

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA PREDICCIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA EL DISEÑO ADECUADO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT METHODS USED FOR THE PREDICTION OF MAXIMUM RAINFALL INTENSITY FOR SUITABLE DESIGN OF HYDRAULIC STRUCTURES

MARÍA RAMÍREZ¹, ANA GHANEM², HAYDEE LÁREZ³

*Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas,
Dpto. de Ingeniería Civil, Centro de Estudios Ambientales*

¹tocho2@cantv.net. ^{2,3}anaghanem@cantv.net

RESUMEN

En proyectos de drenaje, existen varios métodos que se utilizan para determinar los valores de intensidad de precipitación para una duración y período de retorno determinado, entre los cuales se destacan el método de Gumbel, Log-Pearson Tipo III y Gráfico. En Venezuela, el más utilizado es el método de Gumbel, sin embargo, el de Log-Pearson Tipo III y el Gráfico tienen buena aceptación. El objetivo principal de este trabajo de investigación fue comparar los diferentes métodos utilizados en la predicción de intensidades máximas de precipitación, para el diseño de estructuras hidráulicas, para lo cual se aplicaron el método de Gumbel, Log-Pearson Tipo III y Gráfico a un grupo de doce estaciones pluviográficas de la región Oriental del país. Al comparar los diferentes métodos aplicados, se obtuvo que los valores mayores de intensidades máximas de precipitación se alcanzaron para los períodos de retorno de 2, 5 y 10 años a partir de los métodos Gumbel y Log-Pearson Tipo III, y para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años a partir del método Gráfico. Estos resultados sugieren que los métodos Gumbel y Log-Pearson Tipo III son aplicables para períodos de retorno menores a 25 años, para períodos de retorno mayores a 25 años debería utilizarse el método Gráfico.

PALABRAS CLAVE: Intensidad máxima, precipitación, período de retorno, duración, drenajes, estructuras hidráulicas.

ABSTRACT

Engineers use different methods to determine rainfall intensity specific duration and return periods in drainage projects, the most relevant being the Gumbel method, the Log-Pearson Type III Distribution, and the Graphic Method, which are the methods most often used in Venezuela. The main objective of this research is to compare the different methods used in forecasting maximum rainfall intensity for hydraulic structure design. To achieve this purpose, all three methods were applied to twelve pluviographic stations in eastern Venezuela. Results show that the maximum precipitation intensity values were obtained for the 2, 5, and 10 year return periods using both the Gumbel and Log-Pearson Type III methods, and for 25, 50, and 100 years of return period using the Graphic method. These results suggest that the Gumbel and the Log-Pearson Type III Distribution methods are applicable for return periods of up to 25 years, whereas the Graphic method should be used for periods above 25 years.

KEY WORDS: maximum intensity, rainfall, Return period, duration, drainage, hydraulic structures.

INTRODUCCIÓN

Para el cálculo de los caudales de diseño de las estructuras hidráulicas comúnmente se utilizan valores de intensidad máxima de precipitación correspondientes a una frecuencia determinada a partir de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), elaboradas mediante la aplicación de métodos estadísticos, donde los más utilizados son el método Gráfico, método de

Gumbel y método Log-Pearson Tipo III. Sobre la base de esta consideración, se presentó la interrogante de cuál sería el método que más se ajustara a los regímenes de precipitación actual, y de aquí surgió el propósito fundamental de este trabajo, que consistió en comparar los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación correspondientes a una frecuencia determinada a ser utilizada en la elaboración de proyectos de drenaje, para mejorar la

precisión de los valores de intensidad correspondientes a distintas duraciones y frecuencias para el proyecto de obras de drenaje urbano.

Método Gráfico: Consiste en una distribución gráfica que desarrolló Weibull (1939), a partir de la cual se predicen eventos de precipitación en función del período de retorno Tr , de dichos eventos. Para su aplicación se debe arreglar el registro de todas las intensidades de precipitación de la estación en estudio en orden decreciente, a su vez se asigna a cada dato un número de orden m , que va desde el número 1 hasta un valor n , que representa el tamaño de la muestra, seguidamente se estima el período de retorno mediante la ecuación (1), para cada duración de precipitación (Weibull 1939; Bolinaga 1979).

