

Recibido: Enero 10 de 1998

Aceptado: Marzo 20 de 1998

Regionalización de lluvias en la cuenca del alto río Grijalva

*Delva Guichard Romero**
Ramón Domínguez Mora***

ABSTRACT

The Grijalva River bed was chosen for this study, from the Malpaso Dam up to the border with Guatemala. This portion, because of its topographic characteristics is protected from the direct occurrence of cyclones.

Through the use of tools for regional analysis, adjustment factors per area, per return period, and per duration were produced. With this purpose, the information on the rainfall over a 24-hour period that was available on the CLICOM database, was used, complemented by the one offered by different institutions.

Key words: Grijalva river, return period rainfall.

RESUMEN

Se seleccionó para el estudio la cuenca del río Grijalva, desde la presa Malpaso hasta la frontera con Guatemala, que por sus características topográficas se encuentra protegida de la incidencia directa de ciclones.

Aplicando herramientas de análisis regional se calcularon factores de ajuste por área, período de retorno y duración; para lo que se utilizó información de lluvias en 24 horas,

& Autor para correspondencia.

* Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Chiapas
Blvd. Belisario Domínguez, Km. 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29000

** Instituto de Ingeniería, UNAM

disponible en la base de datos CLICOM, complementada con la proporcionada por diversas dependencias.

Palabras clave: Río Grijalva, período de retorno, lluvia.

INTRODUCCIÓN

El diseño de las obras hidráulicas para el control de avenidas puede hacerse utilizando métodos hidrometeorológicos o directamente mediante el análisis estadístico de gastos 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-escurrencimiento. En el segundo se analizan directamente los datos de escurrencimientos máximos registrados en una estación hidrométrica representativa del sitio de interés.

Para el cálculo de la tormenta de diseño para cuencas con mas de 100 km² es necesario utilizar factores de reducción por área que, salvo excepciones (Cisneros, 1997; Tipacamú, et al, 1992), no han sido calculados para México, por lo que se utilizan factores obtenidos para otros países, como los que recomienda Viessman (1989); de otro modo, esto es, mediante el análisis tradicional, en que se consideran los máximos anuales de las estaciones de interés los cálculos tienden a sobrestimar la precipitación, ya que no se considera el efecto de simultaneidad de las lluvias.

Por otro lado, los registros con que se cuenta no son los suficientemente largos, por lo que el análisis directo de los mismos puede conducir a resultados poco confiables (Viessman, 1989), sobretodo para períodos de retorno grandes; así, la aplicación de los factores de ajuste por período de retorno, que pueden ser obtenidos con métodos de análisis regional, representan una herramienta útil.

Así mismo en ocasiones es necesario estimar esta precipitación de diseño para duraciones menores de 24 horas, especialmente en cuencas pequeñas, para las que en nuestro país es por lo general difícil contar con información, sin embargo el uso de factores de ajuste por duración permite estimar la tormenta de diseño para cualquier duración a partir de una duración base, por ejemplo 24 horas, para la que se cuenta con registros de mayor longitud.

Para poder contar en México con una base completa de resultados de análisis regionales de lluvias y escurrencimientos que permitan mejorar la estimación de avenidas de diseño, seguramente será necesario efectuar estudios muy diversos que tomarán varios años para su conclusión.

El objetivo de este trabajo es, precisamente, contribuir en ese sentido, para lo que se decidió obtener factores de ajuste por área, período de retorno y duración, para la región del alto Grijalva, acotada desde la Presa Malpaso hasta la frontera entre México y Guatemala. Esta cuenca, por sus características topográficas, se encuentra protegida de la incidencia directa de ciclones, tanto del Golfo de México como del Océano Pacífico, por lo que las precipitaciones que se presentan, son por lo general, de origen convectivo.

ANTECEDENTES

El patrón de las lluvias en cualquier zona se describe mediante tres variables: altura de lluvia, duración y frecuencia. El análisis de las mismas permite contar con eventos de diseño, sobre todo para cuencas pequeñas que generalmente no tienen registros suficientes o confiables de escurrencimientos.

