

# Análisis de la Variación en Precipitaciones de Cartagena de Indias Colombia (1970 – 2015). Área Temática: Sustainable Engineering

Johon Gutiérrez Jaraba\*, Dr.R.N.<sup>1</sup>, Fabio Pérez Márquez, M.Sc<sup>2</sup>, Gina Angulo Blanquicett<sup>3</sup>, Gonzalo Chiriboga Gavidia<sup>4</sup>, Libis Valdez Cervantes<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Director de Investigaciones, Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena, Colombia, johon.gutierrez@tecnar.edu.co, johongutierrez@hotmail.com

<sup>2</sup> Docente Investigador Facultad de Diseño Ingeniería, Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena de Indias, Colombia, fabio.perez@tecnar.edu.co

<sup>3</sup> Sub Directora Académica Universidad Jorge Tadeo Lozano – Cartagena, Calle de la Chichería # 38-42, Cartagena de Indias, Colombia, gina.angulo@utadeo.edu.co

<sup>4</sup> Docente Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería Química – Investigador Instituto Nacional de Eficiencia Energética Y energía Renovable Quito Ecuador Washington.chiriboga@iner.gob.ec wchiriboga@uce.edu.ec

<sup>5</sup> Decana Facultad de Diseño e Ingeniería Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo - TECNAR, Avenida Pedro de Heredia #31-41 Sector TESCA, Cartagena de Indias, Colombia, libis.valdez@tecnar.edu.co

\*Autor Correspondiente

**Abstract:** *The analysis of the behavior of rainfall in a geographic basin is of meteorological, edaphic, hydrologic and hydraulic interest, as it provides indexes that enable studies creeds or modeling rainfall-runoff for proper design and sizing of the civil works. The interpretation of some variations related to climate change in a given area is also allowed. Additionally they allow the interpretation of some variations related to the climatic change in a certain afferent zone.*

*Due to the above and given that in some cases, there are not updated flow records or because they do not have sufficient duration to perform the required frequency analyzes, it is necessary to use pluviometric information to estimate floods of a certain frequency. In that regard by resorting to information record rainfall stations storms or rains, it becomes necessary to translate it into forms expressed in curves intensities so that they are depending on the duration and frequency, allowing provide behavioral patterns So that reliable and effective designs for hydraulic engineering by the engineers and trained technical personnel are made available, and the Intensity, Duration and Frequency (IDF) curves in Cartagena de Indias – Colombia are converted into an analysis and planning tool in the short, medium and long term.*

*The present work shows the result of comparing three (3) models of the curves between the years 1970 and 2015, made by three institutions from rainfall measurement reports, including the synoptic station Rafael Nunez Airport station, code IDEAM 1401502 located at the coordinates 10 ° 26'9" N and 75 ° 31'1" W of the Colombian Caribbean coast at an altitude of 2 meters above sea level.*

*The curves were developed with the help of Hydrological Frequency Analysis PLUS DSS (HYFRAN PLUS Software), which allows data to be adjusted to statistical laws and includes within its tools a powerful, accessible and flexible mathematical instrument that allows, in particular, Statistical analysis of extreme events and more generally the statistical analysis of a series of data.*

*HYFRAN PLUS DSS has been developed by the National Institute of Water, Earth and Environment (INRS-ETE) scientific research at the University of Quebec.*

**Keywords:** *IDF, Precipitation, Pluviogram, Gumbel, Climate Change, Hyfran Plus.*

**Resumen.** El análisis del comportamiento de las precipitaciones en una cuenca geográfica es motivo de interés meteorológico, edafológico, hidrológico e hidráulico, pues proporciona índices que permiten realizar estudios de crecidas o la elaboración de modelos de precipitación-escorrentía para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles. Adicionalmente permiten la interpretación de algunas variaciones relacionadas con el cambio climático en una zona aferente determinada.

En razón a lo anterior y dado que algunas veces, no se dispone de registros actualizados de caudales o al no tener éstos la suficiente duración como para hacer los análisis de frecuencia requeridos, se debe recurrir a información de tipo pluviométrico que permita estimar crecidas de cierta frecuencia la cual se hace necesario traducirla a formas expresadas en curvas de intensidades de tal forma que queden en función de la duración y la frecuencia, permitiendo así aportar patrones conductuales de las lluvias, de tal manera que se faciliten diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidráulica por parte de los ingenieros y personal técnico capacitado, convirtiéndose entonces las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) en una herramienta de análisis y planificación en el corto, mediano y largo plazo.

