EVALUACIÓN DEL DESARROLLO TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES EN 13 ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE HUFF

CRISTIAN ORLANDO SERNA ARBELÁEZ
código: 20171579020

CESAR ARTURO ORTIZ GÓMEZ
código: 20181579002

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE CONSTRUCCIONES CIVILES E INGENIERÍA CIVIL POR CICLOS PROPEDÉUTICOS
BOGOTÁ DC
2020

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES EN 13 ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE HUFF

CRISTIAN ORLANDO SERNA ARBELÁEZ

CESAR ARTURO ORTIZ GÓMEZ

Proyecto de grado en la modalidad de monografía para optar por el título de ingeniero civil

Tutor
Ingeniero Eduardo Zamudio Huertas

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ DC
2020

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Firma del presidente del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA: 3

1.2. JUSTIFICACIÓN: 3

2. INTERROGANTE (HIPÓTESIS): 5

3. OBJETIVOS 6

3.1. OBJETIVO GENERAL: 6

3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS: 6

4. MARCO DE REFERENCIA 7

4.1. MARCO CONCEPTUAL: 7

4.1.1. Tormentas de diseño: 7

4.1.2. Curvas Huff 8

5. METODOLOGÍA 10

6. DESARROLLO METODOLÓGICO 12

6.1. INFORMACIÓN BASE 12

6.2. EVALUACIÓN DEL DESARROLLO TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE HUFF . 13

6.2.1. Construcción de las curvas adimensionales de precipitación 13

6.2.2. Construcción de la curva general para la zona 17

6.2.3. Adopción de la curva adimensional de precipitación para la zona 22

6.3. APLICACIÓN DE LAS CURVAS ADIMENSIONALES DE PRECIPITACIÓN (CAP) EN LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDF 26

6.3.1. Ajuste de las series de lluvias a una distribución de probabilidad 26

6.3.2. Deducción de las precipitaciones máximas en cada Tr y coeficiente de reducción C_p 29

6.3.3. Cálculo de las intensidades y conformación de las curvas IDF 31

6.3.4. Síntesis de la metodología para la elaboración de curvas IDF 35

7. CONCLUSIONES 39

BIBLIOGRAFÍA..... 42

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Parámetros de ajuste por estación. 13
Tabla 2. Porcentajes de duración y lluvia para las probabilidades de 10 % a 90 % en la estación Villa Carmen..... 16
Tabla 3. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 10 %..... 18
Tabla 4. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 50 %..... 19
Tabla 5. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 90 %..... 19
Tabla 6. Índices de correlación y de determinación de las curvas para el departamento contra las curvas de cada estación..... 20
Tabla 7. Curvas adimensionales de precipitación para el departamento de Boyacá..... 21
Tabla 8. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 10%..... 23
Tabla 9. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 50%..... 24
Tabla 10. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 90%..... 25
Tabla 11. Series de lluvias originales, Estación Villa Carmen. 26
Tabla 12. Series de lluvias originales, Estación Villa Carmen 27
Tabla 13. Resultados de la prueba de ajuste (K-S), estación Villa del Carmen 28
Tabla 14. Resultados del test (K-S) para cada estación..... 29
Tabla 15. Precipitaciones máximas acumuladas en cada estación para cada Tr. 29
Tabla 16. Intensidades máximas horarias para cada estación..... 31
Tabla 17. Resultados: calibración de la constante n y error de las intensidades para una probabilidad de ocurrencia 90%, 50% y 10%, discretizados para duraciones de 10 a 60 minutos y 120 a 360 minutos 34
Tabla 18. Construcción de curvas IDF empleando curvas adimensionales de precipitación. 36
Tabla 19. Parámetros para la construcción de curvas IDF en cada grupo de duración..... 41

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Características de una tormenta 8
Gráfico 2. Curvas adimensionales de precipitación para Illinois 9
Gráfico 3. Curvas de masa acumulada para la estación Villa Carmen 14

Gráfico 4. Curvas de masa adimensionales para la estación Villa Carmen 15
Gráfico 5. Curvas adimensionales de precipitación para la estación Villa Carmen 17
Gráfico 6. Curvas adimensionales de precipitación para el departamento..... 22
Gráfico 7. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 10% 23
Gráfico 8. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 50% 24
Gráfico 9. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 90% 25
Gráfico 10. Comparación de Curvas IDF, Grupo de duración 10 a 60 minutos. Estación Villa del Carmen 33
Gráfico 11. Comparación de Curvas IDF, Grupo de duración 120 a 360 minutos. Estación Villa del Carmen 34

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Construcción de curvas IDF empleando curvas adimensionales de precipitación. 38

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MÁXIMOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE INTERÉS

ANEXO B: CURVAS ADIMENSIONALES DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE INTERÉS

INTRODUCCIÓN

Cuando se emplean únicamente modelos de lluvia escorrentía y se aborda de forma tradicional el cálculo de intensidad para determinar parámetros de diseños de estructuras hidráulicas, se deja por fuera el análisis del desarrollo temporal de la tormenta de diseño. En consecuencia, los caudales de diseño usados, si bien son conservadores, resultan excesivos frente a los caudales que se pueden esperar en un escenario real.

A partir del análisis de información histórica de precipitaciones en Illinois, EE. UU., Huff encontró que la distribución temporal de tormentas con diferentes duraciones puede ser descrita a través de familias de curvas adimensionales de precipitación con una dimensión probabilística asociada.

Teniendo en cuenta que el estudio desarrollado por Huff partió del análisis de registros históricos de precipitaciones para una zona con condiciones climatológicas distintas a aquellas en las que se circunscriben las regiones del territorio colombiano, se planteó la posibilidad de evaluar la pertinencia del uso de los resultados del trabajo de Huff para la desagregación de tormentas en un contexto local. En ese sentido, se propuso un proceso analítico que partió de los históricos de precipitación de trece (13) estaciones pluviográficas del departamento de Boyacá, de las cuales se conocen los máximos de precipitación en intervalos de tiempo determinados.

Para la evaluación de la pertinencia del uso de los resultados de los trabajos realizados por Huff en Illinois, se inició realizando curvas adimensionales de precipitación contra tiempo, del mismo tipo que las elaboradas en la investigación de interés, con los registros pluviométricos de trece (13) estaciones de Boyacá, las cuales se compararon entre sí para evaluar su tendencia general y su dispersión, todo con el propósito de construir una familia de curvas adimensionales de precipitación general para el departamento, que se contrastaron con aquellas obtenidas en la investigación original de Huff, publicadas para el primero de los cuartiles (tormentas con duraciones menores a 6 horas) en el manual “Time distribution of rainfall in heavy storms”.

Se esperaba determinar si las curvas generadas por Huff para Illinois, podían ser empleadas para la desagregación de tormentas en el contexto regional en el que se encuentran ubicadas las estaciones, o si, por el contrario, los patrones descritos por las mismas son lejanos al desarrollo temporal de las tormentas en Boyacá.

De forma paralela a lo anterior, se buscó un uso alternativo para las curvas adimensionales de precipitación, más allá de la desagregación temporal de tormentas, para lo cual se aplicaron las curvas de precipitación adimensional definidas para la zona de interés a la construcción de curvas IDF para diez (10) de las estaciones pluviográficas utilizadas en la etapa inicial, lo que condujo a proponer una metodología para la construcción de este tipo de curvas a partir de las curvas adimensionales de precipitación y la precipitación máxima diaria.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

El estudio hidrográfico de zonas determinadas permite, entre otros parámetros, estimar a través de métodos probabilísticos la intensidad de tormentas de diseño con una frecuencia de ocurrencia dada; tal intensidad, en conjunto con modelos de lluvia-escorrentía, permiten determinar los caudales generados por dicho evento atmosférico. Dado que las metodologías comúnmente aceptadas para el cálculo de intensidades se generan con sustento en máximos históricos de alturas pluviométricas, el caudal resultado de su aplicación suele ser un estimado conservador que desconoce el desarrollo temporal de los caudales devenidos de la precipitación, lo que se traduce en obras hidráulicas con dimensiones superiores a las necesarias (obras sobre dimensionadas).

1.2. JUSTIFICACIÓN:

Teniendo en cuenta la existencia de metodologías para evaluar el desarrollo temporal de las tormentas y que su aplicación puede disminuir los caudales de diseño para estructuras hidráulicas, se considera adecuado examinar la idoneidad de la aplicación de una de estas en un contexto local.

Una de las metodologías para la distribución temporal de tormentas con mayor uso son las curvas Huff, éstas se construyeron a partir de información de precipitaciones en Illinois y constituyen familias de curvas probabilísticas en escalas adimensionales de precipitación contra tiempo que se clasifican en cuartiles.

Las curvas Huff suelen aplicarse en contextos geográficos con condiciones climatológicas y topográficas distintas a las del sitio en las que se realizaron, sin antes realizar un proceso de transferencia o evaluación de la pertinencia del uso de los resultados de tal investigación en un emplazamiento geográfico distinto al de Illinois.

Considerando la alta aceptación de la metodología de Huff, y las posibilidades derivadas de su uso, se encuentra que la evaluación de la aplicabilidad de tal metodología a un contexto específico dentro del territorio colombiano, además de necesaria, resulta pertinente, pues puede constituirse como una base para que se usen las curvas originales de Huff para la desagregación de tormentas, o para la

generación de curvas propias que se ajusten al contexto, en el caso de que las curvas Huff no sean adecuadas para las condiciones de la zona de interés.

2. INTERROGANTE:

¿Es aplicable la metodología de distribución temporal de tormentas planteada por Huff para realizar análisis cuantitativos y cualitativos de las precipitaciones en un contexto regional colombiano en el que las distribuciones y duraciones de las tormentas son distintas a la información base empleada para el desarrollo de la metodología?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la aplicabilidad de las curvas adimensionales de precipitación generadas por Huff en el análisis temporal y cuantitativo de lluvias en el departamento de Boyacá, Colombia.

3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS:

- Construir curvas adimensionales de precipitación acumulada contra tiempo para cada una de las estaciones pluviográficas de interés.
- Comparar los resultados obtenidos contra las curvas de la investigación original publicadas para el primero de los cuartiles (tormentas con duraciones menores a 6 horas) del manual “Time distribution of rainfall in heavy storms”[1].
- Implementar una metodología de aplicación de las curvas adimensionales de precipitación en la construcción de curvas IDF.
- Confrontar las curvas IDF construidas con las de referencia.
- Proponer las tablas de uso práctico para cada estación pluviográfica analizada.

[1] HUFF, Floyd. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois: Department of energy and water resources, 1990. p 12.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO CONCEPTUAL:

4.1.1. Tormentas de diseño:

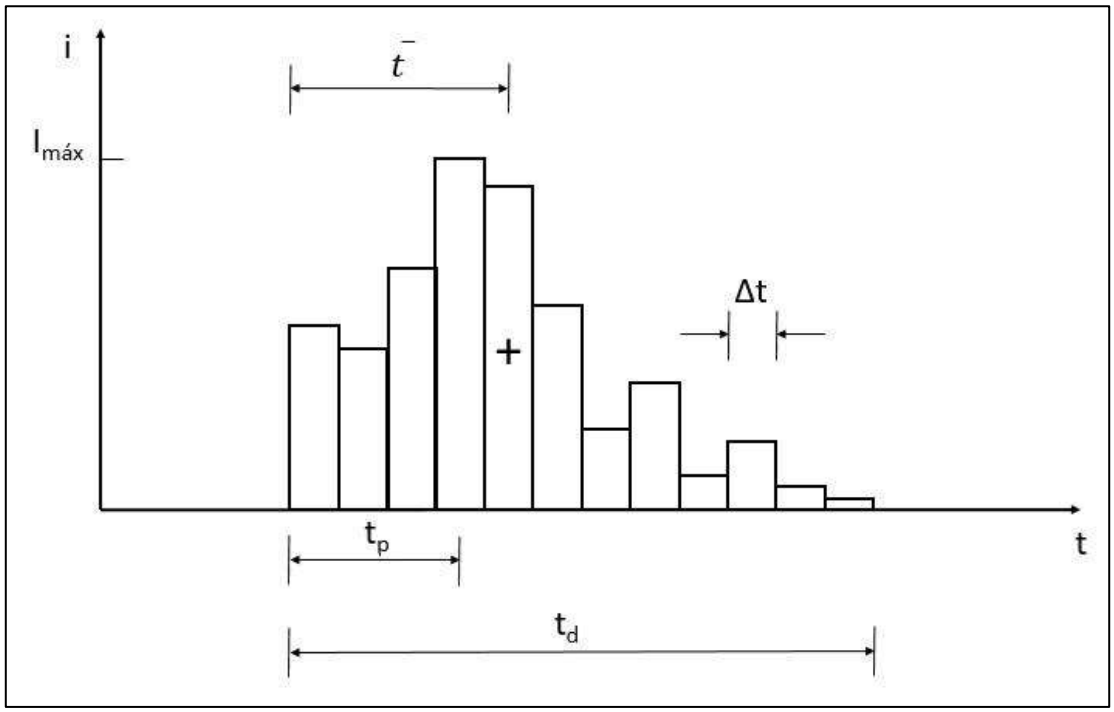
Puede entenderse una tormenta como un grupo de precipitaciones generadas por un mismo fenómeno meteorológico que tienen distribuciones temporales variables, éstas van desde minutos, hasta días[2].

Mientras que, según la literatura especializada, una tormenta de diseño puede definirse como “un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico… éstas pueden basarse en información histórica de precipitación en un sitio”[3].

Según la descripción hecha por Balbastre[4], las características que definen a una tormenta son: la duración (t_d), el intervalo de discretización de esta (Δt), la intensidad de la lluvia (i), la intensidad máxima de la lluvia (i_{max}), y el tiempo en el que se alcanza el pico de intensidad en la tormenta (t_p).

[2] Capítulo 2: Precipitación. Disponible en internet: <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf >. p. 21.
[3] CHOW, Ven Te. Hidrología Aplicada. Trucido por Juan Saldarriaga. Revisión Técnica por Germán Santos: McGraw-Hill, 2000. p. 455.
[4] BALBASTRE, Rosario. Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana. Trabajo de fin de Maestría. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2018. p. 21.

Gráfico 1. Características de una tormenta



Tomado de: BALBASTRE, Rosario. Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana. Trabajo de fin de Maestría. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2018. p. 21.

4.1.2. Curvas Huff

Las curvas adimensionales de precipitación de Huff, son hietogramas acumulados y adimensionales con probabilidades de ocurrencia[5], que van en aumentos de 10, desde 10% hasta 90%.

Para el análisis de la información de precipitaciones, Huff[6] categorizo las tormentas en cuartiles que dependían del cuarto del total de la duración del evento en el que se presentaba el mayor porcentaje de precipitación; conforme a esto, encontró que el periodo entre el inicio y el momento en que se presenta la mayor precipitación no es una función de la intensidad de la tormenta, el número de lluvias que la integran o el área en la que se desarrolló[7].

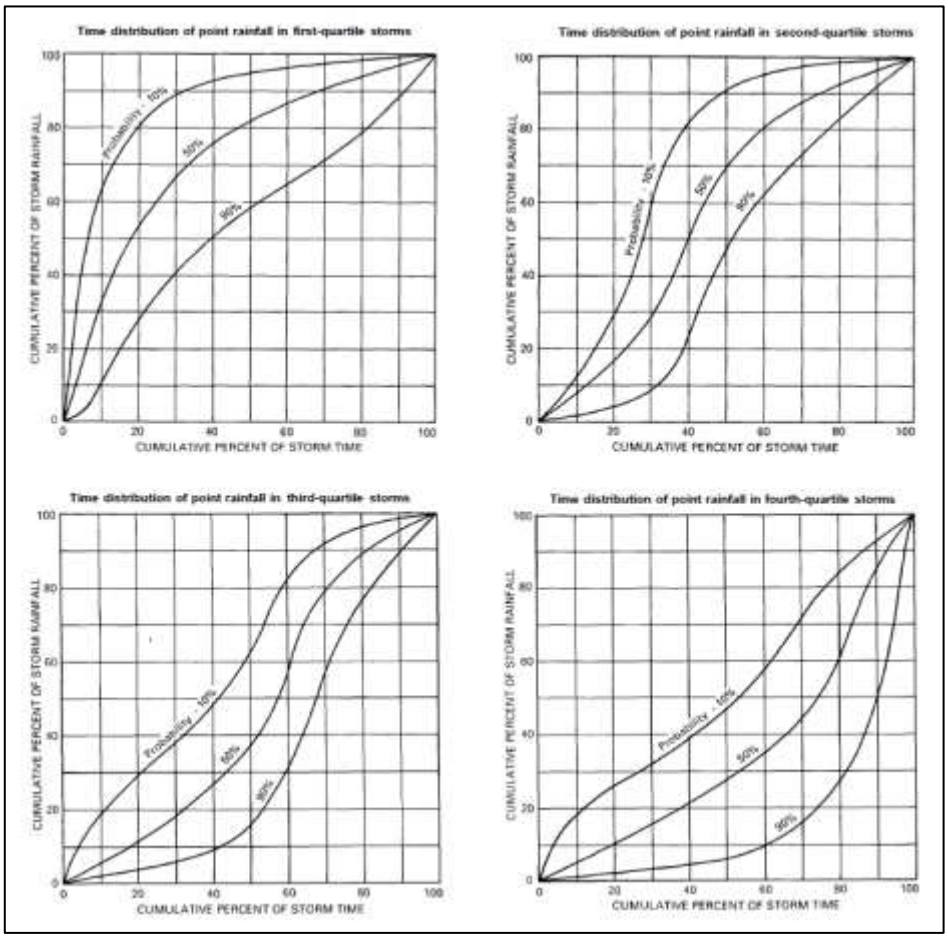
Los cuatro grupos o cuartiles generados por Huff permitieron la construcción de familias de curvas de probabilidad adimensionales; las curvas generadas

[5] AZLI, M, y RAO, Ramachanra, A.Development of Huff Curves for Peninsular Malaysia, Journal of Hydrology, 77–84, 2010.
[6] HUFF, Floyd. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois: Department of energy and water resources, 1990. p 1.
[7] CAMPOS-ARANDA, Daniel Francisco. Construcción de Tormentas Hipotéticas. Ingeniería Hidráulica En México. 1987. p.

para el primer cuartil se pueden asociar con las tendencias que presentan tormentas con 6 horas de duración o menos, las tormentas con duraciones entre 6 y 12 horas, se asocian de mejor forma a las curvas generadas para el segundo cuartil, mientras que, aquellas tormentas cuya duración esta entre 12 y 24 horas se asocian al tercer cuartil, por lo cual las tormentas con una duración superior a 24 horas, se ven representadas de mejor forma con las curvas del último de los cuartiles[8].

En el siguiente gráfico, se exponen con propósitos ilustrativos las curvas Huff para una probabilidad del 10 %, 50 % y 90 % para cada uno de los cuartiles.

Gráfico 2. Curvas adimensionales de precipitación para Illinois



Tomada de: VARAS, Eduardo. Influencia del Hietograma de una Tormenta en la Crecida Resultante. En: Anales de la universidad de Chile, 1985, Serie N°8, Universidad Católica de Chile, p. 657.

[8] HUFF, Floyd. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois: Department of energy and water resources, 1990. p 11.

5. METODOLOGÍA

Para la evaluación de la aplicabilidad de las curvas adimensionales generadas por Huff en el departamento de Boyacá, se generó un proceso con tres etapas: la primera, la etapa de recolección de información, consistió en la recopilación de los históricos de las mediciones de precipitación registrados en estaciones pluviográficas ubicadas a lo largo y ancho del departamento; la segunda, la etapa de elaboración de curvas adimensionales de precipitación para cada estación, inició con el análisis de la información base, permitiendo la construcción de curvas adimensionales de precipitación del mismo tipo que las construidas por Huff para cada estación pluviográfica de la que se tuvieran registros; finalmente, la última etapa consistió en la construcción de una familia de curvas de precipitación adimensionales para todo el departamento a partir de las generadas para cada estación, y su evaluación con respecto a las curvas generadas por Huff.

Para la segunda etapa se siguió lo expuesto por Bonta[9], quien documentó el procedimiento general para la construcción de curvas adimensionales de precipitación; según la naturaleza de la información disponible, pueden construirse curvas a partir de información de una fuente puntual o a partir de la precipitación promedio en un área. Para los propósitos del presente estudio, y por la procedencia de la información base, se adoptó la metodología para la construcción de curvas a partir de la información de una fuente puntual.

La construcción de la familia de curvas adimensionales de precipitación para el departamento se fundamentó en las curvas adimensionales construidas para cada estación y las conclusiones de Kao y Rao[10] quienes a través del análisis de registros históricos de precipitaciones en Indiana, EUA, concluyeron que es posible construir una curva de precipitación adimensional general para una zona a partir del promedio de curvas adimensionales de precipitación construidas para varias fuentes puntuales, siempre y cuando, estas últimas, no presentaran discrepancias significativas entre sí.

Posteriormente, con el objetivo de vincular el desarrollo temporal de las precipitaciones a un uso alternativo más allá de la desagregación de tormentas de diseño, se aplican las curvas de precipitación adimensional definidas para el

[9] BONTA, James. Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts, *Appl. Eng. Agric.*, vol. 20, no. 5, pp. 641–653, 2004.

[10] RAO, Ramanchandra, y KAO Shih-Chieh, Statiscal Analyis of Indiana Rainfall Data, Purdue University, Indianapolis, 2015. p. 153.

departamento de Boyacá a la construcción de curvas IDF para diez (10) de las estaciones pluviográficas utilizadas anteriormente, empleando la segunda metodología planteada por Silva[11] para tal propósito.