Para cuencas de área grande influye también la magnitud de la misma, por lo que para encontrar el evento de diseño de la obra requerida, debe ser considerada también esta variable.

En este tenor a través del tiempo, ha habido múltiples intentos por estudiar y relacionar estos cuatro factores: área, altura o intensidad de precipitación, duración de las tormentas y frecuencia o período de retorno.

A continuación, se presentan, los resultados más relevantes que diversos investigadores han obtenido sobre el tema:

Factor de reducción por área

Para la Gran Bretaña, el Natural Environment Research Council (1975), en la publicación **Flood Studies Report**, presentó resultados para duraciones entre un minuto y 25 días y áreas de uno a 30 000 km². Se concluye que el factor de ajuste por área crece con la duración de la lluvia y decrece con el área y que la localización geográfica no es aparentemente importante.

En México, son pocos los estudios que se han llevado a cabo, pueden mencionarse los resultados obtenidos por Tipacamú et al (1995), para dos cuencas del río Grijalva: Chicoasén, con una área de 8126 km², para la que se calculó un factor de 0.48; y Copainalá, con 2725 km² de área y para la que se estimó un factor de 0.64.

Para la cuenca del Valle de México se han llevado a cabo dos estudios (DGCOH, 1982; Franco, 1997), en el primero se obtuvieron factores de reducción por área, para superficies entre 10 y 1000 km² y en el segundo para áreas de 1 a 1000 km².

Al analizar los resultados de estos estudios se observa que existe gran diferencia entre ellos, por lo que al parecer no pueden ser utilizados en regiones con características diferentes, y es necesario obtenerlos para cada zona específica.

Factor de ajuste por período de retorno

Este factor ha sido estudiado, especialmente, para períodos de retorno menores de 100 años, así Bell (1969) obtuvo resultados para Estados Unidos de Norteamérica y Australia, para duraciones menores de dos horas;

Chen (1983) determinó una ecuación en función de las relaciones para período de retorno de 10 años y duración de una hora, período de retorno de 10 años y duración de 24 horas, y período de retorno de 100 años y duración de una hora.

En nuestro país se han obtenido resultados para el Valle de México (DGCOH, 1982), cuenca del Río Lerma (Barrios y Domínguez 1986), cuenca del río Papaloapan (Domínguez y Ríos 1991) y Golfo de México (Lafragua, 1996).

Al comparar los resultados de los estudios anteriores puede observarse que para períodos de retorno menores de 100 años los resultados son muy similares en distintas regiones del mundo, aunque es importante llevar a cabo estudios regionales que permitan obtener resultados confiables para períodos de retorno grandes.

Factores de ajuste por duración

Estos factores han sido estudiados por algunos investigadores como son Bell (1969), para los Estados Unidos de Norteamérica (EUN); Chen (1983), para EUN; DGCOH (1982), para la región del Valle de México; Campos (1990), para la República Mexicana y EUN; Domínguez y Ríos (1991), para la cuenca del río Lerma; Cisneros y Domínguez (1996), también para la región del Papaloapan; Lafragua (1996), para el Golfo de México; y Franco y Domínguez (1997), para el Valle de México.

Al comparar los resultados obtenidos en los estudios anteriores, se observa que para duraciones menores de 120 minutos, los resultados son similares para las distintas regiones, sin embargo para duraciones mayores, como es el caso de 24 horas existe gran variación de una región a otra.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para estimar la lluvia de diseño es conveniente contar con factores de ajuste por

área, duración y período de retorno. La aplicación de estos factores puede facilitar el análisis ya que generalmente no se cuenta con registros para la duración de interés y con los datos necesarios que permitan hacer extrapolaciones confiables.

