



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MARCELA LILIAM SEVERIANO COVARRUBIAS

TUTOR PRINCIPAL
DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA, INSTITUTO DE INGENIERÍA
COMITÉ TUTOR
DR. ÓSCAR FUENES MARILES, INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. CARLOS A. ESCALANTE SANDOVAL, FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA
M. EN I. VÍCTOR FRANCO, INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D.F., AGOSTO 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Óscar Fuentes Mariles
Secretario: Dr. Escalante Sandoval Carlos A.
Vocal: Dr. Ramón Domínguez Mora
1^{er}. Suplente: Dr. Jesús Gracia Sánchez
2^{do}. Suplente: M. I. Víctor Franco

Lugar donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA



FIRMA

“No hay avalancha que una conciencia evolutiva no sea capaz de asimilar...”

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su infinita bondad.

A mi mamá por ser mi mayor ejemplo de amor, tolerancia y entrega. A ti mi admiración profunda.
Gracias por darme todo en abundancia.

A mi papá por todas esas palabras de aliento en los momentos atinados.
Por darme la fuerza y la confianza para volar.

A mis hermanas por ser confidentes y guías a lo largo de este camino juntas.
Las amo y admiro demasiado.

A mi tía Gaby y a Héctor por su infinita paciencia, su tierna compañía y su inagotable apoyo.

A Daniel por acompañarme cada instante de mi vida.
Este logro y lo que sigue es nuestro.

A Marco... por ser un respiro en mi vida, por tanto y por todo.
Infinitas gracias por siempre estar.

A mis compañeros del Instituto, Carol, Ana, Ari, Gerardo, Irving, David, Diego y Dany, por enseñarme la tolerancia, el compañerismo y la amistad incondicional. Gracias por tantas y tantas risas juntos.

A mi compañero, amigo y guía incondicional.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
I. INTRODUCCIÓN	11
II. OBJETIVOS.....	13
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	14
1.1. CONCEPTO DE FACTOR DE REDUCCIÓN AREAL (FRA)	14
1.2. FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL DE CENTRO DE TORMENTA.....	14
1.3. FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL DE ÁREA GEOGRÁFICA FIJA.....	15
CAPÍTULO 2 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL.....	17
2.1. ESTUDIOS PREVIOS.....	17
2.2. MÉTODOS EMPÍRICOS.....	18
2.2.1. MÉTODO DEL UNITED STATES WEATHER BUREAU (1958)	18
2.2.2. MÉTODO DEL UK (NERC, 1975).....	19
2.2.3. MÉTODO DE BELL (1976)	20
2.2.4. MÉTODO DE DESBORDES-RAOUS-TRÉVISIOL (1984)	20
2.3. MÉTODOS TEÓRICOS.....	21
2.3.1. MÉTODO DE ROCHE (1963).....	21
2.3.2. MÉTODO DE RODRÍGUEZ ITURBE-MEJÍA (1974).....	23
2.3.3. MÉTODO DE NGUYEN-ROUSSELLE-McPHERSON (1980).....	25
2.3.4. MÉTODO DE BACCHI-RANZI (1995).....	26
2.3.5. MÉTODO DE SIVAPALAN-BLÖSCHL (1998).....	27
2.3.6. MÉTODO DE ASQUITH-FAMIGLIETTI (2000).....	27
2.4. MÉTODOS TEÓRICO-EMPÍRICOS	28
2.4.1. MÉTODO DE MYERS-ZEHR (1980)	28
2.5. COMENTARIOS.....	29
2.6. APLICACIONES REPORTADAS EN LA BIBLIOGRAFÍA PARA MÉXICO	29

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA.....	32
3.1. MÉTODO EMPÍRICO-ANÁLISIS DE FRECUENCIAS.....	33
3.2. MÉTODO TEÓRICO DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERÍA.....	34
CAPÍTULO 4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS	36
4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS	36
4.2. PROGRAMA DE AJUSTE DE FUNCIONES AX	39
4.3. REGIONES DE ESTUDIO.....	40
4.4. LOCALIZACIÓN, CARACTERÍSTICAS E HIDROGRAFÍA	45
4.5. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	50
4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO EMPÍRICO.....	51
4.6.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS. DURANGO	51
4.6.2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS. TAMAULIPAS.....	56
4.7. APLICACIÓN DEL MÉTODO TEÓRICO.....	61
CAPÍTULO 5 RESULTADOS.....	62
5.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS	62
5.2. MÉTODO TEÓRICO	72
5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	74
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA	82
ANEXO A. Estaciones Climatológicas. Durango y Tamaulipas	86
ANEXO B. Precipitaciones máximas anuales	90
ANEXO C. Precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno para cada estación.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curvas de igual densidad de probabilidad $r(h_1, h_2)$ para el punto (h_1, h_2) 22

Figura 2.2 Promedio de lluvia entre dos puntos para una distancia fija, como función de la probabilidad..... 22

Figura 2.3 Altura de lluvia promedio entre dos puntos en función de la distancia entre ellos y de la probabilidad 23

Figura 2.4 Reducción espacial de la intensidad de lluvia puntual para el caso de estructura de correlación exponencial decreciente..... 24

Figura 2.5 Reducción espacial de la intensidad de lluvia puntual para el caso de estructura de correlación tipo Bessel..... 24

Figura 2.6 Cuenca del río Grijalva, México (Guichard y Domínguez, 1988) 30

Figura 3.1 FRA para 225 estaciones estadísticamente independientes..... 35

Figura 4.1 Estaciones procesadas entre 2005 y 2010 para el estudio de Regionalización, 2013..... 41

Figura 4.2 Regiones formadas para el estudio de Regionalización, 2013..... 42

Figura 4.3 Distribución de las estaciones climatológicas empleadas para el estado de Durango..... 43

Figura 4.4 Distribución de las estaciones climatológicas empleadas para el estado de Tamaulipas, zona 1 44

Figura 4.5 Ubicación geográfica del estado de Durango y estados colindantes..... 45

Figura 4.6 Ríos y cuencas hidrológicas del estado de Durango..... 46

Figura 4.7 Ubicación geográfica del estado de Tamaulipas y estados colindantes 48

Figura 4.8 Ríos y cuencas hidrológicas del estado de Tamaulipas..... 49

Figura 4.9 Subregiones de estudio en el estado de Durango 55

Figura 4.10 Subregiones de estudio en el estado de Tamaulipas..... 59

Figura 4.11 FRA teórico vs FRA calculado para T_r de 5 y 10 años. Durango..... 61

Figura 5.1 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 5 años..... 62

Figura 5.2 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 10 años..... 63

Figura 5.3 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 50 años..... 63

Figura 5.4 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 100 años..... 64

Figura 5.5 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 1000 años..... 64

Figura 5.6 FRA calculados en el estado de Durango para un T_r de 10000 años..... 65

Figura 5.7 Promedio de los FRA calculados en el estado de Durango..... 65

Figura 5.8 Variación del FRA con respecto al periodo de retorno. Durango..... 66

Figura 5.9 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 5 años 67

Figura 5.10 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 10 años..... 68

Figura 5.11 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 50 años..... 68

Figura 5.12 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 100 años..... 69

Figura 5.13 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 1000 años..... 69

Figura 5.14 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un T_r de 10000 años..... 70

Figura 5.15 Promedio de los FRA calculados en el estado de Tamaulipas..... 70

Figura 5.16 Variación del FRA con respecto al periodo de retorno. Tamaulipas..... 71

Figura 5.17 FRA teórico vs FRA calculado. Durango..... 72

Figura 5.18 FRA teórico vs FRA calculado. Tamaulipas..... 73

Figura 5.19 Tendencia del FRA obtenido por ambos métodos en Durango..... 77

Figura 5.20 Tendencia del FRA obtenido por ambos métodos en Tamaulipas 77

Figura 5.21 Tendencia de los FRA obtenidos por Domínguez y los calculados por ambos métodos en este trabajo. Durango..... 79

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1 Métodos reportados en la literatura para el cálculo de FRA</i>	17
<i>Tabla 2.2 Factores de Reducción Areal para el Valle de México (DGCOH, 1982)</i>	29
<i>Tabla 2.3 Factores de Reducción Areal para dos cuencas del río Grijalva, México (Tipacamú y Domínguez, 1992)</i>	29
<i>Tabla 2.4 Factores de Reducción Areal obtenidos para el Valle de México (Franco y Domínguez, 1998)</i>	30
<i>Tabla 2.5 Factores de Reducción Areal obtenidos para la cuenca alta del río Grijalva (Guichard y Domínguez, 1998)</i>	31
<i>Tabla 3.1 FRA para 225 estaciones estadísticamente independientes</i>	35
<i>Tabla 4.1 Funciones de distribución de probabilidad Gumbel y doble Gumbel</i>	38
<i>Tabla 4.2 Métodos de estimación de parámetros más comunes</i>	39
<i>Tabla 4.3 Estaciones hasta el 2010 para Durango y Tamaulipas. Estudio de Regionalización, 2013</i>	41
<i>Tabla 4.4 Número de regiones generadas por entidad federativa</i>	41
<i>Tabla 4.5 Cuencas hidrológicas del estado de Durango</i>	47
<i>Tabla 4.6 Cuencas hidrológicas del estado de Tamaulipas</i>	50
<i>Tabla 4.7 Número de estaciones por año del periodo común para Durango y Tamaulipas</i>	51
<i>Tabla 4.8 Precipitaciones diarias simultáneas para el año de 1964. Durango</i>	52
<i>Tabla 4.9 Precipitaciones anuales máximas del análisis de simultaneidad. Durango</i>	53
<i>Tabla 4.10 Precipitaciones obtenidas del análisis de simultaneidad para diferentes periodos de retorno. Durango</i>	53
<i>Tabla 4.11 Precipitaciones obtenidas del análisis regional para diferentes periodos de retorno. Durango</i>	54
<i>Tabla 4.12 FRA obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias para el área total de Durango</i>	54
<i>Tabla 4.13 Estaciones pertenecientes a cada subregión de Durango</i>	56
<i>Tabla 4.14. Precipitaciones anuales máximas del análisis de simultaneidad. Tamaulipas</i>	57
<i>Tabla 4.15 Precipitaciones obtenidas del análisis de simultaneidad para diferentes periodos de retorno. Tamaulipas</i>	57
<i>Tabla 4.16 Precipitaciones obtenidas del análisis regional para diferentes periodos de retorno. Tamaulipas</i>	58
<i>Tabla 4.17 FRA obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias para el área total de Tamaulipas</i>	58
<i>Tabla 4.18 Estaciones pertenecientes a cada subregión de Tamaulipas</i>	60
<i>Tabla 5.1 FRA calculados para las diferentes regiones y periodos de retorno en el estado de Durango</i>	62
<i>Tabla 5.2 FRA calculados para las diferentes regiones y periodos de retorno en el estado de Tamaulipas</i>	67
<i>Tabla 5.3 Área unitaria ajustada por un factor de 80 y FRA teórico. Durango</i>	73
<i>Tabla 5.4 Área unitaria ajustada por un factor de 600 y FRA teórico. Tamaulipas</i>	74
<i>Tabla 5.5 Cálculo del FRA por el método de Bell para el área total del estado de Durango</i>	75
<i>Tabla 5.6 Cálculo del FRA por el método de Bell para el área total del estado de Tamaulipas</i>	75
<i>Tabla 5.7 FRA obtenidos por ambos métodos en las diferentes regiones de Durango</i>	76
<i>Tabla 5.8 FRA obtenidos por ambos métodos en las diferentes regiones de Tamaulipas</i>	76
<i>Tabla 5.9 FRA obtenidos para el estado de Durango, Domínguez</i>	78

RESUMEN

Este trabajo, sobre cuyo tema existen publicaciones más formales y exhaustivas, trata de desarrollar una metodología sencilla, accesible y a la vez, muy general para el cálculo de Factores de Reducción por Área (FRA) a través de un análisis de simultaneidad con aplicación a los estados de Durango y Tamaulipas.

Diferentes aplicaciones hidrológicas y meteorológicas requieren un conocimiento de la variabilidad espacio-temporal de la lluvia en un área determinada. La intensidad de lluvia en un punto sólo puede ser representativa en áreas pequeñas por lo que, para hacer una estimación a áreas extensas se debe recurrir a métodos que emplean las alturas de lluvia registradas en las estaciones climatológicas existentes en la zona de estudio.

Uno de los factores determinantes en la respuesta hidrológica es la precipitación, su origen y variabilidad espacio-temporal. Así, Mellor et al. (2000) consideran que la variabilidad espacio-temporal de la lluvia interactúa con la variabilidad espacial de las características de las cuencas, produciendo respuestas hidrológicas diversas; Bemporad (1992) apunta que el factor más importante en la respuesta de la cuenca es la variabilidad espacial de la lluvia; y, Sivapalan y Wood (1986) concluyen que la variabilidad espacial de la lluvia es más crítica que la del suelo en la modelación del proceso lluvia-escurrimiento.

Se ha encontrado que la variabilidad espacial de la lluvia es la principal fuente de error en la modelación de los procesos lluvia-escurrimiento (O'Loughlin et al., 1996; Syed et al., 2003; citados por Tetzlaff y Uhlenbrook, 2005). Este error se incrementa a medida que disminuye la densidad de la red de observación (Woods et al., 2000; citados por Tetzlaff y Uhlenbrook, 2005).

Uno de los factores que condicionan la distribución espacial de la lluvia es el origen de las tormentas de cada zona. Las lluvias de origen convectivo presentan una alta variabilidad de la distribución espacial y muchas veces el punto donde ocurre la precipitación máxima no coincide con la ubicación de alguna estación de medición.

Una manera de determinar la intensidad de la lluvia en áreas grandes se fundamenta en el cálculo de factores de reducción areal (FRA). Existen diversos métodos para calcular los FRA que de acuerdo con sus bases podrían considerarse empíricos, teóricos y teórico-empíricos. Estos índices se utilizan para transformar la altura de lluvia puntual en una altura de lluvia equivalente para un área determinada, lo cual se conoce como precipitación areal.

Los FRA, según lo definido por el Natural Environmental Research Council (NERC, 1975), son "Factores que cuando se aplican a los valores de precipitaciones puntuales con una duración y un período de retorno, dan como resultado precipitaciones por área, de la misma duración y período de retorno". El concepto de los FRA proporciona un marco eficaz para estudiar la variabilidad espacial de diferentes procesos hidrológicos.

Este problema de la reducción de las precipitaciones extremas con respecto al área de influencia de la tormenta y su duración es una cuestión central y ha sido tratada en diversas maneras.

ABSTRACT

This work of which there are more formal and comprehensive publications, seeks to develop a method that is simple to use, accessible and the same time, very general for the calculation of Areal Reduction Factors (ARF) through a simultaneous analysis with application to states of Durango and Tamaulipas and for different return periods.

Different hydrological and meteorological applications require a knowledge of the spatial-temporal variability of rainfall in a certain area. The intensity of rain in a point can only be representative in small areas so, to make an estimate in large areas must have recourse to methods that employ the highest rainfall recorded in the existing rain-gaging stations in the study area.

One way to determine the intensity of rainfall in large areas is based on the calculation of Areal Reduction Factors. There are several methods to calculate the ARF that according to their bases could be considered empirical, theoretical and theoretical-empirical. Different definitions and methods are described and discussed.

These factors are used to transform the height punctual rain into an equivalent height rain in a certain area, which is known as areal precipitation.

Key words: Areal Reduction Factors, Durango, Tamaulipas, areal precipitation, intensity of rainfall, spatial-temporal variability of rainfall.

I. INTRODUCCIÓN

El problema de control de inundaciones en áreas urbanas y suburbanas, se ha enfocado generalmente a los estudios de drenaje, por lo que el estudio de las precipitaciones con fines de diseño se ha concentrado en la información relativa a áreas y duraciones pequeñas y se ha analizado poco la influencias que desde el punto de vista de diseño, tiene el tamaño de la cuenca.

El dimensionamiento de las obras hidráulicas es función del caudal de diseño, éste puede estimarse utilizando métodos hidrometeorológicos o mediante análisis estadísticos de caudales máximos. En el primer caso se calcula primero una tormenta de diseño, asociada al período de retorno seleccionado, y se convierte en avenida mediante modelos lluvia-escorrentamiento. En el segundo caso se analizan directamente los datos de caudales máximos registrados en una estación hidrométrica representativa del sitio de interés.

Debido a que lo más común es no contar con registros de caudales en el sitio de interés y si se llega a contar con ellos, éstos no son lo suficientemente largos para permitir hacer un análisis estadístico confiable, la utilización de modelos lluvia-escorrentamiento es muy frecuente.

Para la aplicación de dichos modelos es necesario el cálculo de la tormenta de diseño para la duración, período de retorno y área de interés. Sin embargo, debido al desconocimiento de la distribución de frecuencia areal de las precipitaciones, se utilizan los datos puntuales para su estimación. Ya que, mediante el análisis tradicional, en que se consideran los máximos anuales puntuales, los cálculos tienden a sobrestimar la precipitación, al no considerar el hecho de que los máximos no se presentan en el mismo momento en todas las estaciones consideradas (efecto de no simultaneidad de las lluvias), es necesario calcular factores de reducción. Esta falta de simultaneidad se acentúa conforme el área considerada es mayor.

Como la intensidad de lluvia en un punto sólo puede ser representativa de la intensidad de lluvia media de pequeñas áreas, se debe recurrir a métodos que emplean las alturas de lluvia registradas en un determinado número de estaciones para calcular empíricamente el FRA. En algunos de ellos el FRA es único para los distintos periodos de retorno, mientras que en otros métodos el FRA es función del periodo de retorno. Estos factores se utilizan para transformar la altura de lluvia puntual en una altura de lluvia equivalente para un área determinada.

Sobre una misma cuenca, los eventos de lluvia pueden presentar una gran variabilidad en su distribución espacial. Dos tormentas pueden tener una misma precipitación media areal, pero su distribución espacial puede ser completamente diferente debido a que la precipitación se concentra en puntos diferentes dentro de la zona provocando diferentes respuestas a la salida de la cuenca o diferentes gastos en su sistema de drenaje.

A pesar de que la variabilidad espacial puede tener una gran influencia en la respuesta de las cuencas, en la práctica generalmente se supone que la lluvia es uniforme en la aplicación de modelos hidrológicos en pequeñas cuencas. Obed et al. (1994), apuntan que la variabilidad espacial debe tomarse en cuenta con el fin de mejorar la estimación del volumen de entrada a la cuenca. Con este objetivo, desde la década de los 60 (US Weather Bureau, 1957; Hershfield, 1962) surge el concepto

de Factor de Reducción por Área (FRA) el cual permite caracterizar el efecto de la variabilidad espacial de los eventos de lluvia y estudiar la relación lluvia-escorrentía con modelos agregados.

Estévez et al. (2010), menciona que un factor de reducción por área es un valor que se puede aplicar a una precipitación puntual de una duración especificada y período de retorno para obtener la precipitación areal de la misma duración y período de retorno.

Hershfield (1962) definió dos tipos de factores, los que se obtienen para cada evento, a los que llamó de centro de tormenta (storm centered) y los que se obtienen con datos de diferentes tormentas, denominados de área geográfica fija (fixed area). Estos últimos han sido los más utilizados, debido a que permiten hacer análisis de frecuencia, es por ello que también se conocen como factores de reducción areal estadísticos.

Para la obtención de los FRA se han propuesto diversos métodos, que de acuerdo con su concepción, podrían considerarse empíricos (US Weather Bureau, 1958; NERC, 1975; Bell, 1976; Desbordes et al., 1984), teóricos (Roche, 1963; R. Iturbe y Mejía, 1974; Nguyen et al., 1980; Bacchi y Ranzi, 1995; Sivapalan y Blöschl, 1998 y De Michele et al., 2001) o teórico-empíricos (Myers y Zehr, 1980).

El trabajo está integrado por 6 capítulos, los cuales han sido estructurados de la siguiente forma:

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES, se explica a grandes rasgos el concepto de Factor de Reducción Areal y según la clasificación de Bell (1976) los dos tipos de factores, los llamados de centro de tormenta y los de área geográfica fija.

CAPÍTULO 2 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL, se presenta el estado del arte respecto del tema discutido en el presente trabajo. Se expone una breve recopilación de los métodos presentes en la literatura y algunos estudios previos en México.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA, se describe de manera resumida una metodología práctica para la aplicación del método empírico de Análisis de Frecuencias y un método teórico desarrollado por el Instituto de Ingeniería para la obtención de los factores.

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS, se expone a grandes rasgos el análisis estadístico de los datos hidrológicos que se llevó a cabo, la descripción de las regiones de estudio, el procesamiento de la información y la aplicación de la metodología a Durango y Tamaulipas.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS, se presentan los factores obtenidos para los diferentes periodos de retorno por ambos métodos y adicionalmente, se hace una comparación de resultados entre el método empírico de Análisis de Frecuencias y el método teórico de Bell.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se presenta la conclusión general de los resultados obtenidos y las aportaciones logradas en el presente estudio.

II. OBJETIVOS

Con los registros de precipitación diaria de la base de datos Climatológica Nacional del sistema CLICOM se realizó un análisis para determinar Factores de Reducción Areal en los estados de Durango y Tamaulipas para los eventos de diseño de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años.

Para la obtención de dichos factores se empleó un método empírico y uno teórico para establecer una comparación entre los factores obtenidos por ambos métodos.

A partir de lo anterior se plantean los objetivos específicos siguientes:

- Una vez obtenidos los FRA para una duración de 24 horas para el área total de los estados analizados, se generaron subregiones para observar el comportamiento de dichos factores al variar el área.
- Finalmente, se compararon los resultados obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias con los obtenidos con el método de Bell, destacando las diferencias en el proceso del cálculo.

CAPÍTULO 1 GENERALIDADES

1.1. CONCEPTO DE FACTOR DE REDUCCIÓN AREAL (FRA)

Una aplicación importante de los datos de lluvia es la generación de caudales a través de modelos lluvia-escorrentamiento. Para lo que se requiere la precipitación areal presentada en la cuenca, asociada a un determinado periodo de retorno. En estos casos la precipitación por ejemplo, para un periodo de retorno de 20 años, no correspondería a la calculada como la media de las precipitaciones puntuales para 20 años de periodo de retorno. Debido a que es imposible que en todos los puntos de la cuenca se presente la precipitación para dicho período de retorno simultáneamente y en la misma tormenta.

El promedio areal de las precipitaciones correspondientes a 20 años de periodo de retorno tiende a sobrestimar la precipitación de diseño. Para evitar esto, se aplica un factor de reducción areal al promedio anterior. El FRA es un coeficiente que se emplea para convertir precipitaciones puntuales en areales, y es una forma práctica de considerar la no simultaneidad de las lluvias máximas en las estaciones dentro del área; así como también la reducción de la lámina de precipitación media sobre una determinada área a medida que aumenta dicha área (Chulsang et al., 2007).

De tal forma que la precipitación areal se obtiene con la ecuación siguiente:

$$P_a = P_p * FRA \quad (\text{ec. 1.1})$$

Donde,

P_a = precipitación areal para la duración y área de interés

P_p = media de los valores puntuales para la misma área y duración

FRA= factor de reducción areal, que depende de la duración, del área y del período de retorno (según estudios recientes).

El concepto surge en los Estados Unidos, en la década de los 60 (US Weather Bureau, 1958; Hershfield, 1962). En los 70 dichos factores empezaron a utilizarse en el Reino Unido (NERC, 1975; Bell, 1976). Como se mencionó anteriormente Hershfield en 1962 identificó dos tipos de factor de reducción areal, los llamados de centro de tormenta y los de área geográfica fija.

1.2. FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL DE CENTRO DE TORMENTA

Los FRA de centro de tormenta (storm centered) se usaron en un principio, especialmente para convertir valores puntuales en areales, de Precipitación Máxima Probable (PMP). La relación de la altura media de precipitación sobre una superficie y una altura máxima de precipitación de una tormenta determinada se resume con ayuda de estos factores. Las líneas de igual altura de precipitación se dividen por la altura máxima de la tormenta y luego se integran para obtener la altura promedio de precipitación de la tormenta.

Estos factores se obtienen para cada evento y el área representativa es el centro de tormenta (punto de máxima precipitación). Con este tipo de factores no es posible hacer análisis de frecuencia y se calculan mediante la relación siguiente:

$$FRA = \frac{P'_a}{P'_p} \quad (\text{ec. 1.2})$$

Donde,

P'_a = precipitación máxima media areal en la zona de la tormenta, para la duración y área de interés

P'_p = precipitación máxima puntual en la zona de la tormenta, para la misma duración

Los FRA de centro de tormenta, están asociados al cálculo de la altura de precipitación efectiva para tormentas específicas. Estos factores representan sólo perfiles de tormentas individuales; ya que, el área de influencia de la tormenta no está predeterminada sino que, varía con cada evento.

Este tipo de factores son una buena herramienta para caracterizar la variabilidad espacial de las tormentas. Sin embargo, al emplear la máxima de las precipitaciones areales se maximiza el valor del factor cuando se emplea para fines de diseño.

Otra desventaja que presenta el uso de este tipo de factores es que, al hacer el análisis por tormenta se supone que los valores de precipitación máxima puntual y precipitación media máxima coinciden en el tiempo (DGCOH, 1982).

Por último, el centro de la tormenta generalmente no es observado por la red de medición debido al pequeño tamaño de las celdas de lluvia, lo que conduce a una subestimación de la precipitación media areal (Vaes, Willems, & Berlamont, 2005).

Este tipo de factores no son muy ampliamente utilizados, debido a que es difícil de implementar en tormentas multicéntricas. Además, de no poder utilizarse para la estimación de precipitaciones areales de determinada frecuencia, ya que este tipo de factores se estiman para cada evento (Omolayo, 1993).

1.3. FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL DE ÁREA GEOGRÁFICA FIJA

Los factores de área geográfica fija (fixed area), se originan con las estadísticas de los registros de precipitaciones máximas puntuales y no de tormentas individuales. Estos factores sirven para estimar tormentas de diseño. Y como su nombre lo dice, se considera un área geográfica fija.

Estos factores relacionan la altura de precipitación en un punto de la cuenca con la altura de precipitación promedio del área total de la cuenca. La relación utilizada es la siguiente:

$$FRA = \frac{P_a}{P_p} \quad (\text{ec. 1.3})$$

Donde,

P_a = precipitación máxima areal puntual, para la duración y área de interés

P_p = precipitación media areal de los valores máximos puntuales, para la duración y área de interés

Así, estos factores son obtenidos con datos de diferentes tormentas y relacionan el valor de precipitación areal con el valor puntual, para un área y duración dadas. Si se desea estos valores pueden corresponder al período de retorno de interés.

Los factores de reducción de área geográfica fija suelen aplicarse en conjunto con los análisis de frecuencias, por lo que también se conocen como factores estadísticos de reducción areal.

A pesar de la consideración del área fija, también podrían obtenerse factores para una tormenta específica; en este caso, el numerador es la media areal de la tormenta y el denominador correspondería al valor del sitio donde llovió más.

También podría hacerse respecto a un año determinado; en este caso, el numerador es el máximo de los promedios realizados a los 365 días del año y el denominador correspondería al promedio de los máximos anuales, sin importar si ocurrieron en el mismo día o podría ser el resultado de un análisis de frecuencias de los máximos anuales, considerando los simultáneos para el numerador y en el denominador el promedio de los resultados que se obtienen con los máximos aunque no sean simultáneos.

Este tipo de FRA fueron considerados por el US Weather Bureau (NSSP, 1961) y por NERC (1971), los cuales definieron coeficientes de reducción areal asociados a diferentes periodos de retorno.

Por lo tanto, la principal motivación del presente trabajo es emplear al método de Análisis de Frecuencias para la obtención de FRA de área geográfica fija a una cuenca determinada y así, poder asociarlos a diferentes periodos de retorno requeridos para el diseño. Sin embargo, al aplicar la metodología (expuesta en capítulos posteriores) a cada cuenca en que se requiera un diseño es, además de engorroso un tanto problemático ya que, la operación de las estaciones climatológicas en donde se registran los datos de las precipitaciones cambian constantemente.

CAPÍTULO 2 MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL

Dentro de una revisión del estado del arte acerca de los factores de reducción areales, Guichard (2005), resalta lo siguiente con respecto a los métodos de obtención de los FRA: Existen diversos métodos para el cálculo de los FRA, que de acuerdo a su concepción, podrían considerarse empíricos, teóricos o teórico-empíricos.

Los métodos empíricos relacionan la precipitación areal máxima (obtenida por diferentes procedimientos) con la media de las máximas puntuales; dentro de ellos destacan los del USWB (Viessman, 1989), NERC (1975) y Bell (1976).

En cuanto a las aportaciones teóricas, se han propuesto a partir de 1963 diferentes metodologías, destacándose las de Roche (1963), R. Iturbe y Mejía (1974), Nguyen et al. (1981), Bacchi y Ranzi (1996), Sivapalan y Blöschl (1998) y De Michele et al. (2001).

Dentro de los métodos teórico-empíricos sobresale la propuesta de Myers y Zehr (1980), en la cual se obtienen los factores de reducción areal mediante la combinación de los estadísticos de pares de estaciones, de grupos de cinco estaciones y de cada estación por separado. Los autores trabajaron con áreas circulares.

En la Tabla 2.1 se presenta una clasificación de los métodos reportados para el cálculo de los factores de reducción areal.

Tabla 2.1 Métodos reportados en la literatura para el cálculo de FRA

Métodos Empíricos	US Weather Bureau, 1958 NERC (1975) Bell (1976) Desbordes-Raous-Trévisiol (1984)
Métodos Teóricos	Roche (1963) Rodríguez Iturbe-Mejía (1974) Nguyen-Rousselle-McPherson (1980) Bacchi-Ranzi (1995) Sivapalan-Blöschl (1998) Asquith-Famiglietti (2000) De Michele-Kottogoda-Rosso (2001)
Métodos Teórico-Empíricos	Myers-Zehr (1980)

2.1. ESTUDIOS PREVIOS

Guichard (2005), destaca las siguientes aportaciones que se han hecho sobre los FRA: África (Roche, 1963; Rodríguez Iturbe y Mejía, 1974), Australia (Omelayo, 1993), Austria (Sivapalan y Blöschl, 1998), Canadá (Nguyen et al., 1981), España (Lorente y Redaño, 1990), Estados Unidos de América (Hershfield, 1962; Viessman, 1989), Francia (Desbordes et al., 1984; Neppel et al., 2003), Italia (Bacchi y Ranzi, 1996; De Michelle et al., 2001), México (DGCOH, 1982; Franco, 1998; Guichard y Domínguez, 1998), Reino Unido (NERC, 1975; Bell, 1976) y Suecia (Niemczynowicz, 1984).

Los primeros estudios se basaron en el análisis empírico de tormentas individuales y rara vez se tuvo en cuenta el periodo de retorno del evento (US Weather Bureau, 1958). En algunos países como Italia, en este tipo de estudios fueron pioneros (Supino, 1964) y aún hoy en día son muy populares en la definición de las tormentas de diseño para sistemas de drenaje urbano.

El enfoque teórico se amplió con la introducción de la función de varianza a los factores de reducción (Rodríguez-Iturbe y Mejía, 1974). También se presentó una derivación estocástica basada en el análisis de los factores de reducción areal de procesos de precipitación agregada tanto en el espacio como en el tiempo (Waymire et al., 1984; Sivapalan y Blöschl, 1998; Bacchi y Ranzi, 1995). Asimismo se llevaron a cabo estudios prototipo dirigidos hacia la estimación de los factores de reducción areal utilizando datos digitalizados devueltos por radar (Frederick et al., 1977).

2.2. MÉTODOS EMPÍRICOS

En este tipo de métodos el FRA se calcula al relacionar el valor de la precipitación máxima areal con el valor de la media de las máximas puntuales. Se utiliza normalmente el método de polígonos de Thiessen para asignar el área correspondiente a cada estación. En esta clasificación se encuentran los métodos propuestos por el US Weather Bureau (1958), el de NERC (1975) y el de Bell (1976).

Estos métodos no tienen bases teóricas, sin embargo, han servido como referencia para efectos de comparación con algunos métodos teóricos por lo que, en la actualidad se siguen usando.

En seguida se presenta la definición de las variables correspondientes a las ecuaciones empleadas en cada uno de los métodos aquí descritos.

P_{ij} , precipitación máxima anual ocurrida en la estación i en el año j

P_{ij}' , precipitación puntual en la estación i el día que ocurrió la máxima precipitación areal de la cuenca en el año j

w_i , factor de Thiessen correspondiente a cada estación i

I , es el número de estaciones

J , es el número de años

2.2.1. MÉTODO DEL UNITED STATES WEATHER BUREAU (1958)

El método propuesto por el US Weather Bureau fue presentado en el reporte técnico TP-29 (Omolayo, 1993), y se deriva de un estudio de siete redes de estaciones densas en el este de los Estados Unidos. Este método relaciona las máximas tormentas registradas.

Las redes de estaciones cubren áreas de 250 a 1000 km² y la longitud de los registros varía entre 7 y 15 años (Viessman, 1989). En éste método se elige la precipitación areal de cada evento aplicando los factores de peso obtenidos por los polígonos de Thiessen y se seleccionan las precipitaciones máximas en cada año y estación.

Se calcula la máxima media de cada año y se identifica la precipitación máxima puntual de cada estación y año. El FRA es el cociente de la media de la serie anual entre la media de los máximos de todas las estaciones y de todos los años.

Para determinar el FRA por el método del USWB (1958) se aplica el siguiente procedimiento:

- A. Se eligen las tormentas históricas importantes para la duración de interés, en todas las estaciones del área en estudio.
- B. Usando los factores de peso de los polígonos de Thiessen, se calcula la precipitación areal de cada evento para la duración de interés y se selecciona la mayor de éstas para cada año del registro.
- C. Se calcula la media de los datos generados en el punto anterior, para todo el período. Esta media es el numerador de la ecuación 2.1.
- D. Se elige el máximo anual para cada estación y se calcula su media areal para cada año.
- E. Se obtiene la media del registro generado en el punto anterior, que es el denominador de la ecuación 2.1.
- F. Se calcula el FRA por el método del USWB con la ecuación 2.1:

$$FRA_{USWB} = \frac{\sum_j \sum_i w_i P'_{ij}}{\sum_j \sum_i P_{ij}} \quad (\text{ec. 2.1})$$

2.2.2. MÉTODO DEL UK (NERC, 1975)

El método del Reino Unido (NERC, 1975) propone obtener el FRA dividiendo las precipitaciones de las tormentas en que ocurrió la máxima tormenta areal, P' , entre los eventos máximos ocurridos en cada estación durante el año, P .

Al determinar los valores P' y P de cada año y cada estación, éstos se dividen para obtener el FRA para cada año j y cada estación i , $(P'/P)_{ij}$. Para calcular el FRA de la duración considerada se promedian todos los valores obtenidos anteriormente.

Para determinar el FRA por el método del UK (1975) se aplica el siguiente procedimiento:

- A. Se obtienen las precipitaciones areales para identificar el día en que ocurrió el máximo. Se eligen las precipitaciones puntuales de ese día, P' .
- B. Se identifican los máximos puntuales de cada estación y año, P .
- C. Para cada año se obtiene la relación P'/P .
- D. El FRA por el método del UK es el promedio de los cocientes para todos los años y estaciones.

La ecuación que se emplea es la siguiente:

$$FRA_{UK} = \frac{1}{IJ} \sum_j \sum_i \frac{P'_{ij}}{P_{ij}} \quad (\text{ec. 2.2})$$

2.2.3. MÉTODO DE BELL (1976)

En la aplicación de este método se seleccionan los valores máximos anuales de precipitación areal, formando una serie anual. Además, se eligen los valores máximos anuales de lluvia puntual de cada estación y se obtiene la precipitación areal correspondiente; resultando otra serie de valores anuales (Bell, 1976).

Es importante aclarar que este método no propone hacer un análisis de frecuencias que permita asociar el FRA a un periodo de retorno; por lo tanto, el factor obtenido no puede emplearse para fines de diseño. Para determinar el FRA por el método de Bell (1976) se aplica el siguiente procedimiento:

- A. Se obtiene la precipitación máxima areal para cada año, P' .
- B. Se eligen las precipitaciones máximas puntuales de cada estación y año. Se obtiene la media areal de estos máximos, P .
- C. Se calcula el FRA para cada año con las dos series anuales obtenidas anteriormente.
- D. El FRA de la cuenca es la media de los FRA de todos los años. La ecuación que se emplea es la siguiente:

$$FRA_{Bell} = \overline{\sum(w_i P_{ij})_r} / \overline{\sum(w_i P_{ij})_r} \quad (\text{ec. 2.3})$$

2.2.4. MÉTODO DE DESBORDES-RAOUS-TRÉVISIOL (1984)

Este método permite conocer FRAs correspondientes a determinados eventos. En éste se calculan dos tipos de factores para cada evento. Los primeros se obtienen de la relación de la precipitación máxima areal y la precipitación presentada durante el mismo periodo de tiempo en la estación analizada. Cabe mencionar que estos factores pueden ser mayores que la unidad, y se obtienen tantos como estaciones analizadas.

El segundo tipo de factores se obtiene al relacionar el valor de la precipitación máxima areal con el valor de precipitación máxima puntual. Se obtiene un factor para cada evento menor que la unidad.

De acuerdo con los autores, estos métodos para calcular los factores de reducción areal se denominan α y α_d .

- A. Los que relacionan la intensidad media areal, iA (dt), para cierta área, A , y duración, dt, con la intensidad máxima, iM (dt), para la misma duración, en el centro de la tormenta. Se calculan mediante la ecuación 2.4.

$$\alpha(A, dt, iM) = \frac{iA(dt)}{iM(dt)} \quad (\text{ec. 2.4})$$

- B. Los que relacionan la intensidad local, i (d, dt), a una distancia, d, del centro de tormenta con la intensidad máxima, iM (dt). Se calculan mediante la ecuación 2.5.

$$\alpha d(d, dt, iM) = \frac{i(d, dt)}{iM(dt)} \quad (\text{ec. 2.5})$$

C. Donde α y αd se relacionan mediante la ecuación 2.6.

$$\alpha(A, dt, iM) = \frac{1}{A} \int \alpha d(x, y, dt, iM) dA \quad (\text{ec. 2.6})$$

Desbordes encontró que una forma usual de la ecuación 2.6 es la siguiente:

$$\alpha = A^{-\varepsilon} \quad (\text{ec. 2.7})$$

Donde ε es un exponente que depende de la zona de estudio. Los autores obtuvieron ecuaciones específicas para la cuenca de Rungis, en Francia.

2.3. MÉTODOS TEÓRICOS

En este grupo podemos encontrar los métodos de Roche (1963), Rodríguez Iturbe-Mejía (1974), Nguyen-Rousselle-McPherson (1980), Bacchi-Ranzi (1995), Sivapalan-Blöschl (1998), Asquith-Famiglietti (2000) y el De Michele-Kottegoda-Rosso (2001).

2.3.1. MÉTODO DE ROCHE (1963)

Es el primer método con fundamento teórico que se reporta en la literatura. El método supone que las precipitaciones puntuales siguen la misma ley de probabilidades en diferentes puntos de la zona en estudio; esto es, el proceso se considera isótropo. El método propone lo siguiente:

Se tiene una superficie S , con una distribución homogénea de puntos $1, 2, \dots, n$ a los que se le asocian las alturas de precipitación h_1, h_2, \dots, h_n . Estas alturas de precipitación son variables aleatorias que siguen la función de densidad de probabilidad $\rho(h_1, h_2, \dots, h_n)$. La probabilidad de que la lluvia areal sea mayor o igual que un valor h , está dada por la siguiente expresión:

$$\int_1 \int_2 \dots \int_n \rho(h_1, h_2, \dots, h_n) dh_1, dh_2, \dots, dh_n = P \quad (\text{ec. 2.8})$$

La integral se calcula en toda la región con la condición siguiente:

$$\frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} \geq h$$

El valor exacto de la probabilidad se obtiene cuando $n \rightarrow \infty$.

Roche (1963) inició el análisis considerando dos puntos 1 y 2 en la superficie S , separados una distancia $X_{1,2}$. Si $r(h_1, h_2)$ es la función de densidad de probabilidad para la pareja (h_1, h_2) y $z = (h_1 + h_2)/2$ es la lluvia media para los dos puntos en consideración. Se puede construir una gráfica como la de la Figura 2.1. En esta gráfica las curvas representan las líneas de igual densidad de probabilidad r_1, r_2, \dots, r_m . Dada la consideración de isotropía estas curvas son simétricas respecto a la bisectriz del plano (h_1, h_2) .

Si se dibuja la línea $h_1+h_2=2z$; el área por encima de esta línea encerrada por las curvas construidas previamente representa la probabilidad de que la lluvia media, entre los puntos 1 y 2 sea mayor que z , esto es:

$$\iint \rho(h_1, h_2) dh_1 dh_2 \quad (\text{ec. 2.9})$$

Cumpliendo con la condición $h_1+h_2 \geq 2z$

La integral debe efectuarse en el dominio de variación de h_1 y h_2 . Mediante la Figura 2.1, Roche repitió el análisis para diferentes valores de z y obtuvo la variación de z como función de la probabilidad, como se observa en la Figura 2.2.

