



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO**

**REGIONALIZACIÓN DE CURVAS IDF EN LA SABANA OCCIDENTAL DEL
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**JAZMÍN ANDREA BECERRA OVIEDO
LIZA FERNANDA SÁNCHEZ MAZORCA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISION DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2015**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO**

**REGIONALIZACIÓN DE CURVAS IDF EN LA SABANA OCCIDENTAL DEL
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

**Presentado por:
JAZMÍN ANDREA BECERRA OVIEDO
LIZA FERNANDA SÁNCHEZ MAZORCA**

**Proyecto de grado en modalidad de “Investigación” presentado como
requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil**

**ASESORES
Ing. JOSÉ LUIS DÍAZ ARÉVALO
Ing. PEDRO MAURICIO ACOSTA CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C
2015**



Nota de Aceptación:

Director del proyecto
Ingeniero José Luis Díaz Arévalo

Codirector del proyecto
Ingeniero Pedro Mauricio Acosta Castellanos

Par Académico
Ingeniero José Luis Espinoza

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, Cundinamarca Julio de 2015



DEDICATORIA

Este trabajo de grado es gran parte de mi vida y el inicio de una etapa nueva en ella, es por eso que la dedico a Dios y a mi familia, mi mayor motor.

Jazmín A.



AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios que es la principal fuerza para dar cada paso en mi vida y alcanzar cada meta.

A mi Papá Álvaro Becerra Zamora, a mi mamá Concepción Oviedo y a mi hermana Edna, por sus esfuerzos, dedicación y apoyo en todo lo que me propongo y especialmente en este proceso que no fue fácil pero gracias a Dios y a ellos hoy puedo decir ¡Lo logré!, ¡Lo logramos!

Al profesor José Luis Díaz por su apoyo, orientación y ayuda siempre que la necesitamos.

Al ingeniero Pedro Mauricio Acosta por su asesoría, colaboración y por guiarnos con sus conocimientos en cuanto al tema.

Jazmín Andrea Becerra Oviedo



TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE ANEXOS	14
GLOSARIO	15
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	18
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	19
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	21
2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Área de estudio.....	25
2.2 Aproximación conceptual.....	25
2.3 Lugar y tiempo	26
2.4 Conceptos Básicos	26
2.4.1 Tormenta de diseño	26
2.4.2 Precipitación.....	26
2.4.3 Importancia de las precipitaciones en Ingeniería Civil.	27
2.4.4 Medida de precipitación.	28
2.4.5 Pluviómetro	28
2.4.6 Pluviógrafos	28
2.4.7 Registros Pluviográficos	29



2.4.8	Pluviogramas.....	29
2.4.9	Curvas IDF	29
2.4.9.2	Duración.....	30
2.4.9.3	Frecuencia.....	30
2.4.10	Frecuencia de inundación.....	30
2.5	Análisis de frecuencias aleatorias de valores máximos.....	30
2.5.1	Distribuciones de probabilidad.	30
2.5.2	Distribución Logarítmica de Hazen	31
2.5.3	Distribución de Gumbel.	32
2.6	Regionalización.	34
3.	METODOLOGÍA.....	35
3.1	Metodología.....	35
3.2	Descripción de las herramientas.....	38
	Promedio de las intensidades ($\bar{X}$) y desviación estándar (S_x)	38
	Reordenamiento de las intensidades	41
	Determinación del Periodo de Retorno (T).....	42
	Distribución de probabilidad Valor Extremo Tipo I EVI (Gumbel).....	43
	Intensidades máximas.....	43
	Pruebas de bondad de ajuste	44
4.	RESULTADOS.....	48
4.1	REGIONALIZACIÓN.....	49
4.2	Interpolación por regresión lineal múltiple	49
4.2.1	Interpolación de las intensidades.	49
4.2.2	Interpolación de los parámetros	54
4.2.3	Interpolación usando IDW	57
4.2.4	Interpolación Usando KRIGING.....	61
4.2.5	Interpolación usando SPLINE	63



CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	74
ANEXO A. Clasificación de la información	74
ANEXO B. Promedio de las mediciones ($\bar{x}$) y desviación estándar (s_x)	79
ANEXO C. Reordenamiento de las intensidades	80
ANEXO D. Intensidades máximas	85
ANEXO E. Pruebas de bondad de ajuste	87
ANEXO F. Desviación y evaluación	99
ANEXO G. Curvas idf	106
ANEXO H. Análisis de datos de excel	113



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de ventajas y desventajas de los métodos de funciones de distribución.....	33
Tabla 2. Estaciones Pluviográficas seleccionadas	35
Tabla 3. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación base aérea.....	37
Tabla 4. Media para cada duración estación Base Aérea	39
Tabla 5. Desviación Estándar para cada duración estación Base Aérea	40
Tabla 6. Parámetro de escala para EVI – Gumbel, OM. Estación Base Aérea.	40
Tabla 7. Parámetro de ubicación para EVI – Gumbel, OM. Estación Base Aérea.	41
Tabla 8. Reordenamiento de las intensidades-Estación base aérea.....	41
Tabla 9. Tabla de intensidades máximas para diferente duración y tiempo de retorno	43
Tabla 10. Pruebas de bondad de ajuste-Base Aérea	44
Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste. Estación Base Aérea	45
Tabla 12. Desviación. Estación Base aérea – Madrid Cundinamarca.....	46
Tabla 13. Evaluación de aceptación del ajuste. Estación Base aérea.....	47
Tabla 14. Reordenamiento de datos para una duración (D) de 5 min y periodo de retorno (TR) de 2 años.....	50
Tabla 15. Datos sin aplicar Ln para D 5 min y TR 2 años	51
Tabla 16. Datos aplicado Ln para D 5 min y TR 2 años	51
Tabla 17. Estadísticas de la regresión.....	52
Tabla 18. Análisis de datos obtenidos de la interpolación de las intensidades para una D de 5 min y TR 2 años.	52
Tabla 19. Análisis de datos obtenidos de la interpolación de las intensidades para una D de 5 min y TR 300 años.	53
Tabla 20. Coeficientes de Correlación para diferentes duraciones y TR300 años	54
Tabla 21. Reordenamiento de datos para una duración (D) de 5 min en la interpolación de parámetros.....	55



Tabla 22. Calculo de intensidades a partir de la interpolación de parámetros	56
Tabla 23. Intensidades obtenidas a partir de la interpolación de parámetros para una duración D= 5 min.....	56
Tabla 24. Datos de regionalización, interpolando parámetros para un TR=300 Años.....	57
Tabla 25. Interpolación usando IDW	60
Tabla 26. Interpolación usando IDW para TR 300 años y DR=5 min	60
Tabla 27. Interpolación usando Kriking D= 5 min y TR= 2 años.....	61
Tabla 28. Interpolación usando Kriking D= 5 min y TR= 300 años.....	63
Tabla 29. Interpolación alfa usando Spline D= 5 min	64
Tabla 30. Interpolación usando Spline D= 5 min y TR= 300 años.....	65
Tabla 31. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación La Florida	74
Tabla 32. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación base aérea.....	74
Tabla 33. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Granja Tabio	75
Tabla 34. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Providencia	76
Tabla 35. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Acapulco	76
Tabla 36. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Tibaitata.	77
Tabla 37. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Matima	78
Tabla 38. Promedio de las mediciones ($\bar{X}$) y desviación estándar (S_x).....	79
Tabla 39. Reordenamiento de las intensidades -Estación La Florida.....	80
Tabla 40. Reordenamiento de las intensidades-Estación base aérea.....	80
Tabla 41. Reordenamiento de las intensidades -Estación Granja Tabio	81
Tabla 42. Reordenamiento de las intensidades -Estación Providencia.....	81



Tabla 43. Reordenamiento de las intensidades -Estación Acapulco	82
Tabla 44. Reordenamiento de las intensidades -Estación Tibaitata.	83
Tabla 45. Reordenamiento de las intensidades -Estación Matima.....	83
Tabla 46. Tabla de intensidades máximas para diferente duración y tiempo de retorno	85
Tabla 47. Pruebas de bondad de ajuste-Acapulco	87
Tabla 48. Pruebas de bondad de ajuste-Base Aérea	88
Tabla 49. Pruebas de bondad de ajuste-Florida La.....	89
Tabla 50. Pruebas de bondad de ajuste-Matima	90
Tabla 51. Pruebas de bondad de ajuste-Providencia	91
Tabla 52. Pruebas de bondad de ajuste-Tibaitata	92
Tabla 53. Pruebas de bondad de ajuste estación Granja Tabio	93
Tabla 54. Pruebas de bondad de ajuste – Acapulco	93
Tabla 55. Pruebas de bondad de ajuste- Base aérea	94
Tabla 56. Pruebas de bondad de ajuste-Florida La	95
Tabla 57. Pruebas de bondad de ajuste-Matima.....	95
Tabla 58. Pruebas de bondad de ajuste-Providencia.....	96
Tabla 59. Pruebas de bondad de ajuste-Tibaitata	97
Tabla 60. Pruebas de bondad de ajuste- Tabio tenjo	98
Tabla 61. Desviación. Estación– Acapulco.....	99
Tabla 62. Evaluación de aceptación del ajuste. Acapulco	99
Tabla 63. Desviación. Estación Base aérea – Madrid Cundinamarca	100
Tabla 64. Evaluación de aceptación del ajuste. Base aérea	100
Tabla 65. Desviación. Estación– Florida La	101
Tabla 66. Evaluación de aceptación del ajuste. Florida La.....	101
Tabla 67. Desviación. Estación– Matima.....	102
Tabla 68. Evaluación de aceptación del ajuste. Matima.....	102
Tabla 69. Desviación. Estación– Providencia.....	103
Tabla 70. Evaluación de aceptación del ajuste. Providencia.....	103
Tabla 71. Desviación. Estación– Tibaitata.....	104



Tabla 72. Evaluación de aceptación del ajuste. Tibaitata.....	104
Tabla 73. Desviación. Estación Granja Tabio.....	105
Tabla 74. Evaluación de aceptación del ajuste. Estación Granja Tabio	105



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación Sabana Occidente y localización de las estaciones pluviográficas.....	25
Figura 2 Muestra de pluviogramas aportado por el Ideam.....	36
Figura 3. Curvas IDF. EVI-OM. Estación Base Aérea, Madrid Cundinamarca.....	48
Figura 4. Definición del área de estudio.....	58
Figura 5. Interpolación alfa usando IDW para D=5 min.....	58
Figura 6. Interpolación u usando IDW para D=5 min	59
Figura 7. Interpolación alfa Kriging D= 5 min	62
Figura 8. Interpolación u Kriging D= 5 min	62
Figura 9. Obtención de isolíneas alfa para D= 5 min	64
Figura 10. Obtención de isolíneas u para D= 5 min	65
Figura 11. Curva IDF-Estación La Florida.....	106
Figura 12. Curva IDF-Estación base aérea.....	107
Figura 13. Curva IDF-Estación Granja Tabio	108
Figura 14. Curva IDF-Estación Providencia	109
Figura 15. Curva IDF-Estación Granja Acapulco	110
Figura 16. Curva IDF-Estación Tibaitata	111
Figura 17. Curva IDF-Estación Matima	112
Figura 18. Opción "Análisis de datos" de Excel	113
Figura 19. Ventana de configuración-Regresión.....	113
Figura 20. Configuración de entradas y salidas	114
Figura 21. Resumen del análisis de regresión	115



LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Clasificación de la información.....	74
ANEXO B. Promedio de las mediciones ($\bar{x}$) y desviación estándar (s_x)	79
ANEXO C. Reordenamiento de las intensidades.....	80
ANEXO D. Intensidades máximas	85
ANEXO E. Pruebas de bondad de ajuste	87
ANEXO F. Desviación y evaluación.....	99
ANEXO G. Curvas idf	106
ANEXO H. Análisis de datos de excel	113
ANEXO I. Mapas de interpolación	116



GLOSARIO

Desviación Estándar: Es una medida que indica la dispersión de los datos para determina variable y en determinado intervalo. Comúnmente se utiliza para determinar la precisión de los datos.

Duración: Es uno de los parámetros característicos que describe las precipitaciones y hace alusión al tiempo de la lluvia.

Error: Es la desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. A partir del error se puede determinar la exactitud de las medidas.

Error relativo porcentual: Es el cociente entre el error absoluto y el valor exacto, multiplicado por cien. Este tipo de análisis del error suele ser un mejor indicador de la exactitud, puesto que es independiente de la escala usada.

Estación Meteorológica: Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente determinadas variables meteorológicas (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc.).

Frecuencia: Es una magnitud que mide el número de repeticiones u ocurrencia de un evento en determinada unidad de tiempo.

IDEAM: Siglas que corresponde al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Intensidad: El término intensidad es relativo a la magnitud que se esté midiendo. Por ejemplo, en el caso de la electricidad se define como el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo. En el caso puntual de este estudio, se relaciona con la cantidad de lluvia medida en mm por unidad de tiempo (minutos, horas, días, etc).

Interpolación: Es un subcampo matemático que se enfatiza en el análisis numérico, a partir del cual se obtienen nuevos puntos de información partiendo del conocimiento de una serie discretas de puntos.

Periodo de Retorno: Es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad.

Pluviogramas: Es un diagrama utilizado en la meteorología, en la que se muestra la distribución de las alturas de las lluvias acumuladas en el tiempo.



RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se aborda la regionalización de las curvas de intensidad-duración y frecuencia a partir del uso de diferentes modelos hidrometeorológicos, tomando como área de estudio la Sabana Occidental del departamento de Cundinamarca-Colombia. Para esto se realiza el respectivo cálculo de las curvas IDF a partir del análisis de las intensidades registradas en los pluviógrafos de siete estaciones meteorológicas ubicadas en la región, se utiliza el método de Gumbell y las respectivas pruebas de bondad de ajuste. Se aplican diferentes técnicas como la regresión lineal y la determinación de los coeficientes de correlación para la interpolación de las intensidades y los parámetros alfa y U; además de las metodologías definidas con el Software Arcgis (IDW, Kriging y Spline).

En la regionalización de las intensidades para la zona de estudio se aplica un método estadístico basado en la correlación lineal de las intensidades en función de las variables topográficas de la región (altitud, latitud y longitud). En este caso se analizan las diferencias encontradas usando como elementos de interpolación las intensidades registradas y los parámetros Alfa y u.

Posterior a ello se utiliza la herramienta Arcgis con el fin de obtener la interpolación de las intensidades, en función de las diferentes técnicas que este incluye en su análisis. Con esta información se realiza un comparativo entre los métodos estadísticos planteados en un comienzo con las distintas herramientas de interpolación dispuestas con Arcgis, con lo cual finalmente se estipula el mejor modelado que se adapta a la información de las estaciones.

Palabras Claves: Intensidad, interpolación, regionalización, IDF, Periodo de retorno.



ABSTRACT

The regionalization of intensity-duration-frequency (IDF) curves is presented in this research project through the use of different hydrometeorological models. This regionalization is built in the area of Western Sabana of Cundinamarca department in Colombia. For this, the calculation of IDF curves are made from the analysis of the intensities recorded in seven pluviographs meteorological stations in the region; the Gumbel method and the respective goodness fit test is used. Different techniques are applied such as linear regression and determining correlation coefficients for intensities interpolation, and the alpha and U parameters; as well as defined methodologies with Arcgis Software (IDW, Kriging and Spline).

To the intensities regionalization's in the area of study, statistical method based on the linear correlation of the intensities depending on the topography of the region variables (altitude, latitude and longitude) is applied. In this case the differences are analyzed using the registered elements of intensities and the parameters Alfa and U.

Subsequent to this, the Arcgis tool is used in order to obtain the interpolation of the intensities. With this information a comparison between statistical methods is done with various interpolation tools arranged with Arcgis, and thus finally to obtain the best model adapted to the information.

Keywords: Intensity, interpolation, regionalization, IDF, return period.



INTRODUCCIÓN

En la ingeniería civil el objetivo principal de una obra es mitigar riesgos o modificar ciertos aspectos circunstanciales para buscar la comodidad de los seres humanos, todo esto respetando el medio ambiente; en general, esto es lo que se busca con las obras de construcción; y las obras hidráulicas no son la excepción, ya que muchas de estas son elaboradas para el bien del medio.

En la planificación de obras hidráulicas resulta de gran importancia el análisis de uno de los rasgos climáticos más importantes que caracterizan un lugar de estudio, y es su régimen pluviográfico, entre muchos otros factores claro está. En la ingeniería civil, el estudio y reconocimiento de intensidades extremas de precipitación, su duración y su frecuencia resultan de vital importancia, ya que es una herramienta necesaria en la etapa de planificación de cualquier proyecto de obra civil, puesto que el comportamiento de esta variable puede resultar de gran ayuda para la detección de los cambios climáticos que se están presentando en la región de estudio y sus posibles efectos sobre el territorio.

El objeto de éste trabajo es la determinación de las lluvias en zonas donde no existe información o la información existente es insuficiente y, así estimar los caudales de diseño necesarios en la planeación de obras hidráulicas. El desarrollo del presente trabajo consiste inicialmente en reconocer las estaciones que cuentan con Pluviógrafos en la Sabana Occidental del Departamento de Cundinamarca y las que no, o en tal caso que exista información pero que sea insuficiente y poco confiable. Por otra parte, el estudio trata aspectos que amplían y documentan los registros y estudios existentes, como el análisis de distribución de lluvias extremas en la provincia occidental de Cundinamarca.

Académicamente, la relevancia de estos procedimientos se ve reflejada en el cálculo, diseño y análisis de las curvas IDF, ya que se convierte en una herramienta útil para la comprensión del significado hidrológico, a través de la aplicación de parámetros estadísticos.



1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio de precipitaciones máximas en una región es de gran utilidad para el desarrollo de proyectos de ingeniería, como en el caso de diseños para acueductos, presas, embalses y otros.

Este proyecto tiene como delimitación geográfica la Zona occidental del Departamento de Cundinamarca, la cual hace parte de las zonas parcialmente inundables en Colombia junto con los Departamentos de Magdalena, Santander, Cesar, Antioquia, Boyacá, Caldas, Tolima, Valle del Cauca, Risaralda, Norte de Santander, Chocó, Meta y Quindío. (IDEAM, IGAC, DANE).

Se planea con el presente trabajo de grado realizar una regionalización a partir de datos de precipitación existentes, y así elaborar una correlación por medio del método más adecuado para realizar la caracterización y manejo de información, ya que en algunas zonas de Cundinamarca no se cuenta con la información suficiente ya sea porque, en ocasiones las estaciones con los pluviografos están dañados o, la información recolectada no es confiable, entonces lo que se realiza es una regionalización para así poder tener información de dichas zonas, convirtiéndose esto en una herramienta útil para el desarrollo de cualquier proyecto, o la prevención de cualquier evento extremo que pueda suceder. Adicionalmente, la importancia de construir curvas IDF radica en que estas no se encuentran actualizadas en el IDEAM, entonces también se convierten en una gran herramienta para el ingeniero o la persona que necesite esa información.

Con estas curvas es posible conocer la cantidad de lluvia que cae en determinado periodo de tiempo, las duraciones que se esperaba tomar fueron de 5, 10, 20, 40, 60, 120, 180, 220, 260, 320. Con un periodo de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 300 años este periodo se toma con el fin de que sean mucho más útiles en obras hidráulicas comunes.



1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF), y la regionalizar los parámetros para la Sabana Occidental del Departamento de Cundinamarca.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las metodologías conocidas que nos pueden permitir la regionalización en las curvas IDF.
- Construcción de curvas IDF con la información existente en las estaciones que fueron seleccionadas para la zona de estudio.
- Desarrollar aplicación web donde se observe la estación con su respectiva curva IDF.



1.3 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

El estudio de caudales máximos es uno de los temas con mayor desarrollo en el área de hidrología, esta situación se presenta ante la posibilidad de tener una herramienta en la que se pueda estimar la ocurrencia de algún evento máximo como lo son las llamadas “crecidas” o inundaciones; todo esto se realiza con el fin de proteger a la población mediante el diseño y construcción de obras hidráulicas. Para esto resulta conveniente reconocer las investigaciones que se han realizado y los resultados que se han obtenido en cuanto al tema de estudio.

Trabajos como el realizado por (Mendez, A.R and J.V.) en el que se propone una metodología, que se basa en el uso de información de las estaciones pluviométricas en la región, y la utilización de curvas IDF de una estación en un lugar con comportamiento hidrológico semejante a la zona de estudio; esta metodología brinda una gran alternativa ya que plantea la utilización de sólo un puesto pluviográfico, como se sugiere el uso de las curvas IDF de resistencia para determinar sus homólogas en sitios sin datos pluviográficos.

Investigaciones como la formulada por (Caamaño Nelli, Eliana and Carlos) en el artículo sobre lluvia de diseño sin atenuación de datos locales para una Cuenca, se realiza con el objetivo de evaluar las precipitaciones medias de la región y así obtener el nivel de inundación a partir de la lluvia de diseño, debido a la escasez de información. En este artículo se comparan los resultados de dos procedimientos, uno convencional y uno experimental.

La metodología convencional consiste en que predecir la intensidad media de lluvia sobre una cuenca, es deducir la función IDF en el presunto centro del evento (o transponerla hasta allí desde un pluviógrafos) y reducir el valor que esa función indique con un algoritmo de atenuación de área. El decaimiento de la intensidad local es un recurso forzado por la ausencia de información territorialmente distribuida. Por otra parte, la metodología experimental se limita a derivar o transponer la i-d-T, no a un pluviómetro real, si no a uno ficticio, que registra la precipitación media área sobre la cuenca. Esta vía directa es la correcta, puesto que opera siempre con la variable que interesa, que es la intensidad media de (Caamaño Nelli, Eliana and Carlos)

En otro estudio titulado (Catalini Carlos, G. R Carlos M. and Virginia) por Catalini se trabaja con una metodología que realiza el análisis de superficies tendenciales,



empleado para generar mapas temáticos que permite salvar el inconveniente típico de información puntual de base, es decir la existencia de marcadas crestas conocidas como “Ojos de Buey”, las cuales denotan el origen puntual de la información de base. Este modelo originalmente fue desarrollado para la transposición en función de una red de polígonos de Thiessen, la cual permitía su extrapolación sobre el área de cobertura. (Catalini Carlos, G. R Carlos M. and Virginia)

En la tesis de maestría desarrollada por (Ganancias) sobre metodologías de regionalización hidrológica en la región Sur – oeste de la provincia de Córdoba, se estudian las características de homogeneidad regional tomando datos de nueve estaciones divididas en dos partes; es decir; una cuenca que cuenta con un sistema hidrológico representativo de siete estaciones hidrométricas del río Chocancharagua con registros de datos de 22 a 43 años, y por otra parte utilizaron datos de la estación llamada UmePay sobre el río Grande con datos de la estación La Suela sobre el río del mismo nombre.

En el desarrollo de la tesis para el estudio de las características de homogeneidad se siguió el procedimiento de los trazos multidimensionales desarrollado por ejemplo en (Andrews), donde se demostró homogeneidad hidrológica en 7 de las estaciones, y las dos estaciones restantes no encajaban dentro de una región homogénea, con lo cual se opta por que la aplicación de las técnicas regionales se realice en las 7 estaciones hidrológicamente homogéneas, y es así que las técnicas de regionalización empleadas fueron avenida índice, estaciones año, Box-cox, regresión, correlación lineal y la técnica de modelos estandarizados de probabilidad pesada, estas técnicas se desarrollaron en cinco estaciones de las 7 estudiadas.

Para cada una de las técnicas se efectuó el procedimiento en cinco oportunidades. En cada ocasión se dejó de lado una estación y se aplicó la técnica a las otras cuatro estaciones. Esta maniobra de cálculo permitió obtener los valores de caudal para cada estación por medio de análisis regional, y compararlo con los valores correspondientes a la misma estación obtenidos por análisis de frecuencia puntual. (Ganancias)

Al evaluar los resultados de dicha tesis se observó que una de las 7 estaciones homogéneas alteran los resultados cuando se incluye, y por el contrario mejoran



cuando no se analiza, es así que se opta por descartarla para el análisis de caudales aun cuando ya ha sido aceptada por el método de Andrew's.

Finalmente, la importancia de dicha tesis radica en que la provincia de Córdoba y en general en la república de Argentina existe gran dificultad en conseguir datos hidrométricos, no solo en cuanto a que es necesaria la existencia de estaciones que registren los datos de caudales en diferentes regiones, sino también es necesario que dichos datos sean válidos tanto en calidad como en cantidad.

Por otra parte revisando documentación sobre el tema en Colombia encontramos el realizado por (Pulgarín) , trabajo titulado (Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad-frecuencia y duración basadas en las propiedades de escala de la lluvia Región Andina Colombiana); en el que los resultados demuestran que las metodologías basadas en la propiedad de escalamiento simple, estiman de mejor manera las curvas IDF.

En dicha investigación se trató de separar las metodologías que han sido utilizadas tradicionalmente en la que las herramientas son usadas de forma indiscriminada es decir pasando por un modelo un poco más elaborado desde el punto de vista teórico basado en la invarianza de la lluvia, hasta llegar a teorías poco usadas como las funciones estables, pero que describen de mejor manera el comportamiento de sistemas altamente variables. (Pulgarín)

En cuanto al intento de regionalizar fórmulas basadas en elementos hidrológicos como la precipitación se concluye que resulta una labor complicada no sólo porque Colombia es un país con climatología variable sino también porque se pretenden entender cómo funcionan dichas variables, los principios que las rigen y sus relaciones observables para lograr escoger las metodologías y modelos adecuados para describir cierta variabilidad.

Adicionalmente, uno de los resultados de dicha investigación concluye que al momento de estimar curvas IDF, el proceso más simple es el tradicional, es decir contando con las series de cada duración y aplicándole una función de distribución de probabilidad. Es un proceso simple si es realizado en programas de computador como Excel y demás; pero, la dificultad radicaba en que los registros no eran fáciles de recopilar.

En otra investigación realizada en la Universidad Nacional por (Aristizabal) sobre estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático que tiene como



propósito evaluar la capacidad de pronóstico futuro de los modelos utilizados a nivel mundial. Esta tesis de posgrado resulta interesante porque en el capítulo 4 se realiza la construcción de curvas IDF validadas en observaciones históricas de precipitaciones en que se incluyen análisis de correlación y estimación de informaciones mutuas, es decir es una tesis bastante completa.

Por otra parte, la estimación de las curvas IDF para el Siglo 21 se realizó sólo para registros diarios (24 horas) empleando la función de distribución generalizada de valor extremo (GEV) y la estimación de los parámetros se realizó con la metodología de los L-momentos tanto para la simulación de control como para los escenarios de cambio climático. Para la evaluación de los cambios futuros en las curvas IDF se emplearon tres indicadores: el error cuadrático medio, la distancia de Mahalanobis y la construcción de mapas porcentuales de cambio para cada periodo de retorno. Los resultados indican que, ante los escenarios de cambio global analizados, habría grandes cambios en las tormentas más intensas para ambos escenarios de cambio climático. (Aristizabal)

Para el Departamento de Boyacá se encuentra el trabajo de grado desarrollada por (Campos) titulado “Construcción de Curvas IDF, Mediante Interpolación y Parámetros de ajuste, Aplicación al Departamento de Boyacá, Colombia”, cuyo objetivo es el de comparar el método simplificado con los parámetros de ajuste aplicados que permitan la regionalización de Curvas IDF.

En este trabajo de grado se hace uso del método de momentos ordinarios y el método de parámetros, del que se concluye que el primero presentó mayores porcentajes de error comparados con las estaciones de Tunja, y el método de parámetros concluye que se requiere mayor complejidad matemática.

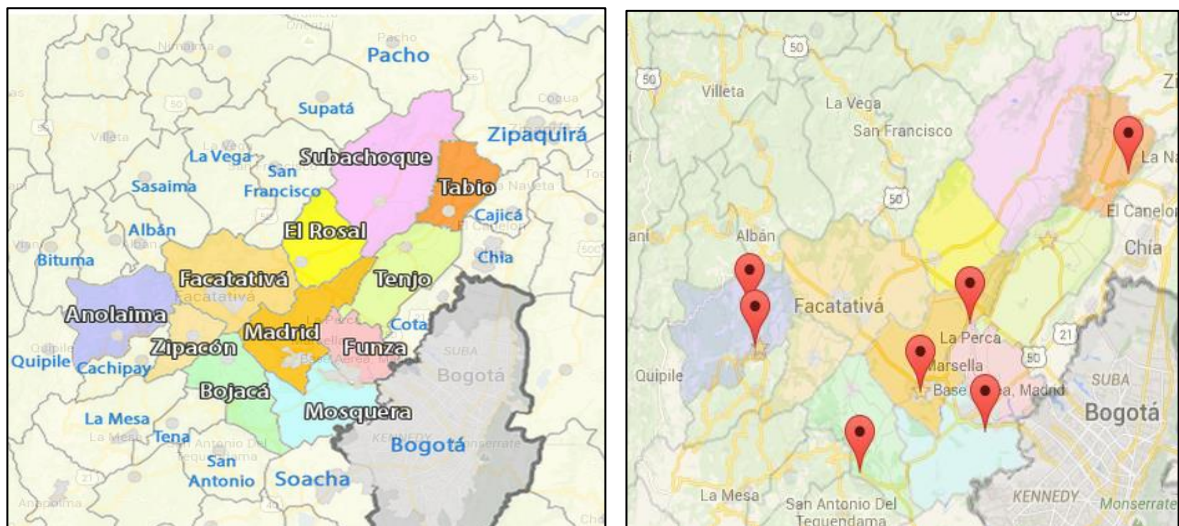


2. MARCO TEÓRICO

2.1 Área de estudio

Este trabajo se realizó en la provincia de Sabana Occidente y centro del Departamento de Cundinamarca, que cuenta con 8 municipios y que limitan al norte con las provincias de Gualivá y Rio negro; por el sur con la provincia de Soacha; por el occidente con la provincia de Tequendama; y al oriente con Bogotá y la provincia Sabana Centro. Su extensión corresponde a 1.027 km², que atañe el 4,0% del área total del Departamento, lo que la ubica como la provincia con menor tamaño y cuya capital de provincia es el municipio de Facatativá.¹

Figura 1. Delimitación Sabana Occidente y localización de las estaciones pluviográficas.



Fuente: <http://curvasidf.teknolucion.net/index.html>,

2.2 Aproximación conceptual

Es importante señalar que el estudio de las curvas IDF es uno de los primeros pasos que debe seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como el diseño de un drenaje urbano, en la determinación de crecientes máximas. Las curvas IDF son la forma más común de hacerlo, utilizando una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o

¹ (Secretaría de Planeación de Cundinamarca)



profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retorno apropiados para la obra y el sitio, esta relación se denomina curvas IDF. (Ven Te Chow)

2.3 Lugar y tiempo

El desarrollo de este proyecto se ejecutó en el departamento de Cundinamarca en la Ciudad de Bogotá, se partió de la información proporcionada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) de los siguientes municipios: Anolaima, Madrid, Tabio, Tenjo, Bojacá, Mosquera; que cuentan con sus respectivos pluviografos, la duración de este proyecto fue de 1 año contados desde el mes de Julio de 2014.