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

Método de Gumbel: Esta es una distribución de valores extremos, formulada por Gumbel (1941) y posteriormente Chow (1954) que es una distribución logarítmica normal, para lo cual, el valor extremo o valor máximo X se obtiene mediante la ecuación (2) de análisis de frecuencia (Gumbel 1941; Chow 1954; Bolinaga 1979; Linsley 1985; Gupta 1989; Chow 1994).

$$X = \bar{X} + K \cdot S_x \quad (2)$$

Donde: \bar{X} = media de la muestra de valores de intensidad de precipitación, S_x = desviación estándar de tal muestra y K = factor de frecuencia, éste depende del período de retorno.

El valor de K se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Y - Y_n}{S_n} \quad (3)$$

Donde: Y = variable reducida, la cual es función del período de retorno y del tamaño del registro o muestra; Y_n = media de la variable reducida; y S_n = desviación de la variable reducida. Estos valores se obtienen de tablas

disponibles en la literatura (Bolinaga 1979).

Método de Log-Pearson Tipo III: Foster desarrolló este método en el año 1924, el cual consiste principalmente en transformar los valores extremos X en sus correspondientes logaritmos, según se expresa en la ecuación (4), con la diferencia de que el valor de K no solo depende de Tr , sino que también es función del coeficiente de asimetría g , el cual indica que tan separados están los datos o valores de la distribución con respecto a la normal de Gauss (Foster 1924; Bolinaga 1979; Helsel 1992).

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + K \cdot S_{\text{Log}X} \quad (4)$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección del lugar de muestreo

Se escogió un grupo de doce estaciones pluviográficas pertenecientes al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), las cuales deberían cumplir con las siguientes características: a) contar con un mínimo de 15 años de registro y b) pertenecer a la zona Oriental del País.

Las estaciones seleccionadas fueron: Pariaguán en el Estado Anzoátegui, Cumanacoa, Cariaco-Muelle y Quebrada Seca en el estado Sucre, San Francisco de Macanao, Juan Griego, Paraguachí, Tacarigua, La Asunción, San Juan Bautista, Porlamar y San Pedro de Coche en el estado Nueva Esparta.

Selección de datos

Se seleccionaron los datos de precipitaciones máximas de cada estación, para las duraciones de 5, 10, 15 y 30 min, y 1, 3, 6, 9, 12 y 24 h, dentro del período de registro suministrado por la Dirección de Hidrología y Meteorología del MARN, comprendido desde el año de 1965 hasta el año 1996 (un ejemplo de ello se muestra en la Tabla 1). Dentro de este período, las estaciones pluviográficas seleccionadas disponían de una base de datos de precipitación de 30, 20 y 15 años, por lo que se establecieron series de tiempo tomando el total de años de registro disponibles para cada una de las estaciones pluviográficas del estudio, como se observa en la Tabla 2. A cada una de estas series se les denominó muestra.

Tabla 1. Ejemplo de datos de precipitación suministrados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales correspondientes a la Estación Cumanacoa-La Granja, Estado Sucre, Serial: 1869, instalada en Junio de 1942