El presente trabajo muestra el resultado de analizar comparativamente tres (3) modelos de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) entre los años 1970 – 2015, realizados por similar cantidad de instituciones en la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia, a partir de reportes de medición pluviográfica de la estación sinóptica Aeropuerto Rafael Núñez, código IDEAM<sup>1</sup> 1401502 ubicada en las coordenadas 10°26'9"N y 75°31'1"W de la costa Caribe Colombiano a una altitud de 2 m.s.n.m.

En dos de los casos las curvas fueron elaboradas con la ayuda del Software HYFRAN PLUS (Hydrological Frequency Analyis PLUS DSS), el cual permite ajustar datos a leyes estadísticas y que incluye dentro de sus herramientas, un conjunto de instrumentos matemáticos poderosos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de una serie de datos.

---

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - <http://www.ideam.gov.co/>

HYFRAN PLUS DSS ha sido desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Científica Agua, Tierra y Medio Ambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Quebec.

**Palabras Clave:** IDF, Precipitación, Pluviograma, Gumbel, Cambio climático, Hyfran Plus.

## I INTRODUCCIÓN

El análisis y estudio de las precipitaciones y su distribución temporal es motivo de gran interés para diversos fines. Meteorología, edafología e hidrología, son áreas en donde repercuten los resultados de las investigaciones, ya que proporcionan índices para realizar estudios de crecidas o la alimentación de modelos precipitación-escorrentía y caudales que permiten mejorar la información disponible para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras de tipo civil. Lo anterior deja planteada la necesidad de conocer las intensidades de las precipitaciones en distintos períodos de retorno.

Sin embargo, a pesar de entender la importancia de la información antes mencionada, se debe reconocer que algunas veces su disponibilidad no se halla con facilidad, debiéndose entonces recurrir a la información pluviométrica correspondiente a una tormenta o lluvia en formas de intensidades, registrada por las estaciones pluviográficas. Esa información almacenada facilita la construcción de modelos que permiten la estimación de crecidas de cierta frecuencia.

Al respecto de lo anterior, es importante mencionar que una de las herramientas o modelos más utilizados en la hidrología que involucra la información pluviométrica, son las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), debido a que por medio de ellas se pueden estimar tormentas de diseño en un lugar o zona determinada. Así mismo, las intensidades máximas en distintos períodos de retorno para los mismos sitios a través del análisis estadístico parametrizado de datos (precipitaciones o caudales) con la consecuente extrapolación de eventos venideros.

El presente informe analiza de forma comparativa, los resultados obtenidos por tres (3) instituciones que modelaron el diseño y construcción de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia durante el período comprendido entre los años 1970 y 2015. En síntesis, el trabajo buscó analizar el comportamiento de las precipitaciones y reflejarlo en las curvas que entregan la intensidad media ( $I$ ) en función de la duración ( $D$ ) y la frecuencia ( $F$ ).

Saber cómo han evolucionado las lluvias en un período, aporta patrones conductuales que puedan ser tenidos en cuenta a la hora de realizar diseños confiables y efectivos en la ingeniería hidráulica.

## II MARCO TEÓRICO

**Régimen Lluvioso:** El régimen de Cartagena de Indias se divide en cuatro períodos conocidos comúnmente. La *época seca mayor* comprendida entre los meses de diciembre a abril y caracterizado por la presencia de vientos Alisios del noreste de mayor intensidad con lluvias muy escasas o nulas. El de *época lluviosa menor* que va desde el mes de mayo hasta junio y caracterizado porque en esta época los vientos Alisios se han debilitado. El período de *época seca menor* (veranillo de San Juan), ocurre entre los meses de julio y agosto y se caracteriza por la irregularidad de las

lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección predominando los vientos Norte – Noreste cuya intensidad aumenta hacia el mes de julio. Finalmente, la *época de lluvia mayor* que va desde el mes de septiembre a noviembre y es un período de mayor proporción de lluvias y menos intensidad de los vientos.

**Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF):** definidas como patrones de conducta pluviométricos de una región específica, resultantes de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

**Intensidad ( $I$ ):** definida según Chow et al (1994), como la tasa temporal de precipitación. Es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hora) y se expresa como  $I=P/Td$ , donde  $P$  corresponde a la profundidad de lluvia en mm o pulg. y  $Td$  es la duración dada usualmente en horas.

**Duración ( $Td$ ):** Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la precipitación considerado como evento.

**Frecuencia ( $F$ ):** Se considera como una medida de la probabilidad de ocurrencia de que un evento, precipitación en éste caso, sea igualado o excedido por lo menos una vez al año, expresada en función del período de retorno.