2.4 Conceptos Básicos

2.4.1 Tormenta de diseño

La tormenta de diseño se puede basar en registros históricos de precipitación en un sitio, o puede construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes. Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional para determinar los caudales picos de aguas lluvias, hasta el uso de histogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvias de escorrentía en embalses de detención de aguas urbanas o en el diseño de vertederos en proyectos que involucren grandes embalses. (Ven Te Chow)

2.4.2 Precipitación

La precipitación hace alusión a toda aquella agua meteórica que se recoge sobre la superficie terrestre, la cual se derivan como: lluvia, nieve y granizo. También se considera en este conjunto el llamado rocío, el cual en diferentes zonas del país llega a tener un alto valor de participación en las precipitaciones (Montenisos).

En cuanto al origen de las precipitaciones, se pueden distinguir los siguientes tipos o clases:

- **Ciclónicas:** Son producto de borrascas o ciclones, siendo estas las que generan el mayor volumen de precipitaciones.
- **De convección:** Se originan a partir del ascenso de bolsas de aire caliente.
- **Orográficas:** Se presentan cuando las masas de aire húmedo se ven obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa.



A partir del análisis de las precipitaciones, se pueden establecer y ejecutar estudios hidrológicos regionales, con lo cual se cuantifica los recursos hídricos que constituyen la primordial fuente de agua en las cuencas (Méndez, Jorge, Návar, José y González, Vladimir).

2.4.2.1 Tamaño y Forma.

Las gotas de lluvia tienen tamaños en los límites de 0.1mm hasta los 9mm de diámetro, y por encima de ese tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube, y su forma es esférica. Cuando una gota de lluvia aumenta de tamaño, su forma se hace más redondeada, con un corte transversal más grande. (Planeación)

2.4.2.2 Intensidad y Duración.

Por lo general la intensidad y duración de la precipitación están inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

2.4.2.3 Intensidad y Área.

La intensidad de precipitación se refiere a la razón del incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo, esta puede ser clasificada en ligeras, moderadas y fuertes; en cuanto al área, sucede que donde ocurre la precipitación si el área es grande ésta precipitación suele ser menos aguda que cuando cae sobre un área pequeña y de igual forma con el tamaño de la gota; es decir, cuando ocurren tormentas de intensidad alta el tamaño de gota es más grande que cuando ocurren las tormentas de intensidad baja.

2.4.3 Importancia de las precipitaciones en Ingeniería Civil.

Los factores climáticos en general producen situaciones que afectan muchas veces obras de Ingeniería civil como por ejemplo las hidráulicas, es por esto que cuando se quiere diseñar y/o planificar cualquier tipo de obra civil es de principal importancia garantizar la vida útil de estos; por ejemplo, los vertedores de excedencias de las presas, garantizará su correcto funcionamiento y la seguridad de las poblaciones que se sitúan aguas abajo. El cálculo de las lluvias extremas,



de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evacuar volúmenes de agua que podrían producir inundaciones. (wikipedia)

2.4.4 Medida de precipitación.

La medición de la precipitación en su mayoría registra la altura a la cual llega el agua caída sobre una superficie plana y horizontal, en dicha superficie no deben existir infiltraciones y evaporaciones, ya que si esta situación sucede la medición puede ser errónea. El método estándar de medir la lluvia o nevada es un pluviómetro estándar, que puede ser de plástico o metal, y de entre 100mm y 200mm.

2.4.5 Pluviómetro

Es un instrumento concebido para la recolección y medición de agua lluvia, en la actualidad se conocen dos tipos de pluviómetros, el más utilizado es el pluviómetro estándar en el cual el cilindro interior se llena con 25mm de lluvia, que al desbordar fluye en el cilindro externo. Los calibradores plásticos tienen marcas en el cilindro interior con una resolución de 0.25mm, mientras que los calibradores metálicos requieren el uso de un palo diseñado con marcas de 0.25mm. Para quienes quieren medir la precipitación de una forma casera y económica, es posible hacerlo con una lata cilíndrica con lados rectos, pero su exactitud dependerá de la regla que se use para medir la lluvia. Cualquiera de los pluviómetros mencionados puede ser construido en casa.

2.4.6 Pluviógrafos

Son instrumentos que registran la precipitación automáticamente y de manera continua en intervalos de tiempo de hasta una semana. Estos medidores son más costosos y más propensos a error, pero pueden ser la única forma posible para ciertos sitios remotos y de difícil acceso.

Estos elementos sirven para registrar continuamente la caída de precipitación y en general se utilizan para determinar las horas de inicio y terminación de la lluvia y para determinar la intensidad de la lluvia a cualquier hora del día. En el caso de Colombia el pluviografos más utilizado es el de flotador o balancín.



2.4.7 Registros Pluviográficos

Cuando tenemos los registros continuos de los datos de alturas de precipitación a medida que pasa el tiempo, estos registros nos permiten realizar los análisis necesarios de las tormentas en los sitios donde se encuentran las estaciones pluviográficas. Este análisis se realiza a partir del estudio de pluviogramas.

2.4.8 Pluviogramas

Son gráficos sobre los cuales la plumilla de Pluviógrafos registra la lluvia acumulada, y la lectura de estas graficas determina la cantidad de lluvia o precipitación que se presentó en un lapso determinado. (Campos)

2.4.9 Curvas IDF

Como su nombre lo dice estas son curvas, resultado de la unión de ciertos puntos representativos de la intensidad media o profundidad en intervalos de diferentes duraciones, y que a su vez pertenecen a un mismo periodo de retorno, en las que se observa de manera gráfica estos registros de Intensidades, Duraciones y Frecuencias (IDF). Es una metodología importante en todos los análisis hidrológicos en los que se pretenden estimar eventos máximos, ya sea por métodos empíricos e hidrológicos.

En Colombia el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es el encargado de la información registrada en cuanto al clima, y eventos de intensidad, duración y frecuencia que ocurren a nivel nacional; también existen a nivel regional como EPM, acueducto de Bogotá y otros

2.4.9.1 Intensidad

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la cantidad de precipitación presente por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h). Se puede representar como intensidad instantánea o como intensidad promedio en el tiempo de duración de la precipitación. La intensidad promedio puede ser calculada de la siguiente forma (Ven Te Chow) p. 465, 466.

$$i = \frac{P}{Td} \quad Ec. 1$$



Dónde:

- P = Es la profundidad de lluvia en mm o pulgadas
- T_d = Representa la duración que por lo general es en horas.

2.4.9.2 Duración

La duración se representa en unidades de tiempo, por lo general se utiliza en minutos y en algunos casos se da en horas; la duración no es más que el tiempo que dura la tormenta o evento de precipitación, es decir el tiempo transcurrido entre el comienzo y el fin de la tormenta (Morán). Cuando se desean construir las curvas IDF esta información es representada en el eje 'x' en las gráficas.

2.4.9.3 Frecuencia

La probabilidad de que se produzca un evento, con una intensidad y duración especificada, se llama período o frecuencia de retorno. La intensidad de una tormenta puede predecirse para cualquier período de retorno y duración de la tormenta, a partir de tablas basadas en datos históricos de posición. (Guillermo Pérez)

2.4.10 Frecuencia de inundación

No hay ningún modo de predecir cuándo tendrá lugar una inundación y de qué tamaño será, pero los eventos de inundaciones pasadas pueden proporcionar alguna información en cuanto a lo que se podría esperar. (Guillermo Pérez)

2.5 Análisis de frecuencias aleatorias de valores máximos

2.5.1 Distribuciones de probabilidad.

Estos métodos se basan en calcular la magnitud de la avenida máxima asociada a una probabilidad de ocurrencia, ello por medio de un registro de los gastos máximos anuales los cuales se ajustan a una función de distribución de probabilidad. Con el resultado obtenido será posible extrapolar su ocurrencia correspondiente a diversos periodos de retorno.

Los métodos probabilísticos han resultado tener una gran acogida, puesto que la información hidrométrica cada día tiene mayor confiabilidad y sus resultados generan un mayor grado de precisión.



En general las funciones de distribución que hacen parte de los métodos estadísticos se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Distribuciones para valores medios y con la tendencia a un comportamiento Normal o de Gauss, usados comúnmente para fenómenos como la temperatura, las presiones, los escurrimientos anuales y mensuales, etc.
- Distribuciones para muestras pequeñas ($n=30$), como la Chi cuadrado y la T-Student.
- Distribuciones para valores extremos de fenómeno aleatorios cuya ocurrencia están asociados con gastos máximos anuales, precipitaciones máximas en 24 horas, temperaturas mínimas y máximas, etc.

En este mismo campo, son las distribuciones de Hazen y Gumbel, tal vez las más utilizadas en la Hidrología Estocástica. Estas distribuciones están caracterizadas por diversos parámetros estadísticos de la serie, tales como la media, la desviación estándar o típica, el coeficiente de asimetría, etc. (Ambriz; Acosta)

2.5.2 Distribución Logarítmica de Hazen.

El método expuesto por Allen Hazen es aconsejable usar para el análisis de datos de aforo de avenidas. Los coeficientes de oblicuidad usados en la distribución Hazen fueron diseñados considerando que los logaritmos de la variable siguen una distribución normal.

Hazen establece que en algunas ocasiones la curvas obtenidas pueden no ser convenientes a los datos y entonces, sugiere probar varios coeficientes de oblicuidad o asimetría (ac), escogiendo en ultimas el que mejor se acople a la distribución

Para poder usar este tipo de distribución es necesario evaluar los siguientes tres parámetros: media (m), desviación estándar (S) y coeficiente de oblicuidad (ac). Por su parte, el valor x correspondiente a un periodo de retorno está dado por la siguiente ecuación:

$$X = m + k(s) \quad Ec. 2$$

Donde k es el factor de oblicuidad de la curva de Hazen y su magnitud se determina a partir Tablas. (Ambriz; Acosta)



2.5.3 Distribución de Gumbel.

La distribución de valores extremos tipo I se ha implementado a partir de los trabajos de (Fréchet), quienes hallaron que para n valores extremos ($x_1, x_2, \dots, x_n$) máximos o mínimos, observados en N muestras de igual tamaño cuando N y n se aproximan al infinito, la probabilidad de que cualesquiera de los valores extremos n , sea inferior a un valor x , está representada por la siguiente expresión:

$$P(X \geq x) = e^{-e^{-y}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde x es la variable aleatoria cuyo campo de acción es de $-\alpha, +\alpha$; e es la base de los logaritmos naturales, y es igual a la variable reducida y por definición es igual a $y = c(x - a)$, a es el parámetro de escala o moda de distribución, y c es igual al parámetro de forma.

A la distribución antes relacionada se le denomina distribución Gumbel y fue la primera en aplicarse al análisis de frecuencia de gastos máximos. Esta distribución es muy usada por su aplicación fácil, pues solo necesita del cálculo de la media y de la desviación estándar de la muestra; sin embargo tiene como inconveniente el ser algo rígida al solo depender de los dos parámetros mencionados y tener un coeficiente de asimetría constante e igual a 1.14.

Para estimar los parámetros c y a , Gumbel propone utilizar las siguientes expresiones:

$$c = \frac{\varphi n}{s} \quad \text{Ec. 4}$$

$$a = X_p - \frac{1}{c} X_n \quad \text{Ec. 5}$$

Donde φn y X_n son constantes teóricas que dependen del tamaño n de la muestra.

En la Tabla 1, se muestra de forma generalizada las ventajas y desventajas de los métodos mencionados en este capítulo.



Tabla 1. Descripción de ventajas y desventajas de los métodos de funciones de distribución.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
Hazen	- Incluye diferentes parámetros de análisis. - Analiza los parámetros a partir de la media, la desviación estándar y el coeficiente de oblicuidad.	- Es en parte un método experimental, ya que los datos obtenidos dependen de la correcta selección del coeficiente de oblicuidad o asimetría. - Fue diseñado exclusivamente considerando que los algoritmos de la variable siguen una distribución normal.
Gumbel	- Es fácil de aplicar. - Incluye diferentes parámetros de análisis. - Analiza parámetros a partir de los valores máximos y mínimos de N muestras; Al igual que la media y la desviación estándar	- Es algo rígido pues proporciona un coeficiente de asimetría constante, cuyo valor es de 1.14.

Fuente: Autores.



2.6 Regionalización.

En primer lugar resulta importante conocer la definición de regionalización y los aspectos que esta metodología requiere para el correcto desarrollo del tema.

La Regionalización es una metodología, un procedimiento o una intervención para modificar el orden territorial de un Estado en unidades territoriales más pequeñas. (Saavedra). La regionalización implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes, y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental, pues permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado.

El método de Regionalización de Parámetros resulta una buena metodología cuando es necesario un análisis de frecuencias de las variables con valores extremos en hidrología, como caudales y precipitaciones; este método resulta de fácil aplicación puesto que los requerimientos de información son más flexibles que los del método de multiescalamiento.

En investigaciones realizadas sobre el tema Regalado (2004) en su trabajo de tesis doctoral sobre regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrométricos de estimación de caudales, comenta que el enfoque regional lo que busca es aumentar el número de datos de otras estaciones en la que se considera que su distribución de frecuencias es similar, es decir busca una región homogénea en ciertas características hidrológicas (Regalado).

En el proyecto de investigación anteriormente mencionado, cuyo objetivo es el de reconocer la metodología adecuada para estimar datos en zonas en las que no se cuenta con estaciones pluviográficas en España, se concluye que para la estimación de la precipitación máxima diaria anual para distintos periodos de retorno es necesaria la revisión de las curvas IDF en España, porque no solo esto mejora los ajustes en aquellas estaciones, sino que también permite manejar una red de estaciones y datos pluviográficos más extensos.

La metodología de regionalización es comúnmente usada en hidrología para analizar al máximo determinada información hidrológica, y a través de la misma transferirla de un punto a otro en la que la información es insuficiente, es decir permitir el “traspaso” de dicha información de un punto con información a otro sin información suficiente, dentro de un área con comportamiento hidrológico semejante.



3. METODOLOGÍA

3.1 Metodología

El proceso de ejecución del proyecto se explica a continuación de manera detallada, es importante resaltar que se toma la estación Base aérea del municipio de Madrid – Cundinamarca, aclarando que esto se elaboró para 7 estaciones que se encuentran en los anexos.

3.1.1 Selección de la Zona de estudio.

En el departamento existen 15 provincias en las que se agrupan 117 municipios; en el presente proyecto se toma la provincia de la sabana occidental y la sabana centro.

3.1.2 Delimitación de la Zona de estudio.

Para el estudio se toman 7 estaciones con información completa. Por ello para la selección de la información se establece como criterio el tipo, cantidad, y continuidad de los datos además que fueran municipios con cierta cercanía entre ellos, tomando como referencia de análisis el periodo comprendido entre los años 1986 y 2007.

3.1.3 Reconocimiento de los sitios que cuentan con información pluviográfica.

En el departamento de Cundinamarca las entidades donde se pueden obtener estos registros pluviográficos son numerosos, se cuenta con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), La CAR, empresa de acueducto y alcantarillado y hasta personas naturales pueden tener estaciones pluviográficas, para el presente proyecto nos dirigimos a el IDEAM.

Tabla 2. Estaciones Pluviográficas seleccionadas

CÓDIGO	ESTACIÓN	MUNICIPIO	LATITUD				LONGITUD			
			Gr.	Min.	Seg.	D	Gr.	Min.	Seg.	D
21205670	Florida La	Anolaima	04	46	15,20	N	74	26	15,50	W
21205770	Base Aérea	Madrid	04	43	43,70	N	74	16	21,00	W
2120163	Granja Tabio	Tabio	04	55	59,10	N	74	03	56,20	W
21205980	Providencia Gja	Tenjo	04	47	32,60	N	74	12	83,30	W



21206280	Acapulco	Bojacá	04	39	13,80	N	74	19	59,00	W
21205420	Tibaitata	Mosquera	04	41	29,10	N	74	12	32,40	W
21206180	Matima	Anolaima	04	48	19,80	N	74	26	36,50	W

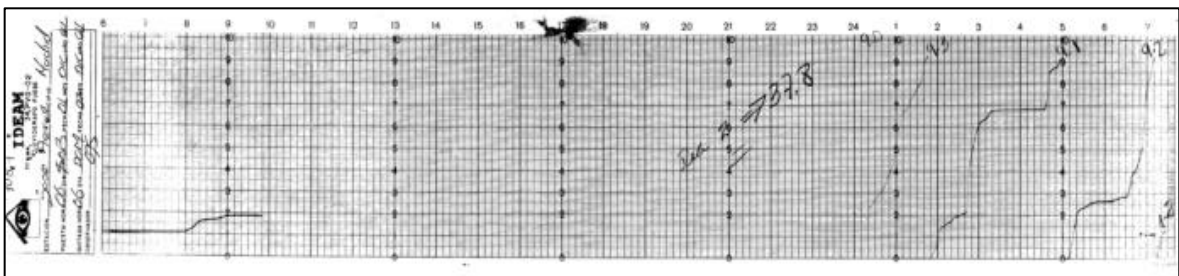
Fuente: Catálogo red estaciones hidroclimáticas – IDEAM

3.1.4 Recolección de los registros de lluvia acumulada en cada año para las estaciones seleccionadas.

En las estaciones seleccionadas, se encontró que las bandas pluviográficas presentaron registros defectuosos, por el paso del tiempo, lo que llevó a seleccionar aquellos años que tuvieran una información pluviográfica más completa.

Estos datos pluviométricos e información necesaria para el desarrollo de esta investigación fueron obtenidos en el IDEAM. Para este proyecto se recopilaban alrededor de 441 pluviogramas correspondientes a las tormentas registradas en 7 estaciones del Departamento de Cundinamarca. Para cada una de las estaciones se recopilaban tres tormentas por año, entre los años 1986 y 2007. Cada uno de los pluviogramas fue “escaneado” y posteriormente digitalizado.

Figura 2 Muestra de pluviogramas aportado por el Ideam.



Fuente: Documento digitalizado por Andrea Becerra Oviedo.

3.1.5 Clasificación de la información pluviográfica obtenida para las siete estaciones para construir las curvas IDF.

A partir de la información facilitada por el Ideam, se procedió a analizar los pluviogramas de cada estación, es decir, extraer numéricamente las gráficas en tablas de Excel, con la finalidad de obtener las precipitaciones máximas para cada duración. Cabe mencionar, que para las estaciones de Base Aérea, Providencia,



Tibaitata y Matima se emplearon Pluviógrafos con información de 21 años; para la Florida, Granja Tabio, y Acapulco información de 10 años.

Finalmente se analizaron los aguaceros por estación observados entre los años 1986 y 2007 aproximadamente. Luego de extraer las precipitaciones máximas diarias, (se observa en la Tabla 3), para cada uno de los años de manera general, se hizo un balance y se agrupan las precipitaciones máximas anuales de cada una de las duraciones, para su respectivo año. Se aclara que este mismo procedimiento se efectuó para todas las estaciones.

Tabla 3.Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación base aérea.

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1986	15,9	15,2	11,7	7,4	7,0	6,6	6,0	4,5	3,8	3,4	3,1
1987	30,0	20,7	15,6	8,0	7,0	6,0	4,4	3,0	2,2	1,9	1,5
1988	5,2	4,8	3,5	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
1989	112,8	59,4	32,7	23,4	17,8	12,2	7,6	5,1	3,8	3,2	2,5
1990	20,1	17,8	13,2	10,9	8,3	5,7	3,6	2,8	2,3	2,1	1,9
1991	12,3	9,1	6,9	5,6	4,6	3,6	3,6	3,0	2,7	2,5	2,4
1992	27,3	21,2	18,1	12,6	11,8	11,1	6,5	4,3	3,3	2,7	2,2
1993	38,4	24,6	19,8	16,2	12,2	8,1	4,1	2,8	2,2	1,9	1,5
1994	7,2	7,0	6,2	4,5	4,4	4,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
1995	42,0	26,7	18,4	12,0	10,9	9,7	4,9	3,2	2,4	2,0	1,6
1996	15,0	13,0	12,0	9,5	8,6	7,6	6,0	4,4	3,7	3,3	2,9
1997	6,6	4,8	4,7	4,5	4,0	3,6	3,4	3,1	3,0	2,9	2,9
1998	22,5	18,4	16,2	10,0	7,1	4,2	3,8	3,4	3,2	3,1	3,0
1999	3,0	3,0	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	1,9	1,6	1,5	1,3
2000	75,6	51,4	48,6	40,2	36,1	31,9	16,0	10,6	8,0	6,6	5,3
2001	72,0	54,0	42,9	33,4	28,8	24,2	13,6	9,2	6,9	5,8	4,7
2002	17,1	16,4	15,6	10,8	9,9	9,0	6,6	5,0	4,2	3,8	3,5
2003	30,0	24,0	21,0	19,0	15,5	12,0	8,9	6,8	5,8	5,3	4,8
2004	3,6	2,3	2,1	1,7	1,4	1,2	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6
2005	21,3	21,2	14,9	13,8	13,5	13,2	13,2	9,4	7,5	6,5	5,6
2006	15,6	13,5	9,6	9,0	7,0	4,9	2,5	1,7	1,2	1,0	0,8
2007	10,2	6,3	6,1	4,2	3,9	3,6	3,1	2,1	1,6	1,3	1,1

Fuente: Autores.



3.1.6 Determinación de las curvas IDF

3.2 Descripción de las herramientas

Computador: Este equipo fue esencial para el procesamiento de toda la información extraída de la Biografía.

Software Excel: Este Software se utilizó para llevar el análisis estadístico, ajustes de probabilidad y las curvas IDF, además de las tablas.

Software Arcgis: Este software se utilizó para la interpolación de la información por el método de IDW, Spline y Kriging.

Tesis y Documentos: Permitieron hacer revisión de estado del arte y metodologías empleadas y como diferentes autores han estudiado el tema.

Calculadora: Permitió realizar procedimientos sencillos.

Bases de Datos: Por medio de los cuales se almacenó la información digitalizada extraída de los pluviogramas, así mismo se interactuó con los datos mediante tablas en Excel.

Pluviogramas: Fueron la base del proyecto de los cuales se obtuvo la información con la que finalmente se construyeron gráficamente las curvas IDF y su posterior regionalización.

Promedio de las intensidades ($\bar{X}$) y desviación estándar (S_x)

En primer lugar se define un parámetro estadístico como el valor esperado de alguna función de una variable aleatoria. Por lo tanto, en una muestra de datos estadísticos de una estación hidrológica de medidas, se hace indispensable resumir la cantidad de datos en elementos o parámetros condensados que caractericen la muestra. Por consiguiente, el objetivo de la estadística es contar con un número reducido de valores que indiquen la información esencial de un conjunto muy grande de datos. Finalmente, un parámetro estadístico muestra alguna característica de la población; citando los parámetros más importantes encontramos: la media, la desviación estándar y la coeficiente de asimetría. (Aponte)



Ahora bien, partiendo de las intensidades máximas anuales, se halló la media aritmética con el fin de crear una idea del orden de las intensidades. Sin embargo, también interesa hallar la dispersión o variación de los datos de la muestra, lo cual se puede determinar con la desviación estándar. En esta fase del proyecto se calcularon para cada una de las series de datos, los parámetros principales y desde luego estos señalan las características principales de la muestra. (Aponte)

Para cada uno de los periodos, se determina el promedio de las mediciones ($\bar{X}$) y la desviación estándar de las mismas (Sx). Al igual se calcula alfa y beta como lo hacen (Segerer y Villodas):

Media. Valor medio de una muestra, se calcula de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

N= Número de datos

X_i = cada uno de los datos.

Tabla 4. Media para cada duración estación Base Aérea

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Base Aérea	X	27,4	19,8	15,6	11,9	10,2	8,5	5,6	4,1	3,3	2,9	2,5

Fuente: Autores.

La **Tabla 4** muestra los datos calculados con la ecuación (6). Donde $n= 22$ años y x_i cada uno de los datos correspondientes a cada duración.

Desviación estándar. Es una medida de la variabilidad, ya que es la raíz cuadrada y su valor estimado se denota por:

$$Sx = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 7}$$

Mientras mayor sea el valor de la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos.



Tabla 5. Desviación Estándar para cada duración estación Base Aérea

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Base Aérea	Sx	27,27	16,12	12,21	9,83	8,51	7,35	4,09	2,74	2,09	1,78	1,49

Fuente: Autores.

En la **Tabla 5**, se observan los datos calculados de la desviación estándar, que se hallaron mediante la ecuación (7).

Parámetros para la distribución de Valor Extremo Tipo I EVI (Gumbel).

Para la determinación de los parámetros requeridos se emplean los métodos de Momentos Ordinarios (OM) y el método de Máxima Verosimilitud (ML); para ello se utilizan las siguientes expresiones y de acuerdo con esto, tenemos que los parámetros de escala y ubicación (α y μ) se evaluaron, aplicando los ajustes de probabilidad correspondientes y sus resultados se muestran a continuación.

Método de momentos ordinarios (OM):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * Sx \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

Sx = es la desviación estándar.

α = Parámetro de escala

En la **Tabla 6** se observan los resultados correspondientes al cálculo del parámetro de escala para la distribución Gumbel mediante el método de los momentos ordinarios (OM) dado su respectivo ajuste, mediante la ecuación (8).

Tabla 6. Parámetro de escala para EVI – Gumbel, OM. Estación Base Aérea.

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Base Aérea	α	21,26	12,57	9,52	7,67	6,64	5,73	3,19	2,13	1,63	1,38	1,16

Fuente: Autores.

u = Parámetro de Ubicación:

$$u = \bar{X} - 0,5772 * \alpha \quad \text{Ec. 9}$$



Dónde:

$\bar{x}$ = Media

Tabla 7. Parámetro de ubicación para EVI – Gumbel, OM. Estación Base Aérea.

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Base Aérea	u	15,17	12,50	10,06	7,43	6,33	5,16	3,78	2,83	2,34	2,10	1,84

Fuente: Autores.

En la **Tabla 7** se observan los resultados correspondientes al cálculo del parámetro de ubicación, para la distribución Gumbel mediante el método de los momentos ordinarios (OM) dado su respectivo ajuste, mediante la ecuación (9).

Se reordenan los datos de precipitación de mayor a menor para cada una de las intensidades en las diferentes estaciones (Segeber y Villodas)

Reordenamiento de las intensidades

Tabla 8. Reordenamiento de las intensidades-Estación base aérea.

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	112,8	59,4	48,6	40,2	36,1	31,9	16,0	10,6	8,0	6,6	5,6
2	75,6	54,0	42,9	33,4	28,8	24,2	13,6	9,4	7,5	6,5	5,3
3	72,0	51,4	32,7	23,4	17,8	13,2	13,2	9,2	6,9	5,8	4,8
4	42,0	26,7	21,0	19,0	15,5	12,2	8,9	6,8	5,8	5,3	4,7
5	38,4	24,6	19,8	16,2	13,5	12,0	7,6	5,1	4,2	3,8	3,5
6	30,0	24,0	18,4	13,8	12,2	11,1	6,6	5,0	3,8	3,4	3,1
7	30,0	21,2	18,1	12,6	11,8	9,7	6,5	4,5	3,8	3,3	3,0
8	27,3	21,2	16,2	12,0	10,9	9,0	6,0	4,4	3,7	3,2	2,9
9	22,5	20,7	15,6	10,9	9,9	8,1	6,0	4,3	3,3	3,1	2,9
10	21,3	18,4	15,6	10,8	8,6	7,6	4,9	3,4	3,2	2,9	2,5
11	20,1	17,8	14,9	10,0	8,3	6,6	4,4	3,2	3,0	2,7	2,4
12	17,1	16,4	13,2	9,5	7,1	6,0	4,1	3,1	2,7	2,5	2,2
13	15,9	15,2	12,0	9,0	7,0	5,7	3,8	3,0	2,4	2,1	1,9
14	15,6	13,5	11,7	8,0	7,0	4,9	3,6	3,0	2,3	2,0	1,6
15	15,0	13,0	9,6	7,4	7,0	4,3	3,6	2,8	2,2	1,9	1,5
16	12,3	9,1	6,9	5,6	4,6	4,2	3,4	2,8	2,2	1,9	1,5
17	10,2	7,0	6,2	4,5	4,4	3,6	3,1	2,1	1,6	1,5	1,3



18	7,2	6,3	6,1	4,5	4,0	3,6	2,5	1,9	1,6	1,3	1,1
19	6,6	4,8	4,7	4,2	3,9	2,4	2,4	1,7	1,2	1,1	1,1
20	5,2	4,8	3,5	2,4	2,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
21	3,6	3,0	2,5	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
22	3,0	2,3	2,1	1,7	1,4	3,6	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6

Fuente: Autores.

Determinación del Periodo de Retorno (T).

El periodo de retorno de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. Conforme con lo anterior, la probabilidad de que el evento suceda en cualquier año se da así:

$$P(X) = \frac{1}{F} \quad \text{Ec. 10}$$

Para este proyecto se adoptaron periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 150 y 300 años respectivamente.

El periodo de retorno también se define como el tiempo medio entre dos avenidas con caudales iguales o superiores a uno determinado, es decir, la inversa de la frecuencia de que se presente la lluvia de diseño en un determinado intervalo de tiempo, a mayor periodo de retorno mayor intensidad de lluvia. “El estudio de eventos hidrológicos extremos incluye la selección de una secuencia de observaciones máximas o mínimas del conjunto de datos. Por ejemplo, el estudio de caudales picos en una estación hidrométrica utiliza solamente el máximo caudal registrado cada año, entre los muchos miles valores registrados. Debido a que estas observaciones se localizan en la cola extrema de la distribución de probabilidad de todas las observaciones de la cual se extraen (la población matriz), no es sorprendente que una distribución de probabilidad sea diferente a aquella de la población matriz” (Aponte)

De acuerdo con lo anterior, se tiene que el planteamiento de los periodos de retorno para la construcción final de las curvas IDF, se desarrolló de la siguiente manera. Aclarando que se elaboró únicamente para las distribuciones de EVI-GUMBEL.



Distribución de probabilidad Valor Extremo Tipo I EVI (Gumbel).

Los parámetros se estiman como se muestra en las ecuaciones (8) y (9), donde u es la moda de la distribución (punto de máxima densidad de probabilidad). Una variable reducida Y_t , puede definirse como la relación entre la probabilidad y el periodo de retorno, y está conceptualizada para esta distribución, así:

$$Y_t = -\ln(\ln(1 - 1/T)) \text{ Ec. 11}$$

Se determina Y_t , que es la variable de Gumbel para el periodo de retorno T y se obtiene a partir de la ecuación 11 (Aguilera)

Para la distribución EVI, X_t se relaciona con Y_t mediante la ecuación:

$$I = Y_t * \alpha + \mu \text{ Ec. 12}$$

Dónde:

u = Parámetro de ubicación.

α = Parámetro de escala.

Y_t = Variable reducida.

Intensidades máximas

Tabla 9.Tabla de intensidades máximas para diferente duración y tiempo de retorno

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Base Aérea	2 años	23,0	17,1	13,5	10,2	8,8	7,3	4,9	3,6	2,9	2,6	2,3
	5 años	47,1	31,4	24,3	18,9	16,3	13,7	8,6	6,0	4,8	4,2	3,6
	10 años	63,0	40,8	31,5	24,7	21,3	18,0	11,0	7,6	6,0	5,2	4,4
	20 años	78,3	49,8	38,3	30,2	26,0	22,2	13,2	9,2	7,2	6,2	5,3
	50 años	98,1	61,5	47,2	37,3	32,2	27,5	16,2	11,2	8,7	7,5	6,4
	100 años	113,0	70,3	53,9	42,7	36,9	31,5	18,4	12,6	9,8	8,5	7,2
	150 años	121,6	75,4	57,7	45,8	39,6	33,8	19,7	13,5	10,5	9,0	7,6
	300 años	136,4	84,2	64,4	51,1	44,2	37,8	22,0	15,0	11,6	10,0	8,4

Fuente: Autores.



