



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRÍA EN HIDROSANITARIA

**Curvas De Intensidad - Duración - Frecuencia Para La
Ciudad De Cuenca.**

Trabajo previo a la obtención del título de:

MAGÍSTER EN HIDROSANITARIA

Autora:

ING. PAULINA LISSETH MARTÍNEZ RODAS

Director:

M. SC. CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA

CUENCA, ECUADOR

2023

RESUMEN

Un adecuado estudio hidrológico es primordial para la elaboración y posterior construcción de todo proyecto de ingeniería, sea este vial, de abastecimiento de agua, agrícola entre otros. Es conveniente conocer la relación existente entre la distribución, intensidad y frecuencia de las precipitaciones a fin de prever acciones de control ante eventos máximos. El objetivo de esta investigación es evaluar las precipitaciones que se han registrado en los últimos años en la ciudad de Cuenca, para determinar las respectivas curvas de intensidad, duración y frecuencia para cada una de las estaciones analizadas. Esto a partir del procesamiento, validación, y el posterior análisis de la información instantánea recolectada en diferentes estaciones Meteorológicas y Pluviométricas. La obtención de expresiones de frecuencia, permitirá generar información en zonas donde no existan datos de precipitación, además de conocer con mayor precisión la variabilidad espacio temporal que presenta. Se empleó información de 20 estaciones, donde se escogido aquellas con duración mínima de 5 años, monitoreadas por: ETAPA EP. Para otras estaciones con el fin de determinar las curvas IDF se implementó el método índice de tormenta.

Aprobación

ABSTRACT

A proper hydrologic study is mandatory for any civil engineering project. This includes roads, water supply, agriculture, etc. It is important to recognize the relationship between precipitation distribution, intensity, and frequency to act in front of maximum events. This study aims to evaluate water precipitation recorded in Cuenca-Ecuador for the last few years and obtain the corresponding intensity, duration, and frequency curves per season. Instantaneous data collected from different meteorologic and pluviometric stations were processed and validated. Through frequency expressions, new information was generated for zones where no precipitation data was recorded, and temporal and spatial variability was also improved with this method. 20 stations monitored by ETAPA EP with a minimum of 5 years duration were selected for this study. The storm index method was applied to define IDF curves for all other stations.

KEYWORDS: Cuenca, intensity, duration, frequency, precipitation.

Translated by:



Paulina Martínez



ÍNDICE

CAPÍTULO 1	15
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Antecedentes.	15
1.2. Objetivos.	15
1.2.1. Objetivo general:	15
1.2.2. Objetivos específicos:	15
1.3. Hipótesis.....	16
1.4. Justificación.....	16
1.5. Estructura del trabajo	16
CAPÍTULO 2	17
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	17
2.1. Precipitación.....	17
2.1.1. Clasificación de la precipitación	17
2.1.2. Aparatos de medición de lluvia.....	18
2.1.3. Análisis estadísticos de datos hidrológicos.	20
2.1.4. Análisis de datos faltantes	21
2.2. Precipitación media sobre una cuenca.....	23
2.2.1. Métodos para la determinación de la precipitación media sobre una cuenca.....	24
2.3. Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF)	27
2.3.1. Funciones de distribución de probabilidad usadas para la determinación de las IDF. 28	
2.3.2. Test de Kolmogorov-Smirnov.....	30
2.3.3. Métodos para el cálculo de ecuaciones de intensidad duración y frecuencia.....	31
2.3.4. Índice de tormenta.	33
2.4. Hietogramas de precipitación.....	34
2.5. Estado del arte	35
CAPÍTULO 3	39

3.	METODOLOGÍA	39
3.1.	Descripción de la zona de estudio.....	39
3.2.	Recopilación de información	40
3.3.	Corrección y relleno de datos.....	42
3.4.	Estimación de la precipitación media.....	47
3.4.1.	Método de polígonos de Thiessen.....	47
3.4.2.	Método de isoyetas.....	50
3.5.	Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.....	51
3.5.1.	Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).....	53
3.5.2.	Obtención de la expresión analítica de las curvas IDF.....	62
3.5.3.	Aplicación del índice de tormenta Hietograma de diseño.....	67
	CAPÍTULO 4	72
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	72
4.1.	Análisis de la estimación precipitación media	72
4.2.	Resultados de curvas de intensidad duración y frecuencia.	79
4.2.1.	Expresiones matemáticas y curvas obtenidas con método de regresión lineal....	79
4.2.2.	Expresiones matemáticas y curvas obtenidas con Método de Talbot	88
4.2.3.	Expresiones matemáticas y curvas derivadas del método de regresión lineal múltiple a partir de datos obtenidos con el índice de tormenta.	100
4.3.	Análisis entre los dos métodos con los hietogramas de intensidades.....	105
4.4.	Análisis de hietogramas obtenidos con el método de regresión lineal múltiple a partir de valores de intensidades determinado con el índice de tormenta.....	111
	CAPÍTULO 5	116
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	118
7.	ANEXOS.....	123
	ANEXO 1 . GRAFICAS DE CURVA DE MASA	123
	ANEXO 2 . TABLAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS	140
	ANEXO 3 . GRAFICAS Y TABLAS DE FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	146
	ANEXO 4 . VALORES CRÍTICOS DEL TEST DE KOLMOGÓROV-SMIRNOV PARA	