Para tal fin, se emplearon los registros históricos de precipitación máxima disponibles en cada estación para consolidar series acumuladas de lluvia máxima, posteriormente, estas fueron evaluadas frente al comportamiento de tres distribuciones de probabilidad utilizando el estadístico de Kolmogórov–Smirnov (K-S) con un valor de significancia (α) del 5%. Una vez seleccionada la distribución de probabilidad, se determinan las precipitaciones máximas acumuladas para seis horas en los periodos de retorno (T_r) 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años y se aprovechan las curvas de precipitación adimensional para extraer el porcentaje de lluvia de una hora con respecto a la duración total del evento y de esa forma convertir las precipitaciones máximas diarias definidas para cada T_r en intensidades máximas horarias. Finalmente, por medio de la ecuación racional definida por Sherman[12] para representar de forma analítica la tendencia de las curvas IDF se integraron las intensidades máximas horarias definidas en el paso anterior, para realizar la construcción de las curvas IDF definiendo la intensidad para duraciones cada 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240 y 360 minutos en cada estación.

Las diez (10) estaciones analizadas cuentan con curvas IDF de referencia realizadas en estudios anteriores a partir de un análisis detallado de las intensidades en cada duración, en ese sentido, para dar un mayor respaldo a los resultados de las curvas IDF construidas, el factor de escala de la ecuación de Sherman[13] para cada estación se ajustó de tal forma que se generara la menor diferencia con las curvas IDF de comparación y de ese modo generar una tabla de uso práctico para cada estación.

[11] G. A. Silva, Hidrología Básica, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1998.
[12] C. Sherman, «Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Mass,» Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 95(1), pp. 951-960, 1931.
[13] C. Sherman, «Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Mass,» Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 95(1), pp. 951-960, 1931

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

6.1. INFORMACIÓN BASE

Los registros usados en la construcción de las curvas adimensionales de precipitación para el departamento de Boyacá, corresponden a 264 tormentas elaboradas con las precipitaciones máximas en 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240 y 360 minutos de las estaciones pluviográficas Villa Carmen, San Pedro de Iguaque, La Copa, Chita, Guayatá, Almeida, Apto A. Lleras, Belencito, Vivero, Tunguavita, Güican, El Cardón y Sena; a excepción de las estaciones El Cardón, Sena y Guayatá, se usaron los mismos registros para la el análisis cuantitativo de las precipitaciones, estas tres fueron excluidas de este proceso ya que no fue posible obtener las curvas IDF de referencia necesarias para el análisis.

La información base mencionada anteriormente, fue sistematizada por miembros del semillero de investigación UDENS de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en el marco del desarrollo de diversos proyectos que tenían como propósito la construcción de ecuaciones IDF para las estaciones pluviográficas de interés a partir de mediciones de precipitaciones reales registradas en el periodo comprendido entre 1967 y 2012.

En cada estación pluviográfica analizada, las curvas IDF obtenidas fueron representadas de forma analítica por medio de la ecuación (1) propuesta por Aparicio[14].

$$i = \frac{k * Tr^m}{(t+b)^n} \quad (1)$$

Donde:

- i es la intensidad (mm/hr)
- T_r el periodo de retorno (años)
- t es la duración de la tormenta (minutos)
- k, b, m y n son parámetros de ajuste estimados para cada estación (Tabla 1)

[14] Aparicio, Fundamentos de hidrología de superficie, México, DF: Editorial Limusa, 1989.

Tabla 1. Parámetros de ajuste por estación.

ESTACIÓN	*k*	*m*	*b*	*n*
E. Chita	193,44	0,19	9,30	0,62
E. La Copa	973,40	0,19	19,00	0,96
E. Almeida	88,54	0,55	13,59	0,62
E. S. P. de Iguaque	488,12	0,13	8,65	0,79
E. Tunguavita	1768,60	0,23	19,34	1,00
E. Villa del Carmen	4063,30	0,30	39,30	1,16
E. Güican	1311,90	0,25	24,16	1,00
E. Belencito	394,33	0,27	8,00	0,81
E. Vivero	216,52	0,30	8,00	0,61
E. Apto Lleras	2670,30	0,28	29,78	1,14

Elaboración propia

Las series de lluvias que soportan este estudio se presentan con detalle como parte del anexo A.

6.2. EVALUACIÓN DEL DESARROLLO TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE HUFF

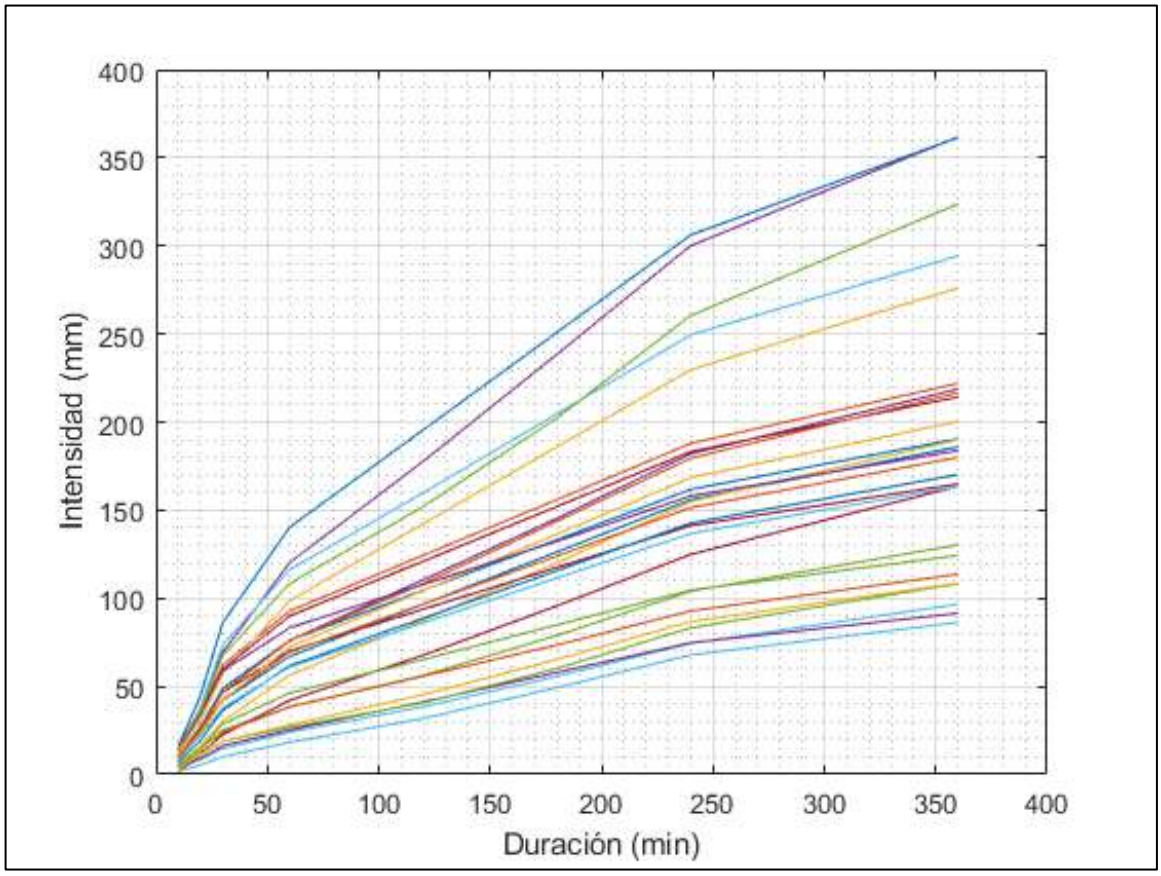
6.2.1. Construcción de las curvas adimensionales de precipitación

Recolectada y catalogada la información de los máximos históricos de precipitación para las estaciones de interés, se procedió a construir familias de curvas adimensionales de precipitación para cada una de las éstas; a continuación, a manera de ejemplo, se detalla el procedimiento empleado en el cálculo de la familia de curvas para la estación Villa Carmen, el mismo procedimiento se empleó para la construcción de las curvas en las estaciones restantes.

Como primer paso para la construcción de la familia de curvas adimensionales de precipitación para la estación Villa Carmen, se generaron tablas a partir de la información disponible con la precipitación acumulada para cada periodo de 360

minutos, generando de esta forma curvas de masa acumulada de los máximos anuales. En el Gráfico 3, se presentan las curvas de masa acumulada anuales para la estación Villa Carmen en el periodo comprendido entre 1975 y 2001.

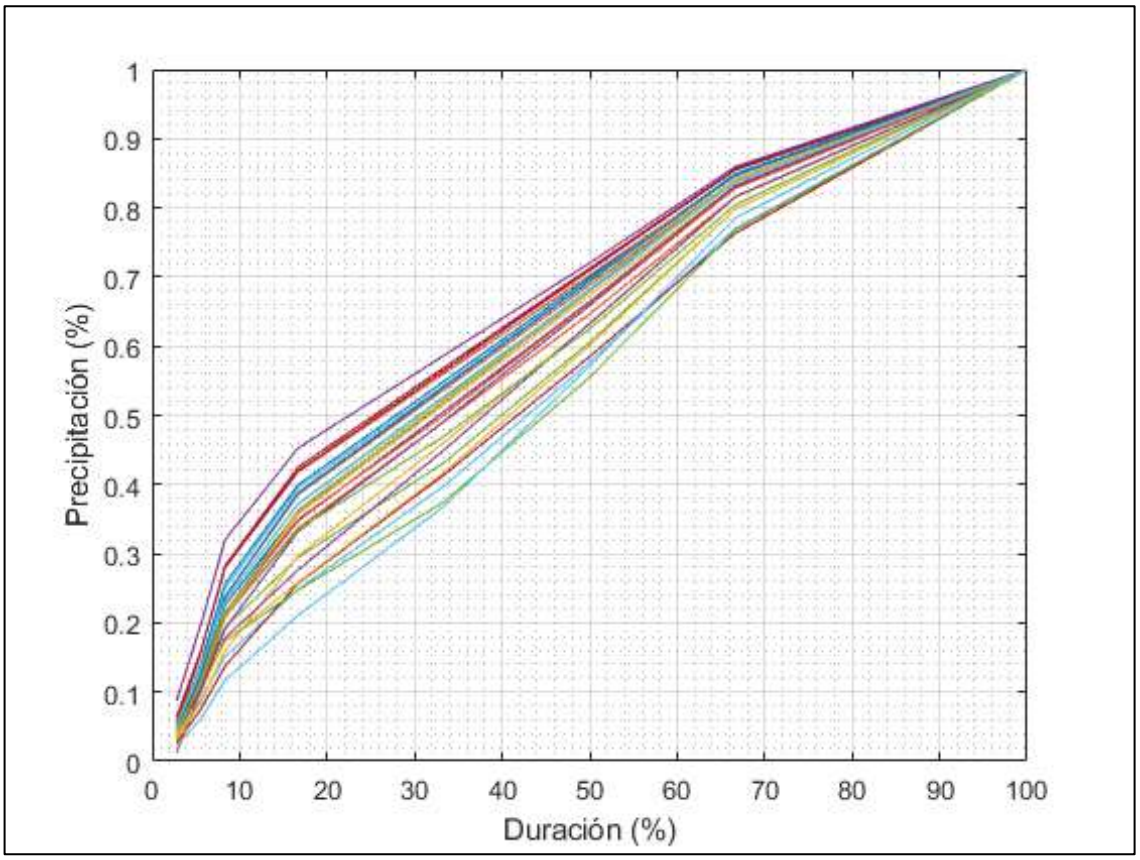
Gráfico 3. Curvas de masa acumulada para la estación Villa Carmen



Elaboración propia

Dado que las curvas de precipitación desarrolladas por Huff son adimensionales, se procedió a generar entradas porcentuales a partir de cada dato de las series con las que se contaban, para lo cual se dividió la duración de cada intervalo de la serie entre la duración total de la misma, y cada precipitación entre la precipitación máxima para esa serie de datos. De acuerdo a esto, se generaron tablas con parámetros adimensionales (entradas porcentuales de precipitación contra porcentaje de la duración total de la tormenta) para cada una de las estaciones de interés, que se constituyen como curvas de masa adimensionales, para la estación Villa Carmen, éstas se presentan a continuación.

Gráfico 4. Curvas de masa adimensionales para la estación Villa Carmen



Elaboración propia

Como punto adicional para la construcción de las curvas adimensionales de precipitación para cada estación, debió tenerse en cuenta, que las familias de curvas adimensionales desarrolladas por Huff[15], poseen una dimensión adicional asociada a la probabilidad de ocurrencia, de acuerdo a esto, según lo establecido por Bonta[16], se organizaron las entradas adimensionales de precipitación generadas para cada estación, y a través de la ecuación (2), se determinó el porcentaje de precipitación asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia para distintos instantes porcentuales de la duración total de la lluvia.

[15] HUFF, Floyd. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois: Department of energy and water resources, 1990. p 1.

[16] BONTA, James. Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts, *Appl. Eng. Agric.*, vol. 20, no. 5, pp. 641–653, 2004. p. 644.

$$p = \frac{100*i}{n+1} \qquad (2)$$

Donde:

P es la probabilidad de ocurrencia basada en la posición
I es el número de la entrada en la serie organizada
n es el número total de puntos en la serie

De acuerdo con lo anterior, en la siguiente tabla se consignan los porcentajes de lluvia para distintas duraciones porcentuales de una precipitación asociados a una probabilidad de ocurrencia para la estación Villa Carmen.

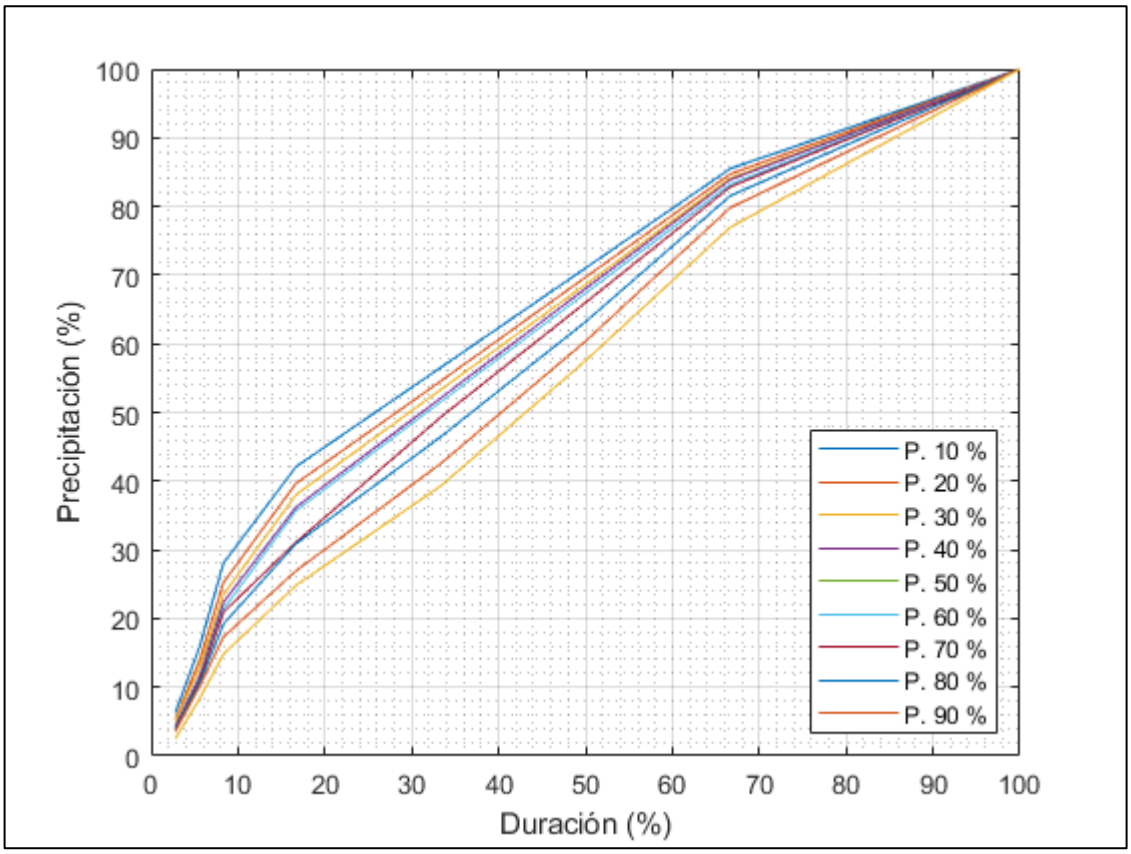
Tabla 2. Porcentajes de duración y lluvia para las probabilidades de 10 % a 90 % en la estación Villa Carmen

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
2.78%	6%	5%	5%	4%	4%	4%	4%	4%	3%
5.56%	15.8%	13.9%	12.8%	11.6%	11.4%	11.1%	10.6%	10.1%	8.3%
8.33%	28.1%	25.3%	23.5%	22.4%	21.4%	20.9%	19.2%	17.3%	14.8%
16.67%	42.1%	39.7%	38.0%	36.2%	35.7%	31.1%	30.9%	26.9%	24.8%
33.33%	56.5%	54.6%	53.3%	52.1%	51.5%	49.3%	46.5%	42.6%	39.3%
50.00%	71.0%	69.7%	68.7%	68.0%	67.4%	66.0%	63.2%	60.4%	57.6%
66.67%	85.5%	84.7%	84.1%	83.9%	83.2%	82.9%	81.6%	79.8%	77.0%
100.00%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Elaboración propia

Las curvas adimensionales de precipitación son la representación gráfica de los porcentajes de lluvia contra tiempo asociados a una probabilidad de ocurrencia expuestos en la anterior tabla. De acuerdo con lo anterior, las curvas adimensionales de precipitación para la estación Villa Carmen se exponen en el Gráfico 5.

Gráfico 5. Curvas adimensionales de precipitación para la estación Villa Carmen



Elaboración propia

Tal y como se mencionó en el apartado introductorio, para la construcción de las curvas adimensionales de precipitación para las doce (12) estaciones pluviográficas restantes, se siguió un proceso análogo al descrito anteriormente. Las curvas para cada una de estas estaciones se incluyen dentro del presente documento como parte del anexo B.

6.2.2. Construcción de la curva general para la zona

Para la construcción de una familia de curvas adimensionales de precipitación para el departamento, se inició contrastando los patrones descritos por las curvas de cada una de las trece (13) estaciones, calculando las correlaciones entre estas, con el propósito de evaluar las discrepancias entre lo descrito por cada una, para adoptar o descartar el criterio resultante de las conclusiones de Kao y Rao[17] para la construcción de curvas para una zona promediando curvas adimensionales de

[17] RAO, Ramanchandra, y KAO Shih-Chieh, Statiscal Analyis of Indiana Rainfall Data, Purdue University, Indianapolis, 2015. p. 153.

precipitación construidas para sitios puntuales. De acuerdo a lo anterior, de la Tabla 3 a la Tabla 5, se presentan las correlaciones entre las curvas construidas para unas probabilidades de 10 %, 50% y 90 %, para cada una de las estaciones de interés; se emplean en la comparación solo éstas curvas, pues tal y como lo menciona Huff[18], la curva para el 50 % de probabilidad es la más representativa, mientras que las curvas para los valores extremos representan los fenómenos atípicos de mayor interés.

Tabla 3. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 10 %

	Villa del Carmen	San Pedro de Iguaque	La Copa	Chita	Guayatá	Almeida	Belencito	Vivero	Tunguavita	Güicán	Cardón	Sena	Apto A. Lleras
Villa del Carmen	1.000	0.999	1.000	0.997	0.995	0.931	0.995	0.995	0.999	1.000	0.996	0.999	0.985
San Pedro de Iguaque	0.999	1.000	0.998	0.997	0.991	0.940	0.996	0.995	0.999	0.999	0.992	0.999	0.989
La Copa	1.000	0.998	1.000	0.996	0.996	0.927	0.994	0.994	0.998	0.998	0.997	0.997	0.981
Chita	0.997	0.997	0.996	1.000	0.992	0.936	0.999	1.000	0.996	0.996	0.990	0.996	0.990
Guayatá	0.995	0.991	0.996	0.992	1.000	0.893	0.988	0.990	0.989	0.992	0.999	0.988	0.966
Almeida	0.931	0.940	0.927	0.936	0.893	1.000	0.946	0.936	0.946	0.936	0.894	0.945	0.967
Belencito	0.995	0.996	0.994	0.999	0.988	0.946	1.000	0.999	0.995	0.994	0.985	0.995	0.992
Vivero	0.995	0.995	0.994	1.000	0.990	0.936	0.999	1.000	0.993	0.993	0.987	0.993	0.988
Tunguavita	0.999	0.999	0.998	0.996	0.989	0.946	0.995	0.993	1.000	1.000	0.990	1.000	0.990
Güicán	1.000	0.999	0.998	0.996	0.992	0.936	0.994	0.993	1.000	1.000	0.993	0.999	0.987
Cardón	0.996	0.992	0.997	0.990	0.999	0.894	0.985	0.987	0.990	0.993	1.000	0.990	0.965
Sena	0.999	0.999	0.997	0.996	0.988	0.945	0.995	0.993	1.000	0.999	0.990	1.000	0.991
Apto A. Lleras	0.985	0.989	0.981	0.990	0.966	0.967	0.992	0.988	0.990	0.987	0.965	0.991	1.000

Elaboración propia

[18] HUFF, Floyd. Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Illinois: Department of energy and water resources, 1990. p 1.