Pruebas de bondad de ajuste

Se ejecuta la prueba de bondad de ajuste basado en el método de Smirnov-Kolmogorov teórica y empírica.

En la primera de estas se determina el coeficiente como:

$$C_1 = 1 - e^{-e^{(-\alpha(x-\beta))}} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde alfa y beta se obtuvieron anteriormente para cada duración y x corresponde al valor ordenado de mayor a menor de cada una de las intensidades. Con la forma empírica, el coeficiente para evaluar la bondad de ajuste es:

$$C_2 = \frac{m}{n+1} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde m corresponde a la posición del dato una vez se ordenan de mayor a menor y n es el número total de años evaluados (Aguilera)

A continuación se muestran los resultados de la determinación de los coeficientes anteriores para la estación Base aérea (Para las demás estaciones ver la información en el Anexo B).

Tabla 10. Pruebas de bondad de ajuste-Base Aérea

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,010	0,024	0,017	0,014	0,011	0,009	0,022	0,025	0,031	0,037	0,040
0,057	0,036	0,031	0,033	0,033	0,035	0,045	0,045	0,042	0,041	0,049
0,067	0,044	0,089	0,117	0,163	0,218	0,051	0,050	0,058	0,066	0,076
0,247	0,276	0,272	0,198	0,222	0,254	0,182	0,142	0,112	0,094	0,081
0,285	0,317	0,302	0,273	0,288	0,261	0,260	0,296	0,268	0,246	0,220
0,392	0,330	0,341	0,353	0,340	0,301	0,338	0,301	0,336	0,319	0,296
0,392	0,395	0,349	0,399	0,354	0,364	0,349	0,364	0,338	0,348	0,307
0,432	0,395	0,408	0,424	0,397	0,403	0,392	0,375	0,359	0,370	0,334
0,508	0,406	0,428	0,471	0,443	0,450	0,392	0,391	0,436	0,383	0,341
0,527	0,465	0,428	0,475	0,511	0,479	0,511	0,532	0,444	0,424	0,423
0,548	0,481	0,454	0,511	0,526	0,540	0,561	0,563	0,490	0,473	0,459
0,599	0,520	0,513	0,534	0,589	0,578	0,601	0,581	0,555	0,515	0,526
0,619	0,554	0,558	0,557	0,595	0,600	0,625	0,606	0,613	0,627	0,612
0,625	0,603	0,569	0,605	0,595	0,649	0,653	0,612	0,637	0,651	0,701



0,635	0,618	0,650	0,634	0,598	0,688	0,657	0,638	0,659	0,694	0,725
0,682	0,732	0,752	0,719	0,727	0,693	0,676	0,646	0,672	0,696	0,737
0,717	0,788	0,777	0,769	0,738	0,731	0,715	0,762	0,795	0,794	0,787
0,767	0,806	0,780	0,771	0,757	0,731	0,775	0,792	0,801	0,827	0,849
0,776	0,842	0,827	0,782	0,764	0,802	0,786	0,822	0,860	0,869	0,856
0,798	0,842	0,865	0,854	0,836	0,862	0,894	0,889	0,880	0,883	0,872
0,821	0,881	0,890	0,876	0,873	0,864	0,894	0,895	0,891	0,885	0,908
0,830	0,896	0,900	0,881	0,877	0,731	0,894	0,918	0,935	0,944	0,952

Fuente: Autores.

Después se realiza la prueba de Kolmogórov-Smirnov (también prueba K-S); es una prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste. Estación Base Aérea

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV	
m	N=22
1	0,043
2	0,087
3	0,130
4	0,174
5	0,217
6	0,261
7	0,304
8	0,348
9	0,391
10	0,435
11	0,478
12	0,522
13	0,565
14	0,609
15	0,652
16	0,696
17	0,739
18	0,783
19	0,826



20	0,870
21	0,913
22	0,957

Fuente: Autores.

Se determina la desviación (Δ) de los coeficientes calculados anteriormente, donde delta

$$\Delta = |C_1 - C_2| \quad Ec. 15$$

Tabla 12.Desviación. Estación Base aérea – Madrid Cundinamarca

DESVIACIÓN (Δ)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,033	0,020	0,026	0,030	0,032	0,034	0,022	0,018	0,013	0,007	0,004
0,030	0,051	0,056	0,054	0,054	0,052	0,042	0,042	0,045	0,046	0,038
0,064	0,086	0,042	0,013	0,032	0,087	0,080	0,080	0,073	0,065	0,055
0,073	0,102	0,098	0,024	0,048	0,080	0,008	0,032	0,062	0,079	0,093
0,068	0,100	0,085	0,055	0,070	0,044	0,043	0,078	0,051	0,029	0,003
0,131	0,069	0,080	0,310	0,079	0,040	0,077	0,040	0,075	0,058	0,035
0,088	0,091	0,045	0,095	0,050	0,060	0,045	0,059	0,033	0,044	0,002
0,084	0,047	0,060	0,076	0,049	0,055	0,045	0,027	0,012	0,022	0,014
0,116	0,015	0,037	0,079	0,052	0,059	0,001	0,000	0,045	0,009	0,050
0,093	0,030	0,007	0,040	0,076	0,045	0,076	0,097	0,009	0,011	0,012
0,069	0,003	0,025	0,033	0,047	0,062	0,083	0,085	0,012	0,005	0,019
0,077	0,002	0,009	0,012	0,068	0,056	0,079	0,060	0,033	0,007	0,004
0,054	0,012	0,008	0,008	0,030	0,035	0,060	0,041	0,048	0,062	0,047
0,016	0,006	0,040	0,004	0,014	0,040	0,044	0,003	0,028	0,042	0,092
0,017	0,035	0,002	0,019	0,054	0,036	0,005	0,014	0,007	0,041	0,073
0,014	0,036	0,056	0,023	0,031	0,002	0,020	0,050	0,023	0,000	0,042
0,022	0,048	0,038	0,030	0,001	0,008	0,024	0,023	0,056	0,054	0,048
0,016	0,023	0,002	0,011	0,026	0,052	0,007	0,010	0,019	0,044	0,066
0,050	0,016	0,000	0,044	0,063	0,024	0,040	0,004	0,034	0,043	0,030
0,072	0,028	0,005	0,015	0,034	0,008	0,024	0,019	0,010	0,013	0,003
0,092	0,032	0,023	0,037	0,040	0,049	0,019	0,018	0,022	0,028	0,005
0,126	0,061	0,056	0,076	0,080	0,226	0,063	0,039	0,022	0,013	0,005

Fuente: Autores.



Se compara la desviación máxima con la tolerable (proveniente de tablas), a partir del cual se determina si se acepta o no el ajuste. A-Aceptado, R-Rechazado (Aguilera)

Tabla 13. Evaluación de aceptación del ajuste. Estación Base aérea

Δ máximo	0,13	0,10	0,10	0,31	0,08	0,23	0,08	0,10	0,08	0,08	0,09
Δ tolerable	0,32		0,28	0,34		0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.

Cabe resaltar el hecho de que el ajuste fue aceptado para todas las estaciones.

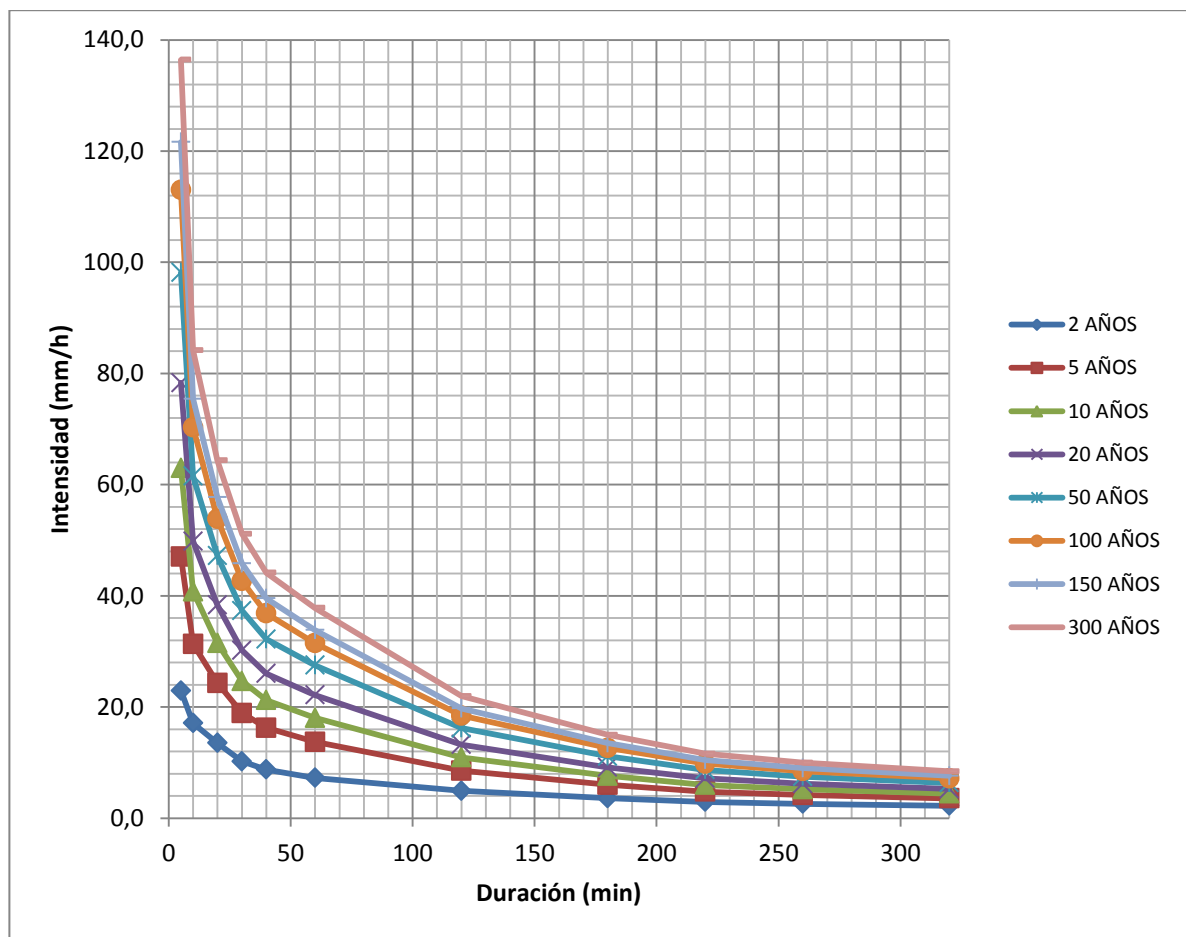
Por último, y una vez aceptado el ajuste, se procede a graficar las curvas IDF a partir de la información de la Tabla 13. En cuanto a la regionalización de las curvas IDF, en el capítulo 4, se hace un análisis de las diferentes técnicas tanto analíticas de interpolación basada en artificios matemáticos como la regresión lineal múltiple como las obtenidas a partir del uso de un software especializado (Arcgis).



4. RESULTADOS

En la figura 3 se observa la construcción de curvas IDF de la estación Base aérea de Madrid Cundinamarca; se contó con registros de 22 años comprendidos desde 1986 a 2007. Para ello se eligieron un promedio de 3 a 5 eventos máximos anuales para su respectivo análisis de intensidades máximas. Este gráfico se elaboró mediante la distribución de Valor Extremo Tipo I, Gumbel, mediante la estimación de parámetros μ y α por el método de Momentos Ordinarios (OM).

Figura 3. Curvas IDF. EVI-OM. Estación Base Aérea, Madrid Cundinamarca



Fuente: Autores.



4.1 REGIONALIZACIÓN

La regionalización de las intensidades en la región de estudio, se desarrolla a partir de un método estadístico basado en la correlación lineal de las intensidades en función de las variables topográficas de la región (altitud, latitud y longitud). En este caso se analizan las diferencias encontradas usando como elementos de interpolación las intensidades registradas y los parámetros Alfa y u, que corresponden a los parámetros de distribución de probabilidad EVI (GUMBEL) dónde:

$$F_x(X) = e^{-e^{-\frac{x-u}{\alpha}}} \text{ Ec. 16}$$

X: Variable Aleatoria, intensidad media en duración determinada

u: Moda, parámetro de ubicación

α : Parámetro de escala

Posterior a ello, se utiliza la herramienta Arcgis con el fin de obtener la interpolación de las intensidades, en función de las diferentes técnicas que este incluye en su análisis. Con esta información se realiza un comparativo entre los métodos estadísticos planteados en un comienzo, con las distintas herramientas de interpolación dispuestas con Arcgis, con lo cual finalmente se estipula el mejor modelado que se adapta a la información de las estaciones.

4.2 Interpolación por regresión lineal múltiple

4.2.1 Interpolación de las intensidades.

La interpolación resulta ser un recurso útil al momento de ejecutar un análisis sobre las diferentes variables que convergen en torno a una determinada magnitud de la cual no se tiene la información completa. Para el caso del estudio de las variables climatológicas como son las intensidades de precipitaciones, es necesario aplicar distintos artificios matemáticos que permitan realizar una extensión de los datos ante la imposibilidad de contar con estaciones meteorológicas que ejecuten labores de censado en toda una región.

El método de interpolación por regresión lineal múltiple establece la determinación de una ecuación lineal que tiene como salida los valores de intensidad de precipitación y como entrada los datos correspondientes a las variables



fisiográficas de la región o zona estudiada, en este caso altitud, latitud y longitud, tal y como se describe en la **Ecuación 17**.

$$I = a + b * long + c * alt + d * lat \quad Ec.17$$

De donde **long** hace referencia a la longitud expresada en grados, minutos y segundos; **alt** a la altitud expresada en metros y **lat** a la latitud indicada en las mismas unidades que la de la altitud. Por su parte **a**, **b**, **c** y **d** corresponden a constantes denominados coeficientes de correlación.

Para la obtención de cada uno de los parámetros (**a**, **b**, **c** y **d**), se sigue el siguiente conjunto de pasos:

- Se ordenan los datos del valor de precipitación de manera descendente e independiente del tiempo para cada periodo de retorno y cada duración, definiendo criterios fisiográficos incluidos en el estudio: Longitud, Latitud y Altitud. (Tabla 14).

En este caso cabe resaltar la forma como se obtuvieron los datos correspondientes a cada uno de los variables de longitud y latitud, puesto que en un comienzo estos eran expresados en grados, minutos y segundos y debieron ser convertidos tan solo a grados usando la Ec. 18.

$$Grados = Grados Inicial + \frac{Minutos}{60} + \frac{segundos}{360} \quad Ec.18$$

Entonces, por ejemplo, para el caso de la estación Florida La su ubicación en cuanto a longitud es 74°26'15.5", lo cual corresponde a ejecutar 74+26/60+15.5/360 que equivale 74.480°. El valor negativo corresponde a su orientación hacia el Oeste, mas este no se tendrá en cuenta al momento de ejecutar la interpolación de precipitaciones.

Tabla 14. Reordenamiento de datos para una duración (D) de 5 min y periodo de retorno (TR) de 2 años.

D= 5 min; TR= 2 AÑOS				
INTENSIDAD [mm/h]	LONGITUD [°]	LATITUD [°]	ALTITUD [m]	ESTACIÓN
22,74496717	-74.480	4.688	2650	ACAPULCO
22,96099218	-74.325	4.838	2550	BASE AEREA
30,29473865	-74.476	4.808	1915	LA FLORIDA
22,853746	-74.535	4.855	1850	MATIMA



21,50789461	-74.431	4.873	2560	PROVIDENCIA
42,168061	-74.206	5.080	2575	TABIO
30,93652753	-74.290	4.764	2543	TIBAITATA

Fuente: Autores.

A cada uno de los datos anteriores se le aplica logaritmo natural (Ln). A continuación se muestra un ejemplo aplicado tan solo para un periodo de retorno de 2 años y una duración de 5 min.

Tabla 15.Datos sin aplicar Ln para D 5 min y TR 2 años

DATOS DE ESTACIÓN				
ESTACIÓN	INTENSIDAD	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
ACAPULCO	22,74496717	74.480	4.688	2650
BASE AEREA	22,96099218	74.325	4.838	2550
LA FLORIDA	30,29473865	74.476	4.808	1915
MATIMA	22,853746	74.535	4.855	1850
PROVIDENCIA	21,50789461	74.431	4.873	2560
TABIO	42,168061	74.206	5.080	2575
TIBAITATA	30,93652753	74.290	4.764	2543

Fuente: Autores.

Tabla 16.Datos aplicado Ln para D 5 min y TR 2 años

DATOS DE ESTACIÓN EXPRESADOS EN LN				
ESTACIÓN	INTENSIDAD	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD
ACAPULCO	3,1243439	4,3105306	1,5450061	7,8823149
BASE AEREA	3,1337968	4,3084474	1,5765014	7,8438486
LA FLORIDA	3,4109741	4,3104769	1,5702812	7,5574729
MATIMA	3,129115	4,3112688	1,5800091	7,5229409
PROVIDENCIA	3,0684201	4,3098725	1,5837098	7,8477625
TABIO	3,7416631	4,306845	1,6253113	7,8536048
TIBAITATA	3,4319376	4,3079764	1,5610877	7,8410998

Fuente: Autores.

- b. Se procede a obtener el factor de correlación de cada una de las variables independientes (Latitud, longitud y Altitud) al igual que el coeficiente de correlación. Para ello se utiliza la opción análisis de datos de Excel de acuerdo con lo que se muestra en el anexo C.



El coeficiente de correlación múltiple (R) establece si existe algún tipo de relación entre las diferentes variables fisiográficas y la intensidad; generalmente, se dice que existe linealidad entre las variable si R es próximo a 1, más la aceptación del mismo es función del tipo de aplicación que se analiza.

En el caso puntual un valor de R cercano a 0.8 resulta ser aceptable teniendo en cuenta que los métodos de interpolación para el análisis de las precipitaciones no son muy precisos.

Tabla 17. Estadísticas de la regresión

PARÁMETROS	COEFICIENTES
Intercepción (a)	-685,26
Longitud (b)	-56,76
Latitud (c)	0,398
Altitud (d)	-0,907
Correlación múltiple	0,8388

Fuente: Autores. Fecha 30 de Junio de 2015

- a. Una vez obtenidos los coeficientes, se determina los valores de intensidades a partir de la Ec. 18:

$$I = e^{(a+b*\ln(long)+c*\ln(lat)+d*\ln(alt))} \quad Ec. 18$$

Cabe resaltar el hecho que en el caso de la ecuación anterior, los valores de long, lat y alt se utilizan sin la transformación del logaritmo natural. Los resultados de dichos análisis de muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Análisis de datos obtenidos de la interpolación de las intensidades para una D de 5 min y TR 2 años.

DATOS DE ESTACIÓN							
ESTACIÓN	LONG	LAT	ALT	INTENSIDAD CALCULADA [mm/h]	INTENSIDAD REAL [mm/h]	% DE ERROR	ERROR ABSOLUTO
ACAPULCO	74,48	4,69	2650	19,79672055	22,74496717	12,96	2,948246624
BASE AEREA	74,33	4,84	2550	28,77675417	22,96099218	25,32	5,815761987



LA FLORIDA	74,48	4,81	1915	27,07851714	30,29473865	10,61	3,216221511
MATIMA	74,54	4,86	1850	24,77438824	22,853746	8,40	1,920642244
PROVIDENCIA	74,43	4,87	2560	22,99959651	21,50789461	6,93	1,4917019
TABIO	74,21	5,08	2575	37,38939085	42,168061	11,33	4,77867015
TIBAITATA	74,29	4,76	2543	30,86897323	30,93652753	0,21	0,067554304

Fuente: Autores.

El error % se calcula como:

$$Error [\%] = \frac{|Intensidad\ calculada - Intensidad\ Real|}{Intensidad\ Real} * 100 \quad Ec. 19$$

Por su parte el error absoluto se obtuvo como:

$$Error\ Abs \left[\frac{mm}{h} \right] = |Intensidad\ calculada - Intensidad\ Real| \quad Ec. 20$$

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 17, el porcentaje de error máximo al comparar las intensidades reales con las calculadas por medio de la interpolación de las precipitaciones es de 25.32%, lo cual representa una diferencia de 5.81 mm/h, es una diferencia alta pero como se trata de información variable el ser precipitaciones supone que los resultados van a variar y por lo general habrá errores que no se pueden controlar

Antes de aceptar la interpolación propuesta se realiza el mismo análisis pero para un periodo de retorno de 300 años e igual duración (5 min). Se ejecuta el mismo proceso descrito anteriormente en Excel pero con los datos de intensidades para el periodo de retorno en mención, a partir de lo cual se obtiene que las constantes **R**, **a**, **b**, **c** y **d** son en su orden 0.6942, -511.04, 114.44; 9.541 y 1.004. Aplicando la Ecuación. 18, se obtiene que la intensidad calculada, el porcentaje de error y el error absoluto son los descritos en la Tabla 19.

Tabla 19. Análisis de datos obtenidos de la interpolación de las intensidades para una D de 5 min y TR 300 años.

DATOS DE ESTACIÓN							
ESTACIÓN	LONG	LAT	ALT	INTENSIDAD CALCULADA [mm/h]	INTENSIDAD REAL [mm/h]	% DE ERROR	ERROR ABSOLUTO
ACAPULCO	74,48	4,69	2650	137,4945916	200,60	31,45832923	63,10540843



BASE AEREA	74,33	4,84	2550	140,7606474	136,40	3,19695556	4,360647384
LA FLORIDA	74,48	4,81	1915	125,50813	113,80	10,28833915	11,70812995
MATIMA	74,54	4,86	1850	145,639943	166,80	12,68588549	21,160057
PROVIDENCIA	74,43	4,87	2560	178,1935455	112,00	59,1013799	66,19354549
TABIO	74,21	5,08	2575	188,521858	239,60	21,31808932	51,07814201
TIBAITATA	74,29	4,76	2543	114,814893	97,90	17,27772522	16,91489299

Fuente: Autores.

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 20, se aprecia que existe un incremento en el porcentaje de error, el cual llega alcanzar un valor de 59.10%, lo cual equivale a una diferencia de 66.19 mm/h al compararse con la intensidades reales obtenidas de las curvas IDF. Bajo esta característica, se resalta que el valor de R, tiende a mejorar cuando el tiempo de duración de las lluvias incrementa hasta cierto valor.

Tabla 20. Coeficientes de Correlación para diferentes duraciones y TR300 años

Duración de la Intensidad	Coeficiente de Correlación R
5	0.6942
10	0.7258
20	0.7992
30	0.8390
40	0.8900
60	0.9105
120	0.7872
180	0.7087
220	0.4896
260	0.4579
320	0.5184

Fuente: Autores.

4.2.2 Interpolación de los parámetros

Los pasos que se ejecutan para la interpolación de los datos se obtienen a partir de la regresión lineal multivariable. En este caso se ordena para cada duración la información concerniente a las características fisiográficas de las estaciones (longitud, latitud y altitud), y los parámetros alfa y u que se obtienen con las ecuaciones 8 y 9 tal y como se muestra en la siguiente tabla.



Tabla 21. Datos para una duración (D) de 5 min en la interpolación de parámetros.

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	ALFA	U
ACAPULCO	74,48	4,69	2650	33,33	10,53
BASE AEREA	74,33	4,84	2550	21,263368	15,1676931
LA FLORIDA	74,48	4,81	1915	15,6448628	24,5606943
MATIMA	74,54	4,86	1850	26,9826245	12,9642655
PROVIDENCIA	74,43	4,87	2560	16,95	15,29
TABIO	74,21	5,08	2575	37,00	28,61
TIBAITATA	74,29	4,76	2543	12,5555428	26,3347589

Fuente: Autores.

Una vez reordenada la información, se procede a calcular el coeficiente de correlación para cada uno de los parámetros. Para ello, se realiza el mismo proceso de regresión definido en el anexo C. (a través de Excel)

Para el valor de Alfa los valores de los coeficientes **R, a, b, c y d** corresponden a 0.2858, -4030.95; 50.28; 57.057 y 0.015 respectivamente. En esta oportunidad y a diferencia del caso de la interpolación de intensidades, no se utiliza las propiedades de los logaritmos naturales y la fórmula que proporciona el valor de alfa en función de las variables fisiográficas es:

$$\alpha = -4030.95 + 50.28 * long + 57.057 * lat + 0.015 * alt \quad Ec. 21$$

Para el caso del valor de U, tras la aplicación del análisis de regresión lineal, se obtiene que los coeficientes **R, a, b, c y d** corresponden a 0.8764, 5608.32; -73.96; -10.23 y -0.0155. Remplazando dichos valores, se obtiene que la ecuación que describe el valor U en función de las distintas características fisiográficas es:

$$U = 5608.32 - 73.96 * long - 10.23 * lat - 0.0155 * alt \quad Ec. 22$$

Con esta información, calculamos para cada una de las estaciones y para una duración de 5 min las respectivas precipitaciones para los diferentes periodos de retornos como:

$$Intensidades = \left(-\ln \left(\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right) * -\alpha \right) + U \quad Ec. 23$$

Aplicando la Ec. 23 para los diferentes periodos de retorno TR, se obtiene que los valores de las intensidades son las descritas en la Tabla 22.



Tabla 22. Calculo de intensidades a partir de la interpolación de parámetros

INTENSIDADES [mm/h]							
TR (AÑOS)	ACA	BASE	FLOR	MAT	PROV	TABIO	TIBAITATA
2	21,5331624	23,1085151	26,8541946	25,7101893	21,779755	40,3825108	34,0986
5	47,7821131	49,1498649	50,6429235	48,7154988	47,2772572	71,8462027	63,6197316
10	65,1612024	66,3915044	66,3931319	63,9470154	64,1588223	92,6779046	83,1652895
20	81,8316422	82,930099	81,50111	78,5574519	80,3520249	112,660173	101,913858
50	103,409816	104,337613	101,056838	97,4691632	101,312465	138,52517	126,181957
100	119,579622	120,379533	115,711104	111,64083	117,019364	157,907345	144,367481
150	129,008625	129,733963	124,25636	119,90467	126,178437	169,20956	154,9719
300	145,099928	145,698001	138,839482	134,007535	141,809081	188,497637	173,069136

Fuente: Autores.

Con el fin de realizar una comparativa de los dos métodos (interpolación de intensidades y de parámetros), se procede a evaluar o comparar el porcentaje de error y el error absoluto obtenido para cada una de las bases para un período de retorno de 2 años.

Tabla 23. Intensidades obtenidas a partir de la interpolación de parámetros para una duración D= 5 min

ESTACIÓN	INTENSIDAD CALCULADA [mm/h]	INTENSIDAD REAL [mm/h]	% DE ERROR	ERROR ABSOLUTO
ACAPULCO	21,5331624	22,74496717	5,327793006	1,21180477
BASE AEREA	23,1085151	22,96099218	0,642493664	0,14752292
LA FLORIDA	26,8541946	30,29473865	11,35690289	3,44054405
MATIMA	25,7101893	22,853746	12,49879691	2,8564433
PROVIDENCIA	21,779755	21,50789461	1,2640028	0,27186039
TABIO	40,3825108	42,168061	4,234366385	1,7855502
TIBAITATA	34,0986	30,93652753	10,22116159	3,16207247

Fuente: Autores.

Al comparar los datos de la Tabla 23 contra los de la Tabla 18, se aprecia que los porcentajes de error obtenidos con el segundo método (interpolación de parámetros) son mucho más precisos respecto a la interpolación de intensidades.



En el caso de la interpolación de parámetros, el máximo porcentaje de error fue de 12.49% comparado con un valor de 25.32% expuesto con el primero.

Antes de establecer un criterio final, es indispensable el realizar un análisis para un periodo de retorno más amplio. En este caso se toma una duración de 5 min y un periodo de retorno de 300 años. Los resultados interpolando precipitaciones se muestran a continuación:

Tabla 24. Datos de regionalización, interpolando parámetros para un TR=300 Años.

ESTACIÓN	INTENSIDAD CALCULADA [mm/h]	INTENSIDAD REAL [mm/h]	% DE ERROR	ERROR ABSOLUTO
ACAPULCO	145,099928	200,56785	27,6554404	55,4679223
BASE AEREA	145,698001	136,413831	6,80588595	9,28416975
LA FLORIDA	138,839482	113,769477	22,0357911	25,0700044
MATIMA	134,007535	166,822253	19,6704683	32,8147183
PROVIDENCIA	141,809081	111,959109	26,6614947	29,849972
TABIO	188,497637	239,560389	21,3151901	51,0627525
TIBAITATA	173,069136	97,927889	76,7312026	75,1412469

Fuente: Autores. Fecha 30 de Junio de 2015

En este caso, se aprecia que se reporta una mayor diferencia con el método de interpolación de parámetros, superando al de interpolación de intensidades. El método de interpolación de intensidades define un porcentaje de error alrededor de 59%, mientras que el método de interpolación de parámetros establece un valor de 76.73%.

4.2.3 Interpolación usando IDW

La primera técnica implementada usando el software Arcgis es de DISTANCIA INVERSA PONDERADA por sus siglas en ingles IDW (INVERSED DISTANCE WEIGHTED), en la que se usaron los datos de intensidades máximas para un periodo de retorno de 2 y 300 años y una duración de 5 min..

Con esta herramienta o técnica, se puede cambiar un valor llamado potencia o (Power) que es el que determina que tan detallados van a ser los resultados

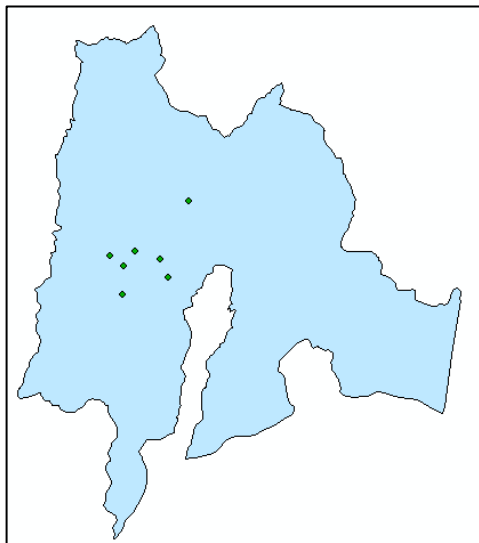


obtenidos. Cuando se usa un valor de la potencia elevado, mayor es el enfoque o apreciación sobre los puntos más cercanos a la región analizada de estudio, más la superficie comparada con los puntos lejanos tendrá una apreciación irregular.

Si se utiliza un valor de potencia menor, se le proporciona más importancia a los puntos que se encuentran más distantes a la región de estudio y la superficie tendrá un área suavizada. Ante esto, en la presente investigación se utilizó un valor de potencia de “2”, puesto que es un valor conservador que es utilizado generalmente por defecto puesto que no se va a ninguno de los límites.