Factores de ajuste por área

La necesidad de utilizar factores de reducción por área se deriva de que al ajustar funciones de distribución de probabilidad a los datos de precipitación máxima anual de cada estación por separado y extrapolar a los períodos de retorno seleccionados, no se toma en cuenta que las precipitaciones que resultan no necesariamente se presentarán simultáneamente y que dicha falta de simultaneidad se acentúa conforme el área considerada para la tormenta es mayor.

El problema anterior puede tomarse en cuenta utilizando factores de reducción por área, los cuáles pueden calcularse mediante el procedimiento que se describe en (Domínguez, et al, 1992).

Factores de ajuste por período de retorno

En México los registros de precipitación no son por lo general lo suficientemente extensos para hacer extrapolaciones confiables, sobre todo para períodos de retorno grandes; así, el uso de los factores de ajuste por período de retorno representa una herramienta útil, ya que para el cálculo de los mismos se pueden formar muestras grandes generadas a partir de datos de varias estaciones, esto es utilizando, métodos regionales, con lo que esta incertidumbre se reduce. Estos factores se obtienen por lo general con respecto a períodos base pequeños (5 ó 10 años), para los que la estimación de la precipitación en cuencas con registros no muy largos es en cierta forma segura. Así, habiendo estimado la altura de lluvia, para el período de retorno base, en la cuenca de interés, bastará multiplicar

ésta por el factor correspondiente para calcular la precipitación para el período deseado.

Como se indicó en el inciso dos, es necesario obtener factores de ajuste para períodos de retorno sobre todo grandes, por lo que en este trabajo para la obtención de los mismos se decidió aplicar el método de estaciones-año.

Factores de ajuste por duración

En nuestro país se tienen 2682 estaciones con pluviómetro y 345 pluviógrafos (datos tomados del ERIC, Extractor Rápido de Información Climatológica y de la SCT, respectivamente). Esto hace que los registros de precipitación en 24 horas sean más largos y confiables que los que puedan tenerse para duraciones menores. Sin embargo la estimación para duraciones cortas se hace necesaria sobretodo para cuencas pequeñas.

Por lo anterior, es conveniente obtener factores de ajuste por duración, para duraciones pequeñas, con respecto a 24 horas. La idea es que como los registros son cortos (de pluviógrafo) hacer un ajuste directo resulta poco confiable; por otra parte Bell y otros han demostrado que las relaciones en el intervalo cinco minutos a dos horas son casi universales, por lo que el problema se reduce a relacionar la precipitación de una duración chica (por ejemplo de una hora) con la de 24 horas. Los resultados de investigaciones anteriores muestran que estos factores de ajuste son independientes del período de retorno, por lo que de algún modo podrían ser utilizados para estimar eventos de diseño de obras importantes.

Contar con factores de ajuste por duración para diversas regiones de nuestro país es importante ya que para el diseño de obras futuras, bastará con estimar la precipitación para duración de 24 horas y multiplicarla por el factor correspondiente a la duración de interés para conocer la altura de

lluvia para dicha duración.

RESULTADOS

Resultados obtenidos para los factores de reducción por área

Se trabajó con un total de 71 estaciones pluviométricas con mas de 14 años de registro, de las cuales en 42 pudo formarse el registro simultáneo para el período 1965-1983 (19 años).

Al trabajar con las 71 estaciones por separado, se obtuvieron los planos de isolíneas de precipitación puntual para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Domínguez, et al, 1997).

Para considerar el efecto de simultaneidad se estudiaron diversas áreas dentro de la región en un rango de 400 a 30,000 km². Para cada área considerada se calcularon las precipitaciones diarias en los 365x19= 6,935 días de registro y se formó la muestra de los 19 valores máximos anuales, a los que se les ajustó una función de distribución de probabilidades para estimar la precipitación media máxima anual para los 6 períodos de retorno estudiados.