Tabla 4. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 50 %

	Villa del Carmen	San Pedro de Iguaque	La Copa	Chita	Guayatá	Almeida	Belencito	Vivero	Tunguavita	Güicán	Cardón	Sena	Apto A. Lleras
Villa del Carmen	1.000	0.999	1.000	0.998	0.985	0.932	0.995	0.995	0.999	1.000	0.992	1.000	0.990
San Pedro de Iguaque	0.999	1.000	1.000	0.997	0.990	0.921	0.992	0.996	0.998	1.000	0.995	0.999	0.986
La Copa	1.000	1.000	1.000	0.997	0.987	0.930	0.994	0.995	0.999	1.000	0.993	1.000	0.988
Chita	0.998	0.997	0.997	1.000	0.980	0.934	0.998	0.999	0.997	0.997	0.987	0.997	0.991
Guayatá	0.985	0.990	0.987	0.980	1.000	0.863	0.968	0.986	0.979	0.988	0.999	0.984	0.955
Almeida	0.932	0.921	0.930	0.934	0.863	1.000	0.950	0.917	0.944	0.927	0.882	0.937	0.948
Belencito	0.995	0.992	0.994	0.998	0.968	0.950	1.000	0.995	0.996	0.993	0.977	0.994	0.994
Vivero	0.995	0.996	0.995	0.999	0.986	0.917	0.995	1.000	0.993	0.996	0.990	0.994	0.985
Tunguavita	0.999	0.998	0.999	0.997	0.979	0.944	0.996	0.993	1.000	0.999	0.987	1.000	0.992
Güicán	1.000	1.000	1.000	0.997	0.988	0.927	0.993	0.996	0.999	1.000	0.994	1.000	0.987
Cardón	0.992	0.995	0.993	0.987	0.999	0.882	0.977	0.990	0.987	0.994	1.000	0.991	0.967
Sena	1.000	0.999	1.000	0.997	0.984	0.937	0.994	0.994	1.000	1.000	0.991	1.000	0.989
Apto A. Lleras	0.990	0.986	0.988	0.991	0.955	0.948	0.994	0.985	0.992	0.987	0.967	0.989	1.000

Elaboración propia

Tabla 5. Matriz de correlación para las curvas adimensionales de precipitación de cada estación con una probabilidad del 90 %

	Villa Carmen	San Pedro de Iguaque	La Copa	Chita	Guayatá	Almeida	Belencito	Vivero	Tunguavita	Güicán	Cardón	Sena	Apto A. Lleras
Villa del Carmen	1.000	1.000	1.000	0.997	0.988	0.912	0.994	0.995	0.999	1.000	0.997	0.999	0.991
San Pedro de Iguaque	1.000	1.000	1.000	0.997	0.988	0.913	0.994	0.995	0.999	1.000	0.997	0.999	0.990
La Copa	1.000	1.000	1.000	0.996	0.990	0.905	0.991	0.992	0.998	1.000	0.998	0.998	0.988
Chita	0.997	0.997	0.996	1.000	0.982	0.912	0.997	0.999	0.997	0.997	0.994	0.996	0.995
Guayatá	0.988	0.988	0.990	0.982	1.000	0.843	0.968	0.976	0.982	0.988	0.995	0.980	0.963
Almeida	0.912	0.913	0.905	0.912	0.843	1.000	0.940	0.924	0.926	0.913	0.879	0.930	0.929

	Villa Carmen	San Pedro de Iguaque	La Copa	Chita	Guayatá	Almeida	Belencito	Vivero	Tunguavita	Güicán	Cardón	Sena	Apto A. Lleras
Belencito	0.994	0.994	0.991	0.997	0.968	0.940	1.000	0.999	0.996	0.993	0.985	0.996	0.996
Vivero	0.995	0.995	0.992	0.999	0.976	0.924	0.999	1.000	0.996	0.995	0.989	0.995	0.994
Tunguavita	0.999	0.999	0.998	0.997	0.982	0.926	0.996	0.996	1.000	0.999	0.994	1.000	0.992
Güicán	1.000	1.000	1.000	0.997	0.988	0.913	0.993	0.995	0.999	1.000	0.997	0.999	0.990
Cardón	0.997	0.997	0.998	0.994	0.995	0.879	0.985	0.989	0.994	0.997	1.000	0.993	0.984
Sena	0.999	0.999	0.998	0.996	0.980	0.930	0.996	0.995	1.000	0.999	0.993	1.000	0.992
Apto A. Lleras	0.991	0.990	0.988	0.995	0.963	0.929	0.996	0.994	0.992	0.990	0.984	0.992	1.000

Elaboración propia

Debido a las altas correlaciones calculadas en la comparación entre las curvas de las estaciones, se generó una familia de curvas adimensionales de precipitación para el departamento de Boyacá a partir del promedio de las trece (13) familias de curvas construidas; como una medida adicional de evaluación, con el cálculo de las correlaciones y el coeficiente de determinación (R^2), se evaluó la dispersión de las curvas de las estaciones contra las curvas promedio para la zona; en la Tabla 6, se exponen los valores calculados para los coeficientes mencionados de las curvas de precipitación adimensionales con probabilidades de ocurrencia de 90%, 50% y 10% de cada una de las estaciones, contra las curvas promedio con las mismas probabilidades generadas para el departamento.

Tabla 6. Índices de correlación y de determinación de las curvas para el departamento contra las curvas de cada estación

Estación	Parámetro	P 90	P 50	P 10
Villa del Carmen	**R^2**	0.9988	0.9995	0.9981
	Correlación	0.9994	0.9997	0.9991
San Pedro de Iguaque	**R^2**	0.9989	0.9981	0.9993
	Correlación	0.9994	0.9990	0.9997
La Copa	**R^2**	0.9969	0.9992	0.9961
	Correlación	0.9984	0.9996	0.9981
Chita	**R^2**	0.9970	0.9975	0.9971
	Correlación	0.9985	0.9987	0.9986
Guayatá	**R^2**	0.9665	0.9676	0.9820
	Correlación	0.9831	0.9837	0.9909
Almeida	**R^2**	0.8502	0.8746	0.8901
	Correlación	0.9220	0.9352	0.9434

Estación	Parámetro	P 90	P 50	P 10
Belencito	**R^2**	0.9938	0.9929	0.9962
	Correlación	0.9969	0.9964	0.9981
Vivero	**R^2**	0.9945	0.9934	0.9940
	Correlación	0.9973	0.9967	0.9970
Tunguavita	**R^2**	0.9993	0.9988	0.9984
	Correlación	0.9996	0.9994	0.9992
Güican	**R^2**	0.9987	0.9989	0.9977
	Correlación	0.9993	0.9995	0.9989
El Cardón	**R^2**	0.9897	0.9812	0.9821
	Correlación	0.9948	0.9905	0.9910
Sena	**R^2**	0.9988	0.9992	0.9982
	Correlación	0.9994	0.9996	0.9991
Apto A. Lleras	**R^2**	0.9871	0.9813	0.9817
	Correlación	0.9936	0.9906	0.9908

Elaboración propia

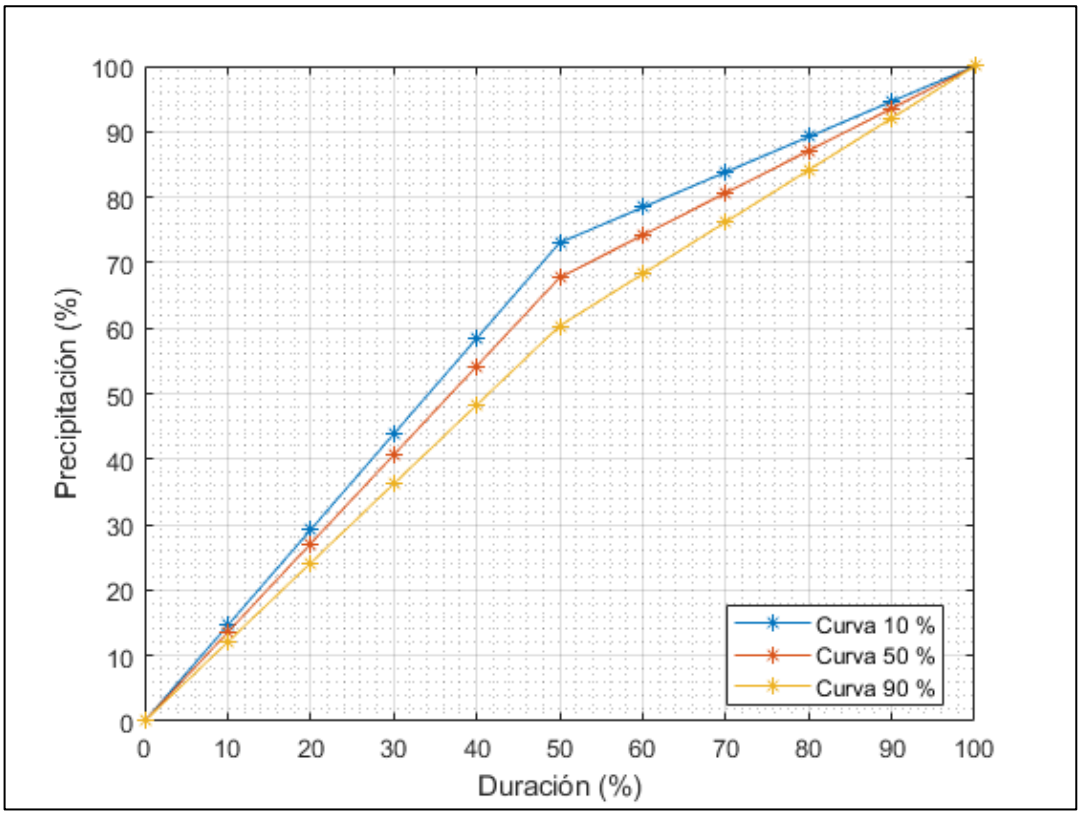
Como consecuencia de los altos valores para los índices de determinación y correlación existentes entre las curvas promedio y las curvas individuales, se adoptan estas primeras como curvas adimensionales de precipitación para el departamento de Boyacá, en la Tabla 7 se exponen en términos porcentuales la precipitación acumulada contra tiempo para las curvas adoptadas, en el Gráfico 6 se presenta una presentación gráfica de lo expuesto en la tabla.

Tabla 7. Curvas adimensionales de precipitación para el departamento de Boyacá

Tiempo	Curva 10 %	Curva 50 %	Curva 90 %
0%	0%	0%	0%
10%	15%	14%	12%
20%	29%	27%	24%
30%	44%	41%	36%
40%	58%	54%	48%
50%	73%	68%	60%
60%	78%	74%	68%
70%	84%	81%	76%
80%	89%	87%	84%
90%	95%	94%	92%
100%	100%	100%	100%

Elaboración propia

Gráfico 6. Curvas adimensionales de precipitación para el departamento



Elaboración propia

6.2.3. Adopción de la curva adimensional de precipitación para la zona

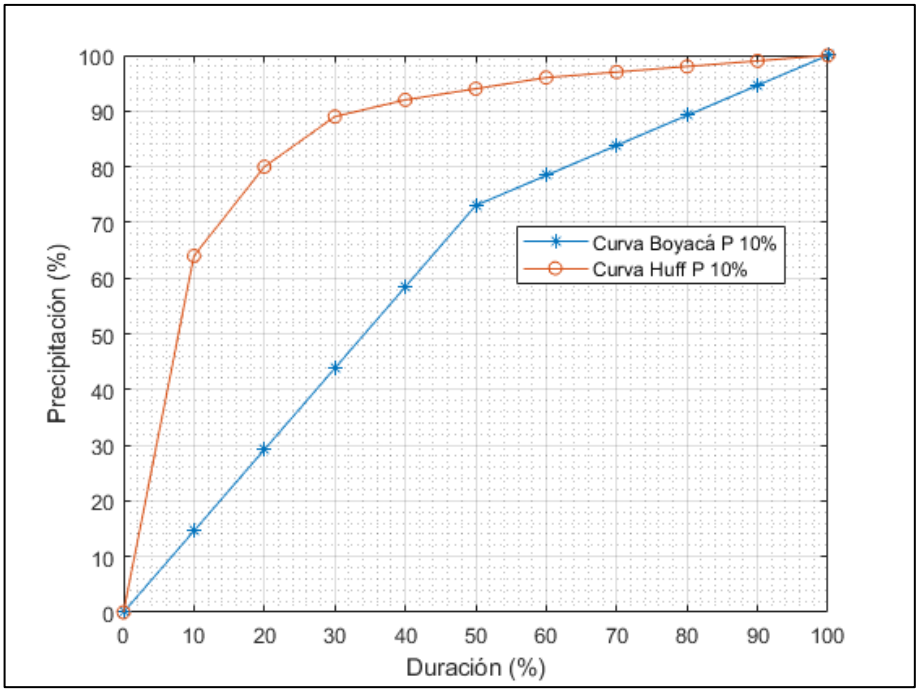
Definida la familia de curvas adimensionales de precipitación para distintas probabilidades en Boyacá, se compararon éstas contra las curvas generadas por Huff para Illinois. En la Tabla 8 a la Tabla 10, se muestra un análisis comparativo entre las curvas adimensionales de precipitación para las probabilidades del 10 %, 50 % y 90 %, construidas para Boyacá y las curvas generadas por Huff para Illinois con las mismas probabilidades, en la primera columna de cada tabla se presenta la duración total de la tormenta en términos porcentuales, en la segunda y tercera se presenta el porcentaje de precipitación para cada porcentaje de duración para las curvas de Boyacá e Illinois de forma correspondiente, mientras que en la última columna se presenta la diferencia porcentual entre las precipitaciones de cada curva; la misma comparación se expone en el Gráfico 7 al Gráfico 9.

Tabla 8. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 10%

Duración (%)	Curva para Boyacá - probabilidad 10% (%)	Curva de Huff para Illinois-probabilidad 10% (%)	Error (%)
0%	0	0	0
10%	15%	64%	49%
20%	29%	80%	51%
30%	44%	89%	45%
40%	58%	92%	34%
50%	73%	94%	21%
60%	78%	96%	18%
70%	84%	97%	13%
80%	89%	98%	9%
90%	95%	99%	4%
100%	100%	100%	0%

Elaboración propia

Gráfico 7. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 10%



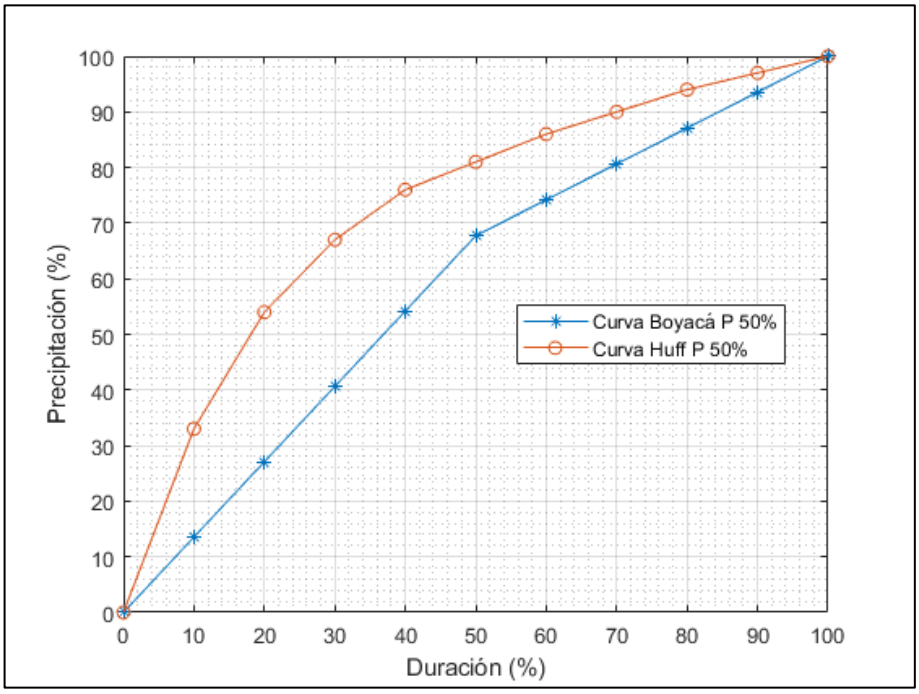
Elaboración propia

Tabla 9. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 50%

Duración (%)	Curva para Boyacá - probabilidad 50% (%)	Curva de Huff para Illinois-probabilidad 50% (%)	Error (%)
0%	0%	0%	0
10%	14%	33%	19%
20%	27%	54%	27%
30%	41%	67%	26%
40%	54%	76%	22%
50%	68%	81%	13%
60%	74%	86%	12%
70%	81%	90%	9%
80%	87%	94%	7%
90%	94%	97%	3%
100%	100%	100%	0%

Elaboración propia

Gráfico 8. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 50%



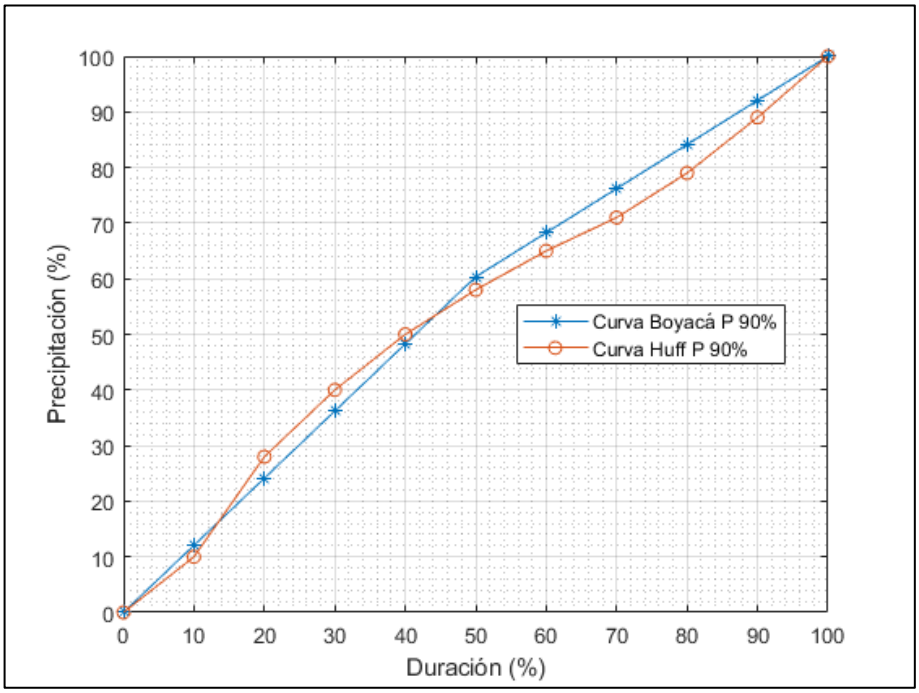
Elaboración propia

Tabla 10. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 90%

Duración (%)	Curva para Boyacá - probabilidad 90% (%)	Curva de Huff para Illinois-probabilidad 90% (%)	Error (%)
0%	0%	0%	0
10%	12%	10%	2%
20%	24%	28%	4%
30%	36%	40%	4%
40%	48%	50%	2%
50%	60%	58%	2%
60%	68%	65%	3%
70%	76%	71%	5%
80%	84%	79%	5%
90%	92%	89%	3%
100%	100%	100%	0%

Elaboración propia

Gráfico 9. Evaluación de las curvas adimensionales de precipitación para una probabilidad del 90%



Elaboración propia

6.3. APLICACIÓN DE LAS CURVAS ADIMENSIONALES DE PRECIPITACIÓN (CAP) EN LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDF

6.3.1. Ajuste de las series de lluvias a una distribución de probabilidad

Tal y como se mencionó en apartados anteriores, las estaciones objeto de estudio para la conformación de curvas IDF utilizando registros de precipitación máxima de seis horas e integrando las curvas de precipitación adimensional derivadas en el subcapítulo anterior son: Villa del Carmen, San Pedro de Iguaque, La Copa, Chita, Almeida, Apto A. Lleras, Belencito, Vivero, Tunguavita, Güican.

Para cada una de ellas, la información base de las tormentas está conformada por las precipitaciones máximas cada 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240 y 360 minutos, por lo cual se procedió a organizar de forma descendiente las lluvias máximas en las diferentes duraciones y se sumaron las de posición igual para lograr una serie acumulada de precipitaciones máximas en cada estación. A continuación, se muestra el procedimiento realizado para la estación pluviográfica Villa Carmen.

Tabla 11. Series de lluvias originales, Estación Villa Carmen.

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1975	9,7	17,1	22,1	27,2	28,5	28,6	28,6	28,7
1976	14,2	21,2	26,8	30,6	31,6	31,6	31,9	34,1
1977	10,6	19,8	26,8	41,4	43,7	43,7	43,7	46,4
1978	9	15,9	22,02	29,1	34,5	34,8	36,7	36,7
1979	5,8	8,8	10,6	13,2	17,8	22,7	25,1	26,3
1980	3,5	5,1	6	9,4	14,4	17,3	18,7	22,2
1981	4,3	8	10,2	19,6	25,6	28	29,2	38,7
1982	9,5	14,1	18,4	25	29,6	29,7	29,7	29,9
1983	1,3	10,2	12,5	14,3	17,5	17,7	19,3	20,9
1984	6	10,1	14,2	26,1	31,2	32,4	34,9	35,1
1985	3,45	5,75	7,1	9	15,85	16,75	16,8	16,8
1986	5,6	6,3	6,9	8	13,8	19,5	23,1	25,1
1987	1,9	3,4	4,8	8,1	13,6	17,5	18,5	18,5
1988	9	16,9	20,7	23,5	23,7	23,7	23,7	23,7
1989	7	12,3	17,1	25,3	27	27	27	27,5
1990	10,5	14,3	17,9	26,7	27,3	27,3	27,4	28,6
1991	3,8	7,4	7,6	9,3	17,2	20	21,4	21,9
1992	14,2	23,3	31,8	50,9	57,6	60,7	61,6	61,7
1993	5	9,4	14,4	17,4	19,1	19,6	19,7	19,7

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1994	13	25	35,5	42,7	43,7	44,8	44,8	44,8
1995	13,4	20,5	26	30,1	31	31,1	31,1	31,1
1996	15,9	28,7	41,5	54,2	55,3	55,3	55,3	55,3
1997	8,7	16,4	21,6	29,1	32,6	35,3	35,8	37,2
1998	7,8	15,3	19	30,3	32	32	32	32
1999	16	20,2	22,7	24,3	24,6	24,6	25,6	25,8
2000	14,1	21,9	31,7	40,6	43,8	50,3	58,1	63,3
2001	8,3	13,8	15,8	23	25,3	25,3	25,3	26,7

Tomada de: MUÑOZ, Carol. Construcción de curvas IDF (Intensidad - Duración - Frecuencia) de dos estaciones pluviográficas en los Municipios Chíquiza y Samacá, Departamento de Boyacá Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

La tabla anterior contiene la información base de precipitación máxima para cada intervalo de duración, para consolidar las series de lluvias máximas se procedió a ordenar de forma descendiente la precipitación máxima de cada intervalo y posteriormente se sumó horizontalmente para obtener la serie acumulada de lluvias máximas que se empleó en este análisis. Lo anterior se expone en la siguiente tabla.