Antes que nada, se debió definir el área de estudio y la posición geográfica de cada una de las estaciones analizadas a partir de la definición de las características fisiográficas en un archivo Excel, el cual era importado desde Arcgis.

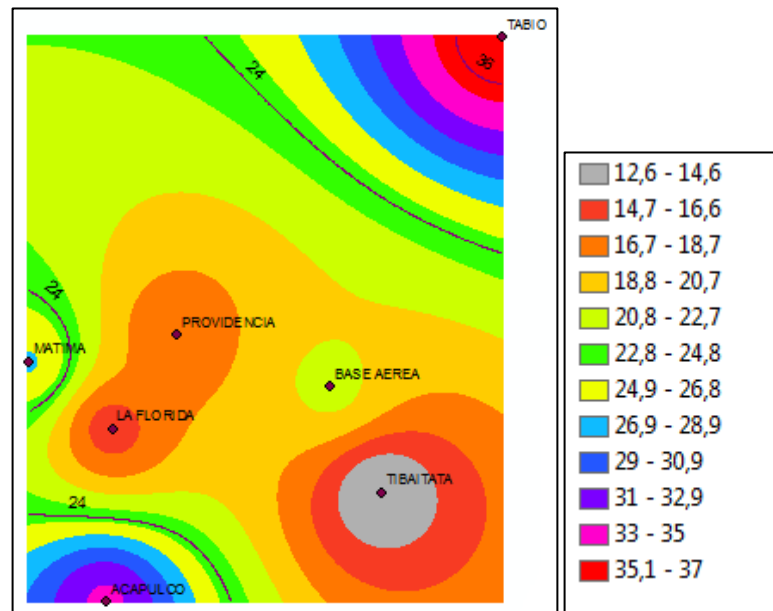
Figura 4. Definición del área de estudio



Fuente: Autores. Fecha 31 de Julio de 2015

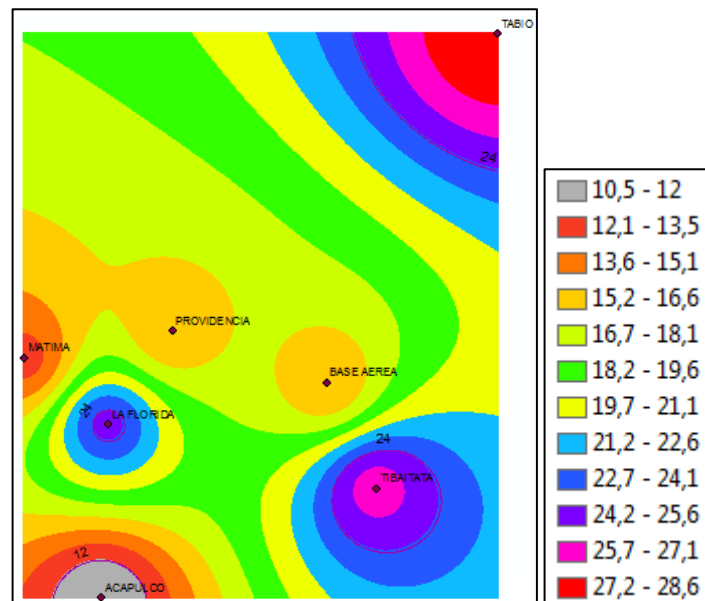
Una vez realizada la definición de la zona de estudio, se configuran los parámetros de interpolación IDW.

Figura 5. Interpolación alfa usando IDW para D=5 min



Fuente: Autores.

Figura 6. Interpolación u usando IDW para D=5 min



Fuente: Autores.

A partir de la información de la Figura 53 y la Figura 64, se realiza la comparación entre el valor verdadero de α y u respecto a la aproximación obtenida con el



método IDW, en el que se toma el valor promedio para el cálculo de las precipitaciones (**Tabla 25**).

Tabla 25. Interpolación usando IDW

NOMBRE	REAL			APROXIMADO-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	alfa	u	Intensidad [mm/h]	Alfa	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	22,75	34,00	11,25	23,71	0,97	4,25
BASE AEREA	21,26	15,17	22,96	20,75	15,90	23,51	0,54	2,37
LA FLORIDA	15,64	24,56	30,29	17,70	24,90	31,39	1,10	3,61
MATIMA	26,98	12,96	22,85	27,90	12,80	23,03	0,18	0,78
PROVIDENCIA	16,95	15,29	21,50	17,70	15,90	22,39	0,88	4,12
TABIO	37,00	28,61	42,17	36,05	27,90	41,11	1,06	2,51
TIBAITATA	12,56	26,33	30,93	13,60	26,40	31,38	0,45	1,46

Fuente: Autores.

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 25 como resultado se obtiene un error relativo máximo de 4.25% sobre el valor real de la intensidad y un error máximo de 1,1 mm/h. Al comparar dichos porcentajes con los de la interpolación analítica de parámetros (12% aproximadamente) e intensidades (12.5%) se tiene que se presenta mejores resultados.

Tabla 26. Interpolación usando IDW para TR 300 años y DR=5 min

NOMBRE	REAL			APROXIMADO-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	alfa	u	Intensidad [mm/h]	alfa	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	200,58	34,00	11,25	205,12	4,54	2,26
BASE AEREA	21,26	15,17	136,40	20,75	15,90	134,22	2,18	1,60
LA FLORIDA	15,64	24,56	113,74	17,70	24,90	125,83	12,09	10,63
MATIMA	26,98	12,96	166,80	27,90	12,80	171,89	5,09	3,05
PROVIDENCIA	16,95	15,29	111,94	17,70	15,90	116,83	4,89	4,37
TABIO	37,00	28,61	239,59	36,05	27,90	233,46	6,13	2,56
TIBAITATA	12,56	26,33	97,95	13,60	26,40	103,95	6,00	6,13

Fuente: Autores.



De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 26, el máximo porcentaje de error equivale a 10,63% y una diferencia máxima de 12,09 mm/h. De acuerdo con esto, por el momento la mejor técnica aplicable es la IDW si se compara respecto a las otras metodologías analíticas descritas.

4.2.4 Interpolación Usando KRIGING

Otro método de interpolación implementado fue el de Kriging, en el que no solo se contempla la distancia entre las muestras, sino que además se incluye en el proceso de interpolación la estructura espacial de los datos, con lo que se minimiza la varianza del error esperado (este último considerado como la diferencia entre el valor real y el valor calculado o interpolado).

En el caso del método de Kriging, este se desglosa en tres metodologías para ejecutar las interpolaciones: Kriging ordinario, Kriging universal y Kriging simple. Cada uno de ellos posibilita el cambiar las diferentes variables auxiliares en función del fenómeno que se aborda. Para el caso de la investigación se utilizó la configuración por defecto, específicamente el método ordinario.

El análisis de la interpolación de las intensidades nuevamente se realiza para una duración de 5 min y para los parámetros u y α , tal y como se ha ejecutado hasta el momento con los demás métodos. En la Tabla 27 se presentan los resultados de la interpolación de intensidades para el primer periodo de retorno en mención.

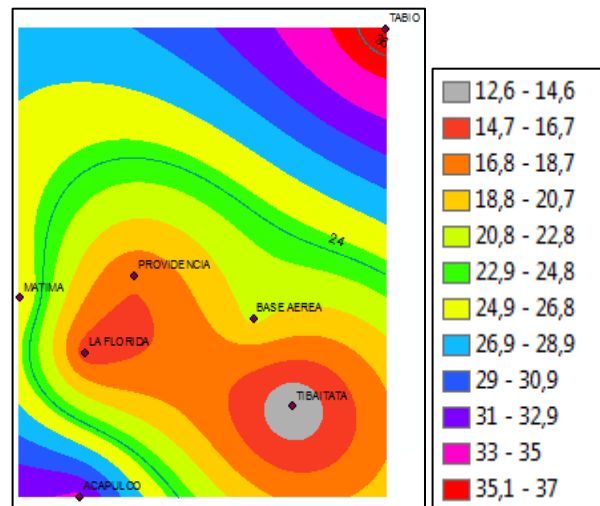
Tabla 27. Interpolación usando Kriging $D= 5$ min y $TR= 2$ años.

NOMBRE	REAL			APROXIMADO-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	α	u	Intensidad [mm/h]	α	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	22,75	34,00	13,85	26,31	3,57	15,68
BASE AEREA	21,26	15,17	22,96	21,80	16,20	24,19	1,23	5,35
LA FLORIDA	15,64	24,56	30,29	15,70	19,60	25,35	4,94	16,30
MATIMA	26,98	12,96	22,85	25,85	15,05	24,52	1,68	7,33
PROVIDENCIA	16,95	15,29	21,50	17,75	15,05	21,56	0,05	0,25
TABIO	37,00	28,61	42,17	36,05	26,40	39,61	2,56	6,07
TIBAITATA	12,56	26,33	30,93	13,60	23,05	28,03	2,90	9,37

Fuente: Autores.

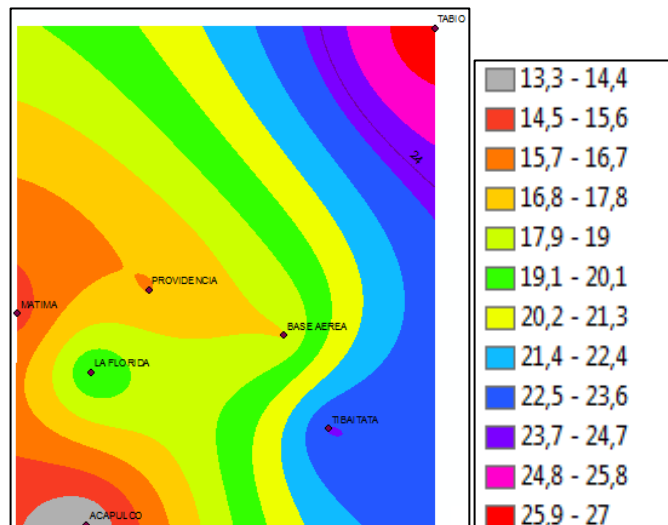


Figura 7. Interpolación alfa Kriging D= 5 min



Fuente: Autores.

Figura 8. Interpolación u Kriging D= 5 min



Fuente: Autores.

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 28, se obtiene que el mayor porcentaje de error equivale a 16.30%, lo cual equivale a un error absoluto de 4.94 mm/h respecto a la precipitación real obtenida a partir de la curva IDF. Este resultado lleva a contemplar hasta el momento como la mejor metodología la de IDW que presentó un porcentaje de error de 4.25% y un error de 1.10 mm/h de intensidad



En cuanto al mismo análisis pero para un periodo de retorno de 300 años, los porcentajes de error y la diferencia absoluta del mismo se incrementaron, tal y como se aprecia en la Tabla 28.

Tabla 28. Interpolación usando Kriking D= 5 min y TR= 300 años.

NOMBRE	real			aproximado-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	alfa	u	Intensidad [mm/h]	alfa	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	200,58	34,00	13,85	207,72	7,14	3,56
BASE AEREA	21,26	15,17	136,40	21,80	16,20	140,51	4,11	3,01
LA FLORIDA	15,64	24,56	113,74	15,70	19,60	109,12	4,62	4,06
MATIMA	26,98	12,96	166,80	25,85	15,05	162,45	4,35	2,61
PROVIDENCIA	16,95	15,29	111,94	17,75	15,05	116,26	4,32	3,86
TABIO	37,00	28,61	239,59	36,05	26,40	231,96	7,63	3,18
TIBAITATA	12,56	26,33	97,95	13,60	23,05	100,60	2,65	2,71

Fuente: Autores.

De acuerdo con los datos obtenidos de la Tabla 28, se aprecia que el máximo porcentaje de error calculado equivale a 4.06% y el error absoluto máximo es igual a 7.63 mm/h. Este comportamiento lleva a definir que el mejor método a aplicar para este periodo de retorno es el de interpolación Kriking, pues que aunque el porcentaje del error fue muy similar, la menor diferencia en cuanto a valor de intensidad la proporcionó el método de Kriking (Kriking 7.63 mm/h respecto a 12.09 mm/h de IDW)

4.2.5 Interpolación usando SPLINE

La última metodología implementada y evaluada es la de Spline, la cual usa un método de interpolación que determina los valores a partir de una función matemática que busca minimizar la curvatura general de la superficie, lo que produce una superficie suave que pasa justo por los puntos de entrada.

Ingresando al Software Arcgis 10.1 y a la Toolbox **Geostatistical Analyst** es posible establecer las diferentes metodologías para ejecutar la interpolación con Spline:

- CompletelyRegularizedSpline
- SplineWithTension
- Multiquadric



- InverseMultiquadric
- ThinPlateSpline

De las anteriores posibilidades, se utilizó la opción Regularized pues es la que viene configurada por defecto dentro de la herramienta Spline. Dentro de este mismo ítem, se deben definir las características de entrada, el valor del campo Z que corresponde a los datos de los parámetros de alfa y u para una duración de 5 min.

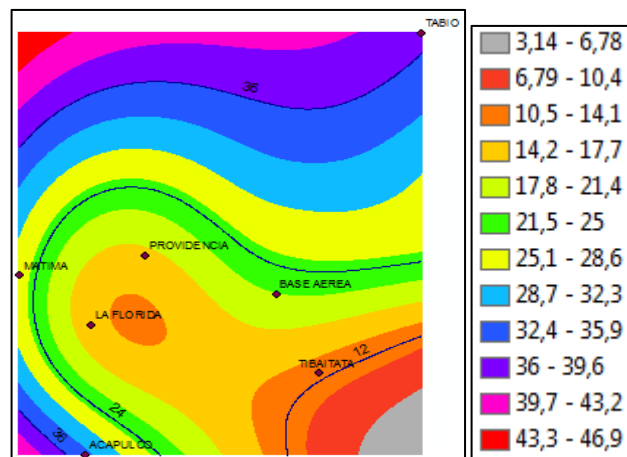
De acuerdo con lo expuesto en la Figura 8, se pueden obtener los valores de los parámetros y los respectivos errores de interpolación, tal y como se muestra en la Tabla 29

Tabla 29. Interpolación alfa usando Spline D= 5 min

NOMBRE	real			aproximado-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	alfa	u	Intensidad [mm/h]	alfa	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	22,75	34,15	12,50	25,02	2,27	9,98
BASE AEREA	21,26	15,17	22,96	19,60	16,85	24,03	1,07	4,67
LA FLORIDA	15,64	24,56	30,29	15,95	25,60	31,45	1,15	3,81
MATIMA	26,98	12,96	22,85	26,85	12,50	22,34	0,51	2,22
PROVIDENCIA	16,95	15,29	21,50	15,95	16,85	22,70	1,19	5,55
TABIO	37,00	28,61	42,17	37,80	25,60	39,45	2,72	6,44
TIBAITATA	12,56	26,33	30,93	15,95	25,60	31,45	0,51	1,66

Fuente: Autores.

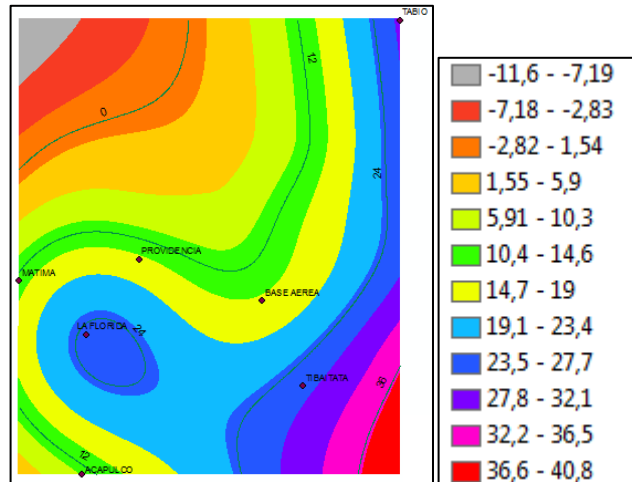
Figura 9. Obtención de isolíneas alfa para D= 5 min



Fuente: Autores.



Figura 10. Obtención de isolíneas u para D= 5 min



Fuente: Autores.

De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 26 se obtiene que el máximo porcentaje de error reportado por las diferentes estaciones en la interpolación de sus datos equivale a 9.38% y una diferencia de 2.72 mm/h. Comparado con los demás métodos, se establece que el que presenta para este caso los mejores resultados es el IDW, con el que se reporta un error porcentual de 4.25% y un error de 1.1 mm/h de intensidad.

Para el caso del mismo análisis para un periodo de retorno de 300 años, los índices del porcentaje de error y diferencias de las intensidades interpoladas con las reales se incrementan, tal y como se aprecia en la Tabla 30.

Tabla 30. Interpolación usando Spline D= 5 min y TR= 300 años.

NOMBRE	REAL			APROXIMADO-IDW			Error [mm/h]	Error relativo [%]
	alfa	u	Intensidad [mm/h]	Alfa	u	Intensidad [mm/h]		
ACAPULCO	33,33	10,53	200,58	34,15	12,50	207,23	6,65	3,31
BASE AEREA	21,26	15,17	136,40	19,60	16,85	128,61	7,79	5,71
LA FLORIDA	15,64	24,56	113,74	15,95	25,60	116,55	2,81	2,47
MATIMA	26,98	12,96	166,80	26,85	12,50	165,60	1,20	0,72
PROVIDENCIA	16,95	15,29	111,94	15,95	16,85	107,80	4,14	3,70
TABIO	37,00	28,61	239,59	37,80	25,60	241,14	1,55	0,65
TIBAITATA	12,56	26,33	97,95	15,95	25,60	116,55	18,60	18,99

Fuente: Autores.



De acuerdo con lo expuesto en la Tabla 30 se obtiene que el máximo porcentaje de error equivale a 18.99% y una diferencia de 18.60 mm/h. Los resultados son muy diferentes a los obtenidos a partir de la técnica de Kriging, en el que se obtuvo un máximo porcentaje de error de 4.06% y un error absoluto máximo de 7.63 mm/h.



CONCLUSIONES

- Las curvas de intensidad-duración y frecuencia (IDF) resultan ser una herramienta clave al momento de obtener parámetros de intensidades de las lluvias en función de los diferentes periodos de retornos, sobre todo cuando este tipo de análisis se utiliza o aplican en estudios que ameritan la determinación de las características de precipitaciones, como lo es por ejemplo en la ejecución y análisis de la viabilidad y factibilidad de la construcción de represas o incluso la determinación de posibles amenazas para las poblaciones.
- Las curvas IDF obtenidas para la región bajo estudio, muestran un comportamiento no tan variable al variar el periodo de retorno si se compara con otros análisis direccionados en el mismo campo.
- La regionalización de las intensidades permite conocer e interpolar la información concerniente a este variable en aquellas zonas donde no se cuenta con estaciones meteorológicas que haga un registro sobre las precipitaciones. En este mismo sentido, cabe resaltar el hecho de que se implementaron diferentes técnicas o metodologías con la intención de ejecutar esta actividad, pasando del uso de técnicas como la regresión lineal para intensidades y parámetros, hasta la implementación de metodologías más avanzadas como la IDW, Kriging y Splines a través de la herramienta Arcgis.
- De las técnicas o metodologías de interpolación la que de forma general mejor se adaptó o se acercó a los valores reales de intensidad fue la de Kriging, ello tan solo para periodos largos (300 años). En el caso de los periodos cortos, la que presentó mayor exactitud fue el método IDW. La técnica Kriging planteó variaciones o porcentuales muy similares para los dos momentos analizados y fueron alrededor del 10%, una cifra relativamente aceptable teniendo en cuenta que las demás técnicas superaban este valor.
- El uso del análisis estadístico por regresión lineal múltiple, aunque resulta ser una metodología valida es poco exacta, ya sea que lo que se interpole sea la información concerniente a las intensidades (lo cual termina ser una acción compleja pues dicho estudio se debe realizar para cada duración y periodo de retorno) o los parámetros propias de las curvas IDF como lo es Alfa y U.
- Durante el proceso de desarrollo de la investigación se presentaron demasiados inconvenientes con la obtención de la información concerniente a los registros de los pluviógrafos de las diferentes estaciones meteorológicas



involucradas en el estudio. Esta problemática se asoció principalmente con que no se contaba con los registros digitalizados de los mismos por parte del IDEAM.

- Para próximas investigaciones se recomienda la inclusión de un número mayor de estaciones lo cual permite obtener una regionalización de los parámetros de intensidades más confiables. El hecho de no incorporarlos en este estudio justamente se relaciona con la problemática descrita anteriormente, la dificultad para obtener la información por parte del IDEAM.



BIBLIOGRAFÍA

- Méndez, Jorge, Návar, José y González, Vladimir. Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. México: Universidad Autónoma de México, 2008.
- Acosta, Pedro. Caro, Carlos. Regionalización de parámetros hidrológicos. Aplicación para intensidad media de precipitación. Tunja: Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, 2009.
- Aguilera, María. «Estimación de funciones de distribuciones de probabilidad para caudales máximos en la región del Maule.» 2007.
- Ambriz, Emilio. « Hidrología Urbana de Grandes Ciudades.» 1998.
- Andrews. “Plots of high-dimensional data”. Estados Unidos : Bell Telephone Laboratories, Murray Hill, New Jersey and Princeton University, 1972.
- Aponte, Lina Xiomara Sierra. Evaluación de 4 metodologías para la construcción de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia). Tunja, 2012.
- Aristizabal, Liina Acevedo. Estimación Hidrológica bajo escenarios de cambio climático en Colombia. Tesis Posgrado En Aprovechamiento De Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional De Colombia. Medellín, 2009.
- Benítez, A. «Comunicación personal al equipo investigador.» 2002.
- Bianco, M. «Transformaciones de Box Cox.» 2010.
- Caamaño Nelli A., Rico y C.M Dasso y C. M. Garcia. Regionalización de Parámetros de un método para predicción de lluvias máximas. Azul, Argentina: Primer Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras., 2010.
- Caamaño Nelli, G., y otros. Lluvia de diseño sin atenuación de datos locales para una cuenca. Córdoba , 2002.
- Caamaño, N. Regionalización de Parámetros de un método para predicción de lluvias máximas. Argentina: Primer Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, 2010.
- Campos, Luis Felipe y Hernandez, Juan Diego. Construcción de curvas IDF, mediante interpolación de intensidades y parámetros de ajuste, aplicación



- al departamento de Boyacá Colombia. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Tunja, 2013.
- Catalini Carlos, G., y otros. «Implementacion De Una Técnica De Regionalizacion De Láminas Máximas Diarias Y Curvas I-D-T En Las Provincias De Córdoba Y Santa Fe.» 2005.
- Chow, V., D. Maidment y L. Mays. Manual de Hidrología Aplicada. Bogotá: Mc Graw-Hill, 1994.
- Ciclo Hidrológico. Ciclo Hidrológico. 2014. 03 de Julio de 2014 <<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>>.
- E., Andrade A. Eric. Conceptos Básicos de los Modelos Hidrológicos. 2011. 23 de 10 de 2014 <<http://civilgeeks.com/2011/09/27/conceptos-basicos-de-los-modelos-hidrologicos/>>.
- Escalante, S. «Análisis regional hidrológico.» 2002.
- Franke, R. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. Computer and Mathematics with Applications Vol 8. Gran Bretaña, 1982.
- Fréchet, Fisher y Tippet. «Generalized extreme value distribution.» 1927.
- Ganancias, Facundo Matias. Evaluación de Metodologías de Reginalización Hidrológica: Aplicación a los caudales Máximos de Cuencas Representativas de la región Sur - Oeste de la Provincia de Córdoba. Tesis de Maestria . Universidad Nacional de Córdoba. Cordoba, Argentina, 2010.
- Guillermo Pérez. Ciclo hidrologico. 3 de Julio de 2014. Ciclo Hidrologico .com. 3 de Julio de 2014 <<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>>.
- hidrologico, Ciclo. <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>. s.f. 03 de Julio de 2014.
- IDEAM, IGAC, DANE. Reporte Numer 4 de áreas afectadas por inundaciones 2010 -2011. Bogotá, 2011.
- Mendez, Gillermo José, y otros. Regionalización de curvas IDF para Chaco y Formosa. Argentina, 2011.



- Mesa, Oscar, y otros. Regionalización de Características Medias de la Cuenca con Aplicación en la estimación de caudales máximos. Medellín, 2001.
- Mintegui, J. y F López. La ordenación Agrohídrológica en la Planificación. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 1990.
- Montenisos, Fernando. «Hidrología-Ciclo 2013-I.» Perú: Universidad Alas Peruanas, 2013.
- Morán, W.C. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Lima- Perú: CONCYTEC, 1980.
- Pizarro, R. Abarza, A. Flores, J. Análisis comparativo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en 6 estaciones Pluviográficas. Chile: Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Gestión Forestal y Ambiental, 2001.
- Pizarro, R. y P Novoa. «Instructivo n° 5: Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología.» Corporación Nacional Forestal (CONAF) (1986): pp. 78.
- Pizarro, Roberto, y otros. «Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia.» Sociedad Estándares de Ingeniería para Agua y Suelos Ltda (2004).
- Planeación, Secretaria de. Secretaría de Planeación de Cundinamarca con base en información de POT Municipales hasta Octubre. Bogotá D.C, 2007.
- Pulgarín, Edicson Gonzalo. Formulas regionales para la estimación de curvas intensidad - Frecuencia- Duración basadas en las propiedades de escala de la Lluvia (Región Andina Colombiana). Tesis de Magister . UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Medellín, 2009.
- R. Pizarro, J. Florez, C. Sangüeza, E. Martinez. «Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la producción silvícola.» Octubre 2014.
- Raynal, José. «Estimadores de Momentos de Probabilidad Pesada para la Distribución General de Valores Extremos para Máximos.» Universidad de las Américas-Puebla, Departamento de Ingeniería Civil (2005): Pp. 75-82.



- Regalado, Leticia de Salas. Regionalización de leyes IDF para el uso de Modelos hidrometereológicos de estimación de caudales. Universidad plitécnica de Madrid. Madrid, 2004.
- Rodriguez, Jenny Mariluz. «APPLICATION OF INTERPOLATION METHODS FOR THE CALCULATION OF .» (2014).
- Ruberto, Alejandro, y otros. «Actualización y análisis de las curvas IDF en el área metropolitana del Gran Resistencia.» 2006.
- Saavedra, Sebastian. «Blogger Sebastian Saavedra.» 2009.
- Secretaría de Planeación de Cundinamarca. «Secretaría de Planeación de Cundinamarca con base en información de POT Municipales hasta Octubre.» 2007.
- Segeber, Calos y Rubén. Villodas. «Hidrología I: Las precipitaciones.» 2006.
- Témez, J. Calculo Hidrometeorológico de Caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid: Dirección General de Carreteras, 1978.
- Ulriksen, P., M. Parada y P Aceituno. Perspectivas de Desarrollo de los recursos de la VII Región. Chile: Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales. Iren- Corfo, para el Gobierno de la Región del Maule, 1979.
- Ven Te Chow, D.R. Hidrología aplicada. Santa fé de Bogotá: Mc GRAW HILL, 1994.
- wikipedia. wikipedia. 9 de Julio de 2014. 12 de Julio de 2014 <[http://es.wikipedia.org/wiki/Precipitaci%C3%B3n_\(meteorolog%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Precipitaci%C3%B3n_(meteorolog%C3%ADa))>
- www.bojaca-cundinamarca.gov.co. «Alcaldía de Bojacá Cundinamarca.» 5 de Julio de 2014. Sitio web Alcaldía de Bojacá Cundinamarca. 3 de Julio de 2014 <<http://www.bojaca-cundinamarca.gov.co>>.
- www.elrosal-cundinamarca.gov.co. Alcaldía El Rosal - departamento de Cundinamarca. 5 de Julio de 2014. 3 de julio de 2014 <<http://www.elrosal-cundinamarca.gov.co>>.
- www.facatativa-cundinamarca.gov.co. Alcaldia de Facatativá, Colombia. 5 de Julio de 2014. 3 de Julio de 2014 <<http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co>>.



www.funza-cundinamarca.gov.co. Alcaldía de Funza - Cundinamarca. 5 de Julio de 2014. 5 de Julio de 2014 <http://www.funza-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>.

www.madrid-cundinamarca.gov.co. Alcaldía de Madrid- Cundinamarca. 5 de Julio de 2014. 5 de Julio de 2014 <<http://www.madrid-cundinamarca.gov.co/index.shtml>>.

www.mosquera-cundinamarca.gov.co. Alcaldía de Mosquera Cundinamarca. 5 de Julio de 2014. 5 de Julio de 2014 <http://mosquera-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml>.

www.subachoque-cundinamarca.gov.co. Alcaldía de Subachoque - Departamento de Cundinamarca. 5 de Julio de 2014. 3 de Julio de 2014 <<http://www.subachoque-cundinamarca.gov.co>>.

www.zipacon-cundinamarca.gov.co. Alcaldía de Zipacón. 5 de Julio de 2014. 5 de Julio de 2014 <http://www.zipacon-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia>.



ANEXOS

ANEXO A. Clasificación de la información

Tabla 31. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación La Florida.

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1996	10,0	6,2	3,6	3,1	3,1	3,0	2,1	1,7	1,4	1,3	1,2
1997	42,6	31,6	24,3	23,3	21,9	20,4	17,3	12,0	9,3	8,0	6,7
1998	38,6	36,3	32,5	20,2	15,8	11,4	6,7	5,8	5,3	5,0	4,8
1999	25,2	18,2	13,5	9,6	7,0	4,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
2000	39,6	28,8	22,5	11,5	7,7	3,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
2001	2,7	2,4	2,4	2,0	1,7	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3
2002	20,4	18,3	12,6	10,8	8,8	6,7	3,4	2,2	1,7	1,4	1,1
2003	63,8	53,2	49,8	26,6	22,3	18,0	8,9	8,6	8,5	8,5	8,4
2004	17,2	11,1	6,0	5,2	4,9	4,5	3,0	2,7	2,6	2,5	2,4
2005	49,4	29,8	27,0	17,4	14,7	11,9	7,0	4,8	3,7	3,2	2,6
2006	60,0	55,2	45,0	34,4	27,0	19,6	13,0	8,8	6,7	5,6	4,6

Fuente: Autores.

Tabla 32. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación base aérea.