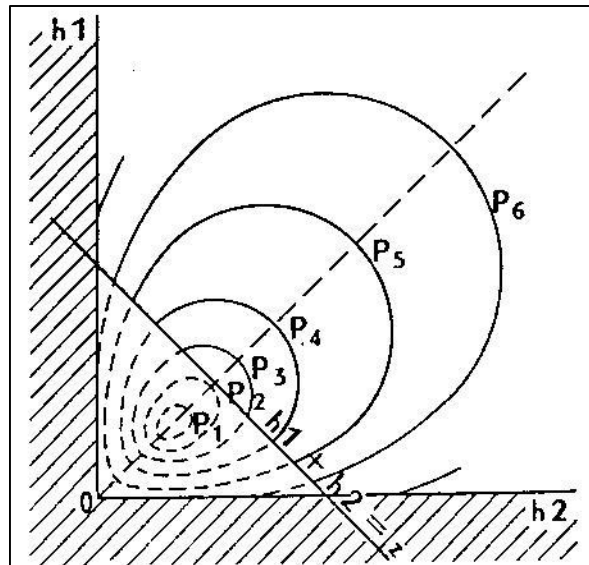


Figura 2.1 Curvas de igual densidad de probabilidad $r(h_1, h_2)$ para el punto (h_1, h_2)

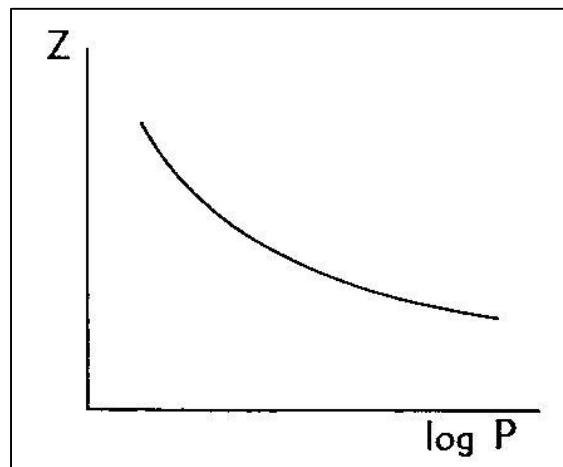


Figura 2.2 Promedio de lluvia entre dos puntos para una distancia fija, como función de la probabilidad

Si adicionalmente, se varía la distancia entre los puntos $X_{1,2}$ se puede construir la gráfica de la Figura 2.3, que muestra la variación de z como función de la distancia de los puntos en consideración y del nivel de probabilidad.

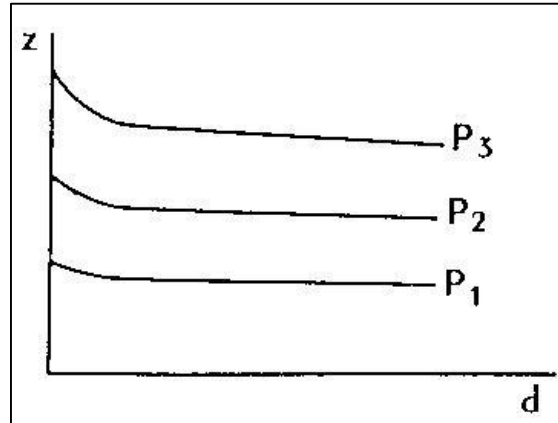


Figura 2.3 Altura de lluvia promedio entre dos puntos en función de la distancia entre ellos y de la probabilidad

La transformación de lluvia puntual en areal se puede hacer de la siguiente manera. Se considera un rectángulo de longitud L y ancho l , dividido en intervalos de ancho infinitesimal a lo largo de la dirección L . La lluvia media en un intervalo cualquiera se calcula mediante la expresión 2.10.

$$\frac{1}{l} \int_x^{x+1} z(y) dy \quad (\text{ec. 2.10})$$

Y en toda la superficie se tiene:

$$h_m = \frac{1}{lL} \int_0^L dx \int_x^{x+1} z(y) dy = \frac{1}{lL} \int_0^L \left[\int_0^{x+1} z(x) dx - \int_0^x z(x) dx \right] dx \quad (\text{ec. 2.11})$$

La ecuación anterior se puede integrar gráficamente mediante las curvas mostradas en la Figura 2.3, para diferentes probabilidades. Se podría entonces encontrar la lluvia media en un área hm para cierto período de retorno, dada la lluvia puntual para el mismo período de retorno.

Este método fue aplicado para la cuenca Flakoho, ubicada en la costa occidental de África, Roche encontró que los factores de reducción areal son independientes del período de retorno.

El método es correcto en el análisis pero muy laborioso ya que, para cada caso es necesario construir gráficas como las de la Figura 2.1, Figura 2.2 y la Figura 2.3 y hacer las integraciones gráficas. Debido a que, se analizan eventos individuales. La Figura 2.1 es en realidad sólo un conjunto de curvas, ya que habría una curva para cada coeficiente de correlación que se quiera probar entre dos puntos (Rodríguez- Iturbe y Mejía, 1974).

2.3.2. MÉTODO DE RODRÍGUEZ ITURBE-MEJÍA (1974)

Estos autores suponen que la lluvia es un proceso estacionario e isotrópico y que la función de correlación puede dividirse en dos componentes, una espacial y otra temporal.

El proceso puntual de la lluvia es distribuido con media cero y varianza σ_p^2 , mientras que el proceso total de la lluvia tiene media cero y varianza $A^2 \sigma_p^2 \bar{r}((\bar{x}_1 - \bar{x}_2) | A)$. Un valor de lluvia puntual para un determinado periodo de retorno puede transformarse en un valor de lluvia total con el mismo periodo de retorno cuando se le multiplica por la desviación estándar.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

El factor de corrección, K , que relaciona las alturas de lluvia para el área de interés se presenta en la ecuación 2.12.

$$K = A^2(\bar{r}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2|A))^{1/2} \quad (\text{ec. 2.12})$$

Este factor de corrección de área fija indica que para una estructura de correlación espacial, éste depende únicamente de las características del área en estudio.

Para el proceso areal de precipitación, los autores identificaron dos tipos de estructura espacial de correlación: la función exponencial decreciente y la función tipo Bessel. En la Figura 2.4 y la Figura 2.5 se muestra la variación del factor K , para las funciones exponencial decreciente y Bessel, respectivamente.

Se encontró que la forma geométrica del área en estudio tiene poca importancia en el factor de corrección K , excepto para formas muy alargadas.

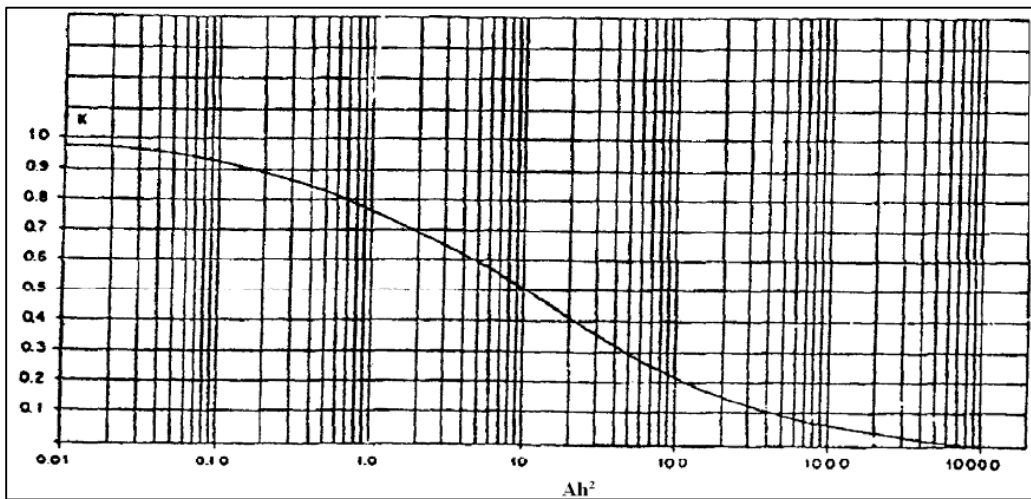


Figura 2.4 Reducción espacial de la intensidad de lluvia puntual para el caso de estructura de correlación exponencial decreciente

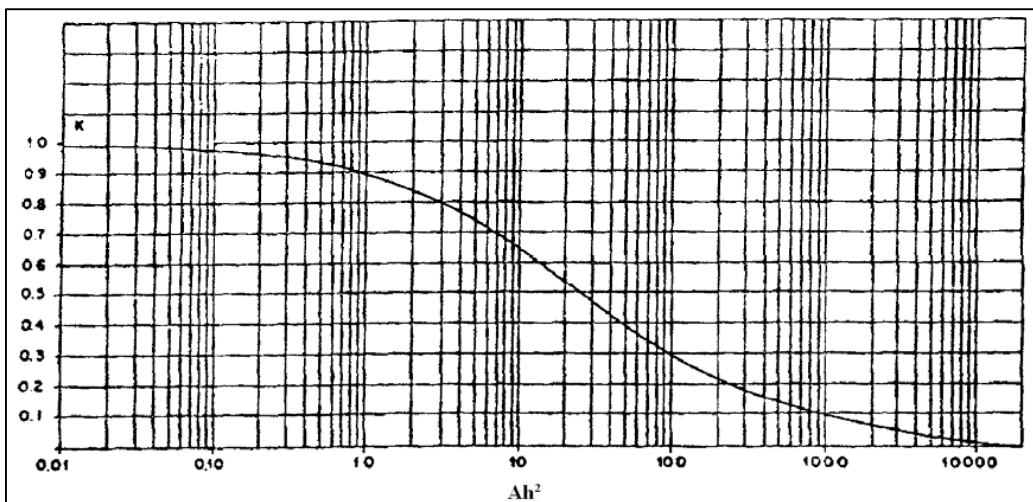


Figura 2.5 Reducción espacial de la intensidad de lluvia puntual para el caso de estructura de correlación tipo Bessel

Igual que Roche (1963), Rodríguez Iturbe y Mejía (1973) aplicaron su metodología a la cuenca de Flakoho, en África.

2.3.3. MÉTODO DE NGUYEN-ROUSSELLE-McPHERSON (1980)

Los autores consideran que la lluvia es un proceso estocástico, intermitente y positivo, y que la distribución de frecuencias de las lluvias puntuales y areales es de tipo exponencial. Las consideraciones teóricas que se tienen en este método son las siguientes:

Si las precipitaciones areales horarias son variables aleatorias que teóricamente, pueden asumir cualquier valor incluyendo el cero; entonces existe una probabilidad finita, F_0 , para la que la altura de lluvia, X , es cero. Mientras que para valores de $X > 0$ se usa la función de probabilidad $\Phi(x)$.

La probabilidad de que una altura de lluvia horaria, x , sea mayor que cero, se puede obtener aplicando la siguiente expresión.

$$F(x) = P\{X \leq x\} = F_0 + (1 - F_0)\Phi(x) \quad (\text{ec. 2.13})$$

Donde $F_0 = P\{X = 0\}$ y $\Phi(x) = P\{X \leq x | X > 0\}$

Por lo tanto, la función de probabilidad de excedencia $F_1(x)$ de las lluvias horarias se muestra en la ecuación 2.14.

$$F_1(x) = 1 - F(x) = (1 - F_0)[1 - \Phi(x)] \quad (\text{ec. 2.14})$$

Si se asume que las lluvias horarias siguen una distribución exponencial, se tiene para $x \geq 0$ la siguiente ecuación:

$$\Phi(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (\text{ec. 2.15})$$

Entonces la ecuación 2.14 se puede escribir como sigue, para $x \geq 0$.

$$F_1(x) = (1 - F_0)e^{-\lambda x} \quad (\text{ec. 2.16})$$

Para las precipitaciones areales se considera que el área de influencia de cada estación corresponde al factor de peso calculado con el método de polígonos de Thiessen. Siendo la precipitación media areal, para n estaciones, Z_n ; como se muestra en la ecuación 2.17. Donde w_i es el coeficiente de Thiessen asociado a la estación n .

$$Z_n = \sum_{i=1}^n w_i X_i \quad (\text{ec. 2.17})$$

Para determinar la función de distribución de probabilidad de las lluvias areales se consideran las dos hipótesis siguientes: X_1, X_2, \dots, X_n son variables aleatorias, independientes y exponencialmente distribuidas. Entonces, para $x \geq 0$ se tiene lo siguiente:

$$P\{X_i \leq x | X_i > 0\} = 1 - \exp(-\beta_i x) \quad (\text{ec. 2.18})$$

Si $X'_i = w_i X_i$ y $u = w_i x_i$ la ecuación anterior se puede escribir como en la ecuación 2.19.

$$P\{X_i \leq x | X_i > 0\} = P\{X'_i \leq u | X'_i > 0\} = 1 - \exp(-\beta_i u / w_i) \quad (\text{ec. 2.19})$$

O bien, si $\lambda = \beta_i / w_i$, la ecuación 2.19 queda como se muestra a continuación:

$$P\{X_i \leq x | X_i > 0\} = P\{X'_i \leq u | X'_i > 0\} = 1 - \exp(-\lambda_i u) \quad (\text{ec. 2.20})$$

Si las variables aleatorias X_1', X_2', \dots, X_n' son también exponencialmente distribuidas, la función de distribución $F_n(x)$ de las lluvias medias areales es:

$$F_n(x) = P\{Z_n \leq x | Z_n > 0\} = (-1)^{n-x} \sum_{i=1}^n \frac{\prod_{j \neq i} \lambda_j}{\prod_{j \neq i} (\lambda_i - \lambda_j)} x [1 - \exp(-\lambda_i x)] \quad (\text{ec. 2.21})$$

Donde $\prod_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n$ y $\prod_{j \neq i} (\lambda_i - \lambda_j)$ es el producto de los $(\lambda_i - \lambda_j)$'s para $j=1, 2, \dots, n$ y $j \neq i$.

La probabilidad de la lluvia horaria areal, Z_n , se puede expresar como en la ecuación 2.22.

$$G(x) = P(Z_n \leq x) = G_0 + (1 - G_0)F_n(x) \quad (\text{ec. 2.22})$$

Donde G_0 es la probabilidad de que la lluvia areal sea cero y se puede estimar de los datos históricos de lluvias. La probabilidad de excedencia $G_1(x)$ de que las lluvias medias areales sean mayores que x se puede determinar con la ecuación 2.23.

$$G_1(x) = 1 - G(x) = (1 - G_0)[1 - F_n(x)] \quad (\text{ec.2.23})$$

De las ecuaciones 2.16 y 2.23 se obtiene la probabilidad de excedencia de las lluvias horarias puntuales y areales, respectivamente. El factor de corrección areal se puede estimar para un mismo valor de la probabilidad de excedencia de las lluvias puntuales y areales.

2.3.4. MÉTODO DE BACCHI-RANZI (1995)

La propuesta está basada en la inferencia y calibración de la función de distribución del proceso agregado. Se basa en el análisis de correlación cruzada de un umbral alto de la intensidad de lluvia. Se trata el problema de la reducción areal a través de un método estocástico.

Se asume que el proceso estocástico de lluvias $X(x, y, t) = X(\theta)$, con vector parámetros, θ , tiene componentes definidas por las coordenadas espaciales x e y , y en el tiempo t .

Se está interesado en las propiedades del campo $X_{A,D} = X_{A,D}(x, y, t)$ de la intensidad de lluvia integrada en el área A , centrada en el punto (x, y) y con duración D , alrededor del tiempo t . Este proceso está definido por la integral que se muestra en la siguiente expresión:

$$X_{A,D}(x, y, t) = \frac{1}{AD} \int_{x-\frac{L}{2}}^{x+\frac{L}{2}} \int_{y-\frac{L}{2}}^{y+\frac{L}{2}} \int_{t-\frac{D}{2}}^{t+\frac{D}{2}} X(\xi, \nu, \tau) d\xi d\nu d\tau \quad (\text{ec. 2.24})$$

Donde el área está definida por un cuadrado de lado L y área $A = L^2$. Los autores aplicaron su metodología a datos de la región de Padua y Venecia, en Italia.

2.3.5. MÉTODO DE SIVAPALAN-BLÖSCHL (1998)

La metodología propuesta por los autores es una extensión de la de Rodríguez Iturbe y Mejía, pero considerando la distribución de valores extremos y no únicamente la distribución del proceso original de lluvias.

Las hipótesis fundamentales del método son que el campo de lluvias es isótropo y estacionario en el espacio. El método consiste fundamentalmente en cuatro pasos:

- A. Se especifica una distribución de origen del proceso de lluvia puntual.
Se sugiere la distribución exponencial con parámetro β como distribución original de la intensidad puntual de la lluvia i_p . Se asume que el correlograma espacial de la intensidad de lluvia puntual es isótropo de tipo exponencial.
- B. El proceso puntual es promediado en el área de la cuenca.
Se asume que el campo espacial de las intensidades puntales de lluvias es estacionario y que la cuenca es cuadrada, de área a^2 .
Se adopta la función Gamma, con parámetros K_A y β_A , como la distribución original del proceso areal de la lluvia.
- C. Se transforma la distribución de origen de las lluvias areales a una de valores extremos, usando la teoría de Gumbel.
- D. Se resuelve la distribución de valores extremos encontrada en el punto anterior para el caso de área de la cuenca igual a cero.

Aplicando la metodología propuesta, los autores derivaron la siguiente ecuación para el cálculo de los factores de reducción areal:

$$FRA \left[k^2 \left(\frac{A}{\lambda^2} \right), t_r, T \right] = \frac{b(t_r) c(t_r) k^2 f_2(k^{-2}) - \frac{k^2}{f_1(k^{-2})} \ln \left\{ \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right\}}{b(t_r) c(t_r) - \ln \left\{ \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right\}} \quad (\text{ec. 2.25})$$

En la ecuación 2.25 se observa que el factor de reducción areal depende del área de la cuenca, A ; de la distancia de correlación espacial, λ ; de la duración, t_r y del período de retorno. k^2 es el factor de reducción de varianza, encontrado por Rodríguez Iturbe y Mejía. $b(t_r)$ y $c(t_r)$ son los parámetros de la distribución tipo Gumbel, para la duración de interés.

2.3.6. MÉTODO DE ASQUITH-FAMIGLIETTI (2000)

El método de Asquith y Famiglietti también denominado como método de máximo anual centrado, considera específicamente la distribución de precipitaciones simultáneas circundantes a la precipitación máxima anual.

La metodología se recomienda para zonas con redes densas de estaciones de medición, por lo que se requiere menos inferencia estadística. El método supone un proceso espacial isótropo y que el volumen potencial de la tormenta de diseño ocurre cuando el centro de tormenta coincide con el centroide de la cuenca. La metodología que se sigue es la siguiente:

- A. Para todos los máximos de la base de datos, se obtienen las relaciones entre el máximo y el simultáneo correspondiente a las estaciones circundantes. Se asocia a cada relación la distancia de separación entre estaciones, correspondiente.
- B. Se seleccionan las relaciones que cumplan con cierto criterio de diseño, por ejemplo, las que tengan un período de retorno igual o mayor a cinco años. Se debe encontrar una relación preliminar entre los cocientes seleccionados y las distancias que les corresponden.
- C. Se define una función o conjunto de funciones de ajuste entre los cocientes y distancias seleccionadas en el punto anterior. Cuando la distancia entre estaciones sea igual a cero, las curvas deberán tomar el valor de uno.
- D. Se calculan los FRAs para el área de interés y el criterio de diseño, integrando espacialmente la función estimada en el paso anterior; para ello se propone obtener áreas de forma circular.

2.4. MÉTODOS TEÓRICO-EMPÍRICOS

2.4.1. MÉTODO DE MYERS-ZEHR (1980)

Los autores propusieron una metodología que consiste en trabajar con datos de cada estación por separado, con datos de pares de estaciones y adicionalmente con datos de grupos de cinco estaciones.

Las áreas utilizadas para este método se proponen circulares y las muestras se estandarizan a un valor medio de 20 años. La metodología que a continuación se describe, inicialmente fue aplicada a diferentes regiones de los Estados Unidos de América.

- A. Inicialmente se trabaja con los datos de pares de estaciones. Una vez obtenidos los parámetros estadísticos de todas las series de datos anuales, primeros y segundos momentos. Se representan en un plano distancia-momento todas las series anuales y se les ajusta una ecuación de tipo exponencial.
- B. Se obtienen ecuaciones de ajuste para cinco estadísticos diferentes: primero y segundo momentos para los máximos anuales, del promedio de dos estaciones; primero y segundo momentos de la lluvia ocurrida en la segunda estación, en forma simultánea al máximo correspondiente a la primera; y la covarianza entre los máximos de la estación con la precipitación simultánea.
- C. Estos estadísticos son usados en distintas combinaciones para estimar los límites inferior y superior del primer y segundo momentos de los máximos areales de precipitación de la región.
- D. Finalmente, se obtienen las relaciones precipitación-área mediante el proceso del primer y segundo momentos areales por medio de la ecuación de frecuencia generalizada de Chow que se muestra a continuación:

$$h = \bar{h} + K\sigma \quad (\text{ec. 2.26})$$

Donde,

h , precipitación máxima buscada para una frecuencia determinada, en milímetros

\bar{h} , precipitación media, en milímetros

K , factor de frecuencias, tabulado para diferentes valores de la longitud de la serie y el periodo de retorno T_r .

σ , desviación estándar de la serie

Todos los estadísticos se utilizan en forma relativa, obteniendo el cociente entre el estadístico para un área o distancia dada y el correspondiente valor para área o distancia cero.

2.5. COMENTARIOS

Como se vio en la revisión bibliográfica anterior sobre los métodos de cálculo de factores de reducción areal, varios de éstos se pueden clasificar según la definición de Hershfield descrita en 1962, que identificó factores de reducción areal de centro de tormenta y de área geográfica fija.

Con relación a las aplicaciones reportadas en la literatura de los FRA, Guichard (2005) destaca las siguientes: África (Roche, 1963; Rodríguez Iturbe y Mejía, 1974), Australia (Omelayo, 1993), Austria (Sivapalan y Blöschl, 1998), Canadá (Nguyen et al., 1981), España (Lorente y Redaño, 1990), Estados Unidos de América (Hershfield, 1962; Viessman, 1989), Francia (Desbordes et al., 1984; Neppel et al., 2003), Italia (Bacchi y Ranzi, 1995; De Michelle et al., 2001), México (DGCOH, 1982; Tipacamú y Domínguez, 1992; Franco y Domínguez, 1998; Guichard y Domínguez, 1998), Reino Unido (NERC, 1975; Bell, 1976), Suecia (Niemczynowicz, 1984).

A partir de su revisión bibliográfica, Guichard (2005) concluye lo siguiente acerca de los factores de reducción areal. En algunos casos, existe dependencia entre los FRA con respecto a la duración; a una menor duración, menor es el valor del FRA.

Los FRA de centro de tormenta generalmente son menores que los FRA de área geográfica fija. Los FRA correspondientes a eventos de origen convectivo son de menor magnitud que los de eventos generados por otro tipo de precipitaciones. Esto quiere decir, que el valor de los FRA depende de la ubicación de la zona de estudio.

Algunos estudios recientes demuestran la dependencia de los FRA con respecto al periodo de retorno.

2.6. APLICACIONES REPORTADAS EN LA BIBLIOGRAFÍA PARA MÉXICO

Para el Valle de México (DGCOH, 1982), se usaron datos de 23 estaciones pluviométricas y se calcularon los FRAs para una duración de 24 h. los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Factores de Reducción Areal para el Valle de México (DGCOH, 1982)

Área (km ²)	10	20	50	100	200	500	1,000
FRA	0.96	0.87	0.77	0.70	0.60	0.47	0.30

Tipacamú y Domínguez (1992) obtuvieron los FRAs también para una duración de 24 horas en dos cuencas del río Grijalva, en México. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Factores de Reducción Areal para dos cuencas del río Grijalva, México (Tipacamú y Domínguez, 1992)

Cuenca	Area (km ²)	FRA
Chicoasén	8,126	0.48
Copainalá	2,725	0.64

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Para la zona del Valle de México, Franco y Domínguez (1998) obtuvieron los factores, para una duración de 24 h, indicados en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Factores de Reducción Areal obtenidos para el Valle de México (Franco y Domínguez, 1998)

Area (km ²)	1	10	20	50	100	200	500	1,000
FRA	1.00	0.98	0.96	0.92	0.88	0.82	0.70	0.62

Para la cuenca del alto río Grijalva (Figura 2.6), en el sureste de México, Guichard y Domínguez (1998) obtuvieron factores de reducción areal. Considerando un total de 71 estaciones pluviométricas de las cuales, en 42 pudo formarse el registro simultáneo para el período de 1965-1983 (19 años).

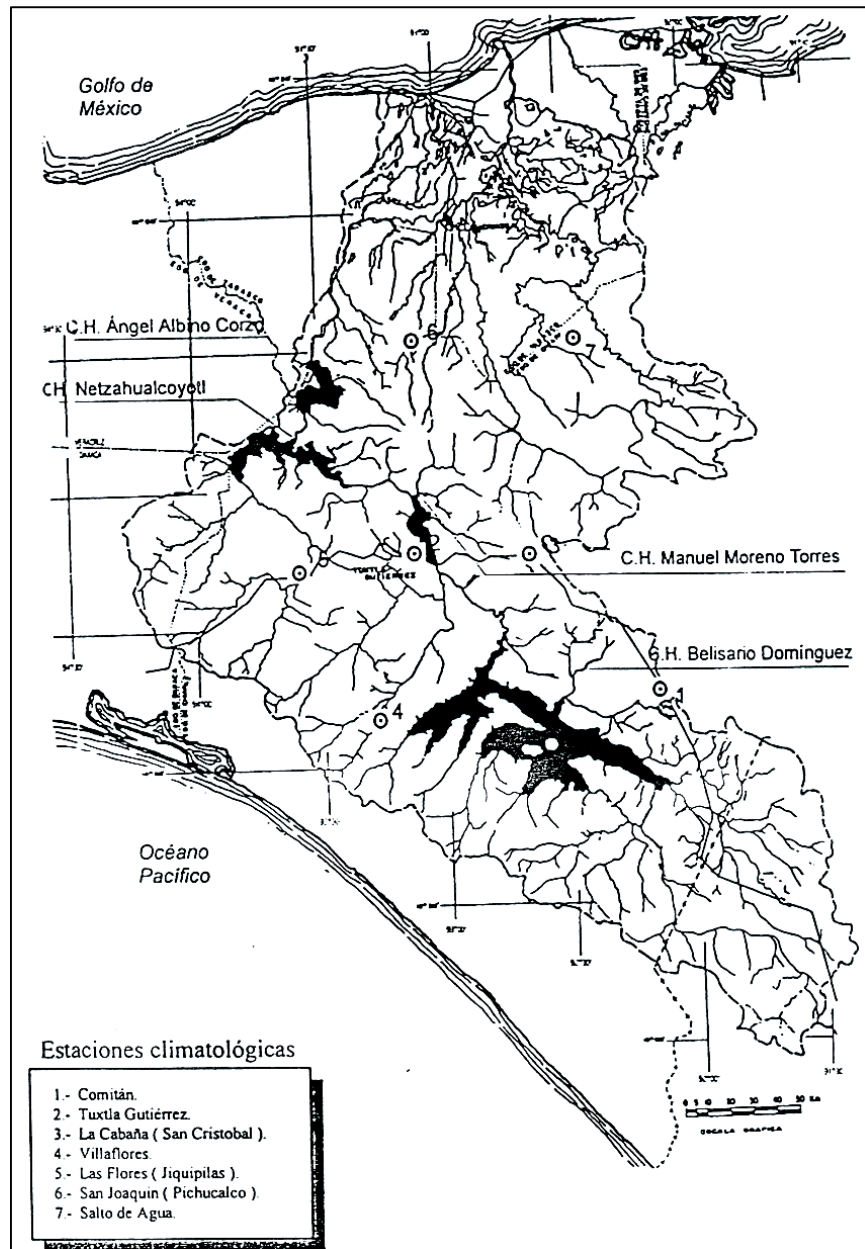


Figura 2.6 Cuenca del río Grijalva, México (Guichard y Domínguez, 1988)

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Para estudiar el efecto de simultaneidad consideraron diversas áreas dentro de la región de estudio en un intervalo de 400 a 30,000 km². Para cada una de estas áreas se obtuvieron FRAs para diversos períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) empleando el método de Análisis de Frecuencias, la metodología se describe en el subcapítulo 3. En la Tabla 2.5 se muestran los resultados obtenidos para la cuenca alta del río Grijalva.

Tabla 2.5 Factores de Reducción Areal obtenidos para la cuenca alta del río Grijalva (Guichard y Domínguez, 1998)

FRA Área (km ²)	Periodo de Retorno (años)							\overline{FRA}
	2	5	10	25	50	100	500	
941	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.72
1,346	0.81	0.73	0.72	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74
1,792	0.77	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.71	0.73
1,810	0.77	0.82	0.85	0.87	0.88	0.89	0.91	0.86
2,101	0.8	0.68	0.64	0.6	0.58	0.57	0.54	0.63
2,387	0.69	0.65	0.64	0.62	0.61	0.61	0.59	0.63
2,444	0.8	0.77	0.76	0.76	0.75	0.75	0.74	0.76
2,632	0.61	0.53	0.5	0.46	0.45	0.43	0.4	0.48
3,151	0.55	0.48	0.45	0.42	0.4	0.39	0.36	0.44
4,123	0.59	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.62
4,162	0.76	0.74	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71	0.73
5,610	0.67	0.62	0.6	0.57	0.56	0.55	0.53	0.59
2,622	0.63	0.61	0.6	0.59	0.59	0.58	0.57	0.60
5,740	0.56	0.51	0.49	0.47	0.45	0.44	0.43	0.48
7,711	0.61	0.55	0.52	0.49	0.47	0.46	0.44	0.51
9,862	0.49	0.46	0.45	0.44	0.43	0.43	0.42	0.45
12,524	0.48	0.42	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.39
12,997	0.52	0.48	0.47	0.45	0.44	0.43	0.42	0.46
16,570	0.5	0.48	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45	0.47
20,707	0.45	0.41	0.39	0.37	0.36	0.36	0.34	0.38
30,570	0.406	0.37	0.354	0.339	0.331	0.3244	0.312	0.35

Los autores no encontraron una variación significativa entre los factores de reducción areal para distintos períodos de retorno por lo que obtuvieron los promedios respectivos como se muestra en la Tabla 2.5.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

El factor de reducción areal define la magnitud de la altura de lluvia como función del área en la que ocurre y estos factores sirven para posteriormente estimar tormentas de diseño. La relevancia de emplear este tipo de factores reside en que generalmente se desconoce la distribución de frecuencias de las precipitaciones en un área determinada.

El análisis hidrológico tradicional considera valores máximos anuales puntuales, sobrestimando los eventos de diseño por anular los efectos de la no simultaneidad de las tormentas. Este concepto de FRA permite tomar en cuenta la variabilidad espacial de las tormentas.

En la práctica, generalmente se supone que la lluvia es uniforme, al aplicar modelos hidrológicos en cuencas pequeñas. La variabilidad espacial debe tomarse en cuenta con el fin de mejorar la estimación del volumen de entrada en la cuenca. Por esta situación surge el concepto de factor de reducción areal.

Dado que las mediciones de la lluvia se hacen de manera puntual, no es de esperarse que dichas mediciones sean las mismas para toda la cuenca analizada. Por este motivo, diferentes autores; algunos mencionados anteriormente, han propuesto ecuaciones empíricas para la reducción de la precipitación en función del tipo de tormenta y de la cuenca analizada. Por medio de los FRAs, además de considerarse una forma práctica de tomar en cuenta la no simultaneidad de eventos máximos, se puede reducir la lámina de precipitación media sobre una determinada área a medida que va aumentando la misma.

El factor de reducción areal también puede calcularse según las siguientes expresiones, en función del tipo de tormenta.

- A. Tormentas de tipo convectivas y área inferior a 50 km². Woolhiser (1959), propuso la siguiente ecuación:

$$FRA = \frac{P_a}{P_p} = 1 - \frac{1.94}{P_p} A^{0.6} \quad (\text{ec. 3.1})$$

Donde,

P_a , precipitación media de la cuenca para la duración y zona de interés, en milímetros

P_p , media de los valores puntuales para la misma zona y duración, en milímetros

A , área de la cuenca en estudio, en kilómetros cuadrados

- B. Ciclones extra tropicales o borrascas atlánticas. Boyer obtuvo la siguiente expresión:

$$FRA = \frac{P_a}{P_p} = \frac{1.68}{(d/D)} \left[1 - \left\{ 1.09 \frac{d}{D} + 1 \right\} e^{-\left(1.09 \frac{d}{D}\right)} \right] \quad (\text{ec. 3.2})$$

Donde,

d , distancia al centro del ciclón

D , distancia al centro para $\frac{P_a}{P_p} = 0.50$, valor que se debe estimar

C. Egleson (1972) propuso la siguiente expresión:

$$FRA = \frac{P_a}{P_p} = 1 - e^{-1.1T^{0.25}} + e^{-1.1T-0.01A} \quad (\text{ec. 3.3})$$

Donde,

T, duración de la tormenta, en días

A, área de la cuenca, en millas cuadradas

Para el cálculo de los FRAs, en el presente trabajo se empleó un método empírico, el método de análisis de frecuencias y un método teórico desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Ambos métodos se aplicaron para los estados de Durango y Tamaulipas, los factores que se obtuvieron son del tipo de área geográfica fija.

Como se menciona en capítulos anteriores, estos factores se originan con las estadísticas de los registros de precipitaciones máximas puntuales y no de tormentas individuales. Estos factores relacionan la altura de precipitación en un punto de la cuenca con la altura de precipitación promedio del área total de la cuenca.

Algunos de los más conocidos son: US Weather Bureau, Desbordes, Bell y el método de Análisis de Frecuencias. Este último es el desarrollado en el presente trabajo.

3.1. MÉTODO EMPÍRICO-ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

El método consiste en determinar los eventos máximos medios areales y puntuales. Para ello se extraen los datos de precipitaciones diarias de las estaciones climatológicas empleadas, a fin de definir un periodo de registro común.

Para obtener la precipitación diaria simultánea, se promedian los datos diarios del periodo de registro coincidente, obteniendo un valor promedio para cada día del año. Esto debido a que los registros extremos para determinado año no corresponden a una fecha de ocurrencia simultánea.

Posteriormente, se obtienen las precipitaciones máximas anuales de los datos promedios diarios, las cuales se ajustan a una función de distribución de probabilidad, resultando precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno. Se busca que la función de distribución sea la de mejor ajuste a los registros de precipitación acumulada en 24 horas.

Finalmente, se calcula el factor de reducción areal asociado a los diferentes periodos de retorno establecidos. El FRA es el cociente del promedio de los resultados del análisis regional y los correspondientes al análisis de simultaneidad.

Al multiplicar los FRA por los valores obtenidos con el análisis regional para cada estación climatológica, se estiman las lluvias simultáneas correspondientes a cada periodo de retorno; con las que se puede alimentar a los modelos lluvia-escorrentamiento.

La metodología general requiere de la selección previa de los valores máximos anuales de precipitación, formando una serie anual. Posteriormente, se eligen los valores máximos anuales de lluvia puntual para cada estación, cuyos datos forman la segunda serie de datos anuales.

El procedimiento de cálculo es el que se detalla a continuación:

- i. De las tormentas registradas en la red de estaciones climatológicas del CLICOM y para la duración de interés; en este caso de 24 horas, se define un periodo común que será el periodo de registro coincidente de años con mayor número de datos registrados en cada estación.
- ii. Del periodo de registro coincidente se obtienen las precipitaciones diarias simultáneas, promediando los datos diarios del periodo común iniciando el 1 de enero del primer año del registro y finalizando el 31 de diciembre del último año. Se obtiene un valor promedio para cada día de cada año.
- iii. De los valores promedio diarios obtenidos anteriormente, se forma una serie de datos anuales máximos, que conforman el análisis de simultaneidad.
- iv. Con los datos obtenidos se hace un análisis estadístico, relacionando los datos con una función de distribución. Teniendo como resultado las precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno. Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa AX (Jiménez, 1996) que se ha aplicado a distintas variables hidrológicas en diversos estudios de la República Mexicana.
- v. Posteriormente, se obtienen las precipitaciones anuales máximas para cada estación y se conforman tantas series de valores máximos como estaciones se estén analizando.
- vi. Se ajustan los valores de cada estación a una función de distribución y se obtienen las precipitaciones asociadas a los mismos periodos de retorno anteriores.
- vii. Una vez que se obtuvieron los eventos de diseño por estación, se promedian todos los datos de cada periodo de retorno y con esto se obtienen los eventos de diseño promedio del análisis regional.
- viii. Finalmente, se calcula el FRA por periodo de retorno como el cociente entre los resultados del análisis de simultaneidad y los resultados del análisis regional.
- ix. Adicionalmente al análisis para el área total del estado en estudio; se generaron subregiones para observar el comportamiento de dichos factores en diferentes áreas y para los diferentes periodos de retorno.

3.2. MÉTODO TEÓRICO DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE INGENIERÍA

El método teórico considera grupos de datos generados aleatoriamente suponiendo una malla de 225 estaciones distribuidas uniformemente en el espacio y que los valores de precipitación en cada una de las estaciones son independientes entre sí.

La generación de datos se realizó considerando 225 estaciones, cada una representativa de un cuadro con área unitaria. Se generaron así, 100 años cada uno con 10 tormentas. Obteniendo valores de FRA para distintos periodos de retorno y para el valor promedio.

Los valores de los FRA teóricos se muestran en la Tabla 3.1 y en la Figura 3.1 se muestra la tendencia de dichos FRA calculados con las estaciones estadísticamente independientes, y que tienen como finalidad poder extrapolarlos a diferentes regiones.

Para aplicar los resultados a una cuenca determinada se requiere conocer la distancia que se requiere para que las lluvias máximas entre dos estaciones puedan considerarse independientes, de

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

tal manera que el método utiliza como parámetro el área que se asigna a cada estación (que puede asimilarse al cuadrado de dicha distancia) para ajustarlos a los resultados específicos de una región.

Para poder comparar los resultados obtenidos por el análisis teórico con los resultados obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias, se busca un factor de ajuste ya que, las áreas propuestas en el método teórico son área unitarias. Por lo tanto, se deben ajustar las áreas buscando que dicho factor de ajuste haga que en la medida de lo posible, se tengan líneas de tendencia similares.

Tabla 3.1 FRA para 225 estaciones estadísticamente independientes

FRA	Periodo de retorno (años)			
	5	100	1,000	Promedio
0	1	1	1	1
4	0.8	0.81	0.81	0.81
9	0.71	0.69	0.69	0.7
16	0.67	0.65	0.64	0.65
25	0.63	0.61	0.6	0.62
36	0.61	0.59	0.58	0.59
49	0.6	0.57	0.56	0.58
64	0.58	0.55	0.53	0.56
81	0.58	0.54	0.52	0.55
100	0.57	0.53	0.51	0.54
121	0.56	0.53	0.51	0.53
144	0.56	0.52	0.51	0.53
169	0.56	0.52	0.5	0.53
196	0.55	0.52	0.5	0.52
225	0.55	0.51	0.49	0.52

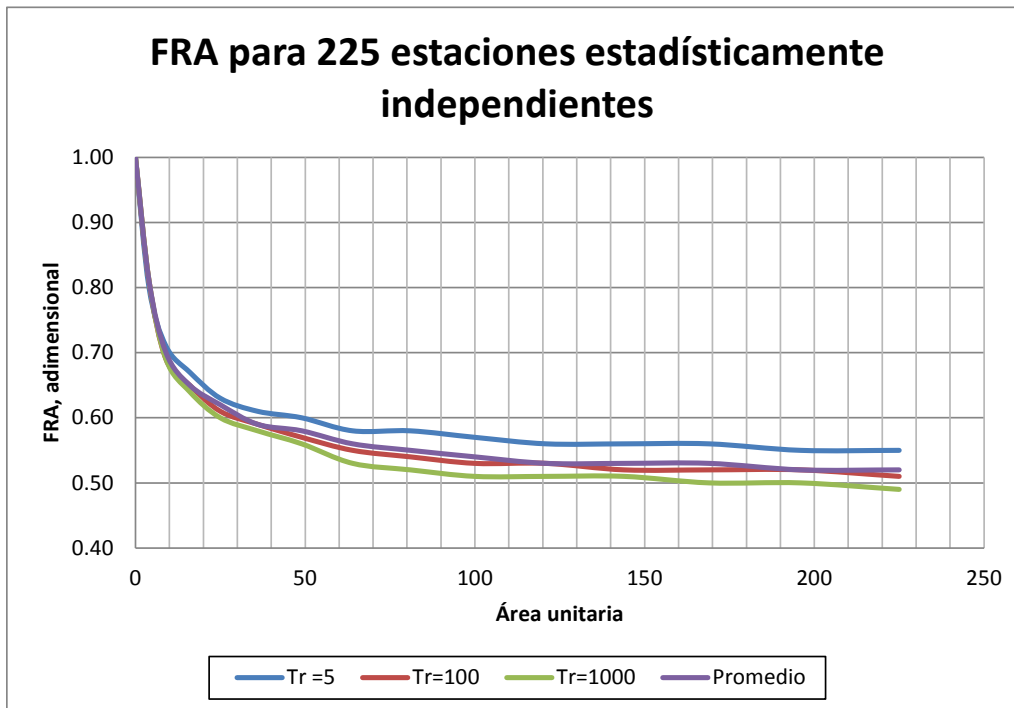


Figura 3.1 FRA para 225 estaciones estadísticamente independientes

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Para estudiar el comportamiento de los FRA se consideraron diversas áreas dentro de las regiones estudiadas. Se aplican primero los métodos empírico y teórico para toda la región o área total de cada estado; obteniendo FRAs para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años.