Tabla 12. Series de lluvias originales, Estación Villa Carmen

Posición	Duración [minutos]							
	10	20	30	60	120	180	240	360
27	16,00	28,70	41,50	54,20	57,60	60,70	61,60	63,30
26	15,90	25,00	35,50	50,90	55,30	55,30	58,10	61,70
25	14,20	23,30	31,80	42,70	43,80	50,30	55,30	55,30
24	14,20	21,90	31,70	41,40	43,70	44,80	44,80	46,40
23	14,10	21,20	26,80	40,60	43,70	43,70	43,70	44,80
22	13,40	20,50	26,80	30,60	34,50	35,30	36,70	38,70
21	13,00	20,20	26,00	30,30	32,60	34,80	35,80	37,20
20	10,60	19,80	22,70	30,10	32,00	32,40	34,90	36,70
19	10,50	17,10	22,10	29,10	31,60	32,00	32,00	35,10
18	9,70	16,90	22,02	29,10	31,20	31,60	31,90	34,10
17	9,50	16,40	21,60	27,20	31,00	31,10	31,10	32,00
16	9,00	15,90	20,70	26,70	29,60	29,70	29,70	31,10
15	9,00	15,30	19,00	26,10	28,50	28,60	29,20	29,90
14	8,70	14,30	18,40	25,30	27,30	28,00	28,60	28,70
13	8,30	14,10	17,90	25,00	27,00	27,30	27,40	28,60
12	7,80	13,80	17,10	24,30	25,60	27,00	27,00	27,50
11	7,00	12,30	15,80	23,50	25,30	25,30	25,60	26,70
10	6,00	10,20	14,40	23,00	24,60	24,60	25,30	26,30
9	5,80	10,10	14,20	19,60	23,70	23,70	25,10	25,80
8	5,60	9,40	12,50	17,40	19,10	22,70	23,70	25,10
7	5,00	8,80	10,60	14,30	17,80	20,00	23,10	23,70
6	4,30	8,00	10,20	13,20	17,50	19,60	21,40	22,20
5	3,80	7,40	7,60	9,40	17,20	19,50	19,70	21,90
4	3,50	6,30	7,10	9,30	15,85	17,70	19,30	20,90

Posición	Duración [minutos]							
	10	20	30	60	120	180	240	360
3	3,45	5,75	6,90	9,00	14,40	17,50	18,70	19,70
2	1,90	5,10	6,00	8,10	13,80	17,30	18,50	18,50
1	1,30	3,40	4,80	8,00	13,60	16,75	16,80	16,80

Elaboración propia

Las series de precipitaciones máximas diarias para las demás estaciones se relacionan en el Anexo A de este documento.

Para estimar los eventos máximos de la serie acumulada en los periodos de retorno (T_r) 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, primero se valoró el comportamiento de las series consolidadas a las frente a las distribuciones de probabilidad Normal, Log-normal y Gumbel en cada estación. Adicionalmente, como criterio de selección del mejor ajuste, se utilizó la prueba no paramétrica Kolmogórov–Smirnov (K-S) con una significancia (α) del 5%; los resultados para la estación villa del Carmen se muestran a continuación:

Tabla 13. Resultados de la prueba de ajuste (K-S), estación Villa del Carmen

	D. P. Gumbel	D. P. Normal	D. P. Log. Normal
K-S (D_α)	0,262	0,262	0,262
K-S (D)	0,054	0,082	0,063

Dα: valor estadístico de referencia, D: K-S calculado.

Elaboración propia

Al igual que en el ajuste realizado para la estación Villa Carmen presentado en la tabla anterior, el comportamiento de las series de precipitación derivadas a cada estación analizada se adapta a la función de distribución de probabilidad de Gumbel y su selección como función de distribución de probabilidad para las series estudiadas, está respaldada en la aprobación significativa del estadístico de K-S presentada para cada estación en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de la prueba (K-S) para cada estación.

ESTACIÓN	K-S (D)	K-S (D_α)
Villa del Carmen	0,054	0,262
Tunguavita	0,045	0,304
Güican	0,054	0,304
Vivero	0,042	0,363
Almeida	0,043	0,257
La Copa	0,08	0,351
S.P. de Iguaque	0,084	0,34
Belencito	0,069	0,253
Chita	0,029	0,257
Apto. Lleras	0,033	0,304

Dα: valor estadístico de referencia, D: K-S calculado.

Elaboración propia

6.3.2. Deducción de las precipitaciones máximas en cada Tr y aplicación del coeficiente de reducción C_p

Una vez definida la función de distribución de probabilidad que mejor representa el comportamiento de las series de lluvias analizadas, se calcularon las precipitaciones máximas acumuladas, para los mismos periodos de retorno en los que se realizaron las curvas IDF de comparación en cada estación. Éstas se exhiben en la siguiente tabla:

Tabla 15. Precipitaciones máximas acumuladas en cada estación para cada Tr.

ESTACIÓN	Tr 3	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Villa Carmen	217,45	261,11	315,96	385,27	436,69	487,73
Tunguavita	212,71	253,83	305,51	370,8	419,23	467,31
Güican	148,48	181,79	223,64	276,52	315,75	354,69
Vivero	163,15	191,04	226,08	270,35	303,2	335,8
Almeida	155,87	181,89	214,59	255,91	286,56	316,99
La Copa	149,91	177,02	211,08	254,11	286,04	317,73
S.P .de Iguaque	159,75	159,75	210,82	246,75	273,4	299,86
Belencito	147,44	172,23	203,39	242,75	271,95	300,94
Chita	126,11	147,07	173,42	206,71	231,41	255,92
Apto. Lleras	119,52	138,16	161,58	191,17	213,12	234,91

Elaboración propia

Como parte de la metodología de la elaboración de las curvas IDF, se debió convertir la serie acumulada de precipitaciones máximas presentadas anteriormente, a una serie de lluvias máximas horarias por medio de un coeficiente de reducción denominado (C_p), el cual representa la cantidad de precipitación en una hora con respecto a la que cae en la duración total de la tormenta, para este estudio corresponde a 6 horas.

La selección del coeficiente C_p depende del contexto climatológico y del comportamiento de las lluvias en cada zona, su valor oscila desde 0.1 hasta 0.5 y teniendo a 1.0 para regiones donde predominan lluvias de corta duración[19].

Las CAP elaboradas en la etapa inicial de este estudio representan el desarrollo temporal acumulado de las tormentas con duración de 360 minutos en el departamento de Boyacá. De acuerdo con lo anterior y con la información alojada en el Gráfico 6 , el valor de Cp se puede extraer como el porcentaje de lluvia que ha ocurrido en una hora, es decir, en el 16.7% de la duración total de la tormenta. El valor de C_p para las probabilidades de ocurrencia de 90%, 50% y 10% son 0.20, 0.22 y 0.24 respectivamente.

Las precipitaciones máximas horarias obtenidas por medio del coeficiente Cp, de acuerdo con la ecuación (3), son numéricamente iguales a las intensidades máximas para una hora.

$$i_{1\ hora} = \frac{P_{1\ hora}}{t_{1\ hora}} \quad (3)$$

Para construir las curvas IDF, se usó la intensidad máxima horaria (i) para cada (T_r) y se tomó la duración t como 60 minutos para obtener el valor de C_r, por medio de la ecuación (4) planteada por Sherman[20].

$$C_r = i * (t + b)^n \quad (4)$$

Donde:

i : intensidad máxima horaria en mm/h,
C_r : coeficiente característico de cada (T_r) proporcional al valor de la intensidad[21].
t: duración de la tormenta en minutos.

Adicionalmente, Seong[22], corroboró que el factor de escala conformado por las constantes b, n y t representa el comportamiento de parámetros estadísticos de la serie de datos, tales como la mediana, dispersión y la asimetría.

[19] G. A. Silva, Hidrología Básica, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1998.
[20] C. Sherman, «Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Mass,» Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 95(1), pp. 951-960, 1931.

[22] k. Seong, «Deriving a practical form of IDF formula using Trasnformed rainfall intensities,» Hydroligical Processes, vol. 28, nº 6, pp. 2881-2896, 2014, DOI: 10.1002/hyp.9806.

Con respecto a la constante b, Bell[23] define que su magnitud suele tomar valores entre 5 y 20 minutos, así mismo, recomienda que su selección se realice con base a ecuaciones IDF realizadas para condiciones climatológicas similares a la zona de estudio. Considerando lo anterior, para la selección del valor de la constante b, se partió del análisis de dispersión realizado en la deducción de la familia general de curvas de precipitación adimensionales para el departamento, el cual se fundamentó en las conclusiones de Kao y Rao[24], quienes afirmaron que el comportamiento del desarrollo de las tormentas de cada estación puede ser representado por su promedio. En virtud de lo anterior, se asignó a la constante b un valor de 17.91 minutos, que corresponde al promedio de sus semejantes para las ecuaciones IDF de comparación alojadas en la Tabla 1.

Asimismo, Bell aduce que el valor de la constante n suele estar entre 0.5 y 0.6 para aguaceros con duración inferior a tres horas. No obstante, en este estudio, para calcular el valor de C_r, la constante n fue calibrada para cada estación, buscando establecer la menor diferencia entre las intensidades de las curvas IDF generadas y las de comparación.

6.3.3. Cálculo de las intensidades y conformación de las curvas IDF

En síntesis, utilizando el coeficiente de reducción (C_p) definido para cada probabilidad de ocurrencia, se dedujeron las intensidades máximas horarias (i) por medio de la ecuación (3), los resultados se alojan en la Tabla 16. Posteriormente, haciendo uso de la ecuación (4), las intensidades se integraron una duración inicial (t) de 60 minutos junto con la constante b y un valor n de 0.5, de acuerdo con lo recomendado por Bell; tal y como se muestra a continuación:

$$C_{r_i} = i_i * (60 + 17.91)^{0.5}$$

Tabla 16. Intensidades máximas horarias para cada estación

ESTACIÓN	PROBABILIDAD	T r años [min]					
		3	5	10	25	50	100
		INTENSIDAD EN [mm/hr]					
Villa del Carmen	90	43,49	52,22	63,19	77,05	87,34	97,55
	50	49,29	59,18	71,62	87,33	98,98	110,55
	10	52,91	63,54	76,88	93,75	106,26	118,68
Tunguavita	90	42,54	50,77	61,10	74,16	83,85	93,46

[23] F. Bell, Generalized rainfall-duration-frecuenci relationships., ASCE Journal of Hydraulicas Division 95(HY1), 1969.
[24] A.R. Rao and S.-C. Kao , "STATISCAL ANALYIS OF INDIANA RAINFALL DATA", Indianapolis, 2015.

ESTACIÓN	PROBABILIDAD	T r años [min]					
		3	5	10	25	50	100
		INTENSIDAD EN [mm/hr]					
	50	48,21	57,53	69,25	84,05	95,03	105,92
	10	51,76	61,77	74,34	90,23	102,01	113,71
Güican	90	29,70	36,36	44,73	55,30	63,15	70,94
	50	33,66	41,21	50,69	62,68	71,57	80,40
	10	36,13	44,24	54,42	67,29	76,83	86,31
Vivero	90	32,63	38,21	45,22	54,07	60,64	67,16
	50	36,98	43,30	51,24	61,28	68,72	76,11
	10	39,70	46,49	55,01	65,79	73,78	81,71
Almeida	90	31,17	36,38	42,92	51,18	57,31	63,40
	50	35,33	41,23	48,64	58,01	64,95	71,85
	10	37,93	44,26	52,22	62,27	69,73	77,13
La Copa	90	29,98	35,40	42,22	50,82	57,21	63,55
	50	33,98	40,12	47,84	57,60	64,84	72,02
	10	36,48	43,07	51,36	61,83	69,60	77,31
S.P. de Iguaque	90	31,95	36,48	42,16	49,35	54,68	59,97
	50	36,21	41,34	47,79	55,93	61,97	67,97
	10	38,87	44,38	51,30	60,04	66,53	72,97
Belencito	90	29,49	34,45	40,68	48,55	54,39	60,19
	50	33,42	39,04	46,10	55,02	61,64	68,21
	10	35,88	41,91	49,49	59,07	66,18	73,23
Chita	90	25,22	29,41	34,68	41,34	46,281	51,184
	50	28,58	33,34	39,31	46,85	52,452	58,008
	10	30,69	35,79	42,2	50,3	56,309	62,274
Apto. Lleras	90	23,9	27,63	32,32	38,23	42,625	46,983
	50	27,09	31,32	36,62	43,33	48,308	53,247
	10	29,08	33,62	39,32	46,52	51,86	57,163

Elaboración propia

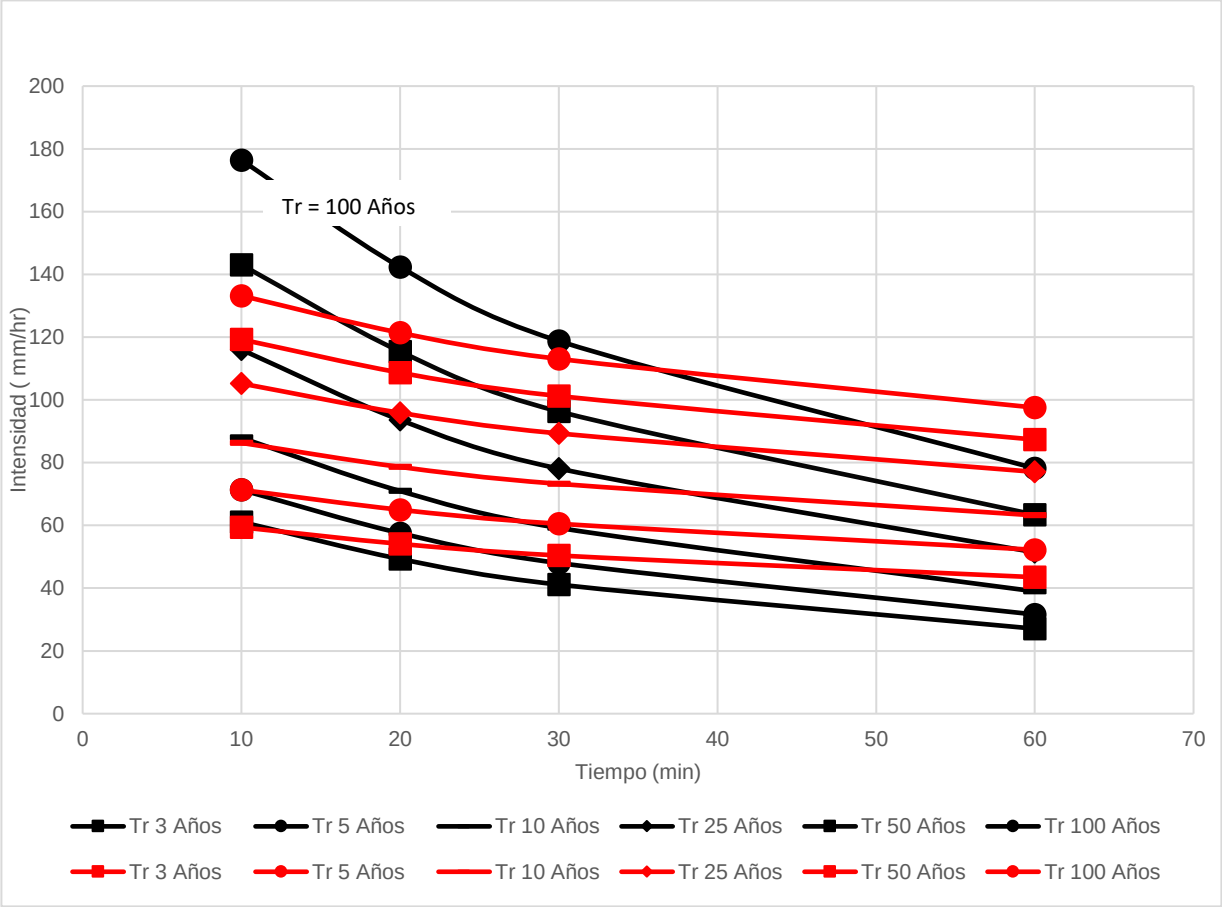
Una vez calculado el valor de C_r, se dejó explicita la ecuación (4) en función de la intensidad y se obtuvieron las respectivas en cada T_r para las duraciones (t) de 10, 20, 30, 120, 240 y 360 minutos, posteriormente se calibró el valor de n hasta establecer el menor error de las intensidades con respecto a las curvas IDF de

comparación, para lo cual fue apropiado dividir la duración en dos grupos: duraciones desde 10 hasta 60 minutos y de 120 a 360 minutos.

Dando continuidad a los resultados para la estación Villa Carmen, se presentan las curvas IDF para cada conjunto de duración definido, aplicando un coeficiente C_p del 90%.

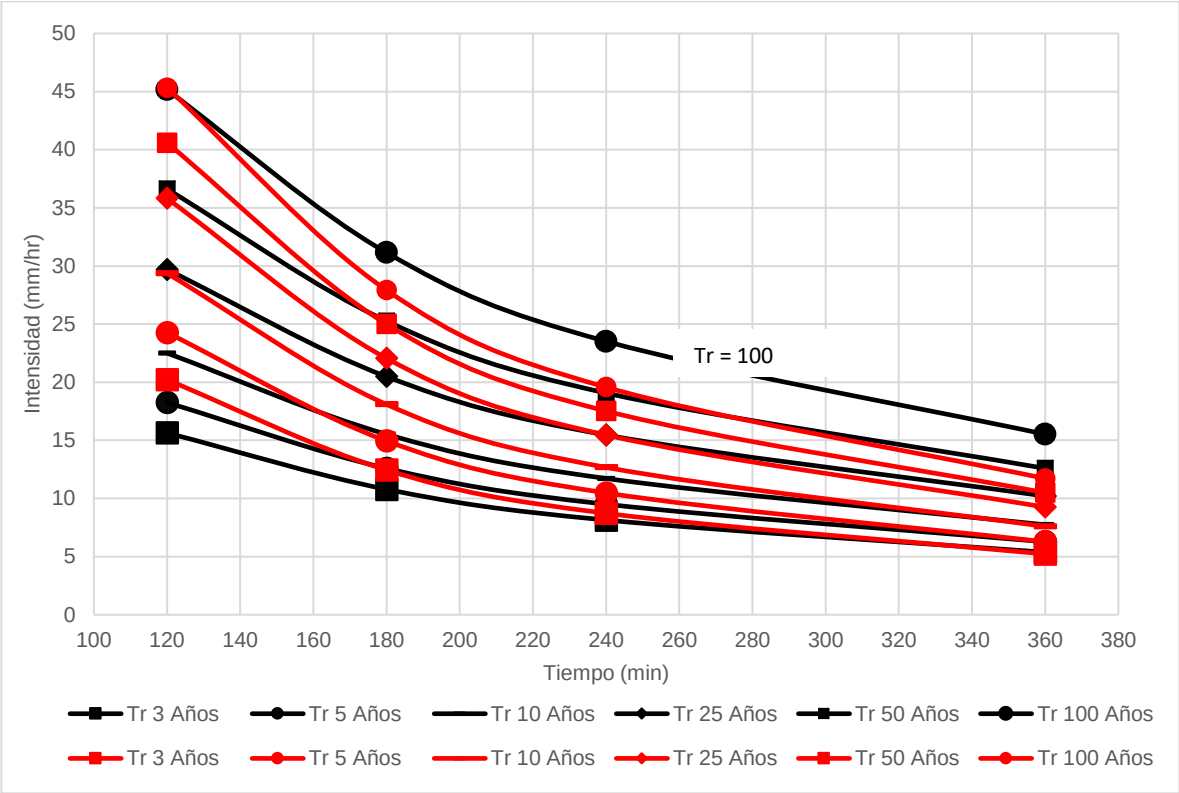
En el Gráfico 10 y el **Error! Reference source not found.** se presenta la comparación para la estación Villa Carmen, en rojo se muestran las curvas construidas a partir de datos de acumulados precipitación máxima y en negro las curvas IDF de referencia.

Gráfico 10.Comparación de Curvas IDF, Grupo de duración 10 a 60 minutos. Estación Villa del Carmen



Elaboración propia

Comparación de Curvas IDF, Grupo de duración 120 a 360 minutos. Estación Villa del Carmen



Elaboración propia

En siguiente tabla se consigan los resultados de calibración de la constante n y el error porcentual de las intensidades de cada duración con respecto al valor en las curvas IDF de referencia. Por ende, en cada estación analizada se presentan tres filas, cada una contiene los resultados al aplicar el coeficiente C_p para una probabilidad de ocurrencia del 90%, 50% y 10%, respectivamente, mientras que en las columnas se muestran los resultados para los grupos de duración definidos, reportando el valor de la constante n calibrada junto con el error promedio de las intensidades en cada duración.