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1986	15,9	15,2	11,7	7,4	7,0	6,6	6,0	4,5	3,8	3,4	3,1
1987	30,0	20,7	15,6	8,0	7,0	6,0	4,4	3,0	2,2	1,9	1,5
1988	5,2	4,8	3,5	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
1989	112,8	59,4	32,7	23,4	17,8	12,2	7,6	5,1	3,8	3,2	2,5
1990	20,1	17,8	13,2	10,9	8,3	5,7	3,6	2,8	2,3	2,1	1,9
1991	12,3	9,1	6,9	5,6	4,6	3,6	3,6	3,0	2,7	2,5	2,4
1992	27,3	21,2	18,1	12,6	11,8	11,1	6,5	4,3	3,3	2,7	2,2
1993	38,4	24,6	19,8	16,2	12,2	8,1	4,1	2,8	2,2	1,9	1,5
1994	7,2	7,0	6,2	4,5	4,4	4,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1
1995	42,0	26,7	18,4	12,0	10,9	9,7	4,9	3,2	2,4	2,0	1,6
1996	15,0	13,0	12,0	9,5	8,6	7,6	6,0	4,4	3,7	3,3	2,9



1997	6,6	4,8	4,7	4,5	4,0	3,6	3,4	3,1	3,0	2,9	2,9
1998	22,5	18,4	16,2	10,0	7,1	4,2	3,8	3,4	3,2	3,1	3,0
1999	3,0	3,0	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	1,9	1,6	1,5	1,3
2000	75,6	51,4	48,6	40,2	36,1	31,9	16,0	10,6	8,0	6,6	5,3
2001	72,0	54,0	42,9	33,4	28,8	24,2	13,6	9,2	6,9	5,8	4,7
2002	17,1	16,4	15,6	10,8	9,9	9,0	6,6	5,0	4,2	3,8	3,5
2003	30,0	24,0	21,0	19,0	15,5	12,0	8,9	6,8	5,8	5,3	4,8
2004	3,6	2,3	2,1	1,7	1,4	1,2	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6
2005	21,3	21,2	14,9	13,8	13,5	13,2	13,2	9,4	7,5	6,5	5,6
2006	15,6	13,5	9,6	9,0	7,0	4,9	2,5	1,7	1,2	1,0	0,8
2007	10,2	6,3	6,1	4,2	3,9	3,6	3,1	2,1	1,6	1,3	1,1

Fuente: Autores.

Tabla 33.Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Granja Tabio

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1996	114,0	81,0	64,2	34,6	31,1	27,6	17,3	11,5	8,7	7,2	5,8
1997	47,7	37,4	26,5	15,2	11,6	8,0	7,2	5,1	4,0	3,5	2,9
1998	160,8	80,4	46,4	26,2	19,7	13,2	13,2	8,8	6,7	5,6	4,5
1999	46,4	36,6	23,9	20,4	17,0	13,6	7,2	5,9	5,3	5,0	4,6
2000	34,8	23,4	16,8	11,4	9,3	7,3	5,7	4,2	3,5	3,1	2,8
2001	7,8	7,0	4,8	4,0	3,3	2,7	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1
2002	26,4	20,7	13,8	12,0	11,2	10,3	6,7	4,7	3,7	3,2	2,7
2003	29,4	27,6	22,8	21,6	17,7	13,7	10,8	8,0	6,6	5,9	5,2
2004	15,0	8,2	7,6	2,7	2,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
2005	24,0	14,4	7,8	5,8	4,5	3,2	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
2006	5,1	3,7	3,2	2,4	2,4	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
2007	88,2	74,8	58,8	39,4	37,7	36,0	20,9	14,0	10,6	8,8	7,1

Fuente: Autores.



Tabla 34.Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Providencia

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1986	8,4	7,2	6,0	5,4	5,2	5,1	5,0	3,9	3,4	3,1	2,9
1987	8,7	8,2	6,3	5,6	5,5	5,4	4,4	4,0	3,8	3,7	3,6
1988	55,6	54,6	51,6	44,4	36,9	29,4	15,7	10,7	8,2	7,0	5,7
1989	33,6	28,4	14,2	12,0	9,6	7,1	6,0	4,2	3,3	2,8	2,4
1990	42,8	40,2	26,6	24,0	21,6	19,2	14,7	10,2	7,9	6,8	5,6
1991	13,9	12,7	6,0	6,0	5,4	4,8	3,3	3,1	2,9	2,9	2,8
1992	4,1	3,3	2,4	1,7	1,5	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5
1993	48,0	36,0	27,9	21,6	20,1	18,5	12,0	8,0	6,0	5,0	4,0
1994	18,0	17,4	14,7	12,0	10,4	8,7	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5
1995	89,4	57,0	48,0	33,6	33,6	33,5	17,3	11,7	8,9	7,5	6,1
1996	23,4	22,2	15,7	13,8	10,8	7,9	6,0	4,3	3,4	2,9	2,5
1997	48,0	42,0	39,8	30,6	30,1	29,6	21,0	14,0	10,5	8,8	7,0
1998	40,8	32,6	30,6	16,3	11,2	6,0	5,4	4,5	4,1	3,8	3,6
1999	13,0	11,7	10,1	6,4	4,7	3,0	2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
2000	29,1	27,4	18,0	15,5	13,8	12,0	8,1	5,4	4,1	3,4	2,7
2001	25,2	20,6	20,4	11,9	9,9	7,8	2,8	2,6	2,5	2,4	2,4
2002	18,4	18,0	15,4	8,0	7,0	6,0	6,0	4,3	3,5	3,1	2,7
2003	4,8	4,8	3,2	1,8	1,7	1,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2004	10,8	10,0	9,1	8,4	7,9	7,4	6,3	4,7	3,9	3,5	3,1
2005	6,0	6,0	5,7	5,4	4,2	2,9	1,6	1,3	1,2	1,1	1,0
2006	3,0	3,0	2,9	2,0	1,6	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
2007	6,8	2,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fuente: Autores.

Tabla 35.Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Acapulco

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1996	18,9	12,2	9,6	3,4	3,1	2,4	2,4	2,0	1,8	1,7	1,2
1997	15,6	15,3	15,2	13,2	12,9	10,6	6,2	6,0	5,9	5,8	4,1
1998	33,0	27,0	23,0	21,0	19,8	15,9	6,0	5,7	5,3	5,3	5,3
1999	23,4	20,2	17,4	10,8	11,6	10,0	7,7	4,0	2,5	2,0	1,2



2000	13,8	7,1	6,6	6,0	5,6	5,0	5,0	4,4	3,8	3,8	3,8
2001	1,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2002	160,8	80,4	42,0	21,0	17,6	12,9	6,5	4,4	3,6	2,8	2,2
2003	10,9	5,0	3,4	2,4	2,3	1,8	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8
2004	16,2	15,6	14,4	8,4	7,8	7,2	3,6	2,4	2,0	1,5	1,2
2005	40,5	36,5	36,0	32,0	31,0	30,0	18,3	12,2	10,0	7,6	6,1
2006	2,5	2,2	1,5	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
2007	20,5	19,3	10,6	7,0	7,0	6,9	4,8	4,2	3,6	3,6	3,6

Fuente: Autores.

Tabla 36.Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Tibaitata.

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1986	10,2	7,6	5,8	4,8	4,2	3,6	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3
1987	30,0	21,0	12,3	9,0	7,1	5,2	2,8	2,0	1,7	1,5	1,3
1988	9,6	9,0	9,0	8,4	8,2	8,0	3,0	2,0	1,5	1,3	1,0
1989	39,9	33,4	21,1	13,2	12,3	11,4	8,5	7,9	7,5	7,4	7,2
1990	45,0	32,0	24,0	21,3	17,9	14,4	10,9	7,7	6,1	5,3	4,5
1991	24,4	20,1	13,1	9,6	8,2	6,7	4,4	4,3	4,3	4,2	4,2
1992	12,0	8,6	6,8	6,4	6,3	6,1	4,8	3,6	2,9	2,6	2,3
1993	28,0	21,0	15,0	14,2	12,5	10,8	10,2	7,5	6,2	5,5	4,9
1994	44,4	36,6	26,2	13,7	12,3	10,8	6,9	4,7	3,6	3,1	2,6
1995	26,6	20,3	15,9	10,8	9,8	8,7	3,6	3,4	3,2	3,2	3,1
1996	53,4	46,8	35,7	31,2	23,5	15,8	8,4	5,7	4,4	3,8	3,1
1997	39,6	36,0	20,4	14,0	13,2	12,4	7,0	4,8	3,7	3,1	2,6
1998	18,0	17,0	16,5	10,0	8,5	7,0	5,0	3,1	2,1	1,7	1,2
1999	12,6	6,5	6,2	4,8	4,2	3,6	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
2000	27,0	20,4	18,0	10,5	8,3	6,0	6,0	4,3	3,4	2,9	2,5
2001	50,7	44,8	27,0	25,9	21,0	16,1	6,0	5,9	5,9	5,8	5,8
2002	62,7	61,2	60,0	48,8	43,7	38,5	19,8	13,2	9,9	8,3	6,6
2003	36,0	27,0	26,0	20,5	17,8	15,0	8,2	7,1	6,6	6,3	6,0
2004	51,6	47,4	38,8	19,9	18,4	16,8	10,3	7,3	5,8	5,0	4,3
2005	33,0	29,0	21,0	16,4	14,2	12,0	8,2	8,0	7,9	7,9	7,8
2006	24,4	22,5	18,0	12,0	12,0	12,0	9,7	6,5	4,9	4,1	3,3
2007	59,7	50,8	47,4	27,4	25,1	22,8	14,3	9,6	7,2	6,0	4,9



Fuente: Autores.

Tabla 37. Relación Intensidad Máxima por año para diferentes duraciones-Estación Matima

	Máxima (mm/h)										
AÑO	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1986	20,1	19,3	6,7	1,8	1,7	1,6	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9
1987	28,5	22,8	21,0	14,9	11,2	7,5	6,0	4,3	3,4	2,9	2,5
1988	12,0	7,8	6,0	3,9	3,7	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
1989	17,4	13,2	10,2	7,0	5,4	3,8	2,6	1,7	1,3	1,1	0,9
1990	30,0	29,0	25,0	24,0	21,1	18,3	12,0	9,2	7,8	7,1	6,4
1991	84,0	57,0	38,0	19,0	14,9	10,8	9,5	6,3	4,8	4,0	3,2
1992	160,8	80,4	30,0	25,0	21,6	18,3	12,0	9,2	7,8	7,1	6,4
1993	38,6	22,9	14,0	12,0	9,8	7,6	6,0	4,2	3,3	2,9	2,4
1994	16,0	15,9	9,0	7,2	6,6	6,0	4,5	4,0	3,7	3,6	3,5
1995	48,0	36,0	30,0	28,0	27,5	27,0	14,0	9,4	7,0	5,9	4,7
1996	2,6	2,1	1,2	1,2	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6
1997	5,9	4,8	4,1	3,6	3,5	3,3	3,0	2,1	1,6	1,3	1,1
1998	23,0	20,5	13,0	6,7	4,9	3,0	2,2	1,7	1,5	1,3	1,2
1999	24,0	20,4	19,0	17,5	17,5	17,4	8,8	5,8	4,4	3,6	2,9
2000	4,2	1,8	1,4	1,2	1,1	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2001	12,9	12,8	11,7	11,0	7,7	4,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
2002	4,2	2,4	2,4	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
2003	34,2	25,8	20,4	17,6	15,7	13,7	7,3	4,9	3,7	3,1	2,5
2004	12,4	12,0	9,0	8,0	7,0	6,0	4,3	2,9	2,2	1,8	1,4
2005	11,6	7,4	3,6	2,5	2,4	2,4	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4
2006	22,8	22,6	19,8	16,8	12,7	8,6	2,9	2,0	1,6	1,4	1,2
2007	14,8	11,7	9,6	8,9	7,5	6,0	4,5	3,7	3,3	3,2	3,0

Fuente: Autores.



ANEXO B. Promedio de las mediciones ($\bar{x}$) y desviación estándar (sx)

Tabla 38. Promedio de las mediciones ($\bar{X}$) y desviación estándar (Sx)

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Providencia	X	25,1	21,2	17,1	13,0	11,5	9,9	6,6	4,7	3,8	3,4	2,9
	s	21,74	16,63	14,75	11,49	10,52	9,80	5,86	3,83	2,83	2,34	1,87
	Alfa	16,95	12,97	11,50	8,96	8,21	7,64	4,57	2,98	2,20	1,82	1,46
	u	15,29	13,69	10,42	7,87	6,76	5,54	3,96	3,03	2,55	2,31	2,06
Base Aérea	X	27,4	19,8	15,6	11,9	10,2	8,5	5,6	4,1	3,3	2,9	2,5
	s	27,27	16,12	12,21	9,83	8,51	7,35	4,09	2,74	2,09	1,78	1,49
	Alfa	21,26	12,57	9,52	7,67	6,64	5,73	3,19	2,13	1,63	1,38	1,16
	u	15,17	12,50	10,06	7,43	6,33	5,16	3,78	2,83	2,34	2,10	1,84
La Florida	X	33,6	26,5	21,7	14,9	12,2	9,6	6,2	4,8	4,1	3,8	3,5
	s	20,07	17,44	16,07	10,38	8,60	7,07	5,12	3,59	2,95	2,69	2,48
	Alfa	15,64	13,60	12,53	8,09	6,71	5,52	3,99	2,80	2,30	2,10	1,93
	u	24,56	18,62	14,51	10,25	8,37	6,38	3,88	3,20	2,81	2,59	2,34
Tibaitata	X	33,6	28,1	22,0	16,0	14,0	12,0	7,4	5,6	4,7	4,3	3,8
	s	16,10	15,22	13,56	10,28	8,87	7,65	4,14	2,76	2,23	2,05	1,94
	Alfa	12,56	11,87	10,57	8,01	6,91	5,96	3,23	2,15	1,74	1,60	1,51
	u	26,33	21,28	15,91	11,41	10,02	8,54	5,57	4,40	3,74	3,37	2,97
Mátima	X	28,5	20,4	13,9	10,9	9,4	7,8	5,0	3,6	3,0	2,7	2,3
	s	34,61	18,46	10,30	8,32	7,54	6,99	4,02	2,80	2,23	1,96	1,71
	Alfa	26,98	14,40	8,03	6,49	5,88	5,45	3,14	2,19	1,74	1,53	1,33
	u	12,96	12,08	9,23	7,14	5,96	4,69	3,14	2,39	1,99	1,79	1,57
Acapulco	X	29,8	20,1	15,0	10,6	10,0	8,7	5,3	4,0	3,4	3,0	2,6
	s	42,74	21,64	13,09	9,66	9,11	8,29	4,73	3,19	2,69	2,24	1,91
	Alfa	33,33	16,87	10,21	7,53	7,10	6,47	3,69	2,49	2,10	1,75	1,49
	u	10,53	10,39	9,13	6,24	5,92	4,98	3,12	2,53	2,18	2,03	1,72
Granja Tabio	X	50,0	34,6	24,7	16,3	13,9	11,6	8,0	5,8	4,7	4,1	3,6
	s	47,45	28,72	20,93	12,42	11,40	10,62	6,37	4,08	2,95	2,40	1,86
	Alfa	37,00	22,39	16,32	9,68	8,89	8,28	4,97	3,18	2,30	1,87	1,45
	u	28,61	21,67	15,30	10,71	8,81	6,81	5,17	3,97	3,36	3,04	2,73

Fuente: Autores.



ANEXO C. Reordenamiento de las intensidades

Tabla 39.Reordenamiento de las intensidades -Estación La Florida.

m	Máxima (mm/h)										
	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	10,0	6,2	3,6	3,1	3,1	3,0	2,1	1,7	1,4	1,3	1,2
2	42,6	31,6	24,3	23,3	21,9	20,4	17,3	12,0	9,3	8,0	6,7
3	38,6	36,3	32,5	20,2	15,8	11,4	6,7	5,8	5,3	5,0	4,8
4	25,2	18,2	13,5	9,6	7,0	4,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
5	39,6	28,8	22,5	11,5	7,7	3,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
6	2,7	2,4	2,4	2,0	1,7	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3
7	20,4	18,3	12,6	10,8	8,8	6,7	3,4	2,2	1,7	1,4	1,1
8	63,8	53,2	49,8	26,6	22,3	18,0	8,9	8,6	8,5	8,5	8,4
9	17,2	11,1	6,0	5,2	4,9	4,5	3,0	2,7	2,6	2,5	2,4
10	49,4	29,8	27,0	17,4	14,7	11,9	7,0	4,8	3,7	3,2	2,6
11	60,0	55,2	45,0	34,4	27,0	19,6	13,0	8,8	6,7	5,6	4,6

Fuente: Autores.

Tabla 40.Reordenamiento de las intensidades-Estación base aérea.

m	Máxima (mm/h)										
	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	112,8	59,4	48,6	40,2	36,1	31,9	16,0	10,6	8,0	6,6	5,6
2	75,6	54,0	42,9	33,4	28,8	24,2	13,6	9,4	7,5	6,5	5,3
3	72,0	51,4	32,7	23,4	17,8	13,2	13,2	9,2	6,9	5,8	4,8
4	42,0	26,7	21,0	19,0	15,5	12,2	8,9	6,8	5,8	5,3	4,7
5	38,4	24,6	19,8	16,2	13,5	12,0	7,6	5,1	4,2	3,8	3,5
6	30,0	24,0	18,4	13,8	12,2	11,1	6,6	5,0	3,8	3,4	3,1
7	30,0	21,2	18,1	12,6	11,8	9,7	6,5	4,5	3,8	3,3	3,0
8	27,3	21,2	16,2	12,0	10,9	9,0	6,0	4,4	3,7	3,2	2,9
9	22,5	20,7	15,6	10,9	9,9	8,1	6,0	4,3	3,3	3,1	2,9
10	21,3	18,4	15,6	10,8	8,6	7,6	4,9	3,4	3,2	2,9	2,5
11	20,1	17,8	14,9	10,0	8,3	6,6	4,4	3,2	3,0	2,7	2,4
12	17,1	16,4	13,2	9,5	7,1	6,0	4,1	3,1	2,7	2,5	2,2
13	15,9	15,2	12,0	9,0	7,0	5,7	3,8	3,0	2,4	2,1	1,9
14	15,6	13,5	11,7	8,0	7,0	4,9	3,6	3,0	2,3	2,0	1,6
15	15,0	13,0	9,6	7,4	7,0	4,3	3,6	2,8	2,2	1,9	1,5
16	12,3	9,1	6,9	5,6	4,6	4,2	3,4	2,8	2,2	1,9	1,5



17	10,2	7,0	6,2	4,5	4,4	3,6	3,1	2,1	1,6	1,5	1,3
18	7,2	6,3	6,1	4,5	4,0	3,6	2,5	1,9	1,6	1,3	1,1
19	6,6	4,8	4,7	4,2	3,9	2,4	2,4	1,7	1,2	1,1	1,1
20	5,2	4,8	3,5	2,4	2,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
21	3,6	3,0	2,5	1,8	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,8
22	3,0	2,3	2,1	1,7	1,4	3,6	1,2	0,9	0,7	0,6	0,6

Fuente: Autores.

Tabla 41. Reordenamiento de las intensidades -Estación Granja Tabio

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	160,8	81	64,2	39,4	37,7	36	20,9	14,0	10,6	8,8	7,1
2	114	80,4	58,8	34,6	31,1	27,6	17,3	11,5	8,7	7,2	5,8
3	88,2	74,8	46,4	26,2	19,7	13,7	13,15	8,8	6,7	5,9	5,2
4	47,7	37,35	26,5	21,6	17,65	13,6	10,8	8,0	6,6	5,6	4,6
5	46,4	36,6	23,9	20,4	17	13,2	7,2	5,9	5,3	5,0	4,5
6	34,8	27,6	22,8	15,15	11,56	10,3	7,2	5,1	4,0	3,5	2,9
7	29,4	23,4	16,8	12	11,15	7,97	6,65	4,7	3,7	3,2	2,8
8	26,4	20,7	13,8	11,4	9,325	7,25	5,7	4,2	3,5	3,1	2,7
9	24	14,4	7,8	5,8	4,5	3,2	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
10	15	8,15	7,6	3,95	3,325	2,7	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1
11	7,8	7	4,8	2,72	2,35	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
12	5,05	3,7	3,2	2,4	1,96	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Fuente: Autores.

Tabla 42.Reordenamiento de las intensidades -Estación Providencia

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	89,4	57	51,6	44,4	36,9	33,5	21	14,00	10,50	8,8	7,0
2	55,6	54,6	48	33,6	33,55	29,6	17,25	11,68	8,89	7,5	6,1
3	48	42	39,8	30,6	30,1	29,4	15,7	10,70	8,20	7,0	5,7
4	48	40,2	30,6	24	21,6	19,2	14,7	10,17	7,90	6,8	5,6
5	42,8	36	27,9	21,6	20,05	18,5	11,95	7,99	6,00	5,0	4,0
6	40,8	32,6	26,6	16,3	13,75	12	8,1	5,40	4,06	3,8	3,6
7	33,6	28,4	20,4	15,5	11,15	8,7	6,3	4,70	4,05	3,7	3,6
8	29,1	27,4	18	13,8	10,825	7,85	6	4,52	3,90	3,5	3,1



9	25,2	22,2	15,7	12	10,35	7,8	6	4,34	3,81	3,4	2,9
10	23,4	20,6	15,4	12	9,85	7,4	6	4,25	3,50	3,1	2,8
11	18,4	18	14,7	11,9	9,55	7,1	5,43	4,18	3,39	3,1	2,7
12	18	17,4	14,2	8,4	7,9	6	5	4,02	3,38	2,9	2,7
13	13,9	12,7	10,1	8	7	6	4,43	3,93	3,27	2,9	2,5
14	13	11,7	9,1	6,35	5,5	5,4	4,35	3,05	2,93	2,8	2,4
15	10,8	10	6,3	6	5,41	5,05	3,3	2,90	2,49	2,4	2,4
16	8,7	8,2	6	5,6	5,225	4,82	2,75	2,58	2,18	1,9	1,8
17	8,4	7,2	6	5,4	4,675	3	2,2	2,00	1,90	1,8	1,5
18	6,8	6	5,7	5,4	4,15	2,9	1,6	1,31	1,17	1,1	1,0
19	6	4,8	3,2	2	1,7	1,6	1	0,86	0,79	0,8	0,7
20	4,8	3,3	2,9	1,8	1,6	1,2	0,9	0,72	0,62	0,6	0,6
21	4,05	3	2,4	1,7	1,45	1,2	0,6	0,60	0,60	0,6	0,6
22	3	2,55	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,60	0,60	0,6	0,5

Fuente: Autores.

Tabla 43.Reordenamiento de las intensidades -Estación Acapulco

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	160,8	80,4	42,0	32,0	31,0	30,0	18,3	12,2	10,0	7,6	6,1
2	40,5	36,5	36,0	21,0	19,8	15,9	7,7	6,0	5,9	5,8	5,3
3	33,0	27,0	23,0	21,0	17,6	12,9	6,5	5,7	5,3	5,3	4,1
4	23,4	20,2	17,4	13,2	12,9	10,6	6,2	4,4	3,8	3,8	3,8
5	20,5	19,3	15,2	10,8	11,6	10,0	6,0	4,4	3,6	3,6	3,6
6	18,9	15,6	14,4	8,4	7,8	7,2	5,0	4,2	3,6	2,8	2,2
7	16,2	15,3	10,6	7,0	7,0	6,9	4,8	4,0	2,5	2,0	1,2
8	15,6	12,2	9,6	6,0	5,6	5,0	3,6	2,4	2,0	1,7	1,2
9	13,8	7,1	6,6	3,4	3,1	2,4	2,4	2,0	1,8	1,5	1,2
10	10,9	5,0	3,4	2,4	2,3	1,8	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9
11	2,5	2,2	1,5	1,2	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8
12	1,2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fuente: Autores.



Tabla 44.Reordenamiento de las intensidades -Estación Tibaitata.

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	62,7	61,2	60,0	48,8	43,7	38,5	19,8	13,2	9,9	8,3	7,8
2	59,7	50,8	47,4	31,2	25,1	22,8	14,3	9,6	7,9	7,9	7,2
3	53,4	47,4	38,8	27,4	23,5	16,8	10,9	8,0	7,5	7,4	6,6
4	51,6	46,8	35,7	25,9	21,0	16,1	10,3	7,9	7,2	6,3	6,0
5	50,7	44,8	27,0	21,3	18,4	15,8	10,2	7,7	6,6	6,0	5,8
6	45,0	36,6	26,2	20,5	17,9	15,0	9,7	7,5	6,2	5,8	4,9
7	44,4	36,0	26,0	19,9	17,8	14,4	8,5	7,3	6,1	5,5	4,9
8	39,9	33,4	24,0	16,4	14,2	12,4	8,4	7,1	5,9	5,3	4,5
9	39,6	32,0	21,1	14,2	13,2	12,0	8,2	6,5	5,8	5,0	4,3
10	36,0	29,0	21,0	14,0	12,5	12,0	8,2	5,9	4,9	4,2	4,2
11	33,0	27,0	20,4	13,7	12,3	11,4	7,0	5,7	4,4	4,1	3,3
12	30,0	22,5	18,0	13,2	12,3	10,8	6,9	4,8	4,3	3,8	3,3
13	28,0	21,0	18,0	12,0	12,0	10,8	6,0	4,7	3,7	3,3	3,1
14	27,0	21,0	16,5	10,8	9,8	8,7	6,0	4,3	3,6	3,2	3,1
15	26,6	20,4	15,9	10,5	8,5	8,0	5,0	4,3	3,4	3,1	2,6
16	24,4	20,3	15,0	10,0	8,3	7,0	4,8	3,6	3,3	3,1	2,6
17	24,4	20,1	13,1	9,6	8,2	6,7	4,4	3,4	3,2	2,9	2,5
18	18,0	17,0	12,3	9,0	8,2	6,1	3,6	3,4	2,9	2,6	2,3
19	12,6	9,0	9,0	8,4	7,1	6,0	3,4	3,1	2,3	2,3	2,3
20	12,0	8,6	6,8	6,4	6,3	5,2	3,0	2,4	2,1	1,7	1,3
21	10,2	7,6	6,2	4,8	4,2	3,6	2,8	2,0	1,7	1,5	1,2
22	9,6	6,5	5,8	4,8	4,2	3,6	2,4	2,0	1,5	1,3	1,0

Fuente: Autores.

Tabla 45.Reordenamiento de las intensidades -Estación Matima

	Máxima (mm/h)										
m	5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
1	160,8	80,4	38	28	27,5	27	14	9,35	7,78	7,1	6,4
2	84	57	30	25	21,625	18,25	12	9,19	7,77	7,1	6,4
3	48	36	30	24	21,125	18,25	12	9,18	7,03	5,9	4,7
4	38,6	29	25	19	17,45	17,4	9,5	6,34	4,75	4,0	3,5
5	34,2	25,8	21	17,6	15,65	13,7	8,75	5,84	4,38	3,6	3,2
6	30	22,9	20,4	17,5	14,9	10,8	7,25	4,90	3,73	3,6	3,0
7	28,5	22,8	19,8	16,8	12,675	8,55	6	4,25	3,72	3,2	3,0



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO

8	24	22,6	19	14,9	11,2	7,64	6	4,20	3,38	3,1	2,9
9	23	20,5	14	12	9,82	7,5	4,5	3,99	3,35	3,0	2,5
10	22,8	20,4	13	10,95	7,66	6	4,45	3,72	3,30	2,9	2,5
11	20,05	19,3	11,7	8,9	7,45	6	4,3	3,00	3,00	2,9	2,4
12	17,4	15,9	10,2	8	7	6	3	2,87	2,16	1,8	1,4
13	16	13,2	9,6	7,2	6,6	4,37	3	2,05	1,61	1,4	1,4
14	14,8	12,8	9	7	5,4	3,8	2,85	2,03	1,58	1,4	1,3
15	12,9	12	9	6,7	4,85	3,5	2,55	1,74	1,49	1,3	1,2
16	12,4	11,7	6,68	3,9	3,7	3,3	2,23	1,72	1,46	1,3	1,2
17	12	7,75	6	3,6	3,45	3	1,9	1,63	1,34	1,3	1,1
18	11,6	7,35	4,1	2,45	2,425	2,4	1,4	1,33	1,29	1,1	0,9
19	5,9	4,8	3,6	1,8	1,7	1,6	1,2	1,05	0,98	0,9	0,9
20	4,15	2,4	2,4	1,8	1,625	1,45	0,9	0,75	0,68	0,6	0,6
21	4,15	2,1	1,43	1,2	1,06	0,92	0,6	0,60	0,60	0,6	0,6
22	2,6	1,8	1,2	1,2	1,05	0,9	0,6	0,60	0,60	0,6	0,6

Fuente: Autores.



ANEXO D. Intensidades máximas

Tabla 46.Tabla de intensidades máximas para diferente duración y tiempo de retorno

Duración [min]		5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
Providencia	2 años	21,5	18,4	14,6	11,2	9,8	8,3	5,6	4,1	3,4	3,0	2,6
	5 años	40,7	33,1	27,7	21,3	19,1	17,0	10,8	7,5	5,9	5,0	4,2
	10 años	53,4	42,9	36,3	28,0	25,2	22,7	14,2	9,7	7,5	6,4	5,3
	20 años	65,6	52,2	44,6	34,5	31,1	28,2	17,5	11,9	9,1	7,7	6,4
	50 años	81,4	64,3	55,3	42,8	38,8	35,4	21,8	14,7	11,2	9,4	7,7
	100 años	93,3	73,3	63,3	49,1	44,5	40,7	25,0	16,7	12,7	10,7	8,8
	150 años	100,2	78,6	68,0	52,7	47,8	43,8	26,8	18,0	13,6	11,4	9,3
	300 años	112,0	87,6	76,0	59,0	53,5	49,1	30,0	20,0	15,1	12,7	10,4
Base Aérea	2 años	23,0	17,1	13,5	10,2	8,8	7,3	4,9	3,6	2,9	2,6	2,3
	5 años	47,1	31,4	24,3	18,9	16,3	13,7	8,6	6,0	4,8	4,2	3,6
	10 años	63,0	40,8	31,5	24,7	21,3	18,0	11,0	7,6	6,0	5,2	4,4
	20 años	78,3	49,8	38,3	30,2	26,0	22,2	13,2	9,2	7,2	6,2	5,3
	50 años	98,1	61,5	47,2	37,3	32,2	27,5	16,2	11,2	8,7	7,5	6,4
	100 años	113,0	70,3	53,9	42,7	36,9	31,5	18,4	12,6	9,8	8,5	7,2
	150 años	121,6	75,4	57,7	45,8	39,6	33,8	19,7	13,5	10,5	9,0	7,6
	300 años	136,4	84,2	64,4	51,1	44,2	37,8	22,0	15,0	11,6	10,0	8,4
La Florida	2 años	30,3	23,6	19,1	13,2	10,8	8,4	5,3	4,2	3,7	3,4	3,0
	5 años	48,0	39,0	33,3	22,4	18,4	14,7	9,9	7,4	6,3	5,7	5,2
	10 años	59,8	49,2	42,7	28,5	23,5	18,8	12,9	9,5	8,0	7,3	6,7
	20 años	71,0	59,0	51,7	34,3	28,3	22,8	15,7	11,5	9,6	8,8	8,1
	50 años	85,6	71,7	63,4	41,8	34,5	27,9	19,4	14,1	11,8	10,8	9,9
	100 años	96,5	81,2	72,1	47,5	39,2	31,8	22,2	16,1	13,4	12,2	11,2
	150 años	102,9	86,7	77,2	50,8	42,0	34,0	23,9	17,2	14,3	13,1	12,0
	300 años	113,8	96,1	86,0	56,4	46,6	37,8	26,6	19,2	15,9	14,5	13,4
Tibaitata	2 años	30,9	25,6	19,8	14,3	12,6	10,7	6,8	5,2	4,4	4,0	3,5
	5 años	45,2	39,1	31,8	23,4	20,4	17,5	10,4	7,6	6,3	5,8	5,2
	10 años	54,6	48,0	39,7	29,4	25,6	22,0	12,8	9,2	7,7	7,0	6,4
	20 años	63,6	56,5	47,3	35,2	30,6	26,3	15,2	10,8	8,9	8,1	7,5
	50 años	75,3	67,6	57,2	42,7	37,0	31,8	18,2	12,8	10,5	9,6	8,9
	100 años	84,1	75,9	64,5	48,3	41,8	36,0	20,4	14,3	11,7	10,7	9,9
	150 años	89,2	80,7	68,8	51,5	44,6	38,4	21,7	15,2	12,5	11,4	10,5
	300 años	97,9	89,0	76,2	57,1	49,4	42,6	24,0	16,7	13,7	12,5	11,6
Mátima	2 años	22,9	17,4	12,2	9,5	8,1	6,7	4,3	3,2	2,6	2,3	2,1



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO

	5 años	53,4	33,7	21,3	16,9	14,8	12,9	7,8	5,7	4,6	4,1	3,6
	10 años	73,7	44,5	27,3	21,7	19,2	17,0	10,2	7,3	5,9	5,2	4,6
	20 años	93,1	54,8	33,1	26,4	23,4	20,9	12,5	8,9	7,2	6,3	5,5
	50 años	118,2	68,2	40,6	32,5	28,9	26,0	15,4	10,9	8,8	7,7	6,8
	100 años	137,1	78,3	46,2	37,0	33,0	29,8	17,6	12,4	10,0	8,8	7,7
	150 años	148,1	84,2	49,4	39,6	35,4	32,0	18,9	13,3	10,7	9,4	8,3
	300 años	166,8	94,2	55,0	44,2	39,5	35,8	21,0	14,8	11,9	10,5	9,2
Acapulco	2 años	22,7	16,6	12,9	9,0	8,5	7,3	4,5	3,4	3,0	2,7	2,3
	5 años	60,5	35,7	24,4	17,5	16,6	14,7	8,7	6,3	5,3	4,7	4,0
	10 años	85,5	48,4	32,1	23,2	21,9	19,5	11,4	8,1	6,9	6,0	5,1
	20 años	109,5	60,5	39,4	28,6	27,0	24,2	14,1	9,9	8,4	7,2	6,1
	50 años	140,6	76,2	48,9	35,6	33,6	30,2	17,5	12,2	10,4	8,8	7,5
	100 años	163,8	88,0	56,1	40,9	38,6	34,7	20,1	14,0	11,8	10,1	8,6
	150 años	177,4	94,9	60,2	44,0	41,5	37,4	21,6	15,0	12,7	10,8	9,2
	300 años	200,6	106,6	67,3	49,2	46,4	41,9	24,2	16,7	14,1	12,0	10,2
Granja Tabio	2 años	42,2	29,9	21,3	14,3	12,1	9,8	7,0	5,1	4,2	3,7	3,3
	5 años	84,1	55,3	39,8	25,2	22,1	19,2	12,6	8,7	6,8	5,8	4,9
	10 años	111,9	72,1	52,0	32,5	28,8	25,4	16,4	11,1	8,5	7,3	6,0
	20 años	138,5	88,2	63,8	39,5	35,2	31,4	19,9	13,4	10,2	8,6	7,0
	50 años	173,0	109,0	79,0	48,5	43,5	39,1	24,6	16,4	12,3	10,3	8,4
	100 años	198,8	124,7	90,4	55,2	49,7	44,9	28,0	18,6	13,9	11,6	9,4
	150 años	213,9	133,8	97,0	59,2	53,3	48,3	30,0	19,9	14,9	12,4	10,0
	300 años	239,6	149,3	108,4	65,9	59,5	54,0	33,5	22,1	16,5	13,7	11,0

Fuente: Autores.