En la hidrología se ha introducido el concepto de periodo de retorno, T_r , para representar la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrológico. El periodo de retorno T_r , expresado en años, se define como el número promedio de años en que un evento puede ser igualado o excedido.

La probabilidad de que un evento hidrológico, con un periodo de retorno T_r , ocurra en cualquier año es igual a:

$$P = \frac{1}{T_r} \quad (\text{ec. 4.1})$$

En el caso específico de una serie de eventos máximos anuales, ya sean gastos o lluvias, el periodo de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado a partir de la fórmula de Weibull. Donde m es el número de orden y n es el número total de años de registro.

$$T_r = \frac{n+1}{m} \quad (\text{ec. 4.2})$$

Posteriormente, se aplica la misma metodología, ahora para áreas más pequeñas dentro de cada zona de estudio; esto para observar el comportamiento de dichos factores una vez que se varía el área y el periodo de retorno. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con factores calculados para diferentes áreas geográficas.

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS

Por la complejidad de los procesos físicos que dan lugar a los diversos eventos meteorológicos, como la lluvia, no suele ser factible realizar una estimación de tales eventos mediante métodos basados en las leyes de la física; bien porque estos métodos son insuficientes, o bien porque el modelo matemático resultante sería demasiado grande, complicado y difícil de manejar (Aparicio, 2007).

La hidrología utiliza métodos probabilísticos y estadísticos para facilitar la interpretación y evaluación de los datos disponibles. En estadística, se considera a un registro de datos hidrológicos como una muestra del comportamiento del fenómeno en estudio, mientras que el conjunto de todos los posibles registros bajo ciertas condiciones se denomina población. El proceso de observación o de registro se conoce como experimento, y las respuestas obtenidas de éste, resultados.

En hidrología, estos resultados tienen una descripción numérica y se denominan variables aleatorias, las cuales pueden ser discretas o continuas. Las alturas de lluvia son variables aleatorias continuas (Springall, 1986).

Springall (1986) se basa en lo anterior para afirmar que cualquier registro de datos hidrológicos representa sólo una muestra de estos, y nunca es posible contar con la población de datos, pues están ligados a fenómenos naturales cuyos resultados varían continuamente.

Por lo tanto, con frecuencia es necesario extrapolar los datos disponibles, a fin de obtener los valores correspondientes a un determinado periodo de retorno. Tal periodo de retorno puede llegar a ser mucho mayor que el número de años de registro, debido a lo cual se emplean funciones de distribución de probabilidad para determinar su valor asociado.

En otras palabras, al graficar los datos disponibles respecto a sus correspondientes periodos de retorno, se puede observar que siguen una tendencia, la cual es necesario extender hasta el periodo de retorno deseado. Esto se logra con una confiabilidad aceptable mediante un análisis de frecuencia, es decir, la aplicación de funciones de distribución de probabilidad.

Mediante las distribuciones de probabilidad se puede representar la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Al ajustar un conjunto de datos hidrológicos a una distribución, una gran cantidad de información probabilística en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados (Chow, 1994).

En estadística existe un gran número de funciones de distribución de probabilidad teóricas; sin embargo, no es posible probar cada una de ellas al analizar un registro de datos hidrológicos, por lo que es necesario escoger las que mejor se adapten al problema bajo análisis.

Algunas de las funciones de probabilidad utilizadas en hidrología son:

- Normal
- Log-Normal de dos parámetros
- Log-Normal de tres parámetros
- Exponencial
- Gamma de dos parámetros
- Gamma de tres parámetros (Pearson tipo III)
- General de Valores Extremos I (Gumbel)
- Gumbel de dos poblaciones

Aparicio (2007) indica que las funciones Normal y Log normal, en general, son apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento. Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, es decir, para evaluar mínimos y máximos de un experimento. Las funciones Gamma ocupan un lugar intermedio entre las primeras y éstas últimas.

Es posible que en algunos lugares los gastos máximos anuales pertenezcan a dos poblaciones diferentes: una producida por las precipitaciones generadas por los fenómenos meteorológicos dominantes en la región, y otra derivada de las precipitaciones ciclónicas; los valores de la segunda población suelen ser mayores que los primeros. En estos casos, se suele utilizar la función doble Gumbel.

De las distintas funciones de distribución de probabilidad mencionadas, se eligió para el desarrollo del presente estudio la función Gumbel y doble Gumbel, ya que por las zonas analizadas, son las funciones que mejor se ajustan a los datos de precipitación. En la Tabla 4.1 se muestran ambas funciones de distribución de probabilidad.

Tabla 4.1 Funciones de distribución de probabilidad Gumbel y doble Gumbel

NOMBRE	FUNCION	PARAMETROS
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-t}}$ Donde $t = \alpha(x - \beta)$	α : parámetro de forma β : parámetro de escala
DOBLE GUMBEL	$F(x) = p \left[e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right] + \left[(1-p)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right]$	α_1 : Parámetro de forma de la 1ª. población β_1 : Parámetro de escala de la 1ª. población α_2 : Parámetro de forma de la 2ª. población β_2 : Parámetro de escala de la 2ª. Población p : parámetro de asociación

Ruiz (2002) señala que se requiere un método de estimación de parámetros que permita relacionar la información muestral con la poblacional, o sea, una muestra de registros climatológicos con una distribución de probabilidad.

Después de describir los modelos, es importante estimar los parámetros poblacionales. Para ello existen diferentes técnicas, como el método de los momentos, método de máxima verosimilitud, método de momentos de probabilidad pesada, método de los mínimos cuadrados, método de los momentos L y el método del principio de máxima entropía (Escalante, 2002).

Los principales métodos de estimación de parámetros son:

- **Momentos.** Es un procedimiento sencillo para encontrar un estimador de uno o más parámetros poblacionales. Consiste en plantear un sistema de ecuaciones, cuyo tamaño depende del número de parámetros a estimar, esto se hace al igualar los momentos poblacionales con los muestrales (Jiménez et al., 1997).
- **Máxima verosimilitud.** Como su nombre lo indica, el método de máxima verosimilitud busca maximizar la función de verosimilitud $L(x)$ para encontrar el mejor ajuste de cada función de probabilidad (Jiménez et al., 1997).
Supone que el mejor parámetro de una función debe ser aquel que maximiza la probabilidad de ocurrencia de la muestra observada
- **Momentos L.** Los momentos L son análogos a los momentos convencionales; sin embargo, tienen cierta ventaja sobre ellos, ya que son capaces de caracterizar a un mayor número de distribuciones, además de estar virtualmente libres de sesgo aún para muestras pequeñas (Hosking, 1990 citado por Escalante, 2002).
Se tienen cuatro estimadores, donde el primer momento es la media, el segundo es una descripción de escala basada en la diferencia esperada entre dos observaciones seleccionadas de forma aleatoria, el sesgo es el tercer momento y la curtosis el cuarto momento.

En la Tabla 4.2 se describen las ecuaciones que deben resolverse para encontrar el ajuste a la función Gumbel, primero se presentan las ecuaciones correspondientes a los métodos de momentos y máxima verosimilitud (Domínguez et al., 1992) y en seguida se presentan las correspondientes al método de momentos L (Escalante, 2002).

Tabla 4.2 Métodos de estimación de parámetros más comunes

METODO	ECUACIONES
MOMENTOS	$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} desv$ $\beta = media - (0.45 * desv)$
MAXIMA VEROSIMILITUD	$\sum_{i=1}^N x_i e^{-\alpha x_i} - \left(media - \frac{1}{\alpha} \right) \sum_{i=1}^N e^{-\alpha x_i} = 0$ $\beta = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{N}{\sum_{i=1}^N e^{-\alpha x_i}} \right)$
MOMENTOS L	$\alpha = \lambda_1 - 0.577216\beta$ $\beta = \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$ <p style="text-align: center;"><i>donde</i></p> $\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $\lambda_2 = 2 \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} x_i (n-i) \right] - \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right]^2$

4.2. PROGRAMA DE AJUSTE DE FUNCIONES AX

Para realizar el análisis estadístico individual, asociando a los registros de la base de datos del CLICOM una función de distribución de probabilidad se empleó el Programa de Ajuste de Funciones AX elaborado por el CENAPRED y se obtuvieron los eventos para determinados periodos de retorno.

Este programa calcula el error estándar de cada una de las funciones de ajuste con respecto a la muestra, también estima la mejor función de ajuste con sus parámetros. Las funciones de probabilidad que se contemplaron en el empleo de este programa son, la Normal, Log normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y doble Gumbel.

Los métodos de estimación de parámetros que emplea son el método de momentos y el de máxima verosimilitud. Además, las funciones Log normal y Gamma pueden calcularse para dos o tres parámetros. Asimismo, al realizar el ajuste de las funciones, el programa indica cual es el error cuadrático generado.

Después de introducir los datos, se puede elegir cualquiera de las siguientes opciones:

- Cálculo global. Ajusta la muestra de datos a todas las funciones de probabilidad mencionadas y muestra una tabla con el error cuadrático de cada una, resaltando el error mínimo y la función de probabilidad que lo genera.
- Cálculo individual. Permite ajustar una determinada función de probabilidad, muestra los resultados en una tabla, y los datos se pueden interpolar y extrapolar para cualquier periodo de retorno deseado.

La información sobre el funcionamiento del programa se puede consultar en el manual de operación, elaborado por Jiménez (1992).

4.3. REGIONES DE ESTUDIO

La información pluviométrica se obtuvo de la base de datos del CLICOM a cargo del Sistema Meteorológico Nacional. El Instituto de Ingeniería desarrolló un programa para poder extraer la información de manera sencilla y rápida y a su vez, poder procesar la información pluviométrica por estaciones.

En el informe interno de Regionalización de datos de precipitación de las regiones hidrológicas de México (2013), elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM; se plantea una manera para agrupar las estaciones climatológicas en nuevas regiones de estudio.

Inicialmente, se agruparon las estaciones climatológicas por Estado y se establecieron los siguientes criterios para definir la inclusión de las estaciones en el estudio.

- Estaciones con al menos 20 años de registro
- Estaciones que efectivamente contaran con información completa para los 20 años
- Registros completos particularmente en la temporada de lluvias en el periodo comprendido entre los meses de mayo a octubre
- Se puso especial atención en las temporadas de lluvia para la zona centro y sur del país. En el norte se emplearon años completos, por la presencia de lluvias intensas en época invernal y la posible influencia de ciclones
- Registros máximos constatados con eventos extraordinarios registrados en la región de estudio. En caso de que no se tuvieran datos durante 5 o más días en esta época, el año en cuestión no se tomó en cuenta ya que podría alterar el análisis

En el estudio se realizó un análisis regional para evitar inconsistencias en los resultados, sobre todo en los correspondientes a periodos de retorno grandes o los de estaciones aisladas. El análisis regional busca aprovechar que en una zona determinada y para un cierto tipo de datos (en este caso las precipitaciones máximas anuales) existan características estadísticas comunes.

Por lo tanto, se hicieron transformaciones lineales para obtener muestras transformadas cuyos parámetros estadísticos (media y coeficiente de variación) se pudieran considerar dentro de la misma población. Para verificar que las muestras transformadas pertenecían a la misma población se comprobó mediante semejanzas geográficas como la cercanía, exposición directa o no al ingreso de humedad desde el mar, posición respecto a las barreras orográficas, etc.

Finalmente, se hizo una verificación estadística a través de la prueba de Fisher; con la cual se compararon las variancias de las muestras transformadas. Se definieron regiones tal que, al considerarlas todas como de la misma población la muestra resultante fuera muy grande y entonces las extrapolaciones a periodos de retorno grandes pudieran ser confiables. Al limitar el tamaño de cada región se obtuvo mayor confiabilidad en la hipótesis inicial de homogeneidad.

En la Figura 4.1 se muestran las estaciones de la República Mexicana procesadas entre el año 2005 y 2010, empleadas para el estudio de Regionalización, 2013 y en la Tabla 4.3 se especifica el número de estaciones empleadas en los estados que conciernen a los estudiados en el presente trabajo.

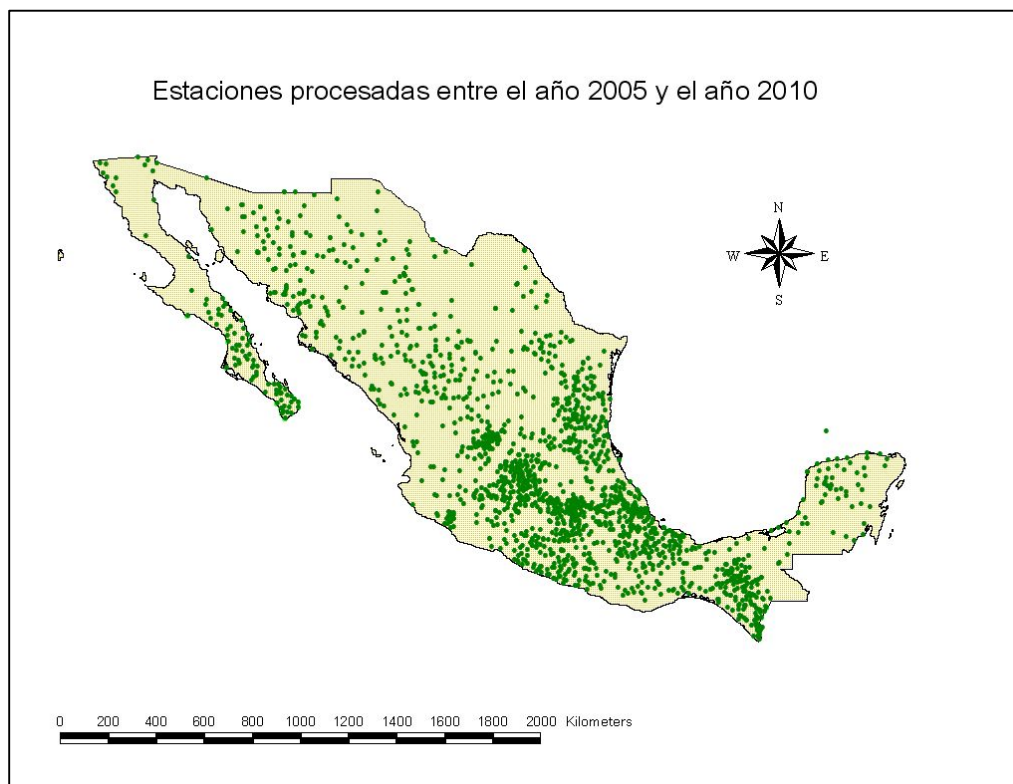


Figura 4.1 Estaciones procesadas entre 2005 y 2010 para el estudio de Regionalización, 2013

Tabla 4.3 Estaciones hasta el 2010 para Durango y Tamaulipas. Estudio de Regionalización, 2013

Entidad Federativa	No. Estaciones al 2010
Durango	83
Tamaulipas	109

De acuerdo con los criterios anteriores, en cada uno de los estados de la República se definió el número de regiones indicadas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Número de regiones generadas por entidad federativa

Entidad Federativa	No. de regiones	Entidad Federativa	No. de regiones
Aguascalientes	1	Morelos	1
Baja California Norte	1	Nayarit	2
Baja California Sur	1	Nuevo León	3
Campeche	1	Oaxaca	4
Chiapas	9	Puebla	3
Chihuahua	2	Querétaro	2
Coahuila	1	Quintana Roo	1
Colima	1	San Luis	1
Distrito Federal	1	Sinaloa	2
Durango	1	Sonora	3

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Estado de México	1	Tabasco	1
Guanajuato	1	Tamaulipas	3
Guerrero	3	Tlaxcala	1
Hidalgo	2	Veracruz	1
Jalisco	2	Yucatán	1
Michoacán	1	Zacatecas	2

En la Figura 4.2 se muestran las regiones formadas después del análisis. Se resalta el hecho de que en la mayoría de las zonas costeras, se tiene un comportamiento distinto, hasta encontrarse con la zona montañosa lo cual se dio origen a regiones en la planicie.

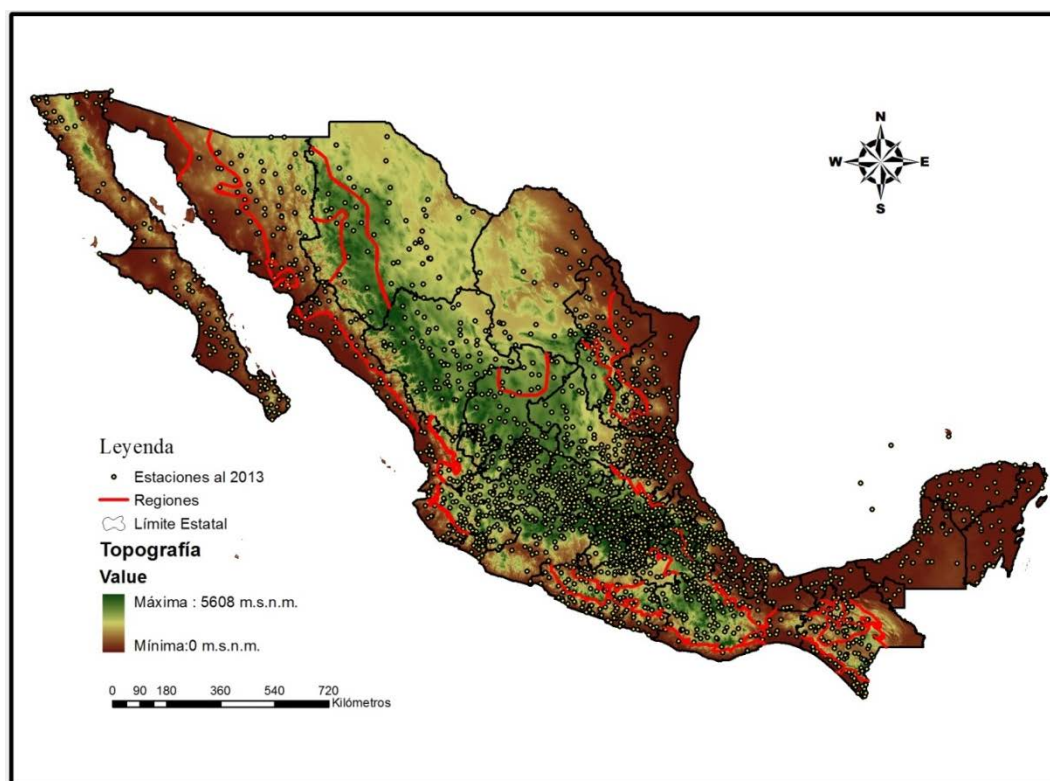


Figura 4.2 Regiones formadas para el estudio de Regionalización, 2013

Se observa en la Figura 4.2 que en el estado de Durango, únicamente se forma una región para todo el estado. Por lo tanto, el estado completo se analizó con sus 83 estaciones climatológicas. Mientras que para el estado de Tamaulipas se generaron 3 regiones, para el presente estudio se analizó únicamente la zona de mayor superficie, la zona 1, con 81 estaciones.

En la Figura 4.3 se observa la distribución de las estaciones climatológicas empleadas para el análisis en el estado de Durango y en la Figura 4.4 se muestra la distribución de las estaciones en el estado de Tamaulipas para la zona 1.

En el anexo A se indican las coordenadas y nombres de las estaciones climatológicas analizadas para ambos estados.

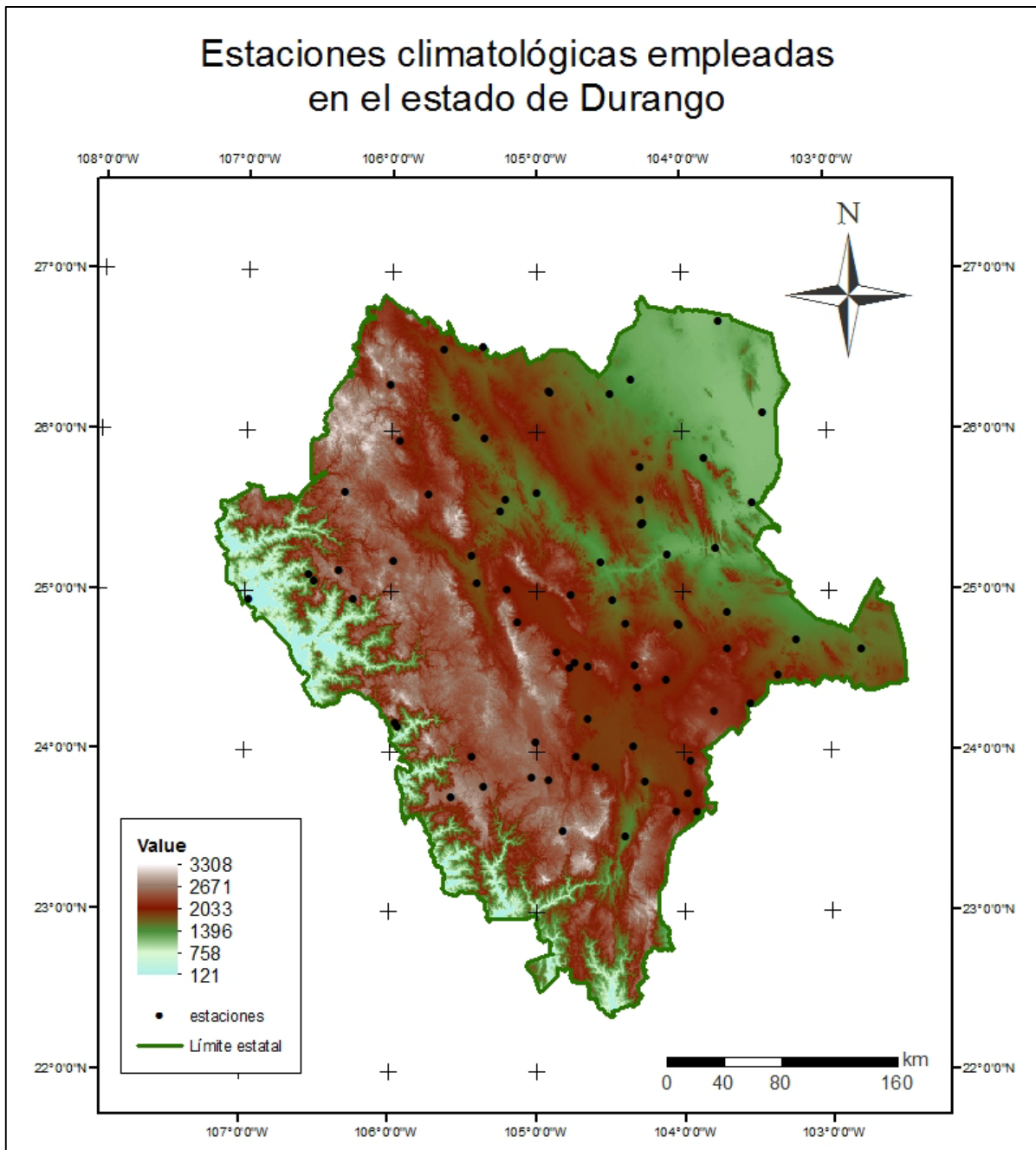


Figura 4.3 Distribución de las estaciones climatológicas empleadas para el estado de Durango

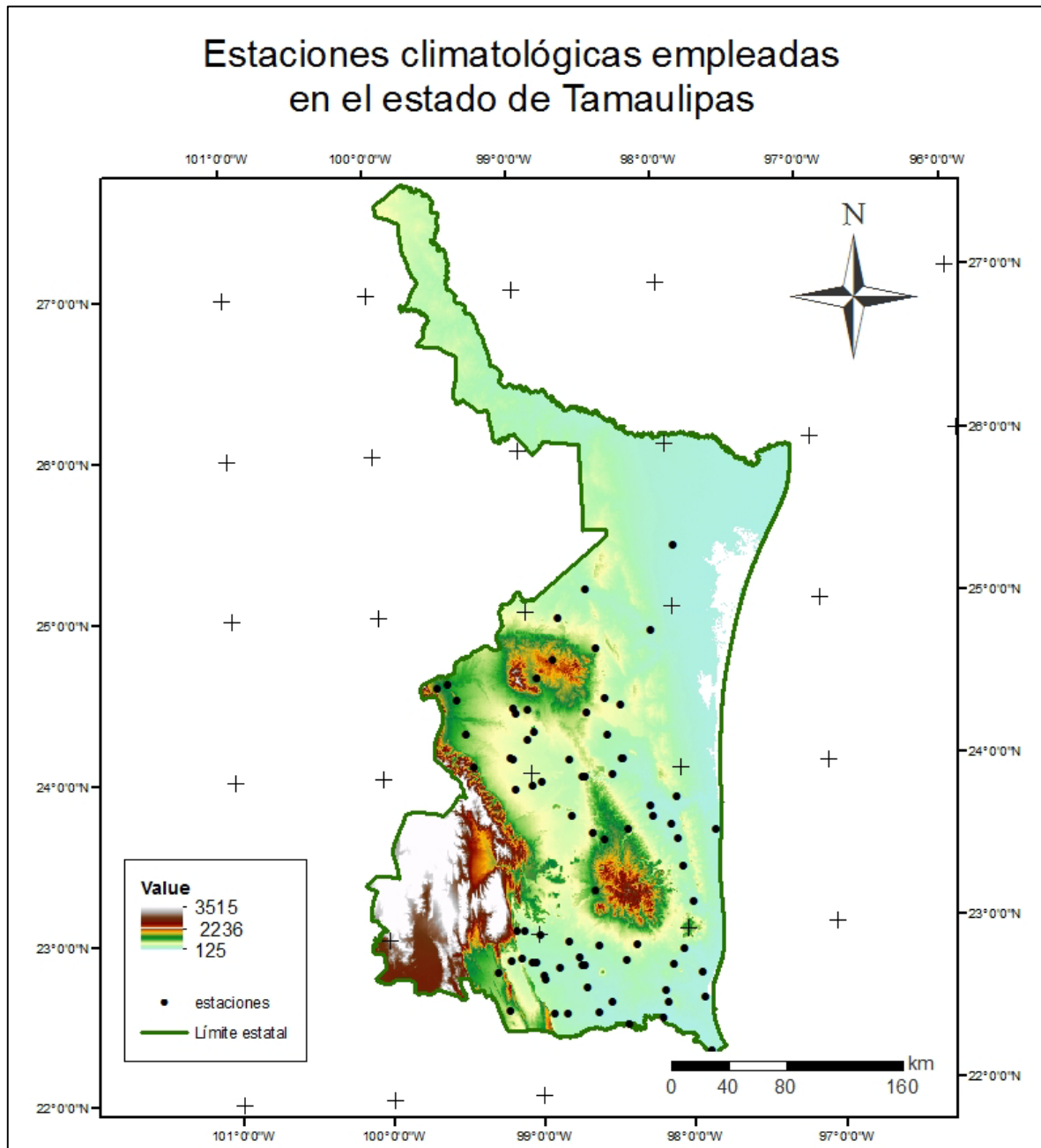


Figura 4.4 Distribución de las estaciones climatológicas empleadas para el estado de Tamaulipas, zona 1

4.4. LOCALIZACIÓN, CARACTERÍSTICAS E HIDROGRAFÍA

➤ *Durango*

El estado de Durango se localiza en la zona noroeste de la República Mexicana como se observa en la Figura 4.5, colinda al norte con Chihuahua y Coahuila de Zaragoza; al este con Coahuila de Zaragoza y Zacatecas, al sur con Zacatecas, Nayarit y Sinaloa; al Oeste con Sinaloa y Chihuahua.

Abarca una superficie de aproximadamente 123,181 km² que corresponde al 6.3% de la superficie total del país. La altitud promedio es de 1,775 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas geográficas extremas son: al norte 26°48' y al sur 22°19', de latitud norte; al este 102°28' y al oeste 107°11' de longitud oeste (INEGI, 2004).

El aspecto físico de la superficie está definido por la Sierra Madre Occidental, Sierras y Llanuras del Norte, la Sierra Madre Oriental y la Mesa del Centro. La principal elevación geográfica en el estado de Durango es el cerro Gordo con una altitud máxima de 3,340 msnm.

Uno de los factores determinantes para la distribución de los climas del estado de Durango parece ser la barrera constituida por la Sierra Madre Occidental, que detiene los vientos húmedos, presentando en la región de las Quebradas un clima marítimo, semitropical, con temperaturas generalmente altas, más o menos uniforme durante el año, abundante precipitación pluvial y alta humedad atmosférica. La precipitación media es de 800 mm y la temperatura promedio es de 16 °C.

A excepción de la región citada, la mayor parte de la sierra, por su altitud, tiene un clima semihúmedo, templado o semifrío, que se vuelve templado y semiseco en el lado oriental de la sierra y en buena parte de la franja central del estado, para pasar a ser semiárido y semiseco al oriente de los valles y francamente seco en la parte oriente del estado, donde es muy extremo, de tipo continental, con sólo pequeños manchones de clima templado en las sierras aisladas.

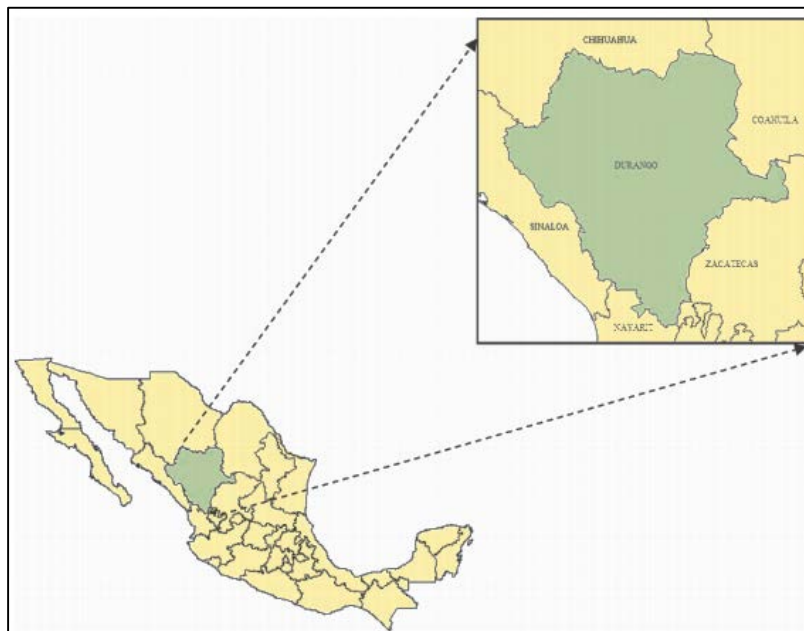


Figura 4.5 Ubicación geográfica del estado de Durango y estados colindantes

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

La hidrografía está representada por las corrientes principales de los ríos Nazas, Aguanaval, Baluarte, Mezquital, Aconeta, Tepehuanes, Ojo Caliente, Tamazula y otras corrientes secundarias o afluentes de éstos, que forman parte de la vertiente del Pacífico. Presentan en su mayoría drenaje de tipo dendrítico y régimen perenne. Sobre las corrientes principales se ubican los aprovechamientos siguientes: presas Francisco Zarco, Lázaro Cárdenas (El Palmito), Peña de Águila, San Bartoleo y la Guadalupe Victoria, todas ellas para riego y uso piscícola.

Dentro del estado existen siete regiones hidrológicas en función de su red hidrográfica y su orografía. La mayoría de los ríos del estado de Durango, aunque nacen dentro del territorio del propio estado, desembocan en el mar o en lagunas o presas localizadas en otras entidades.

En la Figura 4.6 se muestran los ríos y las cuencas hidrológicas del estado de Durango y en la Tabla 4.5 se enlistan los nombres de las cuencas hidrológicas.

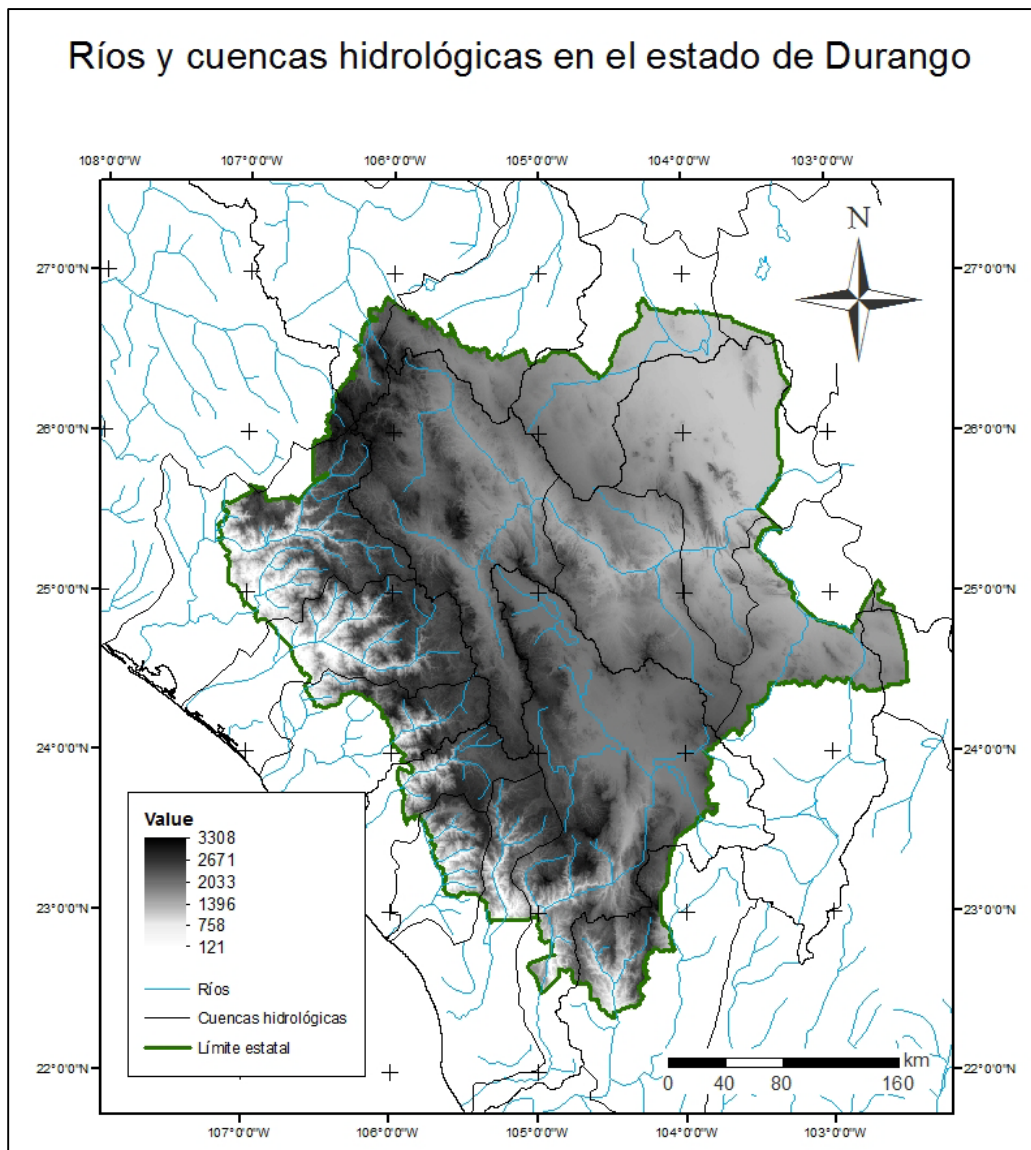


Figura 4.6 Ríos y cuencas hidrológicas del estado de Durango

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Tabla 4.5 Cuencas hidrológicas del estado de Durango

Clave	Nombre de la cuenca	Clave	Nombre de la cuenca
10D01	Río Culiacán	11B01	Lago de Santiaguillo
10A03	Río Fuerte	11B02	Río San Pedro
10B01	Río Sinaloa	12E01	Río Santiago
10E01	Río San Lorenzo	24A01	Río Bravo
37A01	Lago La Mancha	35A03	Bolsón de Mapimí
10E02	Río Elota	35A07	Arroyo La Vega
10E03	Río Piaxtla	35A10	Lago El Rey
11A01	Río Presidio	35A13	Arroyo Las Vegas
11A02	Río Baluarte	36A01	Río Nazas
11A04	Río Acaponeta		

➤ *Tamaulipas*

El estado de Tamaulipas se localiza en la zona noreste de la República Mexicana como se observa en la Figura 4.7, colinda al oeste con el estado de Nuevo León, al este con el golfo de México, al sur con los estados de Veracruz y San Luis Potosí y al norte comparte una larga frontera con el estado Norteamericano de Texas.

Abarca una superficie aproximada de 79,384 km². La longitud de su costa es de 439 km y la de su frontera es de 400 km. Sus coordenadas geográficas extremas son: entre los paralelos 22°12'31" y 27°40'42", latitud norte; y entre los meridianos 97°08'38" y 100°08'51" latitud oeste.

Gran parte de la Sierra Madre Oriental que penetra al sur de Tamaulipas por el lindero de San Luis Potosí cruza un sector del estado con dirección del sureste-noroeste, conformándose por diversas cadenas de montañas, entre las que destacan las sierras de Tanchipa, Cucharas, Nicolás Pérez, Chamal, La Colmena y Tula.

El extremo oriental de la Sierra Madre alcanza trescientos veinte metros de altura, con destacados ramales como la sierra de los Ángeles y los cerros de San Fernando y la Joya. Son importantes también en la parte central de la entidad los cañones de Jaumave, Juan Capitán, El Novillo y Caballeros.

Las principales elevaciones geográficas en el estado de Tamaulipas son el Cerro del Borrado a 3,533 metros sobre el nivel del mar y el cerro de Peña Nevada a 3,644 msnm, este último ubicado en el límite con Nuevo León.

Al dominar el suroeste de Tamaulipas, la Sierra Madre enriquece las cuencas de los ríos Tamesí y Soto la Marina con su "sombra pluvial", fenómeno meteorológico en que las fajas montañosas recogen la humedad proveniente del Golfo de México, propiciando abundantes lluvias que favorecen ampliamente la agricultura estatal.

Los principales sistemas montañosos de estado son: la Sierra Madre Oriental, Sierra de San Carlos, Sierra de Tamaulipas, Sierra de Pamoranés y la Sierra de San José de las Rusisas.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

El estado es atravesado por el Trópico de Cáncer al sur de la capital, Ciudad Victoria. Por lo tanto, el clima varía de acuerdo a la zona y principalmente según tres elementos geográficos fundamentales: la latitud, su vecindad con el Golfo de México y la altitud.

En las zonas centro y norte de la entidad prevalece un clima cálido con lluvias escasas; al sur se registra una temperatura más elevada y húmeda (el Trópico de Cáncer se constituye como referencia divisoria). Siguiendo una línea paralela a la Costa del Golfo de México, la presencia de la Sierra Madre Oriental impide en cierta medida que los vientos húmedos lleguen hacia los altiplanos del sureste, ocasionando un clima seco; las diferentes altitudes de la sierra determinan la temperatura cálida en la costa así como un clima templado en el sureste.

Durante el verano, la cercanía del mar da lugar a vientos húmedos y ciclones que provocan la precipitación de gran parte de las lluvias anuales; en invierno, las masas de aire polar o “nortes” causan una alta humedad y lluvias que afectan las partes centro y norte del Estado. La precipitación anual promedio es de 891 mm y la humedad relativa promedio es de 67,5 %.

Con base en las anteriores consideraciones, Tamaulipas cuenta con tres zonas climáticas: Centro-Norte, climas semisecos y semicálidos con lluvias escasas todo el año; Sur-Sureste, climas cálidos sub-húmedos y húmedos con lluvias en verano; y Sierra Madre, clima cálido hasta templado según la altitud y húmedo a seco de este a oeste.



Figura 4.7 Ubicación geográfica del estado de Tamaulipas y estados colindantes

La hidrografía está representada por sus principales ríos que son el río Bravo, el río San Juan, el río Conchos o San Fernando, el río Purificación o Soto la Marina, el río Guayalejo o Tamesí, el río Pánuco, el río Corona, el río Pílon y el río Salado; los cuales fluyen de poniente a oriente y desembocan en el golfo de México.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

El crecimiento de los caudales en estos afluentes se debe a la influencia de los ciclones que eventualmente transitan por el Golfo dando lugar a intensos aguaceros (la entidad se ubica en una región ciclónica). La hidrografía estatal cuenta con aspectos sobresalientes tanto por el considerable caudal y número de sus ríos y arroyos como por la riqueza de sus cuencas.

Sobre las corrientes principales se ubican los aprovechamientos siguientes: presas Internacional Falcón, Marte R. Gómez y Vicente Guerrero.

Dentro del estado existen diferentes regiones hidrológicas en función de la red hidrográfica y su orografía; éstas son: la región del Bravo, comprende toda el área norte hasta los alrededores de la Laguna Madre. Es de suma importancia ya que alberga al Río Bravo; la región de San Fernando Soto la Marina, abarca la parte central del Estado y una porción sureste. En ella se registra la totalidad de los escurrimientos que van a dar al Golfo de México, situados entre las cuencas de los ríos Panuco y Bravo; la región del Pánuco, incluye segmentos de los Estados de San Luis Potosí, Querétaro e Hidalgo y la región de El Salado, Cubre una pequeña porción del suroeste del Estado a la altura del Trópico de Cáncer, el cual se sitúa treinta kilómetros al sur de Ciudad Victoria.