Tabla 17. Resultados: calibración de la constante n y error de las intensidades para una probabilidad de ocurrencia 90%, 50% y 10%, discretizados para duraciones de 10 a 60 minutos y 120 a 360 minutos

ESTACIÓN	n	DURACIÓN [min]				n	DURACIÓN [min]			
		10	20	30	60		120	180	240	360
		ERROR [%]					ERROR [%]			
	0,3	9	9	16	50	1,34	21	12	8	9

ESTACIÓN	n	DURACIÓN [min]				n	DURACIÓN [min]			
		10	20	30	60		120	180	240	360
		ERROR [%]					ERROR [%]			
Villa del Carmen	0,18	9	11	22	70	1,47	28	12	8	15
	0	19	9	20	83	1,54	31	12	8	19
Tunguavita	0,43	12	5	18	54	1,38	23	7	4	16
	0,21	20	3	20	75	1,48	32	10	4	19
	0,11	22	3	23	88	1,54	37	12	4	21
Güican	0,36	9	6	19	55	1,35	22	6	4	17
	0,12	20	4	19	75	1,46	31	9	4	20
	0,02	22	4	22	88	1,52	36	11	4	22
Vivero	0,45	11	11	15	26	0,87	16	12	11	11
	0,33	11	13	19	43	0,95	23	14	11	11
	0,26	11	14	23	53	1	27	16	11	11
Almeida	0,19	1	5	24	64	1,13	28	5	3	13
	0	8	4	28	86	1,25	36	7	3	18
	0	1	12	37	100	1,31	41	9	3	20
La Copa	0,13	21	3	21	80	1,47	34	11	3	20
	0	22	5	29	105	1,58	43	14	3	23
	0	16	11	39	120	1,64	49	16	3	25
S.P. de Iguaque	0,17	25	5	21	75	1,35	33	11	5	22
	0	29	5	27	99	1,46	41	13	5	26
	0	23	9	36	113	1,52	47	14	5	28
Belencito	0,38	21	8	18	58	1,29	27	11	8	19
	0,2	25	8	23	79	1,18	33	12	8	25
	0,1	28	8	26	93	1,49	38	12	8	28
Chita	0,11	20	3	17	58	1,07	26	9	3	18
	0	19	5	26	79	1,42	35	12	3	21
	0	13	13	35	93	1,24	40	14	3	23
Apto. Lleras	0,76	12	10	9	10	1,16	9	9	10	12
	0,68	9	9	10	18	1,18	12	10	9	9
	0,59	10	9	11	25	1,27	13	10	9	10

Elaboración propia

6.3.4. Síntesis de la metodología para la elaboración de curvas IDF

De acuerdo con lo descrito en los subcapítulos anteriores, en la siguiente tabla se resume el procedimiento propuesto para la conformación de curvas IDF a partir de

series de lluvia máxima diaria en una zona, empleando la familia de curvas adimensionales de precipitación propuestas para el departamento de Boyacá; el procedimiento se describe a través de procesos y decisiones secuenciadas, con el propósito de establecer una metodología sistemática por pasos.

Tabla 18. Construcción de curvas IDF empleando curvas adimensionales de precipitación.

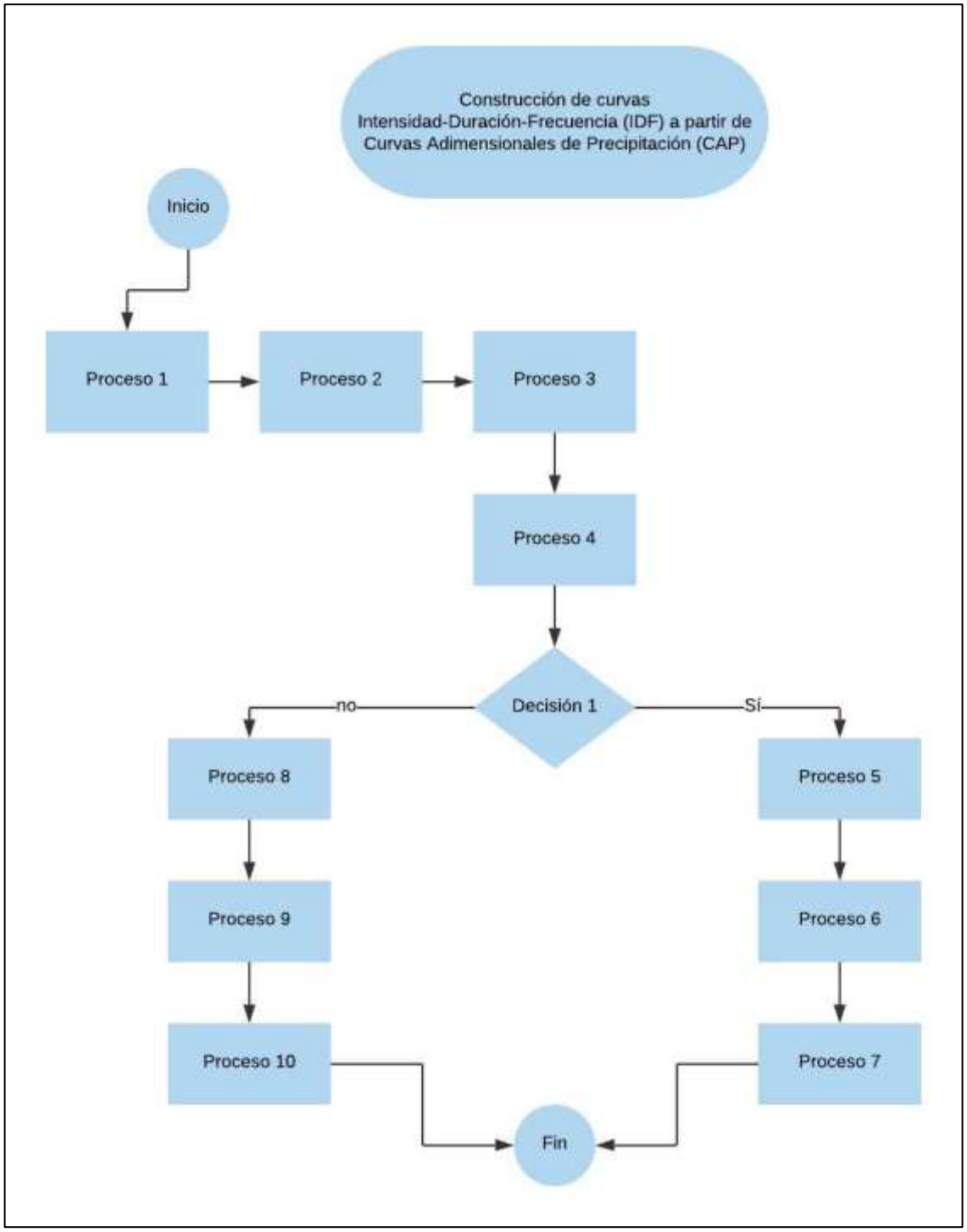
Actividad	Descripción
Proceso 1	Construir una Serie anual de precipitaciones máximas con duraciones de 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, luego organizar de mayor a menor el valor de la precipitación en cada duración y sumar los de igual posición; su resultado es la Serie acumulada de precipitación máxima. Posteriormente, la serie obtenida se ajusta a una distribución de probabilidad, se recomienda usar la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel.
Proceso 2	Usando la distribución de probabilidad, calcular la precipitación máxima en los periodos de retorno que se desee presentar las curvas IDF.
Proceso 3	Leer el Coeficiente de reducción (C_p) de las curvas adimensionales de precipitación. Corresponde al porcentaje precipitado en una hora (al 16.7 % de la escala temporal de la curva adimensional).
Proceso 4	Calcular la intensidad máxima para una hora $$i_{1\ hora} = \frac{P_{máx}}{t_{1\ hora}} * C_p$$
Decisión 1	¿La lluvia de interés es de baja duración (t≤ 60 minutos)?
Proceso 5	Adoptar un coeficiente *n* de entre 0.35. A partir de los análisis realizados, se considera que este valor es adecuado para tener una aproximación real a la tendencia de las Curvas IDF para duraciones inferiores a 60 minutos. Resaltando que, al aceptar este valor de la

	constante *n* se espera tener una desviación del 10% en la aproximación a la de intensidad referente en cada periodo de retorno.
Proceso 6	Calcular el valor del coeficiente particular (C_r) $$C_{r_i} = i_{1\,hora} * (60 + 17.91)^n$$
Proceso 7	Calcular el valor de la intensidad para la duración de diseño (t) o construir la curva IDF válida para t ≤ 60 minutos. $$i = \frac{C_{ri}}{(t + 17.91)^n}$$
Proceso 8	Adoptar un coeficiente *n* de 1.25. A partir de los análisis realizados, se considera que este valor es adecuado para tener una aproximación real a la tendencia de las Curvas IDF para duraciones superiores a 120 minutos. Resaltando que, al aceptar este valor de la constante *n* se espera tener una desviación del 18% en la aproximación a la de intensidad referente en cada periodo de retorno.
Proceso 9	Calcular el valor del coeficiente particular (C_r): $$C_{r_i} = i_{1\,hora} * (60 + 17.91)^n$$
Proceso 10	Calcular el valor de la intensidad para la duración de diseño (t) o construir la curva IDF válida para 120 ≤ t ≤ 360 minutos: $$i = \frac{C_{ri}}{(t + 17.91)^n}$$

Elaboración propia

Los procesos descritos anteriormente, se relacionan por medio de un sistema lógico de actividades representado en el siguiente diagrama de flujo.

Diagrama 1. Construcción de curvas IDF empleando curvas adimensionales de precipitación.



Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

De la comparación realizada entre las curvas adimensionales de precipitación de Illinois para el 10 % de probabilidad contra las curvas generadas para el departamento de Boyacá para la misma probabilidad, se observó que en el caso de estas primeras, el 80 % de la precipitación total de la tormenta se da en el primer 20 % del desarrollo de la misma, mientras que en la segunda, se observa una intensidad menor en la precipitación, en la que el 80 % de la misma, se da cuando ha transcurrido más del 60 % de la duración total de la tormenta; lo que se traduce en discrepancias significativas en el comportamiento descrito entre las curvas, por lo cual, las curvas generadas por Huff para el 10% de probabilidad, no podrían emplearse para la desagregación de tormentas en Boyacá.

La comparación de las curvas con probabilidad del 50 % presenta una situación similar a la anteriormente descrita, en la cual para las curvas de Huff se alcanza el 81 % de la precipitación cuando ha transcurrido el 50 % de la duración de la tormenta, mientras que, en la curva generada para Boyacá, el mismo porcentaje de precipitación solo se alcanza transcurrido el 70 % de la duración de la tormenta, lo que permite afirmar, que dadas las discrepancias entre las familias de curvas, las generadas por Huff para el 50 % de probabilidad no son adecuadas para la desagregación de tormentas en Boyacá.

En la comparación entre las curvas generadas por Huff y aquellas construidas para Boyacá, solo se encontró un ajuste adecuado en las curvas del 90 % de probabilidad, en las que, si bien el desarrollo temporal de las tormentas presenta discrepancias, estas no son significativas, siendo la máxima de 5 %.

Las curvas generadas por Huff para Illinois, no se ajustan al desarrollo temporal de las tormentas en el contexto regional de Boyacá.

Las tormentas analizadas no se ajustan a los supuestos de Huff para la categorización de la información para el primer cuartil. Sin embargo, siendo la información base del presente trabajo construcciones realizadas con los máximos históricos de las estaciones pluviográficas, se considera pertinente desarrollar el análisis realizado con la información de las tormentas sin discretizar.

En la construcción de las curvas IDF el valor de la constante n en la ecuación (4), es sumamente sensible para las lluvias de corta duración y su valor tiende a aumentar considerablemente para las duraciones más altas, esto imposibilitó

concebir de forma integral un valor de n para la duración total evaluada en las curvas IDF.

En ese sentido, la disponibilidad de información de referencia para las estaciones estudiadas permitió establecer que la construcción de curvas IDF a partir de datos acumulados de precipitación máxima, debe ser considerada de manera particular en grupos de cortas y largas duraciones. En consecuencia, el ajuste de la constante n para cada grupo logró una aproximación aceptable de los valores de intensidad, teniendo en cuenta el grado de incertidumbre que representa el no contar con datos históricos que soporten el desarrollo temporal de las lluvias.

Inicialmente, los resultados de la Tabla 17 permiten apreciar que el valor de la intensidad para una duración de 60 minutos representa la diferencia más considerable con respecto los valores de las curvas IDF de comparación. Del mismo modo, se observa que los errores reportados tienden a aumentar con la disminución de la probabilidad de ocurrencia del evento.

En adición a lo anterior, pese a que hubo algunas duraciones que tuvieron un mejor ajuste bajo otras probabilidades, estas no fueron suficientes para considerar una tendencia fehaciente. En definitiva, los valores de intensidad que incorporan un mejor ajuste a los datos de las IDF de referencia son los obtenidos al aplicar el coeficiente C_p para un 90% de probabilidad de ocurrencia, para la cual se presenta la Tabla 19, la cual contiene los parámetros de la ecuación (4) para construir las curvas IDF de cada estación pluviográfica y en cada grupo de duración definido.

Tabla 19. Parámetros para la construcción de curvas IDF en cada grupo de duración

ESTACIÓN	b	Tr [años]						Tr [años]						n 10 ≤ t ≤ 60 minutos	n 120 ≤ t ≤ 360 minutos
		3	5	10	25	50	100	3	5	10	25	50	100		
		C_r; 10≤ t ≤ 60 [minutos]						Cr; 120≤ t ≤ 360 minutos							
Villa del Carmen	17,9116	217,45	261,11	315,96	385,27	436,69	487,73	15027,83	18044,76	21835,64	26625,42	30178,76	33705,86	0,304	1,342
Tunguavita		272,87	325,63	391,92	475,67	537,81	599,49	17081,27	20383,76	24533,44	29776,59	33666,25	37527,19	0,427	1,376
Güicán		145,22	177,79	218,72	270,44	308,80	346,89	10715,89	13119,58	16139,91	19956,11	22787,18	25597,35	0,364	1,352
Vivero		233,70	273,65	323,85	387,27	434,32	481,02	1457,11	1706,18	2019,14	2414,57	2707,93	2999,11	0,452	0,872
Almeida		71,88	83,88	98,96	118,01	132,14	146,17	4317,96	5038,88	5944,73	7089,29	7938,38	8781,20	0,192	1,132
La Copa		53,06	62,65	74,71	89,94	101,24	112,46	18302,21	21611,59	25769,95	31024,04	34921,83	38790,83	0,131	1,473
S.P. de Iguaque		66,03	75,39	87,14	101,99	113,01	123,95	11279,03	12876,79	14884,43	17421,10	19302,94	21170,89	0,167	1,347
Belencito		152,17	177,77	209,92	250,55	280,69	310,61	8140,81	9509,86	11230,12	13403,67	15016,14	16616,69	0,377	1,290
Chita		41,36	48,23	56,87	67,79	75,89	83,93	2721,78	3174,33	3742,98	4461,46	4994,47	5523,54	0,114	1,075
Apto. Lleras		656,28	758,63	887,23	1049,72	1170,26	1289,91	3761,11	4347,65	5084,66	6015,87	6706,70	7392,42	0,761	1,161

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie.* México, DF: Editorial Limusa.
- Bell, F. (1969). *Generalized rainfall-duration-frecuenci relationships. .* ASCE Journal of Hydraulicas Division 95(HY1).
- Capera, Mayra. Elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia de las estaciones climatológicas Tunguavita (24035170) y Guicán (24035070), para los municipios de Paipa y Guicán del departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014
- Chaparro, Jonnathan. Elaboración curvas IDF estaciones Belencito y Vivero – Municipio de Boyacá – Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.
- Chen, C. (1983). Rainfall intensity-duration-frecuency. *ASCE Journal of Hydraulic, 109*(12), 1602-1621.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada .* Santa Fe de Bogotá: McGraw-Hill.
- Cortés, Marly. Cálculo de las curvas intensidad- duración-frecuencia empleando métodos estadísticos y probabilísticos sobre información pluviográfica de las estaciones El Cardón y Sena, correspondientes al área operativa de la red meteorológica del IDEAM en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2015
- D. F. Campos-Aranda, “Construcción de tormentas hipotéticas,” *Ing. hidráulica en México*, vol. 2, no. 2, pp. 9–22, 1987.
- E. Varas C, “Influencia del hietograma de una tormenta en la crecida resultante,” *An. la Univ. Chile*, no. 8, pp. 655–668, 1985.

- F. Huff, “Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms,” STATE OF ILLINOIS, 1967.
- G. A. Al-Rawas and C. Valeo, “Characteristics of rainstorm temporal distributions in arid mountainous and coastal regions,” *J. Hydrol.*, vol. 376, no. 1–2, pp. 318–326, 2009.
- Guerra, Fabián. Construcción y análisis de las curvas IDF generadas según los registros pluviográficos tomados por las estaciones Apto A. Lleras y Sutatenza ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.
- Gutierrez, L. A. y Barragán, R. R. (01 de junio de 2019). Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. *Tecnología y ciencias del agua;, 10*(6).
- J. V. Bonta, “Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts,” *Appl. Eng. Agric.*, vol. 20, no. 5, pp. 641–653, 2004.
- León, Diana. Construcción y análisis de curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia) en dos estaciones pluviográficas de los municipios Almeida y Aquitania ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.
- M. Azli and A. R. Rao, “Development of Huff curves for Peninsular Malaysia,” *J. Hydrol.*, vol. 388, no. 1–2, pp. 77–84, 2010.
- Monserrat and C. Paz, “Algoritmo para sistematizar la construcción de curvas Huff , desagregando tormentas a partir de mediciones en 24 horas,” pp. 96–103, 2018.
- Muñoz, Carol. Construcción de curvas IDF (Intencidad - Duración - Frecuencia) de dos estaciones pluviográficas en los Municipios Chiquiza y Samaca, Departamento de Boyacá Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- R. Balbastre Soldevila, “Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana,” Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- R. Rao and S.-C. Kao, “STATISCAL ANALYIS OF INDIANA RAINFALL DATA,” Indianapolis, 2015.
- Rodriguez,, Leidy. Estudio y construcción de curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia) en las estaciones pluviográficas llamadas Valle Grande y La Copa, ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.
- Rodriguez, Tatiana. Estudio de precipitaciones máximas a partir de las curvas IDF de las estaciones pluviográficas ubicadas en los municipios Guayata y Garagoa. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.
- Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Seong, k. (2014, DOI: 10.1002/hyp.9806). Deriving a practical form of IDF formula using Trasnformed rainfall intensities. *Hydroligical Processes, 28*(6), 2881-2896.
- Sherman, C. (1931). Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston, Mass. *Transactions of the American Society of Civil Engineers, 95(1)*, 951-960.
- Silva, G. A. (1998). *Hidrología Básica.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Torres, Luis. Cálculo y estudio de las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) correspondientes a las estaciones meteorológicas Chita e Institución Agrícola Santa Sofía pertenecientes al departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

ANEXO A

MÁXIMOS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE INTERÉS

- Máximos históricos de precipitación para la estación Villa Carmen

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1975	9.7	17.1	22.1	27.2	28.5	28.6	28.6	28.7
1976	14.2	21.2	26.8	30.6	31.6	31.6	31.9	34.1
1977	10.6	19.8	26.8	41.4	43.7	43.7	43.7	46.4
1978	9	15.9	220.2	29.1	34.5	34.8	36.7	36.7
1979	5.8	8.8	10.6	13.2	17.8	22.7	25.1	26.3
1980	3.5	5.1	6	9.4	14.4	17.3	18.7	22.2
1981	4.3	8	10.2	19.6	25.6	28	29.2	38.7
1982	9.5	14.1	18.4	25	29.6	29.7	29.7	29.9
1983	1.3	10.2	12.5	14.3	17.5	17.7	19.3	20.9
1984	6	10.1	14.2	26.1	31.2	32.4	34.9	35.1
1985	3.45	5.75	7.1	9	15.85	16.75	16.8	16.8
1986	5.6	6.3	6.9	8	13.8	19.5	23.1	25.1
1987	1.9	3.4	4.8	8.1	13.6	17.5	18.5	18.5
1988	9	16.9	20.7	23.5	23.7	23.7	23.7	23.7
1989	7	12.3	17.1	25.3	27	27	27	27.5
1990	10.5	14.3	17.9	26.7	27.3	27.3	27.4	28.6
1991	3.8	7.4	7.6	9.3	17.2	20	21.4	21.9
1992	14.2	23.3	31.8	50.9	57.6	60.7	61.6	61.7
1993	5	9.4	14.4	17.4	19.1	19.6	1970	19.7
1994	13	25	35.5	42.7	43.7	44.8	44.8	44.8
1995	13.4	20.5	26	30.1	31	31.1	31.1	31.1
1996	15.9	28.7	41.5	54.2	55.3	55.3	55.3	55.3
1997	8.7	16.4	21.6	29.1	32.6	35.3	35.8	37.2
1998	7.8	15.3	19	30.3	32	32	32	32
1999	16	20.2	22.7	24.3	24.6	24.6	25.6	25.8
2000	14.1	21.9	31.7	40.6	43.8	50.3	58.1	63.3
2001	8.3	13.8	15.8	23	25.3	25.3	25.3	26.7

Tomada de: MUÑOZ, Carol. Construcción de curvas IDF (Intencidad - Duración - Frecuencia) de dos estaciones pluviográficas en los Municipios Chiquiza y Samaca, Departamento de Boyacá Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación San Pedro de Iguaque

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1986	4.7	7.9	9.4	11.6	19.2	25	26.1	27
1987	10.5	13.1	15.6	19.3	21.7	21.7	21.7	29.8