Finalmente al dividir los valores obtenidos considerando simultaneidad entre los que resultaron del análisis de cada estación por separado, se obtuvieron los factores de

reducción por área para diverso períodos de retorno. Adicionalmente se dibujaron las gráficas de la relación entre el factor de ajuste y el área, como se muestra en la figura 1. En esta figura puede observarse que las curvas para los factores correspondientes a período de retorno de 5 años y los promedio son muy similares, lo que refuerza la hipótesis de que estos factores son independientes del período de retorno

Al ajustar las curvas mostradas en la Figura 1 se obtiene una ecuación de la forma:

$$F = a \ln A + b \dots \dots \dots (1)$$

donde F es el factor de reducción por área (adimensional) y A, el área de la cuenca en km².

En la tabla 1 se muestra el valor de los parámetros a y b para los dos casos presentados.

Tabla 1. Parámetros de las ecuaciones de ajuste.

| | A | b | Coefficiente de correlación R |
|-------------|--------|--------|-------------------------------|
| Tr = 5 años | -0.117 | 1.5803 | 0.838 |
| Promedio | -0.124 | 1.6213 | 0.81 |

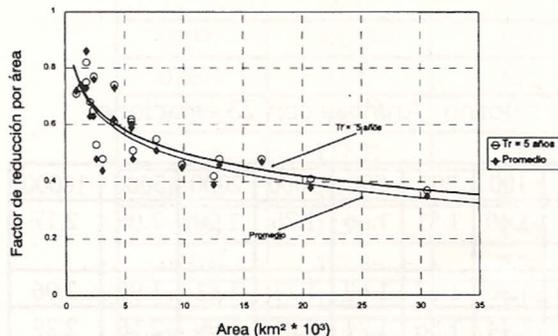
Tomando en cuenta que los factores para período de retorno de 5 años son más confiables, por el tamaño de las muestras analizadas para los eventos sin considerar simultaneidad y que el coeficiente de correlación obtenido en el ajuste es más cercano a uno, se recomienda utilizar la ecuación correspondiente a dicho período de retorno.

Resultados obtenidos para los factores de ajuste por período de retorno.

Análisis con 24 estaciones

Se eligieron 24 estaciones que, preferentemente, contaran con registros de por lo menos 25 años, distribuidas en toda la cuenca. Se aplicó el método de las estaciones-año, a la muestra de 800 datos, a los que se les ajustaron funciones de distribución de

Figura 1. Variación del Factor de Reducción por Área



probabilidad Gumbel y Doble Gumbel.

Al aplicar la prueba de Fisher se encontró, que pueden formarse tres grupos:

El primero por las estaciones con número de CLICOM 16, 35, 40, 63, 86, 87, 91, 134, 135, 139 y 202.

El segundo con las estaciones 26, 30, 34, 39, 99, 112, 123, 145, 188, 203 y 204.

Y, por último, el tercero por las estaciones 97 y 162 de CLICOM.

Se observó que, salvo para el grupo 1, el mejor ajuste en todos los casos es el de la función Doble Gumbel.

Los factores de ajuste obtenidos se presentan en la tabla 2.

Análisis con 23 estaciones.

El grupo tres está formado únicamente por dos estaciones, la 97 y la 162, a la primera corresponde el dato mas grande de toda la muestra y la segunda tiene el registro de menor tamaño (21 datos), por lo que se decidió aplicar nuevamente el proceso sin considerar la estación 97 y los tres datos máximos, de los que se tiene incertidumbre, con lo que se conformó una muestra de 776 datos.

Al aplicar la prueba de Fisher a estas estaciones, se encontró que pueden formarse dos grupos:

El primero con las estaciones 16, 35, 40, 63, 86, 87, 91, 99, 134, 135, 139, 162 y 202.