| Año | Precipitaciones Máximas (mm) | | | | | | | | | |
|------|------------------------------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 5 min | 10 min | 15 min | 30 min | 1 h | 3 h | 6 h | 9 h | 12 h | 24 h |
| 1967 | 8,0 | 10,5 | 14,3 | 24,0 | 57 | 73 | 73 | 73 | 76 | 80 |
| 1968 | 17,8 | 22,5 | 26,1 | 32,6 | 43 | 63 | 65 | 67 | 67 | 77 |
| 1969 | 11,1 | 19,5 | 29,8 | 45,0 | 50 | 57 | 76 | 76 | 76 | 81 |
| 1970 | 11,0 | 21,0 | 29,6 | 45,4 | 53 | 73 | 91 | 91 | 91 | 92 |
| 1971 | 19,3 | 25,3 | 30,6 | 41,7 | 47 | 54 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| 1972 | 13,3 | 26,4 | 30,5 | 35,4 | 51 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| 1973 | 10,4 | 19,8 | 23,4 | 37,5 | 47 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| 1974 | 12,8 | 25,4 | 31,6 | 41,3 | 59 | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| 1975 | 10,7 | 19,4 | 24,6 | 40,7 | 59 | 114 | 114 | 114 | 114 | 115 |
| 1976 | 13,0 | 24,9 | 32,0 | 46,3 | 60 | 66 | 66 | 66 | 66 | 71 |
| 1977 | 13,0 | 22,0 | 28,0 | 47,2 | 49 | 60 | 70 | 60 | 60 | 60 |
| 1978 | 10,0 | 18,0 | 21,7 | 34,5 | 47 | 71 | 77 | 77 | 77 | 78 |
| 1979 | 12,1 | 19,6 | 24,5 | 44,2 | 55 | 84 | 93 | 93 | 93 | 93 |
| 1980 | 10,4 | 19,2 | 28,2 | 37,0 | 44 | 49 | 51 | 51 | 51 | 64 |
| 1981 | 11,5 | 21,3 | 24,3 | 42,1 | 49 | 74 | 79 | 81 | 81 | 96 |
| 1982 | 9,8 | 19,4 | 27,6 | 43,2 | 55 | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 1983 | 11,8 | 21,8 | 25,6 | 45,6 | 45 | 55 | 55 | 55 | 55 | 56 |
| 1984 | 13,0 | 24,0 | 34,7 | 53,8 | 62 | 65 | 82 | 82 | 82 | 82 |
| 1985 | 11,6 | 23,0 | 38,1 | 70,6 | 80 | 80 | 81 | 81 | 81 | 88 |
| 1986 | 10,3 | 16,5 | 19,6 | 30,9 | 42 | 70 | 70 | 70 | 77 | 77 |
| 1987 | 13,9 | 27,4 | 33,4 | 46,0 | 55 | 106 | 111 | 111 | 111 | 133 |
| 1988 | 16,9 | 31,1 | 40,5 | 62,0 | 76 | 85 | 91 | 91 | 91 | 101 |
| 1989 | 10,1 | 19,7 | 31,2 | 44,0 | 47 | 51 | 51 | 51 | 51 | 63 |
| 1990 | 16,1 | 28,2 | 33,2 | 46,6 | 52 | 67 | 91 | 98 | 98 | 98 |
| 1991 | 11,9 | 23,0 | 28,7 | 44,9 | 48 | 48 | 51 | 52 | 52 | 59 |
| 1992 | 12,8 | 21,0 | 27,8 | 42,1 | 50 | 58 | 64 | 64 | 64 | 123 |
| 1993 | 9,6 | 19,2 | 22,7 | 37,6 | 45 | 47 | 50 | 50 | 50 | 54 |
| 1994 | 9,4 | 15,3 | 21,1 | 33,7 | 44 | 61 | 79 | 84 | 85 | 85 |
| 1995 | 11,8 | 23,5 | 32,7 | 42,0 | 59 | 63 | 63 | 63 | 63 | 70 |
| 1996 | 10,1 | 21,6 | 28,6 | 38,1 | 51 | 60 | 60 | 60 | 60 | 64 |

Tabla 2. Series de tiempo de las estaciones pluviográficas

| Estaciones | Tamaño del Registro | | |
|------------------------|---|--|---------|
| | 30 años | 20 años | 15 años |
| Cumanacoa Pariaguán | San Francisco de Macanao Paraguachí Juan Griego San Pedro de Coche Tacarigua La Asunción Cariaco-Muelle | San Juan Bautista Porlamar Quebrada Seca | |

Conversión de datos de precipitación en intensidad

Se convirtieron los datos de precipitaciones máximas de las series establecidas en la Tabla 2, en intensidades expresadas en mm/h, para las duraciones de 5, 10, 15 y 30 min y 1, 3, 6, 9, 12 y 24 h.

Aplicación de los métodos para la predicción de intensidades máximas

Método Gráfico: Para su aplicación se realizó un arreglo del registro de todas las intensidades de precipitación de la estación en estudio en orden decreciente, asignando a cada dato un número de orden “ m ” que varió desde un $m = 1$ hasta “ n ” según la cantidad de datos o tamaño de la muestra, seguidamente se estimó el período de retorno mediante la ecuación (1). Esto se realizó para cada una de las duraciones de las estaciones en estudio. Los valores de las intensidades máximas de precipitación contra el período de retorno se representaron gráficamente en escala semi-logarítmica, para obtener las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

Método de Gumbel: Una vez transformados los datos de precipitación máxima en intensidad de precipitación, se calculó la media y la desviación estándar de las intensidades para a cada una de las muestras, para las diferentes duraciones de todas las estaciones en estudio. Luego, se calculó el factor de frecuencia K utilizando la ecuación (3), para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para obtener las intensidades máximas de precipitación se utilizó la ecuación (2) de distribución de frecuencias.