UNA MUESTRA	157
-------------------	-----

Índice de Figuras

Figura 2.1. Coeficiente de oblicuidad de una distribución.....	21
Figura 2.2. Verificación de la homogeneidad de datos pluviométricos	22
Figura 2.3. Correcciones de curvas de doble masa.....	22
Figura 2.4. Hietograma de precipitación	35
Figura 3.1. Mapa geográfico del cantón Cuenca	40
Figura 3.2. Mapa de ubicación de las estaciones analizadas	41
Figura 3.3. Registro de datos de precipitación obtenidos en las estaciones de estudio..	42
Figura 3.4. Curva de doble masa estación Chandul-El Labrado	45
Figura 3.5. Regresión lineal estación El Labrado-Chanlud.....	45
Figura 3.6. Regresión lineal estación Chanlud-El Labrado.....	45
Figura 3.7. Registro de datos de precipitación obtenidos en el relleno de datos.....	46
Figura 3.8. Geometría de los polígonos de Thiessen obtenidos con ArcGIS.....	48
Figura 3.9. Mapas de isoyetas obtenidos con ArcGIS.....	50
Figura 3.10. Metodología para la obtención de las ecuaciones de IDF.....	52
Figura 3.11. Creación de una nueva serie de tiempo software Hydrognomon.....	54
Figura 3.12. Ajuste a funciones de distribución con el software Hydrognomon.	55
Figura 3.13. Ajuste a funciones de distribución con el software Hydrognomon.	56
Figura 3.14. Comparación de porcentajes de ajuste global obtenidos en el análisis de las 11 estaciones el software Hydrognomon.....	59
Figura 3.15. Comparación de porcentajes de ajuste por estación obtenidos con el software Hydrognomon.	60
Figura 3.16. Curva IDF determinadas con la función de distribución de Gumbel Máximo de la estación Chanlud.	61
Figura 3.17. Curva IDF determinadas con la función de distribución de Log Pearson III de la estación Chanlud.....	61
Figura 3.18. Pasos para la obtención de las curvas IDF con el software HidroEsta.	64
Figura 3.19. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	65
Figura 3.20. Transformación de las intensidades máximas a ecuaciones lineales de la estación Chanlud	66
Figura 3.21. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación	

Chanlud obtenida con el método de Talbot.....	67
Figura 4.1. Comparación de métodos de precipitaciones medias mensuales en el cantón Cuenca.	73
Figura 4.2. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de enero .	73
Figura 4.3. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de febrero.	74
Figura 4.4. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de marzo.	74
Figura 4.5. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de abril...	75
Figura 4.6. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de mayo. .	75
Figura 4.7. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de junio..	76
Figura 4.8. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de julio...	76
Figura 4.9. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de agosto.	77
Figura 4.10. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de septiembre.....	77
Figura 4.11. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de octubre.	78
Figura 4.12. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de noviembre.	78
Figura 4.13. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de diciembre.	79
Figura 4.14. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	81
Figura 4.15. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	81
Figura 4.16. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	82
Figura 4.17. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	83
Figura 4.18. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	83
Figura 4.19. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	84
Figura 4.20. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación	

Narancay obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	85
Figura 4.21. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	85
Figura 4.22. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenida con el método de regresión lineal múltiple.	86
Figura 4.23. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	87
Figura 4.24. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	87
Figura 4.25. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Yanuncay obtenida con el método de regresión lineal múltiple.....	88
Figura 4.26. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenida con el método de Talbot.....	89
Figura 4.27. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenida con el método de Talbot.	90
Figura 4.28. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de Talbot.....	91
Figura 4.29. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenida con el método de Talbot.	92
Figura 4.30. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenida con el método de Talbot.....	93
Figura 4.31. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenida con el método de Talbot.....	94
Figura 4.32. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Narancay obtenida con el método de Talbot.	95
Figura 4.33. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenida con el método de Talbot.....	96
Figura 4.34. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenida con el método de Talbot.	97
Figura 4.35. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenida con el método de Talbot.	98
Figura 4.36. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenida con el método de Talbot.	99
Figura 4.37. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación	

