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

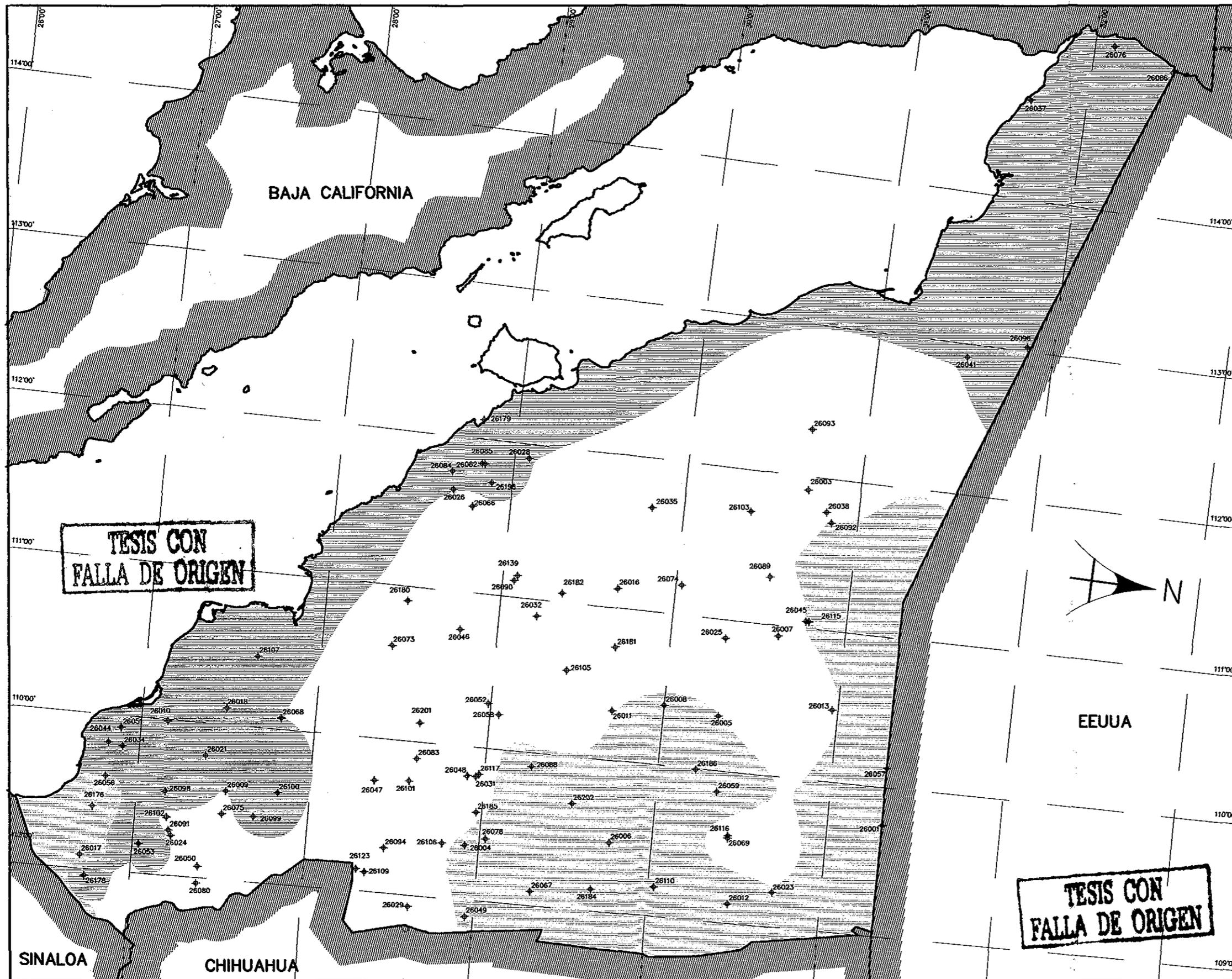
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
2002	BAHIA DE LOS ANGELES
2004	BELEN
2005	BOQUILLA STA ROSA
2006	CHAPALA
2007	CERRO PRIETO
2008	COL. GUERRERO
2009	COL. JUAREZ KM 50
2011	DELTA
2012	EJIDO JOSE MARIA MORELOS
2014	EL ALAMO
2016	EL BARRIL
2017	PLANTA BOMBEO ROSARITO
2019	EL COMPADRE
2022	EL ROSARIO
2023	EL SOCORRO
2027	ISLA DE LOS CEDROS
2029	LA PROVIDENCIA
2030	LA PUERTA (A. TECATE)
2031	LA RUMOROSA
2032	LAS ESCOBAS
2033	MEXICALI
2034	MEXICALI CMPO.AGR.EXP.
2035	OJOS NEGROS
2036	OLIVARES MEXICANOS
2037	PRESA MORELOS
2038	PRESA RODRIGUEZ
2039	PUNTA PRETA
2040	RANCHO ALEGRE
2041	ROSARITO
2042	ROSARITO SN PEDRO MARTIR
2043	SAN AGUSTIN
2044	SAN BORJA
2045	SAN CARLOS

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
2046	SAN FELIPE
2047	SAN FERNANDO
2048	SAN JOSE
2049	SAN JUAN DE DIOS NORTE
2050	SAN JUAN DE DIOS SUR
2054	SAN RAFAEL
2055	SAN TELMO
2056	SAN VICENTE
2057	SANTA CATARINA NORTE
2058	SANTA CATARINA SUR
2059	SANTA CLARA
2060	SANTA CRUZ
2061	SANTA GERTRUDIS
2062	SANTA ISABEL
2063	SANTA MARIA DEL MAR
2064	SANTO DOMINGO
2065	SANTO TOMAS
2066	SIERRA DE JUAREZ
2067	TEPIC
2068	TIJANA
2069	VALLE DE PALMAS
2070	VALLE REDONDO
2071	VALLE DE LA TRINIDAD
2072	ENSENADA
2084	EL PROGRESO
2088	EJIDO HEROES DE INDEPEN.
2089	EJIDO EMILIO LOPEZ ZAMORA
2090	EJIDO ERENDIRA
2092	EJIDO SAN MATIAS
2093	EJIDO V. DE LA TRINIDAD
2095	LA BOCANA DE STO. TOMAS
2096	LA CALENTURA

- ==== GUMBEL MIXTA
- ==== GUMBEL
- ==== GENERAL DE VALORES EXTREMOS
- ==== GAMMA DE DOS PARAMETROS
- ==== GAMMA DE TRES PARAMETROS

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**


**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
**MAPA 3.17 REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES ESTADO DE BAJA CALIFORNIA.**  
 CARRERA HERNANDEZ JAIME J.    ABRIL 2002