Los valores obtenidos de todas las estaciones en estudio se plotearon en escala semi-logarítmica, graficando la intensidad máxima de precipitación contra el período de retorno.

Método de Log-Pearson Tipo III: Para las diferentes duraciones, a cada uno de los valores de intensidad de precipitación se les determinó el *logaritmo* y a la muestra como tal se le determinó la media, la desviación estándar y coeficiente de asimetría. Para obtener el valor de K , correspondiente a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, se interpolaron los valores que aparecen en las tablas estadísticas publicadas por (Bolinaga 1979). Se sustituyeron los valores de la media, desviación estándar de la muestra y el factor de frecuencia K en la ecuación (4). A los valores obtenidos de intensidad de precipitación se les determinó el *antilogaritmo*, para tener finalmente las intensidades máximas de precipitación (Linsley, 1985).

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas a partir de éste método se realizaron en escala semi-logarítmica, graficando la intensidad máxima de precipitación contra el período de retorno, para cada una de las estaciones en estudio.

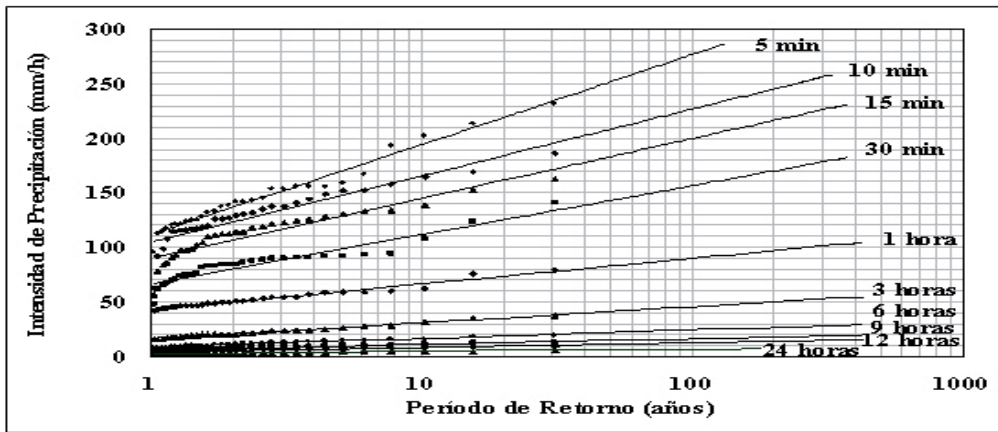
Comparación entre los resultados obtenidos a partir de los diferentes métodos aplicados para la predicción de intensidades máximas de precipitación

Se fijó como patrón de comparación las intensidades máximas de precipitación obtenidas a partir de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, resultantes de la aplicación de los diferentes métodos, para las duraciones de 5, 10, 15 y 30 min y de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, y para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para visualizar dicha comparación, se elaboraron gráficos de barras. Con los valores de las intensidades máximas de precipitación obtenidos, a partir de estos gráficos se determinó en que proporción las intensidades máximas de precipitación alcanzaron los mayores valores por cada método aplicado, en primer lugar para los períodos de retorno de 2, 5 y 10 años y seguidamente para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Finalmente, se determinaron las proporciones de manera porcentual para ambos casos.

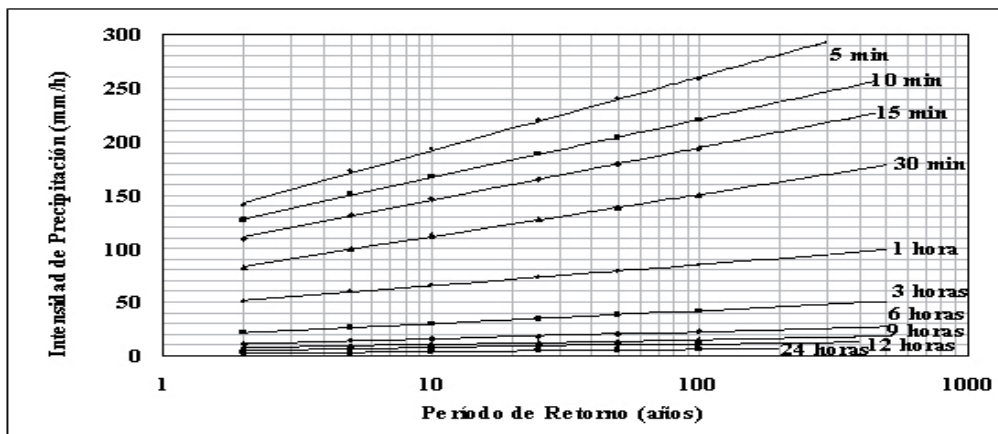
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos de la aplicación de los diferentes métodos para la determinación de las intensidades máximas de precipitación en cada una de las estaciones en estudio, se generaron 12 graficas por cada método aplicado, resultando un total de 36 gráficas. Por consiguiente, a manera de ilustración, se ha mostrado únicamente un ejemplo de cada una de ellas, los cuales aparecen indicados en las Figuras 1 (A,B y C) y 2.