En la Figura 4.8 se muestran los ríos y las cuencas hidrológicas del estado de Tamaulipas y en la Tabla 4.6 se enlistan los nombres de las cuencas hidrológicas.

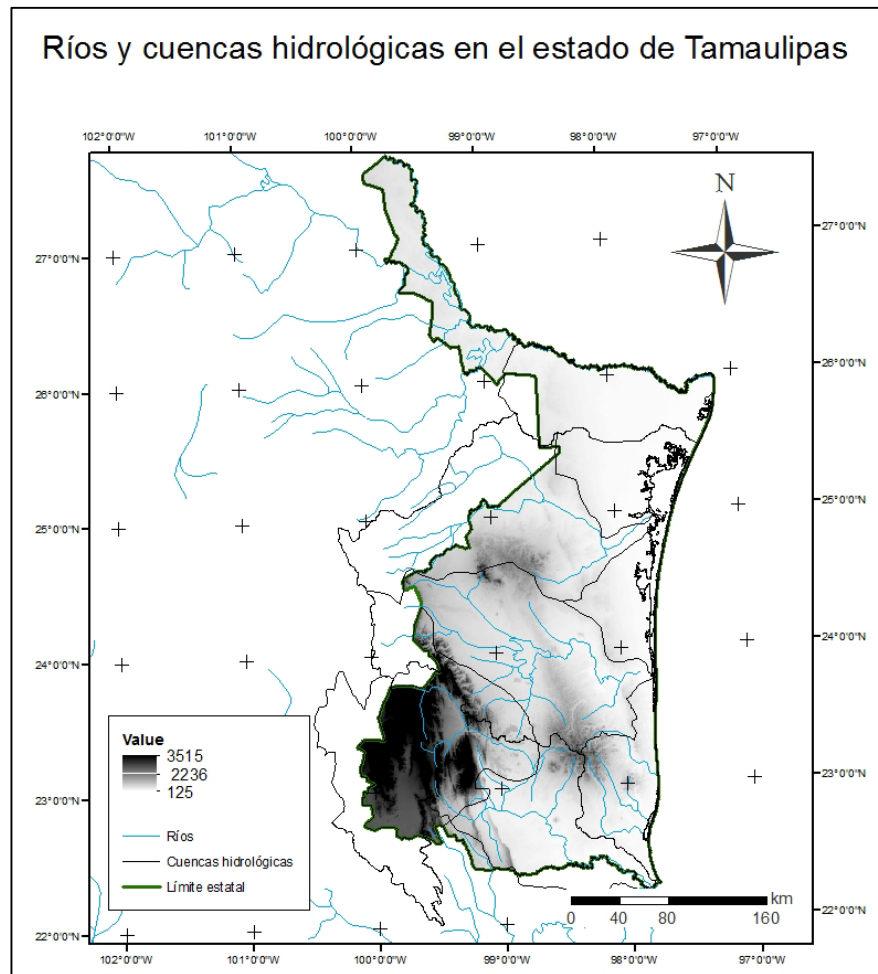


Figura 4.8 Ríos y cuencas hidrológicas del estado de Tamaulipas

Tabla 4.6 Cuencas hidrológicas del estado de Tamaulipas

Clave	Nombre de la cuenca	Clave	Nombre de la cuenca
37A22	La Lagunita	25B01	Río Soto la Marina
24A01	Río Bravo	25B02	Arroyo El Cuate
25A01	Laguna Honda	25B03	Río Las Coloradas
25A02	Río Conchos-Chorreras	25B04	Río San Vicente
25A03	Río El Perro	25B05	Río Carrizal
25A04	Río Lavaderos	25B06	Estero Paso de la Harina
25A05	Arroyo El Catán	25B07	Río Tigre
25A06	Arroyo Olivares	25B08	Río Barberena
25A07	Río El Carrizo	26A01	Río Pánuco
25A08	Arroyo La Pelusa	37A18	Arroyo El Lobo
25A09	Río El Caracol	37A19	Arroyo El Rayo del Puerto

4.5. RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Debido a la extensión y a la amplia cantidad de información empleada en el presente trabajo, sólo se muestra a continuación la metodología general descrita anteriormente para el estado de Durango y en casos muy específicos se describirán a detalle las consideraciones adoptadas para el estado de Tamaulipas.

La información disponible fue extraída de la base de datos climatológica, CLICOM, con registros diarios de precipitación en 24 horas. La recopilación de información para cada estado está conformada por registros anuales diarios para cada estación dentro de la región de interés.

Inicialmente, se realizó una depuración de las estaciones con poca o nula información para tratar de uniformizar los registros. Por lo tanto, se examinaron los registros completos y se eligieron los años que contaran con al menos 38 estaciones.

Posteriormente, se estableció un periodo de registro común; en el que se contaba con la mayor información posible registrada. En la Tabla 4.7 se muestra el número de estaciones para cada uno de los años comprendidos en el periodo común.

Finalmente, el periodo común de registro para el análisis del estado de Durango fue del año 1964 al 2007, contando con 44 años de registro y 83 estaciones climatológicas. Y para el estado de Tamaulipas (zona 1) del año 1967 al 2007, quitando los años de 1969 y 2003 por tener escasa información; lo que conforma un registro de 41 años y 81 estaciones.

NOTA: Algunas de las estaciones, actualmente se encuentran suspendidas (revisar anexo A).

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Tabla 4.7 Número de estaciones por año del periodo común para Durango y Tamaulipas

AÑO	# EST DGO	# EST TAM	AÑO	# EST DGO	# EST TAM
1964	47	-	1986	64	62
1965	52	-	1987	51	61
1966	53	-	1988	55	58
1967	53	38	1989	55	63
1968	54	38	1990	55	67
1969	58	36	1991	58	61
1970	63	41	1992	64	58
1971	67	42	1993	58	56
1972	67	51	1994	58	55
1973	38	55	1995	58	62
1974	55	55	1996	56	65
1975	63	58	1997	65	66
1976	63	59	1998	58	58
1977	64	61	1999	59	41
1978	72	59	2000	55	43
1979	69	63	2001	56	54
1980	74	69	2002	62	47
1981	72	75	2003	61	35
1982	72	68	2004	59	57
1983	74	73	2005	56	58
1984	74	71	2006	52	49
1985	64	59	2007	41	45

4.6. APLICACIÓN DEL MÉTODO EMPÍRICO

4.6.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS. DURANGO

En este subcapítulo se muestra el procedimiento de cálculo para obtener los factores de reducción areal por el método de análisis de frecuencias para el estado de Durango.

➤ *Análisis de simultaneidad*

El primer paso fue extraer los datos diarios de precipitación en 24 horas de cada una de las 83 estaciones para el periodo del 1 de enero de 1964 hasta el 31 de diciembre de 2007 y se obtuvieron las precipitaciones diarias simultáneas de cada año promediando mediante la media aritmética; con lo que se obtuvo un resultado final aproximado.

Cabe aclarar que, si se hubiera obtenido la precipitación areal aplicado el método de polígonos de Thiessen se habría tenido que hacer al menos para cada año o incluso mensualmente debido a la gran variación en las estaciones presentes para cada año.

El caso ideal sería que las estaciones estuvieran uniformemente distribuidas dentro de la región preferentemente con topografía suave y se tuvieran registros completos para todas las estaciones y así,

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

obtener la precipitación areal mediante el método de polígonos de Thiessen, de esta manera se daría un peso uniforme a cada una de las estaciones y no se presentarían casos específicos en que no existan registros para ciertos años o meses.

En la Tabla 4.8 se muestran las precipitaciones diarias simultáneas para el año de 1964 y en rojo se muestra el valor de la precipitación máxima ocurrido el 28 de julio con 16.65 mm de altura de lluvia.

Tabla 4.8 Precipitaciones diarias simultáneas para el año de 1964. Durango

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0.00	3.12	0.00	0.00	0.35	3.42	0.26	3.90	2.87	5.16	0.00	0.29
2	0.00	0.08	0.00	0.47	0.20	1.86	0.00	2.44	1.17	1.87	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.29	1.72	0.93	1.22	0.00	0.09
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.60	3.89	1.51	0.00	0.00	0.00
5	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	4.50	1.92	6.28	0.02	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.30	7.98	0.72	6.52	0.06	0.01	0.00
7	0.01	0.00	2.95	0.00	0.18	0.46	4.67	5.37	12.28	2.14	0.00	0.02
8	0.00	0.00	4.66	0.03	0.27	0.00	3.47	5.87	6.71	0.17	0.00	5.32
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	3.39	5.60	6.89	0.24	0.00	4.72
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39	1.18	1.53	2.85	0.57	0.01	0.11
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	3.82	0.13	1.83	1.84	0.20	0.11	0.00
12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57	0.56	5.71	4.70	7.97	0.11	0.00
13	0.00	0.00	0.01	0.35	0.00	2.87	2.05	3.50	2.71	3.91	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.38	0.04	5.09	3.49	2.55	4.57	0.86	0.02	0.00
15	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	1.88	2.27	3.62	4.95	0.50	0.31	0.46
16	0.00	0.00	0.05	0.00	0.25	1.84	0.23	3.84	3.60	1.52	0.06	1.15
17	0.00	0.00	2.30	0.00	0.70	3.78	2.49	0.86	4.51	0.99	0.30	0.62
18	0.00	0.00	0.85	0.00	1.88	7.68	2.00	0.08	8.70	2.22	0.43	0.03
19	0.00	0.00	0.00	0.33	4.03	6.28	5.13	2.51	4.30	2.22	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.62	7.73	2.83	3.43	9.58	0.03	0.20	0.00
21	0.00	0.00	0.09	0.00	3.02	8.72	2.39	8.86	10.55	0.38	3.15	0.00
22	0.00	0.00	0.13	0.00	4.46	8.58	5.73	8.26	12.29	0.25	0.69	0.00
23	0.00	0.00	0.13	0.00	4.10	6.04	5.34	8.70	8.06	0.05	0.00	0.00
24	0.14	0.00	0.10	0.00	3.28	1.73	5.76	6.67	8.54	0.00	0.00	0.00
25	1.50	0.00	0.09	0.00	2.96	1.81	0.92	3.13	4.92	0.00	0.00	0.00
26	1.31	0.00	0.00	0.00	0.61	4.29	1.12	5.03	5.84	0.00	0.10	0.00
27	0.00	0.00	0.04	0.00	1.75	4.76	1.18	1.89	7.47	0.00	0.00	0.00
28	0.18	0.00	0.21	0.00	0.00	2.60	16.65	3.35	1.81	0.00	0.00	0.00
29	1.71	0.00	0.00	0.00	0.22	1.20	9.15	2.43	1.21	0.00	0.12	0.00
30	0.31		0.00	0.00	0.00	1.77	12.01	0.74	6.71	0.00	0.14	0.00
31	4.17		0.00		0.33		4.37	1.24		0.00		0.00

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Posteriormente, de los valores promedio diarios obtenidos anteriormente se formó una serie de datos de precipitaciones anuales máximas (hp máx), como se muestra en la Tabla 4.9. Donde se aprecia nuevamente en rojo el valor máximo de 16.65 mm para el año de 1964.

Tabla 4.9 Precipitaciones anuales máximas del análisis de simultaneidad. Durango

AÑO	hp máx	AÑO	hp máx	AÑO	hp máx	AÑO	hp máx
1964	16.65	1975	15.22	1986	22.05	1997	14.31
1965	16.82	1976	15.90	1987	18.61	1998	13.93
1966	15.83	1977	14.40	1988	12.75	1999	12.79
1967	16.21	1978	17.57	1989	23.84	2000	19.25
1968	38.10	1979	22.25	1990	14.12	2001	10.63
1969	16.82	1980	14.89	1991	20.84	2002	16.30
1970	38.88	1981	16.56	1992	18.09	2003	32.49
1971	16.23	1982	39.27	1993	24.56	2004	19.80
1972	33.54	1983	24.63	1994	13.81	2005	17.84
1973	24.00	1984	22.87	1995	15.11	2006	17.42
1974	25.35	1985	18.70	1996	27.18	2007	15.17

Con la serie de datos obtenida en la Tabla 4.9 se hizo un análisis estadístico, relacionando los datos con una función de distribución de probabilidad. En este caso la de mejor ajuste fue la función Doble Gumbel. Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa AX.

Así, se obtuvieron las precipitaciones asociadas a los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años; como se muestra en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Precipitaciones obtenidas del análisis de simultaneidad para diferentes periodos de retorno. Durango

Tr	hp (mm)
5	23.68
10	33.93
50	40.48
100	42.57
1,000	49.16
10,000	55.65

➤ *Análisis regional*

A continuación, se obtuvieron las precipitaciones anuales máximas para cada una de las estaciones, conformando 83 series de datos, cada serie se presenta en el anexo B. Para el análisis estadístico con el programa AX, se ordenaron estas series de mayor a menor y se definió un nuevo parámetro para determinar si se conservaban para el siguiente análisis o no. Este parámetro fue la cantidad de años registrados que tuviera cada estación, el número mínimo fue de 20 años.

Las estaciones con menos de 20 años se eliminaron del análisis por falta de datos, estas estaciones fueron las siguientes: 10033, 10046, 10055, 10060, 10067, 10084, 10086 y 10092. Las 75

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

estaciones restantes se ajustaron a la función de distribución doble Gumbel ya que, fue la función de mejor ajuste a los datos de precipitación.

Posteriormente, se obtuvieron las precipitaciones asociadas a los periodos de retorno mencionados anteriormente. Los resultados obtenidos para cada estación se presentan en el anexo C.

Una vez que se obtuvieron los eventos de diseño por estación, se promediaron los 75 datos de cada periodo de retorno y con esto se obtuvieron los eventos de diseño promedio del análisis regional. En la Tabla 4.11 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.11 Precipitaciones obtenidas del análisis regional para diferentes periodos de retorno. Durango

Tr	hp (mm)
5	64.24
10	79.39
50	111.28
100	123.98
1,000	165.35
10,000	206.86

➤ *Obtención de los FRA*

Finalmente, se calculan los FRA por periodo de retorno para el área total del estado de Durango, como el cociente entre los resultados del análisis de simultaneidad y los resultados del análisis regional. Ver Tabla 4.12.

Tabla 4.12 FRA obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias para el área total de Durango

Tr	hp simultaneidad (mm)	hp regional (mm)	FRA	Área total (km ²)
5	23.68	64.24	0.37	123,181
10	33.93	79.39	0.43	123,181
50	40.48	111.28	0.36	123,181
100	42.57	123.98	0.34	123,181
1,000	49.16	165.35	0.30	123,181
10,000	55.65	206.86	0.27	123,181
Promedio			0.34	

Adicionalmente al análisis presentado para el área total de Durango, se generaron 4 subregiones dentro del estado para observar el comportamiento de los FRA en diferentes áreas y para los diferentes periodos de retorno. Se aplicó la misma metodología descrita anteriormente para analizar cada una de las zonas generadas.

El criterio para definir las nuevas zonas fue mediante el uso de las curvas de nivel, los cauces principales y las cuencas hidrológicas mostradas en la Figura 4.6; así como, la distribución espacial de las estaciones climatológicas dentro del estado.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Se buscó en la medida de lo posible, que las más estaciones quedaran agrupadas dentro de alguna de las 4 zonas; sin embargo, algunas quedaron fuera del análisis (en total 12: 10005, 10020, 10042, 10064, 10070, 10074, 10080, 10082, 10089, 10099, 10128 y 10165).

En la Figura 4.9 se observa la distribución de las zonas generadas, las estaciones contenidas en cada una y las estaciones que quedaron fuera de cualquier zona.

En la Tabla 4.13 se muestran las estaciones pertenecientes a cada una de las subregiones, el área comprendida y el total de estaciones que pertenecen a cada una.

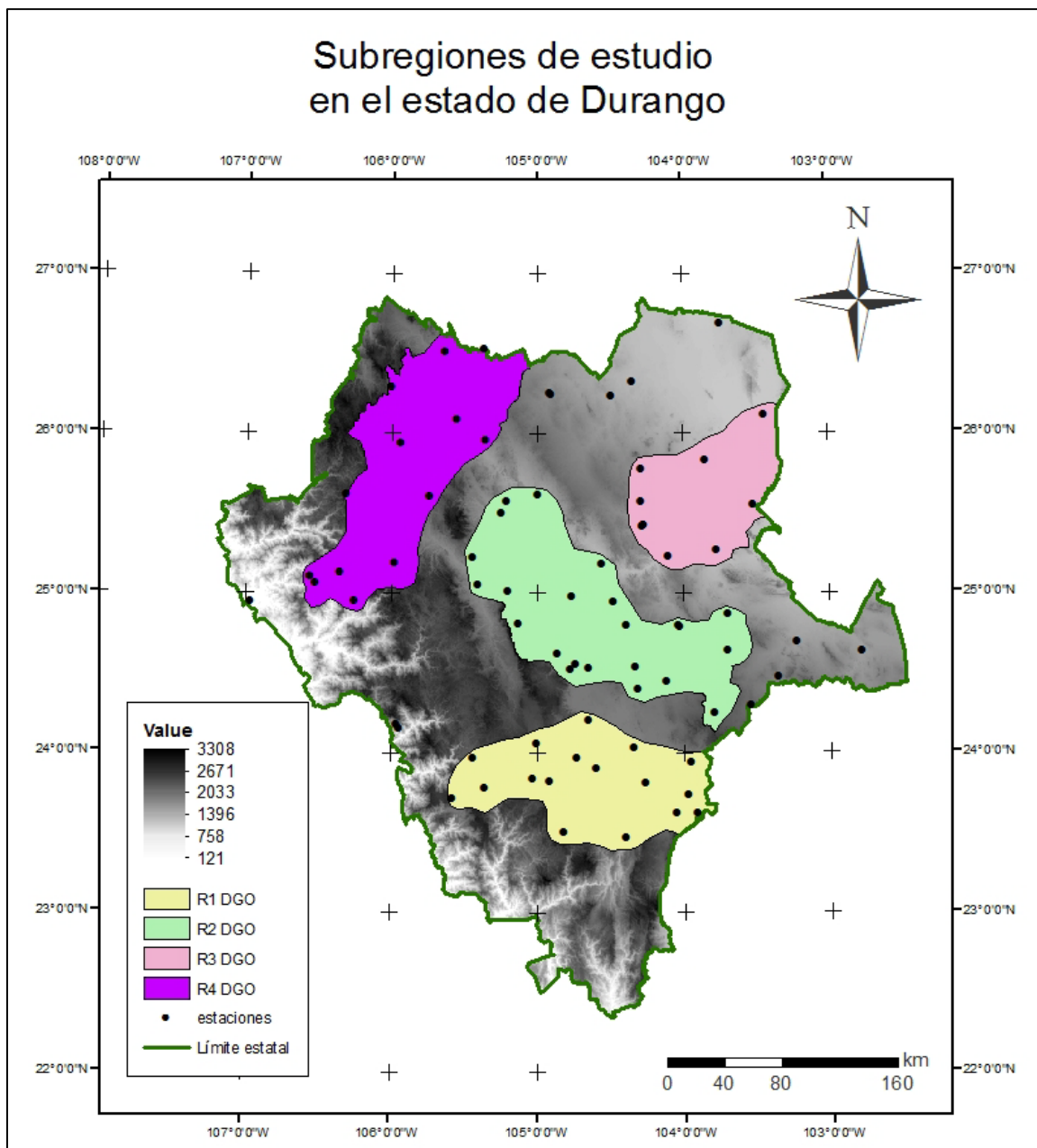


Figura 4.9 Subregiones de estudio en el estado de Durango

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Tabla 4.13 Estaciones pertenecientes a cada subregión de Durango

A1= 14,947.15 km ²	A2= 13,474.92 km ²	11,048.20 km ²	A4=8,022.39 km ²
10001	10003	10014	10004
10002	10006	10023	10008
10012	10007	10024	10045
10016	10018	10025	10049
10021	10026	10036	10053
10022	10029	10040	10069
10027	10050	10047	10072
10028	10061	10048	10085
10030	10071	10051	10108
10035	10075	10054	10132
10052	10078	10057	
10056	10087	10065	
10063	10141	10066	
10068		10076	
10083		10081	
10090		10088	
10098		10103	
10100			
10129			
10131			
10135			
10143			
10149			
Total 23	13	17	10

4.6.2. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS. TAMAULIPAS

En este subcapítulo se muestra el procedimiento de cálculo para obtener los factores de reducción areal por el método de análisis de frecuencias para el estado de Tamaulipas.

➤ *Análisis de simultaneidad*

Se extrajeron los datos diarios de precipitación en 24 horas de cada una de las 81 estaciones para el periodo del 1 de enero de 1967 hasta el 31 de diciembre de 2007. Quitando los años de 1969 y 2003.

Se obtuvieron las precipitaciones diarias simultáneas de cada año promediando mediante la media aritmética, como en el caso del estado de Durango. Se notó que había un dato incongruente el día 5 de octubre del año 2000 en la estación 28035 “González”, de 580 mm de altura de lluvia.

Este dato hacía que al realizar el ajuste de los datos a la función de distribución doble Gumbel, se obtuvieran eventos de diseño mucho mayores que los de la media en las demás estaciones.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Por lo tanto, se decidió quitar del análisis y entonces el nuevo valor de precipitación diaria simultánea para el 5 de octubre del 2000 fue de 64 mm en vez de 71 mm si se hubiera considerado el valor de 580 mm y el máximo para la estación 28035 fue de 142.50 mm.

Con los datos obtenidos de precipitaciones diarias simultáneas, se formó la serie de datos de precipitaciones anuales máximas (hp máx). Ver Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Precipitaciones anuales máximas del análisis de simultaneidad. Tamaulipas

AÑO	hp máx	AÑO	hp máx	AÑO	hp máx	AÑO	hp máx
1967	122.84	1978	67.55	1988	72.72	1998	29.73
1968	34.29	1979	69.64	1989	43.16	1999	49.13
1970	57.67	1980	42.78	1990	61.52	2000	63.76
1971	44.09	1981	54.33	1991	60.85	2001	31.71
1972	52.99	1982	40.05	1992	35.92	2002	31.69
1973	80.62	1983	54.21	1993	91.19	2004	50.22
1974	104.21	1984	41.54	1994	72.93	2005	78.17
1975	48.83	1985	42.15	1995	63.55	2006	46.76
1976	61.21	1986	60.45	1996	82.11	2007	38.00
1977	67.89	1987	50.52	1997	48.72		

Para el análisis estadístico, la función de mejor ajuste fue la doble Gumbel. Así, se obtuvieron las precipitaciones asociadas a los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años; como se muestra en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 Precipitaciones obtenidas del análisis de simultaneidad para diferentes periodos de retorno. Tamaulipas

Tr	hp (mm)
5	72.52
10	88.96
50	125.8
100	140.68
1,000	189.14
10,000	237.17

➤ *Análisis regional*

Se obtuvieron las precipitaciones anuales máximas para cada una de las estaciones, conformando 81 series de datos, cada serie se presenta en el anexo B. Quedaron fuera del análisis las estaciones con menos de 20 años de registro. Estas estaciones fueron las siguientes: 28005, 28054 y 28119.

Las 78 estaciones restantes se ajustaron a la función de distribución doble Gumbel y se obtuvieron las precipitaciones asociadas a los diferentes periodos de retorno. Los resultados obtenidos para cada estación se presentan en el anexo C.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Una vez que se obtuvieron los eventos de diseño por estación, se promediaron los 78 datos de cada periodo de retorno y con esto se obtuvieron los eventos de diseño promedio del análisis regional. En la Tabla 4.16 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4.16 Precipitaciones obtenidas del análisis regional para diferentes periodos de retorno. Tamaulipas

Tr	hp (mm)
5	134.64
10	169.13
50	232.77
100	259.15
1,000	345.73
10,000	432.77

➤ Obtención de los FRA

Finalmente, se calculan los FRA por periodo de retorno para el área total del estado de Tamaulipas, como el cociente entre los resultados del análisis de simultaneidad y los resultados del análisis regional, los resultados se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 FRA obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias para el área total de Tamaulipas

Tr	hp simultaneidad (mm)	hp regional (mm)	FRA	Área total (km ²)
5	72.52	134.64	0.54	63,908
10	88.96	169.13	0.53	63,908
50	125.8	232.77	0.54	63,908
100	140.68	259.15	0.54	63,908
1,000	189.14	345.73	0.55	63,908
10,000	237.17	432.77	0.55	63,908
Promedio			0.54	

Adicionalmente, se generaron 4 subregiones dentro del estado de Tamaulipas para observar el comportamiento de los FRA, aplicando la misma metodología anterior y atendiendo a los mismos criterios que en el estado de Durango (curvas de nivel, cauces principales, cuencas hidrológicas (Figura 4.8) y la distribución espacial de las estaciones climatológicas.

Se buscó en la medida de lo posible, que la mayoría de las estaciones quedaran agrupadas dentro de alguna de las 4 zonas. La única estación que quedó fuera del análisis fue la 28048 “Francisco González Villarreal”, por estar muy alejada de donde se concentraban las demás.

En la Figura 4.10 se observa la distribución de las zonas generadas, las estaciones contenidas en cada una y la estación que no se consideró para el análisis (28048).

En la Tabla 4.18 se enlistan las estaciones pertenecientes a cada una de las subregiones, el área comprendida y el total de estaciones que pertenecen a cada una.

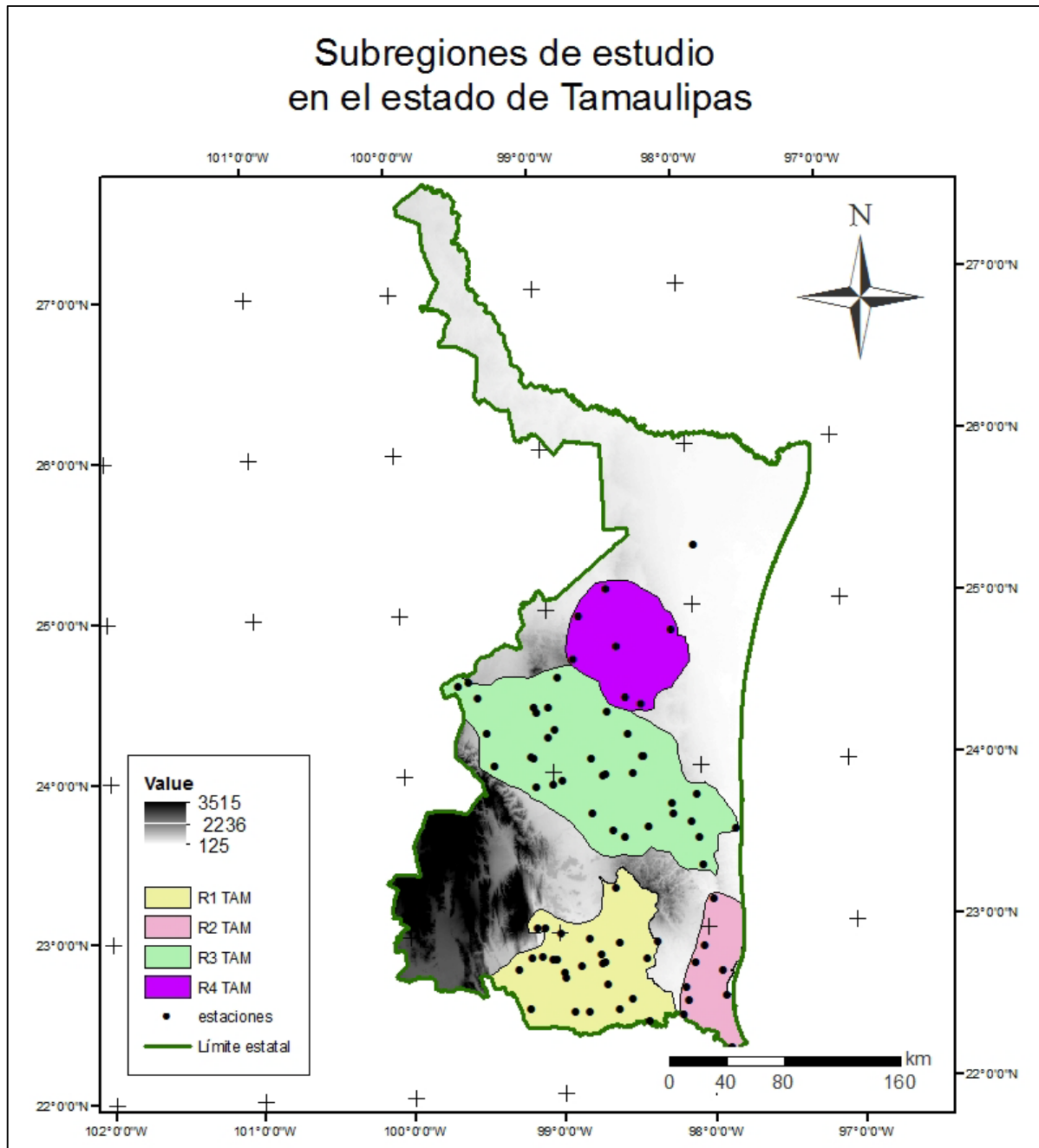


Figura 4.10 Subregiones de estudio en el estado de Tamaulipas

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Tabla 4.18 Estaciones pertenecientes a cada subregión de Tamaulipas

A1= 14,904 km ²	A2= 8,308.80 km ²	A3= 5,351.20 km ²	A4= 3,090.40 km ²
28001	28008	28019	28006
28007	28012	28030	28016
28020	28023	28062	28046
28021	28029	28086	28055
28024	28033	28094	28111
28028	28035	28123	28130
28036	28043	28180	28145
28038	28049		28203
28041	28057		28206
28045	28058		
28047	28064		
28050	28066		
28059	28080		
28060	28081		
28070	28083		
28072	28112		
28074	28120		
28084	28125		
28088	28136		
28089	28137		
28113	28139		
28118	28147		
28122	28156		
28148	28195		
28149	28200		
28151	28405		
28152			
28154			
28160			
28161			
28190			
28191			
28192			
28197			
28199			
Total 35	26	7	9

4.7. APLICACIÓN DEL MÉTODO TEÓRICO

Como se mencionó en el subcapítulo 3.2, el método teórico considera grupos de datos generados aleatoriamente suponiendo una malla de 225 estaciones distribuidas uniformemente en el espacio de área unitaria.

Los FRA promedio obtenidos con este método (Tabla 3.1) tienen como finalidad poder extrapolarlos a diferentes regiones. Los valores teóricos de área unitaria se ajustan a través de un factor de ajuste, tal que permita pasar por todos los puntos calculados para cada estado en la medida de lo posible.

En la Figura 4.11 se muestran los FRA teóricos y los FRA calculados por el método de análisis de frecuencias, para los periodos de retorno de 5 y 10 años. El factor de ajuste empleado es de 80. Se puede observar una tendencia similar en los gráficos para los FRA teóricos y para los calculados para ambos periodos de retorno.

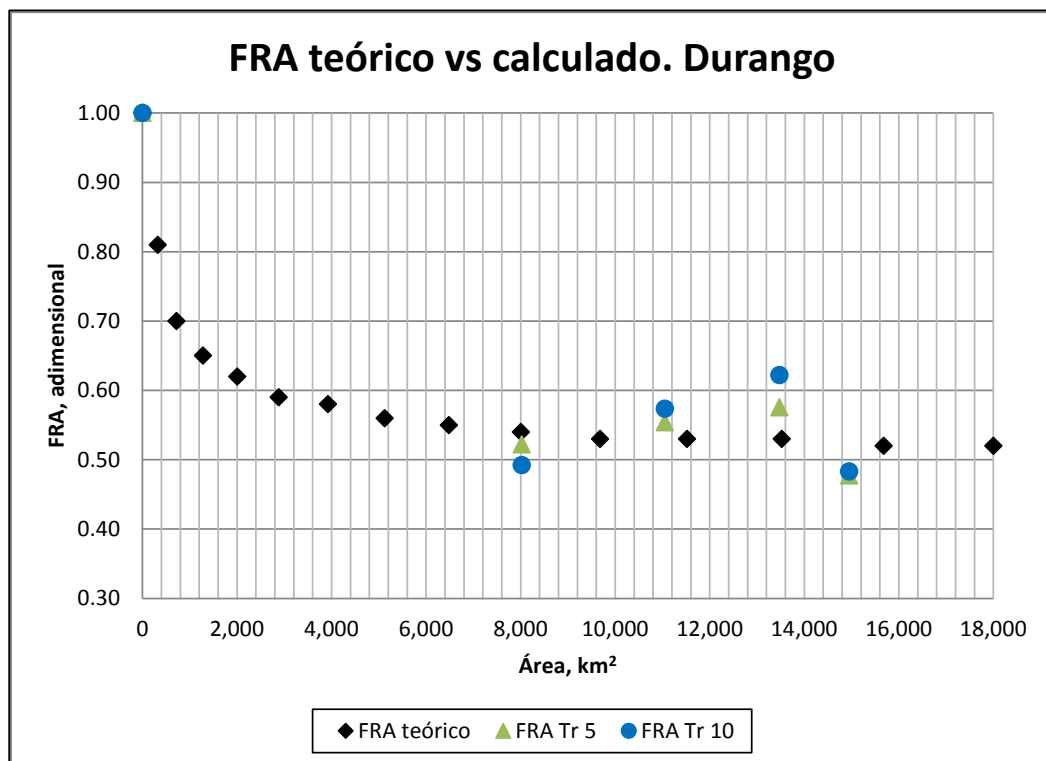


Figura 4.11 FRA teórico vs FRA calculado para Tr de 5 y 10 años. Durango

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los valores de los FRA obtenidos para ambos estados, para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años y para cada subregión, aplicando el método empírico y teórico. Adicionalmente, se hace una comparación entre los resultados obtenidos por el método de Análisis de Frecuencias y el método de Bell.

5.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS

➤ *Durango*

En la Tabla 5.1 se muestran los FRA obtenidos en las áreas descritas para el estado de Durango y el factor promedio de los periodos de retorno.

Tabla 5.1 FRA calculados para las diferentes regiones y periodos de retorno en el estado de Durango

	Área km ²	Tr 5	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 1000	Tr 10000	Promedio
AT	123,182	0.37	0.43	0.36	0.34	0.30	0.27	0.34
A1	14,947	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.48
A2	13,475	0.58	0.62	0.72	0.74	0.79	0.83	0.71
A3	11,048	0.55	0.57	0.62	0.63	0.65	0.67	0.62
A4	8,022	0.52	0.49	0.41	0.39	0.36	0.34	0.42

En las siguientes gráficas se presentan los FRA calculados para cada periodo de retorno y el promedio. Donde se observa la tendencia de los mismos para el área total del estado y sus subregiones.

