

Curvas de Intensidad, Frecuencia y Duración de Lluvias para Cali: Actualización y Consideraciones

Hernán Materón Muñoz*
Yesid Carvajal Escobar**

Resumen

Mediante la secuencia metodológica básica sugerida por Chow, y con un manejo más exigente en cuanto a la selección de datos y conformación de las series de máximas y excedencias anuales; se determinaron los parámetros hidrometeorológicos que rigen las relaciones actuales entre la intensidad, frecuencia y duración de lluvias asociadas a ocho (8) estaciones pluviográficas de la ciudad de Santiago de Cali (2.000.000 hab) ubicada en el suroccidente de Colombia, departamento del Valle del Cauca. El empleo de las distribuciones de probabilidad del máximo valor Tipo 1, o de Gumbel, y la logarítmica normal, fue contrastado con la representación de eventos observados mediante el método empírico de Weibull, aplicando el concepto de error cuadrático medio como opción de mejor ajuste de series; los parámetros inherentes a las ecuaciones de curvas de cada estación se ajustaron mediante el empleo de modelos de correlación aplicando un programa de computador en hoja electrónica. El estudio concluye que hay evidencias de sesgos existentes en los parámetros de curvas anteriores que corresponden a la estación Cañaveralejo y Planta Río Cauca, con incidencia en las especificaciones para diseño de obras de drenaje urbano de la ciudad; adicionalmente, no existe convergencia de los parámetros de las ecuacio-

* Profesor titular, Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. E-mail: hmateron@mafalda.univalle.edu.co

** Profesor auxiliar, Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle. E-mail: yecarvaj@mafalda.univalle.edu.co

nes hacia un valor de tipo regional, dependiendo estos más bien de la combinación de las variables que constituyen el procedimiento de ajuste de las series. La distribución de probabilidad que mejor refleja los eventos reales de lluvias cortas e intensas corresponde a la de Gumbel en asocio con la serie de excedencias anuales.

Con la implementación de la base de datos actualizada en medio magnético, la metodología de cálculo propuesta y el programa de computador, se pueden actualizar o determinar las curvas de cualquier espacio geográfico del país.

Abstract

Hidrometeorological parameters were determined which control the present relationship between intensity - frequency and duration of rainfall belongin to 8 gauging stations of the Cali City (2 x 106 in habitants) located in the southwest of Colombia, Valle del Cauca Department.

Methodic Basic Sequence, suggested by Chow, was applied with a strong management of data selection and arrangement of the yearly maximun and excedence series; the treatment was carried out using the probability distribution of the value maximun tipo I or Gumbel and the normal logarithmic distribution and comparing with the event representation considered through the empiric Weibull's method; the mean square error method was applied for the adjustment of the data series; the inherent parameters to the curve equations for each gauging station were fitted by using correlation models applying a computer program in spreadsheet.

Evidence of existing biases were found for the previous curves parameters correspondent to the Cañaveralejo gaugin station and Cauca River Plant, Striking the design dimensions for the drainage urban structures for the city. It was confirmed that convergence of the equation parameters fowards a value of regional type doesn't exist, rather it depends on the combination of variables involved within the adjustment procedure of the series. Gumbel distribution, along with the yearly excedence Serie, is the probability distribution that better describes the real events of short and intense rainfalls

Introducción

En el diseño del drenaje urbano superficial es de imperiosa necesidad obtener información sobre la magnitud, intensidad, duración y frecuencia de las lluvias, puesto que las precipitaciones provenientes de una tormenta determinan el caudal de aguas lluvias a drenar en un área; y, por ende, el dimensionamiento de las obras hidráulicas.

El crecimiento del perímetro urbano de la ciudad, el incremento de estaciones pluviográficas, el tiempo transcurrido desde el último estudio (1982) y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que alteran el régimen de precipitación en la región, indican que las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración de-

ben ser revisadas y actualizadas periódicamente con el objeto de disponer de una herramienta básica para el diseño adecuado de los sistemas de drenaje y alcantarillado de Santiago de Cali.