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

**ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS**

CLAVE	NOMBRE
26001	AGUA PRIETA
26003	ALTAR
26004	ARIVECHI
26005	ARIZPE
26006	BACADEHUACHI
26007	BACANUCHI
26008	BANAMICHI
26009	BATACOSA
26010	VILLA JUAREZ(A.BATEMITO)
26011	BAMACORA
26012	BAVISPE
26013	CANANEA
26016	CARBO
26017	CAZANATE
26018	CD. OREGON
26021	COCORAQUE
26023	COL. OAXACA
26024	P.A. RUIZ C. (CORTINA)
26025	CUCURPE
26026	CHUPASCUILLA
26028	EL CARRIZAL
26029	CD. CUBIL
26031	EL NOVILLO
26032	EL OREGANO
26034	ETCHOJOA
26035	FELIX GÓMEZ
26037	GOLFO DE SANTA CLARA
26038	ATIL
26041	QUITOVAC
26044	HUATABAMPO
26045	BAURIS
26046	LA COLORADA
26047	LA DURA
26048	LA ESTRELLA
26049	LA GUADALUPE
26050	LAS PANELAS
26051	EL LINDERO
26052	MAZATAN
26053	MINAS NUEVAS
26056	MUMUNCUERA
26057	NACO
26058	NACORI GRANDE
26059	NACÓZARI DE GARCIA
26066	PALO VERDE
26067	PASO DE NACORI CHICO
26068	PSA. A. OREGON A. OVIACHIC
26069	PSA. LA ANGOSTURA

**ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS**

CLAVE	NOMBRE
26073	PUNTA DE AGUA
26074	QUEROBABI
26075	QUIREGO
26076	RITO
26078	SAHUARIPA
26080	SAN BERNARDO
26082	SAN ISIDRO
26083	SAN JAVIER
26084	SAN JORGE
26085	SAN JOSE
26086	S. L. RIO COLORADO (SMN)
26088	SAN PEDRO DE LA CUEVA
26089	STA. ANA
26090	PSA. ABELARDO RODRIGUEZ
26091	PRESA A. RUIZ CORTINES
26092	PRESA CUAUHTEMOC
26093	PITQUITO
26094	SANTA ROSA
26096	SONOYTA
26098	TESIA
26099	TESOCOMA
26100	TESOPACO
26101	TONICHI
26102	TRES HERMANOS
26103	TRINQUERAS
26105	URES
26106	VALLE TACUPETO
26107	VICAM
26109	YECORA
26110	TEONADEPA
26115	IMURIS
26116	PSA. LA ANGOSTURA
26117	PSA. PLUTARCO E. CALLES
26123	YECORA
26139	HERNOSILLO
26176	MASIACA
26178	ARROYO HONDO
26179	BAHIA KINO
26180	EL CAJON
26181	RAYON
26182	PESQUERA
26184	NACORI CHICO
26185	BACANORA
26186	EL TAPIRO
26188	MADEL CARMEN
26201	TECORIPA
26202	TEPACHE

- ▨ GUMBEL MIXTA
- ▨ GUMBEL
- ▨ GENERAL DE VALORES EXTREMOS
- ▨ GAMMA DE DOS PARAMETROS
- ▨ GAMMA DE TRES PARAMETROS

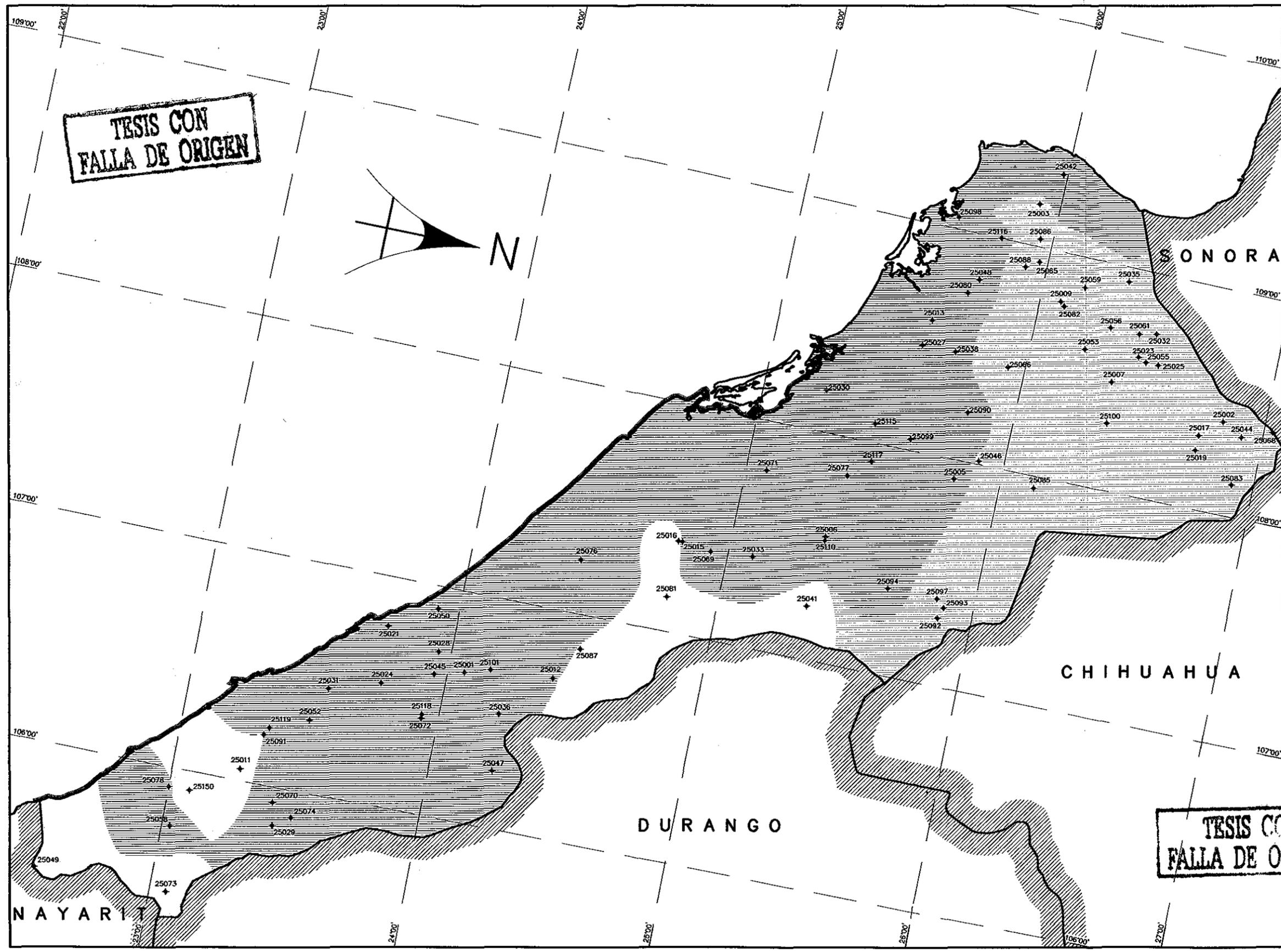


**UNAM**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**MAPA 3.18 REGIONALIZACIÓN DE DISTRIBUCIONES. EDO. DE SONORA**

CARRERA HERNANDEZ JAIME J.