Y, el segundo por las 26, 30, 34, 39, 112,

Tabla 2. Factores de ajuste por período de retorno. Análisis con 24 estaciones

| TR (años) | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 | 10000 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Análisis con 24 estaciones | | | | | | | | | | | | |
| Gumbel | 0.66 | 0.87 | 1.00 | 1.13 | 1.30 | 1.43 | 1.55 | 1.71 | 1.84 | 1.97 | 2.13 | 2.26 |
| Doble Gumbel | 0.63 | 0.83 | 1.00 | 1.16 | 1.35 | 1.49 | 1.63 | 1.81 | 1.94 | 2.08 | 2.26 | 2.40 |
| Grupo 1 | | | | | | | | | | | | |
| Gumbel | 0.72 | 0.89 | 1.00 | 1.10 | 1.25 | 1.35 | 1.46 | 1.60 | 1.70 | 1.81 | 1.94 | 2.04 |
| Grupo 2 | | | | | | | | | | | | |
| Gumbel | 0.64 | 0.86 | 1.00 | 1.14 | 1.32 | 1.45 | 1.58 | 1.75 | 1.88 | 2.02 | 2.19 | 2.32 |
| Doble Gumbel | 0.61 | 0.82 | 1.00 | 1.17 | 1.35 | 1.49 | 1.62 | 1.79 | 1.92 | 2.05 | 2.22 | 2.35 |
| Grupo 3 | | | | | | | | | | | | |
| Gumbel | 0.57 | 0.83 | 1.00 | 1.16 | 1.37 | 1.53 | 1.68 | 1.89 | 2.05 | 2.20 | 2.41 | 2.57 |
| Doble Gumbel | 0.60 | 0.79 | 1.0 | 1.47 | 2.14 | 2.58 | 3.01 | 3.57 | 3.98 | 4.4 | 4.93 | 5.34 |

Tabla 3. Factores de ajuste por período de retorno. Análisis con 23 estaciones

| Tr (años) | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 | 10000 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Análisis con 23 estaciones | 0.68 | 0.87 | 1.00 | 1.12 | 1.27 | 1.40 | 1.51 | 1.66 | 1.78 | 1.90 | 2.06 | 2.17 |
| Grupo 1 | 0.71 | 0.89 | 1.00 | 1.11 | 1.25 | 1.36 | 1.47 | 1.60 | 1.71 | 1.81 | 1.95 | 2.06 |
| Grupo 2 | 0.65 | 0.86 | 1.00 | 1.13 | 1.31 | 1.44 | 1.56 | 1.74 | 1.86 | 1.99 | 2.16 | 2.29 |

123, 145, 188, 203 y 204.

Asimismo se obtuvieron los factores de ajuste por período de retorno correspondientes, que se presentan en la tabla 3.

Al comparar los resultados de las tablas 2 y 3 se observa que estos factores son muy similares, con excepción de los calculados para el grupo tres del análisis con 24 estaciones y distribución doble Gumbel que difieren hasta en un 100 % con respecto a los demás.

En general los factores presentados en la tabla 2, esto es para el análisis con 24 estaciones, son mayores que los de la Tabla 3, por lo que arrojarían eventos más desfavorables (o conservadores) para diseño.

A fin de estudiar el comportamiento con respecto a la duración, se conformó una muestra, de 114 elementos, con los datos

para duración de una hora, para las estaciones 35, 91, 134, 135, 202 SMN y 202 DGE, que por su ubicación se encuentran totalmente protegidas tanto de eventos provocados por huracanes del Golfo como del Pacífico. Se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 4.

Al comparar estos resultados con los obtenidos para duración de 24 horas, tablas 2 y 3, puede verse que son muy parecidos, lo que refuerza los resultados obtenidos en otros trabajos (Barrios y Domínguez, 1986) referentes a que estos factores son independientes de la duración.

Resultados obtenidos para los factores de ajuste por duración

Se obtuvieron factores de ajuste para duración de 24 horas con respecto a una hora

Tabla 4. Factores de ajuste por período de retorno para duración de una hora. Análisis con seis estaciones.

| Tr | 2 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 | 2000 | 5000 | 10000 |
|--------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Factor | 0.64 | 0.86 | 1.0 | 1.14 | 1.32 | 1.45 | 1.59 | 1.76 | 1.90 | 2.03 | 2.21 | 2.34 |