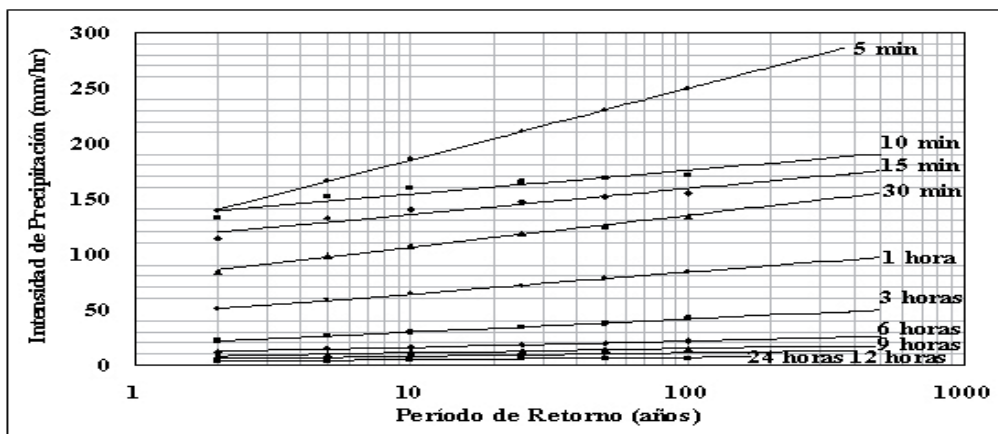
De la comparación realizada entre las intensidades máximas de precipitación para las diferentes duraciones y períodos de retorno de las estaciones en estudio, entre los métodos Gráfico, Gumbel y Log-Pearson Tipo III, a partir de los 36 gráficos de barras generados para este caso, se obtuvo que para los períodos de retorno de 2, 5 y 10 años, los valores más altos de precipitación esperados, se observaron en 6 estaciones a partir de la aplicación del método de Gumbel, seguidos de 5 estaciones a partir de la aplicación del método de Log-Pearson Tipo III y una estación que no definió un método en específico. Al igual que en el caso anterior, solo se muestra en la Figura 2 un ejemplo de estos resultados.



(A)



(B)



(C)

Figura 1. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia obtenidas a partir de: (A) Método Gráfico, (B) Método de Gumbel, (C) Metodo de Log-Perarson Tipo III Estación Cumanacoa-La Granja, estado Sucre, serie 30 años (1967-1996)