ABRIL 2002



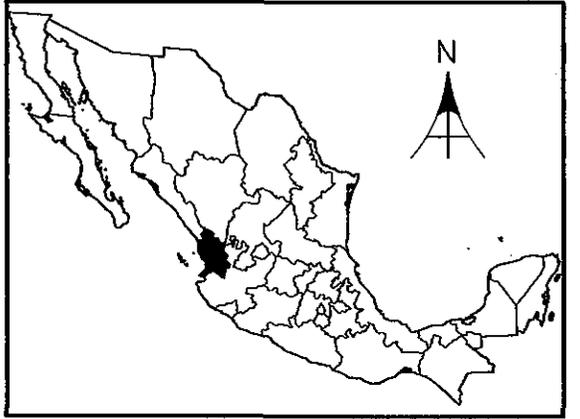
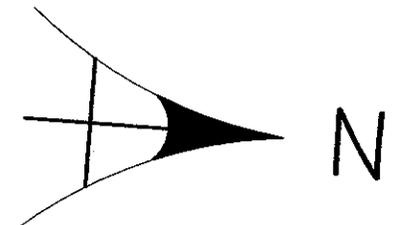
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS		ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
25001	ACATITAN	25058	LAS HABITAS
25002	AGUA CALIENTE	25059	LAS ISABELES
25003	AHOME	25061	LLANO DE LOS LOPEZ
25005	BADUBIRITO	25065	MOCHICAHUI
25006	BADRAGUATO (SMN)	25066	OCORONI
25007	BAMCORI	25068	PALO DULCE
25009	BOCA-TOMA SUFRAGIO (DGE)	25069	PALOS BLANCOS
25011	CONCORDIA	25070	PANLICO
25012	COSALA	25071	PERICOS
25013	COREREPE (C.R.F.)QUASAVE	25072	PIAXTLA
25015	CULIACAN	25073	PLOMOSAS
25016	CHAPULTEPEC	25074	POTRERILLOS
25017	CHOIX PUEBLO	25077	ROSA MORADA
25019	CHOIX	25076	QUILA
25021	DIMAS	25078	ROSARIO
25023	EL FUERTE	25080	RUIZ CORTINES
25024	EL LIMON	25081	SANALONA
25025	EL MAHOME	25082	SAN BLAS
25027	EL NUDO	25083	SAN FCO. DEL RIO
25028	ELOTA	25085	SAN JOSE DE GRACIA
25029	EL PALMITO	25086	SAN MIGUEL ZAPOTITLAN
25030	EL PLAYON	25087	STA. CRUZ DE ALAYA
25031	EL QUELITE	25088	SANTA ROSA
25032	EL SABINO(A,EL SABINITO)	25090	SINALOA DE LEYVA
25033	EL VAREJONAL	25091	SIQUEROS
25035	FRANCISCO	25092	SOYATITA
25036	GUADALUPE DE LOS REYES	25093	SURUTATO
25038	GUASAVE	25094	TAMEAPA
25041	GUATENIPA	25097	TECUIAPA
25042	HIGUERA DE ZARAGOZA	25098	TOPOLOBAMPO
25044	HUITES	25099	TOPOLOBAMPO
25045	IXPALINO	25100	YECORATO
25046	JAINA	25101	SOQUITITAN
25047	JOCUIXITITA	25110	BADRAGUATO (DGE)
25048	JUAN JOSE RIOS	25115	GUAMUCHIL
25049	LA CONCHA	25116	LOS MOCHIS
25050	LA CRUZ	25117	MOCORITO
25052	LA NORIA	25118	SAN IGNACIO (CFE)
25053	LA TINA	25119	SIQUEROS
25055	LAS CAÑAS	25150	LAS TORTUGAS
25056	LAS ESTACAS		

- ===== GAMMA DE TRES PARAMETROS
- GENERAL DE VALORES EXTREMOS
- GUMBEL
- GUMBEL MIXTA
- ===== GAMMA DE DOS PARAMETROS

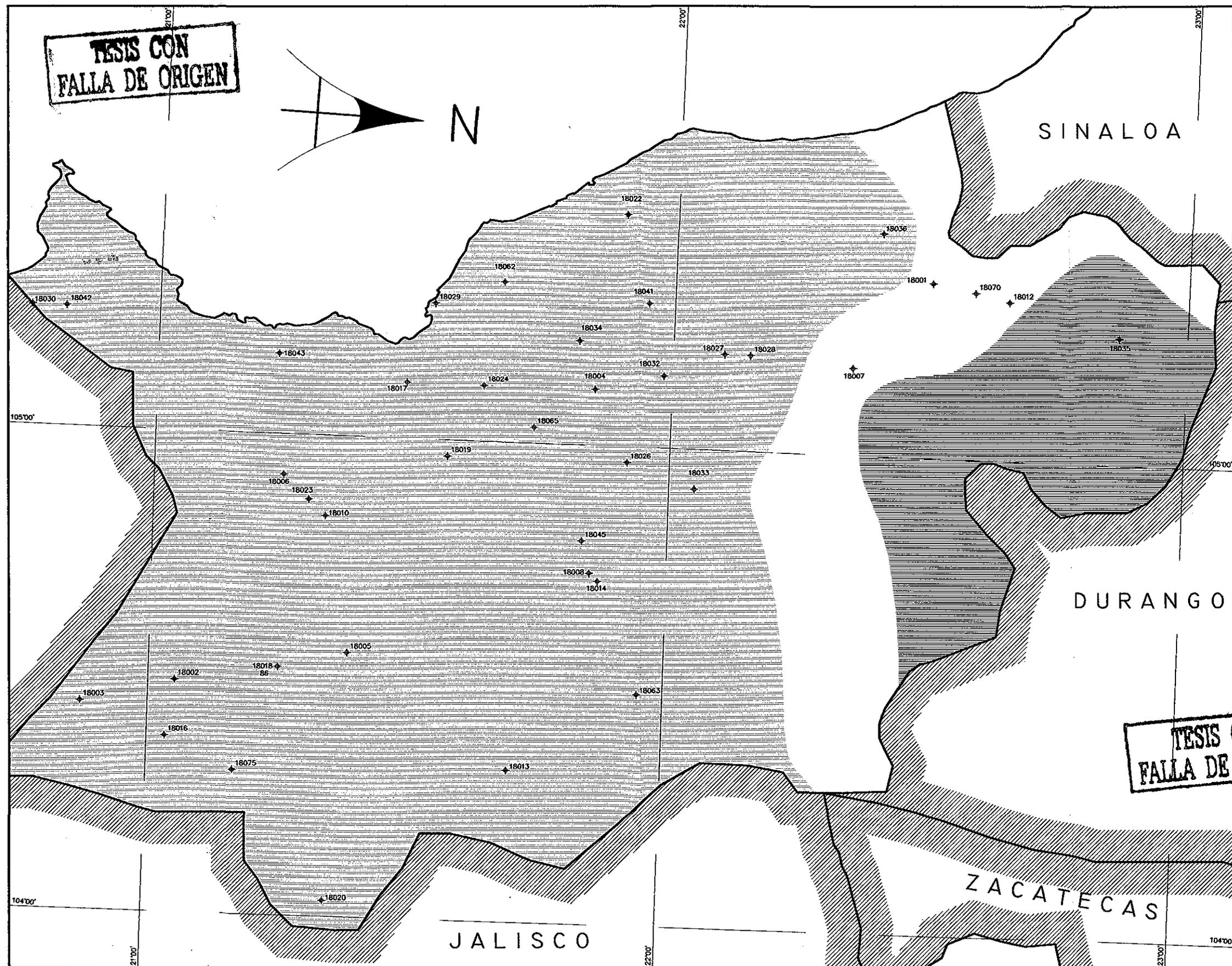
**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**