**Período de retorno ( $Tr$ ):** Es la probabilidad de que un suceso, precipitación en éste caso, ocurra nuevamente en un período de “ $n$ ” años.

**Probabilidad:** Es la posibilidad de que un evento se efectúe o no y se expresa como fracciones o decimales que se encuentran en el rango de cero a uno; donde una probabilidad de cero significa que algo nunca va a suceder y una probabilidad de uno indica que algo va a suceder siempre.

**Pluviograma:** Curvas de dos direcciones elaborados por los pluviógrafos. El eje “ $X$ ” que indica el tiempo, en divisiones por horas y subdivisiones cada 10 minutos. En el eje “ $Y$ ” se encuentra una escala de 0 a 10 que indica la cantidad de precipitación en mm de cada evento.

**Método Gumbel:** La distribución Gumbel se utiliza para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas (entre ellas precipitaciones y caudales máximos) y es uno de los métodos más empleados para estudiar precipitaciones máximas de 24 horas.

**Distribución:** Es el grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable, siendo el Coeficiente de Curtosis el que analiza el grado de concentración que presentan los valores alrededor de la zona central de la distribución. Puede ser mesocúrtico, leptocúrtico y platicúrtico cuando presenta un medio, elevado o reducido grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable respectivamente.

## III ANTECEDENTES

A través de varios años, se han llevado a cabo algunos estudios sobre las características de las lluvias en el área geográfica de la ciudad de Cartagena de Indias en Colombia. Inicialmente la Universidad de Cartagena en el año 1994, la Universidad Tecnológica de Bolívar en el año 2010 y recientemente la Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo –TECNAR en 2016, desarrollaron trabajos que incluyeron datos hasta la fecha de la construcción de las mismas.

**15<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:** “Global Partnerships for Development and Engineering Education”, 19-21 July 2017, Boca Raton, USA.

Las ecuaciones de diseño de dichas curvas de Intensidad duración y frecuencia logradas por los entes anteriormente referidos se muestran a continuación.

**Modelo 1: IDF – Universidad de Cartagena.**

<b>Curvas (IDF) Universidad de Cartagena. 1994</b> $I = \frac{616,97 * (T_r)^{0,18}}{(D + 10)^{0,561}}$
--

**Fuente:** IHSA – Universidad de Cartagena. (Col) ,1994

**Modelo 2: IDF – Universidad Tecnológica de Bolívar**

<b>Curvas (IDF) Universidad Tecnológica de Bolívar. 2010</b> $I = \frac{1255,61 * (T_r)^{0,171}}{(D + 10)^{0,703}}$
--

**Fuente:** Universidad Tecnológica de Bolívar. (Col) ,2010

**Modelo 3: IDF – F.T. Antonio de Arévalo**

<b>Curvas (IDF) F.T.A.A. 2016</b> $I = \frac{1364,25 * T_r^{0,174}}{(D + 10)^{0,714}}$
---

**Fuente:** F.T.A.A. – TECNAR. Cartagena (Col) ,2016

Así las cosas, se buscó con éste estudio, analizar comparativamente el comportamiento de las precipitaciones a través de tres (3) modelos diseñados, debido a que el régimen climático no es igual al reportado hace algunos años según datos del IDEAM.

**IV METODOLOGÍA**

Como fuente de información primaria se trabajó con los modelos generados por las instituciones que trabajaron siempre con los reportes de medición pluviográfica (1979 -2915) de la estación sinóptica Aeropuerto Rafael Núñez (Cartagena), código IDEAM 1401502 ubicada en las coordenadas 10°26'9"N y 75°31'1"W de la costa Caribe Colombiana a una altitud de 2 m.s.n.m

**Grafica 1:** Ubicación Estación Sinóptica - Cartagena



**Fuente:** Google Earth 2017

A continuación se describen las etapas del procesamiento de datos que permitió realizar el análisis comparativo para el periodo en estudio.

**4.1 Procesamiento de la información**

a) Se recopiló la información correspondiente a los valores de las intensidades obtenidas con los modelos de cada una de las instituciones, que según se pudo verificar fueron generadas con el Modelo de Gumbel, escogido ya que mostró los resultados más favorables después de realizada las pruebas de ajuste que involucraron a Gumbel, Weibull, Pearson tipo III y Gev.

b) A continuación se procedió a realizar las gráficas individuales con las respectivas intensidades obtenidas en cada modelo para tiempos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

c) Finalmente se realizó el análisis comparativo por cada curva generada por los modelos institucionales en los periodos de retorno mencionados anteriormente.