Atendiendo lo anterior, se consideró relevante conformar una base de datos actualizada y confiable de las precipitaciones más intensas registradas en las estaciones pluviográficas y diseñar un programa de computador que permitiera actualizar y determinar periódicamente las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración en esta ciudad.

Antecedentes

A través de 40 años se han llevado a cabo varios estudios sobre las características de las lluvias en el perímetro urbano de Santiago de Cali, aparentemente no se logró concordancia en los resultados, debido al natural aumento en el número de estaciones y especialmente al acopio de un mayor número de registros de precipitación.

La firma TIPTON Y ASOCIADOS (1956) elaboró por primera vez las curvas I-F-D para Cali. En este estudio la duración de las estadísticas básicas fue corta, resultando difícil realizar un análisis estricto de las relaciones hidrológicas de importancia. La firma BUCK, SEIFERT Y JOST (1968) analizó lluvias correspondientes a un período más largo de registros, que estaban disponibles en 1964 y dedujeron nuevas curvas I-F-D. Estas curvas resultaron un 20% más bajas que las de Tipton. CASAS Y REGALADO (1970) trabajaron con base en los registros de las estaciones Planta Río Cali, Cauca, San Bosco y San Luis Gonzaga, determinando el área de influencia por medio de los polígonos de Thiessen. COLLAZOS, A., ET AL (1975), determinaron nuevamente las curvas I-F-D para la ciudad de Cali, incluyendo un mayor número de registros y argumentos para la selección de las series. Incorporaron los registros de la estación Univalle. REGALADO Y CAMPO (1976), presentaron sustanciales modificaciones con relación a los anteriores estudios, incluyendo 2 nuevas estaciones: Cañaveralejo y Universidad del Valle, emplearon los métodos empíricos de Weibull, Hazen y California y los estadístico probabilísticos de Distribución logarítmica - Normal, Distribución asintótica del máximo valor y Distribución de Gumbel (Tipo I), seleccionando este último. MATERON Y CASAS (1978) hicieron énfasis en los métodos probabilísticos específicamente en el método teórico de Gumbel del cual obtuvieron un mejor ajuste. La firma INGESAM (1985) determinó las curvas I-F-D de las estaciones San Luis, Universidad del Valle, San Bosco, Cañaveralejo, Planta Río Cali y Planta Río Cauca. Anotaron que en las estaciones de la zona plana, más del 95% de la precipitación cae en los primeros 120 minutos de duración; por lo cual las series no deben extenderse a un período mayor a dos horas. PATIÑO (1990), actualizó las curvas de las estaciones Univalle, San Bosco y Planta Río Cauca hasta 1988. En este estudio se aplicaron diversas metodologías, la distribución logarítmica de Gumbel doblemente exponencial, la distribución logarítmica Normal, y el método de Weibull, encontrando como respuesta de mejor ajuste la distribución logarítmica Normal. MATERON

Estación	Altitud m.s.n.m.	Latitud	Longitud	Periodo de Registro	Años
Planta Río Cali	1070	03°27' N	77°33' W	1953-1996	43
Planta Río Cauca	956	03°27' N	76°32' W	1960-1996	36
Colegio San Bosco	1000	03°27' N	76°32' W	1960-1996	36
Colegio San Luis	1053	03°28' N	76°32' W	1960-1996	36
Cañaveralejo	1056	03°25' N	76°35' W	1968-1996	28
Edificio CVC	973	03°24' N	76°33' W	1984-1996	12
Univalle	976	03°22' N	76°32' W	1966-1996	30
La Ladrillera	1180	03°22' N	76°35' W	1982-1996	14

TABLA 1. Estaciones pluviográficas seleccionadas para la determinación de las curvas I-F-D del área urbana de la ciudad de Santiago de Cali.

(1995), efectuó estudios y diseños hidrológicos e hidráulicos de la avenida ciudad de Cali, en este trabajo encontró que los caudales pluviales de diseño se alteran significativamente al considerar la relación I-F-D de las estaciones Río Cauca, y Cañaveralejo, como elementos de una ecuación general, razón por la cual resultan inconvenientes para el análisis y sugirió su revisión.