Yanuncay obtenida con el método de Talbot.	100
Figura 4.38. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Guangarcucho obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.	101
Figura 4.39. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Izhcayrrumi obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.	102
Figura 4.40. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Machangara obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.	103
Figura 4.41. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Soldados obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta...	103
Figura 4.42. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ucubamba obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.	104
Figura 4.43. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ventanas obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta. .	105
Figura 4.44. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	106
Figura 4.45. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.	106
Figura 4.46. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	107
Figura 4.47. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	107
Figura 4.48. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	108
Figura 4.49. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.	108

Figura 4.50. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Narancay obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	108
Figura 4.51. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	109
Figura 4.52. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	109
Figura 4.53. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	110
Figura 4.54. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	110
Figura 4.55. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Yanuncay obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.....	110
Figura 4.56. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Guangarcucho obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	111
Figura 4.57. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Izhcayrumi obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	112
Figura 4.58. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Machangara obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	113
Figura 4.59. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Soldados obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	113
Figura 4.60. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Ucubamba obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	114
Figura 4.61. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones	

máximas para la estación Ventana obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta	114
--	-----

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Coordenadas WGS 84 de las estaciones analizadas	41
Tabla 3.2. Análisis de estadísticos.....	43
Tabla 3.3. Matiz de correlación de datos sin relleno	44
Tabla 3.4. Coeficiente de correlación R^2 de la curva de doble masa	47
Tabla 3.5. Cálculo de las precipitaciones median mensuales.....	49
Tabla 3.6. Cálculo de la precipitación media mensual mediante el método de polígonos de Thiessen	49
Tabla 3.7. Cálculo de la precipitación media mensual mediante el método de polígonos de isoyetas	51
Tabla 3.8. Precipitaciones máximas estación Chanlud	53
Tabla 3.9. Función de distribución Gumbel Máximo de la estación Chanlud	56
Tabla 3.10. Función de distribución Log Pearson III de la estación Chanlud.....	56
Tabla 3.11. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 5, 10 y 20 minutos	57
Tabla 3.12. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 30, 40 y 50 minutos	58
Tabla 3.13. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 60 y 120 minutos	58
Tabla 3.14. Intensidades máximas de la estación Chanlud con la función de distribución de Gumbel Max	60
Tabla 3.15. Intensidades máximas de la estación Chanlud con la función de distribución de Log Pearson III	60
Tabla 3.16. Orden de datos para ingresar al software HidroEsta de la estación Chanlud	63
Tabla 3.17. Parámetros k y n correspondientes a la estación Chanlud.....	64
Tabla 3.18. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de regresión lineal múltiple.	65
Tabla 3.19. Valores de los coeficientes a y b asociados a diferentes periodos de retorno para la estación Chandul.....	66
Tabla 3.20. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la	

estación Chanlud aplicando el método de Talbot.....	66
Tabla 3.21. Relación de estaciones con registro frente a estaciones sin registro para el cálculo de las curvas IDF a partir del índice de tormenta	68
Tabla 3.22. Precipitaciones máximas diarias obtenidas de la correlación y relleno de datos.....	69
Tabla 3.23. Intensidades Máximas para una duración de 1440 minutos.....	69
Tabla 3.24. Intensidades máximas de la estación Challuabamba con la función de distribución de Gumbel Max.	70
Tabla 3.25. Índice de tormenta obtenido para la estación Challuabamba	70
Tabla 3.26. Intensidad máximas de la estación Guangarchucho obtenidos con el índice de tormenta de la estación Challuabamba.	70
Tabla 4.1. Ecuaciones de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno ..	80
Tabla 4.2. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	80
Tabla 4.3. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	81
Tabla 4.4. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de regresión lineal múltiple.	81
Tabla 4.5. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación El Labrado aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	82
Tabla 4.6. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	83
Tabla 4.7. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	84
Tabla 4.8. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de regresión lineal múltiple	84
Tabla 4.9. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de regresión lineal múltiple	85
Tabla 4.10. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de regresión lineal múltiple	86
Tabla 4.11. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de regresión lineal múltiple	86
Tabla 4.12. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Totoracochoa aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	87