ANEXO E. Pruebas de bondad de ajuste

Tabla 47 Pruebas de bondad de ajuste-Acapulco

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,011	0,016	0,039	0,032	0,029	0,021	0,016	0,020	0,024	0,041	0,052
0,334	0,192	0,069	0,131	0,132	0,169	0,251	0,223	0,158	0,106	0,086
0,399	0,312	0,226	0,131	0,177	0,254	0,330	0,248	0,203	0,143	0,183
0,493	0,429	0,359	0,328	0,312	0,342	0,356	0,377	0,373	0,307	0,222
0,524	0,445	0,424	0,421	0,364	0,369	0,368	0,380	0,399	0,334	0,246
0,541	0,520	0,449	0,528	0,536	0,508	0,452	0,400	0,404	0,473	0,522
0,570	0,526	0,579	0,595	0,579	0,524	0,470	0,431	0,568	0,633	0,757
0,576	0,593	0,617	0,644	0,651	0,631	0,585	0,649	0,669	0,692	0,757
0,596	0,704	0,724	0,766	0,775	0,774	0,704	0,715	0,698	0,748	0,757
0,629	0,748	0,827	0,811	0,813	0,805	0,827	0,849	0,842	0,852	0,823
0,720	0,803	0,879	0,858	0,857	0,834	0,831	0,852	0,856	0,867	0,843
0,734	0,828	0,900	0,879	0,879	0,860	0,862	0,887	0,881	0,896	0,879

Fuente: Autores.



Tabla 48. Pruebas de bondad de ajuste-Base Aérea

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,010	0,024	0,017	0,014	0,011	0,009	0,022	0,025	0,031	0,037	0,040
0,057	0,036	0,031	0,033	0,033	0,035	0,045	0,045	0,042	0,041	0,049
0,067	0,044	0,089	0,117	0,163	0,218	0,051	0,050	0,058	0,066	0,076
0,247	0,276	0,272	0,198	0,222	0,254	0,182	0,142	0,112	0,094	0,081
0,285	0,317	0,302	0,273	0,288	0,261	0,260	0,296	0,268	0,246	0,220
0,392	0,330	0,341	0,353	0,340	0,301	0,338	0,301	0,336	0,319	0,296
0,392	0,395	0,349	0,399	0,354	0,364	0,349	0,364	0,338	0,348	0,307
0,432	0,395	0,408	0,424	0,397	0,403	0,392	0,375	0,359	0,370	0,334
0,508	0,406	0,428	0,471	0,443	0,450	0,392	0,391	0,436	0,383	0,341
0,527	0,465	0,428	0,475	0,511	0,479	0,511	0,532	0,444	0,424	0,423
0,548	0,481	0,454	0,511	0,526	0,540	0,561	0,563	0,490	0,473	0,459
0,599	0,520	0,513	0,534	0,589	0,578	0,601	0,581	0,555	0,515	0,526
0,619	0,554	0,558	0,557	0,595	0,600	0,625	0,606	0,613	0,627	0,612
0,625	0,603	0,569	0,605	0,595	0,649	0,653	0,612	0,637	0,651	0,701
0,635	0,618	0,650	0,634	0,598	0,688	0,657	0,638	0,659	0,694	0,725
0,682	0,732	0,752	0,719	0,727	0,693	0,676	0,646	0,672	0,696	0,737
0,717	0,788	0,777	0,769	0,738	0,731	0,715	0,762	0,795	0,794	0,787
0,767	0,806	0,780	0,771	0,757	0,731	0,775	0,792	0,801	0,827	0,849
0,776	0,842	0,827	0,782	0,764	0,802	0,786	0,822	0,860	0,869	0,856
0,798	0,842	0,865	0,854	0,836	0,862	0,894	0,889	0,880	0,883	0,872
0,821	0,881	0,890	0,876	0,873	0,864	0,894	0,895	0,891	0,885	0,908
0,830	0,896	0,900	0,881	0,877	0,731	0,894	0,918	0,935	0,944	0,952

Fuente: Autores.



Tabla 49. Pruebas de bondad de ajuste-Florida La

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,078	0,066	0,058	0,049	0,060	0,076	0,034	0,043	0,058	0,059	0,043
0,099	0,076	0,084	0,124	0,118	0,087	0,098	0,128	0,080	0,074	0,102
0,185	0,238	0,212	0,181	0,125	0,115	0,249	0,134	0,170	0,209	0,244
0,271	0,319	0,309	0,255	0,282	0,308	0,367	0,331	0,290	0,267	0,270
0,318	0,356	0,367	0,338	0,324	0,331	0,388	0,430	0,490	0,460	0,406
0,335	0,377	0,410	0,575	0,611	0,611	0,658	0,580	0,508	0,530	0,577
0,617	0,641	0,663	0,607	0,671	0,755	0,681	0,698	0,674	0,652	0,621
0,729	0,643	0,688	0,661	0,705	0,756	0,712	0,736	0,697	0,665	0,621
0,798	0,824	0,861	0,844	0,815	0,796	0,765	0,756	0,805	0,829	0,835
0,921	0,917	0,908	0,911	0,890	0,842	0,790	0,825	0,839	0,841	0,848
0,982	0,963	0,928	0,937	0,933	0,915	0,888	0,927	0,944	0,948	0,948

Fuente: Autores.



Tabla 50. Pruebas de bondad de ajuste-Matima

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,004	0,009	0,027	0,039	0,025	0,017	0,031	0,040	0,035	0,031	0,027
0,069	0,043	0,073	0,062	0,067	0,080	0,058	0,044	0,035	0,031	0,027
0,239	0,173	0,073	0,072	0,073	0,080	0,058	0,044	0,054	0,067	0,092
0,321	0,266	0,131	0,149	0,132	0,092	0,124	0,151	0,185	0,214	0,215
0,366	0,320	0,206	0,181	0,175	0,174	0,154	0,187	0,224	0,256	0,261
0,412	0,376	0,220	0,183	0,197	0,278	0,237	0,272	0,308	0,263	0,291
0,430	0,378	0,235	0,202	0,274	0,389	0,331	0,347	0,310	0,334	0,294
0,485	0,382	0,256	0,261	0,337	0,441	0,331	0,354	0,363	0,340	0,306
0,498	0,427	0,424	0,377	0,405	0,449	0,477	0,382	0,368	0,364	0,384
0,501	0,429	0,465	0,426	0,527	0,544	0,483	0,420	0,376	0,376	0,393
0,537	0,454	0,521	0,533	0,540	0,544	0,499	0,530	0,429	0,393	0,416
0,572	0,535	0,588	0,584	0,568	0,544	0,649	0,552	0,598	0,630	0,669
0,591	0,603	0,615	0,629	0,592	0,654	0,649	0,689	0,712	0,720	0,694
0,607	0,614	0,643	0,640	0,667	0,692	0,666	0,693	0,720	0,723	0,721
0,633	0,634	0,643	0,657	0,701	0,712	0,701	0,740	0,738	0,739	0,734
0,640	0,642	0,747	0,807	0,770	0,725	0,737	0,744	0,744	0,741	0,734
0,645	0,741	0,776	0,822	0,784	0,744	0,774	0,758	0,768	0,755	0,760
0,651	0,751	0,850	0,873	0,839	0,782	0,825	0,803	0,777	0,785	0,802
0,727	0,809	0,867	0,897	0,873	0,828	0,844	0,842	0,834	0,826	0,810
0,750	0,859	0,904	0,897	0,876	0,837	0,870	0,880	0,882	0,881	0,875
0,750	0,865	0,929	0,918	0,900	0,864	0,894	0,896	0,893	0,887	0,875
0,770	0,870	0,934	0,918	0,900	0,865	0,894	0,896	0,893	0,887	0,875

Fuente: Autores.



Tabla 51. Pruebas de bondad de ajuste-Providencia

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,013	0,035	0,027	0,017	0,025	0,025	0,024	0,025	0,027	0,029	0,033
0,089	0,042	0,037	0,055	0,037	0,042	0,053	0,054	0,055	0,057	0,060
0,135	0,107	0,075	0,076	0,057	0,043	0,074	0,074	0,074	0,075	0,079
0,135	0,121	0,159	0,152	0,151	0,154	0,091	0,087	0,085	0,083	0,082
0,179	0,164	0,196	0,194	0,180	0,168	0,160	0,173	0,189	0,203	0,229
0,199	0,208	0,217	0,323	0,347	0,349	0,332	0,363	0,396	0,352	0,293
0,288	0,275	0,343	0,347	0,443	0,484	0,451	0,435	0,397	0,372	0,293
0,358	0,293	0,404	0,403	0,456	0,522	0,473	0,455	0,419	0,406	0,387
0,427	0,405	0,468	0,468	0,476	0,525	0,473	0,475	0,432	0,427	0,440
0,462	0,444	0,477	0,468	0,496	0,543	0,473	0,485	0,478	0,473	0,451
0,565	0,512	0,498	0,472	0,509	0,557	0,516	0,493	0,495	0,479	0,474
0,574	0,528	0,513	0,610	0,581	0,610	0,549	0,512	0,497	0,507	0,481
0,662	0,660	0,642	0,627	0,621	0,610	0,594	0,523	0,514	0,522	0,522
0,682	0,688	0,674	0,694	0,688	0,639	0,601	0,629	0,570	0,531	0,546
0,728	0,735	0,761	0,708	0,692	0,655	0,685	0,648	0,643	0,605	0,556
0,771	0,783	0,770	0,724	0,700	0,666	0,728	0,688	0,694	0,723	0,697
0,777	0,808	0,770	0,732	0,724	0,752	0,770	0,756	0,739	0,731	0,781
0,808	0,836	0,779	0,732	0,747	0,756	0,813	0,831	0,847	0,857	0,870
0,823	0,863	0,847	0,854	0,843	0,812	0,852	0,873	0,892	0,904	0,918
0,844	0,892	0,854	0,860	0,847	0,829	0,858	0,886	0,909	0,922	0,934
0,856	0,898	0,866	0,863	0,852	0,829	0,876	0,895	0,911	0,922	0,934
0,873	0,906	0,903	0,895	0,880	0,852	0,876	0,895	0,911	0,924	0,942

Fuente: Autores.



Tabla 52. Pruebas de bondad de ajuste-Tibaitata

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,054	0,034	0,015	0,009	0,008	0,007	0,012	0,017	0,029	0,046	0,040
0,068	0,080	0,050	0,081	0,107	0,088	0,065	0,086	0,087	0,059	0,059
0,109	0,105	0,108	0,127	0,133	0,222	0,175	0,171	0,107	0,079	0,087
0,125	0,110	0,143	0,151	0,185	0,247	0,209	0,181	0,127	0,150	0,126
0,134	0,129	0,295	0,253	0,259	0,256	0,215	0,194	0,180	0,172	0,142
0,202	0,241	0,315	0,275	0,275	0,287	0,246	0,210	0,217	0,193	0,248
0,211	0,251	0,319	0,293	0,279	0,312	0,330	0,233	0,227	0,228	0,251
0,288	0,303	0,372	0,415	0,421	0,408	0,345	0,248	0,256	0,258	0,305
0,294	0,333	0,458	0,506	0,468	0,429	0,358	0,318	0,270	0,303	0,349
0,371	0,407	0,461	0,515	0,503	0,429	0,358	0,391	0,406	0,443	0,359
0,445	0,461	0,480	0,528	0,513	0,462	0,479	0,417	0,493	0,475	0,553
0,526	0,594	0,560	0,551	0,515	0,496	0,484	0,570	0,524	0,544	0,558
0,583	0,641	0,560	0,605	0,528	0,496	0,583	0,576	0,647	0,646	0,601
0,613	0,641	0,612	0,660	0,646	0,622	0,583	0,647	0,653	0,680	0,601
0,624	0,659	0,632	0,674	0,712	0,665	0,699	0,657	0,708	0,691	0,729
0,689	0,663	0,664	0,697	0,725	0,726	0,719	0,771	0,718	0,696	0,734
0,689	0,669	0,729	0,714	0,728	0,744	0,760	0,803	0,739	0,731	0,745
0,857	0,762	0,755	0,741	0,730	0,778	0,841	0,803	0,794	0,796	0,786
0,950	0,940	0,854	0,767	0,783	0,784	0,859	0,840	0,895	0,857	0,790
0,956	0,946	0,906	0,846	0,822	0,826	0,891	0,925	0,918	0,945	0,951
0,973	0,958	0,918	0,898	0,902	0,899	0,909	0,951	0,963	0,962	0,961
0,977	0,969	0,926	0,898	0,902	0,899	0,931	0,952	0,973	0,977	0,975

Fuente: Autores.



Tabla 53. Pruebas de bondad de ajuste estación Granja Tabio

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pteórica)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,028	0,068	0,049	0,050	0,038	0,029	0,041	0,042	0,043	0,044	0,048
0,095	0,070	0,067	0,081	0,078	0,078	0,083	0,088	0,095	0,102	0,116
0,181	0,089	0,138	0,183	0,255	0,353	0,182	0,195	0,210	0,193	0,163
0,449	0,391	0,395	0,277	0,309	0,356	0,275	0,244	0,215	0,225	0,236
0,461	0,401	0,446	0,308	0,328	0,370	0,486	0,418	0,352	0,303	0,252
0,571	0,536	0,468	0,469	0,520	0,481	0,486	0,507	0,531	0,550	0,580
0,624	0,604	0,598	0,583	0,536	0,581	0,524	0,553	0,583	0,608	0,626
0,654	0,648	0,666	0,606	0,611	0,612	0,593	0,602	0,611	0,618	0,633
0,678	0,749	0,795	0,810	0,803	0,787	0,801	0,768	0,729	0,694	0,646
0,764	0,839	0,799	0,866	0,843	0,806	0,826	0,823	0,817	0,810	0,796
0,827	0,854	0,851	0,898	0,874	0,822	0,892	0,908	0,922	0,932	0,942
0,849	0,893	0,877	0,906	0,885	0,860	0,892	0,908	0,922	0,932	0,942

Tabla 54 Pruebas de bondad de ajuste – Acapulco

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=12
1	0,077
2	0,154
3	0,231
4	0,308
5	0,385
6	0,462
7	0,538
8	0,615
9	0,692
10	0,769
11	0,846
12	0,923

Fuente: Autores.



Tabla 55 Pruebas de bondad de ajuste- Base aérea

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=22
1	0,043
2	0,087
3	0,130
4	0,174
5	0,217
6	0,261
7	0,304
8	0,348
9	0,391
10	0,435
11	0,478
12	0,522
13	0,565
14	0,609
15	0,652
16	0,696
17	0,739
18	0,783
19	0,826
20	0,870
21	0,913
22	0,957

Fuente: Autores.



Tabla 56 Pruebas de bondad de ajuste-Flóida La

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=11
1	0,083
2	0,167
3	0,250
4	0,333
5	0,417
6	0,500
7	0,583
8	0,667
9	0,750
10	0,833
11	0,917

Fuente: Autores.

Tabla 57 Pruebas de bondad de ajuste-Matima

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=22
1	0,043
2	0,087
3	0,130
4	0,174
5	0,217
6	0,261
7	0,304
8	0,348
9	0,391
10	0,435



11	0,478
12	0,522
13	0,565
14	0,609
15	0,652
16	0,696
17	0,739
18	0,783
19	0,826
20	0,870
21	0,913
22	0,957

Fuente: Autores.

Tabla 58 Pruebas de bondad de ajuste-Providencia

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=22
1	0,043
2	0,087
3	0,130
4	0,174
5	0,217
6	0,261
7	0,304
8	0,348
9	0,391
10	0,435
11	0,478
12	0,522
13	0,565
14	0,609
15	0,652
16	0,696
17	0,739



18	0,783
19	0,826
20	0,870
21	0,913
22	0,957

Fuente: Autores. Fecha 20 de Abril de 2015

Tabla 59 Pruebas de bondad de ajuste-Tibaitata

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=22
1	0,043
2	0,087
3	0,130
4	0,174
5	0,217
6	0,261
7	0,304
8	0,348
9	0,391
10	0,435
11	0,478
12	0,522
13	0,565
14	0,609
15	0,652
16	0,696
17	0,739
18	0,783
19	0,826
20	0,870
21	0,913
22	0,957

Fuente: Autores. Fecha 20 de Abril de 2015



Tabla 60 Pruebas de bondad de ajuste- Tabio tenjo

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV (Pempírica)	
m	N=11
1	0,077
2	0,154
3	0,231
4	0,308
5	0,385
6	0,462
7	0,538
8	0,615
9	0,692
10	0,769
11	0,846
12	0,923

Fuente: Autores. Fecha 20 de Abril de 2015



ANEXO F. Desviación y evaluación

Tabla 61. Desviación. Estación– Acapulco

DESVIACIÓN (Δ)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,066	0,061	0,038	0,045	0,048	0,056	0,060	0,057	0,053	0,036	0,025
0,180	0,038	0,085	0,022	0,022	0,015	0,097	0,070	0,004	0,047	0,067
0,168	0,081	0,004	0,099	0,054	0,024	0,099	0,018	0,028	0,088	0,048
0,186	0,121	0,051	0,020	0,005	0,035	0,049	0,070	0,066	0,000	0,086
0,139	0,061	0,039	0,036	0,021	0,016	0,017	0,004	0,014	0,050	0,138
0,079	0,059	0,012	0,066	0,074	0,046	0,010	0,061	0,058	0,011	0,060
0,031	0,012	0,041	0,056	0,041	0,014	0,068	0,107	0,030	0,095	0,218
0,039	0,023	0,001	0,028	0,035	0,015	0,031	0,034	0,054	0,077	0,142
0,096	0,012	0,032	0,074	0,083	0,082	0,012	0,023	0,006	0,055	0,065
0,141	0,021	0,057	0,041	0,044	0,036	0,058	0,080	0,073	0,082	0,053
0,126	0,043	0,033	0,012	0,011	0,013	0,015	0,006	0,009	0,021	0,003
0,189	0,095	0,023	0,044	0,044	0,063	0,061	0,037	0,042	0,027	0,044

Tabla 62. Evaluación de aceptación del ajuste. Acapulco

$\Delta_{\text{máximo}}$	0,19	0,12	0,08	0,10	0,08	0,08	0,10	0,11	0,07	0,10	0,22
$\Delta_{\text{tolerable}}$	0,32		0,28	0,34	0,34	0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 63.Desviación. Estación Base aérea – Madrid Cundinamarca

DESVIACIÓN (")										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,033	0,020	0,026	0,030	0,032	0,034	0,022	0,018	0,013	0,007	0,004
0,030	0,051	0,056	0,054	0,054	0,052	0,042	0,042	0,045	0,046	0,038
0,064	0,086	0,042	0,013	0,032	0,087	0,080	0,080	0,073	0,065	0,055
0,073	0,102	0,098	0,024	0,048	0,080	0,008	0,032	0,062	0,079	0,093
0,068	0,100	0,085	0,055	0,070	0,044	0,043	0,078	0,051	0,029	0,003
0,131	0,069	0,080	0,310	0,079	0,040	0,077	0,040	0,075	0,058	0,035
0,088	0,091	0,045	0,095	0,050	0,060	0,045	0,059	0,033	0,044	0,002
0,084	0,047	0,060	0,076	0,049	0,055	0,045	0,027	0,012	0,022	0,014
0,116	0,015	0,037	0,079	0,052	0,059	0,001	0,000	0,045	0,009	0,050
0,093	0,030	0,007	0,040	0,076	0,045	0,076	0,097	0,009	0,011	0,012
0,069	0,003	0,025	0,033	0,047	0,062	0,083	0,085	0,012	0,005	0,019
0,077	0,002	0,009	0,012	0,068	0,056	0,079	0,060	0,033	0,007	0,004
0,054	0,012	0,008	0,008	0,030	0,035	0,060	0,041	0,048	0,062	0,047
0,016	0,006	0,040	0,004	0,014	0,040	0,044	0,003	0,028	0,042	0,092
0,017	0,035	0,002	0,019	0,054	0,036	0,005	0,014	0,007	0,041	0,073
0,014	0,036	0,056	0,023	0,031	0,002	0,020	0,050	0,023	0,000	0,042
0,022	0,048	0,038	0,030	0,001	0,008	0,024	0,023	0,056	0,054	0,048
0,016	0,023	0,002	0,011	0,026	0,052	0,007	0,010	0,019	0,044	0,066
0,050	0,016	0,000	0,044	0,063	0,024	0,040	0,004	0,034	0,043	0,030
0,072	0,028	0,005	0,015	0,034	0,008	0,024	0,019	0,010	0,013	0,003
0,092	0,032	0,023	0,037	0,040	0,049	0,019	0,018	0,022	0,028	0,005
0,126	0,061	0,056	0,076	0,080	0,226	0,063	0,039	0,022	0,013	0,005

Tabla 64.Evaluación de aceptación del ajuste. Base aérea

Δ máximo	0,13	0,10	0,10	0,31	0,08	0,23	0,08	0,10	0,08	0,08	0,09
Δ tolerable	0,32		0,28	0,34		0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 65.Desviación. Estación– Florida La

DESVIACIÓN (")										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,005	0,018	0,025	0,034	0,023	0,008	0,049	0,040	0,025	0,024	0,041
0,068	0,091	0,083	0,043	0,049	0,080	0,069	0,038	0,086	0,093	0,065
0,065	0,012	0,038	0,069	0,125	0,135	0,001	0,116	0,080	0,041	0,006
0,063	0,014	0,025	0,079	0,051	0,026	0,034	0,003	0,044	0,066	0,064
0,099	0,061	0,049	0,078	0,092	0,085	0,029	0,013	0,073	0,044	0,010
0,165	0,123	0,090	0,075	0,111	0,111	0,158	0,080	0,008	0,030	0,077
0,034	0,057	0,080	0,024	0,087	0,172	0,097	0,114	0,090	0,069	0,038
0,062	0,023	0,021	0,005	0,038	0,090	0,046	0,069	0,031	0,002	0,046
0,048	0,074	0,111	0,094	0,065	0,046	0,015	0,006	0,055	0,079	0,085
0,088	0,084	0,075	0,078	0,057	0,009	0,043	0,009	0,005	0,007	0,014
0,066	0,046	0,011	0,021	0,016	0,002	0,029	0,011	0,027	0,032	0,031

Tabla 66.Evaluación de aceptación del ajuste. Florida La

$\Delta_{\text{máximo}}$	0,17	0,12	0,11	0,09	0,12	0,17	0,16	0,12	0,09	0,09	0,09
$\Delta_{\text{tolerable}}$	0,32		0,28	0,34	0,282						
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 67.Desviación. Estación– Matima

DESVIACIÓN (")										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,039	0,035	0,016	0,004	0,018	0,027	0,013	0,003	0,008	0,013	0,016
0,018	0,044	0,014	0,025	0,020	0,007	0,029	0,043	0,052	0,056	0,060
0,108	0,042	0,058	0,059	0,057	0,051	0,073	0,087	0,077	0,063	0,039
0,147	0,092	0,043	0,025	0,042	0,081	0,050	0,022	0,011	0,040	0,041
0,148	0,102	0,011	0,036	0,042	0,043	0,063	0,031	0,007	0,039	0,044
0,152	0,115	0,040	0,077	0,064	0,017	0,024	0,011	0,047	0,003	0,030
0,126	0,074	0,069	0,102	0,031	0,084	0,027	0,043	0,005	0,030	0,010
0,138	0,034	0,091	0,087	0,011	0,093	0,017	0,006	0,016	0,008	0,042
0,107	0,036	0,033	0,014	0,014	0,058	0,086	0,009	0,023	0,027	0,007
0,066	0,005	0,030	0,008	0,093	0,110	0,048	0,015	0,059	0,059	0,041
0,058	0,024	0,042	0,055	0,062	0,066	0,021	0,052	0,049	0,085	0,062
0,050	0,014	0,066	0,062	0,046	0,023	0,127	0,030	0,076	0,108	0,147
0,026	0,038	0,050	0,063	0,027	0,088	0,084	0,124	0,147	0,155	0,129
0,002	0,005	0,034	0,031	0,059	0,083	0,058	0,084	0,111	0,115	0,112
0,019	0,018	0,009	0,005	0,049	0,059	0,049	0,087	0,086	0,087	0,082
0,056	0,054	0,051	0,112	0,074	0,029	0,042	0,048	0,048	0,046	0,038
0,094	0,002	0,037	0,083	0,045	0,005	0,035	0,019	0,029	0,016	0,021
0,132	0,032	0,067	0,090	0,056	0,001	0,042	0,021	0,005	0,002	0,020
0,099	0,017	0,041	0,071	0,047	0,002	0,018	0,016	0,008	0,000	0,017
0,120	0,011	0,034	0,028	0,007	0,033	0,001	0,010	0,012	0,011	0,005
0,163	0,048	0,016	0,005	0,013	0,049	0,019	0,017	0,020	0,026	0,038
0,187	0,086	0,022	0,039	0,056	0,091	0,062	0,060	0,064	0,070	0,082

Tabla 68.Evaluación de aceptación del ajuste. Matima

$\Delta_{\text{máximo}}$	0,19	0,12	0,09	0,11	0,09	0,11	0,13	0,12	0,15	0,16	0,15
$\Delta_{\text{tolerable}}$	0,32		0,28	0,34	0,282						
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 69.Desviación. Estación– Providencia

DESVIACIÓN (")										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,031	0,009	0,016	0,027	0,018	0,018	0,020	0,019	0,017	0,015	0,010
0,002	0,045	0,050	0,032	0,049	0,045	0,034	0,033	0,032	0,030	0,027
0,005	0,024	0,056	0,054	0,074	0,087	0,057	0,057	0,056	0,055	0,052
0,039	0,052	0,015	0,022	0,023	0,020	0,083	0,087	0,089	0,091	0,092
0,038	0,054	0,021	0,023	0,038	0,050	0,058	0,045	0,029	0,014	0,011
0,062	0,053	0,044	0,062	0,086	0,088	0,072	0,102	0,135	0,091	0,032
0,016	0,029	0,039	0,043	0,139	0,179	0,146	0,130	0,093	0,068	0,011
0,010	0,054	0,056	0,055	0,108	0,174	0,125	0,107	0,071	0,058	0,039
0,036	0,013	0,077	0,077	0,084	0,133	0,081	0,084	0,041	0,036	0,049
0,027	0,009	0,042	0,033	0,062	0,108	0,038	0,050	0,043	0,038	0,017
0,087	0,034	0,020	0,007	0,031	0,079	0,037	0,015	0,017	0,001	0,004
0,052	0,006	0,008	0,089	0,059	0,088	0,027	0,010	0,024	0,014	0,040
0,097	0,095	0,077	0,062	0,056	0,045	0,029	0,042	0,051	0,043	0,043
0,073	0,080	0,066	0,086	0,080	0,030	0,008	0,020	0,039	0,078	0,062
0,076	0,083	0,109	0,056	0,040	0,003	0,033	0,005	0,010	0,048	0,096
0,076	0,087	0,074	0,029	0,005	0,029	0,033	0,008	0,001	0,028	0,001
0,038	0,069	0,031	0,007	0,015	0,013	0,031	0,017	0,000	0,009	0,042
0,025	0,054	0,004	0,050	0,036	0,026	0,030	0,048	0,064	0,075	0,087
0,003	0,037	0,020	0,028	0,017	0,014	0,026	0,047	0,065	0,078	0,092
0,026	0,023	0,016	0,009	0,023	0,041	0,011	0,016	0,039	0,052	0,065
0,057	0,015	0,047	0,050	0,061	0,085	0,037	0,018	0,002	0,009	0,021
0,083	0,051	0,054	0,062	0,077	0,105	0,081	0,061	0,045	0,032	0,014

Tabla 70.Evaluación de aceptación del ajuste. Providencia

$\Delta_{\text{máximo}}$	0,10	0,09	0,11	0,09	0,14	0,18	0,15	0,13	0,14	0,09	0,10
$\Delta_{\text{tolerable}}$	0,32		0,28	0,34		0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 71.Desviación. Estación– Tibaitata