**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
**MAPA 3.19 REGIONALIZACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES ESTADO DE SINALOA**  
 CARRERA HERNANDEZ JAIME J.    ABRIL 2002

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

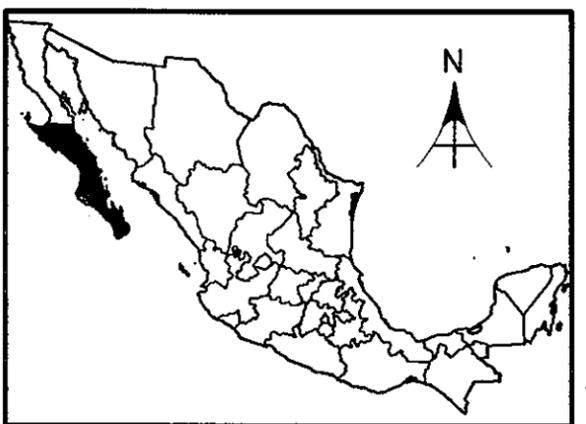
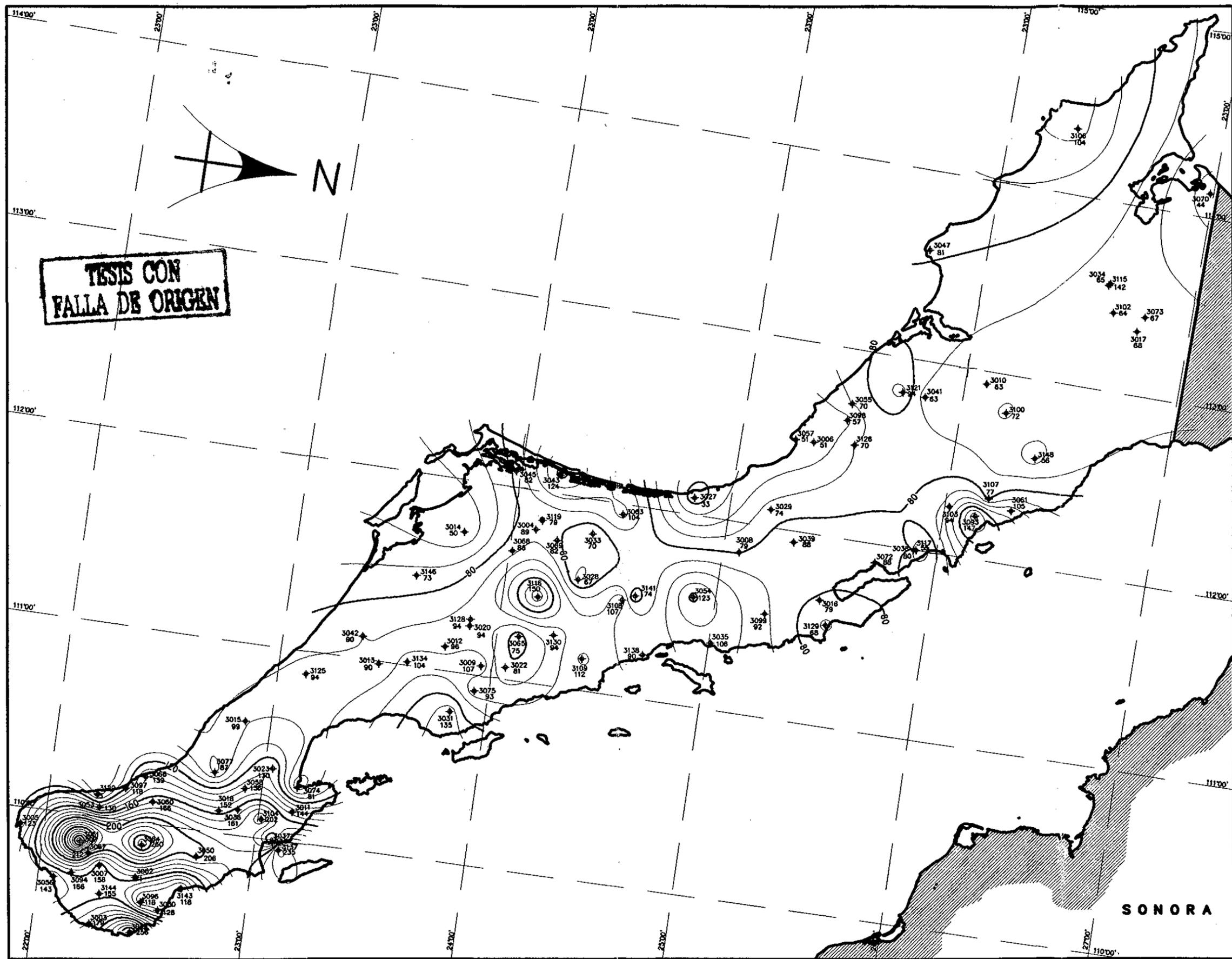
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
18001	ACAPONETA
18002	AHUACATLAN
18003	AMATLAN DE CARAS
18004	CAPOMAL
18005	CERRO BLANCO
18006	COMPOSTELA
18007	CUCHARAS
18008	DESPEÑADERO
18010	EL REFILON
18012	HUAMCORI
18013	HUAMIC
18014	HUAYNAMOTA
18016	IXTLAN DEL RIO
18017	JALCOCOTAN
18018	JESUS MARIA
18019	JUMATAN
18020	LA YESCA
18022	MEXCATILAN
18023	MIRAVALLES
18024	NAVARRETE
18025	PASO DE AROCHA
18026	PUERTO DE PLATANARES
18027	ROSARITO
18028	ROSAMORADA
18029	SAN BLAS
18030	SAN JOSE DEL VALLE
18031	SAN JUAN PEYOTAN
18032	SAN PEDRO
18033	SAN PEDRO IXCATAN
18034	SANTIAGO IXCUINTLA
18035	TECHICHILPA
18036	TECUALA
18037	EL TIZATE
18041	TUXPAN
18042	VALLE DE BANDERAS
18043	ZACUALPAN
18045	EL CARRIZAL
18062	E.T.A. 41 GPE. VICTORIA
18063	CHAPALACANA
18065	AMADO NERVO
18070	LA ESTANCIA
18075	CACALUTAN

- ==== GUMBEL MIXTA
- ==== GUMBEL
- ==== GENERAL DE VALORES EXTREMOS
- ==== GAMMA DE DOS PARAMETROS
- ==== GAMMA DE TRES PARAMETROS