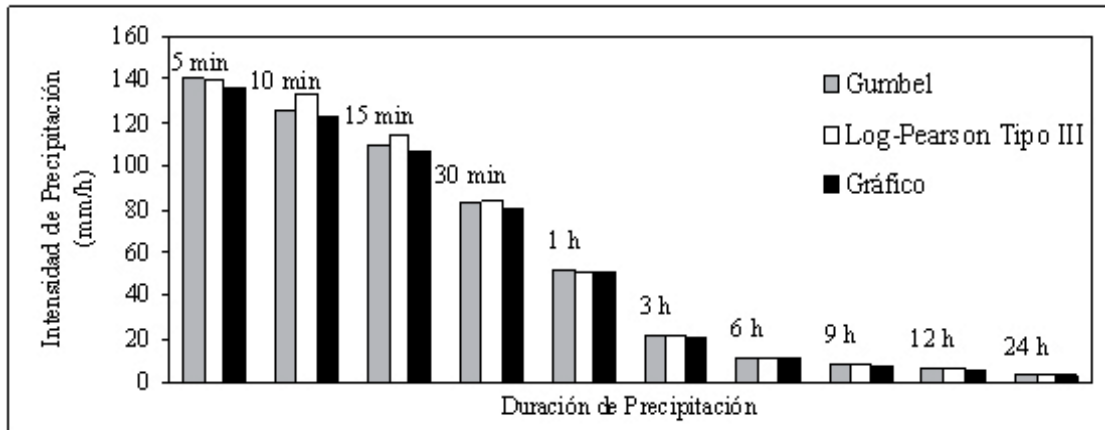


Figura 2. Comparación entre las intensidades máximas de precipitación para diferentes duraciones y periodo de retorno de dos años, obtenidas de la aplicación de los métodos Gráfico, Gumbel y Log-Pearson Tipo III, para la Estación Cumanacoa-La Granja, estado Sucre, período 1967-1996.

Así mismo se observó que los valores mayores de intensidad máxima de precipitación se registraron para el periodo de retorno de 2 años en 9 estaciones a partir de la aplicación del método de Log-Pearson Tipo III, para el periodo de retorno de 5 años en 6 estaciones a partir de la aplicación del método de Gumbel, así como también para el periodo de retorno de 10 años en 9 estaciones para el mencionado método. En la Tabla 3 se resume el comportamiento de las estaciones resultante de este análisis, en la cual los resultados

indican que la aplicación del método de Gumbel predominó en un 50 % del total de estaciones en estudio, así como el método de Log-Pearson Tipo III en un 41,67 %, puede decirse que ambos métodos permiten por igual obtener valores mayores de intensidad máxima de precipitación para los periodos de retorno de 2, 5 y 10 años, por otra parte, el método Gráfico no sobresalió en esta comparación debido a que en ninguna estación predominó su aplicación para los periodos de retorno antes mencionados.

Tabla 3. Estaciones con mayores valores de intensidades máximas de precipitación por método aplicado, para los periodos de retorno de 2, 5 y 10 años

| Estación | Tr = 2 años | Tr = 5 años | Tr = 10 años |
|---------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| Cumanacoa | Gumbel | Gráfico | Gumbel |
| Quebrada Seca | Log-Pearson Tipo III | Gumbel | Gumbel |
| Porlamar | Gumbel | Gumbel | Gumbel |
| San Juan Bautista | Log-Pearson Tipo III | Gumbel | Gumbel |
| Paraguachí | Gumbel | Gumbel | Gráfico |
| Tacarigua | Log-Pearson Tipo III | Gumbel | Gumbel |
| Cariaco-Muelle | Log-Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III | Gumbel |
| Juan Griego | Log-Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III | Gumbel |
| La Asunción | Log-Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III | Gumbel |
| San Francisco de M. | Log-Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III | Gumbel |
| San Pedro de Coche | Log-Pearson Tipo III | Log-Pearson Tipo III | Gráfico |
| Pariaguán | Log-Pearson Tipo III | Gumbel | Gráfico |

Seguidamente, al evaluar el mencionado patrón de comparación a partir de los 36 gráficos de barras generados para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, los valores mayores de intensidad máxima de precipitación fueron obtenidos en 10 estaciones con la

aplicación del método Gráfico, y en 2 estaciones con la aplicación del método de Gumbel, para el método de Log-Pearson Tipo III no hubo ninguna observación. Estos resultados se reflejan en la Tabla 4, para poder apreciar de una manera resumida el comportamiento de cada una de

las estaciones en este análisis para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. En esta tabla se observa que el método Gráfico predomina en un 83,33%, el método de Gumbel sólo representa un 16,67 % del total de estaciones en estudio y el método de Log-Pearson Tipo III no representa

ninguna proporción en la comparación, en base a estos resultados puede decirse que la aplicación del método Gráfico permite obtener valores mayores de intensidades máximas de precipitación en las estaciones del estudio para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Tabla 4. Estaciones con mayores valores de intensidades máximas de precipitación, por método aplicado para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años

| Estación | Tr = 25 años | Tr = 50 años | Tr = 100 años |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|
| Cumanacoa | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Quebrada Seca | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Porlamar | Gumbel | Gumbel | Gumbel |
| San Juan Bautista | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Paraguachí | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Tacarigua | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Cariaco-Muelle | Gumbel | Gráfico | Gumbel |
| Juan Griego | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| La Asunción | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| San Francisco de M. | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| San Pedro de Coche | Gráfico | Gráfico | Gráfico |
| Pariaguán | Gráfico | Gráfico | Gráfico |