DESVIACIÓN (")										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,010	0,009	0,028	0,034	0,036	0,037	0,031	0,027	0,015	0,003	0,003
0,019	0,007	0,037	0,006	0,020	0,001	0,022	0,001	0,000	0,028	0,028
0,021	0,026	0,022	0,003	0,002	0,091	0,044	0,041	0,023	0,052	0,044
0,049	0,064	0,031	0,023	0,011	0,073	0,035	0,007	0,047	0,024	0,048
0,084	0,089	0,078	0,035	0,042	0,039	0,002	0,023	0,037	0,045	0,076
0,058	0,020	0,054	0,014	0,015	0,026	0,015	0,051	0,044	0,068	0,013
0,093	0,053	0,015	0,011	0,026	0,008	0,026	0,071	0,077	0,076	0,053
0,060	0,045	0,024	0,067	0,073	0,060	0,003	0,100	0,092	0,089	0,043
0,098	0,058	0,066	0,115	0,077	0,037	0,034	0,073	0,121	0,088	0,042
0,064	0,028	0,026	0,080	0,068	0,006	0,077	0,044	0,029	0,008	0,076
0,034	0,017	0,002	0,050	0,035	0,017	0,001	0,061	0,014	0,004	0,075
0,004	0,073	0,038	0,029	0,006	0,026	0,037	0,049	0,002	0,023	0,036
0,018	0,076	0,005	0,040	0,037	0,069	0,018	0,011	0,082	0,081	0,036
0,004	0,032	0,003	0,051	0,038	0,014	0,026	0,038	0,045	0,072	0,007
0,028	0,007	0,020	0,022	0,060	0,013	0,047	0,005	0,056	0,038	0,077
0,007	0,033	0,032	0,001	0,030	0,030	0,023	0,076	0,023	0,000	0,038
0,051	0,070	0,011	0,025	0,011	0,005	0,021	0,064	0,000	0,008	0,006
0,074	0,021	0,028	0,042	0,052	0,004	0,059	0,021	0,012	0,014	0,003
0,123	0,114	0,028	0,059	0,044	0,042	0,033	0,014	0,069	0,030	0,036
0,087	0,077	0,037	0,024	0,048	0,043	0,021	0,055	0,048	0,075	0,082
0,060	0,045	0,005	0,015	0,011	0,014	0,004	0,038	0,050	0,049	0,048
0,021	0,013	0,031	0,059	0,055	0,058	0,026	0,004	0,017	0,021	0,019

Tabla 72.Evaluación de aceptación del ajuste. Tibaitata

Δ máximo	0,12	0,11	0,08	0,12	0,08	0,09	0,08	0,10	0,12	0,09	0,08
Δ tolerable	0,32		0,28	0,34		0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



Tabla 73.Desviación. Estación Granja Tabio

DESVIACIÓN (Δ)										
5	10	20	30	40	60	120	180	220	260	320
0,049	0,009	0,028	0,027	0,039	0,048	0,036	0,035	0,034	0,033	0,029
0,059	0,084	0,087	0,073	0,076	0,076	0,070	0,065	0,059	0,052	0,038
0,050	0,142	0,093	0,048	0,024	0,122	0,049	0,036	0,021	0,038	0,067
0,142	0,084	0,088	0,030	0,002	0,048	0,032	0,063	0,093	0,083	0,071
0,076	0,017	0,061	0,077	0,056	0,015	0,101	0,034	0,032	0,082	0,132
0,109	0,074	0,007	0,007	0,059	0,019	0,024	0,046	0,069	0,089	0,119
0,086	0,065	0,060	0,045	0,002	0,042	0,014	0,014	0,044	0,069	0,087
0,039	0,033	0,050	0,009	0,004	0,003	0,022	0,013	0,004	0,002	0,018
0,014	0,057	0,102	0,118	0,111	0,095	0,108	0,076	0,037	0,001	0,046
0,005	0,070	0,029	0,097	0,074	0,037	0,057	0,053	0,048	0,041	0,027
0,019	0,008	0,005	0,052	0,028	0,025	0,046	0,062	0,076	0,085	0,096
0,074	0,030	0,046	0,017	0,038	0,063	0,031	0,015	0,001	0,008	0,019

Tabla 74.Evaluación de aceptación del ajuste. Estación Granja Tabio

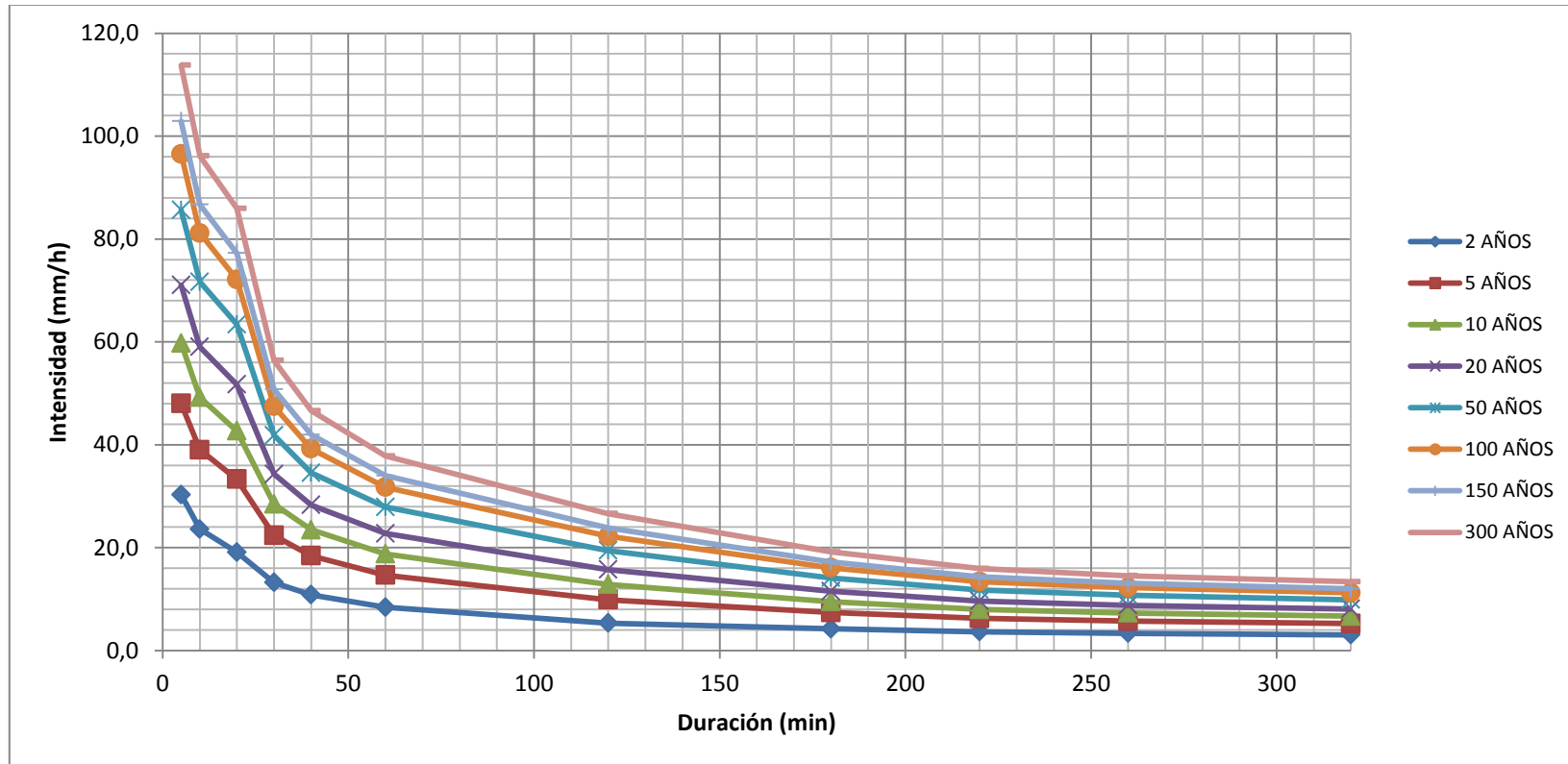
$\Delta_{\text{máximo}}$	0,14	0,14	0,10	0,12	0,11	0,12	0,11	0,08	0,09	0,09	0,13
$\Delta_{\text{tolerable}}$	0,32		0,28	0,34	0,34	0,282					
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fuente: Autores.



ANEXO G. Curvas idf

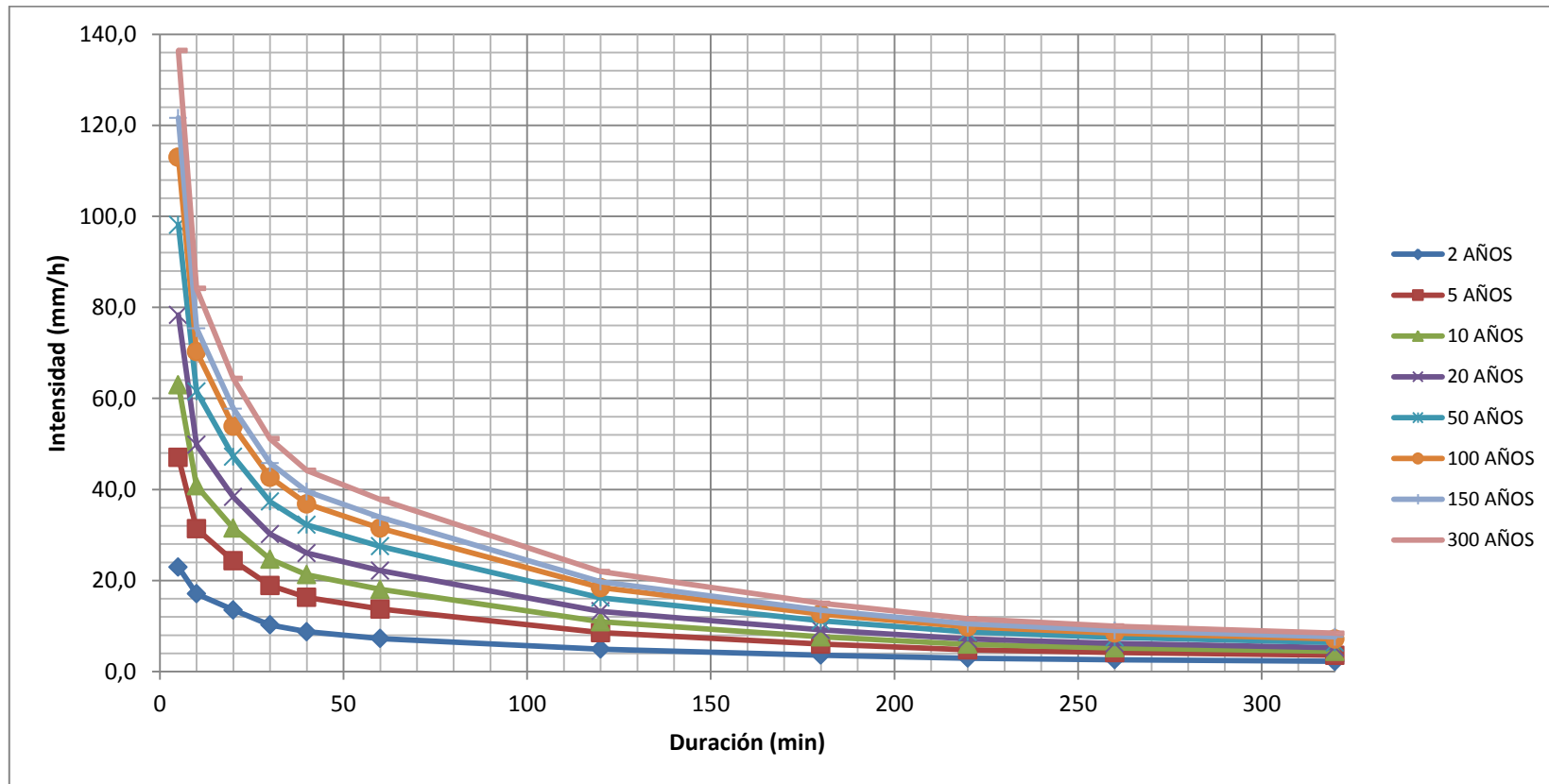
Figura 11. Curva IDF-Estación La Florida



Fuente: Autores.



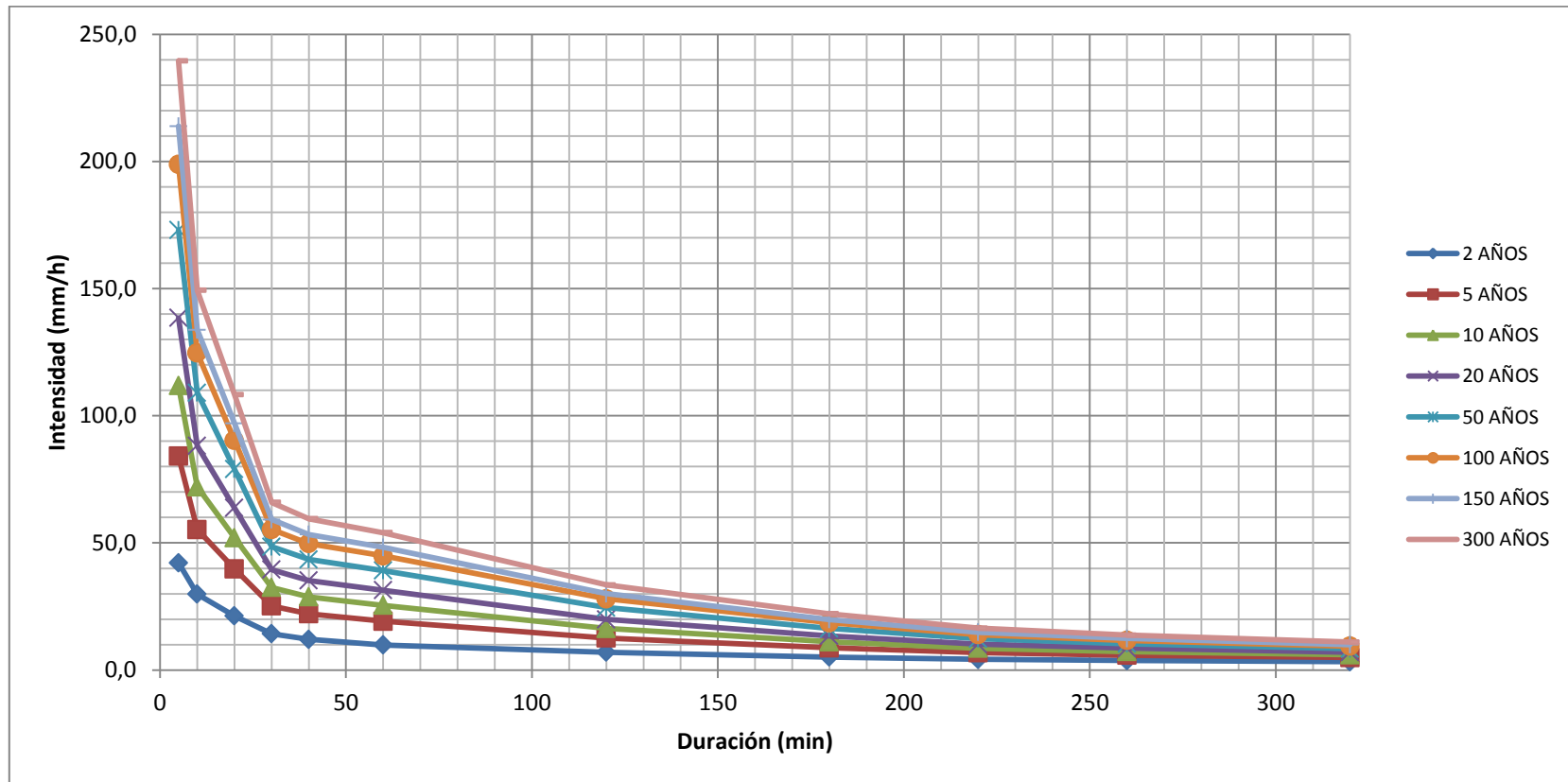
Figura 12. Curva IDF-Estación base aérea.



Fuente: Autores.



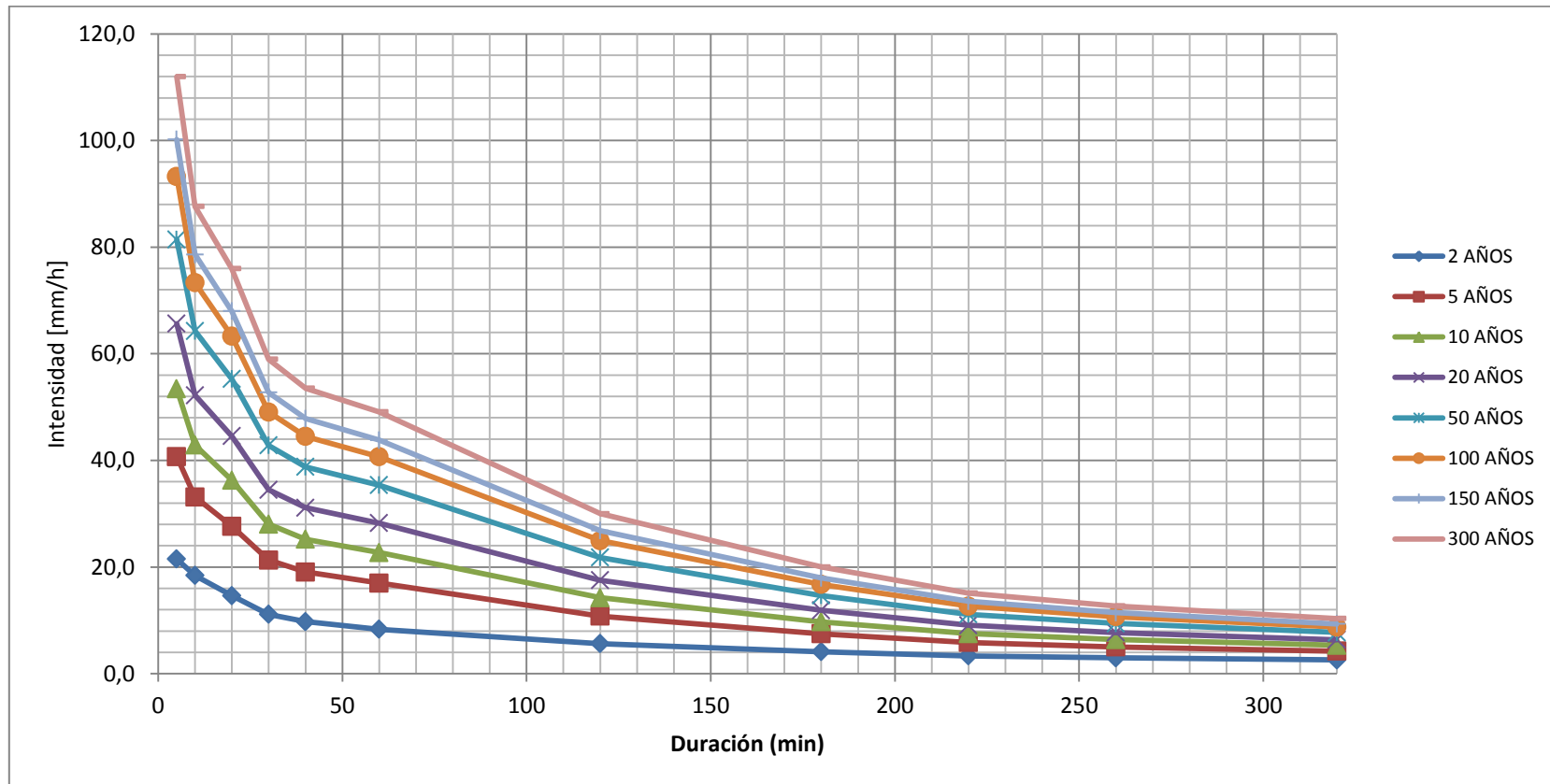
Figura 13. Curva IDF-Estación Granja Tabio



Fuente: Autores.



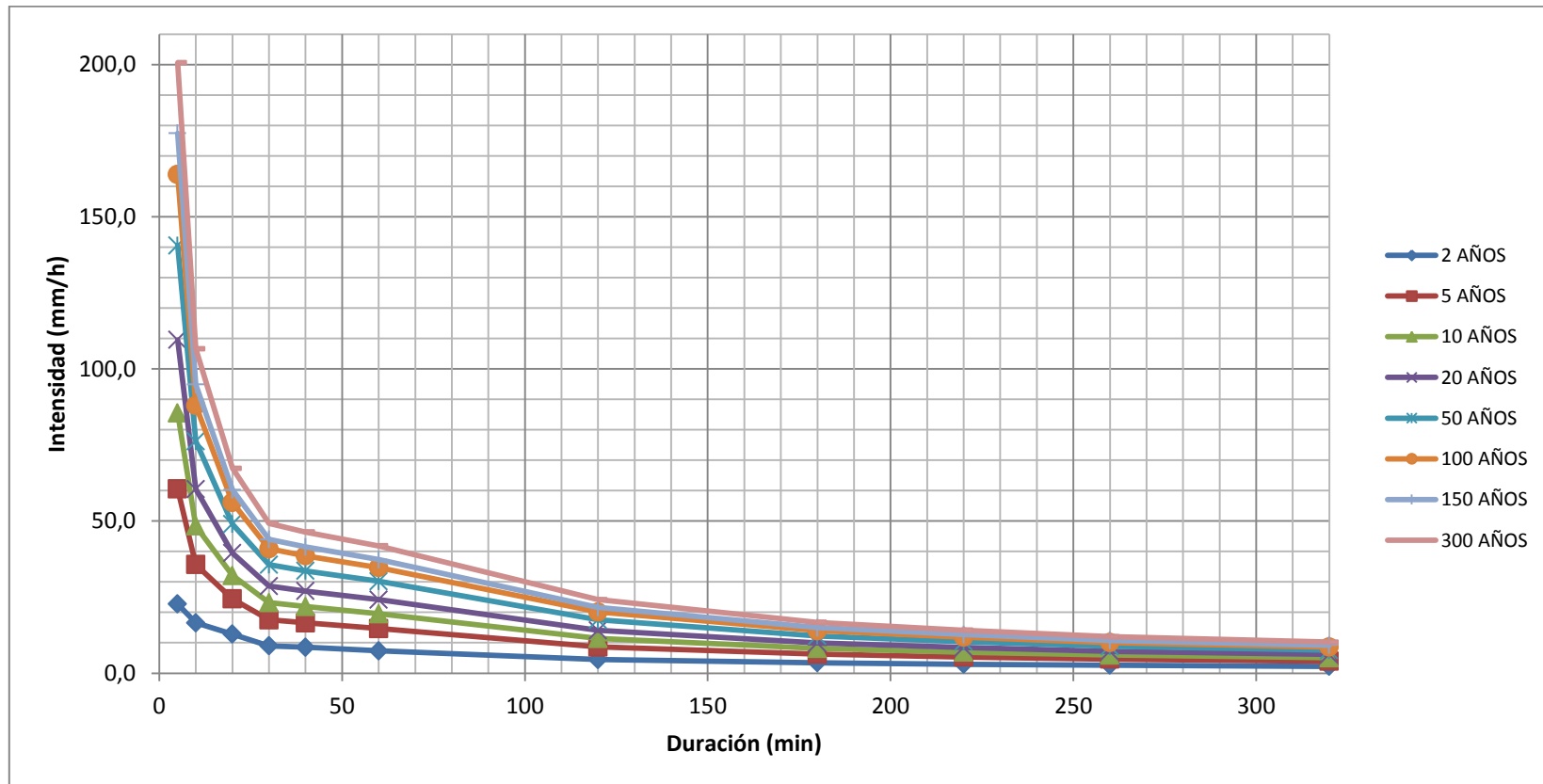
Figura 14. Curva IDF-Estación Providencia



Fuente: Autores.



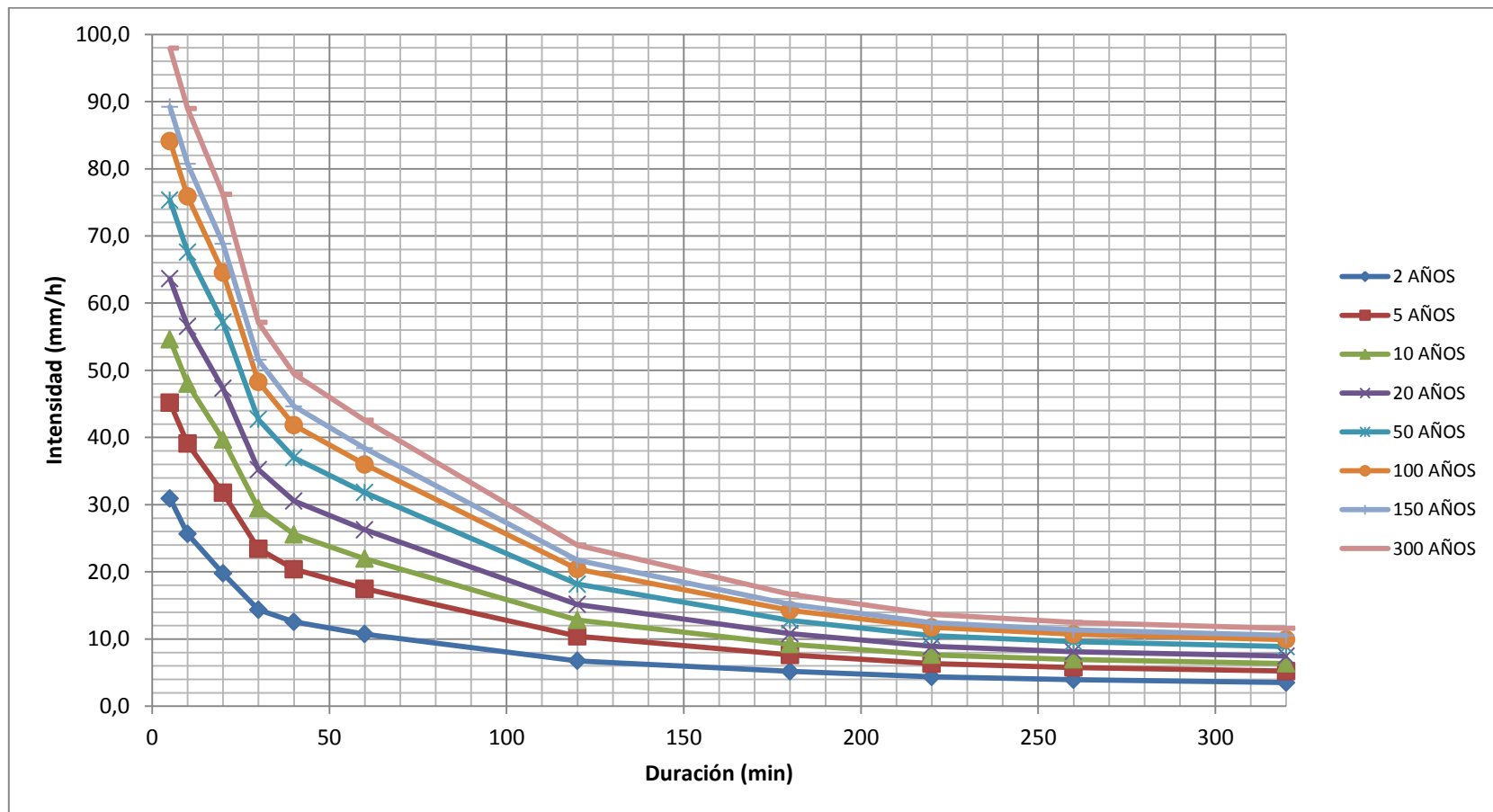
Figura 15. Curva IDF-Estación Granja Acapulco



Fuente: Autores.



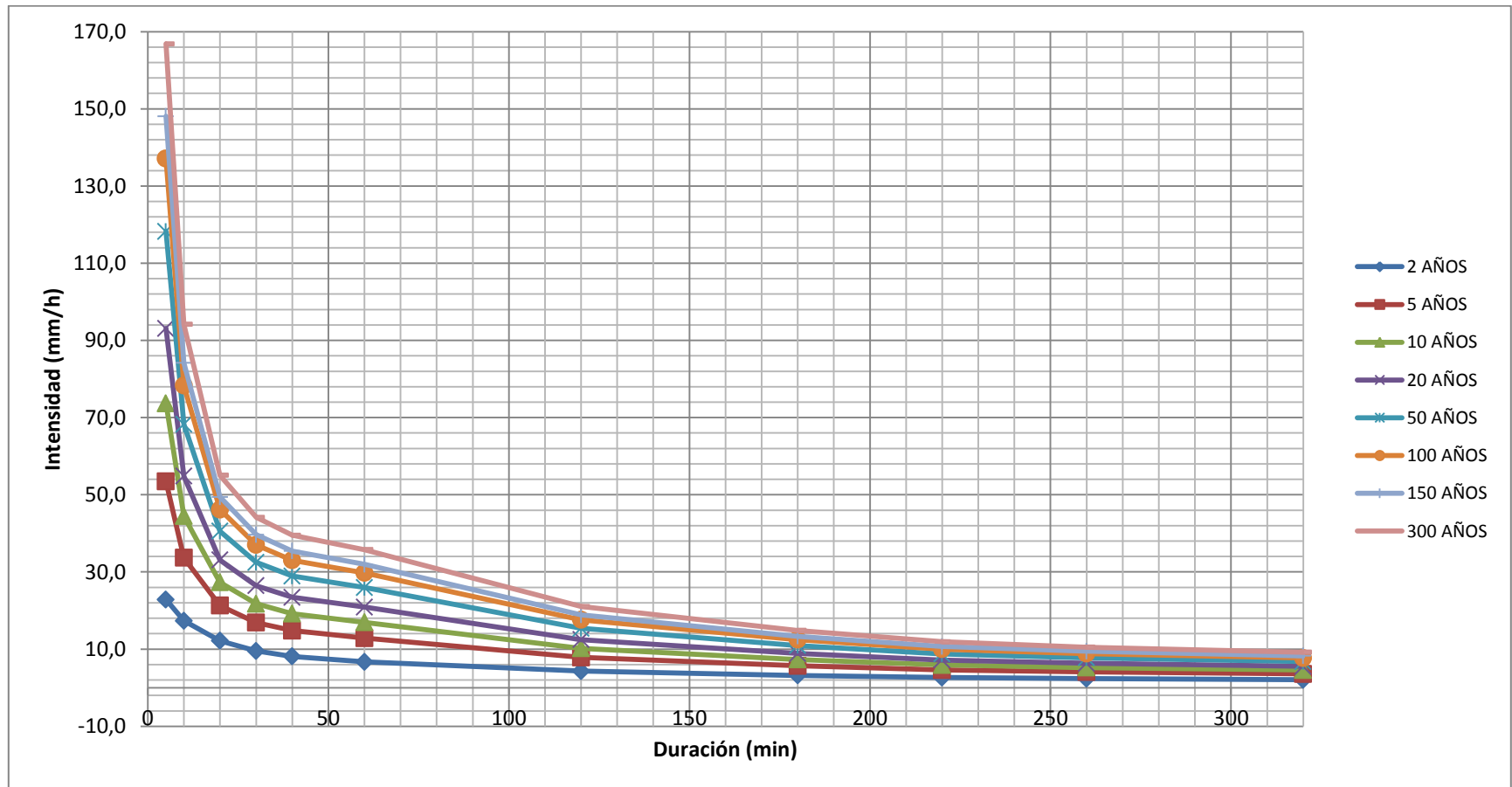
Figura 16. Curva IDF-Estación Tibaitata



Fuente: Autores.