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1988	4.3	7.1	9.85	13.25	14.55	19.95	20.1	20.15
1989	4	6	6.8	8.1	9	9.1	11.6	12.5
1990	6.2	9.9	14.3	19.2	19.2	22.3	25.4	27.1
1991	9.9	14.5	19.5	25.2	26.6	27.6	27.6	27.85
1992	11.8	15.9	17.1	18.1	18.1	18.9	20.2	20.2
1993	7	9.5	10.8	24.3	24.3	25.5	32.9	40.8
1994	10.4	14.7	16.6	31.1	31.1	32	32	32
1995	8.2	10.7	12.5	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
1996	4.5	8	10.6	21.8	21.8	22.8	22.8	22.8
1997	5.92	9.9	12.02	21.25	21.25	25.53	26.85	29.3
1998	8.4	14.2	16.3	29.1	29.1	33.1	34.8	38.3
1999	6.8	9.8	10.6	22.05	22.05	23	23.3	23.3
2000	4.6	7.8	9.6	21	21	22.9	23.1	23.3
2001	4.2	7.9	10.7	23.7	23.7	24.85	25.7	26.9

Tomada de: MUÑOZ, Carol. Construcción de curvas IDF (Intencidad - Duración - Frecuencia) de dos estaciones pluviográficas en los Municipios Chiquiza y Samaca, Departamento de Boyacá Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación La Copa

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1992	7.8	9.7	12.2	15.4	17.2	16.4	18	19.9
1993	4	7.7	10.7	14.1	14.7	16.6	16.9	17.4
1994	10.3	15.4	20.5	25.8	26.7	26.9	26.9	33.4
1995	6.2	9.5	10.9	15.1	17.6	20	20.1	14.3
1996	8.6	12	17.9	26.5	29.4	31	31.6	31.7
1997	7.5	14.3	16.1	20.8	23.8	25.1	25.5	25.7
1998	9.6	16.7	25.1	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
1999	4.2	7.4	8.1	11.4	15.2	15.5	15.9	17.4
2000	5.7	8.9	10.4	15.4	17.1	20.3	23.4	26.7
2001	3.7	6.6	8.1	9.3	10.8	11	11	15.2
2002	8.5	16.5	18.9	22.4	25.8	27.6	28.8	28.9
2003	2.5	4.4	5.7	7.1	10.5	13.1	16.3	21.5
2004	6	9.4	12.5	17.7	22.9	25.8	25.8	25.8
2005	2.1	3.5	4.4	4.8	7.6	10.1	11.9	12.5
2006	6.8	12.6	17.3	24.5	29.7	29.7	29.7	29.7

Tomada de: RODRÍGUEZ, Leidy. Estudio y construcción de curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia) en las estaciones pluviográficas llamadas Valle Grande y La Copa, ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Chita

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1973	4.5	6.4	9.2	14.1	16.2	-----	20.2	20.8
1974	7.6	13	15.5	16.8	16.8	-----	16.8	16.8

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1975	1.8	3.3	4.5	7.5	13.2	-----	24	25.3
1976	6.8	12.4	14.5	21.3	23.9	-----	36.1	38.9
1977	2.4	4.2	6.1	11.4	14.5	-----	20.3	21.1
1978	6.3	11	11.9	15.9	20.9	-----	20.9	21.7
1979	1.7	3.2	4.6	7.8	12.4	-----	16.7	17.9
1980	5.4	9.5	12.6	18.2	21.6	-----	27.6	27.6
1981	6	7.6	8.5	11.8	16.8	-----	20.9	20.9
1982	5.8	8.2	10	12.5	16.5	-----	20.4	21.5
1983	2.5	4	5.9	8.9	13.1	-----	18.2	18.2
1984	2.2	4	6.3	10.1	13.2	-----	16.3	11
1985	6.9	10.5	11.7	15.7	28.6	-----	46.5	48.3
1986	2.6	4.7	6.4	9.9	13.9	-----	13.9	13.9
1987	5.1	7.8	11.7	20.5	32.8	-----	52.2	55
1988	6.2	10.4	14.8	21.2	23.6	-----	23.6	23.6
1989	4.4	8	12.2	18.4	20.5	-----	21	21.5
1990	5.9	11.2	14.8	21.2	26.4	-----	32.8	34.8
1991	4.1	6.2	8.4	14	22.5	-----	28.5	29.4
1992	5.4	9.1	11.9	16.6	20.8	-----	24	24.6
1993	8.4	11.4	12.9	16.5	32.5	-----	49.9	51.9
1994	4.1	7.4	10.4	16.4	25.5	-----	30.6	31
1995	4.9	8.9	10.7	12.1	17	-----	23.4	23.9
1996	5.6	10.3	14	21.2	26.5	-----	29.8	30.2
1997	2.1	3.9	5.2	9.9	16.5	-----	20	22.7
1998	5.6	8.3	10.6	13.9	24.6	-----	30.9	30.9
1999	8.1	13.7	15.8	23.6	28.9	-----	33.4	33.8
2000	5.8	8.2	9.5	11.9	21.1	-----	27.9	28.9

Tomada de: TORRES, Luis. Cálculo y estudio de las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) correspondientes a las estaciones meteorológicas Chita e Institución Agrícola Santa Sofía pertenecientes al departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Guayata

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1980	1.8	3.5	4.4	5.2	7.4	12.3	11.1	17.4
1981	4.1	6.6	10.4	14.4	18.2	24.7	29.5	34.8
1982	3.5	6.2	8.2	11	17.2	18	19.2	21.85
1983	3.6	5.1	6.6	10.1	19.1	23.7	24.5	26.2
1984	1.9	2.8	4.4	7.9	13.1	17.1	21.9	26.1
1985	7.9	10.9	12.8	19.3	27.9	31	31.5	32.4
1986	2.4	3.7	4.7	8.8	13.1	17.8	22.4	32.2
1987	2.9	4.4	5.9	9.2	15.8	22.1	29.1	30.9
1988	2.2	3	4.2	5.9	6.7	6.7	6.7	6.7
1989	3.1	4.7	6.7	12	20.5	29	34.9	38.2
1990	7.9	14.5	20.8	25.4	28	28.9	32.1	39.3
1991	1.2	2.1	2.8	5.1	8.2	11.3	12.55	19.85
1992	3.5	5.3	6.2	9	12.7	15.9	18.8	21.5
1993	1.5	2.3	3.4	5.9	10.9	14.1	17.6	20.8
1994	3.3	6	7.8	11.1	18.7	22.2	25.5	26.6
1995	13	21.8	28.1	33.8	36.1	36.8	37.5	37.5
1996	1.1	2	3.1	4.3	5.9	6.2	6.2	7.7

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1997	1.1	2	2.1	3.1	4.6	4.75	5	5
1998	2.4	4.4	5.2	8.8	14.5	19.2	23.1	23.1
1999	2.5	3.8	5.2	9.4	12	13	15.9	18.1
2000	5.9	9.4	14.7	21.6	23.7	23.7	25.4	29.7
2001	1.7	3.3	4.8	9	16.6	23.4	26.7	26.7

Tomada de: RODRÍGUEZ, Tatiana. Estudio de precipitaciones máximas a partir de las curvas IDF de las estaciones pluviográficas ubicadas en los municipios Guayata y Garagoa. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Almeida

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1974	51.6	49.5	42.8	27.4	15.7	11.1	8.4	5.6
1975	42.6	37.2	27.6	16	11.6	10.3	8.6	6.5
1976	30.6	28.8	25	17.4	12.1	9.9	8.9	6.5
1977	36.6	21.9	15.4	12	9.1	6.5	4.9	4.7
1978	34.2	33	29.4	23.6	13.8	10.3	7.9	5.9
1979	25.2	20.4	16.8	12.6	11.4	10	9.4	7.3
1980	34.8	32.4	28.4	15.4	11.7	10.8	9.1	6.8
1981	52.8	48	35.4	19.3	9.7	6.7	6.4	4.4
1982	51	38.4	33	28.9	16.2	11.5	9.3	7
1983	47.4	39	31.2	22.2	14.5	9.7	8.3	7
1984	50.4	32.1	22.2	11.7	6.5	5.8	5.6	4.4
1985	20.4	15.3	13.4	12.1	10.9	9.1	7.5	5.1
1986	40.8	33.6	28.2	19.2	16.6	16.9	13.5	9.2
1987	55.2	54.9	406	28.5	17.8	13.5	10.2	6.9
1988	43.2	42.9	35	22.3	15.7	12.2	9.3	6.3
1989	24	17.7	14.8	11	9.4	6.7	5.6	4.1
1990	21.6	17.4	15	10.6	7.7	6.9	6.5	6.2
1991	30.6	23.7	23.2	16.3	11.8	9	7.9	0.7
1992	39	31.5	32	17.5	8.9	6.2	4.7	3.1
1993	36	21.3	15.8	10.2	5.3	4.4	4.4	3
1994	30	18.9	15.2	10.6	9	7.9	7.2	6
1995	32.4	25.8	19	11	8.5	7.8	6.9	5.9
1996	41.4	36.9	31.6	26.3	21.3	16.9	12.9	9.4
1997	26.4	18	15	11.9	9.8	8	8.2	6.9
1998	28.2	26.7	22.8	16.5	12.6	11.3	9.5	6.8
1999	25.2	21.3	17	14.4	14.3	10.8	8.2	5.5
2000	21	16.8	15	12.5	11	9.7	8.3	6.7
2001	11.4	10.2	9.4	7.9	7	6.1	5.3	4.8

Tomada de: LEÓN, Diana. Construcción y análisis de curvas IDF (Intensidad, duración, frecuencia) en dos estaciones pluviográficas de los municipios Almeida y Aquitania ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Apto A. Lleras

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1982	10.5	15.5	17.3	20.2	21.35	-----	21.75	-----
1983	11.3	17.5	20.3	20.45	20.45	-----	20.45	-----
1984	9	11.9	12.3	13.1	16	-----	16.4	-----
1985	9.3	12.1	13.6	15.2	15.2	-----	15.2	-----
1986	10.2	18.1	23	25.7	25.7	-----	25.7	-----
1987	5.9	9.7	12.6	17.6	19	-----	20.4	-----
1988	9.8	17.3	20.4	22.5	22.5	-----	22.5	-----
1989	9	16.6	23.9	26.5	26.5	-----	26.5	-----
1990	9	13.5	17	26.3	29.9	-----	34.9	-----
1991	7.6	10	10.3	14.3	21.3	-----	24.8	-----
1992	4.5	8.7	11.3	16.4	16.9	-----	16.9	-----
1993	9.4	12.7	18.4	21	26.7	-----	32.2	-----
1994	7.2	12.6	14.4	16	16	-----	16	-----
1995	10.2	19.4	22.5	24.7	40.7	-----	40.9	-----
1996	12.1	23.1	26.6	28	28.4	-----	28.4	-----
1997	13	23.1	28.3	33.1	33.1	-----	33.1	-----
1998	7.7	11.8	15.2	21.6	27.8	-----	27.8	-----
1999	5.5	10.4	12.5	16.1	19.1	-----	19.9	-----
2000	7.9	11.3	14.6	19.8	24.6	-----	33.4	-----
2001	2.7	4.5	5.4	8.2	13.1	-----	14	-----

Tomada de: GUERRA, Fabián. Construcción y análisis de las curvas IDF generadas según los registros pluviográficos tomados por las estaciones Apto A. Lleras y Sutatenza ubicadas en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Belencito

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1967	6	11.8	15.8	21.1	21.1	-----	21.1	22.8
1968	5.2	10.1	13.1	17.9	20.8	-----	22.7	22.7
1969	6.1	10.2	15.2	20.4	22.2	-----	22.6	22.6
1970	10.3	15	20.2	24.1	26.1	-----	35.7	36.3
1971	10	19.8	22.8	25.6	26.9	-----	33.8	33.8
1972	11.8	17.6	19.8	20.2	20	-----	27.8	30.4
1973	4	6.5	8.8	15.3	17	-----	17.6	22
1974	6.5	11.3	13.5	18.6	23.8	-----	32.7	36.4
1975	6.5	12	16.9	21.5	23.4	-----	28.4	32.1
1977	12	18.1	25.1	28	36.3	-----	41.9	44.6
1978	7.2	11	17.2	24.7	30.1	-----	36.7	39.3
1979	4.2	6.7	8.2	16	21.5	-----	28	29.7
1980	7.7	12.7	14.5	19.5	29.7	-----	31.8	31.8
1981	6	10.7	15.2	16.1	16.1	-----	16.1	16.1
1982	10.5	19.5	27.1	30.9	31.3	-----	31.3	31.3
1983	60	10	12.7	15.5	21.2	-----	21.9	22.4

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1984	2.8	4.1	4.6	5.8	5.9	-----	5.9	5.9
1985	3.8	7	10.2	12.3	14.3	-----	14.9	14.9
1986	7.2	13.2	17.2	22.3	29.3	-----	33.4	34.3
1987	16.2	23.2	28	34.2	34.8	-----	34.8	34.8
1988	6.7	7.6	8.7	10.8	13.9	-----	26.4	29
1989	10	16.7	19	35.5	40.9	-----	40.9	40
1990	8.5	15	16.8	19	19.5	-----	20.1	26.9
1991	7	8	9.3	12.7	22.2	-----	31.5	35.5
1992	2.5	4.2	5.1	7.3	12.3	-----	16.7	17.7
1993	4.7	9	10.7	21	25.8	-----	28.7	28.7
1999	12	18.5	21.5	25.3	25.8	-----	25.8	25.8
2000	8.5	14.5	19.5	21.9	22.4	-----	22.4	22.4
2001	3	5.2	6.2	8.5	12.8	-----	21.5	25.4

Tomada de: CHAPARRO, Jonnathan. Elaboración curvas IDF estaciones Belencito y Vivero – Municipio de Boyacá – Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Vivero

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1984	3.6	6.1	8	15	22.3	-----	31.2	35.9
1985	10	18.5	24.5	29.6	33.7	-----	28	39.6
1986	7	10.3	12.1	16.6	20.4	-----	34.9	47.3
1987	5	9	12.4	15.4	15.7	-----	18	23.5
1988	8.5	14.3	18.8	25.8	38.1	-----	48.2	55.1
1989	7	8.3	9.7	13.8	21.4	-----	33.7	40.8
1990	4.1	6.4	8.4	14.4	19.2	-----	19.6	27
1991	10	16.3	19.3	24.7	28.3	-----	28.3	34.2
1992	3.3	4.8	6.5	10.5	19.1	-----	24.4	26.2
1993	4.2	8.3	10.3	16.1	23.2	-----	30.4	34.9
1994	10.2	19.1	21.7	25.7	40.06	-----	52.1	53.2
1995	5.9	9.5	13.2	23.1	37.9	-----	38.8	38.2
2000	5.5	11	13.5	17.3	27.4	-----	43	44.9
2001	4.1	5.9	8.5	13.5	17.7	-----	21.5	24.9

Tomada de: CHAPARRO, Jonnathan. Elaboración curvas IDF estaciones Belencito y Vivero – Municipio de Boyacá – Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014.

- Máximos históricos de precipitación para la estación Tunguavita

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1993	9.8	12.8	17.5	25	27.3	28.6	28.6	28.6
1994	9	15.5	18.9	29.6	32.7	33.5	35.3	35.9
1995	12.2	14.6	18.2	25	31.6	31.6	31.6	31.6
1996	21.7	29.8	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1997	12.3	15	21.8	24	24	24	24	24
1998	17.1	21.3	24.3	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9
1999	6.5	9.7	11.5	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
2000	15	25.6	33.4	6.1	36.1	36.1	36.1	36.1
2001	9.5	15	20.2	24.4	26.2	26.2	26.2	26.2
2002	14.7	26.6	35.5	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
2003	8.5	12.5	15.8	16.7	17.3	17.3	17.3	17.3
2004	15.2	18.1	26.8	36.4	53.5	54.7	54.7	54.7
2005	4.3	7.8	8.5	14.4	17	17.7	20.7	20.7
2006	7.3	9.6	11.1	15.3	21	26.9	28.4	28.4
2007	9	15.6	21.1	35.3	53.4	58.4	58.4	58.4
2008	13.7	14.3	14.8	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
2009	9.8	16	17.8	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3
2010	12.3	17.8	21.5	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
2011	15.6	18.1	19	21.3	31	31	31	31
2012	9.9	9.9	15.6	19.8	20	20	20	20

Tomada de: CAPERA, Mayra. Elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia de las estaciones climatológicas Tunguavita (24035170) y Guicán (24035070), para los municipios de Paipa y Guicán del departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014

- Máximos históricos de precipitación para la estación Guicán

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1993	9.4	12.4	14.3	14.8	15.3	19.8	21.3	22.5
1994	9.7	11	12.7	14	14.7	15.2	15.2	15.2
1995	6	11.5	13.6	16.7	23.2	25.3	25.7	25.7
1996	8.8	16.7	20.1	25.7	26.9	26.9	26.9	26.9
1997	9.3	17.5	24.5	34.8	41.5	41.6	41.6	41.6
1998	6.1	9.9	13	15.1	20.1	20.7	20.7	20.7
1999	4.2	6.1	7.7	10.3	14.8	20.3	21.7	26.1
2000	3.1	5	6	8.5	13	14.5	15	15
2001	3.1	4.8	6.1	9.9	15.4	18	18.8	18.8
2002	7.4	11.6	16.2	22.7	33.1	42.3	43.5	43.8
2003	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
2004	1.9	3	3.3	3.7	5.9	6.4	6.4	6.4
2005	11	22.1	26.2	30.1	31.3	31.3	31.3	31.3
2006	2.1	4.1	5.1	7.8	10.9	12.2	12.3	12.3
2007	4.2	5	6	7.5	9.8	10.1	10.1	10.1
2008	4.9	7.6	9.1	12.3	13.5	15.8	17.2	17.3
2009	5.1	9.1	10.1	13.5	18.5	20.3	20.3	20.3
2010	9.4	13.2	16.4	18.1	19.4	19.4	19.4	19.4
2011	8.7	10.4	11.8	16.7	18.7	20.6	21.6	22.9
2012	9.3	17	18.6	20.1	21.7	21.7	21.7	28.9

Tomada de: CAPERA, Mayra. Elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia de las estaciones climatológicas Tunguavita (24035170) y Guicán (24035070), para los municipios de Paipa y Guicán del departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2014

- Máximos históricos de precipitación para la estación Cardón

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
2002	3.5	5.8	7.2	11	17	22.9	23.4	23.4
2003	5.2	6.7	8.9	12.4	20.2	28	34.8	37.4
2004	2.6	4.4	6.2	8.4	15.5	16.8	19.6	19.6
2005	2.9	4.2	6.3	10.8	19.6	28.2	36.1	39.9
2006	3.3	6.3	9	12.5	15.6	15.6	12.7	15.6
2007	5.8	8.3	11.3	16.4	22.3	22.8	22.8	22.8
2008	2.7	5	7.5	8.8	13.3	17.2	17.3	17.3
2009	3.6	6.4	8.9	14.9	25.4	27.7	27.7	30.4
2010	4	5.7	6.7	8.4	10.9	15.2	16.7	19.8
2011	5.9	8.5	11.8	17.4	29.1	31.7	38.1	39.9
2012	3.2	6.1	8.6	17	26.5	33.1	40.5	47

Tomada de: CORTÉS, Marly. Cálculo de las curvas intensidad- duración-frecuencia empleando métodos estadísticos y probabilísticos sobre información pluviográfica de las estaciones El Cardón y Sena, correspondientes al área operativa de la red meteorológica del IDEAM en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2015

- Máximos históricos de precipitación para la estación SENA

Año	10	20	30	60	120	180	240	360
1999	22.9	33.4	37.7	48.6	63.1	63.4	63.4	63.4
2000	11.9	20	14.2	30.4	337	39.6	39.6	39.6
2001	3	3.6	6	7.4	10.1	10.1	10.1	10.1
2002	3.9	7.5	9.4	13.4	20.5	29	29	29
2003	4.2	5.3	6.4	7.4	9.1	10.7	11.4	11.4
2004	0.6	1	1.3	2	2.4	2.4	2.4	2.4
2005	6.5	12.1	16.7	30.1	33.7	33.7	33.7	33.7
2006	12	19.4	21.2	28.2	29.6	29.6	29.6	29.6
2007	12.4	16	19.2	19.2	20.7	25.9	25.9	25.9
2008	4.4	6.6	8.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
2009	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
2010	3.7	6.7	7.6	8.4	9.5	9.5	9.5	9.5
2011	5.2	8.2	9.2	11	12.4	12.4	12.4	12.4
2012	7	12	13	13	13	13	13	13