Tabla 4.13. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	88
Tabla 4.14. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de Talbot.....	89
Tabla 4.15. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de Talbot.....	89
Tabla 4.16. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de Talbot.....	89
Tabla 4.17. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de Talbot.	90
Tabla 4.18. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de Talbot.....	90
Tabla 4.19. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de método de Talbot.	91
Tabla 4.20. Coeficientes a y b correspondientes a la estación El Labrado aplicando el método de Talbot.....	91
Tabla 4.21. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación El Labrado aplicando el método de Talbot.....	92
Tabla 4.22. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de Talbot.....	92
Tabla 4.23. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de Talbot.	93
Tabla 4.24. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de Talbot.....	93
Tabla 4.25. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de Talbot.....	94
Tabla 4.26. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de Talbot.....	94
Tabla 4.27. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de Talbot.	95
Tabla 4.28. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de Talbot.....	95
Tabla 4.29. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de Talbot.....	95

Tabla 4.30. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de Talbot.....	96
Tabla 4.31. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de Talbot.....	96
Tabla 4.32. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de Talbot.....	97
Tabla 4.33. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de Talbot.....	97
Tabla 4.34. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Totoracocha aplicando el método de Talbot.....	98
Tabla 4.35. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Totoracocha aplicando el método de Talbot.....	98
Tabla 4.36. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de Talbot.....	99
Tabla 4.37. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de regresión lineal múltiple.....	99
Tabla 4.38. Coeficientes de correlación de las curvas obtenidas con el método de Talbor.....	100
Tabla 4.39. Ecuaciones de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno (Índice de tormenta).....	101
Tabla 4.40. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Guangarcucho aplicando el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.....	101
Tabla 4.41. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Izhcayrrumi aplicando el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.....	102
Tabla 4.42. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Machangara aplicando el método de regresión e índice de tormenta.....	102
Tabla 4.43. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Soldados aplicando el método de regresión e índice de tormenta.....	103
Tabla 4.44. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ucubamba aplicando el método de regresión e índice de tormenta.....	104
Tabla 4.45. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ventanas aplicando el método de regresión e índice de tormenta.....	104

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

Los recientes eventos hidrológicos ocurridos en la ciudad, en el país y en el mundo motivan a realizar estudios con respecto a los cambios climatológicos que pueden ocurrir en el medio. Para estimar de manera correcta los caudales que pueden circular por los diferentes ríos y quebradas que atraviesan la ciudad de Cuenca, es necesario contar con curvas actualizadas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) propias del sector. Para ejecutar dicho análisis es necesario, procesar los datos de lluvia para obtener los eventos máximos que dan lugar a las curvas IDF.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general:

Evaluar las precipitaciones que se han registrado en los últimos años en la ciudad de Cuenca, para determinar las respectivas curvas de intensidad, duración y frecuencia de cada una de las estaciones analizadas.

1.2.2. Objetivos específicos:

Aplicar diferentes métodos para realizar un análisis pluviométrico.

Validar la información obtenida por medio de métodos estadísticos con el fin de consolidar los registros pluviométricos.

Realizar mapas que puedan representar los fenómenos de las lluvias y su variabilidad a lo largo del área de estudio.

Obtener la precipitación máxima para diferentes periodos de retorno, comparando precipitaciones obtenidas con las esperadas, mediante los hietogramas de diseño.

1.3.Hipótesis

La información registrada por las estaciones pluviométricas de la ciudad de Cuenca permitirá determinar las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para la zona.

1.4.Justificación

La determinación de las curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) es de gran importancia para el diseño de infraestructuras hidráulicas donde se necesita conocer el comportamiento de patrones de conductas de lluvia con una determinada probabilidad o período de retorno (T).

En el ámbito ingenieril importante conocer el comportamiento de las variables que intervienen en los patrones de conductas de lluvia, para el caso de la presente investigación, a través de varios análisis se pretende tener conocimiento sobre la variación con la cual se dan diversos eventos de lluvia, describiendo dichos eventos en forma analítica con el uso de expresiones que permitan su cuantificación, además de actualizar los datos de eventos extremos existentes en la región. Esto ayudará al momento de ejecutar obras viales, de saneamiento, entre otras, a fin de que su diseño sea más confiable considerando los eventos extremos resultados de esta investigación.