Tabla 5. Factores de ajuste por duración

| Estación | Tr=5 años | Factores para Tr=5 años | | Factores para Tr=10 años | |
|-----------|--------------------------|-------------------------|--------|--------------------------|--------|
| | P ₂₄ (Gumbel) | Doble Gumbel | Gumbel | Doble Gumbel | Gumbel |
| 07135 | 81.78 | 1.41 | 1.47 | 1.3 | 1.37 |
| 07035 | 81.88 | 1.47 | 1.52 | 1.42 | 1.47 |
| 07202 DGE | 82.35 | 1.42 | 1.43 | 1.39 | 1.39 |
| 07202 SMN | 86.11 | 1.29 | 1.33 | 1.24 | 1.29 |
| 07091 | 88.45 | 1.29 | 1.39 | 1.31 | 1.28 |
| 07204 | 92.47 | 1.72 | 1.77 | 1.72 | 1.77 |
| 07134 | 94.13 | 1.52 | 1.57 | 1.6 | 1.56 |
| 07156 | 117.21 | 1.86 | 1.77 | 1.69 | 1.69 |
| 07112 | 150.89 | 2.12 | 2.26 | 2.3 | 2.31 |
| 07084 | 145.49 | 1.66 | 1.63 | 1.57 | 1.62 |
| 07106 | 187.86 | 2.24 | 2.25 | 2.27 | 2.2 |
| 27054 | 176.23 | 2.13 | 2.4 | 2.67 | 2.51 |
| 27054 | 212.32 | 3.07 | 2.97 | 3.04 | 3.04 |

(P_{24}^T/P_1^T) para períodos de retorno de 5 y 10 años en nueve estaciones dentro de la cuenca y para estudiar el comportamiento de este factor con respecto a la ubicación se analizaron cuatro estaciones fuera de la región en estudio, una en el sur del estado de Chiapas, expuesta a los eventos provenientes del Océano pacífico y tres en la parte baja de la cuenca del río Grijalva, con influencia de eventos de origen ciclónico en el golfo de México. La información para duración de una hora se obtuvo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y de La División Hidrométrica Sureste de la Comisión Federal de Electricidad.

Se ajustaron funciones de distribución de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel a las muestras tanto para duración de una hora como de 24 horas. Los factores de ajuste por duración obtenidos se presentan en la tabla 5.

De los resultados anteriores puede comentarse lo siguiente:

Los factores, considerando distribución Gumbel o Doble Gumbel, no presentan variación significativa por lo que pueden utilizarse indistintamente.

Al parecer al aumentar la precipitación total en 24 horas se incrementa también el factor de ajuste por duración, y se observa una tendencia de incremento de este factor con la ubicación de las estaciones hacia el Golfo, esto es en zonas bajas. En este caso, en que la influencia de eventos ciclónicos provenientes del Golfo de México es ma-

yor, el factor también se incrementa. Al parecer a mayor precipitación total, ésta ocurre de manera más distribuida en el tiempo. Sin embargo el número de estaciones consideradas en este análisis es pequeño, por lo que para comprobar lo anterior deberán hacerse estudios más completos tanto en esta región del país como en otras, de tal modo que pueda compararse el comportamiento de estos factores en zonas protegidas y expuestas al efecto de lluvias de origen ciclónico.

DISCUSIÓN

Factores de reducción por área

Utilizando la ecuación 1, con los parámetros correspondientes a cinco años de período de retorno, a fin de comparar los resultados obtenidos en este estudio con los presentados anteriormente por otras instituciones, se presenta la tabla 6. Al comparar los resultados anteriores se observa que son muy diferentes entre sí, salvo para el estudio de la cuenca del río Grijalva (Tipacamú, 1992) y los presentados en este trabajo, que son muy similares, lo que refuerza la hipótesis de que el área total de la cuenca analizada para la obtención de los mismos es factor determinante así como, las características de la zona en estudio.