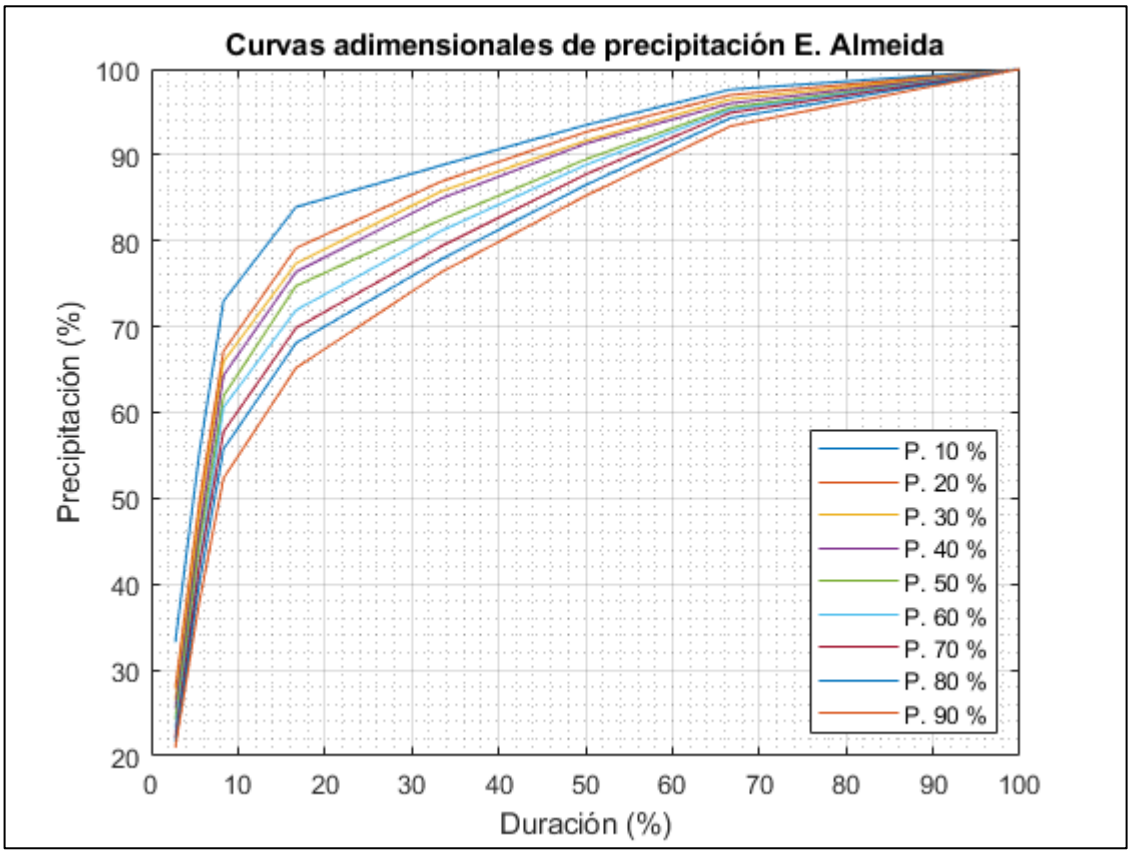
Tomada de: CORTÉS, Marly. Cálculo de las curvas intensidad- duración-frecuencia empleando métodos estadísticos y probabilísticos sobre información pluviográfica de las estaciones El Cardón y Sena, correspondientes al área operativa de la red meteorológica del IDEAM en el departamento de Boyacá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnología en Construcciones Civiles, 2015

ANEXO B

CURVAS ADIMENSIONALES DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE INTERÉS

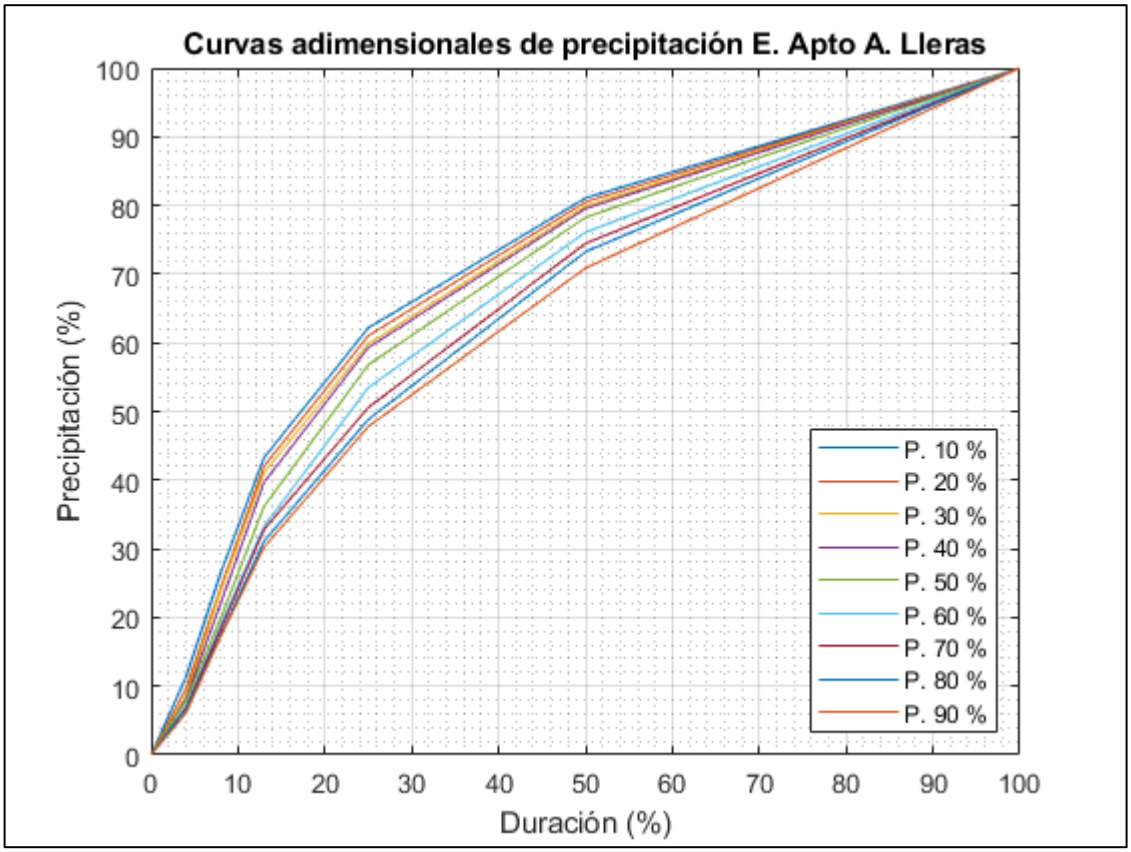
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Almeida

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	33.23%	27.82%	26.47%	25.49%	24.29%	23.22%	22.19%	21.62%	20.96%
5.56%	55.36%	49.64%	48.24%	46.30%	44.84%	42.65%	42.25%	40.22%	38.00%
8.33%	72.98%	67.14%	65.93%	64.31%	61.92%	60.60%	57.76%	55.73%	52.34%
16.67%	83.93%	79.14%	77.36%	76.37%	74.74%	71.92%	69.84%	68.09%	65.19%
33.33%	88.77%	86.88%	85.73%	84.90%	82.43%	81.12%	79.33%	77.82%	76.31%
50.00%	93.47%	92.66%	91.65%	91.31%	89.48%	88.83%	87.73%	86.49%	85.23%
66.67%	97.62%	96.98%	96.48%	96.01%	95.53%	95.26%	94.91%	94.30%	93.36%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



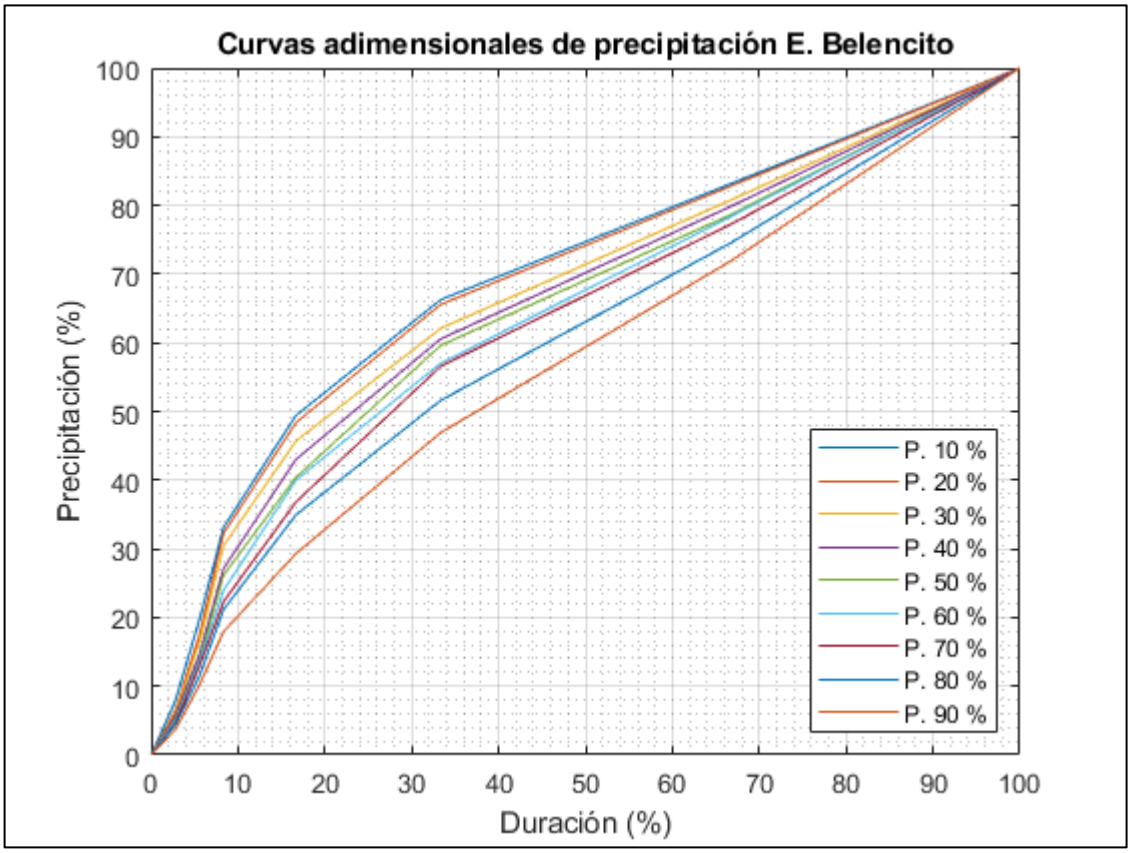
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Apto A. Lleras

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
4%	11.32%	9.63%	8.58%	8.13%	7.87%	7.02%	6.90%	6.65%	6.07%
8%	26.50%	24.33%	23.88%	22.05%	19.89%	18.83%	18.32%	17.48%	17.21%
13%	43.30%	42.05%	41.10%	39.71%	36.19%	33.31%	32.83%	31.13%	30.25%
25%	62.18%	61.03%	59.85%	59.30%	56.79%	53.48%	50.59%	48.85%	47.82%
50%	81.09%	80.52%	79.92%	79.54%	78.27%	76.10%	74.47%	73.26%	70.89%
100%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



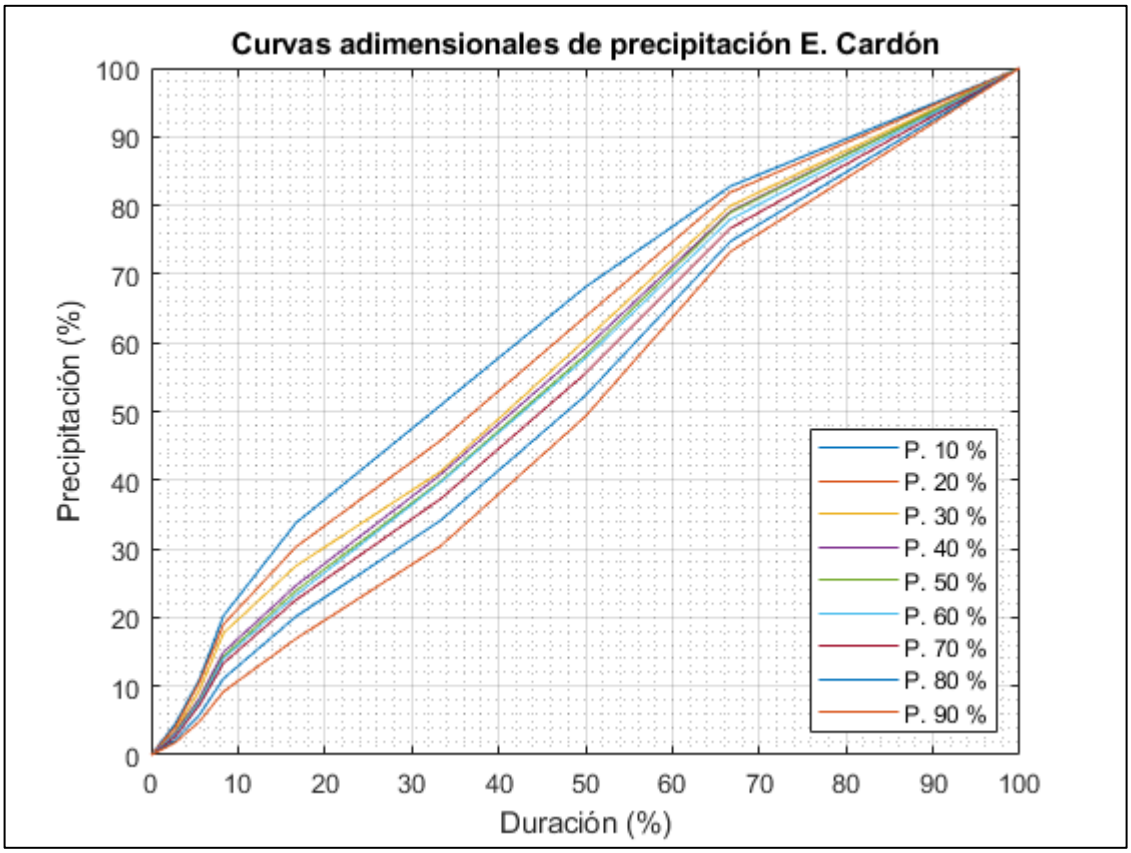
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Belencito

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	7.86%	6.50%	6.14%	5.77%	5.21%	4.93%	4.62%	4.39%	3.67%
5.56%	19.71%	17.48%	16.49%	14.61%	13.87%	13.60%	13.00%	11.51%	10.18%
8.33%	33.13%	32.29%	30.46%	27.13%	26.16%	23.96%	22.31%	21.16%	17.93%
16.67%	49.43%	48.38%	45.70%	43.02%	40.41%	40.00%	36.83%	34.94%	29.32%
33.33%	66.29%	65.59%	62.11%	60.57%	59.62%	57.03%	56.58%	51.61%	46.91%
66.67%	83.14%	82.79%	80.75%	79.82%	78.62%	78.35%	77.20%	74.51%	71.87%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



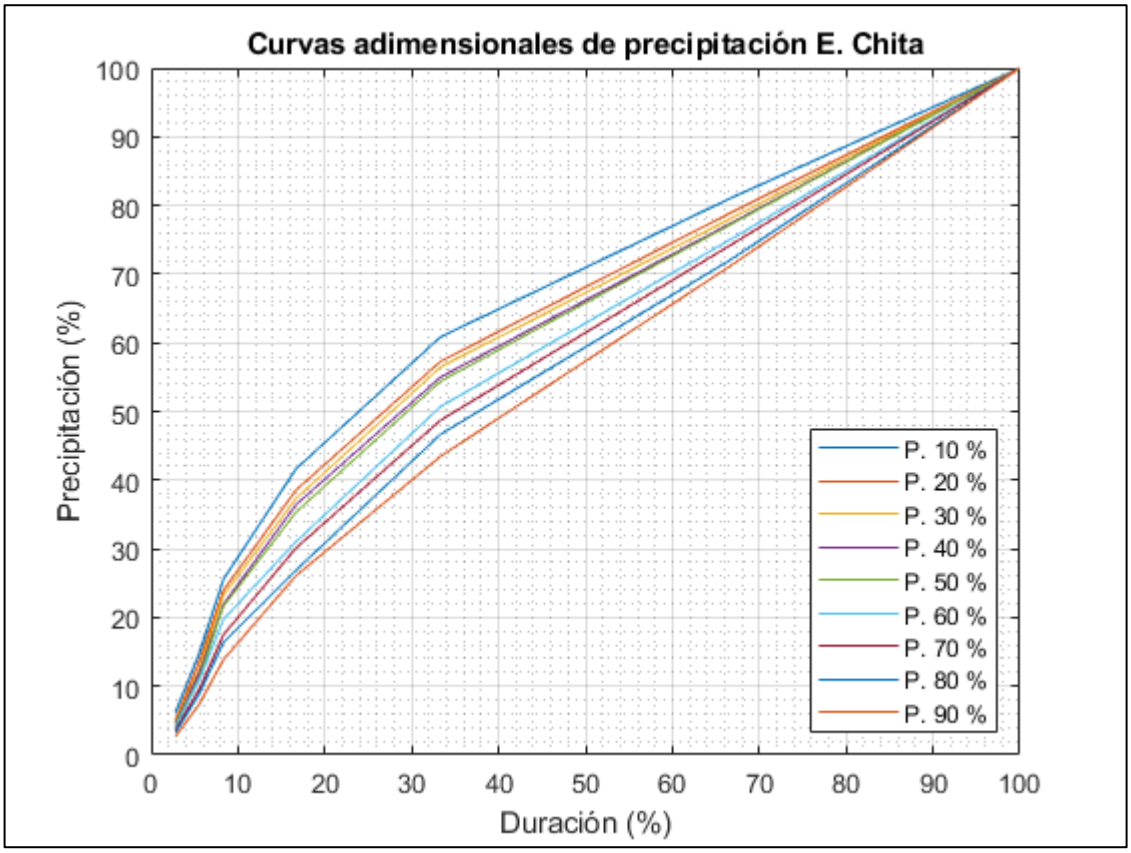
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Cardón

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	4.54%	4.08%	3.49%	3.26%	3.06%	2.98%	2.67%	2.17%	1.80%
5.56%	11.01%	10.62%	9.42%	8.24%	7.89%	7.70%	7.27%	5.82%	4.86%
8.33%	20.26%	19.01%	17.74%	14.97%	14.36%	14.05%	13.34%	11.11%	9.21%
16.67%	33.77%	30.28%	27.51%	24.65%	23.90%	23.29%	22.57%	20.15%	16.92%
33.33%	50.91%	45.77%	41.25%	40.83%	39.86%	39.67%	37.29%	34.15%	30.42%
50.00%	68.13%	63.82%	60.43%	59.20%	58.24%	57.76%	55.54%	52.35%	49.30%
66.67%	82.79%	81.90%	79.94%	79.13%	78.95%	77.97%	76.67%	74.77%	73.27%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



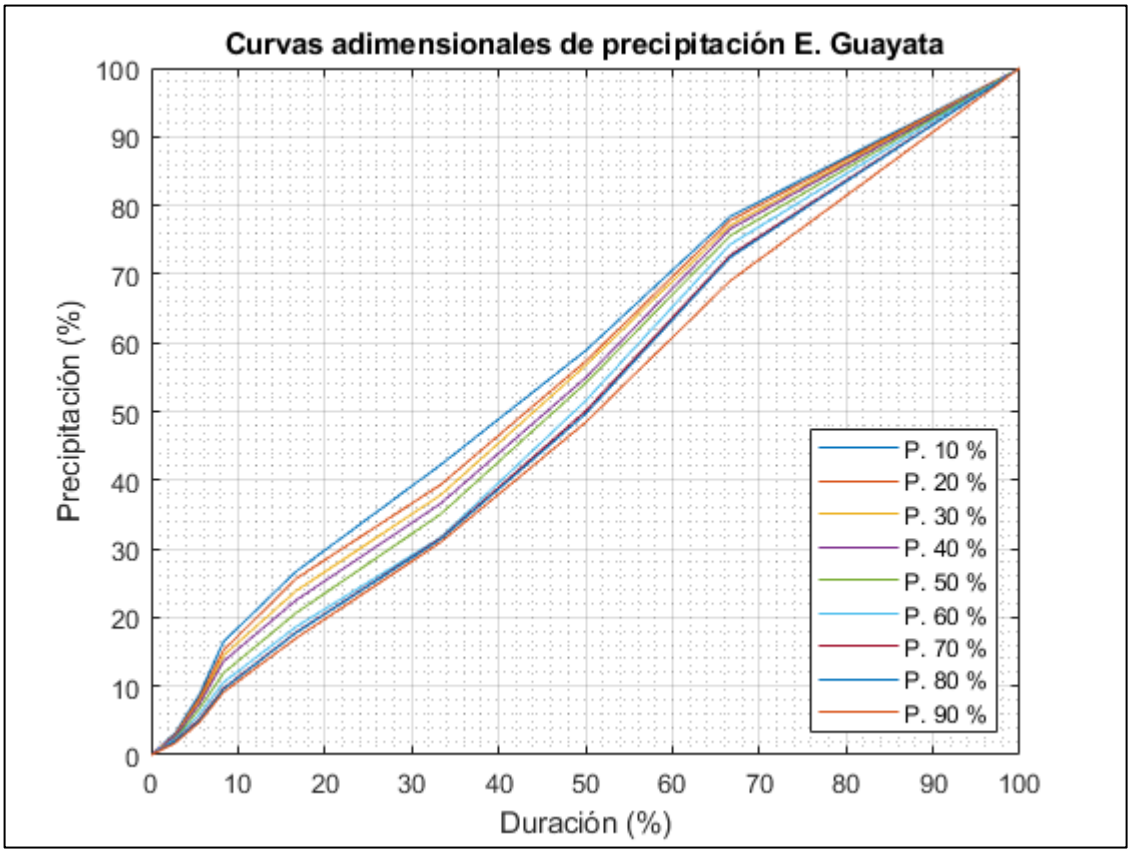
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Chita

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	6.15%	5.13%	4.88%	4.52%	4.26%	4.05%	3.60%	3.22%	2.64%
5.56%	14.87%	13.71%	12.60%	12.02%	11.33%	11.00%	9.63%	8.94%	7.42%
8.33%	25.59%	23.98%	23.29%	21.93%	21.66%	19.74%	17.50%	16.40%	13.88%
16.67%	41.64%	38.55%	37.34%	36.42%	35.34%	31.05%	30.11%	26.89%	26.09%
33.33%	60.87%	57.31%	56.50%	55.02%	54.43%	50.72%	48.74%	46.70%	43.48%
66.67%	81.04%	78.91%	78.07%	77.37%	77.19%	75.03%	74.21%	72.08%	71.18%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