**UNAM**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAPA 3.20 REGIONALIZACION DE DISTRIBUCIONES. ESTADO DE NAYARIT

CARRERA HERNANDEZ JAIME J.      ABRIL 2002



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
3003	BOCA DEL SALADO
3004	BUENAVISTA DE LORETO
3005	CABO SAN LUCAS
3006	CADEGE
3007	CADUJARO
3008	COMONDU
3009	EL AGUAJITO
3010	EL ALAMO
3011	EL CAJONCITO
3012	EL PASO DE IRITU
3013	EL PILAR
3014	EL REFUGIO
3015	EL ROSARIO
3016	EL ROSARITO
3017	EL TABLON
3018	EL TRIUNFO
3019	CIUDADALUPE
3020	IRAQUI
3022	LA ANGOSTURA
3023	LACUNILLAS
3027	LA POZA GRANDE
3028	LA POZA HONDA
3029	LA PURISMA
3030	LA RIBERA
3031	LA SOLEDAD
3032	LAS BARRACAS
3033	LAS CRUCES
3034	LAS LAGUNAS
3035	LORETO
3036	LOS DIVISADEROS
3037	LOS PLANES
3038	MULEGE
3039	OJO DE AGUA
3041	PATROCINIO
3042	PENJAMO
3043	PUERTO ADOLFO L. MATEOS
3045	PUERTO SAN CARLOS (DGE)
3047	PUNTA ABREJOJOS
3050	SAN BARTOLO
3051	SAN FELIPE
3053	SAN JACINTO
3054	SAN JAVIER
3055	SAN JOSE DE GRACIA
3056	SAN JOSE DEL CABO
3057	SAN JUANICO
3058	SAN PEDRO
3060	SANTA GERTRUDIS
3061	SANTA ROSALIA
3062	SANTIAGO
3063	SANTO DOMINGO

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
3064	SIERRA DE LA LAGUNA
3065	TEPENTU
3066	TODOS SANTOS (DGE)
3067	YERECA
3068	V.CONSTITUCION A KM.211
3069	VILLA INSURGENTES
3070	VIZCAINO
3072	EL COYOTE
3073	GUSTAVO DIAZ ORDAZ
3074	LA PAZ
3075	SAN PEDRO DE LA PRESA
3077	EL CARRIZAL
3083	SAN BRUNO MULEGE
3084	SANTA ANITA
3086	LAS CUEVAS
3087	EL PESCADERO
3088	LOS DOLORS
3089	SAN JUAN LONDO
3100	SAN ZACARIAS(A.EL ALAMO)
3101	VILLA MORELOS
3102	E. ZAPATA (A. EL TABLON)
3103	SAN JOSE DE MAGDALENA
3104	LOS ROBLES
3106	SAN JOSE DEL PACIFICO
3107	SANTA AGUEDA
3108	HUATAMOTE
3109	LA POZA DE LEON COMONDU
3115	LOS LAURELES
3116	LOS CERRITOS
3117	BAHIA ASUNCION
3119	BENITO JUAREZ
3120	COL. P.E. CALLES
3121	EL DATIL
3124	RAMADITAS
3125	SAN AGUSTIN
3128	SAN ANTONIO DE LA SIERRA
3128	SAN LUIS GONZAGA
3129	SAN NICOLAS
3130	SAN RAMON
3131	SANTA FE
3133	SAN ANTONIO NORTE
3134	LOS CANTILITOS
3137	LA SOLEDAD SUR
3138	LIGUA
3141	SAN LUCAS
3143	SAN PEDRO
3144	MANGLE
3146	SANTA RITA
3148	EL MEZQUITAL

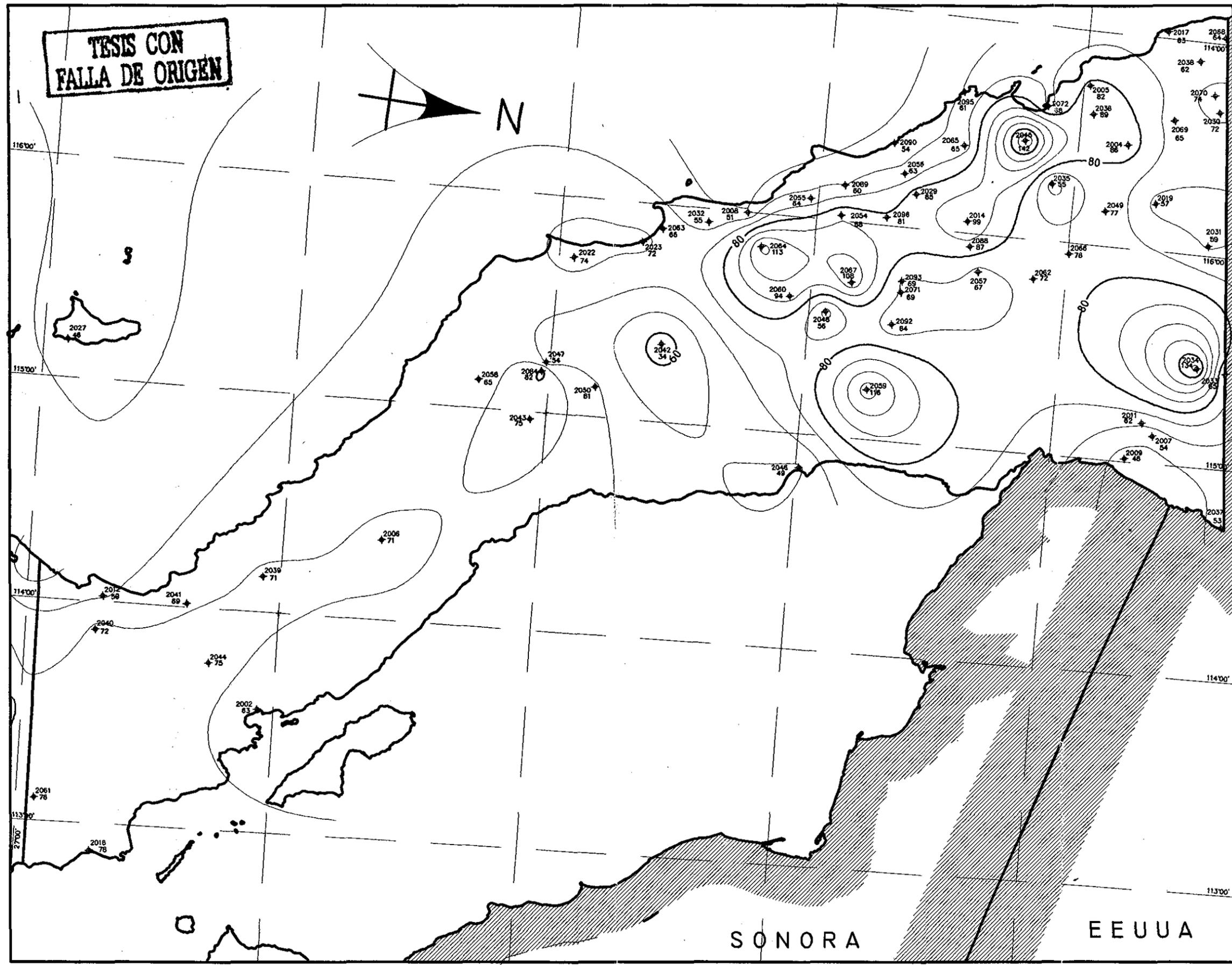
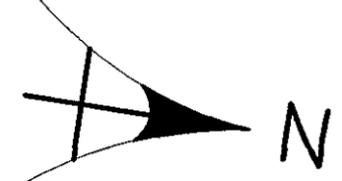
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