De cualquier forma, se considera que los valores obtenidos en este estudio son aplicables a la cuenca del alto río Grijalva y es necesario trabajar en la determinación de factores de reducción por área para otras

Tabla 6. Factores de ajuste por área para distintas regiones

| Zona | Area (km ²) | | | | |
|------------------------|-------------------------|------|-------|-------|-------|
| | 500 | 1000 | 30000 | 10000 | 30000 |
| Gran Bretaña | | 0.89 | 0.86 | 0.83 | 0.80 |
| Valle de México (1982) | 0.47 | 0.30 | | | |
| Grijalva (1992) | | 0.86 | 0.64 | 0.50 | |
| Valle de México (1996) | 0.70 | 0.62 | | | |
| Alto Grijalva | 0.85 | 0.77 | 0.64 | 0.50 | 0.37 |

cuenca de la República Mexicana, que puedan ser utilizados en zonas específicas, ya que como se dijo éstos dependen de las características de cada región.

Como se comentó, para una zona determinada, el factor de reducción por área varía, dependiendo del área total de la cuenca para la se haya obtenido, por lo que en estudios posteriores sería recomendable trabajar con áreas normalizadas (Cisneros, 1997), con respecto al área total, a fin de probar si de esta manera la variación a que se hizo referencia disminuye.

Factores de ajuste por período de retorno

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos en este estudio, del análisis regional con 23 estaciones, así como los de algunos de los estudios en otras zonas.

Como puede observarse los factores anteriores son muy similares, con variación más notable de los factores obtenidos para la región del Alto Grijalva para duración de una hora y períodos de retorno grandes, sin embargo esta diferencia no rebasa el 10 %.

Lo anterior refuerza los resultados presentados en otros trabajos (Barrios, et al, 1986; Bell, 1969), en cuanto a la independencia de estos factores de ajuste tanto de la ubicación como de la duración.

Sin embargo estos factores han sido estudiados especialmente para períodos de retorno no muy grandes (hasta 100 años), por lo que en estudios futuros sería conve-

niente abocarse a obtenerlos para períodos grandes, aplicando técnicas regionales como el método de estaciones-año.

Factores de ajuste por duración

En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos en cuanto al factor de ajuste por duración, para duración de una hora con respecto a 24 horas y período de retorno de 5 años (P_{24}^5/P_1^5), para la región del alto Grijalva, así como algunos de los encontrados anteriormente para otras zonas.

Sobre los resultados presentados en la tabla 8 pueden hacerse las siguientes precisiones:

El valor 1.6 presentado para la región del alto Grijalva es el promedio de los factores calculados para las nueve estaciones climatológicas ubicadas dentro de la cuenca, mismo que coincide para los cuatro casos presentados en la tabla 5, esto es, para períodos de retorno de 5 y 10 años, obtenidos con distribución Gumbel o Doble Gumbel.

Como se comentó en el inciso 2, para duración de 24 horas, el factor de ajuste por duración es muy variable de una región a otra, según estos resultados el rango podría ser de 1 a 10 y para el caso particular de la República Mexicana de 1 a 5, de acuerdo con los estudios efectuados hasta ahora.

De los resultados encontrados para la cuenca del Papaloapan y en este trabajo (incluyendo las estaciones fuera de la cuenca de análisis) se observa que este factor se

Tabla 7. Factores de ajuste por período de retorno, con respecto a período base de 10 años.

| Zona | Período de retorno (años) | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | 5 | 20 | 50 | 100 | 200 | 500 | 1000 |
| ENU (Bell) | 0.85 | | 1.31 | 1.46 | | | |
| Cuenca del Lerma | 0.85 | 1.34 | 1.48 | | | | |
| Cuenca del Papaloapan | 0.86 | 1.144 | 1.33 | 1.48 | | | |
| Golfo de México | 0.86 | | 1.31 | 1.44 | 1.56 | | |
| Valle de México (1997) | 0.88 | | 1.24 | 1.34 | | 1.55 | 1.75 |
| Alto Grijalva (para 24 horas) | 0.87 | 1.12 | 1.27 | 1.40 | 1.51 | 1.66 | 1.78 |
| Alto Grijalva (para 1 hora) | 0.86 | 1.14 | 1.32 | 1.45 | 1.59 | 1.76 | 1.9 |