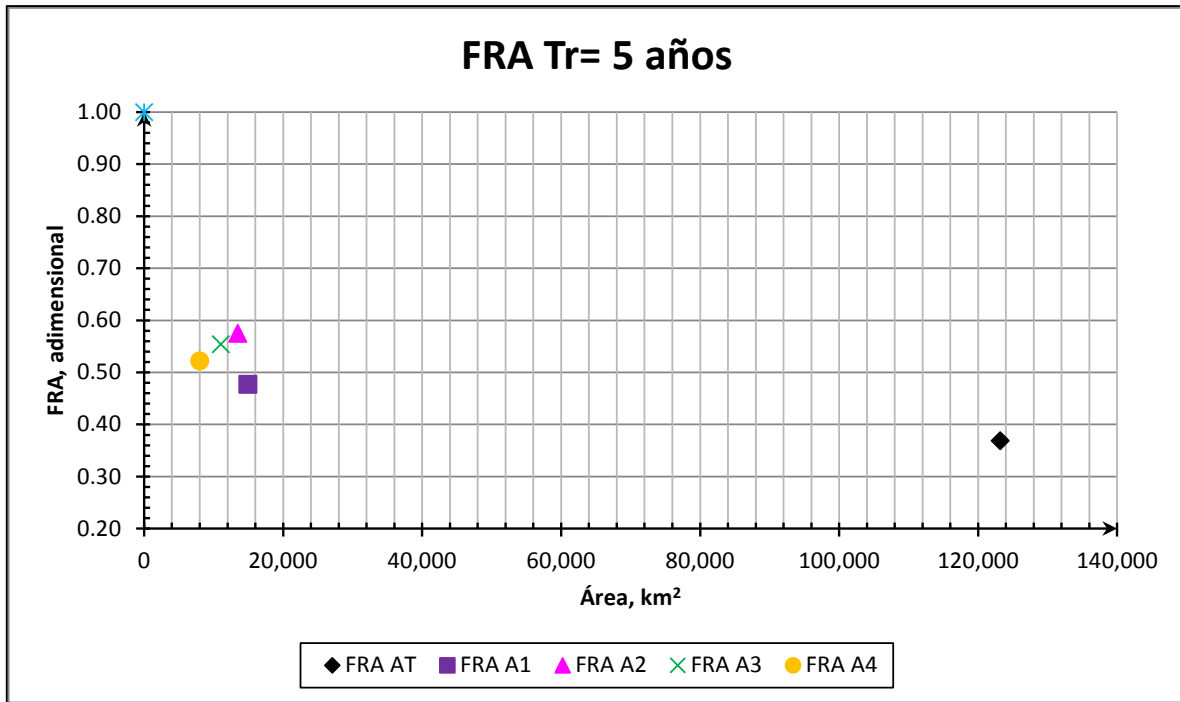


Figura 5.1 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 5 años

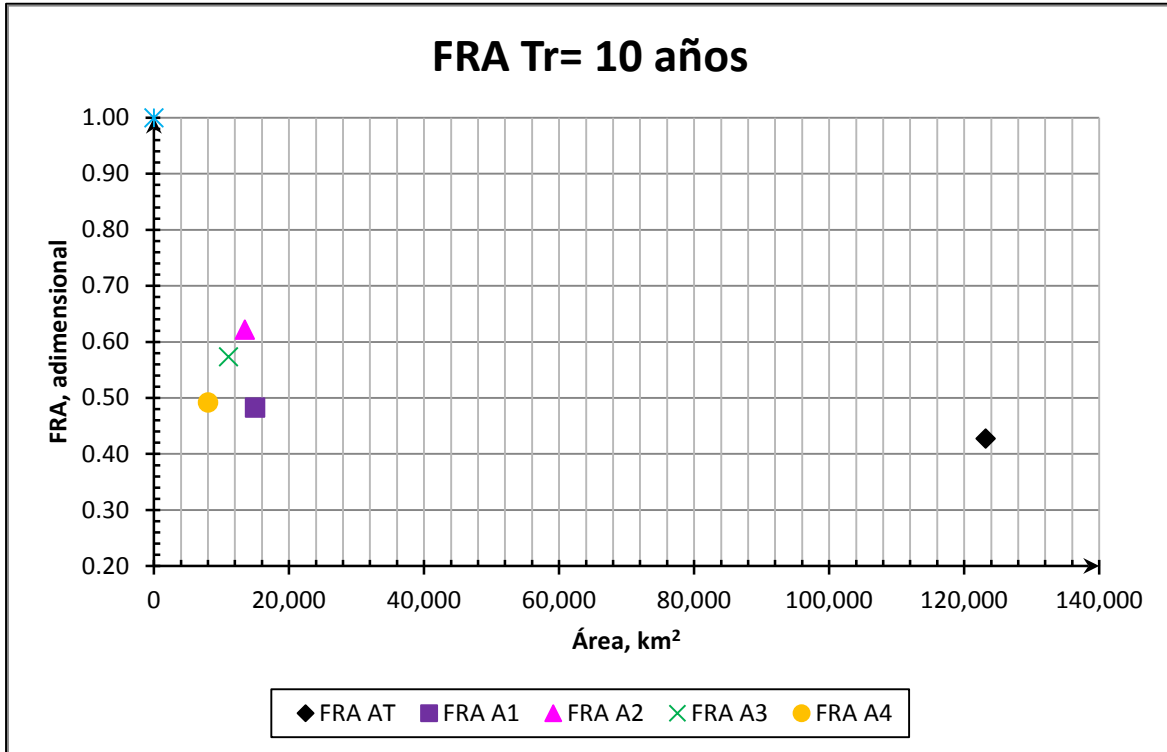


Figura 5.2 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 10 años

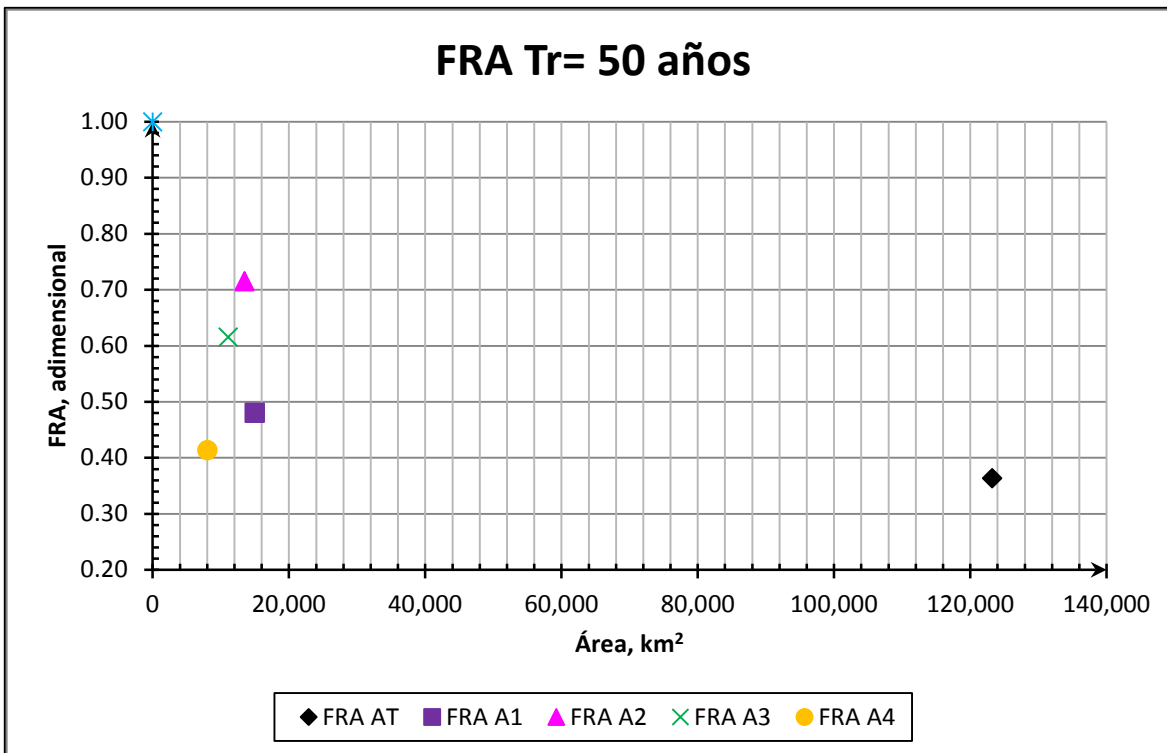


Figura 5.3 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 50 años

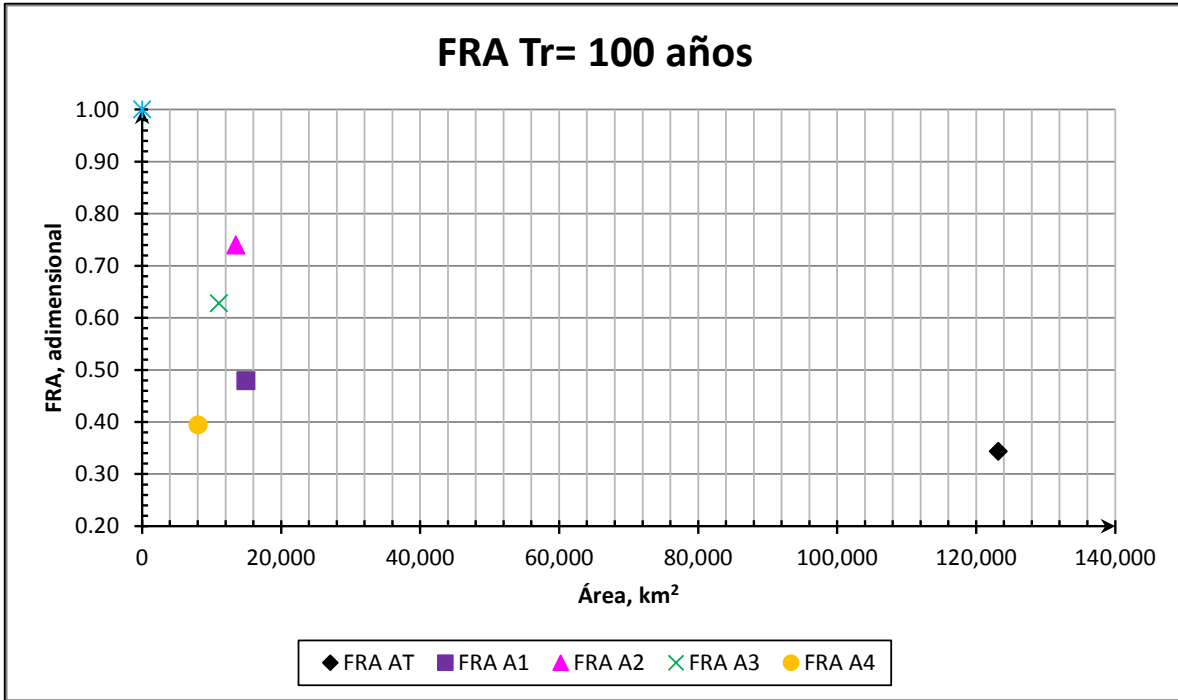


Figura 5.4 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 100 años

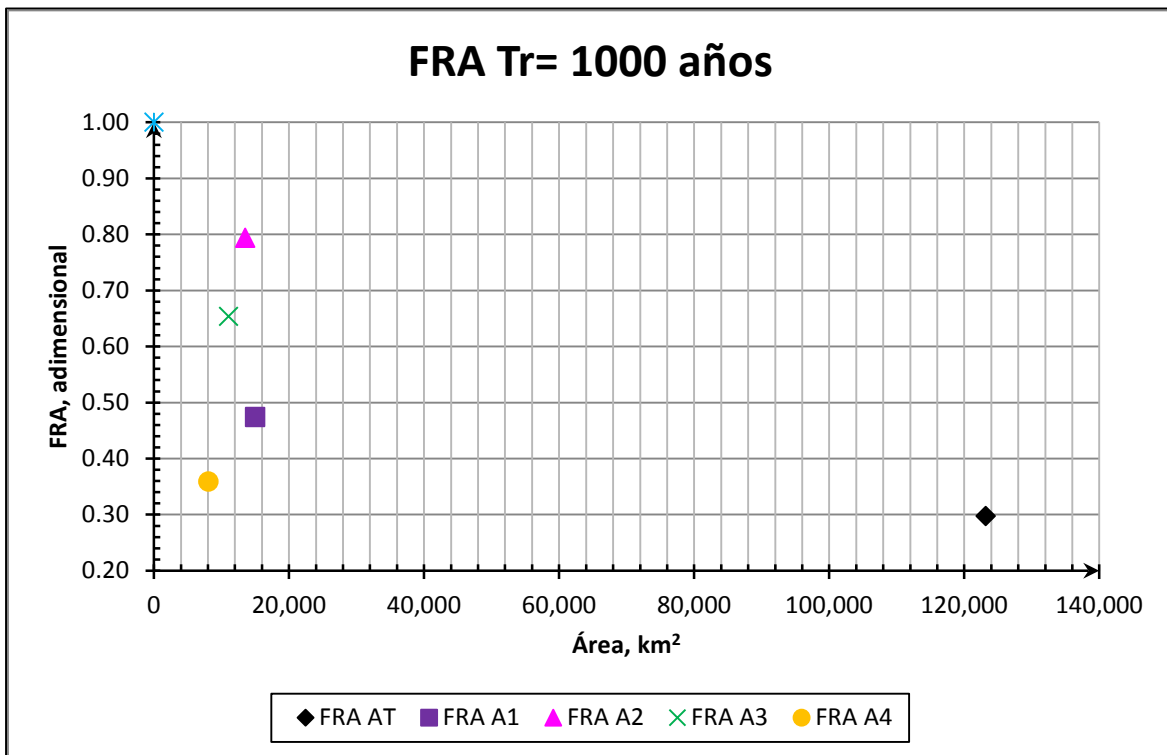


Figura 5.5 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 1000 años

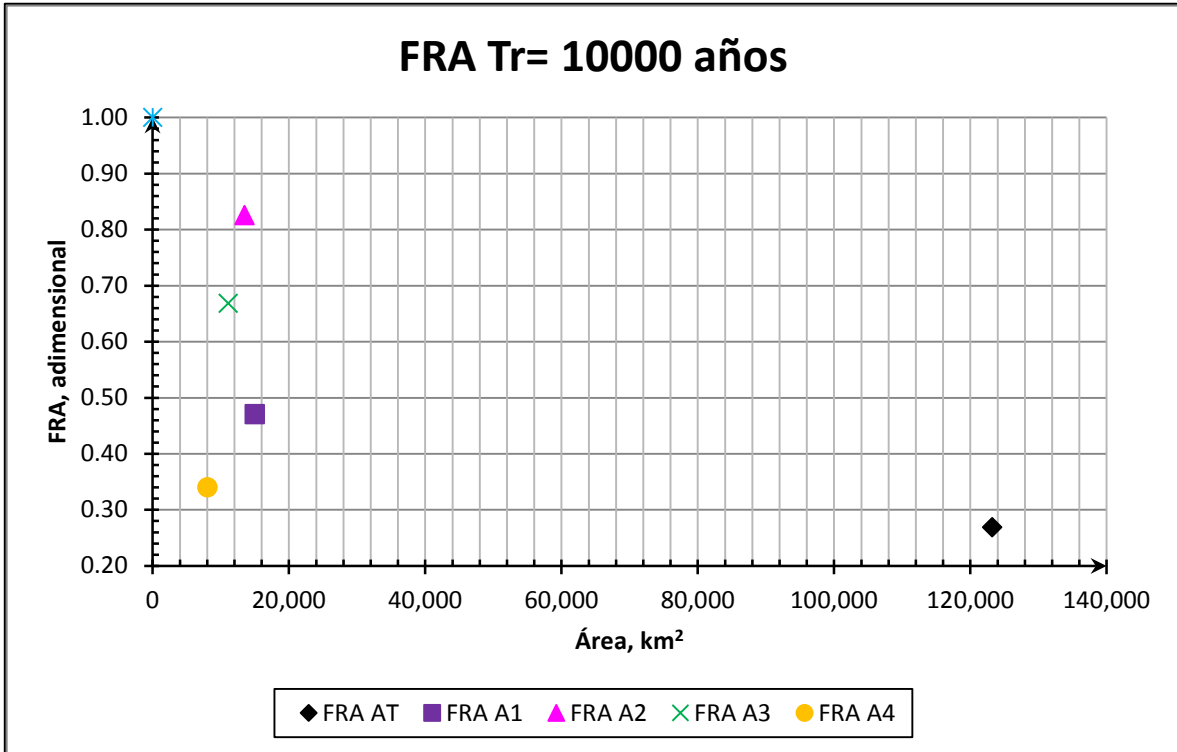


Figura 5.6 FRA calculados en el estado de Durango para un Tr de 10000 años

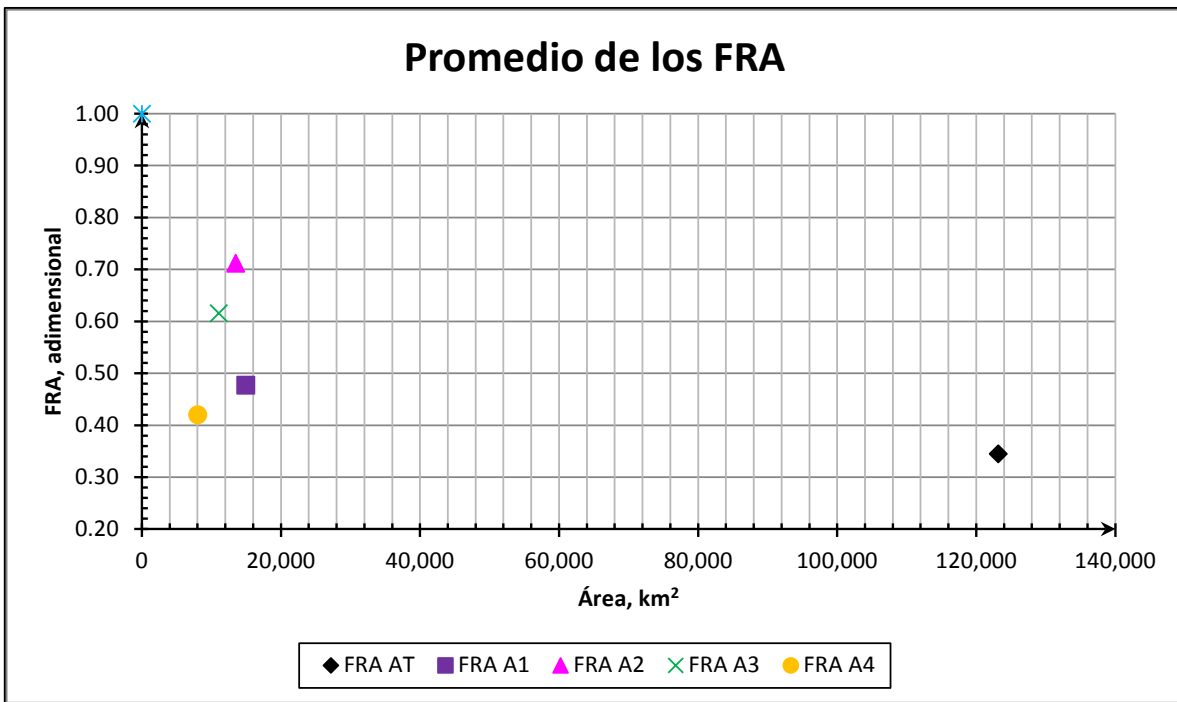


Figura 5.7 Promedio de los FRA calculados en el estado de Durango

En la Figura 5.8 se puede observar la tendencia de los FRA calculados para el estado de Durango, con respecto al área y su variación con el periodo de retorno.

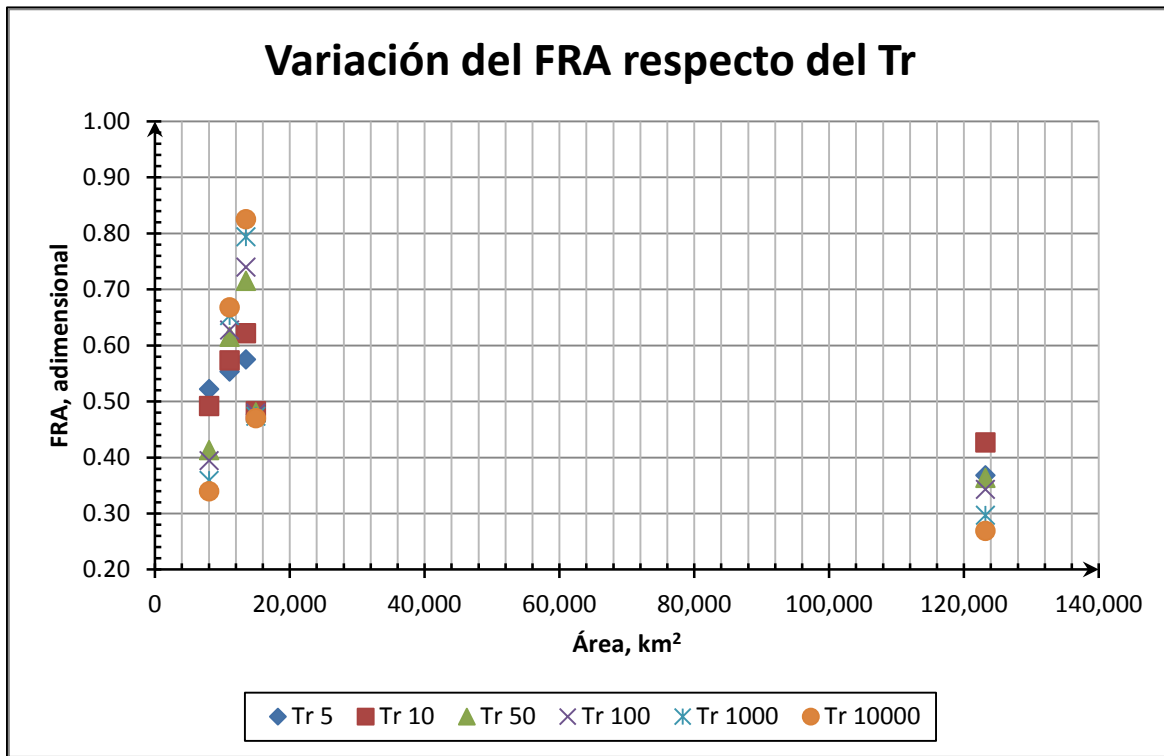


Figura 5.8 Variación del FRA con respecto al periodo de retorno. Durango

Con base en los resultados obtenidos y presentados en la Tabla 5.1 y en las figuras anteriores para el estado de Durango, se puede observar que existen algunas variaciones en los factores para los diferentes periodos de retorno y áreas consideradas.

Para el análisis del AT del estado se presentan ligeras variaciones en los FRA calculados, se obtuvo un FRA promedio de 0.34. Se observa que los factores disminuyen conforme aumenta el Tr a excepción del Tr de 10 años, donde se observa un ligero aumento.

Para el A1 se mantuvo prácticamente constante el FRA con un valor promedio de 0.48. Se obtuvieron factores más pequeños ya que, el área se localiza en una zona relativamente plana y pasa muy cerca la Sierra Madre Occidental que sirve como una barrera ya que, en zonas de mayor altitud se presentan lluvias más intensas a diferencia de esta región. Se observa que los factores disminuyen ligeramente conforme aumenta el Tr.

Para el A2 y A3 se puede ver que los factores presentan una mayor variación para los Tr y son mayores que en los otros casos, debido a que estas áreas son atravesadas por la sierra y las lluvias suelen ser mucho más intensas en zonas de mayor altitud. Se presentan elevaciones máximas de 2200 msnm. Para el A2 se obtuvo un valor promedio de 0.71 y para el A3 de 0.62. Se observa que la tendencia en estas áreas es que el factor aumente conforme aumenta el Tr.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Para el A4 se observa que los factores presentan pequeñas variaciones para los diferentes Tr. Los factores, así como en el A1, son más pequeños debido a que la zona no presenta irregularidades importantes en la topografía, es una zona prácticamente plana. El factor promedio es de 0.42. Se observa que los factores disminuyen conforme aumenta el Tr. Los FRA obtenidos en esta región son similares a los obtenidos por Franco (1998) para el Valle de México (Tabla 2.4) para lluvias convectivas muy intensas y no tan extensas espacialmente.

➤ *Tamaulipas*

En la Tabla 5.2 se muestran los FRA obtenidos en las áreas descritas para el estado de Tamaulipas y el factor promedio de los periodos de retorno.

Tabla 5.2 FRA calculados para las diferentes regiones y periodos de retorno en el estado de Tamaulipas

	Área km ²	Tr 5	Tr 10	Tr 50	Tr 100	Tr 1000	Tr 10000	Promedio
AT	79,385	0.54	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54
A1	14,904	0.73	0.75	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76
A2	8,309	0.73	0.66	0.61	0.59	0.56	0.54	0.62
A3	5,351	0.74	0.66	0.57	0.55	0.50	0.46	0.58
A4	3,090	0.75	0.82	0.90	0.91	0.93	0.94	0.87

En las siguientes gráficas se presentan los FRA calculados para cada periodo de retorno y el promedio. Donde se observa la tendencia de los mismos para el área total del estado y sus subregiones.

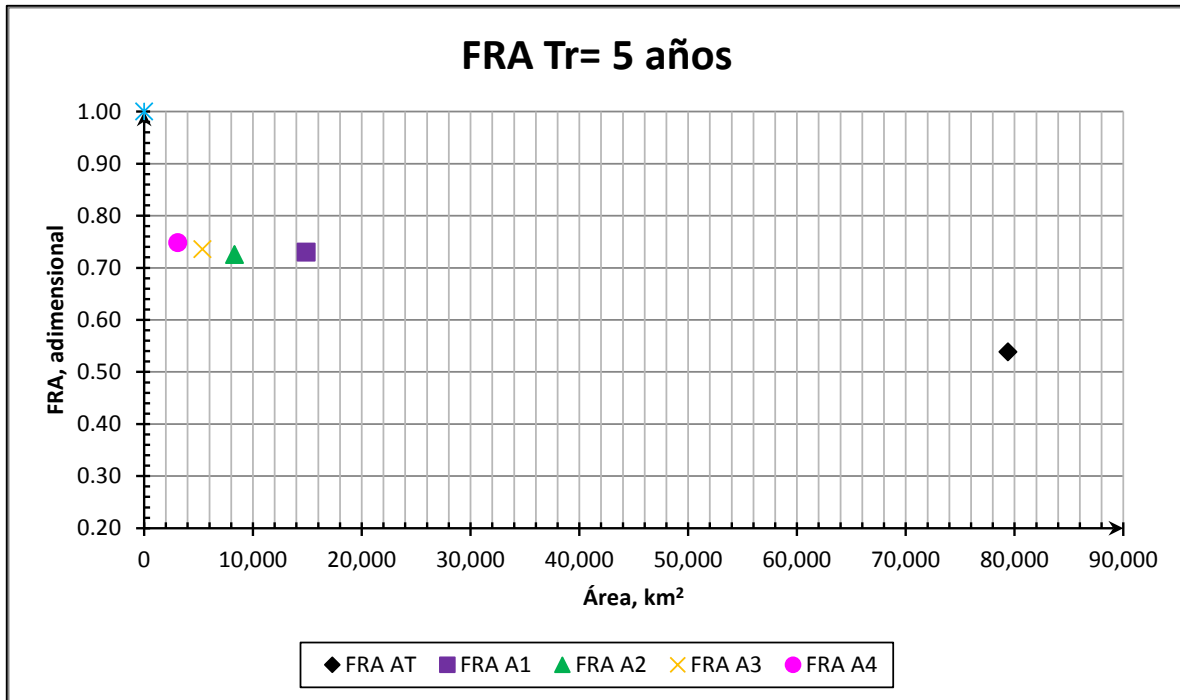


Figura 5.9 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 5 años

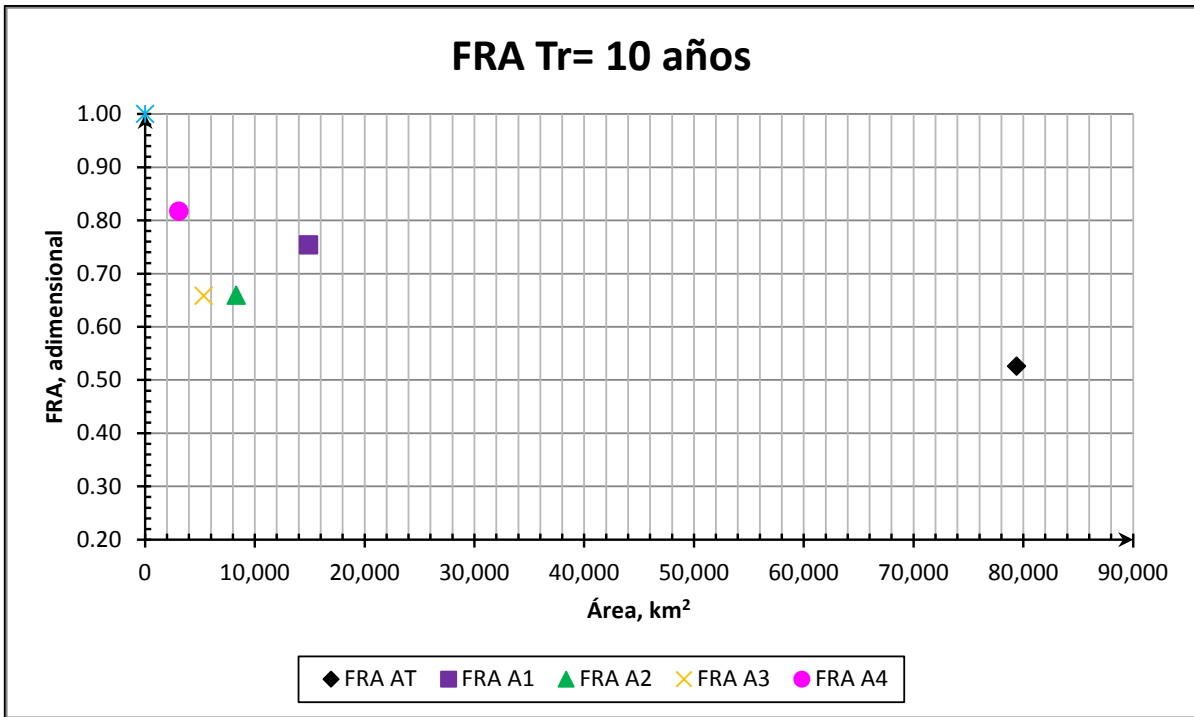


Figura 5.10 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 10 años

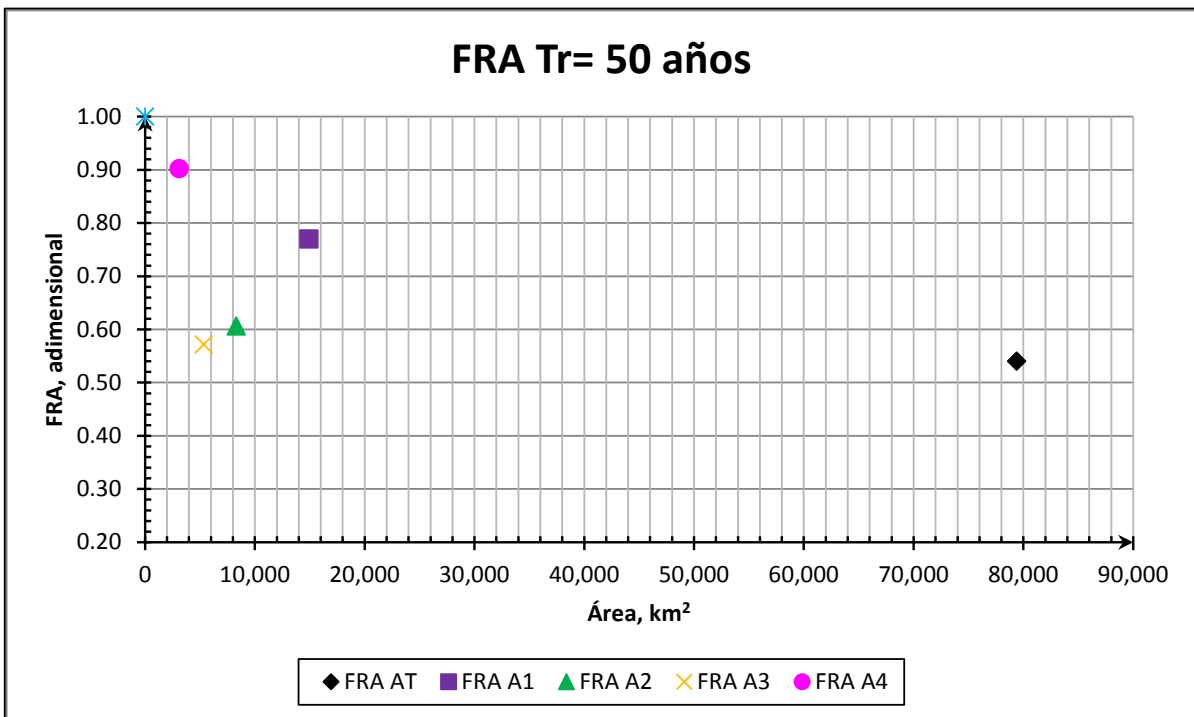


Figura 5.11 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 50 años

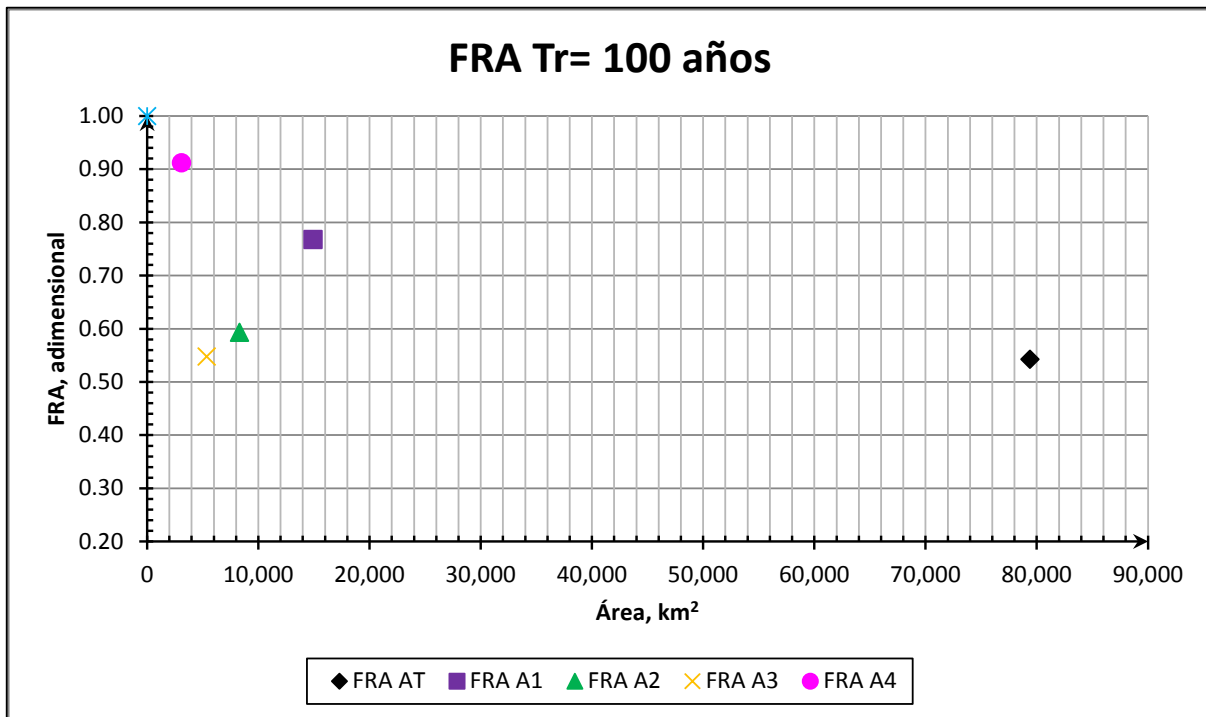


Figura 5.12 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 100 años

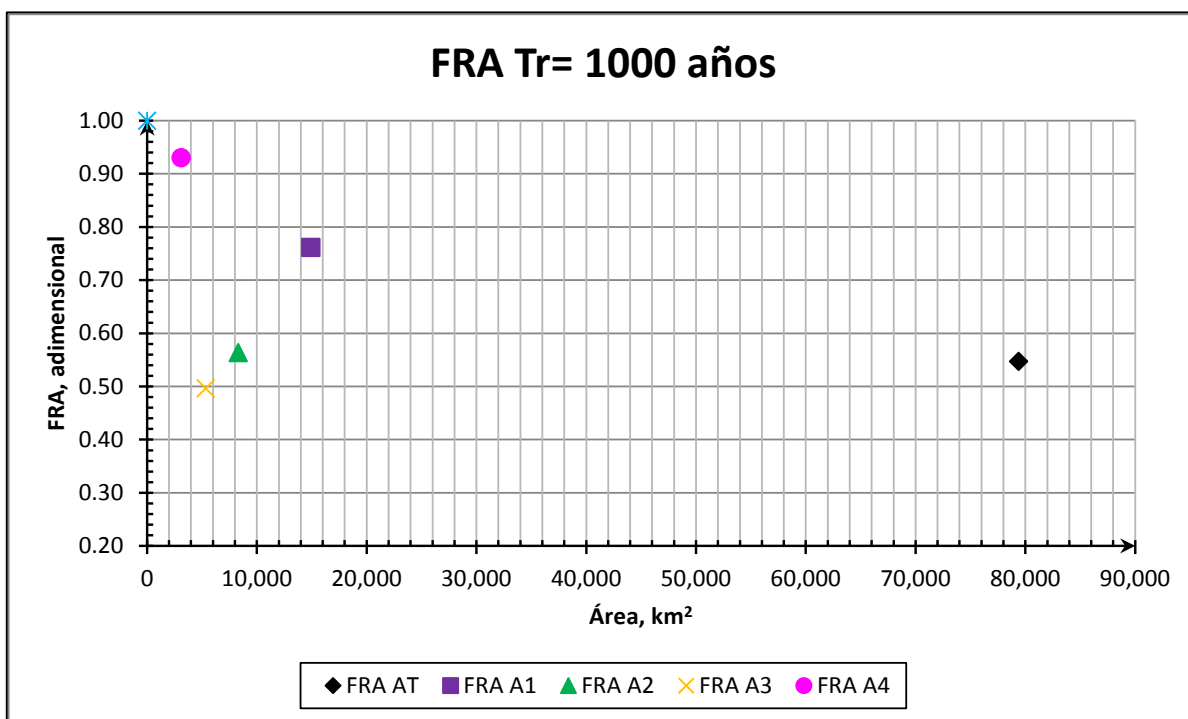


Figura 5.13 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 1000 años

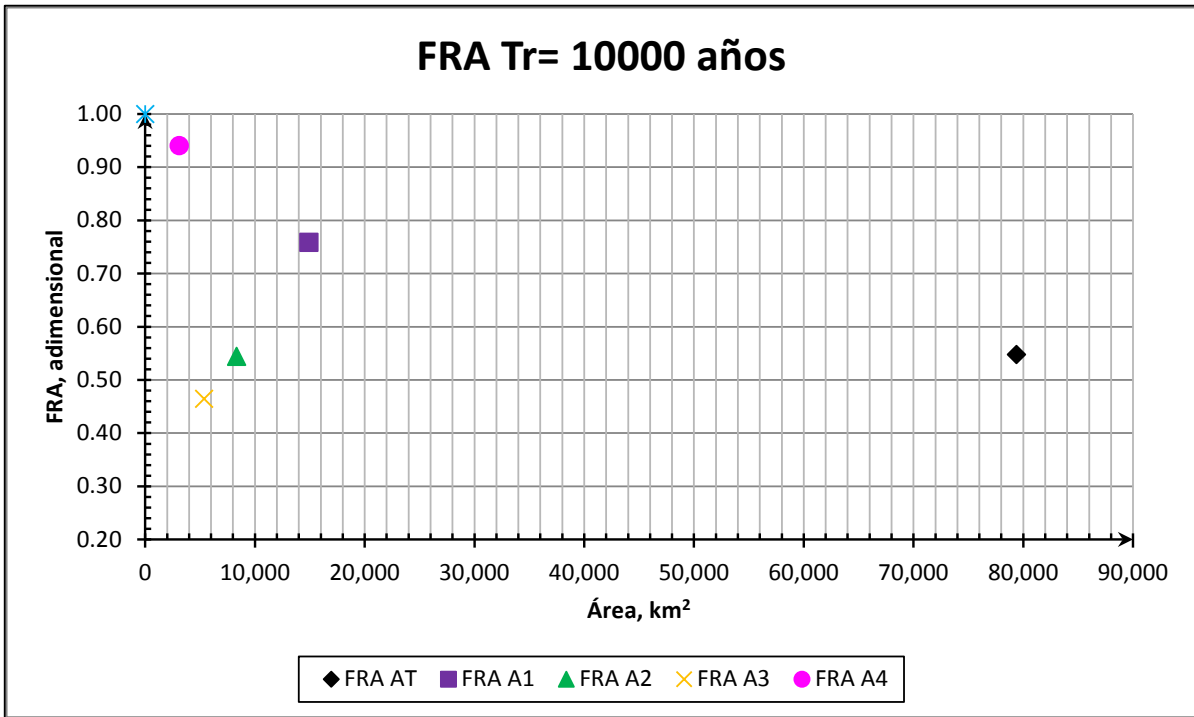


Figura 5.14 FRA calculados en el estado de Tamaulipas para un Tr de 10000 años

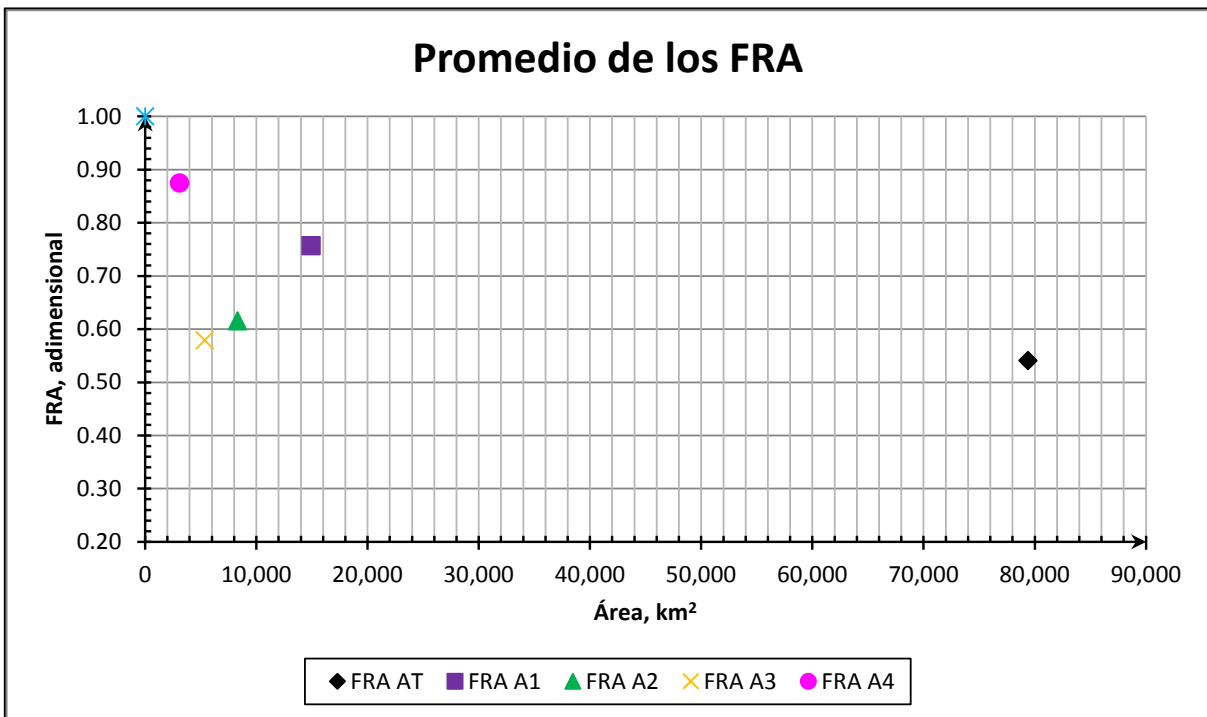


Figura 5.15 Promedio de los FRA calculados en el estado de Tamaulipas

En la Figura 5.16 se puede observar la tendencia de los FRA calculados para el estado de Tamaulipas, con respecto al área y su variación con el periodo de retorno.

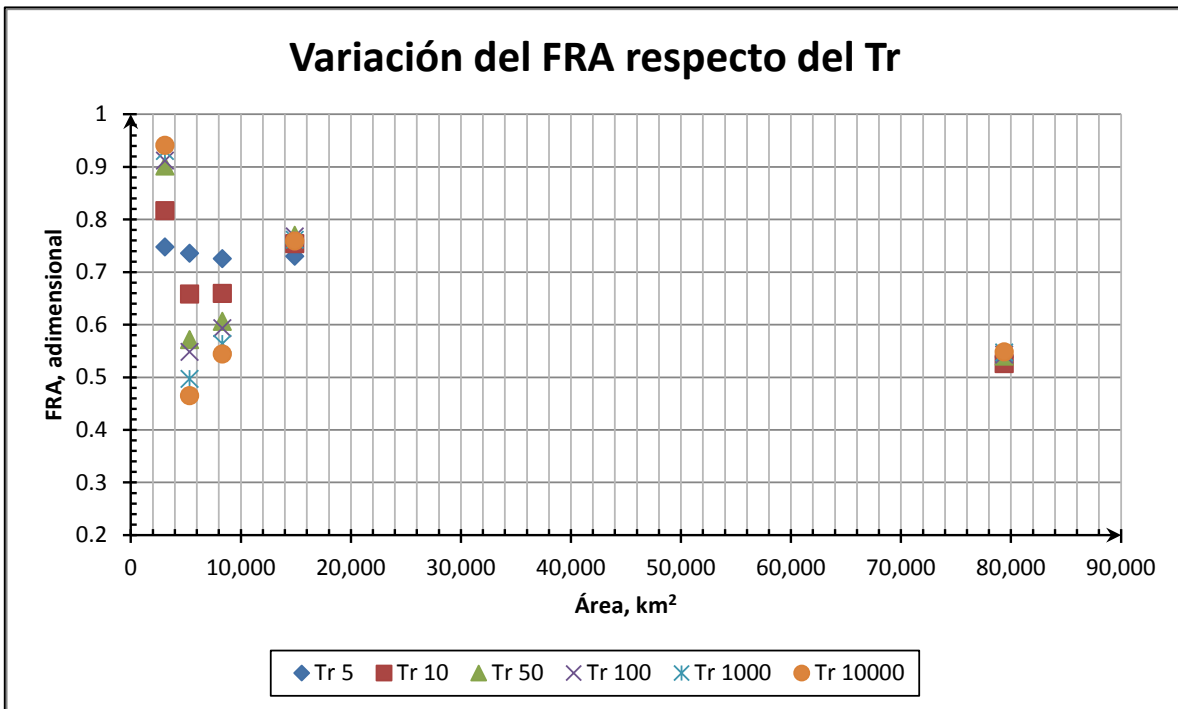


Figura 5.16 Variación del FRA con respecto al periodo de retorno. Tamaulipas

Con base en los resultados obtenidos y presentados en la Tabla 5.2 y en las figuras anteriores para el estado de Tamaulipas, se observa que existen muy ligeras variaciones en los factores para los diferentes periodos de retorno y áreas consideradas.