UNAM  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAPA 3.32 CURVAS Hp - d - T  
ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR  
d = 24 Horas T = 10 Años

CARRERA HERNANDEZ JAIME J.    ABRIL 2002

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

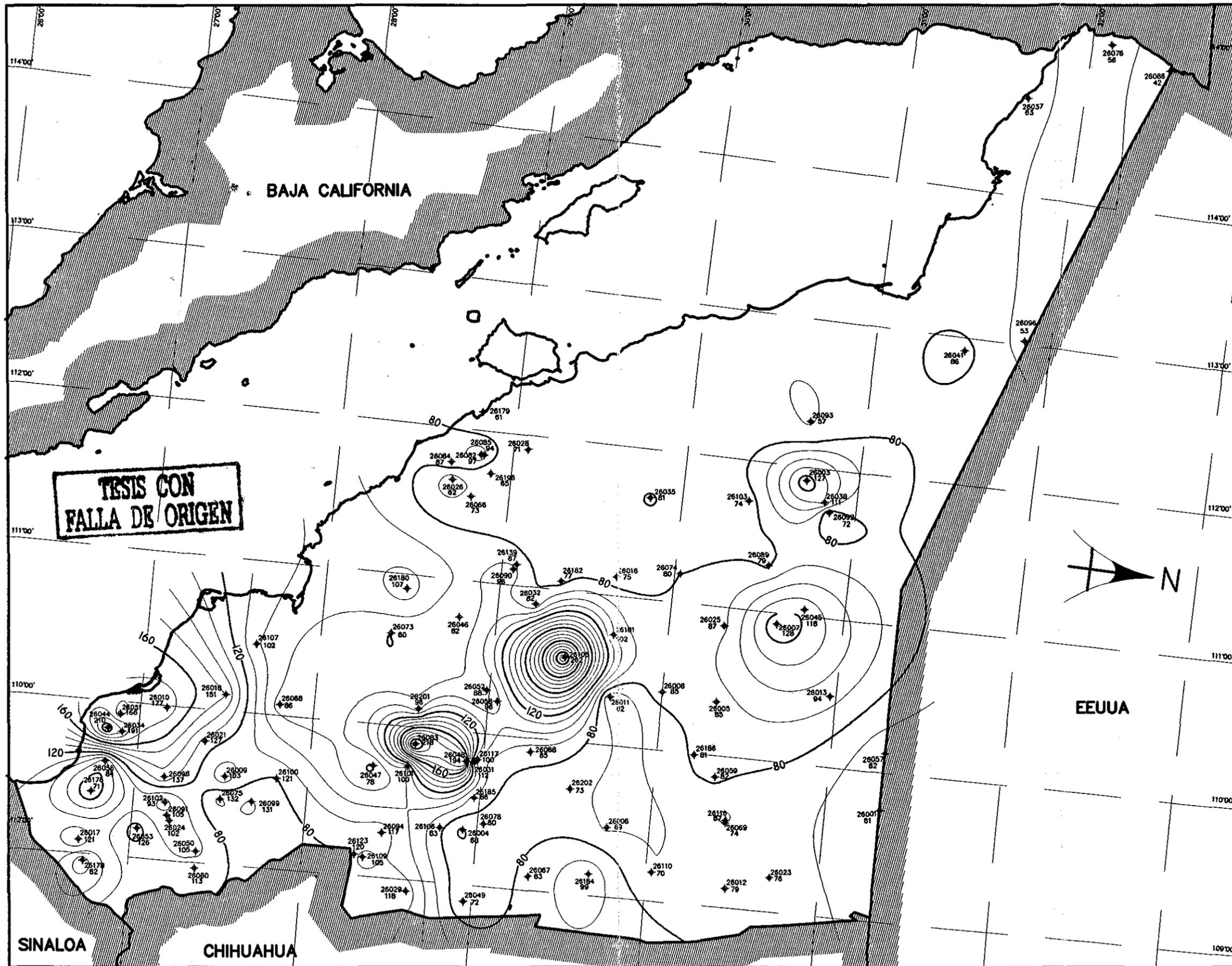
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS		ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
2002	BAHIA DE LOS ANGELES	2046	SAN FELIPE
2004	BELEN	2047	SAN FERNANDO
2005	BOQUILLA STA ROSA	2048	SAN JOSE
2006	CHAPALA	2049	SAN JUAN DE DIOS NORTE
2007	CERRO PRIETO	2050	SAN JUAN DE DIOS SUR
2008	COL. GUERRERO	2054	SAN RAFAEL
2009	COL. JUAREZ KM 50	2055	SAN TELMO
2011	DELTA	2056	SAN VICENTE
2012	EDDO JOSE MARIA MORELOS	2057	SANTA CATARINA NORTE
2014	EL ALAMO	2058	SANTA CATARINA SUR
2016	EL BARRIL	2059	SANTA CLARA
2017	PLANTA BOMBO ROSARITO	2060	SANTA CRUZ
2018	EL COMPADRE	2061	SANTA GERTRUDIS
2022	EL ROSARIO	2062	SANTA ISABEL
2023	EL SOCORRO	2063	SANTA MARIA DEL MAR
2027	ISLA DE LOS CEDROS	2064	SANTO DOMINGO
2029	LA PROVIDENCIA	2065	SANTO TOMAS
2030	LA PUERTA (A. TECATE)	2066	SIERRA DE JUAREZ
2031	LA RUMOROSA	2067	TEPIC
2032	LAS ESCOBAS	2068	THAJANA
2033	MEXICALI	2069	VALLE DE PALMAS
2034	MEXICALI CMPO.AGR.EXP.	2070	VALLE REDONDO
2035	OJOS NEGROS	2071	VALLE DE LA TRINIDAD
2036	OLIVARES MEXICANOS	2072	ENSENADA
2037	PRESA MORELOS	2084	EL PROGRESO
2038	PRESA RODRIGUEZ	2088	EDDO HEROES DE INDEPEN.
2039	PUNTA PRIETA	2089	EDDO EMILIO LOPEZ ZAMORA
2040	RANCHO ALEGRE	2090	EDDO ERENDIRA
2041	ROSARITO	2092	EDDO SAN MATIAS
2042	ROSARITO SN PEDRO MARTIR	2093	EDDO V. DE LA TRINIDAD
2043	SAN AGUSTIN	2095	LA BOCANA DE STO. TOMAS
2044	SAN BORJA	2096	LA CALENTURA
2045	SAN CARLOS		