Métodos

Selección de las estaciones. Cali dispone de una red meteorológica que cubre aceptablemente el área urbana y suburbana; las estaciones pluviográficas tienen registros que en promedio alcanzan 34 años, factor que implica suficiente representatividad de las muestras para estudios de este tipo, si se tiene en cuenta que el mínimo requerido es de 10 años.

Se seleccionaron las estaciones Planta Río Cali, Planta Río Cauca, San Luis, Colegio San Bosco, Universidad del Valle, La Ladrillera, Edificio CVC y Cañaveralejo (ver Tabla 1).

Conformación de series (Selección de datos). A partir de los pluviogramas de las lluvias más intensas, se tabularon las precipitaciones seleccionadas para intervalos de duración de 10 minutos, tomando como límite superior de duración 3 horas (180 minutos), aunque ocurren tormentas de mayor duración, es improbable que su período de mayor intensidad supere las 3 horas.

Se calcularon los incrementos de lluvia ocurridos en todos los períodos consecutivos de duración para reordenar los datos, con el fin de encontrar los máximos acumulados de precipitación para cada duración. De cada una se escogió el máximo ocurrido en $2\Delta t$ minutos; luego, el máximo acumulado en $2\Delta t$ minutos, y así sucesivamente hasta obtener el total de lluvia caída en el período que incluye la evaluación.

Las precipitaciones fueron dispuestas cronológicamente para determinar las series de máximas anuales y de excedencias de precipitación.

Análisis probabilístico. Determinación de las intensidades máximas de precipitación para cada duración y para varios períodos de recurrencia, tales como: 3, 4, 5, 10, 20 y 30 años.

Métodos estadísticos. Los métodos usados fueron la distribución logarítmica Normal y la distribución de Gumbel doblemente exponencial, que presentan las siguientes formas:

- **Distribución logarítmica Normal.** Caracterizada porque en lugar de tomar valores de los eventos de la serie utiliza los logaritmos; su expresión matemática es:

$$X_{\max} = \bar{x} + z \theta x$$

Donde:

X_{\max} = Evento máximo para una determinada probabilidad.

\bar{x} = Media de los logaritmos.

z = Variable reducida de la distribución de probabilidad normal.

θx = Desviación standard de los logaritmos.

- **Distribución Gumbel.** Su función de distribución tiene la siguiente forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-x_0)}}$$

Siendo la función de densidad:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-x_0)}$$

Donde α y x_0 son parámetros a ajustar y:

$$x_0 = \beta$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{0.577}{\alpha}$$

Para el análisis de eventos máximos se emplea esta distribución mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$X_{\max} = \frac{\bar{O}_x}{\bar{O}_n} [\bar{y}_n + \text{Ln}(-\text{Ln}(\text{Tr}-1)/\text{Tr})] + \bar{x}$$

Donde:

X_{\max} = Evento máximo para un período de retorno determinado.

\bar{x} = Media de la serie de eventos.

\bar{O}_x = Desviación standard de la serie.

Tr = Período de retorno en años.

\bar{y}_n y \bar{O}_n = Parámetros que dependen del tamaño de la serie.

Métodos empíricos. Son métodos usados para la representación de los eventos reales de una determinada serie en papel probabilístico que permiten establecer el contraste con los resultados de las distribuciones estadístico-probabilísticas.

En este análisis se utilizó el método de Weibull, el cual es el recomendado para las series máximas anuales (Chow, 1994).

Este método se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

T_r = Período de retorno del evento en años.

n = Tamaño de la serie, número de años.

m = Número de orden del evento en la serie ordenada de mayor a menor.

Prueba de mejor ajuste. Para seleccionar la distribución de probabilidad de mejor ajuste, se aplicó el criterio del error cuadrático medio entre los datos obtenidos con la distribución empírica de Weibull (dato real) y las diferentes distribuciones teóricas de probabilidad (dato estimado).