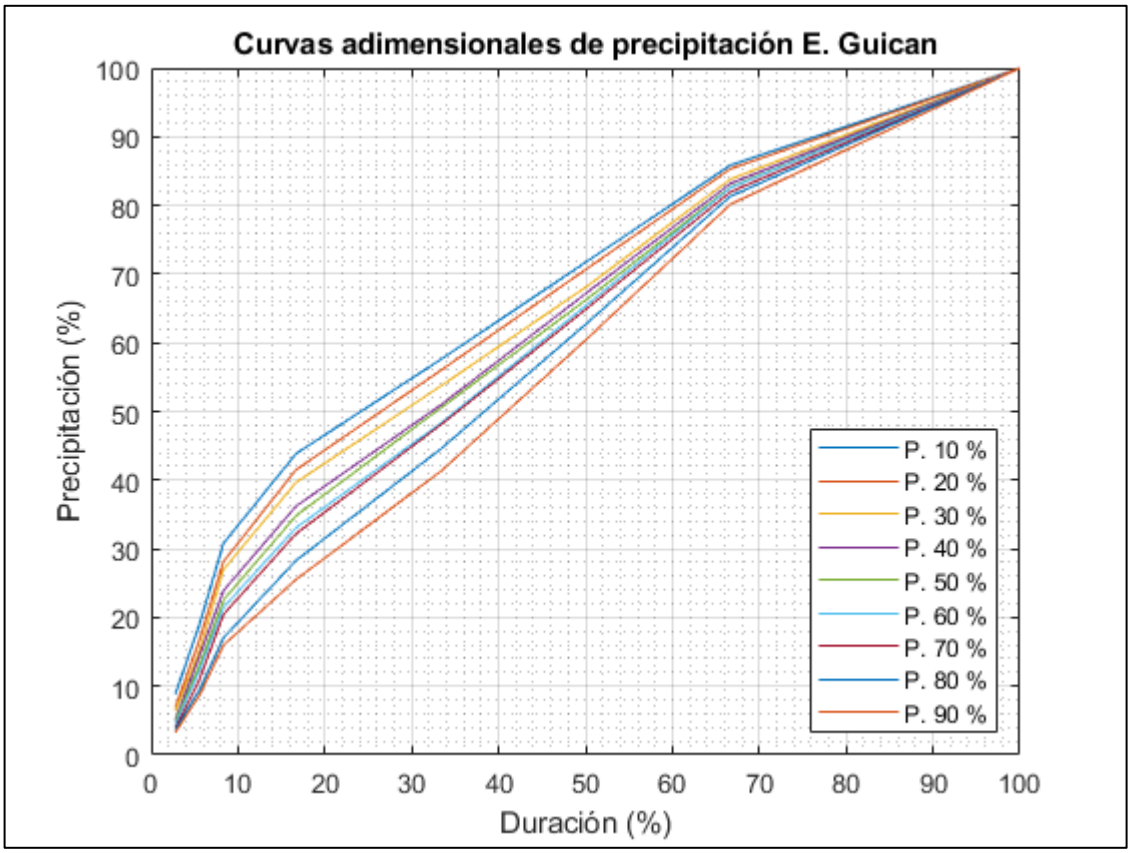
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Guayata

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	3.21%	3.02%	2.90%	2.80%	2.41%	2.32%	2.06%	1.97%	1.75%
5.56%	8.79%	8.30%	7.72%	7.43%	6.75%	5.91%	5.23%	5.02%	4.74%
8.33%	16.48%	15.26%	14.47%	13.61%	11.92%	10.55%	9.71%	9.58%	9.14%
16.67%	26.69%	25.64%	23.87%	22.51%	20.66%	18.63%	17.84%	17.75%	16.98%
33.33%	42.24%	39.34%	37.84%	36.59%	35.05%	31.67%	31.55%	31.40%	30.97%
50.00%	58.85%	57.29%	56.70%	54.90%	54.12%	51.55%	50.06%	49.62%	48.41%
66.67%	78.39%	77.84%	77.12%	76.60%	75.61%	74.34%	72.77%	72.46%	69.03%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



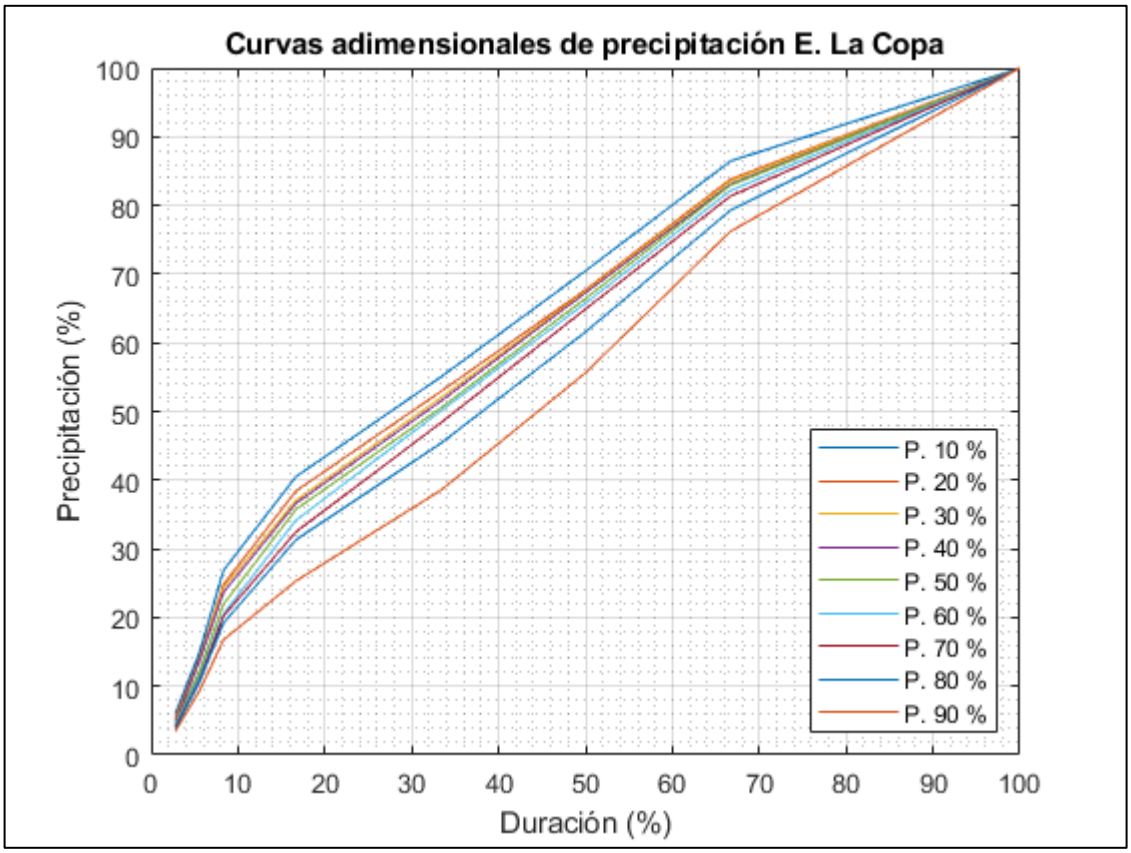
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Guican

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	8.83%	6.92%	6.39%	5.13%	4.97%	4.54%	3.93%	3.70%	3.28%
5.56%	18.98%	16.73%	15.19%	14.42%	13.02%	12.34%	10.99%	9.45%	8.68%
8.33%	30.81%	28.15%	26.99%	23.93%	22.56%	21.48%	20.45%	17.05%	15.98%
16.67%	43.85%	41.50%	39.66%	36.19%	34.81%	33.06%	32.19%	28.29%	25.53%
33.33%	57.57%	55.97%	53.70%	50.93%	50.51%	48.27%	48.05%	44.54%	41.27%
50.00%	71.72%	70.65%	68.07%	67.15%	66.19%	65.38%	64.84%	62.67%	60.38%
66.67%	85.86%	85.32%	83.83%	83.19%	82.67%	82.58%	81.96%	81.34%	80.15%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



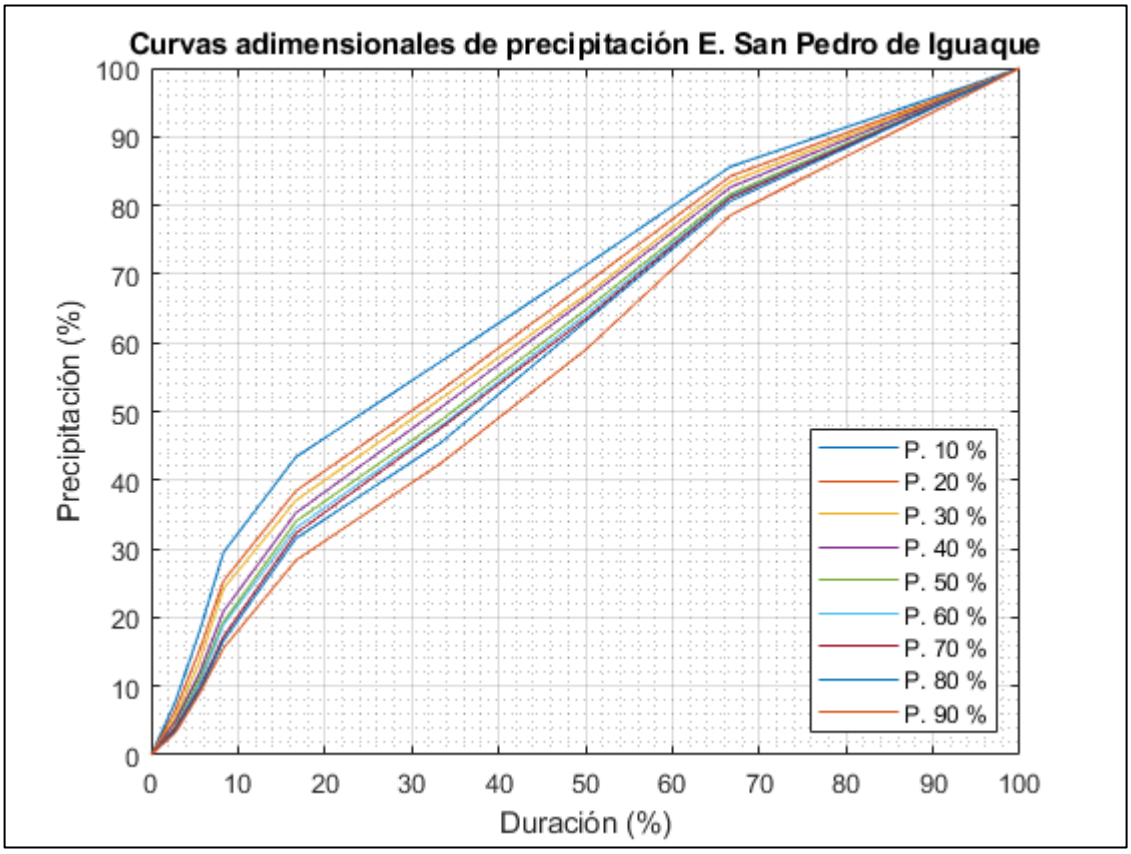
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación La Copa

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	6.00%	5.44%	4.99%	4.76%	4.56%	4.43%	4.07%	3.81%	3.45%
5.56%	14.90%	14.04%	13.81%	13.68%	12.20%	11.43%	10.89%	10.60%	9.31%
8.33%	26.87%	24.83%	24.39%	23.68%	21.94%	20.53%	20.22%	19.21%	16.76%
16.67%	40.51%	38.42%	37.05%	36.64%	35.75%	34.18%	32.48%	31.32%	25.32%
33.33%	55.01%	52.91%	51.99%	51.49%	50.50%	50.07%	48.34%	45.36%	38.52%
50.00%	70.48%	67.72%	67.51%	67.28%	66.45%	65.80%	64.91%	61.59%	55.63%
66.67%	86.45%	83.79%	83.54%	83.10%	82.93%	82.15%	81.35%	79.28%	76.21%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



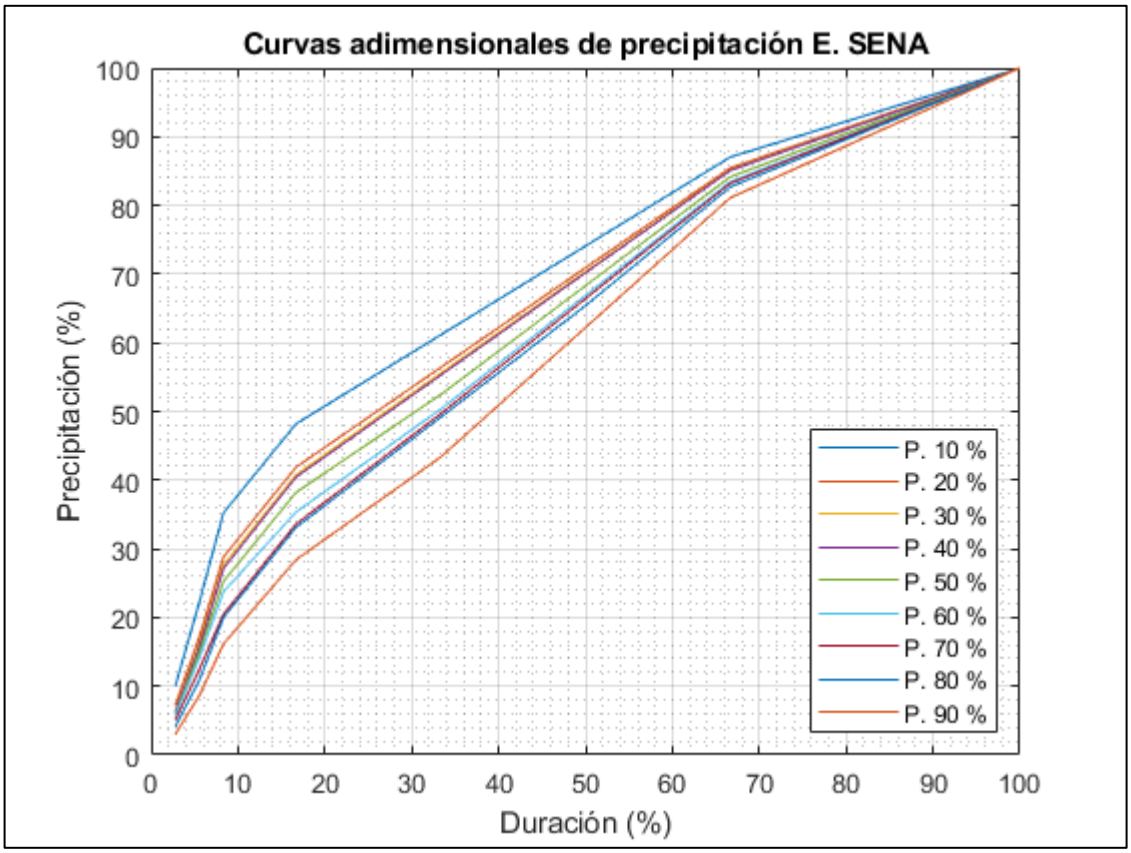
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación San Pedro de Iguaque

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	7.72%	6.49%	5.50%	4.90%	4.22%	3.99%	3.90%	3.51%	3.18%
5.56%	17.91%	15.19%	13.54%	11.94%	11.16%	10.43%	9.70%	9.35%	8.94%
8.33%	29.49%	25.35%	24.22%	20.92%	19.38%	18.97%	17.22%	16.63%	15.55%
16.67%	43.38%	38.45%	37.04%	35.25%	33.99%	33.05%	32.26%	31.53%	28.33%
33.33%	57.27%	53.04%	51.84%	50.54%	48.69%	47.88%	47.57%	45.45%	42.44%
50.00%	71.26%	68.58%	66.88%	66.28%	64.78%	64.08%	63.50%	63.10%	58.98%
66.67%	85.63%	84.25%	83.43%	82.64%	81.67%	81.33%	81.13%	80.63%	78.57%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



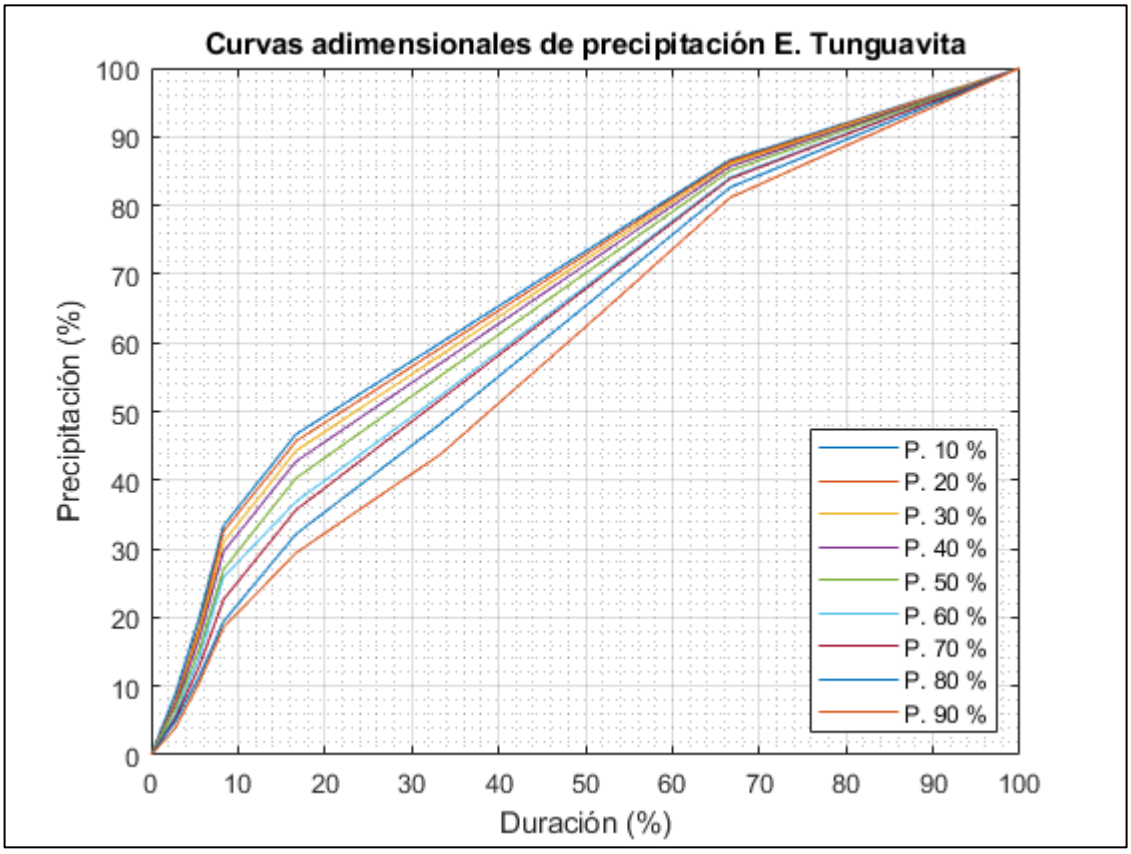
- Curvas adimensionales de precipitación para la estación SENA

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	10.00%	7.22%	6.32%	6.25%	5.90%	5.75%	5.08%	4.14%	3.00%
5.56%	22.29%	17.19%	16.13%	15.76%	15.04%	14.22%	12.48%	10.93%	8.67%
8.33%	35.24%	28.81%	27.65%	27.16%	25.27%	23.74%	20.50%	20.00%	16.16%
16.67%	48.20%	41.88%	40.78%	40.44%	38.20%	35.36%	33.60%	33.11%	28.40%
33.33%	61.15%	56.41%	55.58%	55.29%	52.46%	50.34%	49.67%	49.17%	43.36%
50.00%	74.10%	70.94%	70.39%	70.19%	68.31%	66.90%	66.44%	65.41%	62.24%
66.67%	87.05%	85.47%	85.19%	85.10%	84.15%	83.45%	83.22%	82.71%	81.12%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Tunguavita

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	8.85%	7.82%	7.32%	7.16%	6.80%	5.78%	5.32%	4.86%	3.91%
5.56%	20.10%	18.81%	18.03%	17.08%	15.45%	14.31%	12.97%	11.46%	10.63%
8.33%	33.38%	32.56%	30.99%	29.61%	27.03%	25.90%	22.63%	19.43%	18.58%
16.67%	46.68%	45.67%	44.27%	42.72%	40.28%	36.87%	35.65%	32.14%	29.40%
33.33%	60.01%	59.25%	58.20%	57.04%	55.21%	52.32%	51.74%	48.25%	43.78%
50.00%	73.34%	72.83%	72.14%	71.36%	70.14%	68.22%	67.83%	65.37%	62.32%
66.67%	86.67%	86.42%	86.07%	85.68%	85.07%	84.11%	83.91%	82.66%	81.16%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



- Curvas adimensionales de precipitación para la estación Vivero

Duración	P. 10 %	P. 20 %	P. 30 %	P. 40 %	P. 50 %	P. 60 %	P. 70 %	P. 80 %	P. 90 %
0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.78%	5.82%	5.20%	4.88%	4.59%	4.20%	4.07%	3.51%	3.38%	3.12%
5.56%	15.91%	14.14%	12.42%	11.36%	10.76%	10.41%	9.98%	9.24%	8.24%
8.33%	28.56%	26.67%	21.45%	19.78%	19.16%	18.56%	18.17%	17.17%	14.95%
16.67%	44.28%	42.22%	34.07%	33.30%	31.66%	30.96%	29.81%	28.80%	26.63%
33.33%	62.22%	58.08%	53.38%	52.58%	51.12%	48.74%	46.28%	45.05%	44.69%
66.67%	78.62%	77.07%	76.15%	74.09%	73.18%	72.61%	72.37%	70.60%	68.94%
100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