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

UNAM  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAPA 3.33 CURVAS Hp - d - T  
 ESTADO DE BAJA CALIFORNIA  
 d = 24 Horas T = 10 Años

CARRERA HERNANDEZ JAIME J.      ABRIL 2002



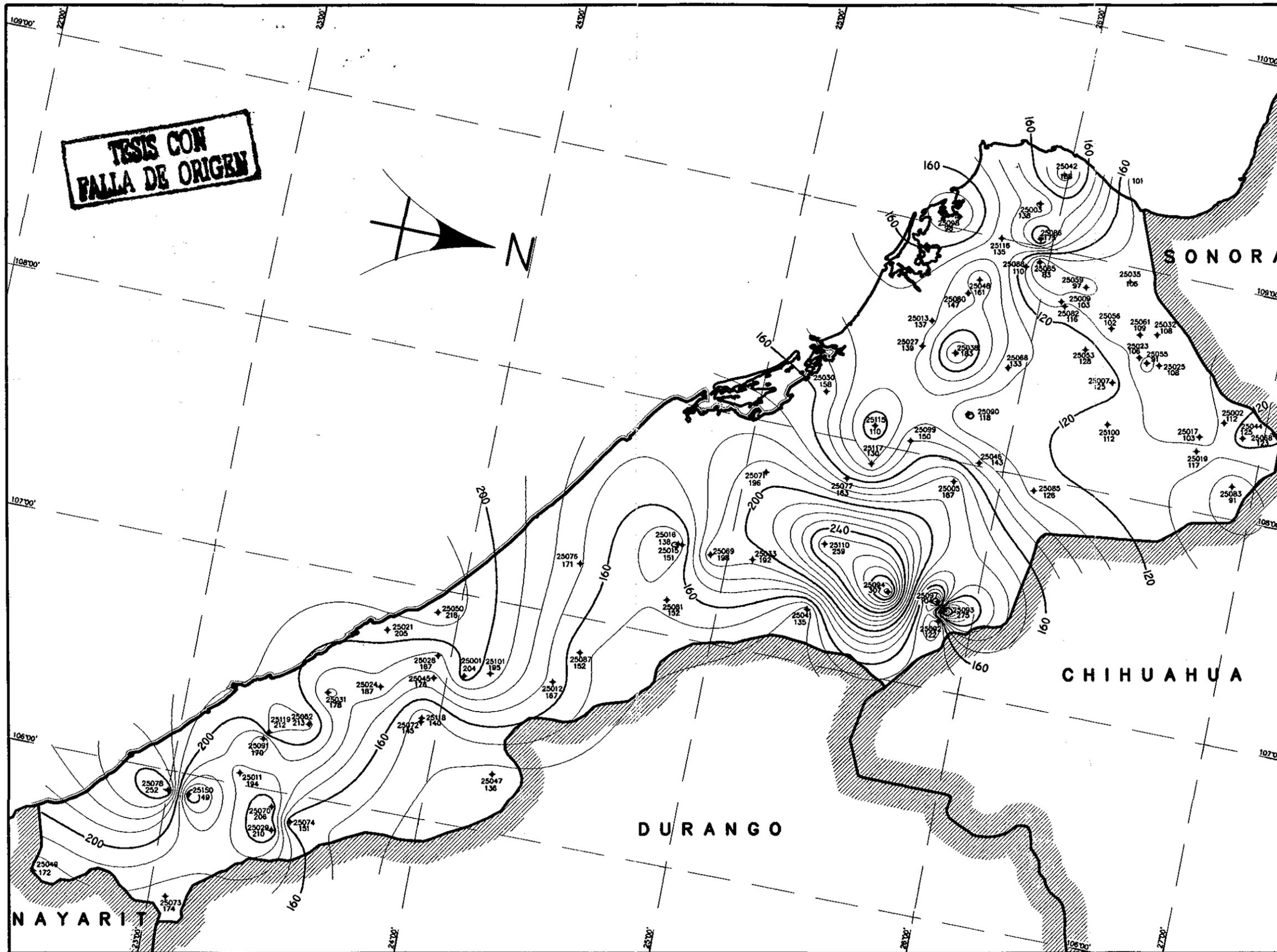
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
26001	AGUA PRETA
26003	ALTAR
26004	ARIVECHI
26005	ARIZPE
26006	BACADEHUACHI
26007	BACANUCHI
26008	BANAMICHI
26009	BATACOSA
26010	VILLA JUAREZ(A.BATEMTO)
26011	BAMACORA
26012	BAVMSPE
26013	CANAMEA
26016	CARBO
26017	CAZANATE
26018	CD. OBREGON
26021	COCOARAQUE
26023	COL. OAXACA
26024	P.A. RUIZ C. (CORTINA)
26025	CUCURPE
26026	CHUPASCULLA
26028	EL CARRIZAL
26029	CD. CUBIL
26031	EL NOVILLO
26032	EL OREGANO
26034	ETCHOJOA
26035	FELIX GOMEZ
26037	GOLFO DE SANTA CLARA
26038	ATIL
26041	QUITOVAC
26044	HUATABAMPO
26045	IMURIS
26046	LA COLORADA
26047	LA DURA
26048	LA ESTRELLA
26049	LA GUADALUPE
26050	LAS PANELAS
26051	EL LINDERO
26052	MAZATAN
26053	MINAS NUEVAS
26056	MUMUNCUERA
26057	NACO
26058	NACORI GRANDE
26059	NACAZARI DE GARCIA
26066	PALO VERDE
26067	PASO DE NACORI CHICO
26068	PSA.A.OBREGON A.OVIACHIC
26069	PSA. LA ANGOSTURA

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE
26073	PUNTA DE AGUA
26074	QUEROBABI
26075	QUIRECO
26078	RITO
26078	SAHUARSPA
26080	SAN BERNARDO
26082	SAN ISIDRO
26083	SAN JAVIER
26084	SAN JORGE
26085	SAN JOSE
26086	S. L. RIO COLORADO (SMN)
26088	SAN PEDRO DE LA CUEVA
26089	STA. ANA
26090	PSA. ABELARDO RODRIGUEZ
26091	PRESA A. RUIZ CORTINES
26092	PRESA CUAUHTEMOC
26093	PITQUITO
26094	SANTA ROSA
26096	SONOYA
26098	TESA
26099	TESOCOMA
26100	TESOPACO
26101	TONICHI
26102	TRES HERMANOS
26103	TRINCHERAS
26105	URES
26108	VALLE TACUPETO
26107	VICAM
26109	YECORA
26110	TEONADEPA
26115	MURIS
26116	PSA. LA ANGOSTURA
26117	PSA. PLUTARCO E. CALLES
26123	YECORA
26139	HERMOSILLO
26176	MASACA
26178	ARROYO HONDO
26179	BAHIA KINO
26180	EL CAJON
26181	RAYON
26182	PESQUERA
26184	NACORI CHICO
26185	BACANORA
26186	EL TAPIRO
26196	MA. DEL CARMEN
26201	TECORIPA
26202	TEPACHE