El error cuadrático medio se calculó mediante la siguiente expresión:

$$EMC = \frac{(X_i - \hat{X}_i)^2}{T}$$

Un EMC pequeño indica que los valores observados y estimados están muy próximos y en consecuencia el modelo que se está usando para obtener \hat{X}_i se considera bueno.

Determinación de las ecuaciones de las curvas I-F-D.

Luego de seleccionar la distribución probabilística de mejor ajuste, se determinó para cada estación pluviográfica, la función típica que representa la relación Intensidad-Frecuencia-Duración, cuya ecuación general es:

$$I = \frac{CT_r^m}{(t + b)^n}$$

Donde:

I = Intensidad en mm/hr.

T_r = Período de retorno en años.

t = Duración de la lluvia en minutos.

C, m, n, b = Constantes de ajuste de la ecuación.

Las diferentes ecuaciones fueron obtenidas mediante el empleo de técnicas estadísticas basadas en modelos de correlación, que permitieron el ajuste de los parámetros que intervienen en la función.

Para el cálculo de las constantes se efectuaron regresiones lineales de los valores de $\log I$ vs $\log(t + b)$, suponiendo valores arbitrarios de b , hasta obtener la recta de mejor ajuste (coeficiente de correlación más alto). Esto se realizó para cada intensidad del correspondiente período de retorno, mediante la aplicación de un programa iterativo elaborado en hoja electrónica. Posteriormente, se determinaron los parámetros C y n . El valor de C se obtuvo mediante el corte de la recta que corresponde a un $T_r = 1$ año con las coordenadas de intensidad, el valor de n se obtuvo de la pendiente de la recta.

Para obtener el último parámetro se planteó la siguiente igualdad:

$$K = CT_r^m$$

En donde $K = C$, en el caso de $T_r = 1$ año.

Posteriormente, mediante regresión lineal entre los diferentes valores de $\log K$ vs $\log T_r$ fueron obtenidos los parámetros m y C , para luego determinar la ecuación general para cada estación pluviográfica.

Análisis y discusión de resultados

La Tabla 2 presenta los parámetros estadísticos más importantes de la serie de excedencias para cada estación pluviográfica, con una duración de 10 minutos observándose que el pie de monte de la Cordillera Occidental (Planta río Cali, 169 mm/hr) y Cañaveralejo (136 mm/hr) y la parte plana de la zona oriental (Planta río Cauca, 144 mm/hr) registran las intensidades más altas, mientras que la zona centro, caracterizada por la estación San Bosco, ha registrado las intensidades más bajas (96 mm/hr).

La Tabla 3 permite apreciar las intensidades para diferentes períodos de retorno, aplicando la distribución empírica de Weibull. La lluvia en todas partes del mundo tiene grandes variaciones, pero por ser ésta una región tropical esto se acentúa. En Cali, la precipitación es conectiva en la zona plana y orográfica en el pie de monte de la Cordillera Occidental, presentando mayor variabilidad de los registros en las estaciones del pie de monte, probablemente porque dichas zonas están influenciadas por un régimen orográfico que ocasiona que las lluvias sean altas e intensas ante el ascenso forzado de las nubes.

La zona que caracteriza la estación pluviográfica de Cañaveralejo presenta unas condiciones especiales determinadas por la topografía de la región aledaña, que ocasionan la concentración de nubes, produciendo una mayor cantidad de lluvias e intensidades más altas que las que se presentan en otras estaciones.

Estación	Intensidad Máxima (mm)	Intensidad Media (mm)	Intensidad Mínima (mm)	Desv Std	Coef.Var (%)	% total de lluvia en 24 horas
Cañaveralejo (1968-1994)	25.0	14.5	10.5	3.4	23.7	18.1
CVC (1983-1994)	20.0	12.3	5.0	4.6	37.1	17.3
La Ladrillera (1982-1994)	16.2	13.3	12.1	1.2	8.9	15.6
Planta Río Cali (1954-1994)	32.5	15.0	11.5	4.5	29.9	25.9
Planta Río Cauca	25.0	12.2	8.9	3.9	15.9	20.3
San Bosco (1960-1994)	17.5	10.7	8.3	2.2	21.0	15.1
San Luis (1965-1994)	26.3	11.1	4.3	4.6	41.8	17.6
Univalle (1966-1994)	18.0	11.5	6.2	2.8	24.2	19.5

TABLA 2. Parámetros estadísticos de la serie de excedencias de las estaciones pluviográficas para una duración de 10 minutos.