**III RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los modelos de las curvas IDF del área geográfica en estudio obtenidos por las instituciones anteriormente referenciadas, corresponden a la distribución de Gumbel la cual se muestra a continuación:

$$I = \frac{K * T_r^m}{(D + b)^n}$$

Dónde:

$I$  = Intensidad mm/hr.

$T_r$  = Periodo de Retorno (Años).

$D$  = Duración de la lluvia (Minutos)

$K, m, n, b$  = Constantes de Ajuste de la Ecuación

Con base en el anterior modelo general, se revisó y verificó que el cálculo de las constantes de los modelos de cada institución, estuviera bien logrado y realizado con el correspondiente análisis de correlación lineal múltiple para las variables involucradas en la formula.

Se obtuvieron los siguientes valores:

**Tabla 1:** Constantes de Modelo Gumbel por Institución.

Constantes	Universidad de Cartagena (U. de C.) (1994)	Universidad tecnológica de Bolívar (UTB) (2010)	F.T. Antonio de Arévalo (TECNAR) (2016)
K	616,97	1255,61	1364,25
m	0,180	0,171	0,174
b	10	10	10
n	0,561	0,703	0,714

**Fuente:** Cálculos de los autores

Los datos de las intensidades obtenidas con cada modelo por institución se muestran a continuación:

**Tabla 2:** Intensidades Obtenidas con Modelo Gumbel U. de C.

$T_r$ (Años)	Intensidades (I)							
	D = Duración (Minutos)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
5	153,53	122,29	104,07	76,03	53,72	43,42	37,22	29,87
10	173,93	138,55	117,89	86,13	60,86	49,19	42,17	33,84
20	197,05	156,96	133,56	97,58	68,95	55,73	47,77	38,34
25	205,12	163,39	139,04	101,58	71,77	58,01	49,73	39,91
50	232,38	185,10	157,51	115,07	81,31	65,72	56,34	45,22
100	263,26	209,70	178,45	130,36	92,12	74,45	63,83	51,23

Fuente: IHSA – Universidad de Cartagena. (Col) ,1994

**Tabla 3:** Intensidades Obtenidas con Modelo Gumbel U.T.B.

$T_r$ (Años)	Intensidades (I)							
	D = Duración (Minutos)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
5	201,12	151,22	123,52	83,33	53,92	41,28	34,04	25,84
10	226,47	170,28	139,09	93,83	60,71	46,49	38,33	29,09
20	255,01	191,73	156,61	105,65	68,36	52,35	43,16	32,76
25	264,94	199,20	162,71	109,77	71,02	54,38	44,84	34,03
50	298,32	224,30	183,21	123,60	79,97	61,24	50,48	38,32
100	335,91	252,56	206,30	139,17	90,05	66,95	56,85	43,15

Fuente: Universidad Tecnológica de Bolívar. (Col) ,2010

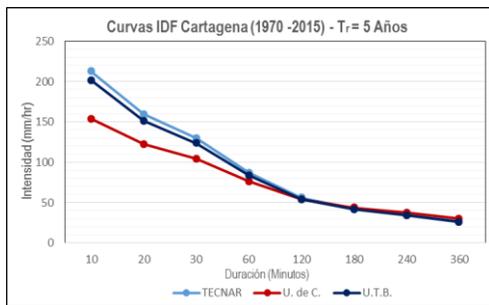
**Tabla 4:** Intensidades Obtenidas con Modelo Gumbel TECNAR.

$T_r$ (Años)	Intensidades (I)							
	D = Duración (Minutos)							
	10	20	30	60	120	180	240	360
5	212,6	159,2	129,6	86,9	55,9	42,6	35,0	26,5
10	239,9	179,6	146,2	98,1	63,0	48,1	39,5	29,9
20	270,6	202,6	165,0	110,6	71,1	54,2	44,6	33,7
25	281,3	210,6	171,5	115,0	73,9	56,4	46,3	35,0
50	317,4	237,6	193,5	129,8	83,4	63,6	52,3	39,5
100	358,1	268,1	218,3	146,4	94,1	71,8	59,0	44,6