1.5.Estructura del trabajo

En el Capítulo 2 se muestra la base teórica para el análisis de precipitaciones, así como también, los principios que rigen para el cálculo de ellas. Seguidamente, se presenta las investigaciones desarrolladas con respecto a la determinación de las curvas de intensidad duración y frecuencia.

El Capítulo 3 describe la metodología utilizada, así como también la implementación de softwares que ayudan a la simplificación del problema planteado.

En el Capítulo 4 se presentan los resultados de la determinación obtenidos, en este capítulo se analiza la intensidad de lluvia para distintas duraciones y la intensidad de lluvia diaria, lo que permitirá la zonificación de las ecuaciones de frecuencia e intensidades máximas.

En el Capítulo 5 se dan las conclusiones finales con relación a los objetivos planteados y se presentan los posibles trabajos futuros.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En el régimen hidrológico de una región es función de características físicas, geológicas, topográficas y climatológicas. Los factores climatológicos más importantes son la precipitación, la evaporación, la temperatura y la humedad del aire, y los vientos; estos últimos tres en la medida en que ejercen influencia sobre la precipitación y la evaporación.

En relación con la precipitación en el presente capítulo se escribe la base teórica para el estudio, distribución, formas, medidas y análisis de datos necesarios para su cuantificación.

2.1.Precipitación

La precipitación se forma debido a la condensación del vapor de agua atmosférica, es decir, ocurre cuando la atmósfera se satura de vapor de agua y luego se condensa para luego caer en la superficie terrestre. Se puede presentar en varias formas como: heladas, lluvia, granizo, nieve, aguanieve y lluvia congelada (Monsalve, 1998). Para que pueda ocurrir la precipitación se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Presencia de núcleos de condensación.
- Temperaturas cercanas al punto de rocío.
- Abasto continuo de vapor de agua
- Incremento del tamaño de las gotas de lluvia a través de las colisiones entre las mismas.

2.1.1. Clasificación de la precipitación

La precipitación se puede clasificar de acuerdo al ascenso de la masa húmeda y por la forma que precipitan desde la atmósfera (Monsalve, 1998).

- **Por el ascenso de la masa húmeda**
 - Precipitación ciclónica: Puede ser frontal o no frontal y resultan del levantamiento del aire que converge en un área en donde la presión es baja.

- Precipitación convectiva: Se produce cuando las masas de aire bajas se calientan y se cruzan con vientos fríos en la parte superior, ocasionando una descompensación en las fuerzas de empuje y flotación.
- Precipitación orográfica: Suceden gracias a las barreras montañosas, por lo cual se produce un ascenso de masas de aire forzados, chocando con estratos más fríos y ocasionando la condensación súbita.
- **Por la forma que cae desde la atmósfera**
 - Precipitación líquida: llovizna, lluvia y aguacero o chaparrón.
 - Precipitación glacial: llovizna congelada y lluvia congelada (aguanieve).
 - Precipitación congelada: nieve, bolitas de nieve, granos de nieve, bolitas de hielo (aguanieve), granizo, bolitas o copos de nieve y cristales de hielo

2.1.2. Aparatos de medición de lluvia

La cantidad de lluvia se puede interpretar como la altura caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable. Para dichas mediciones se utilizan los pluviómetros y los pluviógrafos. Estos elementos deben estar bien ubicados y con las medidas de control necesarias para que los datos obtenidos reflejen un escenario real.

- **Pluviómetros.**

Existen los simples y los estándares. Los simples son recipientes abiertos que retienen el agua de lluvia para posteriormente medirla, ya sea en milímetros o en décimos de milímetro. Es importante tomar en cuenta que las medidas de dichos aparatos deben ser normalizadas. Por otro lado, los pluviómetros estándar son aquellos que ya cuentan con medidas estándar para facilitar la lectura de cada una de las mediciones (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

- **Pluviógrafos.**

Con estos aparatos es posible medir la intensidad de la precipitación. Básicamente se recibe el agua por medio de un embudo que conduce a un pósito con doble compartimento, oscilante alrededor de un pivote. El movimiento se transmite hacia una aguja que permite marcar un trazo en un papel para obtener así un pluviograma (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

Con estos elementos es posible determinar las medidas características pluviométricas, tales como:

- Altura pluviométrica, en mm, se expresa diariamente, mensualmente, anualmente, etc.
- Intensidad de precipitación, se consigue dividiendo el valor de la altura de la pluviométrica por el intervalo de tiempo considerado.
- Duración es el período de tiempo en horas, por ejemplo, desde el inicio hasta el fin de la precipitación.