Tabla 8. Factores de ajuste por duración para distintas regiones.

| Zona | Factor | Valores extremos |
|-------------------------|--------|------------------|
| EUN (Cheng) | | 1.67-10 |
| EUN (Campos) | 2.13 | 1.57-3.57 |
| México (Campos) | 2.09 | 1.55-4.9 |
| Papaloapan (zona alta) | 2.22 | 1.52-3.57 |
| Papaloapan (zona media) | 3.33 | 2.33-4.76 |
| Papaloapan (zona baja) | 2.33 | 1.47-3.13 |
| Golfo de México | 2.16 | 1.43-4.17 |
| Valle de México | 1.52 | 1.4-1.7 |
| Alto Grijalva | 1.6 | 1.14-2.3 |

incrementa en zonas de lluvias de origen ciclónico.

Los valores menores se presentan en zonas de precipitaciones convectivas, como son la cuenca del alto río Grijalva y la del Valle de México, que en este caso se tienen valores muy parecidos, 1.6 y 1.52, respectivamente.

Al parecer, a mayor precipitación total, ésta se distribuye más en el tiempo, sin embargo el número de estaciones analizadas es todavía pequeño, por lo que deben hacerse estudios más completos tanto en esta región como en otras del país.

Aunque en este estudio únicamente se trabajó con períodos de retorno de 5 y 10 años, los resultados obtenidos así como los de investigaciones anteriores muestran que los factores de ajuste por duración son independientes del período de retorno.

BIBLIOGRAFÍA

BARRIOS, D. J. y Domínguez, M. R. 1986. Regionalización de precipitaciones máximas en cuencas donde predominan las tormentas de tipo convectivo, IX Congreso Nacional de Hidráulica, Querétaro, Qro.

BELL, F. C. 1969. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. J. Hydr. Engrg., ASCE. 95, No HY1.

CAMPOS, A. D. F. 1990. Procedimiento para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos, Ingeniería Hidráulica en México, mayo-agosto.

CARRIZOSA, E. E. 1997. Regionalización de gastos máximos en la cuenca de la vertiente del Pacífico Centro de la República Mexicana, Tesis de maestría, DEPEI, UNAM.

CHEN, C. L. 1983. Rainfall intensity-duration-frequency formulas, J. Hydr. Engrg., ASCE. 109, No 12, december.

CISNEROS, I. H. L., Domínguez, M.R. 1996. Factores de la regionalización de lluvias en la cuenca del río Papaloapan, Centro Nacional de Prevención de Desastres. Coordinación de Investigación de Riesgos Hidrometeorológicos. México.

CISNEROS, L. 1997. Etude descriptive de la repartition spatio-temporale des pluies journalieres a Mexico, Mémoire de DEA, Université de Montpellier II.

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

DOMÍNGUEZ, M. R. y Ríos, C. A. 1991. Regionalización de las características hidrometeorológicas de la cuenca del río Papaloapan, Centro Nacional de Prevención de Desastres, Coordinación de Investigación de Riesgos Hidrometeorológicos, México.

DOMÍNGUEZ, M. R., Villalobos, E. J. E., Guichard R., D. 1997. Regionalización de lluvias y escurrimientos en la cuenca del alto río Grijalva, Escuela de Ingeniería Civil, UNACH.

FRANCO, C. 1997. Comunicación personal.

LAFRAGUA, C. J. 1996. **Curvas Intensidad-duración-período de retorno para la vertiente del Golfo de México**, Tesis de maestría, DEPFI, UNAM.

Natural Environment Research Council. 1975. **Flood Studies Report**, 5 volúmenes.

TIPACAMÚ G., Gómez F. y Domínguez R. 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.

VISSMAN W. *et al.* 1989. **Introduction to Hydrology**, Intertec Educ. Public. New York.