T_r (AÑOS)	DURACION (MIN)	CAÑAVERALEJO (1968-1994)	Río Cali (1954-1994)	Río Cauca (1963-1994)	CVC (1983-1994)	Ladrillera (1982-1994)	Univalle (1966-1994)	San Luis (1965-1994)	San Bosco (1960-1994)	Variación	Media (mm/h)
3	10	90.0	90.0	84.0	83.0	81.0	77.0	77.0	64.0	90-64	77.0
5	10	104.0	101.0	93.0	98.0	87.0	87.0	90.0	70.0	104-70	87.0
10	10	115.0	117.0	115.0	120.0	93.0	97.0	97.0	89.0	107-87	97.0
20	10	136.0	169.0	144.0	-----	-----	103.0	120.0	96.0	169-96	133.0

TABLA 3. Máximas Intensidades de Precipitación para una Duración de 10 minutos.

ESTACION	SERIE DE MAXIMAS		SERIE DE EXCEDENCIAS	
	DISTRIBUCION LOGNORMAL	DISTRIBUCION GUMBEL TIPO 1	DISTRIBUCION LOGNORMAL	DISTRIBUCION GUMBEL TIPO 1
Cañaveralejo	17.5	8.5	9.9	7.2
C.V.C	14.2	19.1	15.6	14.2
La Ladrillera	4.4	5.1	5.1	4.7
Planta Río Cali	67.0	51.8	86.3	57.8
Planta Río Cauca	8.7	8.1	18.5	11.6
San Bosco	30.8	31.5	8.6	5.1
San Luis	11.6	13.3	22.0	16.1
Univalle	4.9	4.5	6.4	4.2

TABLA 4. Resumen Error Cuadrático Medio

Selección de la probabilidad de mejor ajuste. La tabla 4 permite observar los valores obtenidos con la aplicación del Error Cuadrático Medio. Se seleccionó la distribución de Gumbel tipo I por presentar los menores errores cuadráticos medios, tanto para la serie de máximas anuales como para la de excedencias.

Se decidió trabajar con la serie de excedencias porque la zona forma parte del área de influencia del fenómeno Niño, el cual ha caracterizado unos años como muy secos (1992) y otros como muy húmedos (1984), y al trabajar con la serie de máximas anuales se incurre en el inconveniente de que en un año muy lluvioso sólo se toma un registro de lluvia cuando

pueden existir 2 o más registros intensos que afectan el normal funcionamiento del sistema de drenaje de la ciudad, y que son descartados, para incluir eventos menos intensos de un año seco que no necesariamente corresponden a un evento crítico de diseño.

Determinación de las ecuaciones de las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración

La tabla 5 reúne los coeficientes de correlación obtenidos para cada estación utilizando los diferentes métodos.

ESTACION	3 AÑOS	4 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	30 AÑOS	CORRELACION Tr vs. A
Cañaveralejo	0.998	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994	0.997
C.V.C	0.999	0.998	0.998	0.997	0.997	0.996	0.997
La Ladrillera	0.997	0.998	0.998	0.997	0.996	0.995	0.999
Planta Río Cali	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998
Planta Río Cauca	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.996
San Bosco	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
San Luis	0.995	0.995	0.995	0.994	0.992	0.991	0.997
Univalle	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999