Fuente: F.T.A.A. – TECNAR. Cartagena (Col) ,2016

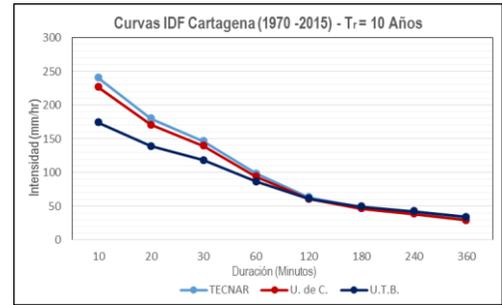
A continuación se muestran las gráficas elaboradas con los tres (3) modelos antes referenciados para cada periodo de retorno ( $T_r$ ) correspondiente a los 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

**Gráfica 1:**



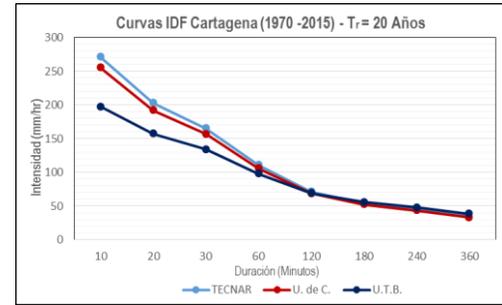
Fuente: Cálculos de los autores.

**Gráfica 2:**



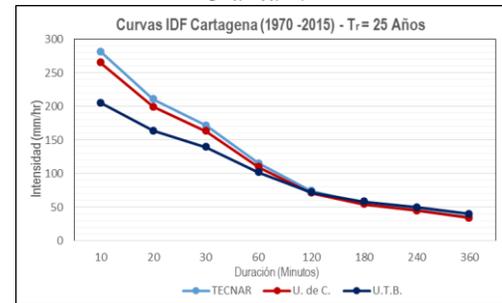
Fuente: Cálculos de los autores.

**Gráfica 3:**



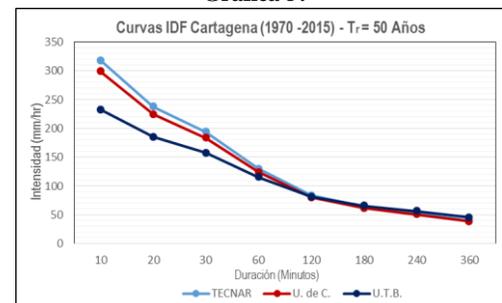
Fuente: Cálculos de los autores.

**Gráfica 4:**



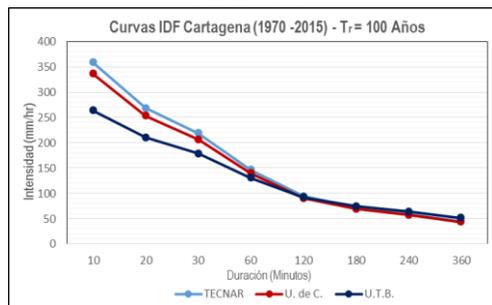
Fuente: Cálculos de los autores.

**Gráfica 5:**



Fuente: Cálculos de los autores.

**Grafica 6:**



Fuente: Cálculos de los autores.

#### IV CONCLUSIONES

A pesar de que la estadística no es reconocida como una ciencia, sus métodos han sido ampliamente revisados y aplicados en diversos lugares a nivel mundial, arrojando buenos resultados. En éste trabajo se utilizaron combinaciones y fórmulas generadas por procesos estadísticos que involucran los registros de precipitación y ajuste de intensidades en la zona de influencia trabajada.

Al respecto de lo anteriormente anotado, se verificó en los modelos intervenidos que el método de distribución de Gumbel fue el que mostró los mejores ajustes, lo cual motiva su recomendación en estudios similares o posteriores.

Se informa que las curvas *IDF* diseñadas por las instituciones referenciadas para Cartagena de Indias durante el periodo comprendido entre los años 1970 – 2015, fueron realizadas con información de la estación sinóptica ubicada en el Aeropuerto Rafael Núñez, a una altitud de 2 m.s.n.m., código IDEAM 1401502 coordenadas 10°26'9"N y 75°31'1"W de la costa Caribe Colombiana, única existente en el área intervenida.

En concreto, para Cartagena de Indias y su entorno es de gran importancia que se hayan revisado las curvas *IDF* que se han venido elaborando, ya que se genera mayor información acerca del comportamiento de las precipitaciones en función de la intensidad media, la duración y la frecuencia, lo cual permite que los patrones de conducta de la precipitaciones, sean usados con mayor seguridad en proyectos para diseños confiables y efectivos tanto en infraestructura vial, como en obras de tipo hidráulico, proyectos de drenaje, estructuras de control de avenidas y otros cuyo nivel de complejidad sea de alto grado ya que permiten pronosticar los periodos de retorno de lluvias y por ende tomar medidas preventivas evitando daños, sobrecostos y prejuicios en proyectos a desarrollar.