El estado de Tamaulipas es muy propenso a la presencia de ciclones por lo tanto, se presentan lluvias más extensas espacialmente. Consecuentemente, los FRA obtenidos en Tamaulipas son mayores que en el estado de Durango.

Para el AT del estado se observa que los factores calculados se mantuvieron prácticamente constantes, el FRA promedio es de 0.54. Se observa también que los factores aumentan ligeramente conforme aumenta el Tr a excepción del Tr de 10 años, donde se observa una ligera disminución; a diferencia del AT del estado de Durango.

Para el A1 y A4 los FRA se mantuvieron casi constantes para los diferentes Tr y resultaron factores mayores que en las otras subregiones debido a que, en estas zonas los ciclones pegan directamente, sobre todo en el A4. Para el A1 se obtuvo un factor promedio de 0.76 y para el A4 de 0.87. En general, los factores presentan un incremento en la medida en que el Tr aumenta.

Para el A2 se observan algunas variaciones en los factores con respecto del Tr; se obtuvo un factor promedio de 0.62. Los FRA son un poco más altos que los del área total debido al reflejo de los ciclones y no son tan altos como en el A1 y A4 ya que, la zona no recibe tan directamente los

cyclones y adicionalmente pasa muy cerca la Sierra Madre Oriental por lo tanto, no se presentan lluvias tan intensas. Se observa que los factores disminuyen ligeramente conforme aumenta el Tr.

Para el A3 se obtuvo un factor promedio de 0.58 y se observaron algunas diferencias en los factores calculados para los diferentes Tr. Se obtuvieron FRA más bajos que en las otras regiones debido a que, la zona del A3 es más plana presentando elevaciones máximas de 320 msnm. Se observa que la tendencia en esta zona es que el factor disminuya conforme aumenta el Tr.

5.2. MÉTODO TEÓRICO

Los resultados obtenidos por el método teórico se presentan en las siguientes figuras. Cabe aclarar que el método consistió en ajustar las áreas unitarias de los FRA promedio teóricos a los FRA promedio calculados por el método de análisis de frecuencias, a través de un factor de ajuste.

➤ Durango

En la Tabla 5.3 se muestran las áreas unitarias ajustadas por un factor de 80 y en la Figura 5.17 se muestra la tendencia de los FRA teóricos (con áreas ajustadas) y los FRA promedio calculados en el estado de Durango.

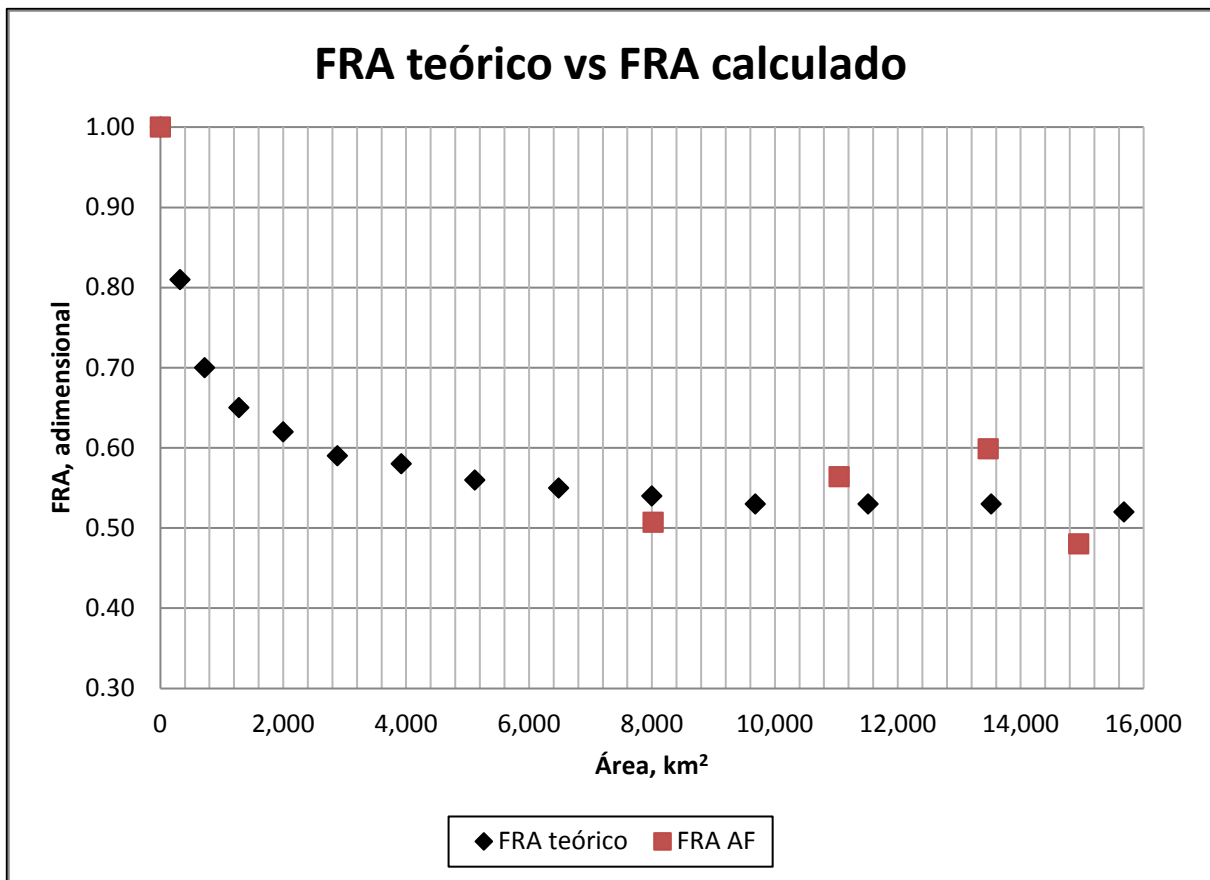


Figura 5.17 FRA teórico vs FRA calculado. Durango

Tabla 5.3 Área unitaria ajustada por un factor de 80 y FRA teórico. Durango

Área unitaria	Área (km ²)	FRA teórico
0	0	1
4	320	0.81
9	720	0.7
16	1,280	0.65
25	2,000	0.62
36	2,880	0.59
49	3,920	0.58
64	5,120	0.56
81	6,480	0.55
100	8,000	0.54
121	9,680	0.53
144	11,520	0.53
169	13,520	0.53
196	15,680	0.52
225	18,000	0.52

➤ *Tamaulipas*

En la Tabla 5.4 se muestran las áreas unitarias ajustadas por un factor de 600 y en la Figura 5.18 se muestra la tendencia de los FRA teóricos (con áreas ajustadas) y los FRA promedio calculados en el estado de Tamaulipas.

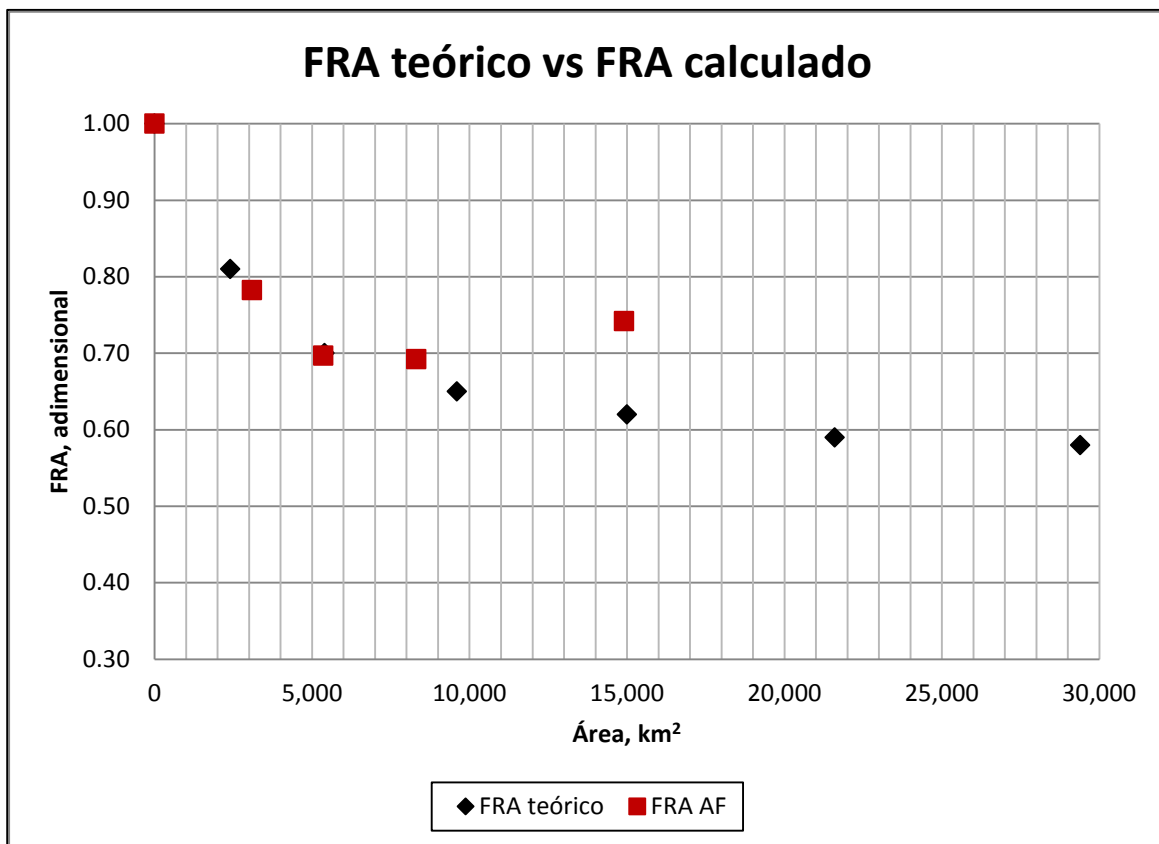


Figura 5.18 FRA teórico vs FRA calculado. Tamaulipas

Tabla 5.4 Área unitaria ajustada por un factor de 600 y FRA teórico. Tamaulipas

Área unitaria	Área (km ²)	FRA teórico
0	0	1
4	2,400	0.81
9	5,400	0.7
16	9,600	0.65
25	15,000	0.62
36	21,600	0.59
49	29,400	0.58
64	38,400	0.56
81	48,600	0.55
100	60,000	0.54
121	72,600	0.53
144	86,400	0.53
169	101,400	0.53
196	117,600	0.52
225	135,000	0.52

Se observa en ambos casos (Figura 5.17 y Figura 5.18) que tanto los FRA teóricos como los FRA calculados siguen prácticamente la misma tendencia. La diferencia entre los factores de ajuste es debido a que entre menor es el factor implica que las lluvias no son tan extensas espacialmente.

Por lo tanto, para un factor de 80 como en el caso de Durango podría pensarse que las lluvias que se presentan son de tipo convectivas. Lo que coincide con los resultados obtenidos con el método empírico. En el caso de Tamaulipas, se ajustó con un factor de 600, lo que implica que las lluvias son más extensas espacialmente y no son de tipo convectivo; sino que la región se ven afectada por la presencia de eventos ciclónicos.

5.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A modo de comparación, se calcularon adicionalmente los FRA para ambos estados por el método de Bell (1976). El método consiste en obtener los FRA para cada año de registro como el cociente entre las precipitaciones diarias simultáneas (calculadas con el método de Análisis de Frecuencias) y el promedio de las precipitaciones máximas anuales obtenidas para cada estación.

Se obtiene la primera serie de datos como el promedio de las precipitaciones máximas anuales de todas las estaciones (anexo B), obteniendo un solo valor por cada año de registro. La otra serie corresponde a las precipitaciones diarias simultáneas calculadas en el método de Análisis de Frecuencias (Tabla 4.9, Durango y Tabla 4.14, Tamaulipas).

En la Tabla 5.5 se muestran ambas series y los FRA anuales calculados por el método de Bell para el área total del estado de Durango.

En la Tabla 5.6 se muestran los resultados obtenidos por el método de Bell para el área total del estado de Tamaulipas.

El FRA correspondiente a cada estado resulta ser el promedio de los FRA anuales.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Tabla 5.5 Cálculo del FRA por el método de Bell para el área total del estado de Durango

AÑO	Promedio de hp máx anual	hp simultaneidad	FRA BELL	AÑO	Promedio de hp máx anual	hp simultaneidad	FRA BELL
1964	45.59	16.65	0.37	1986	55.85	22.05	0.39
1965	47.89	16.82	0.35	1987	54.96	18.61	0.34
1966	46.33	15.83	0.34	1988	49.16	12.75	0.26
1967	49.28	16.21	0.33	1989	47.47	23.84	0.50
1968	63.95	38.10	0.60	1990	51.69	14.12	0.27
1969	46.62	16.82	0.36	1991	52.14	20.84	0.40
1970	60.17	38.88	0.65	1992	40.71	18.09	0.44
1971	49.54	16.23	0.33	1993	53.12	24.56	0.46
1972	62.97	33.54	0.53	1994	41.41	13.81	0.33
1973	55.69	24.00	0.43	1995	38.95	15.11	0.39
1974	50.67	25.35	0.50	1996	45.65	27.18	0.60
1975	43.64	15.22	0.35	1997	47.56	14.31	0.30
1976	51.55	15.90	0.31	1998	42.59	13.93	0.33
1977	43.62	14.40	0.33	1999	41.81	12.79	0.31
1978	50.25	17.57	0.35	2000	47.72	19.25	0.40
1979	56.05	22.25	0.40	2001	35.41	10.63	0.30
1980	44.15	14.89	0.34	2002	44.96	16.30	0.36
1981	49.91	16.56	0.33	2003	52.05	32.49	0.62
1982	51.11	39.27	0.77	2004	53.74	19.80	0.37
1983	58.30	24.63	0.42	2005	45.71	17.84	0.39
1984	48.98	22.87	0.47	2006	51.11	17.42	0.34
1985	48.12	18.70	0.39	2007	47.73	15.17	0.32
FRA promedio							0.40

Tabla 5.6 Cálculo del FRA por el método de Bell para el área total del estado de Tamaulipas

AÑO	Promedio de hp máx anual	hp simultaneidad	FRA BELL	AÑO	Promedio de hp máx anual	hp simultaneidad	FRA BELL
1967	138.15	122.84	0.89	1988	114.58	72.72	0.63
1968	82.01	34.29	0.42	1989	92.99	43.16	0.46
1970	127.71	57.67	0.45	1990	108.34	61.52	0.57
1971	92.17	44.09	0.48	1991	106.08	60.85	0.57
1972	108.91	52.99	0.49	1992	91.28	35.92	0.39
1973	138.28	80.62	0.58	1993	113.94	91.19	0.80
1974	122.31	104.21	0.85	1994	114.89	72.93	0.63
1975	112.86	48.83	0.43	1995	100.54	63.55	0.63
1976	123.36	61.21	0.50	1996	105.38	82.11	0.78
1977	128.72	67.89	0.53	1997	105.00	48.72	0.46
1978	101.56	67.55	0.67	1998	80.20	29.73	0.37

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

1979	110.46	69.64	0.63	1999	86.18	49.13	0.57
1980	78.28	42.78	0.55	2000	101.99	63.76	0.63
1981	96.31	54.33	0.56	2001	92.06	31.71	0.34
1982	89.35	40.05	0.45	2002	94.64	31.69	0.33
1983	83.83	54.21	0.65	2004	94.27	50.22	0.53
1984	84.70	41.54	0.49	2005	138.57	78.17	0.56
1985	91.18	42.15	0.46	2006	78.85	46.76	0.59
1986	92.56	60.45	0.65	2007	36.67	38.00	1.04
1987	93.45	50.52	0.54				
FRA promedio							0.57

El método de Bell, al igual que en el método de Análisis de Frecuencias, se aplicó a cada una de las regiones generadas en ambos estados para observar el comportamiento de los factores al variar el área.

Para comparar los resultados con los del método de Bell, se calculó el promedio de los factores obtenidos para varios periodos de retorno; ya que, Bell considera que no existe variación del FRA con respecto al periodo de retorno.

En la Tabla 5.7 y en la Tabla 5.8 se presentan los resultados de los FRA obtenidos por ambos métodos para el estado de Durango y Tamaulipas respectivamente.

Tabla 5.7 FRA obtenidos por ambos métodos en las diferentes regiones de Durango

	Área	FRA AF	FRA BELL
AT	123,182	0.34	0.40
A1	14,947	0.48	0.49
A2	13,475	0.71	0.56
A3	11,048	0.62	0.59
A4	8,022	0.42	0.53

Tabla 5.8 FRA obtenidos por ambos métodos en las diferentes regiones de Tamaulipas

	Área	FRA AF	FRA BELL
AT	79,385	0.54	0.57
A1	14,904	0.76	0.67
A2	8,309	0.62	0.69
A3	5,351	0.58	0.68
A4	3,090	0.87	0.72

En la Figura 5.19 y en la Figura 5.20 se presentan los gráficos a modo de comparación de resultados entre ambos métodos para Durango y Tamaulipas respectivamente.

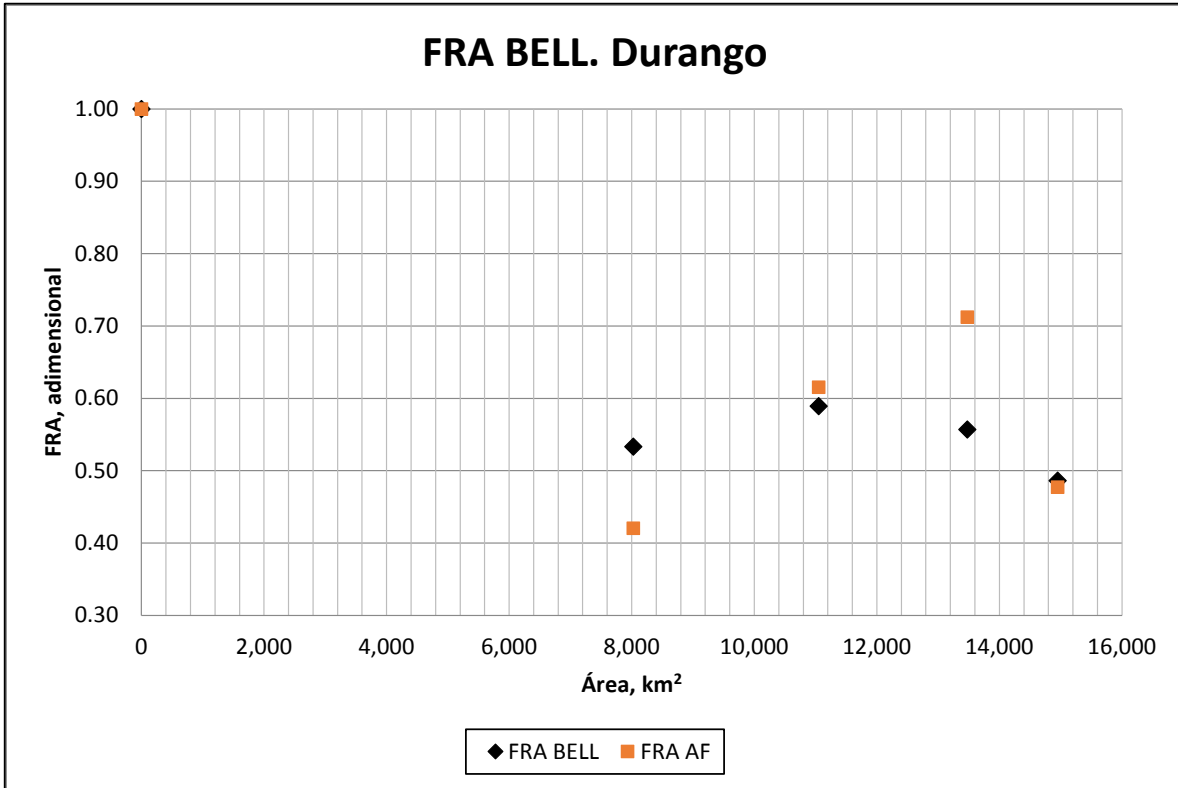


Figura 5.19 Tendencia del FRA obtenido por ambos métodos en Durango

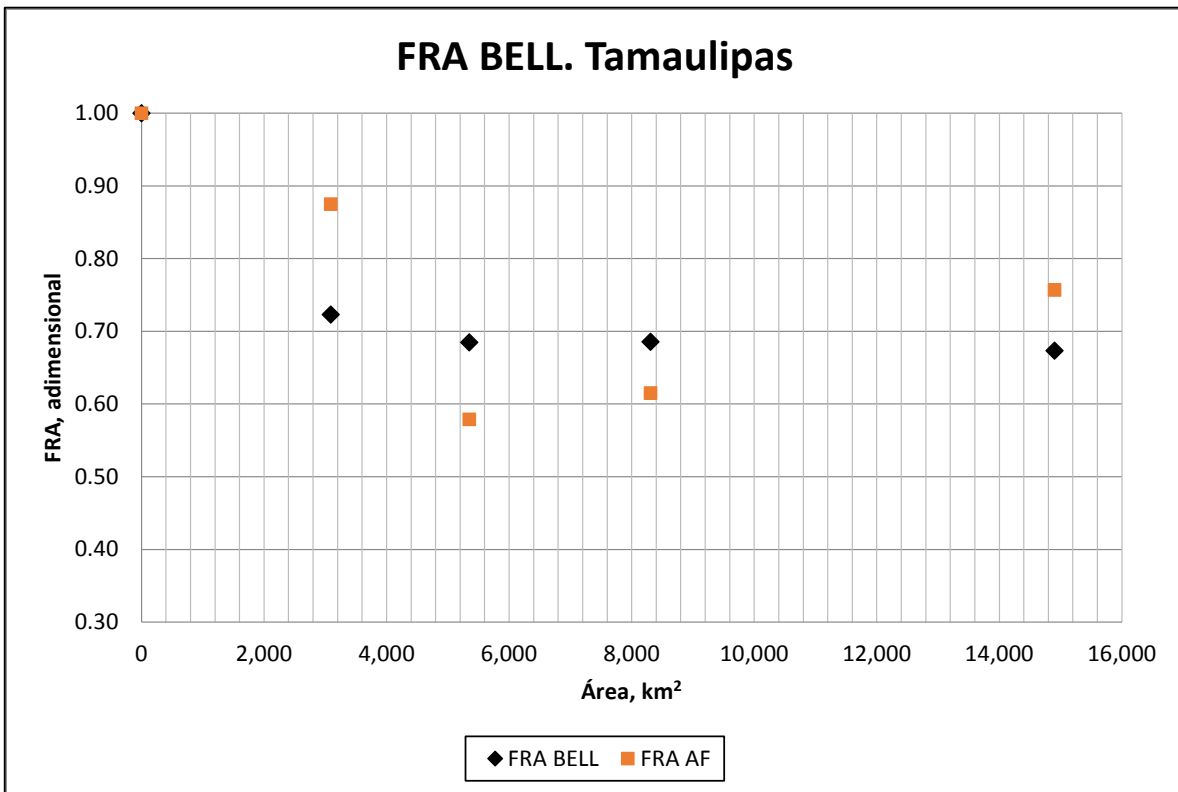


Figura 5.20 Tendencia del FRA obtenido por ambos métodos en Tamaulipas

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

De los resultados presentados en la Figura 5.19 se observan ciertas variaciones del FRA entre ambos métodos para el área de 8,022 km² y la de 13.475 km² del estado de Durango. Para el primer caso se obtuvo por el método de Análisis de Frecuencias un valor de 0.42, mientras que por el método de Bell se obtuvo un valor de 0.53 de FRA, se tuvo un aumento de 0.11. En el segundo caso se obtuvo por el método de Análisis de Frecuencias un valor de 0.71 y por el de Bell un FRA de 0.56, disminuyó 0.15. Para las demás áreas, incluso para el área total, no se presentan diferencias importantes en los factores como puede verse en la Tabla 5.7.

En la Figura 5.20 se pueden observar ciertas variaciones del FRA entre ambos métodos para el estado de Tamaulipas; sin embargo, a diferencia del estado de Durango, se observa cierta tendencia de los factores. Se puede concluir que los factores prácticamente no varían entre ambos métodos, ya que las diferencias son pequeñas, como puede verse en la Tabla 5.8.

Las diferencias entre los métodos empleados en el presente trabajo, podrían deberse principalmente, a que se están comparando FRA promediados obtenidos para diseño por el método de Análisis de Frecuencias contra FRA calculados por el método de Bell, donde no se consideran variaciones respecto del periodo de retorno y se obtiene un factor único para la región estudiada.

Finalmente, de un estudio realizado por Domínguez en el estado de Durango, donde se aplicó la misma metodología de Análisis de Frecuencias en la obtención de FRA para diferentes periodos de retorno y diferentes regiones de estudio, se obtuvieron los factores presentados en la Tabla 5.9 y adicionalmente se obtuvo el promedio de los mismos.

Tabla 5.9 FRA obtenidos para el estado de Durango, Domínguez

Área	(km ²)	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 20	Tr = 50	Tr = 100	Promedio
1A	15,393	0.64	0.59	0.57	0.56	0.55	0.54	0.58
1B	23,738	0.6	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.57
2A	11,580	0.66	0.6	0.58	0.56	0.55	0.54	0.58
2B	12,626	0.56	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	0.49
2C	8,748	0.61	0.6	0.59	0.58	0.58	0.58	0.59
3A	8,249	0.58	0.55	0.53	0.52	0.51	0.5	0.53
3B	17,358	0.66	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65
3C	12,632	0.7	0.68	0.67	0.66	0.65	0.65	0.67
1	39,131	0.57	0.48	0.45	0.43	0.41	0.4	0.46

En la Figura 5.21 se muestra la comparación entre el promedio de los FRA obtenidos por Domínguez y los calculados en este trabajo empleando los valores promedio del método de Análisis de Frecuencias y los calculados por el método de Bell.

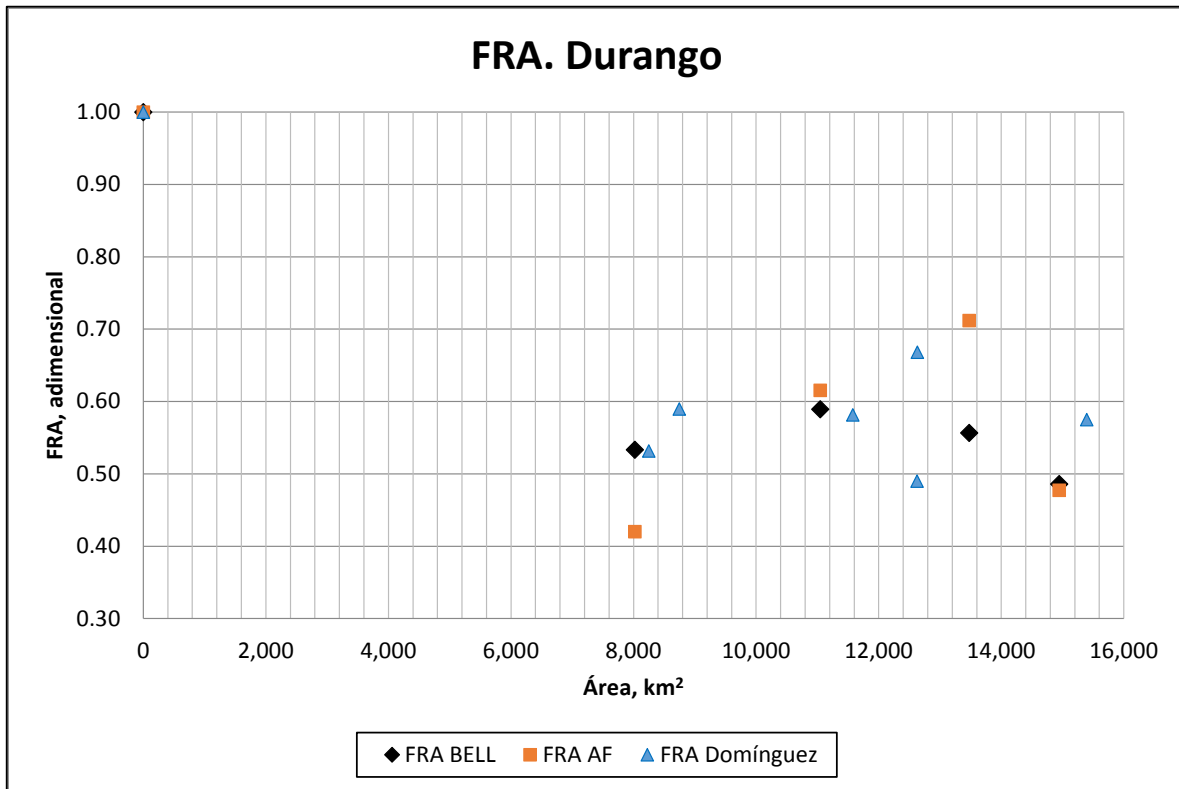


Figura 5.21 Tendencia de los FRA obtenidos por Domínguez y los calculados por ambos métodos en este trabajo. Durango

Se puede notar en la Figura 5.21 que por los tres métodos de cálculo, se observa prácticamente la misma tendencia en los factores. Hay algunas diferencias en los factores obtenidos para las áreas de 8,022 km² y la de 13.475 km² entre los métodos aplicados en el presente trabajo.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para la modelación de los procesos lluvia-escorrentamiento se requiere contar previamente con tormentas de diseño para cierta duración, período de retorno y área de interés. Por lo tanto, es importante contar con métodos hidrológicos que permitan conocer la variabilidad espacial y temporal de la lluvia en un área determinada. Sin embargo, es común encontrar poca información acerca de la distribución de frecuencias de precipitaciones. Los métodos tradicionales emplean datos puntuales para su estimación.

Por lo anterior, el desarrollo del concepto de Factor de Reducción Areal (FRA) ha sido estudiado ya que, evita la sobrestimación de eventos al considerar que las lluvias no ocurren de manera simultánea. El FRA define la magnitud de la altura de lluvia como función del área en la que ocurre.

El cálculo del FRA se auxilia de alturas de precipitación registradas en un determinado número de estaciones y es utilizado para transformar la altura de lluvia puntual a una altura de lluvia equivalente para un área determinada. El FRA se obtiene al relacionar el valor de la precipitación areal, con el valor de la precipitación puntual, sin embargo, la forma en que se relacionan estos valores varía según los métodos propuestos por distintos autores. (González, 2012).

Aunque el tema ha sido tratado de diversas formas, algunos autores aseguran que los FRA calculados dependen de la duración analizada, de tal forma que para duraciones menores, los factores también son menores, además también están influenciados por el tipo de factor (centro de tormenta o área geográfica fija), el clima de la zona en estudio y el periodo de retorno. Otros autores sugieren que este factor es único para distintos periodos de retorno. Adicionalmente, el origen de la tormenta en cada zona, es un factor que condiciona la distribución espacial de la lluvia; en una misma cuenca, la precipitación llega a presentarse con una gran variación en su distribución espacial.

Las lluvias de origen convectivo presentan una alta variabilidad de la distribución espacial y muchas veces el punto donde ocurre la precipitación máxima no coincide con la ubicación de alguna estación de medición. Por lo tanto, los factores de reducción areal requieren de un análisis particular en cada zona de estudio. El trabajo pretende ser de utilidad para ampliar la comprensión del significado de los FRA utilizando bases de datos climatológicas de 24 horas.

En este trabajo se calcularon FRA de área geográfica fija para una duración de 24 horas en los estados de Durango y Tamaulipas por dos métodos. Un método empírico de Análisis de Frecuencias y un método teórico desarrollado por el Instituto de Ingeniería. Adicionalmente, se comparan los resultados con los obtenidos por el método teórico de Bell (1976).

Se hizo la comparación de los resultados para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 1000 y 10000 años y finalmente, se generaron subregiones variando las áreas de análisis para observar el comportamiento de los FRA.

Se pudo observar que los FRA correspondientes a eventos de precipitación de origen convectivo son de menor magnitud, como en el caso del estado de Durango. En el estado de Tamaulipas se requirió hacer un análisis de valores extremos, con la función de distribución Doble Gumbel; ya que,

es una zona que se ve afectada de forma directa por eventos ciclónicos; por lo tanto, se presentan lluvias más extensas espacialmente. En el estudio se concluye entonces, que los FRA dependen del origen de la tormenta en cada zona.

De acuerdo con las conclusiones de diversos autores, algunos consideran que los FRA varían con el periodo el retorno y otros opinan lo contrario. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede observar que existen algunas variaciones en los factores para los diferentes periodos de retorno. En general, para ambos estados el FRA disminuye conforme el periodo de retorno aumenta, a excepción de las zonas montañosas y las zonas afectadas por eventos ciclónicos; donde se observa que el factor aumenta conforme aumenta el T_r .

En los resultados presentados en capítulos anteriores, se concluye que en general, los Factores de Reducción Areal en ambos estados, aumentan conforme disminuye el área, aunque cabe mencionar que no lo hace de manera constante. Por lo tanto, podría concluirse que el FRA está también en función de la magnitud del área de análisis.

Comparando los factores teóricos con los empíricos, no se percibe una diferencia importante entre ambos métodos. Los valores estimados para el estado de Durango por Domínguez, son muy similares a los calculados por el método de Análisis de Frecuencias.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, R. J., DeGaetano, A. T., 2005. Areal Reduction Factors for two Eastern United States Regions with high raingauge density. (ASCE, Ed.) *Journal of Hydrologic Engineering*, 10 (4), 327-335.

Aparicio, M. F. J., 2010. *Fundamentos de hidrología de superficie*, Ed. Limusa, México, 303 pp.

Asquith, W. H., Famiglietti, J. S., 2000. Precipitation areal reduction factor estimation using an annual maxima centered approach. *Journal of Hydrology*, 230: 55-69.

Bacchi, B., Ranzi, R., 1996. On the derivation of areal reduction factor of storms. *Atmospheric Research*, 42: 123-135.

Bell, F. C., 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology. Div.*, Vol. 95, No. HY1.

Bell, F. C., 1976. The areal reduction factor in rainfall frequency estimation, *Institute of hydrology*, No. 35, Wallingford, Inglaterra.

Bolaños, C., J., Mendoza, M., A., Reyes, H., J., 2014. Factores de reducción de área-Método de bloques alternos a hidrogramas de diseño. Informe interno del Instituto de Ingeniería, México.

Chen C., 1983. Rainfall intensity-Duration-Frequency formulas. *Journal of Hydrology. Eng.*, Vol. 109, No. 12.

Chow V. T., Maidment D. R., Mays L. W., 1988. *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill.

Comisión Federal de Electricidad, 1981. Manual de diseño de obras civiles, Hidrotecnia. A.1.5. Relación entre precipitación y escurrimiento. México.

Court, A., 1961. Area-depth Rainfall formulas, *Journal Geophysical Research*, Vol. 66.

De Michelle, C., Kottegoda, N. T., Rosso, R., 2001. The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties. *Water Resources Research*, 37: 3247-3252.

Desbordes, M., Raous, P., Trévisiol, Y. 1984, Areal reduction factors on short time and space intervals. *Weather, Sciences and Technology*. Vol. 16, Copenhagen, pp 189-198. Printed in Great Britain.

DGCOH, 1982. Manual de Hidráulica Urbana, Tomo I, Departamento del Distrito Federal, México.

Domínguez, M., R., Franco, D., C., 2002. Análisis regional para la obtención de precipitaciones de diseño asociadas a duraciones menores de 2 horas. *Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. La Habana, Cuba.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Domínguez, M., R., Villalobos, E., Guichard, R., D., 1997. Contribución al análisis regional de lluvias y escurrimientos máximos en la cuenca del río Grijalva. México: CENAPRED.

Escalante, S., C., Reyes, C., L., 2002. Técnicas estadísticas en hidrológica, UNAM.

Estévez, J., García, A., Ayoso, J. L., 2010. Estimation of areal reduction factors in the province of Córdoba (Southern Spain). Memorias del XIV International Congress on Project Engineering. Madrid, España.

Franco, D., C., 1998. Análisis regional de lluvias convectivas. Aplicación al Valle de México. Tesis de Maestría en Ingeniería Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Garcés, H., A., 2008. Estimación de tormentas de diseño considerando la variación de la distribución espacial de la lluvia. Aplicación al sistema principal de drenaje de la zona metropolitana del valle de México. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM.

González, O, S., 2012. Estimación de factores de reducción por área. Aplicación a la cuenca del río Pánuco. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM.

Guichard, R., D., 2002. Factores de reducción areal: Recopilación de métodos y obtención de factores empíricos para la confederación hidrográfica del Júcar. Valencia, España.

Guichard, R., D., 2005. Influencia de la variabilidad espacio-temporal de la intensidad de lluvia en la respuesta hidrológica durante episodios de crecida. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Valencia, España.

Guichard, R., D., Domínguez, M., R., 1998. Regionalización de lluvias y escurrimiento en la cuenca del alto río Grijalva, Tesis de maestría. DEPFI, UNAM.

Guichard, R. D., Domínguez, M. R., 1998. Análisis regional de lluvias en la cuenca del alto río Grijalva, XIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Oaxaca, México.

Guichard, R. D., Domínguez, M. R., García, B., R., 2004. Factores de reducción areal: Revisión histórica. Aplicación en cuencas de la zona mediterránea de España. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Paulo, Brasil.

Guichard, R. D., Domínguez, M. R., Francés, G., F., García, B., R., 2009. Análisis de la densidad de estaciones en zonas de lluvias convectivas. Caso del mediterráneo español. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XXIV, núm. 3, pp 35-49.

Guichard, R. D., Domínguez, M. R., Francés, G., F., García, B., R., 2004. Influencia de la variabilidad espacio-temporal de la lluvia mediterránea en la respuesta hidrológica en cuencas pequeñas y medianas. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Sao Paulo, Brasil.

Hershfield, D. M., 1962. Extreme rainfall relationships. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Hydraulic Div., HY6 (11): 73-79.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Jiménez, E., M., 1996. Programa AX. Área de Riesgos Hidrometeorológicos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.

Lorente, J., Redaño, A., 1990. Rainfall Rate Distribution in a local scale: The Case of Barcelona city. *Theoretical and Applied Climatology* 41, 23-32.

Mena, R., S., 2004. Factores de reducción de área para el cálculo de lluvias de diseño. Aplicación al estado de Sinaloa. Tesis de maestría. DEPFI, UNAM.

Mendoza, G., M., 2001. Factores de regionalización de lluvias máximas en la República Mexicana. Tesis de maestría. DEPFI, UNAM.

Myers, V. A., Zehr, R. M., 1980. A methodology for point to area rainfall frequency ratios, NOAA Tech. Report NWS 24, Washington, D.C.

Natural Environmental Research Council (NERC), 1975. Flood Studies Report, Vol. II. Meteorological studies, Swindon, England.

NERC, 1975, Flood Studies Report, Volume I. Estimation of flood volumes over different durations, Hydrological studies, London, England.

Nguyen, V., Rousselle, J., McPherson, M.B., 1981. Evaluation of areal versus point rainfall with sparse data, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 8, 173-178.

Niemczynowicz, J., 1984. An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes, Report No. 1005, Lund Institute of technology, University of Lund.

Omolayo, A.S., 1993. On the transposition of areal reduction factors for rainfall frequency estimation, *Journal of hydrology*, 145: 191-205.

Osborn, B., H., Lane, J., L., Myers, A., V., 1980. Rainfall/Watershed Relationships for Southwestern Thunderstorms. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.

Palacios, C., S., 2010. Tormentas de diseño en el río Grijalva. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Palacios, C., S., 2013. Comparación entre métodos para estimar avenidas de diseño empleando datos hidrométricos y climatológicos. Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Palacios, C., S., Domínguez, M., R., 2012. Determinación de avenidas de diseño considerando registros climatológicos, XXI Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco, Guerrero, México.

Robb L., 1988. Diccionario para Ingenieros. Ed. Continental, México.

Roche, M., 1963. *Hydrologie de Surface*, pp 430. Gauthier-Villars, París.

Rodríguez Iturbe, I., Mejía, J. M., 1974. On the transformation of point rainfall to a real rainfall, *Water Resources Research*, 10(4), 729-735.

Sivapalan, M., Blöschl, G., 1998. Transformation of point to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves. *Journal of Hydrology*, 204: 150-167.

Springall, G., R., 1970. *Hidrología (Primera parte)*. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.

Stewart, E. J., 1989. Areal reduction factors for design storm construction: Joint use of raingauge and radar data, *IAHS Publ.* 181: 31-49.

Témez, J.R., 1991. Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain, XXIV Congreso de la IAHR, Madrid, España. pp A-33-A-40.

Tipacamú, G., Gómez, F., Domínguez, R. D., 1992. Determinación de factores de reducción por área para el cálculo de la precipitación media de una tormenta de diseño. Aplicación a dos cuencas del río Grijalva, XII Congreso Nacional de Hidráulica, México.

US Weather Bureau, 1957. Rainfall intensity-frequency regime, Part 1-The Ohio Valley, Technical Paper No. 29, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.

Viessman, W., Terence, H., Knapp, J., 1972. *Introduction to Hydrology (Third Ed.)*. New York: Harper & Row Publishers. 780 p.

Waymire, E., Gupta, V., K., Rodríguez-Iturbe, 1984). A spectral theory of a rainfall intensity field at the meso- β scale, *Water Resources Research* 10(10): 1453-1465 pp.