Figura 17. Curva IDF-Estación Matima

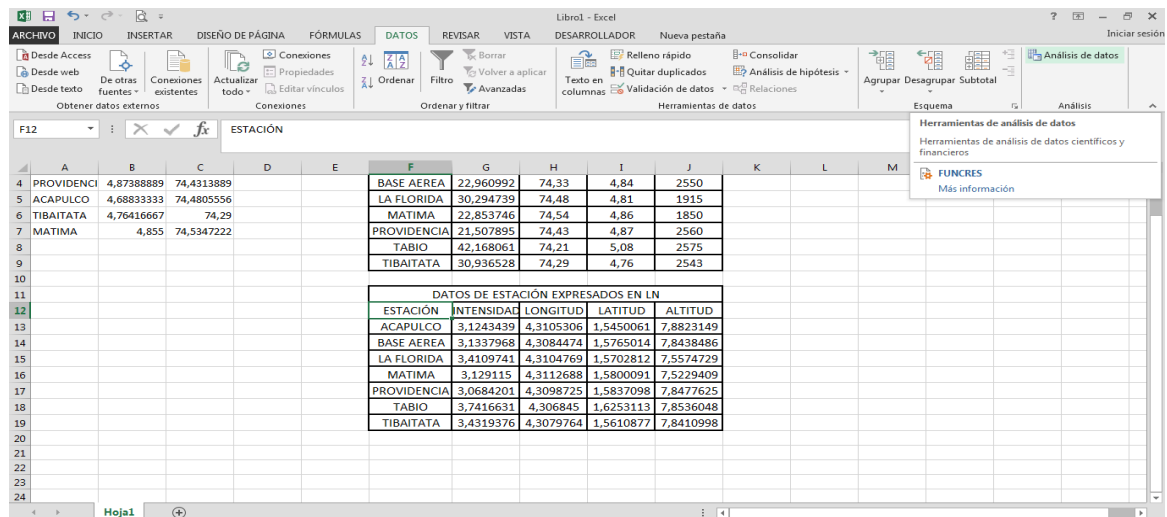


Fuente: Autores.



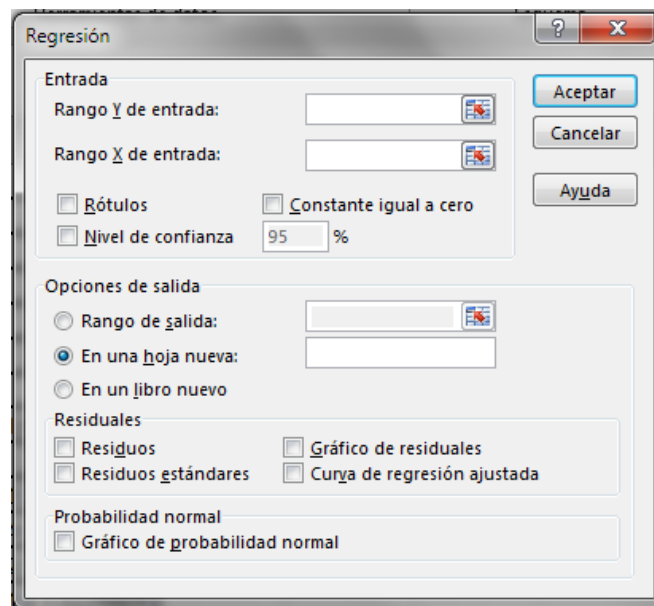
ANEXO H. Análisis de datos de excel

Figura 18. Opción "Análisis de datos" de Excel



Una vez se abre la ventana de Análisis de Datos, se escoge la opción “Regresión”. A partir de lo que aparece una ventana como la que se apreciaba en la **Figura 19**.

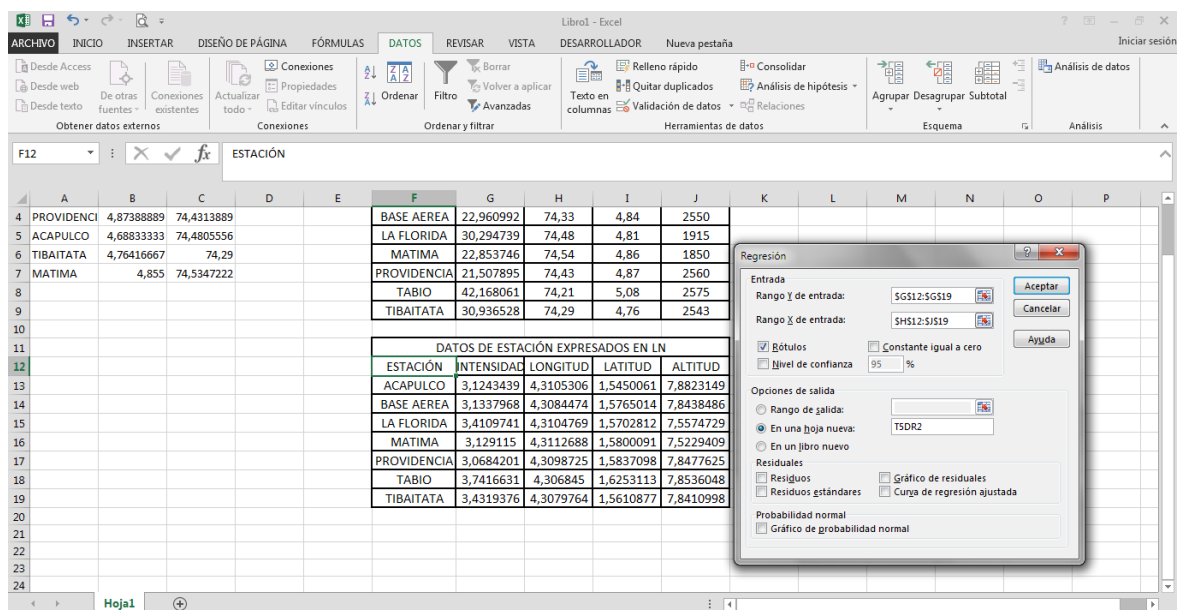
Figura 19. Ventana de configuración-Regresión





En la casilla “Rango Y de Entrada” se ingresa la información concerniente a las intensidades reportadas por cada una de las estaciones meteorológicas analizadas. Por su parte en la casilla “Rango X de Entrada” se selecciona las casillas de las variables fisiográficas (longitud, latitud y longitud). Cabe destacar que esto se ejecuta con la información a la cual ya se le aplicó el Ln (Logaritmo natural).

Figura 20. Configuración de entradas y salidas



De igual forma, se escoge la opción rótulos y en las opciones de salida se selecciona “En una Hoja Nueva”, en la que se le da el respectivo nombre (**Figura 20**).

c. Una vez configurado y aceptado los datos de entrada y salida, se obtiene un resumen del análisis de regresión, a partir del cual se extrae la información concerniente al coeficiente de correlación y los coeficientes de las diferentes variables que anteriormente los denominados **a**, **b**, **c** y **d**.

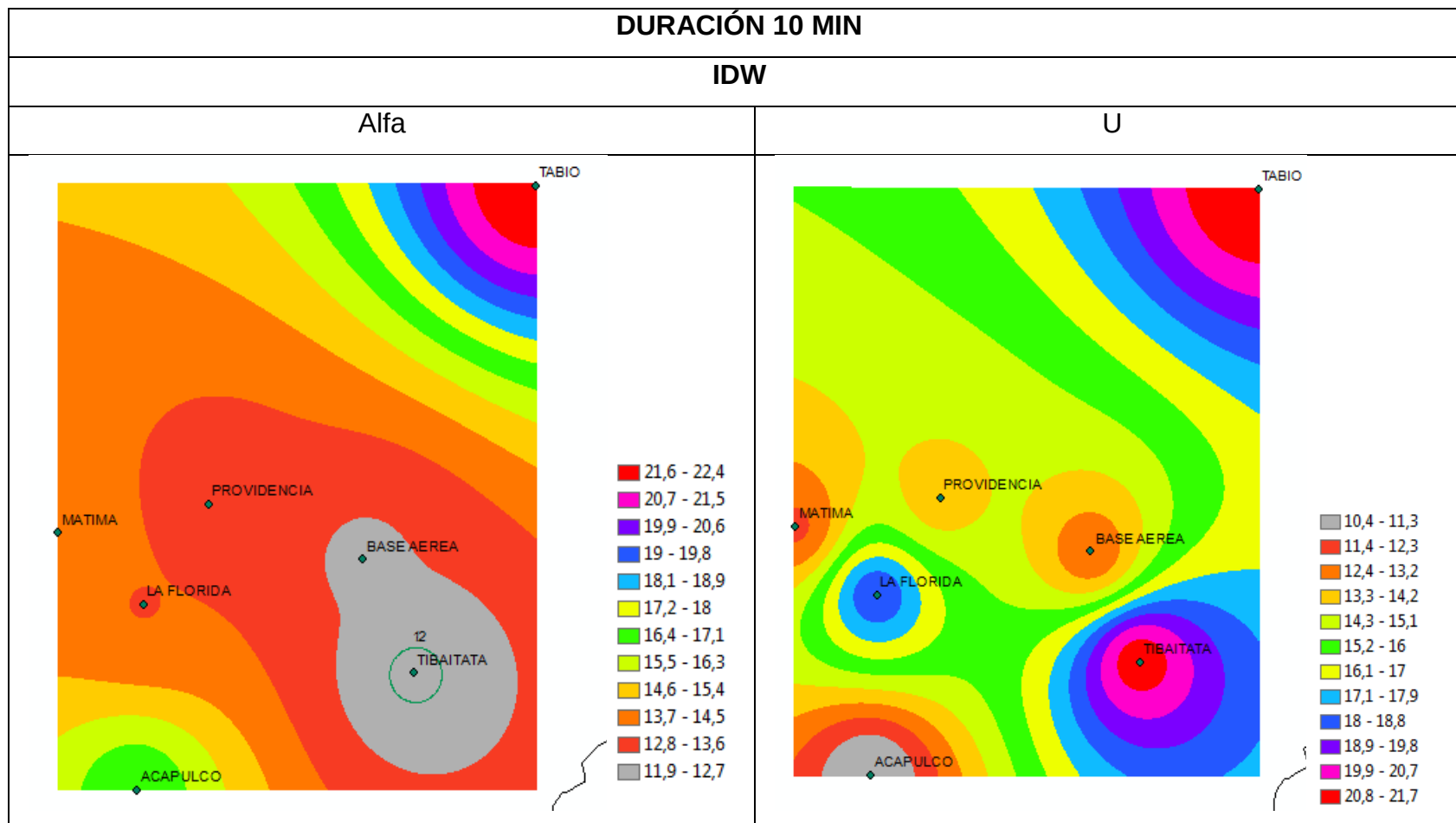


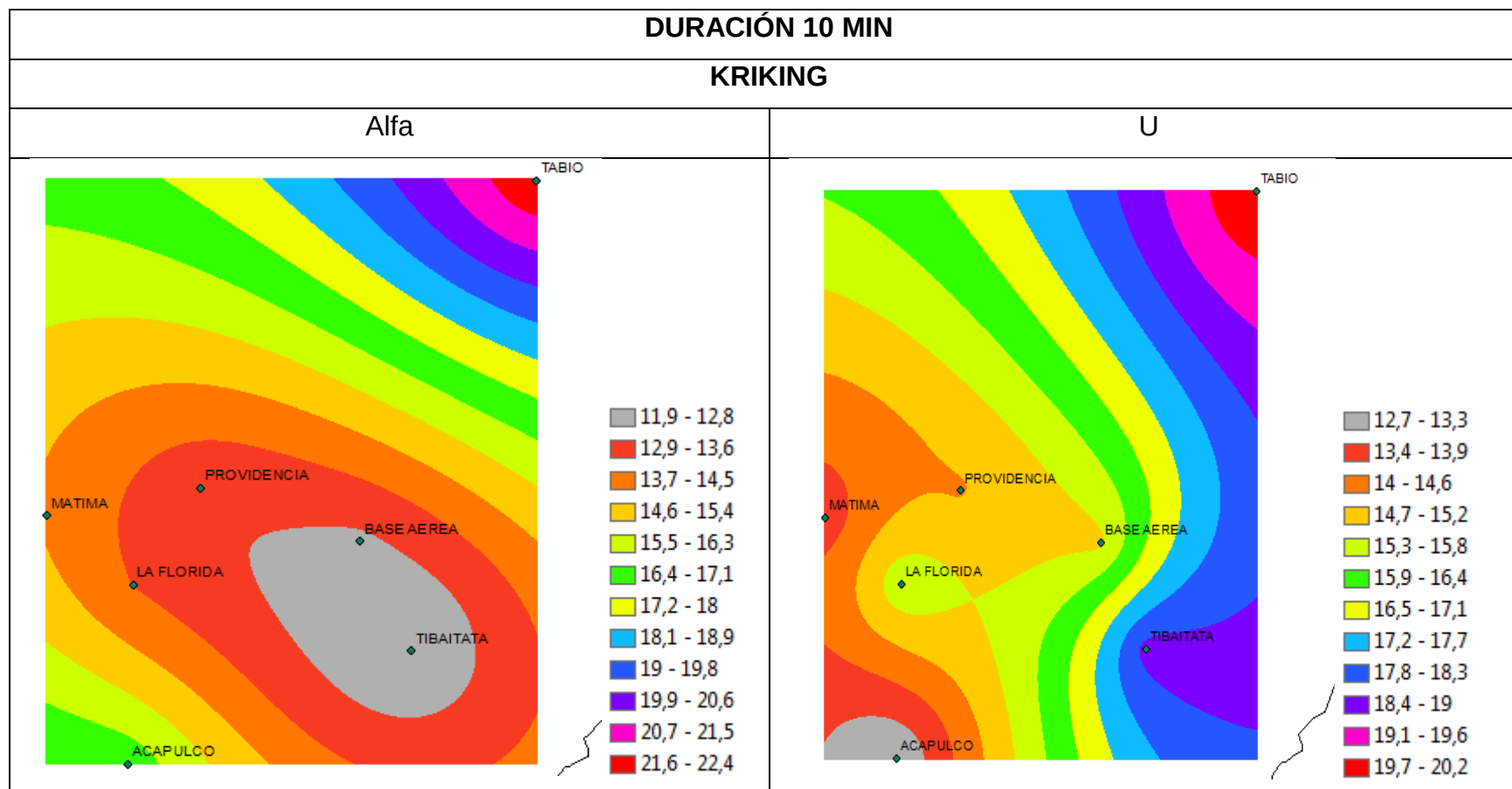
Figura 21. Resumen del análisis de regresión

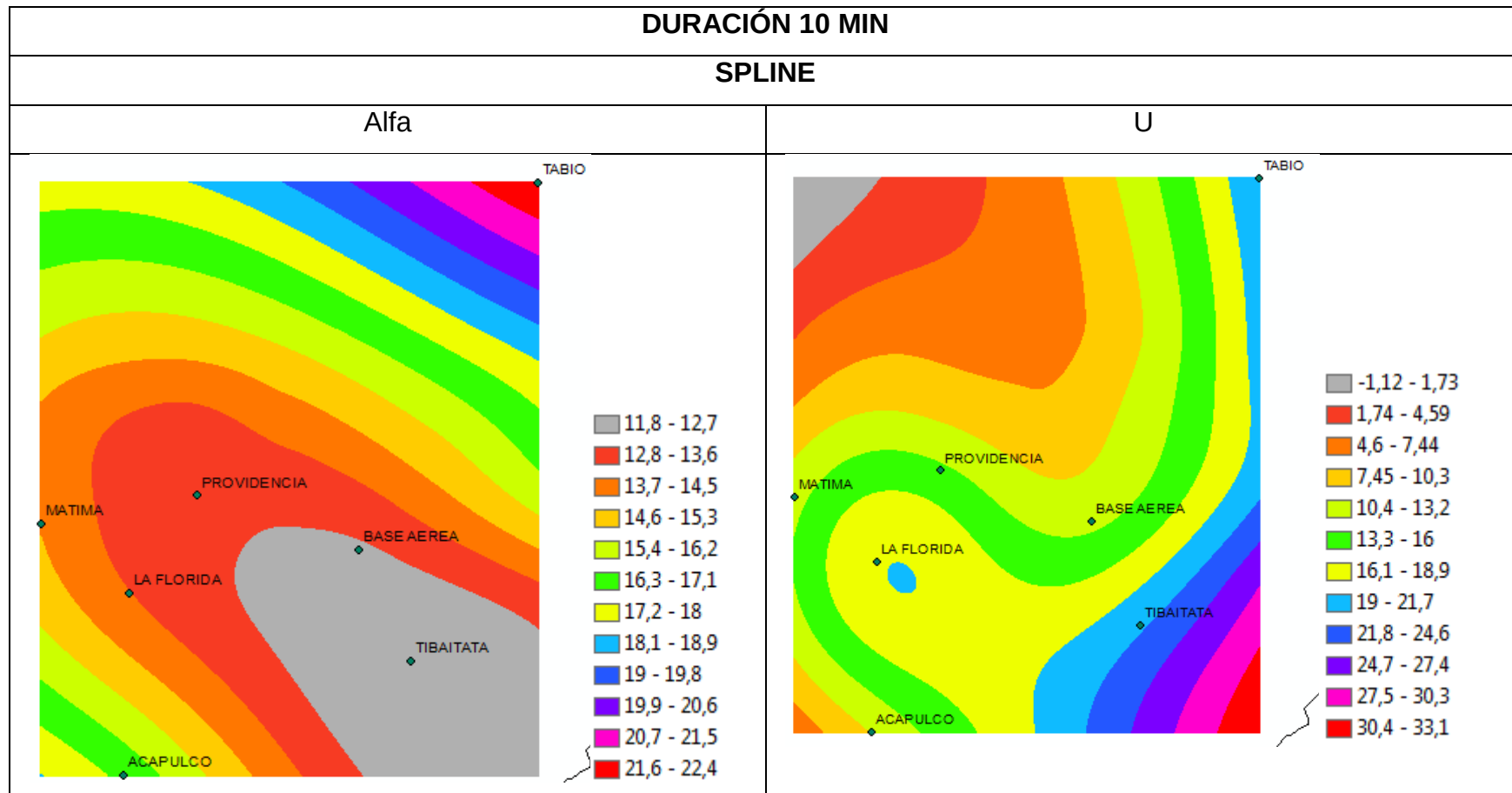
Libro1 - Excel													
Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Desarrollador Nueva pestaña													
Intercepción													
1	Resumen												
2													
3	Estadísticas de la regresión												
4	Coefficiente de correlación múltiple	0,83887222											
5	Coefficiente de determinación R^2	0,7037066											
6	R^2 ajustado	0,4074132											
7	Error típico	0,19001884											
8	Observaciones	7											
9													
10	ANÁLISIS DE VARIANZA												
11													
12	Regresión	3	0,25726709	0,0857557	2,37503299	0,247998086							
13	Residuos	3	0,10832148	0,03610716									
14	Total	6	0,36558857										
15													
16													
17	Intercepción	685,267443	373,438943	1,8350187	0,16384842	-503,1819423	1873,71683	-503,181942	1873,71683				
18	LONGITUD	-156,766533	84,5860013	-1,85333897	0,16089016	-425,9569398	112,423875	-425,95694	112,423875				
19	LATITUD	0,39896234	4,32979291	0,09214814	0,93238892	-13,38035111	14,1783158	-13,3803511	14,1783158				
20	ALTITUD	-0,90727356	0,73406096	-1,23596488	0,3044246	-3,24338316	1,42883603	-3,24338316	1,42883603				
21													
22													

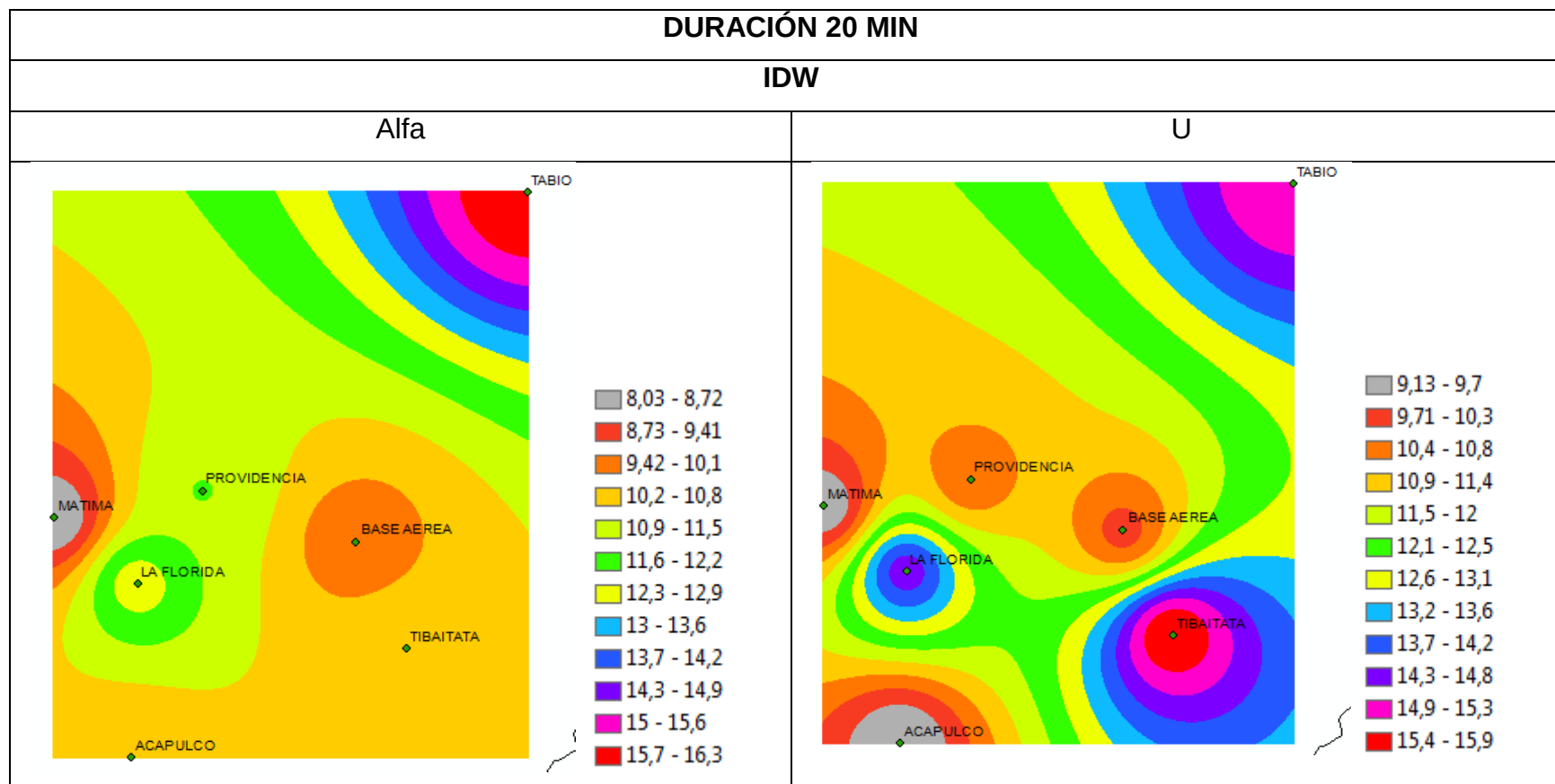


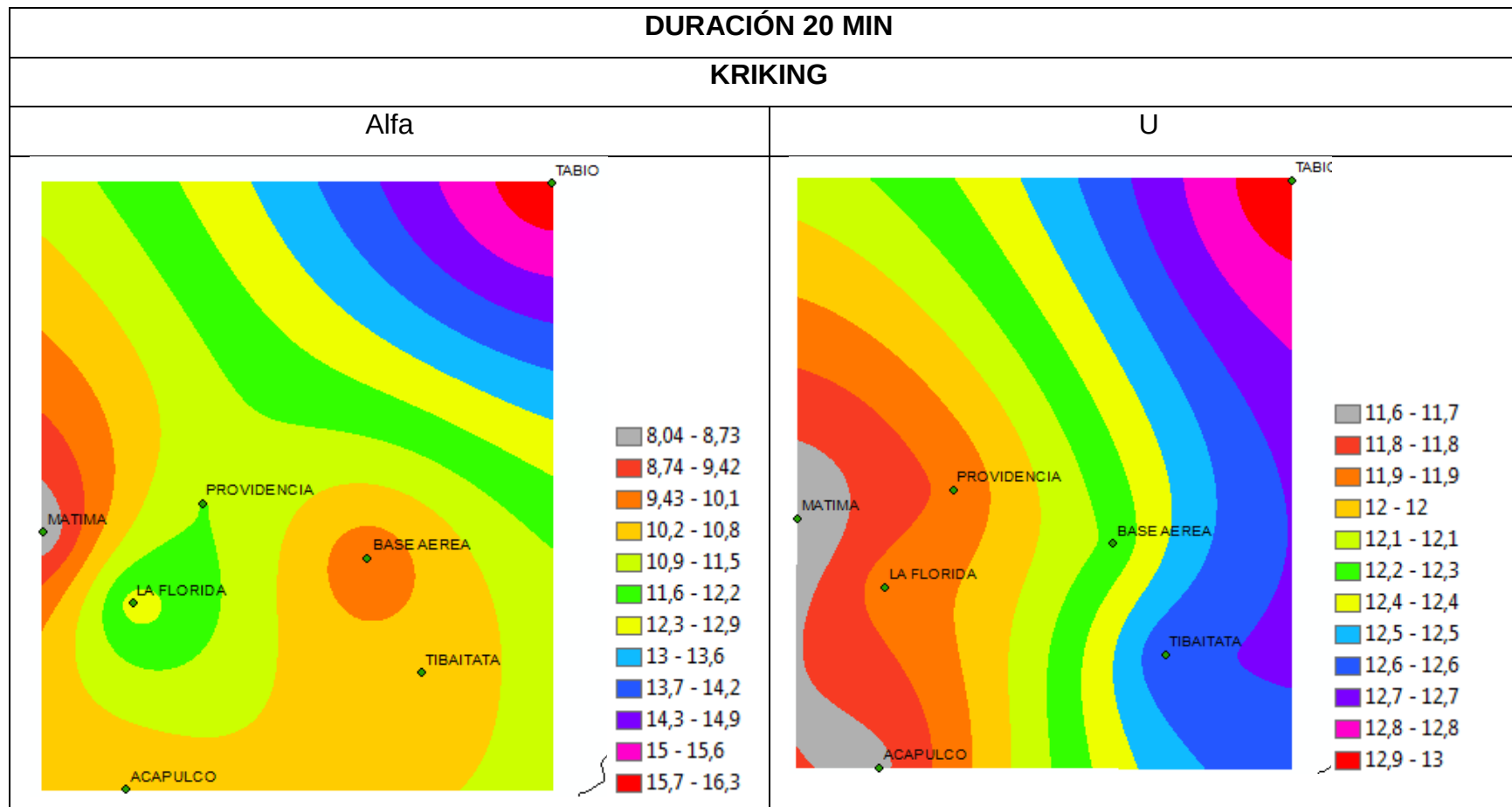
ANEXO I. Mapas de interpolación

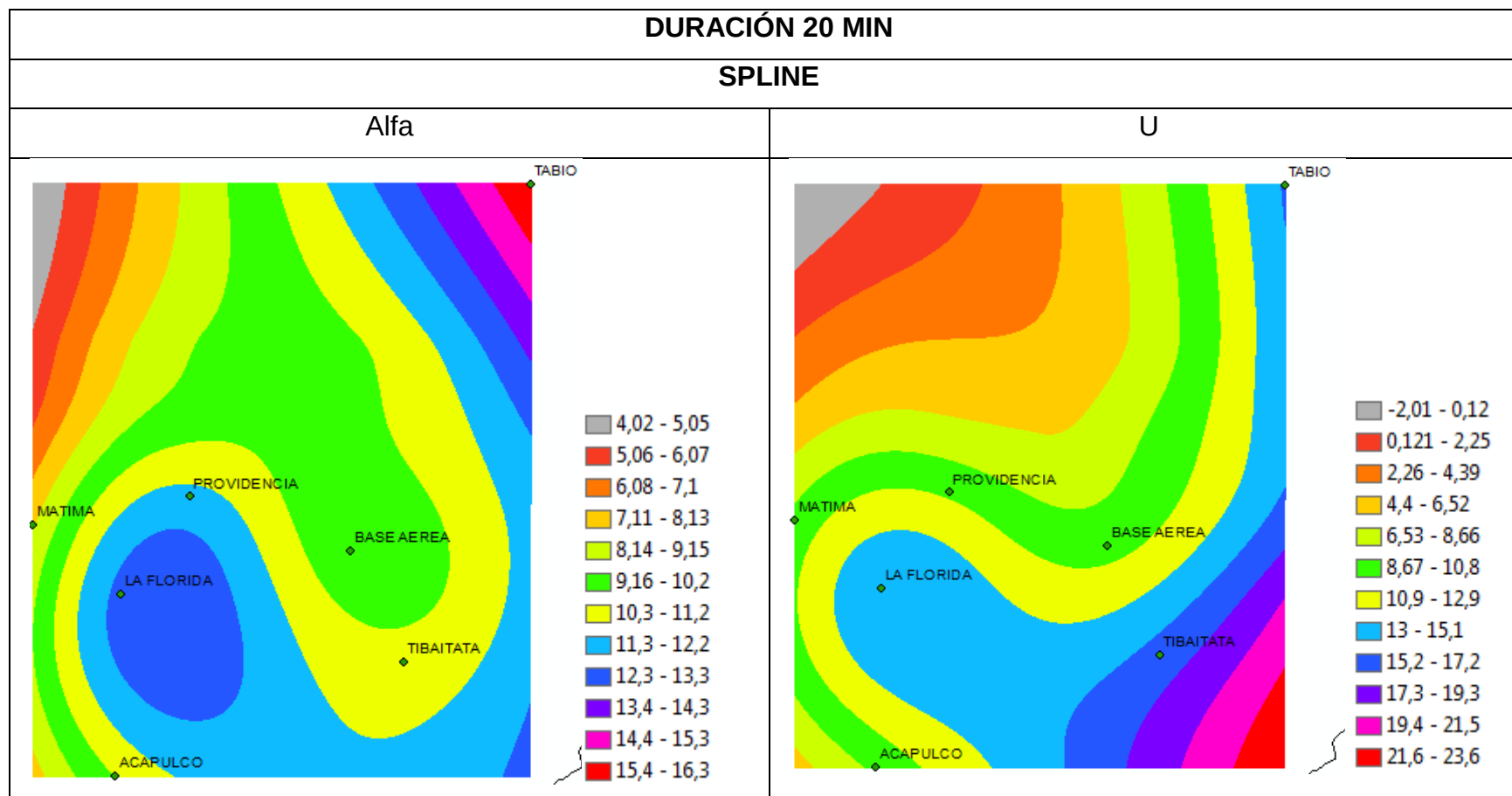














DURACIÓN 30 MIN

IDW

Alfa

U