En cuanto a los resultados del estudio se concluye que las gráficas comparadas de los tres (3) estudios para los diferentes periodos de retorno ( $T_r$ ) de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, se pudo observar que la intensidad de las precipitaciones irá aumentando progresivamente lo cual se traduce en lluvias más intensas, fuertes y torrenciales en los tiempos de duración comprendidos entre los primeros 10 y 120 minutos. Desde allí en adelante hasta llegar a los 360 minutos, las tres (3) curvas se mantienen en ritmos similares con escasa variación y muestran la disminución de la intensidad de los fenómenos lluviosos.

Como complemento a lo anteriormente expuesto, se nota también que la frecuencia de las lluvias ha venido disminuyendo, lo cual puede ser efecto de los fenómenos cíclicos del niño y la niña o

sino del cambio climático global teoría que se sugiere convalidar y que no son del alcance de éste trabajo.

Respecto al punto anterior es bueno mencionar que debido a la baja capacidad de escorrentía y evacuación de los drenajes existentes en la ciudad, se vienen presentando inundaciones en ciertos sectores neurálgicos lo cual genera la sensación de que las lluvias son cada vez más fuertes y que la intensidad se hace cada vez mayor.

Una conclusión que consideramos de vital importancia se hace en el sentido de que la ciudad actualmente no posee una red de estaciones pluviométricas que permita acopiar datos suficientes en diferentes áreas de la misma, especialmente cuando ésta ha venido crecido rápidamente en su área geográfica especialmente en las zonas suroccidental y suroriental. Se considera vital una rápida zonificación de la ciudad para atender la variabilidad espacial que vienen presentando los eventos de corta duración en cuanto a pluviosidad.

#### V REFERENCIAS

- Chow, Ven Te., Maidment, David y Ways, Larry., “*Manual de Hidrología Aplicada*”. Ed. Mac Graw Hill, Interamericana. Santa Fé de Bogotá, Colombia 1994.
- Gumbel E.J., “*Statistic of Extremes*” Columbia University Press. New York, USA 1988.
- Linsley R.K., “*Hidrología para Ingenieros*”. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana S.A. pág. 380. Segunda Edición. Bogotá, 1997.
- Martínez Guevara, A., “*Elaboration Curved IDF Stations Cínera – Villa Olga and Santa Isabel Municipality of Cúcuta – Colombia*”. Rev. Agua, Aire y Suelo ISSN 1900 – 9178 Vol. 2 n 2. pp. 80 – 94 (2007).
- Puello López S. & Romero V., “*Propuesta Metodológica para la Elaboración de Curvas IDF, utilizando Distribuciones Mixtas de Probabilidad: Caso de estudio, Estación Sinóptica Principal Aeropuerto Rafael Núñez*”. Cartagena, 2010, 134p. Trabajo de Grado (Ingeniería Civil) Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Civil.
- Villareal Marimón, Y., “*Aproximación Metodológica para Determinar Curvas de IDF, Utilizando la Distribución Mixta de Probabilidad Doble Gumbel*”. Cartagena, 2015, 84p. Trabajo de Grado (Maestría en Ingeniería) Universidad Tecnológica de Bolívar. Facultad de Ingeniería Civil.
- Kingumbi, A. & Mailhot, A., “*Courbes Intensité-Durée-Frequence (IDF): Comparaison des Estimateurs des Durées Partielles et des Maximums Annuels*”. Hydrol. Sci. J. 55(2), 162 – 176.
- Van de Vyver, H. & Demarée, G. R. (2010) “*Construction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves for Precipitation at Lubumbashi, Congo, Under the Hypothesis of Inadequate Data*”. Hydrol. Sci. J. 55(4), 555 – 564.
- Lucero, A. (1997). “*Análisis Probabilístico Espacial y Temporal de las Precipitaciones Pluviales Anuales de la VII Región*”. Talca, 1997, 386p. Trabajo de Grado Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Recursos Naturales.
- Pizarro Tapia, R. & Abarza Martínez, A., “*Compared Analysis of Intensity- Duration-Frequency curves for Six Pluviograph stations (Maule Region Chile)*”. Talca, 2001, 45p. Trabajo de Grado Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Recursos Naturales.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Colombia.