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

ANEXOS

ANEXO A. Estaciones Climatológicas. Durango y Tamaulipas

Estaciones climatológicas empleadas para el análisis en el estado de Durango

ESTACIÓN	NOMBRE		X	Y
10001	ATOTONILCO	operando	103° 41' 54.00" W	24° 38' 26.00" N
10003	CANELAS	operando	106° 34' 0.00" W	25° 6' 0.00" N
10004	CAÑÓN FERNANDEZ	operando	103° 46' 25.00" W	25° 15' 55.00" N
10005	CEBALLOS	operando	104° 21' 4.00" W	26° 19' 26.00" N
10006	CENDRADILLAS	operando	106° 0' 38.00" W	26° 16' 58.00" N
10007	CIENEGA DE ESCOBAR	operando	105° 44' 47.00" W	25° 36' 3.00" N
10008	CINCO DE MAYO	operando	104° 17' 16.00" W	25° 46' 25.00" N
10012	CUENCAME	operando	103° 41' 54.00" W	24° 52' 10.00" N
10016	CHINACATES	operando	105° 12' 42.00" W	25° 0' 36.00" N
10018	EL CANTIL	operando	106° 15' 33.00" W	24° 56' 40.00" N
10020	EL DERRAME	operando	104° 29' 54.00" W	26° 13' 52.00" N
10021	EL PALMITO	operando	105° 0' 13.00" W	25° 36' 52.00" N
10022	EL PINO	operando	104° 51' 57.00" W	24° 37' 9.00" N
10023	EL PUEBLITO	operando	104° 44' 6.00" W	23° 57' 52.00" N
10024	EL SALTITO	operando	104° 20' 58.00" W	24° 1' 43.00" N
10026	EL TARAHUMAR	operando	106° 19' 28.00" W	25° 37' 1.00" N
10027	FRANCISCO I. MADERO	operando	104° 19' 8.00" W	24° 24' 2.00" N
10028	EL CUARTO	operando	104° 28' 51.00" W	24° 56' 42.00" N
10029	GUANACEVI (SMN)	operando	105° 57' 6.00" W	25° 55' 59.00" N
10030	GUADALUPE VICTORIA (DGE)	operando	104° 7' 20.00" W	24° 26' 46.00" N
10035	J. SALOME ACOSTA	operando	105° 26' 56.00" W	25° 13' 14.00" N
10040	LAS BAYAS	operando	104° 49' 28.00" W	23° 30' 16.00" N
10042	LAS TRUCHAS	operando	105° 58' 0.00" W	24° 10' 28.00" N
10045	MAPIMI	operando	103° 50' 48.00" W	25° 49' 56.00" N
10047	NARCISO MENDOZA	operando	103° 57' 36.00" W	23° 56' 32.00" N
10048	NAVIOS VIEJOS	operando	105° 2' 30.00" W	23° 50' 4.00" N
10049	NAZAS	operando	104° 6' 24.00" W	25° 13' 48.00" N
10050	EL OJITO DE CAMELLONES	operando	106° 31' 50.00" W	25° 3' 45.00" N
10051	OTINAPA	operando	105° 0' 31.00" W	24° 3' 13.00" N
10052	PANUCO DE CORONADO	operando	104° 19' 59.00" W	24° 32' 18.00" N
10053	PEÑOLES	operando	104° 16' 48.00" W	25° 25' 12.00" N
10054	PEÑA DEL AGUILA	operando	104° 39' 29.00" W	24° 12' 19.00" N
10057	PRESA SANTA ELENA	operando	104° 3' 20.00" W	23° 37' 31.00" N
10061	ROSARIO	operando	105° 38' 39.00" W	26° 30' 22.00" N
10063	SAN BARTOLO	operando	104° 39' 20.00" W	24° 31' 37.00" N
10064	SAN DIMAS	operando	105° 57' 10.00" W	24° 8' 54.00" N

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

10065	SAN FRANCISCO DEL MEZQUITAL	operando	104° 23' 55.00" W	23° 28' 12.00" N
10066	SAN JOSE DE ACEVEDO	operando	104° 15' 59.00" W	23° 48' 26.00" N
10068	SAN JUAN DEL RIO	operando	104° 23' 43.00" W	24° 47' 59.00" N
10070	SAN MARCOS	operando	103° 32' 34.00" W	24° 17' 40.00" N
10071	SAN MIGUEL DE LOBOS	operando	105° 59' 0.00" W	25° 11' 0.00" N
10072	SAN PEDRO DEL GALLO (SMN)	operando	104° 17' 30.00" W	25° 34' 2.00" N
10074	SANTA CLARA	operando	103° 21' 11.00" W	24° 28' 9.00" N
10075	SANTA MARIA DEL ORO	operando	105° 22' 0.00" W	25° 57' 12.00" N
10076	SANTIAGO BAYACORA	operando	104° 36' 16.00" W	23° 53' 56.00" N
10078	SARDINAS	operando	105° 33' 57.00" W	26° 5' 3.00" N
10080	SIMON BOLIVAR	operando	103° 13' 35.00" W	24° 41' 16.00" N
10081	SUCHIL	operando	103° 55' 4.00" W	23° 37' 26.00" N
10082	TAMAZULA DE VICTORIA	operando	106° 58' 30.00" W	24° 56' 10.00" N
10083	TEJAMEN	operando	105° 8' 2.00" W	24° 48' 30.00" N
10085	TLAHUALILO	operando	103° 26' 34.00" W	26° 6' 23.00" N
10087	VASCOGIL	operando	106° 21' 45.00" W	25° 7' 45.00" N
10088	VICENTE GUERRERO	operando	103° 58' 47.00" W	23° 44' 16.00" N
10089	VILLA HIDALGO (SMN)	operando	104° 54' 30.00" W	26° 14' 20.00" N
10090	CANATLAN (DGE)	operando	104° 47' 0.00" W	24° 31' 5.00" N
10098	RODEO (DGE)	operando	104° 33' 45.00" W	25° 11' 0.00" N
10099	SAN JUAN DE GUADALUPE (DGE)	operando	102° 46' 58.00" W	24° 37' 53.00" N
10100	SANTIAGO PAPASQUIARO (SMN)	operando	105° 24' 55.00" W	25° 3' 0.00" N
10103	SANTA BARBARA (DGE)	operando	104° 55' 34.00" W	23° 49' 18.00" N
10108	CIUDAD LERDO (DGE)	operando	103° 31' 19.00" W	25° 32' 46.00" N
10128	VILLA HIDALGO (DGE)	operando	104° 55' 10.00" W	26° 14' 52.00" N
10129	CONETO DE COMONFORT	operando	104° 46' 8.00" W	24° 58' 37.00" N
10131	PEÑON BLANCO (DGE)	operando	104° 2' 16.00" W	24° 47' 35.00" N
10132	SAN LUIS DEL CORDERO (DGE)	operando	104° 16' 48.00" W	25° 25' 12.00" N
10135	CUAUHTEMOC	operando	103° 47' 44.00" W	24° 15' 5.00" N
10141	CANUTILLO	operando	105° 22' 24.00" W	26° 31' 32.00" N
10143	INDE	operando	105° 13' 11.00" W	25° 34' 32.00" N
10149	GENERAL ESCOBEDO	operando	105° 15' 0.00" W	25° 30' 0.00" N
10165	LABORATORIO DEL DESIERTO	operando	103° 44' 49.00" W	26° 41' 8.00" N
10002	CANATLAN (SMN)	suspendida	104° 44' 32.00" W	24° 33' 13.00" N
10014	CHARCO VERDE (CFE)	suspendida	105° 27' 0.00" W	23° 58' 0.00" N
10025	EL SALTO (SMN)	suspendida	105° 22' 0.00" W	23° 47' 0.00" N
10036	LA CIUDAD (CFE)	suspendida	105° 35' 0.00" W	23° 43' 0.00" N
10056	PEÑON BLANCO (SMN)	suspendida	104° 2' 3.00" W	24° 47' 28.00" N
10069	SAN LUIS DEL CORDERO (SMN)	suspendida	104° 17' 0.00" W	25° 25' 0.00" N

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Estaciones climatológicas empleadas para el análisis en el estado de Tamaulipas

Estación	NOMBRE		X	Y
28001	ABASOLO (DGE)	operando	98° 23' 24.00" W	24° 3' 56.00" N
28006	BARBERENA	operando	98° 10' 15.00" W	22° 37' 15.00" N
28007	BARRANCO AZUL	operando	99° 6' 47.00" W	24° 23' 59.00" N
28008	BELLAVISTA	operando	99° 3' 5.00" W	22° 49' 40.00" N
28012	C.E.I. CIUDAD MANTE	operando	98° 58' 0.00" W	22° 43' 0.00" N
28016	CAMPO EXP. CUAUHTEMOC	operando	98° 9' 5.00" W	22° 32' 35.00" N
28019	CRUILLAS	operando	98° 32' 5.00" W	24° 45' 15.00" N
28020	CORONA	operando	98° 56' 9.00" W	23° 56' 21.00" N
28021	CORRALEJO	operando	99° 0' 40.00" W	24° 23' 37.00" N
28023	CHAMAL NUEVO	operando	99° 11' 29.00" W	22° 50' 27.00" N
28024	CAÑÓN DEL DIABLO	operando	98° 22' 15.00" W	23° 37' 36.00" N
28028	EL BARRETAL	operando	99° 7' 37.00" W	24° 5' 2.00" N
28029	EL MAYAB	operando	98° 20' 44.00" W	22° 54' 56.00" N
28030	EL OCOTILLAL	operando	98° 29' 30.00" W	24° 26' 28.00" N
28033	FRANCISCO CASTELLANOS	operando	98° 36' 30.00" W	23° 15' 27.00" N
28035	GONZALEZ	operando	98° 25' 11.00" W	22° 48' 51.00" N
28036	GUEMEZ	operando	99° 0' 16.00" W	23° 55' 7.00" N
28038	HIDALGO (DGE)	operando	99° 26' 4.00" W	24° 15' 9.00" N
28041	JIMENEZ	operando	98° 29' 5.00" W	24° 12' 43.00" N
28043	LA BOQUILLA	operando	99° 16' 45.00" W	22° 46' 20.00" N
28045	LA ENCARNACION	operando	98° 0' 54.00" W	23° 22' 54.00" N
28046	LA ESPERANZA	operando	97° 57' 12.00" W	23° 9' 59.00" N
28047	LA LOBA	operando	98° 37' 2.00" W	24° 21' 30.00" N
28048	FRANCISCO GONZALEZ VILLARREAL	operando	97° 58' 45.00" W	25° 21' 58.00" N
28049	LA SERVILETA	operando	99° 7' 12.00" W	22° 51' 8.00" N
28050	LA SONADORA	operando	98° 38' 49.00" W	23° 57' 52.00" N
28055	LOS TOMATES	operando	98° 11' 50.00" W	22° 27' 10.00" N
28058	MAGISCATZIN (DGE)	operando	98° 42' 58.00" W	22° 47' 39.00" N
28059	MAGUEYES	operando	99° 33' 4.00" W	24° 34' 0.00" N
28060	VILLA MAINERO	operando	99° 37' 0.00" W	24° 32' 44.00" N
28062	MENDEZ	operando	98° 35' 11.00" W	25° 7' 3.00" N
28064	LAZARO CARDENAS	operando	98° 49' 30.00" W	22° 29' 56.00" N
28066	NUEVO MORELOS	operando	99° 12' 50.00" W	22° 31' 42.00" N
28070	PADILLA	operando	98° 44' 32.00" W	24° 4' 15.00" N
28072	PASO DEL AURA	operando	98° 5' 0.00" W	23° 38' 48.00" N
28074	PASO DE MOLINA	operando	98° 44' 43.00" W	23° 43' 30.00" N
28080	RIO FRIO	operando	99° 1' 15.00" W	22° 49' 43.00" N
28081	ROSILLO	operando	98° 35' 51.00" W	22° 55' 0.00" N
28083	SABINAS	operando	99° 5' 40.00" W	23° 1' 22.00" N

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

28084	SAN CARLOS	operando	98° 56' 49.00" W	24° 34' 52.00" N
28086	SAN FERNANDO	operando	98° 9' 30.00" W	24° 50' 50.00" N
28088	SAN JOSE DE LAS RUSIAS	operando	98° 2' 12.00" W	23° 33' 7.00" N
28089	SAN JOSE DEL VERDE	operando	98° 36' 30.00" W	23° 36' 50.00" N
28094	SAN NICOLAS	operando	98° 49' 47.00" W	24° 41' 22.00" N
28111	TAMPICO	operando	97° 52' 44.00" W	22° 14' 19.00" N
28113	TENACITAS	operando	97° 46' 49.00" W	23° 35' 52.00" N
28120	XICOTENCATL	operando	98° 59' 29.00" W	22° 59' 36.00" N
28125	NUEVA APOLONIA	operando	98° 37' 2.00" W	22° 30' 12.00" N
28130	EL BARRANCO	operando	97° 54' 18.00" W	22° 33' 57.00" N
28136	GOMEZ FARIAS	operando	99° 8' 45.00" W	23° 1' 43.00" N
28137	LAS ANIMAS	operando	98° 41' 27.00" W	22° 39' 31.00" N
28139	EL REFUGIO	operando	98° 55' 2.00" W	22° 30' 3.00" N
28145	EL APURO	operando	97° 55' 17.00" W	22° 43' 17.00" N
28147	TAMESI	operando	98° 25' 22.00" W	22° 25' 26.00" N
28148	EL BARRETAL	operando	99° 8' 49.00" W	24° 5' 39.00" N
28149	EL PILON	operando	99° 1' 16.00" W	24° 12' 23.00" N
28151	PRESA VICENTE GUERRERO	operando	98° 39' 58.00" W	23° 57' 42.00" N
28152	SOTO LA MARINA	operando	98° 12' 39.00" W	23° 46' 8.00" N
28154	REPUBLICA ESPAÑOLA	operando	98° 12' 0.00" W	23° 42' 0.00" N
28156	E.T.A. 067 CIUDAD MANTE	operando	98° 58' 20.00" W	22° 44' 33.00" N
28160	LAS LAJITAS	operando	98° 2' 0.00" W	23° 48' 54.00" N
28161	PRESA LA PATRIA	operando	98° 27' 33.00" W	23° 58' 4.00" N
28180	EL ENCINAL	operando	98° 23' 3.00" W	24° 23' 48.00" N
28190	EL PIRULI	operando	98° 31' 54.00" W	23° 34' 16.00" N
28191	PRESA PEDRO J. MENDEZ	operando	99° 23' 38.00" W	24° 2' 43.00" N
28192	PUERTO RICO	operando	98° 58' 40.00" W	24° 15' 10.00" N
28195	SAN LORENZO	operando	98° 48' 0.00" W	22° 56' 54.00" N
28197	SAN JOSE DE LAS FLORES	operando	99° 7' 4.00" W	23° 54' 16.00" N
28199	GUADALUPE	operando	99° 5' 49.00" W	24° 22' 3.00" N
28200	EL LAJAL	operando	98° 43' 46.00" W	22° 50' 46.00" N
28203	SANTA JUANA	operando	98° 6' 12.00" W	22° 46' 44.00" N
28206	EL CHIJOL	operando	98° 2' 6.00" W	22° 52' 37.00" N
28405	SACA DE AGUA	operando	98° 51' 53.00" W	22° 47' 1.00" N
28057	MAGISCATZIN (SMN)	suspendida	98° 42' 0.00" W	22° 48' 0.00" N
28112	TANCASNEQUE	suspendida	98° 31' 55.00" W	22° 33' 50.00" N
28118	VILLAGRAN (SMN)	suspendida	99° 29' 19.00" W	24° 28' 14.00" N
28122	ABASOLO (SMN)	suspendida	98° 23' 0.00" W	24° 4' 0.00" N
28123	BURGOS (SMN)	suspendida	98° 47' 0.00" W	24° 57' 0.00" N

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

ANEXO B. Precipitaciones máximas anuales

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10001	10002	10003	10004	10005	10006	10007	10008	10012	10014	10016	10018	10020
1964		55.00	58.00	21.50	30.50	33.00		55.50	28.60	37.00	43.00	96.30	
1965		25.00	134.80	50.50	32.00	50.00	31.50	23.00	38.20	50.00	22.00	146.30	
1966		35.00	88.60	20.50	72.00	46.00	35.00	25.00	63.40	45.00	37.00		
1967		25.00	87.00	20.00	24.50	36.00	80.00	36.50	60.50	53.50	37.00	76.00	28.00
1968		45.00	88.50	25.00	45.00	59.00		41.00	71.20	84.50	37.00	183.00	39.00
1969		31.00	63.70	20.00	17.00	23.50	39.00	19.00	55.10	75.50	21.00	86.00	20.00
1970		137.00	73.00	36.00	91.50	25.50	34.50	45.50	68.50	41.50	35.00	65.00	80.00
1971	44.00	30.00	68.00	58.00	77.00	42.00	34.00	39.50	42.80	36.00	21.00	68.00	52.00
1972	47.00	40.00	189.50	36.50	61.00	43.50	55.00	29.00	52.50	50.50	30.00	170.00	37.00
1973		50.00	47.00			69.00	39.00	42.00	59.20			55.00	45.00
1974	31.50	40.00	76.00	21.00	38.00	75.00	40.00	21.50	34.70		14.00	111.00	27.00
1975	25.00	40.00	81.00	20.00		27.50	37.50	29.00	38.00	48.00		45.00	17.00
1976	35.50	60.00	136.80	20.00	43.50	46.50	39.10	40.50		48.00		144.00	42.00
1977		40.00	125.00	21.10	30.00	41.00	48.20	27.00	52.20	40.00		138.00	
1978	40.00	62.00	88.00	28.80	46.00	51.00	33.00	35.00	28.50	36.00		84.00	53.00
1979	11.40		170.00	37.00	96.00	37.00	45.00	40.00	55.00	89.00		206.00	40.00
1980	8.90	45.00	50.00	37.50	27.00	27.00	32.50	33.50	57.00	43.00	35.50	106.00	46.00
1981	30.00		54.20	27.00	27.00	31.00	50.00		39.00	65.00	40.80	57.00	20.00
1982	31.70	45.00	70.00	32.00	23.60	31.00	40.00	21.00	75.10		31.60		34.00
1983	75.00	48.00	105.00	26.20	16.00	64.00	48.00	18.00	82.50		44.80	117.00	24.00
1984	33.00	57.00	137.00	53.50	34.00	36.50	62.00	48.00	40.30		27.50	70.00	51.00
1985	41.30	47.00			55.00	43.50	41.00		37.50	30.00	29.40		45.00
1986		54.00	57.00	46.50		63.00	48.00	32.00	49.80		33.00	163.00	42.00
1987		94.00		24.50		50.00	20.40	40.00	54.30	20.60		90.00	
1988		41.00		39.50	25.00	68.50		30.00		44.20	49.00		40.00
1989		58.00		27.00		38.50	45.00	33.00	48.00	83.00	44.00	86.00	17.00
1990				47.20			47.00		43.20	36.00	35.00	82.00	56.00
1991	46.00	61.00		30.50	39.00		20.00	50.00	33.50		58.00	186.00	
1992	43.00	50.00	81.00	27.70	26.00	30.00	72.50	30.00	33.00		40.00	95.00	19.00
1993	57.00	56.00	74.00	69.00	25.00	63.00	44.00	80.00	52.00		41.00		26.00
1994	36.00	38.00		58.50	35.00	55.00	26.00	45.00	43.90		35.00		15.50
1995	45.00	38.00		33.00	40.00	33.00	30.50	32.00	46.60		45.00		
1996		38.00		66.00		82.00	28.50	30.00	75.40		50.00		21.00
1997	28.00	30.00	97.00	86.50	17.00		20.00	44.00	41.50		280.00	89.00	33.00
1998	37.50	34.00		40.40		44.00		56.00	57.30				29.00
1999	32.50			32.50	35.00		21.00	40.00	55.90		28.00		49.50
2000	43.00	30.00		50.50	28.00	66.00		40.00	43.90		24.00		31.00
2001	25.00	26.00		28.50	20.00	26.00	43.00	34.00			14.00		34.00
2002	65.00			32.80	24.00	50.50	30.00	32.00	33.00		28.00	40.00	86.00
2003	60.00			35.00	60.00	33.00	26.00	60.00	55.70			40.00	43.00
2004	72.00		152.00	57.50	49.00		40.00	27.00			21.00	70.00	75.50
2005	52.50		68.70	54.80	36.00		36.00		45.40		29.50	60.00	74.00
2006	40.00		53.00	29.50	61.50		82.00	47.00	61.50		22.00		
2007	30.00		71.20		27.50		53.00	24.00				50.00	
AÑOS	29	34	29	41	36	36	39	40	39	21	34	31	35

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

ÑO	10021	10022	10023	10024	10025	10026	10027	10028	10029	10030	10033	10035	10036
1964	31.50	54.50	39.70	45.20	41.00		47.00	40.00	35.40	44.50	48.00		57.00
1965	42.60	35.20	30.30	27.50	70.50		49.00	32.00	33.00	45.80	33.00		105.00
1966	33.00	65.50	47.50	28.00	42.50	66.00	42.00	55.50	30.30	33.10	48.00		91.00
1967	64.00	51.50	27.00	48.30	80.50	42.00	69.00	80.00		30.50			79.00
1968	48.50	134.50	55.50	38.40	78.00	70.00	38.00	32.00			48.00		226.00
1969	30.50	39.00	38.50	22.50	60.30	47.00	24.00	45.00		76.00	97.00		140.00
1970	46.40	75.00	63.20	46.50	60.00	63.00	55.00	85.00		30.20	48.00		60.00
1971	29.30	44.00	43.00	50.40	42.00	47.00	44.00	48.00		50.00			84.00
1972	38.00	48.00	60.00	70.40	66.00	85.00	48.00	60.00		28.00			70.00
1973	62.50		78.00	40.60	60.00	72.00	64.00	50.00			53.30		62.00
1974	35.00	40.00	37.00	48.50	85.00	68.50	40.00	27.00			250.00		100.00
1975	57.00	40.00	26.50	34.40	72.00	38.00	38.00	70.00		53.00	77.00		50.00
1976	32.00	44.00	48.00	56.50	55.00	42.00	45.00	53.00		54.00	25.50	49.50	
1977	40.00	30.00	28.00	31.50	33.00	38.00	46.00	33.00			45.00	17.20	
1978	60.30	36.50	35.00	40.00	40.80	66.00	42.00	31.00		33.00	32.00	30.90	
1979	43.00	25.00	42.00	65.00	108.00	63.50	38.00	35.00			20.50	20.20	40.00
1980	47.00	49.00	49.80	41.30	48.60	60.00	42.00	38.00			28.00	32.90	60.00
1981	32.50	35.00	48.00	120.00	60.80	50.00	38.00	70.00		60.00		21.90	160.00
1982	34.50	34.00	83.00	73.00	126.50	42.00	45.00	34.00		62.50		39.40	75.00
1983	36.00	38.00	54.00	130.00	57.50	38.00	45.00	56.50		53.00		39.00	200.00
1984	42.50	32.50	40.10		87.20	60.00	45.00	40.00	62.00	33.50			
1985	41.00	37.00	66.00	47.00	73.10	54.00		50.00	38.00	45.50	15.00		53.40
1986		56.00	90.80	80.00	85.50	66.00		45.00	44.00		42.00	42.00	
1987	50.80	61.00	50.80		40.30	45.00		60.00	40.00		240.00	89.90	82.00
1988	20.00	40.00	58.00			40.00	54.00	31.00	49.00	32.00			83.00
1989		30.00	35.00			57.00	47.50	31.00	39.00				73.00
1990	51.00	41.00	44.00			50.00		34.00	36.00	35.90		48.50	120.00
1991	55.50	46.00	53.00				49.40	44.00	42.00	36.20		43.40	
1992	36.00	25.00	26.00			56.00	41.00	29.00	47.00	40.00		22.80	
1993	60.00	42.00	47.00			120.00	41.80	30.00	35.00	88.00		34.80	
1994	23.00			60.00		48.00	25.20	32.00	20.00	98.00		44.20	
1995	32.00		30.70	36.70		47.00	38.00	40.00	37.50	69.00		33.80	
1996	33.50		64.90	56.70		47.00	32.00	56.00	35.00			30.30	
1997	71.50	31.00	69.80	25.20		52.00		24.00		20.00		30.50	
1998	41.50	30.00	82.80			32.00	71.00	40.00		32.40		16.30	
1999	33.10	28.00	44.00	40.00		54.00	24.00	47.50	41.00			43.10	
2000	55.00	48.00	63.80	41.50		65.00	48.00	64.00		29.40		60.30	
2001	34.20	35.00	50.00	50.50		43.00	42.00	22.50		28.10		25.90	
2002	17.80	62.00	45.00	38.90		60.00	51.20	56.00	46.00	31.40		41.50	
2003	71.90		72.20	75.80		38.00	53.00	60.00	32.00	42.10		31.50	
2004	77.30		52.50	25.00		70.00		34.50		36.10		51.70	
2005	22.90		49.50			47.00	44.60	50.50		20.40		30.10	
2006	64.00		35.00	30.40		90.00		50.00	48.00	36.80			
2007	40.00					53.00		50.00		52.50		32.50	
AÑOS	42	35	42	33	24	41	36	44	20	33	17	27	22

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10040	10042	10045	10046	10047	10048	10049	10050	10051	10052	10053	10054	10055
1964	53.50	45.50	60.00		37.50				40.00			56.50	
1965	44.00	75.00	37.00		48.50				36.00			56.10	
1966	65.00	64.00	73.50		39.00	76.00	29.00	41.60	48.00		40.00	53.20	
1967	47.00	68.00	27.50		43.30	50.00	42.00	100.00	60.00		28.00	63.20	
1968	136.00	125.00	27.00		34.00	90.00	34.50	134.00	60.00		47.00	47.50	
1969	80.00	80.00	15.00		27.50	55.00	80.00	125.00	39.00		60.00	32.50	
1970	52.00	77.00	30.20		74.80	60.00	50.00	60.50	50.00		42.00	55.50	
1971	42.00	45.00	51.10		24.50	38.00	60.50	60.40	27.00		46.50	29.50	
1972	160.00	151.00	91.00		48.20	65.00	75.00	100.60	30.00		32.00	37.50	
1973		61.00					80.00	50.00					
1974	100.00	98.00				38.00		100.00	43.00		28.50		
1975	63.00	56.00			60.50	42.00	38.20	30.10	48.00		40.00	57.00	
1976	74.00	88.00	40.50	35.00	38.00	33.00	52.00	100.30	54.00	31.30	28.00	34.40	25.00
1977	30.00	49.00	17.00	60.00	37.30	38.00	37.90	60.20	25.00	50.00	16.00	37.30	25.00
1978	30.00	49.00	220.00	57.00	52.30	33.00	38.20	60.90	65.00	50.00	48.00	39.00	30.00
1979	30.00	103.00	34.00	40.00	22.50	50.00	46.00	100.90	34.00	52.40	26.00	33.30	20.00
1980	24.00	61.00	25.00	40.00	38.50	36.00	56.50	86.00	40.00	50.00	24.00	72.80	25.00
1981		62.00	59.00	60.00	39.50	65.00	66.40	95.00	39.00	33.00	34.00	41.00	20.00
1982		98.00	37.00	120.00	58.50	130.00	32.60	100.20	58.00	60.00	20.00	59.00	26.90
1983		56.00	76.00	50.00	52.00	50.00	21.00	302.00	60.00	73.00	63.00	63.30	28.10
1984	70.00	70.00	63.50	50.00	36.00		35.00	145.00	45.00	58.00	39.00	45.50	31.00
1985		81.00	64.50		40.50	30.00	27.20		58.00	48.00	60.00	45.20	31.60
1986	41.50	74.00	60.00		59.50		60.20		49.00	60.10		55.50	
1987				42.00	46.50		59.20			49.10		66.30	
1988			28.00	33.80	29.00	65.00	38.60	95.00	35.00	49.50		41.20	57.10
1989	37.00			45.00	43.00	70.00	27.50		62.00	45.60		42.60	
1990	79.00		96.00	50.80	32.50	95.00	47.50		56.00	52.60		26.90	38.10
1991	52.30			31.00	38.00	49.00	27.60		41.40	62.10	32.00	75.00	44.40
1992	63.50		40.00	65.50	33.00	90.00	44.00		60.00	28.00	24.00	25.10	
1993	45.00		83.50		45.00	40.50	58.80		48.00	39.00	84.00	68.50	
1994	84.00		21.00		35.00	75.00	23.00		45.00	59.00	38.00		150.00
1995			39.00		24.50	40.00	21.00		30.00	21.80	21.00	61.00	80.00
1996			26.00	45.50	35.00	50.00	35.50			68.00		47.80	34.00
1997	40.00	82.00	56.50	48.50	40.00	50.00	46.30		36.00		41.00	39.00	30.00
1998	48.00	50.00	50.00		27.50	75.00		60.50	30.00	34.20	35.00	45.50	40.00
1999			62.00		46.00	43.00	42.50	63.00	40.00	38.60	40.00	57.30	
2000			62.00		47.00		47.50		45.00	31.70	48.00	45.50	
2001	56.20				23.00	41.00	12.00	30.50	43.00	59.10	32.00	32.50	
2002	46.50		55.00		54.00	45.00	31.00	50.00	40.00	47.60	64.00	56.30	25.00
2003	40.10	79.00	80.00		43.00	43.00	54.00	70.50	46.00	52.50	32.00	78.10	
2004	45.30	80.00			40.00	58.00		70.50	40.00	35.30	31.00	58.80	
2005					68.00	75.00		60.20	25.00	40.20	22.00	49.50	
2006	46.50	99.00	75.00		48.00	76.00	40.00	60.00	30.00		36.00	39.20	
2007			58.80		38.50	69.50	70.00	80.00	81.00	58.80	32.00	42.60	
AÑOS	31	28	35	17	42	37	38	29	41	30	35	41	19

* Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10056	10057	10060	10061	10063	10064	10065	10066	10067	10068	10069	10070	10071
1964	37.00		42.20	62.50	32.50	93.40	25.00			32.40	60.00	97.00	
1965	20.00		28.70	33.60	30.50	17.30	32.50			69.50		44.00	
1966	45.00		42.00	38.00	34.00	36.50	62.00		19.00	29.00	60.00	38.00	41.00
1967	25.00		35.00	66.00	27.50	24.00	37.00			64.40	10.00	50.50	48.00
1968	22.00		54.00	79.00	46.00	80.00	49.00			36.50	20.00	46.00	84.00
1969	20.00		20.00	31.00	58.00		56.00			50.10		28.50	58.00
1970	25.00		53.00	100.00	32.50	190.00	51.00			80.50		48.00	53.00
1971	20.00		33.20	80.30	40.00	120.00	43.00		68.00	50.80	40.00	49.00	46.00
1972	20.00		59.00	65.50	42.00	97.00	20.00		58.00	53.50	47.00	48.50	110.70
1973	40.00		32.50		40.00	90.00	35.50			69.20	20.00	63.00	
1974	28.00		49.00		26.00	80.00	47.50			43.00	10.00	57.50	105.00
1975	24.00		53.50	43.80	42.00	91.00	32.00			32.00	10.00	37.50	86.20
1976	27.00	27.00		50.70	45.00	56.00	32.00	33.00		34.00	21.00	45.00	106.00
1977	20.00	30.00		29.00	24.00		36.50	34.00		59.00	20.00	25.50	60.00
1978	20.00	33.00		43.00	60.00	75.00	44.50	36.00		40.00	15.00	63.50	42.50
1979	20.00	23.40			20.00	282.10	15.00	20.00		46.00	30.00	42.00	
1980	20.00	36.00		30.00		71.00	22.50	30.00		37.70	20.00	21.00	76.00
1981		56.00		44.00	45.00	85.00		93.70		52.00	30.00	29.00	49.00
1982	20.00	84.00		20.00	27.50	72.00	38.00	79.00		43.70	20.00		
1983		43.00		22.50	40.00	115.00	80.00	46.00		40.00	20.00	51.00	46.50
1984	20.00	28.00		22.00	34.00	70.00	37.00	28.00		40.40	60.00	23.00	56.50
1985		46.00		40.00	38.00		48.00	25.00		40.70	20.00	64.00	
1986		34.00		30.00	82.00		24.00	20.00		40.60	20.00	36.00	
1987				32.00	40.00		61.00			55.20			
1988	30.00	44.00						29.00		41.80			
1989		20.50			40.00			25.00		46.20		34.50	
1990		48.00		25.00	23.00			46.00		40.00			
1991		35.00		52.00	33.00		65.50	44.00		56.20		52.00	
1992		25.00		24.50	22.50		65.50	85.00		37.30		53.00	
1993				24.50	55.00			45.00				48.50	
1994		62.00		25.00	26.20			26.00				56.50	
1995		27.00			35.50			35.00				29.00	
1996		32.00		30.00	20.00		45.50	47.00				40.00	40.00
1997		34.00		40.50	23.00		48.50	38.00		73.00		21.50	70.00
1998				40.00	40.00		32.00	36.00		29.00		36.00	36.00
1999		28.00		40.00	60.00		22.50	28.00				32.00	36.00
2000		25.00		51.50	32.00		52.50	30.00				35.00	36.00
2001		30.00		20.50	32.00		94.00	31.40					
2002		30.00		45.50		78.00	33.50					51.00	64.00
2003		60.00		36.50		50.00	54.50			30.00		60.00	33.00
2004		36.00		40.00	60.00	95.00		34.00		60.00		43.00	62.00
2005		32.00		42.00	25.00	59.00	31.00	30.00		21.00		58.00	42.00
2006		48.00		40.80	35.00	70.00		27.10		52.00			50.00
2007				37.00	50.00	86.20							47.00
AÑOS	20	28	12	38	40	25	34	28	3	35	20	37	27

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10072	10074	10075	10076	10078	10080	10081	10082	10083	10084	10085	10086	10087
1964	10.50	28.00						91.30			34.50	77.50	
1965		31.70						90.40			41.00	61.50	
1966		47.00		43.50				52.00			43.00	60.50	
1967		51.00		32.00				126.80			25.50	48.50	
1968		60.00		59.50				80.90			24.00	86.50	
1969		26.00		56.00				75.60			16.50	99.00	
1970		65.00		50.00				97.70			53.50	133.70	
1971		67.00		74.00				87.00			27.00	58.60	
1972		42.50		68.50				111.90			50.50	192.30	
1973		52.00						75.50				90.20	
1974				35.00				80.30			15.50	99.30	
1975		60.00		30.00				50.50			39.00	64.60	
1976		37.50	55.00	44.50	33.30		36.00	134.70	32.50		29.00		124.00
1977		38.40		50.00	52.10		32.50	138.20	50.50		34.00		75.00
1978		45.40	55.00	47.00	41.80		38.00	93.50	86.50		32.00		91.00
1979		26.50	93.00	26.00	54.00	18.00	27.50	115.00	53.50		75.00	52.70	207.00
1980		42.50	34.00	30.00	40.50	50.00	19.00	75.80	42.50		53.00	67.80	90.00
1981		36.50	34.00	45.00	51.50	45.00	63.50	111.90	110.00	20.00	34.00	68.70	89.00
1982		42.30	22.00	78.00	21.40	50.00	81.00	92.20	40.00	20.60	31.00	89.40	85.00
1983		45.60	36.00	91.00	31.20	40.00	42.00	71.50	42.50	20.00	28.50	158.40	85.00
1984	29.00	42.70	51.00	37.50	42.80	33.00	46.50	77.00	42.50	20.00	37.00	130.80	109.00
1985	35.00	33.50	69.00	70.00	46.50	85.00	32.00	72.00	38.50	20.00	61.50		157.00
1986	34.00	39.50	40.00	65.00	37.80	98.50	42.00	172.40	65.50	20.00	49.00		86.00
1987	43.00	39.50	73.00				71.00	99.80	60.00		20.00		111.00
1988		34.50	42.00	70.00	48.60	40.00	27.00	107.90	60.00		48.00		202.00
1989		87.00		39.50	25.00	35.00	38.00	72.40	46.00		100.00		142.00
1990		37.60	74.00	60.00	42.50	45.00	21.00	88.50	48.00		60.50		109.00
1991			67.00	40.00	78.00	45.00	40.00	86.00	54.00		51.00		125.00
1992	22.00	31.00	27.00	78.00	42.00	26.50	30.00		40.00		58.00		56.00
1993	40.00	40.50	44.00	95.00	40.00	26.00	23.00				55.00		86.00
1994	20.00	19.50	24.00	51.00	47.00	30.00			43.00		36.50		
1995	37.00	60.80		50.50	36.00	30.00	31.00	67.60	54.00		60.00		48.00
1996	37.00	37.00	66.00	86.00	88.50		39.00				28.00		111.00
1997	29.00	27.50		34.00	35.50		35.00	68.00	40.50		55.00		164.00
1998	78.00	41.00			41.00	45.00	42.00	62.00	47.00		62.00		
1999	44.00	33.50		33.00	90.40	38.00	32.50	113.80	36.50		62.00		
2000		44.00	49.10		39.00	62.00		97.00	56.50		63.00		
2001	35.10	76.90	26.50	47.50	40.00	30.00	38.00		35.50		27.00		
2002	40.00	49.00	28.70	56.50	28.00	25.00	63.50				26.50		81.00
2003	48.50	51.00	44.50	51.00		80.00	43.50		53.00		76.00		58.00
2004	32.50	55.20	48.30	60.00	43.00		78.50		42.00		47.00		178.00
2005	20.00	82.00	61.00	28.00	58.00	70.00			60.00		46.50		85.00
2006	28.20	48.00	85.00	58.00	46.00	28.00			39.00				69.00
2007	27.00	34.00		34.50	40.30				55.00				103.00
AÑOS	20	42	25	38	30	24	27	33	29	6	41	18	27

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10088	10089	10090	10092	10098	10099	10100	10103	10108	10128	10129	10131	10132
1964	42.00	22.00	38.00			43.00			24.20				
1965	60.00	42.00	36.50			66.00			25.40				
1966	38.00	28.00	37.50			23.00			43.50				
1967	52.00	36.00	34.50			38.00			51.00				
1968	46.30	26.00	32.50			44.00			60.00				
1969	54.00	38.00	32.00			20.00			30.50				
1970	64.50	20.00	50.00			28.00			70.20				
1971	51.00	60.00	43.00			65.00			44.70				
1972	47.00	32.00	50.00			55.00			44.50				
1973		53.00							46.20				
1974	53.00		40.00			32.00			57.00				
1975	45.00		34.00			41.50			31.00				
1976	68.00	31.00		43.00		58.00		39.50	32.50	49.30			
1977	28.00	10.00		45.00		67.00		42.00	142.00	31.00	41.00	35.00	25.00
1978	55.50	28.00		32.50		84.00		57.00	35.50	48.70	53.20	40.00	37.00
1979	64.80	36.00	13.20	37.50	11.50	40.00		51.00	24.00	34.40	42.00	43.00	31.50
1980	48.00	9.50	45.00	46.00	36.00	35.00		65.50	29.00	81.00	41.00	38.00	51.00
1981	60.50	6.00	30.80	47.50	40.00	31.00	2.00	38.50	35.20	56.00	50.00	48.50	32.00
1982	75.00	58.00	54.20	30.00	33.50	32.00		128.70	38.50	19.00	43.00	38.00	37.00
1983	46.00	12.00	49.50	78.00	29.00	57.00		97.30	46.50	48.10	72.00	56.50	32.00
1984	33.50	38.00	44.00	49.80	35.00	61.50		53.40	46.40	33.10	42.00	38.00	30.50
1985	48.00	17.00	38.50		30.00	37.00	36.40	59.80	36.90	37.90	39.00	36.00	
1986	35.00		48.00	66.80	66.00	51.00	46.30	45.30	37.50	26.80	44.00	39.50	60.00
1987	57.50		50.00	39.60	45.00	42.50	42.40		32.50	53.30	43.00	57.10	50.00
1988	37.00					34.00	59.40	42.00	29.60	67.20	54.00	48.50	75.00
1989	31.00		52.00		44.00	44.00	62.40	50.20	22.80	44.00	46.00	35.00	43.00
1990	54.00		28.00		45.00		23.00	70.00	94.40	70.00	47.00	43.00	35.00
1991	61.00	40.00	54.00		65.00			43.20	67.00	29.00	45.00	46.50	70.00
1992	37.50	23.00	35.00		28.00		37.90	47.30	52.50	26.50	37.00	30.00	17.00
1993	27.50	47.00	56.00		81.50		58.30	40.50	53.00	57.00	65.00	65.00	50.00
1994	49.50	30.00	36.00	108.50	85.00	41.00	46.60	64.80	34.50	24.50	48.00	28.50	63.00
1995	37.40		44.00	34.00	28.50	41.00	27.90	28.80	34.50	68.00	48.00	46.00	45.00
1996	49.60	38.00	62.00	46.20	58.50	35.00	28.20	45.50	55.00	34.00	40.00		27.00
1997	35.00	24.00	30.00	42.00	32.50	24.00	37.70	37.00	44.40	31.00	57.00	45.00	47.00
1998	30.50		32.00	83.00	53.00	51.00	38.30	63.30	42.50	43.00	30.00	29.00	52.00
1999	30.20		35.00	41.00	26.50	24.00	43.00	40.50	19.00	45.00	52.50	42.00	40.00
2000	34.00		45.50	37.00	45.50	85.00	39.70	29.50	89.00	32.00	64.00	75.50	47.00
2001	26.00		30.00		62.00	36.00	43.70	51.50	26.00	29.00	25.00	37.50	18.00
2002	39.00		56.00		61.50	9.50	43.40	44.00	19.00	52.00	36.00	51.00	61.00
2003	63.00	36.00	62.00		49.50	38.00		104.00	78.50	38.00	61.00	53.00	35.00
2004	44.00	46.00	40.00		65.00	60.00	39.30	34.00	59.00	45.00	38.80	34.50	43.00
2005	51.00	49.00	5.50			31.00	41.70	72.00	33.00	40.00	70.20	34.30	
2006					76.30	46.50	47.30	45.50	45.50	44.50	44.30	32.00	
2007					35.00	42.00	51.30	50.50	26.50	42.00	50.50		17.00
AÑOS	41	29	37	18	27	39	22	31	44	32	31	29	28