TABLA 5. Resumen Coeficientes de Correlación

Finalmente, las ecuaciones determinadas fueron:

$$I = \frac{1956.8 T_r^{0.265}}{(t + 27.2)^{0.951}}$$

$$I = \frac{27.780 T_r^{0.067}}{(t + 89.8)^{1.275}}$$

$$I = \frac{1066.6 T_r^{0.505}}{(t + 12.2)^{0.878}}$$

$$I = \frac{8893.0 T_r^{0.261}}{(t + 50.2)^{1.194}}$$

$$I = \frac{13.700 T_r^{0.162}}{(t + 52.3)^{1.227}}$$

$$I = \frac{1373.9 T_r^{0.204}}{(t + 26.7)^{0.857}}$$

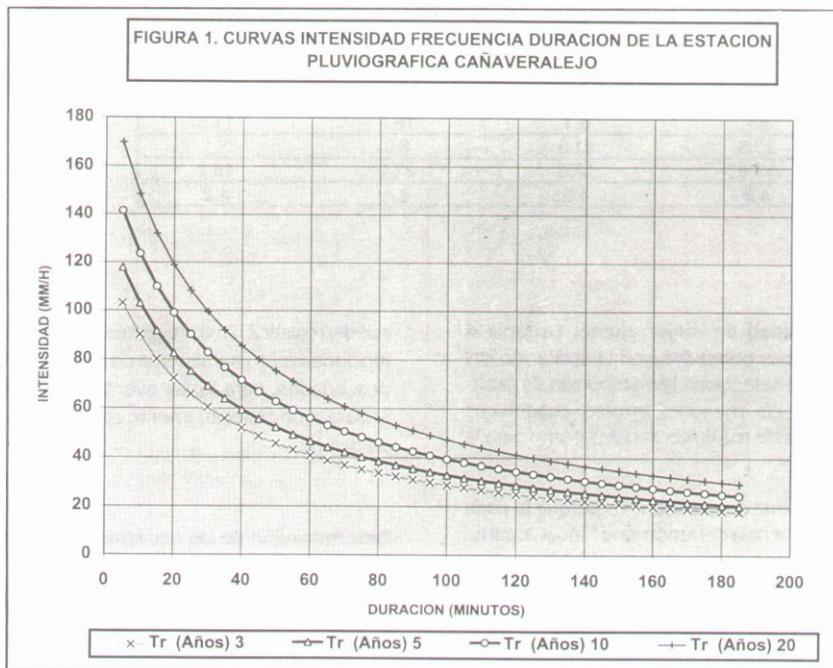
$$I = \frac{6819.4 T_r^{0.158}}{(t + 58.8)^{1.115}}$$

$$I = \frac{65.700 T_r^{0.055}}{(t + 100)^{1.425}}$$

Comparación entre curvas anteriores y las nuevas.

Estación Cañaveralejo. Al comparar las curvas con las anteriores, se observó que en promedio son un 20% más bajas para duraciones menores de 20 minutos, lo cual implica sobredimensionamiento en las obras al aplicar la anterior ecuación.

Estación CVC. Aunque tiene un período corto de registros (10 años), se tuvo en cuenta para comparar resultados con estaciones cercanas y aportar una nueva curva para evaluar en la próxima actualización. Presenta una variación del 2.05% en promedio con los datos de la curva de Cañaveralejo, presentando consistencia en la descripción del régimen de intensidad de la zona.



Estación La Ladrillera. Aunque tiene un periodo corto de registros (13 años) comparada con Univalle que es la estación más cercana, presentó en promedio un variación del 0.79%.

Estación Planta Río Cali. Estas curvas tuvieron un incremento del 25.3% en promedio con respecto a las anteriores, debido posiblemente, al aumento en las intensidades máximas de la serie entre 1982 y 1994, donde se registró la precipitación histórica más alta.

Estación Planta Río Cauca. Al igual que Cañaveralejo, las curvas arrojan valores inferiores en un 18% en promedio con respecto a la curva anterior, implicando sobredimensionamiento en las obras con las curvas anteriores.

Estación San Bosco. La ecuación posee valores más altos (9.05%) comparada con la anterior, esto se debe posiblemente, a que la actual se calculó a partir de las excedencias, mientras que la anterior, a partir de las máximas anuales.

Estación San Luis. Expone valores más bajos que la ecuación anterior; sin embargo, tiene un mejor ajuste a los datos reales, especialmente para la duraciones de 10 minutos.

Estación Univalle. Presenta valores mayores para periodos de retorno de 3 y 5 años y menores para 10 y 20 años.