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**


**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
 Mapa 3.34 - CURVAS Hp - d - T  
 SONORA  
 d = 24 Horas T = 10 Años  
 CARRERA HERNANDEZ JAIME J.      ABRIL 2002



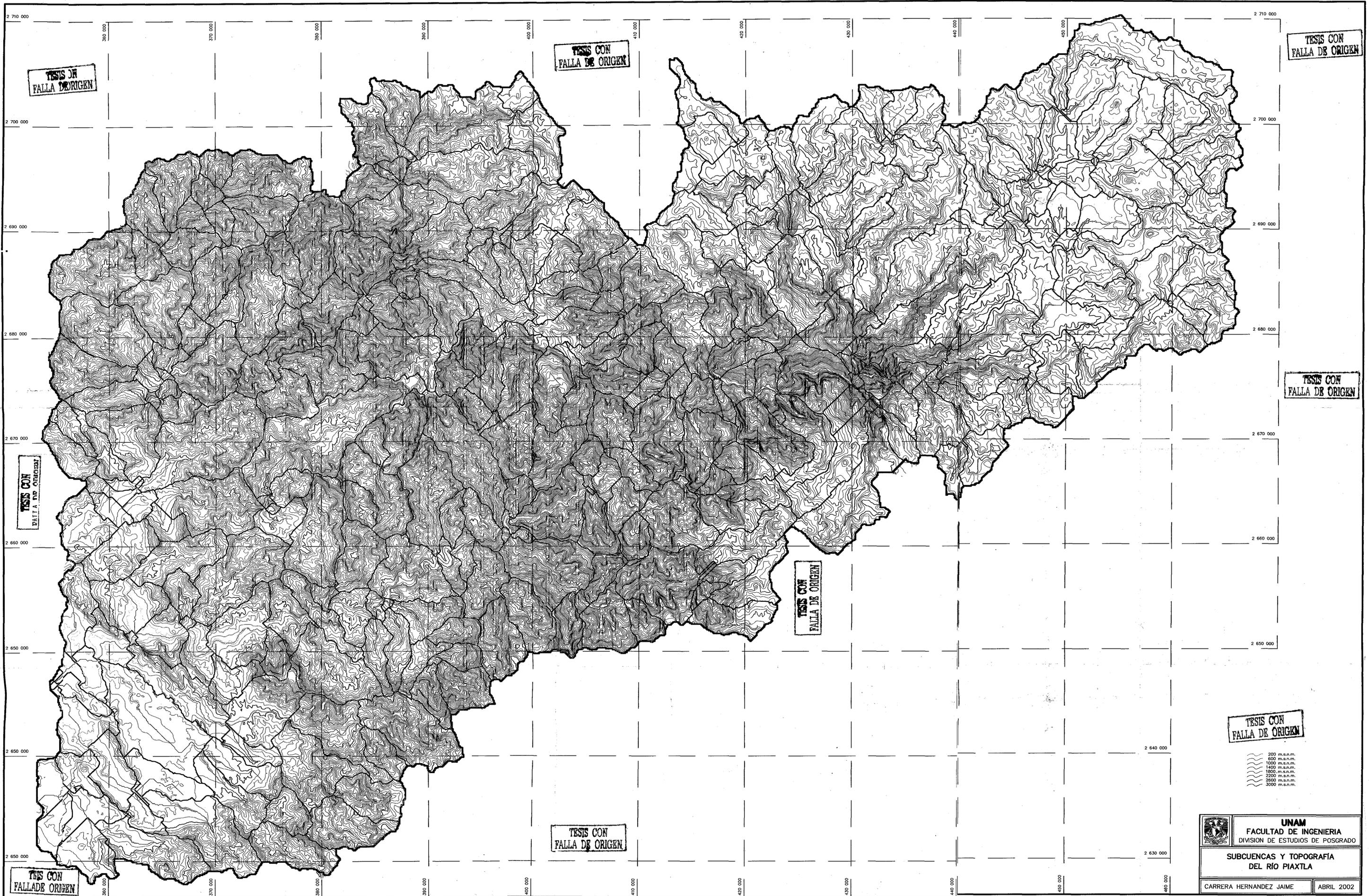
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS		ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
25001	ACATITAN	25058	LAS HABITAS
25002	AGUA CALIENTE	25059	LAS ISABELES
25003	AHOME	25061	LLANO DE LOS LOPEZ
25005	BACUBRITO	25065	MOCHICAHUI
25006	BADRAGUATO (SMN)	25066	OCORON
25007	BAMICORI	25068	PALO DULCE
25009	BOCA-TOMA SUFRAGO (DGE)	25069	PALOS BLANCOS
25011	CONCORDIA	25070	PANUCO
25012	COSALA	25071	PERICOS
25013	COREREPE (C.R.F.)QUASAVE	25072	PIAXTLA
25015	CULIACAN	25073	PLUMOSAS
25016	CHAPULTEPEC	25074	POTRERILLOS
25017	CHOIX PUEBLO	25077	ROSA MORADA
25019	CHOIX	25078	QUILA
25021	DMAS	25078	ROSARIO
25023	EL FUERTE	25080	RUZ CORTINES
25024	EL LIMON	25081	SANALOMA
25025	EL MAHOMÉ	25082	SAN BLAS
25027	EL NUDDO	25083	SAN JOSE DEL RIO
25028	ELOTA	25085	SAN JOSE DE GRACIA
25029	EL PALMITO	25085	SAN MIGUEL ZAPOTITLAN
25030	EL PLAYON	25087	STA. CRUZ DE ALAYA
25031	EL QUELITE	25088	SANTA ROSA
25032	EL SABINO(A.EL SABINITO)	25090	SINALOA DE LEYVA
25033	EL VAREJONAL	25091	SIQUEROS
25035	FRANCISCO	25092	SOYATITA
25036	GUADALUPE DE LOS REYES	25093	SURUTITO
25038	QUASAVE	25094	TAMEAPA
25041	GUATENPA	25097	TECUSHIAPA
25042	HIGUERA DE ZARAGOZA	25098	TOPOLOBAMPO
25044	HUTES	25099	TOPOLOBAMPO
25045	IXPALINO	25100	YECORATO
25046	JAINA	25101	SOQUITITAN
25047	JOCUXITTA	25110	BADRAGUATO (DGE)
25048	JUAN JOSE RIOS	25115	QUAMUCHIL
25049	LA CONCHA	25118	LOS MOCHIS
25050	LA CRUZ	25117	MOCORITO
25052	LA NORIA	25118	SAN IGNACIO (DGE)
25053	LA TINA	25119	SIQUEROS
25055	LAS CARAS	25150	LAS TORTUGAS
25056	LAS ESTACAS		

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**


**UNAM**  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
 MAPA 3.35 CURVAS Hp - d - T  
 ESTADO DE SINALOA  
 d = 24 Horas T = 10 Años  
 CARRERA HERNANDEZ JAIME J.      ABRIL 2002





TESIS DE  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

 **UNAM**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
SUBCUENCAS Y TOPOGRAFIA  
DEL RÍO PIACTLA  
CARRERA HERNANDEZ JAIME | ABRIL 2002