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Durango

AÑO	10135	10141	10143	10149	10165
1964					
1965					
1966					
1967					
1968					
1969					
1970					
1971					
1972					
1973					
1974					
1975					
1976					
1977					
1978	38.00				
1979				95.40	68.00
1980		27.80	50.00	78.00	38.50
1981	42.00	45.00	40.00	35.00	26.50
1982	39.00	60.00	26.00	24.50	33.90
1983	52.00	30.00	42.00	70.00	34.00
1984	65.00	45.00	56.00	37.40	54.00
1985		60.00		32.00	76.00
1986	48.00	135.00	49.00	40.00	62.00
1987	40.00	38.50	60.00	44.00	142.00
1988	50.00	31.50	52.00	42.70	32.50
1989	30.00	56.50	38.00	55.60	38.00
1990		51.00	35.00	25.20	58.50
1991	32.70	50.00	36.00	41.20	44.80
1992	36.00	40.00	49.00	32.40	35.00
1993	35.00	64.50	28.00	42.50	90.00
1994	45.00	20.50	20.00	40.00	57.00
1995	28.00	54.00	22.00	24.50	36.00
1996	45.00	34.00	30.00	32.00	50.00
1997	38.00	40.00	8.00	30.50	30.00
1998	25.00	45.00	12.00	31.50	40.00
1999	80.00	43.00	15.00	52.00	25.80
2000		70.00	10.00	41.50	38.00
2001		35.50	25.00	27.50	34.60
2002	51.00	67.00	16.00	40.00	35.30
2003	55.00	26.00	32.00	55.40	52.00
2004	62.00	55.00	25.00	52.50	42.80
2005	43.00	53.00	42.00	60.00	21.50
2006	61.00		38.00	101.00	
2007	54.00	43.00	30.00	34.00	
AÑOS	24	27	27	29	27

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28001	28005	28006	28007	28008	28012	28016	28019	28020	28021	28023	28024	28028
1967		111.00		85.50	95.00	69.00		186.00	126.50		162.00		110.20
1968		129.50		145.70	159.00	72.00			87.30	37.50	154.00		63.40
1970		151.00		90.00	190.00	155.50	140.00	220.00	77.80	51.00	165.00	0.00	70.00
1971		100.00		65.00	147.70	107.00	86.00	60.50	124.60	72.00	147.50	4.00	58.30
1972		103.00	108.10	145.00	113.00	76.50	75.70	98.00	124.00	103.00	147.50	42.30	90.30
1973		142.00	221.00	89.50	147.00	150.00	150.80	120.00	95.00	89.00	134.50	144.00	99.00
1974		163.00	225.10	100.00	163.00	165.00		81.00	126.50	75.00	131.00	54.00	95.50
1975		171.00	88.00	84.00	166.50	152.00		90.00	97.00	103.00	171.00	80.00	92.00
1976		178.00	146.00	63.00	216.50	152.00		60.00	120.00	73.00	274.00	56.00	80.00
1977		176.00	195.50	47.00	147.00	120.50	25.20	204.00	129.00	62.00	130.00	120.00	67.80
1978	11.00	123.00	63.40	76.00	156.00	202.00	72.20	112.00	92.00	115.00	128.00	169.00	80.50
1979	76.00	124.00	129.90	89.00	122.00	163.00	180.00	117.00	89.30	85.00	112.50	95.00	100.00
1980	62.00	125.50	76.80	87.00	114.00	92.00	77.00	106.00	66.00	45.00	89.50	90.00	54.00
1981	83.40	113.00	85.70	130.00	106.00	96.00	83.40	110.00	74.00	136.00	76.00	85.00	100.00
1982	89.20	163.00	62.20	100.00	145.00	122.50	51.00	106.00	81.00	82.00	102.00	99.00	83.00
1983	50.00	67.50	59.80	95.00	74.00	60.50	65.40	52.00	116.00	85.00	96.50	58.00	96.20
1984	55.00	88.00	68.50	78.00	101.50	92.00	57.00	66.00	80.00	75.00	78.00	180.00	106.00
1985	120.00	117.00	78.40	75.00	126.50	93.00	84.20	58.00	53.00	42.00	136.50	90.00	109.00
1986	74.00	73.00	165.50	83.00	209.00	75.50	89.10	89.20	83.10	60.00	93.60	87.00	73.00
1987	72.40		68.00	140.00	173.50	130.50	57.90		60.50	62.00	120.00	152.00	48.50
1988	120.00		89.70	200.00	107.00	85.50	66.30		88.50	160.00	75.00	168.00	99.10
1989	63.00		62.50	65.00	158.00	208.00	41.50		30.00	69.00	140.00	55.00	32.00
1990	93.00		160.70	47.00	87.00	95.00	205.50	80.00	78.00	43.00	43.00	157.50	70.00
1991	78.00		98.00	57.50	164.00	118.00	101.00	220.00	66.00	89.00	133.00	126.50	67.00
1992	80.00		94.50	170.50	136.00	117.50	87.30	89.00	80.50	67.00	140.00	65.50	101.50
1993	62.50			90.50	152.00	151.00	121.00	50.00	83.30	63.00	267.00	144.00	138.20
1994	103.00			89.00	159.00	166.00	128.00	57.00	68.00	66.00	130.60	190.00	84.50
1995	60.00			95.00	97.00	52.00	72.00	85.00	119.90	175.00	140.10	82.50	69.50
1996	150.70			92.00	87.00	79.00	70.20	80.00	82.50	83.00	180.50	59.00	88.00
1997	83.50		120.00	64.00	193.50	117.00	116.80	170.00	61.00	70.00	140.10	85.00	59.00
1998	32.00		82.80	97.00	112.00		115.20	37.00	45.00	12.00	140.80	50.00	66.00
1999	72.80		125.30	79.00	251.00		144.90	62.00	8.90	9.70	180.70	115.00	72.20
2000	97.30		167.30	195.00	190.00		133.00	103.00	30.00	7.00	240.00	81.50	83.50
2001	115.20		8.70	60.00	3.00		67.00	132.00	71.70	160.00	4.20	106.00	78.00
2002	190.90		73.30	86.00	87.00		66.60	28.00	75.30	87.00		47.00	66.50
2004			64.80		101.00		57.40				110.10		
2005			99.40		312.00		122.90				65.20		
2006			34.80		31.00		115.00				91.20		
2007			24.90				45.00						
AÑOS	25	19	31	35	38	30	34	31	35	34	37	33	35

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28029	28030	28033	28035	28036	28038	28041	28043	28045	28046	28047	28048	28049
1967	86.50	150.00	175.50	60.00	123.00	111.00	223.00	130.00	180.00	330.00		65.00	106.50
1968	50.30	62.00	40.00	56.00	120.00	90.00	97.50	209.00	65.00	51.00		55.00	191.50
1970	111.80	81.50	189.00	84.50	90.00	125.50	96.50	205.50	168.50	98.40	68.50	125.00	185.50
1971	160.60	46.50	73.00	78.30	211.50	102.90	51.00	110.50	60.00	90.00	60.00	98.00	150.80
1972	86.70	83.00	164.00	71.20	126.00	226.50	84.00	111.00	148.00	103.70	98.00	150.00	181.50
1973	155.30	100.00	93.00	129.00	160.00	86.00	118.00	138.50	284.50	232.60	107.00	90.00	118.50
1974	99.70	84.00	67.30	247.80	181.00	117.30	90.00	138.00	194.50	170.70	100.00		146.00
1975	83.00	105.50	97.00	99.30	147.00	122.00	86.00	140.00	72.00	81.70	80.00	158.00	198.00
1976	78.00	240.00	93.50	182.80	117.00	206.50	80.00	180.00	160.00	172.40	100.00	92.30	147.00
1977	90.40	96.00	100.00	262.80	147.50	77.50	58.00	144.50	180.00	136.20	65.00	101.00	188.00
1978	154.40	85.50	117.00	118.40	98.00	136.50	60.00	110.50	120.00	92.20	62.50	54.00	141.50
1979	80.90	105.00	97.00	88.00	81.00	78.00	97.00	147.00	117.00	77.50	75.50	114.00	144.00
1980	81.50	60.00	41.00	101.00	54.00	76.00	39.00	70.00	112.00	65.20	47.00	44.50	98.00
1981	91.00	90.00	54.00	73.80	64.00	169.80	106.00	82.00	120.00	133.80	70.00	28.00	130.50
1982	90.60	96.00	172.00	69.50	61.00	71.50	106.00	81.40	78.00	80.00	100.00	40.00	132.50
1983	83.80	38.00	55.00	68.50	122.00	133.00	53.00	101.00	187.00	90.40	65.00	60.00	77.50
1984	71.40	34.00	63.50	41.60	98.50	71.50	45.00	114.00	113.00	118.60	75.00	55.00	82.50
1985	65.30	85.50	82.00	55.50	69.00	121.60	87.00	97.00	165.00	104.00	60.00	90.00	152.00
1986	55.00	140.00	60.00	70.50	63.00	95.50	93.00	60.00	116.00	109.70	47.00	75.00	93.20
1987	37.20	70.00	50.00	49.50	60.00	130.00	114.00	8.00	75.50	52.40	50.00	75.00	179.00
1988	81.10	125.00	120.00	76.60	95.00	114.40	173.00	42.00	126.50	110.20	130.00	9.00	92.00
1989	56.50	100.00	50.00	74.50	28.50	60.00	111.00	116.00	78.00	128.40	69.00		196.50
1990	128.80	60.00	150.00	86.70	54.00	71.60	68.00	95.00	410.00	191.20	73.00		83.70
1991	77.20	160.00	60.00	57.00	116.00	103.20	63.00	82.00	120.00	203.30	140.00		137.30
1992	62.30	60.00	80.00	53.80	72.00	55.00	82.00	99.00	75.00	90.20	97.00		178.30
1993	90.00	105.00	86.00	150.20	134.50	97.80	66.00	84.00	163.00	86.60	65.00		190.50
1994	120.20	60.00	89.00	182.50	52.00	88.00	96.00	69.00	220.00	183.00	53.00	25.00	158.20
1995	85.70	70.00	88.00	66.50	56.00	158.60	80.00	140.00	175.00	127.50	65.00	21.00	140.00
1996	200.50	80.00	85.00	67.80	80.50	142.80	165.00	249.50	78.00	65.10	130.00	78.00	102.80
1997	80.20	50.00	49.00	66.50	84.00	124.50	86.00	230.00	145.10	110.10	125.50	76.00	220.00
1998	105.00	5.00	10.00	43.40	60.00	113.80	13.00	175.00	9.50	132.80		100.00	251.00
1999	120.50	16.00		120.60	8.00	128.00		115.00	13.70	68.20		8.20	288.20
2000	125.20	40.00	80.00	142.50	49.80	99.00	240.00		46.00		100.00	44.50	271.30
2001	80.20	20.00	175.00	41.10	80.00	118.70	61.00	118.00	54.00	114.70	84.50	86.00	105.60
2002	126.80	100.00	60.00	100.40	92.00	100.00	59.00	144.00	144.00	117.40	80.20	138.00	89.40
2004	60.50			50.00				92.00		71.40			125.10
2005	78.50			87.60				168.00		132.00			245.70
2006	80.50			108.30				100.00		253.50			64.80
2007				59.10						29.00			35.50
AÑOS	38	35	34	39	35	35	34	37	35	38	31	29	39

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28050	28054	28055	28057	28058	28059	28060	28062	28064	28066	28070	28072	28074
1967	139.80	246.00	220.00	91.00	86.00	175.80	222.50	215.00			114.90	140.00	94.50
1968	60.40	124.00	47.00	51.00	49.20	101.60	63.00	99.30			65.30	60.00	60.00
1970	39.20	71.00	148.00	86.50	68.00	129.00	90.00	76.00			72.00	247.50	180.00
1971	72.00	102.00	104.00	61.50	80.00	92.20	86.50	52.00			90.00	47.50	86.50
1972	93.20	100.00	56.00	93.00	71.50	120.00	85.00	60.00	102.00	83.00	97.20	111.50	192.20
1973	151.50	85.00	143.20	100.00	106.50	103.50	127.00	87.00	96.70	120.00	112.00	250.00	98.70
1974	85.20	350.40	168.80	131.00	196.50	139.00	110.00	60.00	151.00	94.30	105.00	82.50	108.00
1975	122.80	171.50	150.20	102.00	82.50	125.80	100.00	120.00	90.00	98.00	68.30	92.00	96.00
1976	59.30	127.50	110.00	54.00	71.50	86.50	90.00	120.00	221.00	220.00	100.00	118.00	51.90
1977	100.00	150.50	145.60	87.00	114.50	65.00	91.50	75.00	120.00	300.00	58.50	196.00	54.50
1978	70.40	66.20	65.80	103.00	86.50	96.20	75.00	80.00	66.00	75.00	72.10	136.50	96.20
1979	130.50	210.50	142.00	102.00	100.50	82.40	62.50	180.00	80.00	88.00	90.00	113.00	134.00
1980	94.30	69.50	160.00	117.00	122.80	83.60	131.00	65.00	89.00	40.00	58.20	71.00	49.50
1981	147.20	63.50	73.00	74.00	69.60	80.60	110.00	160.00	48.00	94.00	93.80	100.00	92.80
1982	114.00	57.20	54.00	101.50	76.80	80.80	40.00	67.00	125.00	118.00	74.70	80.30	86.00
1983	43.50	80.00	65.40	48.00	55.00	77.00	77.00	240.00	81.00	72.00	127.00	99.50	44.00
1984	58.70		77.50	40.00	44.50	45.50	97.00	34.00	98.00	78.50	63.10	103.80	95.10
1985	62.40		151.50	128.50	88.00	48.80	57.00	70.00	66.00	95.00	120.00	122.00	46.00
1986	65.30		60.00	60.00	85.50	100.00	125.00	70.00	62.00	70.00	55.50	122.00	71.20
1987	82.60		60.00	110.00	118.30	93.00	80.00	71.50	169.50	62.50	55.20	62.00	105.10
1988	182.50		82.00	128.00	106.30	181.00	185.00	60.00	84.00	84.30	122.20	106.00	94.30
1989	78.50		47.00	68.00	89.10	114.10	92.00	78.50	147.00	100.20	64.50	98.60	44.10
1990	56.10		200.60		79.20	111.00	97.00	63.50	45.00	80.00	57.00	110.40	71.50
1991	65.40		51.00		85.60	75.00	87.00	57.00	190.00	120.00	63.00	220.00	72.60
1992	85.00		70.80		58.50	65.00	142.00	41.50	80.00	113.50	35.00	67.50	94.00
1993	70.50		245.00		161.40	72.50	62.00	92.50	120.00	255.00	81.40	100.60	85.00
1994	80.00		85.50		127.30	80.50	110.00	34.00	125.00	75.00	46.30	174.50	92.50
1995	156.50		107.00		43.10	95.50	140.00	95.50	52.00	109.00	80.00	172.80	181.00
1996	121.50		71.00		110.60	89.00	111.00	70.00	60.00	108.00	116.20	66.00	65.00
1997	50.90		157.50		97.80	118.00	75.00	55.50	85.00	93.00	57.40	99.00	135.00
1998	78.50		95.00		111.60	88.50	54.00	42.50	135.00	102.00	52.20	57.00	64.50
1999			80.00		170.60	26.50	24.00	73.00	96.00	75.50	16.30	10.90	69.30
2000	78.10		90.30		69.00	57.30	126.00	113.50	180.00	107.00	61.80	9.10	64.10
2001	85.10		80.00		54.50	117.00	133.00	52.50	148.90	180.00	66.60	68.50	52.00
2002			65.50		102.00	188.70	220.00	142.50		57.00	37.00	89.50	46.10
2004			69.40		190.40				74.00	72.00			
2005			85.50		105.70				95.00	62.00			
2006			43.50		58.20				77.00	66.00			
2007			7.00		51.00					29.50			
AÑOS	33	16	39	22	39	35	35	35	33	35	35	35	35

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28080	28081	28083	28084	28086	28088	28089	28094	28111	28112	28113	28118	28119
1967	113.00	71.00	101.00	185.50	126.50		67.20	180.00	151.40	85.00	345.00	59.00	273.00
1968	142.20	52.00	85.00	60.00	40.00		55.10	100.00	54.00	72.00	83.00	95.00	67.00
1970	189.50	82.00	174.00	99.00	89.00	230.30	230.00	40.00	147.80	81.60	307.00	66.00	148.00
1971	122.30	52.00	139.00	104.50	155.00	79.50	98.00	38.50	78.60	70.50	117.50	115.00	191.00
1972	146.00	45.00	135.50	89.00	68.50	99.10	153.00	75.00	142.50	89.00	180.00	144.00	120.00
1973	153.00	127.00	121.50	77.00	93.50	230.50	140.00	136.00	248.20	171.00	202.50	131.00	135.00
1974	171.40	140.00	125.50	48.50	35.50	34.00	55.00	126.50	167.50	75.60	161.00	116.00	170.50
1975	181.80	107.00	91.50	88.50	119.00	41.00	115.00	98.00	105.60	65.20	460.00	230.00	54.50
1976	100.10	104.50	168.00	52.00	100.00	134.50	81.10	68.50	122.00	104.00	204.00	115.00	161.50
1977	146.30	89.00	156.00	106.00	105.00	210.00	128.00	159.00	243.00	69.00	380.00	90.00	110.00
1978	113.80	220.00	98.00	109.00	159.00	140.00	45.00	153.00	84.50	66.50	112.00	107.00	118.50
1979	128.00	108.00	107.00	86.00	72.00	120.00	134.00	85.00	102.70	102.50	90.00	70.00	170.00
1980	137.60	85.00	88.00	55.00	65.00	68.70	77.00	56.50	60.50	93.00	82.00	81.00	70.00
1981	86.40	66.00	102.00	144.00	85.00	135.00	79.70	107.00	165.90	101.70	146.50	64.50	115.00
1982	104.50	78.00	154.50	81.50	87.50	76.70	83.00	136.00	75.50	76.60	126.50	113.00	80.00
1983	58.50	49.00	146.00	56.50	65.50	165.50	61.10	94.00	88.50	84.00	115.00	113.00	85.00
1984	65.50	72.00	131.00	40.00	79.50	53.50	96.00	112.00	180.00	64.00	196.00	101.00	105.00
1985	106.00	114.00	115.00	78.00	100.00	200.00	60.00	46.00		117.50	60.00	125.00	38.20
1986	170.00	74.00	141.00	56.00	106.00	10.00	39.00	55.00	50.10	250.00		310.00	110.00
1987	165.80	69.00	197.00	87.00	87.50	87.00	121.00	182.00	63.80	180.00	69.00	111.00	
1988	65.80	97.00	69.00	172.00	137.50	190.00	125.00	340.00	143.50	96.00	165.00	197.00	
1989	121.50	72.00	155.50	42.00	78.00	65.00	61.00	60.00	148.50	99.00	248.00		
1990	74.00	67.00	98.50	71.00	60.50	366.00	62.00	42.00	193.20	102.00	118.00		
1991	167.20	82.00	122.40	62.00	85.00	167.00	121.00	70.00	150.00	63.00	90.00		
1992	115.50	85.00	169.00	56.00	70.50	77.00	82.00	48.00	141.40	70.00	89.50		
1993	156.50	136.00	164.00	45.00	53.50	93.00	64.00	91.00	118.00	108.00	80.00		
1994	174.00	210.00	150.50	40.00	83.00	160.00	108.00	57.00	105.00		119.00		
1995	65.50	100.00	48.50	128.00	71.00	167.50	118.00	140.00	69.50		216.50		
1996	81.60	80.00	117.50	145.00	67.50	36.50	125.00	105.50	98.00		77.70		
1997	232.00	140.00	174.50	75.00	71.00	95.50	78.00	78.90	151.00		183.00		
1998	53.00	66.00	137.00	190.50	144.50	71.10	40.00	71.00	93.00		20.50		
1999	298.50	113.00	153.00		101.50	132.50	95.00	46.00	105.50		17.00		
2000	202.00	106.00	366.50	42.00	53.00	200.00	59.00	79.00	140.00		9.50		
2001	80.20	70.00	126.00	58.00	94.20	103.50	95.00	65.00	150.30		109.00		
2002	81.50	84.00	196.50	106.50	104.00	46.30	85.50	21.00	78.50		81.00		
2004	121.20	62.00	76.50						133.70				
2005	191.00	100.00	237.50						94.00				
2006	42.70	62.00	77.00						83.00				
2007	2.30	1.50	50.50										
AÑOS	39	39	39	34	35	33	35	35	37	26	34	21	19

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

**ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS**

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28120	28122	28123	28125	28130	28136	28137	28139	28145	28147	28148	28149	28151
1967		133.30	110.00										
1968		51.00	92.00										
1970	214.00	100.00	154.00										
1971	136.00	42.00	131.00										
1972	99.40	199.70	74.00	111.30	66.00	121.60	53.50						
1973	135.50	150.20	87.00	180.50	109.00	140.20	127.00	129.50	190.00	145.80			
1974	98.50	84.50	55.10	124.20	241.00	147.70	170.00	147.50	193.00	193.50	150.00	78.50	89.00
1975	113.00	120.00	120.00	113.10	91.50	132.00	62.00	120.90	80.00	46.30	139.00	57.00	118.50
1976	260.00	81.00	116.00	127.50	118.50	255.00	92.50	200.60	142.00	107.70	97.50	73.50	57.50
1977	176.50	120.10	142.00	90.80	168.50	147.10	93.60	131.40	105.00	153.50	114.30	45.80	96.40
1978	121.50	80.00	120.00	60.00	108.00	120.00	91.10	124.50	110.00	60.30	103.50	82.40	74.70
1979	111.20	86.00	91.00	92.00	117.00	133.00	117.00	139.00	103.00	142.80	89.10	83.80	158.80
1980	106.00	45.00	51.50	134.00	36.00	116.40	130.00	92.30	47.00	52.00	63.80	55.50	68.90
1981	82.60	73.00	140.00	57.00	160.00	118.00	91.50	72.10	125.00	49.20	82.10	143.80	113.00
1982	105.00	97.00	115.00	56.00	106.00	135.00	63.00	70.00	75.00	35.10	63.70	95.90	100.00
1983	77.00	42.00	168.00	89.00	89.00	201.00	69.50	80.10	70.00	59.30	75.10	96.80	47.40
1984	50.00	59.00	53.00	88.50	136.50	171.00	54.50	98.30	135.00	54.90	120.60	48.00	51.80
1985	95.00	85.00	78.00	58.50	87.00	170.00	81.00	100.00	86.00	68.40	154.00	83.40	50.20
1986	90.00	98.00	84.50	54.00	207.50	95.00	75.80	81.30	162.50	33.70	70.50	51.00	57.00
1987	123.00	84.00	72.00	85.00	70.00	203.00	80.00	171.50	94.00	109.70	91.70	64.80	81.20
1988	67.50	92.00	23.00	85.50	33.00	97.20	84.20	192.00		109.70	107.40	108.60	66.00
1989	251.00			131.00	111.00	138.90	92.00	172.00		102.40	72.00	102.20	91.00
1990	107.50			121.00	212.00	77.00	107.00	149.00		160.30	118.00	52.80	52.20
1991	84.00			88.00	73.50	149.00	96.00	182.00	138.00	119.40	95.30	64.80	73.70
1992	129.00			102.00	67.50	216.00	53.00	100.00	50.00	59.10	125.00	102.50	80.00
1993	138.00			149.60		140.00	112.80	156.00	70.00	130.80	110.00	49.30	60.30
1994	231.50			70.50	123.00	228.50	136.00	97.00	188.00	164.70	100.00	75.00	79.50
1995				90.00	57.20	138.00	88.20	78.50	60.00	54.70	86.00	89.50	132.00
1996				154.50	72.00	152.00	139.50	85.00	186.70	75.80	110.00	101.20	116.60
1997				65.00	132.00	203.00	72.30	85.00	130.80	132.50	85.00	80.00	50.50
1998				120.50	138.00	139.10	61.60	132.00	63.00	67.50	116.00	58.50	75.80
1999				84.30	85.00	218.00	109.00	95.00	65.00	93.00	115.00	8.30	95.30
2000				196.00	110.00		70.00	185.10	50.60	70.00	68.20	7.80	87.50
2001	144.70			48.00	154.00	211.00	66.80	83.50	169.00	57.20	41.30	95.30	99.50
2002	74.50			105.00	155.00	190.00	51.40	63.80	73.50	66.20	66.00	99.80	92.50
2004	40.50			86.00	100.00	210.00	84.50	122.70	95.00	48.90			
2005	64.20			178.00	163.00	353.00	98.00	103.00	100.70	185.20			
2006	49.00			82.00	107.00	61.50	63.00	75.50	87.00	59.30			
2007				47.00	28.50	53.00	40.00		25.30	88.40			
AÑOS	30	21	21	35	34	34	35	33	31	34	29	29	29

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

**ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS**

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28152	28154	28156	28160	28161	28180	28190	28191	28192	28195	28197	28199	28200
1967													
1968													
1970													
1971					99.00								
1972					85.30								
1973					184.30								
1974	83.00				65.00								
1975	98.50	66.00			89.00								
1976	101.00	143.50	207.00		62.00								
1977	166.00	158.00	60.00	200.00	125.00								
1978	114.00	98.60	121.50	131.00	75.50								
1979		94.00	163.00	100.00	91.00			153.40			80.30	163.00	96.00
1980		70.00	92.00	60.90	126.00	51.00	90.00	43.80	29.00	126.00	103.50	60.00	120.00
1981		96.50	96.00	114.00	110.00	69.00	34.00	93.00	135.00	80.00	83.00	48.00	70.10
1982	128.00	58.20	122.50	80.30	125.60	60.00	41.00	89.80	73.00	100.00	56.00	86.50	117.00
1983	72.20	110.00	60.50	100.00	32.50	68.00	40.00	119.60	90.80	62.00	84.50	54.00	88.50
1984	103.00	98.70	92.00	160.00	78.20	45.00	90.00	75.80	70.00	62.00	100.00	42.70	80.50
1985	108.20	111.50	93.00	180.50	75.20	40.00	58.00	71.40	65.00	77.50	89.00	40.50	69.00
1986	146.50	198.00	53.00	93.00	53.80	65.00	70.00	125.20	114.00	28.50	105.00	80.70	80.00
1987	71.50	40.20	130.50	69.00	81.80	60.00	111.00	117.00	55.00	100.00	155.00	50.00	100.20
1988	100.00	117.00	85.50	80.00	143.00	160.00	60.00	132.20	124.00	107.60	100.00	280.00	83.00
1989	60.00	160.50	208.00	60.00	91.50	97.00	45.00	64.30	61.00	109.50	55.00	58.00	52.00
1990	98.00	300.00	95.00	60.00	71.70	80.00	96.00	89.50	50.00	190.00	95.00	52.00	
1991	115.00	140.00	118.00	127.00	104.80	181.00	84.00	129.40	90.00	84.00	64.00	41.00	75.90
1992	105.80	150.00	117.50	76.00	107.10	101.00	93.00	74.20	57.00	87.00	90.00	62.50	59.00
1993	111.50	170.40	151.00	80.00	61.20	88.00	165.00	99.00	53.00	130.80	95.00	72.00	179.00
1994	187.00	183.00	166.00	80.00	90.30	64.00	108.00	78.00	133.00	195.40	90.00	60.00	93.30
1995	124.00		52.00	170.00	116.40	46.00	152.00	90.40	80.00	76.00	65.00	52.00	220.60
1996	116.70		79.00	145.00	144.30	95.00	175.00	144.10	210.00	58.30	70.00	82.00	140.50
1997	98.00		117.00	40.00	40.20	81.00	61.00	101.20	80.00	129.00	69.40	123.00	111.20
1998	110.40	98.40	112.50	60.00		73.00	48.00	87.50	43.00	44.70	43.00	16.00	42.60
1999	18.60		71.00	95.00	9.20	13.00	91.00	14.10	8.00	104.00	9.50	9.50	143.30
2000	48.90	23.60	178.00	60.00	9.80	66.00	14.00	17.90	11.40	152.50	12.90	9.50	167.80
2001	146.60	76.20	85.00	65.00	96.20	105.00	82.00	153.50	103.50	61.80	118.00	94.00	77.80
2002	54.50	101.50	80.50	40.00	29.10	100.70	190.00	94.50	140.00	83.80	69.00	132.00	153.20
2004	56.40	77.40	72.00							120.50			147.10
2005		137.20	265.00							79.70			96.70
2006		168.20	71.00							37.40			27.60
2007		36.80		38.00						32.70			
AÑOS	27	28	30	27	31	23	23	24	23	27	24	24	26

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Series de datos de precipitaciones anuales máximas del estado de Tamaulipas

AÑO	28203	28206	28405
1967			
1968			
1970			
1971			
1972			
1973			
1974			
1975			
1976			29.50
1977			146.70
1978			51.10
1979	245.00		133.20
1980	73.50	0.00	104.10
1981	97.50	114.80	62.90
1982	72.00	63.50	66.60
1983	68.00	58.50	96.80
1984	100.00	142.50	98.00
1985	75.80	83.30	110.10
1986	123.50	80.80	81.60
1987	64.00	55.50	79.00
1988	100.00	118.50	83.80
1989	38.00	49.20	58.00
1990	122.00	112.10	166.60
1991	80.00	120.90	122.10
1992		69.30	147.80
1993	150.00	179.80	91.50
1994	114.00	198.50	63.50
1995	62.00	116.80	62.30
1996	55.00	74.60	94.00
1997	100.00	81.20	157.00
1998	60.00	53.50	93.20
1999	97.00	77.80	160.50
2000	183.00	132.50	223.50
2001	80.00	96.00	83.80
2002	80.00	72.00	80.00
2004	95.00	131.50	92.00
2005	100.00	69.50	159.00
2006	90.00	112.50	43.70
2007		45.00	
AÑOS	26	27	30

*Las series de datos marcadas en rojo son las estaciones con menos de 20 años de registro

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

ANEXO C. Precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno para cada estación

Precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno. Durango

Estación	5	10	50	100	1000	10000
10001	54.08	66.63	80.56	86.01	105.17	126.41
10002	55.16	69.49	154.34	190.54	305.23	418.41
10003	126.35	155.51	199.55	216.66	272.07	328.02
10004	51.31	63.09	82.69	90.38	115.40	140.32
10005	55.34	74.03	103.80	115.22	152.07	188.80
10006	62.51	70.04	82.03	87.16	106.37	128.54
10007	50.63	65.21	88.17	96.41	122.74	149.02
10008	45.82	55.54	78.35	87.83	118.94	150.36
10012	63.17	70.99	85.85	91.87	111.57	131.30
10014	75.18	82.26	90.56	93.78	104.45	116.01
10016	42.36	73.03	210.82	263.73	434.85	604.18
10018	151.95	173.83	204.11	215.92	254.65	294.32
10020	52.02	74.59	86.93	91.21	106.10	124.42
10021	56.96	67.08	78.42	83.38	103.12	125.56
10022	51.57	64.18	141.18	174.28	278.50	382.45
10023	65.05	77.28	94.00	100.41	121.58	143.57
10024	63.15	85.68	147.25	169.90	241.54	312.31
10025	86.25	101.32	128.15	138.81	173.61	208.07
10026	66.00	78.79	119.03	136.49	192.51	247.77
10027	53.55	60.57	75.33	81.47	101.86	122.58
10028	59.20	68.45	85.77	92.74	115.50	138.13
10029	47.92	54.63	69.40	75.64	96.28	116.87
10030	56.38	75.01	104.17	114.53	147.49	180.13
10035	47.02	58.85	82.82	92.46	123.87	155.52
10036	133.39	175.58	232.12	253.86	324.18	393.46
10040	72.88	101.55	184.62	214.14	307.18	397.64
10042	92.95	113.60	172.08	196.68	275.79	353.93
10045	70.05	92.42	229.30	293.36	495.07	696.13
10047	51.05	60.27	74.93	80.49	98.35	116.00
10048	72.94	90.03	131.61	148.90	205.34	260.75
10049	58.08	68.90	92.71	102.78	136.04	169.25
10050	107.23	152.04	266.13	311.14	456.87	601.92
10051	56.81	63.97	76.82	82.16	100.56	120.11
10052	60.74	65.67	78.15	84.57	107.67	130.85
10053	48.65	60.99	83.92	92.65	120.87	148.60
10054	63.46	69.40	81.17	86.44	105.94	127.41
10056	34.63	40.03	45.95	48.22	55.55	62.69
10057	46.52	59.94	92.71	105.28	145.45	184.67
10061	52.47	70.10	103.74	115.96	154.82	193.60
10063	47.96	58.80	79.40	87.37	113.19	139.28
10064	112.58	165.73	278.71	322.54	464.13	603.26
10065	57.23	70.58	97.09	107.63	142.06	176.02
10066	44.16	79.58	97.84	103.35	120.75	137.70
10068	59.91	69.56	81.39	86.44	105.80	127.77
10069	39.65	49.41	70.89	79.96	109.97	139.91
10070	56.47	65.77	86.24	94.89	123.48	152.02

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

10071	82.77	96.71	114.65	121.56	143.91	165.73
10072	44.86	53.13	71.34	79.03	104.46	129.85
10074	56.50	70.08	89.43	96.51	119.14	141.52
10075	64.52	76.39	102.53	113.58	150.09	186.54
10076	71.26	82.15	97.51	103.91	127.33	154.04
10078	52.11	78.26	96.47	102.09	119.80	137.13
10080	68.22	81.73	98.99	105.63	127.09	148.48
10081	59.78	70.25	82.21	86.80	101.61	116.29
10082	111.87	133.21	176.65	193.78	249.39	304.89
10083	57.34	69.84	131.65	155.73	231.65	305.17
10085	60.93	72.14	94.19	103.16	132.51	161.56
10087	154.70	178.91	211.31	223.81	264.28	304.19
10088	59.79	65.45	77.00	82.19	101.26	122.18
10089	46.87	53.89	68.15	74.33	96.11	119.68
10090	52.78	57.07	68.11	74.00	95.33	116.78
10098	67.02	75.13	88.61	94.09	112.88	133.36
10099	58.16	69.61	87.98	95.11	118.27	141.63
10100	50.10	57.71	74.46	81.54	104.94	128.30
10103	64.03	89.37	139.63	156.29	208.84	261.11
10108	56.35	75.48	136.78	161.07	238.31	314.89
10128	54.93	67.82	83.30	89.00	107.49	126.38
10129	56.67	66.20	74.56	77.86	90.30	105.60
10131	50.56	60.17	82.54	91.40	119.95	148.23
10132	57.52	66.06	82.01	88.49	109.88	131.70
10135	55.33	63.18	80.46	87.76	111.89	135.98
10141	59.24	76.74	120.25	137.81	194.64	251.63
10143	49.61	53.98	61.91	65.72	82.69	102.83
10149	56.14	80.80	112.69	123.23	156.58	189.00
10165	59.03	82.93	129.57	147.64	205.99	263.96
PROMEDIO	64.24	79.39	111.28	123.98	165.35	206.86

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS DE DURANGO Y TAMAULIPAS

Precipitaciones asociadas a diferentes periodos de retorno. Tamaulipas

Estación	5	10	50	100	1000	10000
28001	114.11	137.76	189.81	211.81	284.52	357.10
28006	150.58	191.68	245.31	265.66	331.55	397.21
28007	118.48	161.59	213.00	231.60	291.04	350.15
28008	180.48	213.83	287.22	318.25	420.78	523.13
28012	160.21	180.97	219.88	235.94	290.24	346.88
28016	130.42	158.16	209.69	230.34	297.87	365.39
28019	135.86	205.19	227.41	235.40	271.06	333.38
28020	117.03	124.45	148.41	163.83	214.77	265.08
28021	109.39	134.80	190.73	214.38	292.50	370.49
28023	170.64	202.35	272.15	301.66	399.16	496.49
28024	150.71	170.14	203.09	227.42	310.64	395.30
28028	102.10	112.49	133.84	143.23	176.52	212.40
28029	117.26	148.43	201.03	220.36	282.33	343.10
28030	117.33	144.61	204.65	230.04	313.91	397.64
28033	126.91	173.53	190.52	197.75	237.56	296.02
28035	119.64	177.72	283.24	322.62	449.11	572.61
28036	133.25	161.40	215.05	236.69	307.54	378.38
28038	137.92	169.87	237.35	263.49	347.85	431.85
28041	115.17	168.87	262.46	293.80	392.97	488.96
28043	165.26	207.19	260.01	279.75	344.21	409.07
28045	178.08	236.87	433.68	522.92	810.19	1096.43
28046	158.65	213.13	342.93	392.59	551.01	709.37
28047	107.44	123.28	151.03	162.05	197.93	233.00
28048	107.35	133.39	190.70	214.93	294.99	374.91
28049	196.37	233.72	315.92	350.67	465.50	580.13
28050	127.11	151.02	186.06	199.63	243.56	287.38
28055	149.64	185.38	247.99	272.81	353.70	432.78
28057	112.35	131.32	173.06	190.71	249.02	307.23
28058	116.45	159.12	207.98	224.56	277.11	328.84
28059	126.15	148.84	198.79	219.91	289.69	359.34
28060	132.60	170.82	249.87	280.52	379.49	476.04
28062	111.86	170.53	257.99	288.81	386.94	484.32
28064	145.51	176.64	229.84	250.79	318.99	387.82
28066	117.52	194.53	316.87	354.59	473.39	590.83
28070	104.50	118.61	135.71	149.80	196.39	242.10
28072	147.16	212.09	261.39	278.29	333.19	390.99
28074	109.23	158.72	202.19	216.34	261.10	304.83
28080	175.91	214.57	299.66	335.63	454.49	573.15
28081	116.05	148.87	238.21	274.79	391.85	506.48
28083	166.30	206.32	366.45	441.99	682.76	922.57
28084	116.21	161.31	206.07	221.90	272.40	322.41
28086	112.45	131.14	172.28	189.67	247.13	304.48
28088	177.56	221.25	317.41	358.07	492.40	626.49
28089	119.09	148.33	229.24	265.42	384.41	502.92
28094	127.33	171.54	350.20	428.68	676.71	920.05
28111	157.57	186.20	249.20	275.84	363.85	451.70
28112	112.20	156.35	239.66	271.65	375.15	477.29
28113	222.68	282.72	414.86	470.72	655.31	839.57
28118	149.24	209.49	310.97	350.00	476.06	600.67

ESTIMACIÓN DE FACTORES DE REDUCCIÓN AREAL. APLICACIÓN A LOS ESTADOS
DE DURANGO Y TAMAULIPAS

28120	157.19	233.32	273.58	287.12	332.55	384.74
28122	119.05	141.41	190.61	211.42	280.15	348.76
28123	133.07	159.52	217.74	242.36	323.69	404.88
28125	136.99	162.74	208.69	226.95	286.34	346.61
28130	152.53	184.17	253.80	283.24	380.51	477.61
28136	204.71	241.71	323.15	357.57	471.33	584.89
28137	112.95	134.89	168.99	182.00	224.05	265.60
28139	161.33	185.02	209.66	222.09	278.36	341.57
28145	152.66	189.25	205.06	228.73	306.91	384.25
28147	141.97	165.51	203.28	218.23	267.30	317.44
28148	125.00	139.42	168.02	179.98	220.30	261.72
28149	102.67	115.14	148.38	164.78	221.16	277.19
28151	105.64	126.51	167.73	184.18	237.93	292.52
28152	128.11	149.67	197.12	217.18	283.45	349.62
28154	158.83	204.82	340.71	402.77	605.82	809.52
28156	152.46	200.49	280.99	311.53	410.13	508.87
28160	146.42	168.89	199.24	211.01	249.25	287.54
28161	114.66	137.75	188.58	210.07	281.07	351.94
28180	105.61	127.37	175.26	195.51	262.40	329.18
28190	120.53	147.90	208.15	233.62	317.77	401.78
28191	120.82	142.54	190.34	210.55	277.32	343.97
28192	116.94	145.21	207.44	233.75	320.67	407.44
28195	124.87	150.53	207.00	230.88	309.77	388.52
28197	101.83	120.20	160.61	177.69	234.15	290.50
28199	104.07	163.54	268.95	309.57	440.89	572.08
28200	137.00	164.27	224.29	249.67	333.51	417.20
28203	118.98	157.78	231.64	260.41	353.31	445.47
28206	130.91	160.00	224.02	251.09	340.52	429.79
28405	141.06	171.30	221.79	241.50	305.51	369.79
PROMEDIO	134.64	169.13	232.77	259.15	345.73	432.77