Conclusiones y recomendaciones

Los métodos estadísticos han sido ampliamente investigados y aplicados en diversas partes del mundo arrojando resultados más exactos y manifestando tendencia a definirse a medida que aumenta el número de registros utilizados. Esto permitió tener un buen ajuste en los resultados, con coeficientes de determinación en su mayoría superiores a 0.98, incluyendo las estaciones CVC y La Ladrillera que, aún presentando registros cortos (12 y 14 años), muestran una buena representación y ajuste de la Intensidad de Precipitación de la zona de influencia.

El método de Gumbel arrojó el mejor ajuste, recomendándose su uso para estudios posteriores, aunque no con carácter exclusivo, ya que al incrementarse la serie se podría lograr un mejor ajuste con otro método. La distribución Normal, no presentó buen ajuste para los valores altos; debido a que los logaritmos tienden a reducir los valores mayores, esto indica que se requiere una simetría de los datos alrededor de la medida para obtener buenos resultados con este método.

La red de estaciones pluviográficas aparece limitada en términos del área que cubre, debido al crecimiento y expansión de la ciudad hacia el sector suroriental; por lo tanto, es recomendable incrementar su número. Adicionalmente, estos requieren de mayor precisión para disminuir el riesgo de error en la interpretación de los resultados para lecturas inferiores a 10 minutos.

La amplia variación de los registros de intensidad de las estaciones para duraciones de 10 minutos y periodos de retorno de 20 años (169 – 96 mm/h), hace difícil la aceptación de un valor promedio de intensidad para el perímetro urbano de

Santiago de Cali; por lo cual, es necesario zonificar la ciudad, atendiendo la variabilidad espacial que presentan los eventos de corta duración.

Glosario

Curvas I-F-D. Curvas de curvas de intensidad, frecuencia y duración de lluvias que son utilizadas para el diseño de estructuras hidráulicas

Período de retorno. Frecuencia en número de años en que en promedio se presenta un evento.

Serie de Máximas Anuales. Corresponde a los acumulados máximos de lluvia de cada año, para cada período de duración de la lluvia por separado.

Serie de excedencias. Corresponde a los n valores acumulados de todas las lluvias seleccionadas para cada período de duración de lluvia, independientemente de si ocurrieron o no en el mismo año; n corresponde al número de años de registro de la estación.

Bibliografía

1. BUCK, SEIFERT y JOST S.A., Hernando González H. **Informe sobre Plan Maestro de los Alcantarillados Sanitario y Pluvial a servir una sección del Municipio de Cali.** Vol. I. 114 pág. 1968.
2. COLLAZOS A., ET AL, **Curvas de Lluvia para la Ciudad de Cali.** Tesis de Grado. Universidad del Valle. 1975.
3. ESTUDIO DE AGUAS LLUVIAS DE LA CIUDAD DE CALI., **Informe Técnico presentado al Departamento de Programación de EMCALI.** Universidad del Valle. División de Ingeniería. Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas. Mayo 1978.
4. INGESAM Ltda., **Estudios Hidrológicos, Curvas Intensidad-Frecuencia-Duración.** 15 pág. Junio, 1984.
5. JIMENEZ H., **Hidrología Básica I.** Universidad del Valle. Cali, 1986.
6. JIMENEZ H., MATERON H., **Talleres de Hidrología.** Universidad del Valle. Cali, 1985.
7. LINSLEY R.K., **Hidrología para Ingenieros.** Editorial McGraw-Hill Latinoamericana S.A. pág. 380. Segunda edición. Bogotá, 1977.
8. PATIÑO A.M., **Informe de Avance, Actualización del Sistema de Drenaje Pluvial de la Zona Oriental.** Cali, marzo 1990.
9. REGALADO H. G., CAMPO L.O, **Curvas de Aguas Lluvias para la Ciudad de Cali.** Informe C.V.C pp. 76-15. Cali.
10. TIPTON R.J., y Asociados de Colombia Ltda. **Informe General sobre las Investigaciones, Estudios y Diseños para el Alcantarillado de Cali.** 1956.