En cuanto a la forma como se desarrollan los métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas, el método de Gumbel es el mas sencillo de aplicar, y las intensidades máximas de precipitación se obtienen de manera mas directa, en cambio que el método de Log-Pearson Tipo III, resulta un poco largo y se presta a cometer errores en su aplicación, mientras que el método Grafico tiene la particularidad de que no emplea la ecuación de distribución de frecuencias. Sin embargo, los resultados de este estudio sugieren utilizar el método de Gumbel y el de Log-Pearson Tipo III en el diseño de estructuras hidráulicas, para períodos de retorno de 2, 5 y 10 años, y el método Grafico para períodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Es importante señalar, que el comportamiento de las precipitaciones de la región insular es diferente al de la región continental. Sin embargo, para la selección de las estaciones en estudio, se tomó en consideración el estudio realizado por Ayala (1980), donde se publican 36 curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia correspondientes a las regiones hidrológicas de Venezuela, clasificadas del I al XIV, siendo la región XIII la que agrupa los estados Nueva Esparta, Sucre y parte norte del estado Anzoátegui, y la región XI, que incluye la parte sur del estado Anzoategui. Dentro de

esta última región, se localiza la estación de Pariaguán, la cual, según los resultados mostrados en las Tablas 2 y 3, se observa que se comporta en forma similar a la mayoría de las estaciones estudiadas de la región XIII, a excepción de la estación Porlamar, y por esta razón no fue excluida del análisis de los resultados. Esto sugiere que la aplicación de cualquier método para la predicción de precipitaciones máximas, debería ser independiente de la ubicación geográfica de la estación pluviográfica, no obstante, el trabajo realizado en este estudio incluyó diversos aspectos en forma global, que podrían ser discutidos en futuros trabajos de investigación en forma independiente, empleando muestras mayores y más homogéneas, como por ejemplo: el de comparar resultados por regiones aplicando los diferentes métodos, comparación entre series utilizando un método en específico y comparación de resultados empleando datos de los últimos 30 años, con las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia elaboradas por el INOS (1969).

CONCLUSIONES

A partir de la aplicación de los métodos Gumbel y Log-Pearson Tipo III, se obtuvieron valores mayores de intensidades máximas de precipitación, para los períodos de retorno menores de 25 años, por lo

que puede decirse que su aplicación en el diseño de estructuras hidráulicas, es bastante aceptable en estos casos. Sin embargo, se recomienda la aplicación del Método Gráfico para períodos de retorno mayores o iguales a 25 años, debido a que los valores más altos de intensidad máxima de precipitación se lograron a partir de la aplicación de este método.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) y al Licenciado Luis E. Pérez Matos (†) por facilitar los datos hidrometeorológicos a partir de los cuales se llevó a cabo el presente proyecto de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA U.; MENDOZA R. 1980. Regionalización de lluvias extremas en Venezuela para uso en el drenaje vial. Inédito. Caracas, Venezuela.
- BOLINAGA J. 1979. Drenaje urbano, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) e Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Caracas, Venezuela, pp. 125 – 143.
- CHOW V. T. 1954. The log-probability law and its engineering applications. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 80:1-25.
- CHOW V. T. 1994. Hidrología aplicada, McGraw-Hill Interamericana, Santa Fé de Bogotá, Colombia, pp. 361 – 388.
- FOSTER H. 1924. Theoretical frequency curves and their application to engineering problems. Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 87:142-173.
- GUMBEL E. 1941. The return period of flood flows. The annals of mathematical statistics. 12(2):163-190.
- GUPTA R. 1989. Hydrology and hydraulic systems, Waveland Press, Illinois, Estados Unidos, pp. 68 – 69, 377 – 417, 622 – 623.
- HELSEL D. 1992. Statistical methods in water resources, Elsevier, Amsterdam, Holanda, pp. 88-90.
- INOS (Instituto Nacional de Obras Sanitarias). 1969. Análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias en Venezuela. INOS. Caracas, Venezuela, pp. 5-6, 177-178, 181-190, 197-203.
- LINSLEY R. 1985. Hidrología para ingenieros, McGraw-Hill, Bogotá, Colombia, pp. 281 – 297.
- WEIBULL W. 1939. A statistical theory of the strength of materials. Ingeniors Vetenskaps Akademien (The Royal Swedish Institute for Engineering Research). Proc. 51:5-45.