En la práctica es común encontrarse con datos que no están dentro del comportamiento normal de las precipitaciones que han sido medidas. Estos errores pueden ser a causa del viento que circula sobre la boca de los pluviómetros elevados que impiden el paso de las partículas hacia el cilindro. También, pueden existir errores a causa de que las paredes del colector estaban húmedas al momento de tomar las muestras, evaporación del agua acumulada, nieve arrastrada por aire que entra o sale del pluviómetro.

Todos estos errores pueden ser controlados mediante un buen mantenimiento a los equipos y un monitoreo constante de los mismos. Además de mantener en buen estado los equipos con los materiales adecuados para permitir mediciones más exactas y precisas.

También es muy importante el lugar en el cual se vaya a emplazar el aparato de medición. Se deben tomar en cuenta aspectos como la zona de mayor importancia para medir las precipitaciones, debe ser un lugar plano en el cual no corra mucho viento, debe estar a nivel del suelo; si la vegetación es densa y homogénea la boca del pluviómetro debe estar a nivel de la vegetación, con protecciones adecuadas para los equipos y considerar la utilización de paravientos alrededor del pluviómetro.

2.1.3. Análisis estadísticos de datos hidrológicos.

En una serie de datos estadísticos de una estación hidrológica de medidas, es indispensable resumir esta multitud de cifras en elementos sintéticos que caractericen la estación desde el punto de vista considerado. Se busca definir una serie de n observaciones de valores individuales x_i con i menor a n , desde los tres puntos de vista siguientes

- Media; la media se define como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

- Mediana; Se define como el valor que divide las frecuencias de una distribución de probabilidades en partes iguales o, en otras palabras, es el valor que ocurre con una probabilidad del 50%. El mismo concepto es aplicable a una tabla de frecuencias de una serie de datos agrupados en clases o categorías. La mediana, en problemas hidrológicos, es muchas veces la medida más conveniente de la tendencia central porque no se ve afectada por valores extremos.
- Moda; es el valor que ocurre con mayor frecuencia en una distribución de probabilidades, o en una tabla de frecuencias de una serie de datos agrupados en clases o categorías.
- Desviación estándar; es la dispersión o fluctuación de diversas observaciones alrededor de un valor central. Se determina mediante la siguiente expresión.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

- Varianza:

$$Var = S^2 \quad (3)$$

- Rango; Diferencia entre los valores mayor y menor de la serie.
- Coeficiente de variación; se determina entre la relación de desviación estándar y la media.

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \quad (4)$$

- Coeficiente de oblicuidad; este coeficiente da una idea de la simetría de la distribución, y se determina con la siguiente expresión.

$$C_s = \frac{a}{s^2} \quad (5)$$

Donde

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

El análisis de la simetría de una distribución se presenta a continuación:

$C_s=0$ Distribución simétrica.

$C_s>0$ Distribución oblicua hacia la izquierda.

$C_s<0$ Distribución oblicua hacia la derecha.

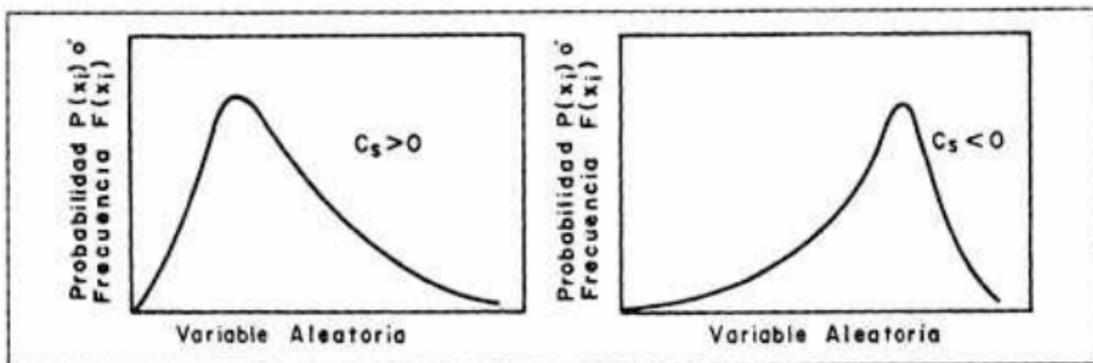


Figura 2.1. Coeficiente de oblicuidad de una distribución

- Variable aleatoria; se define como una cantidad variable por medio de la cual sea posible definir una función $P(x_i)$ que, para cada valor real de x que pueda tomar, mida la probabilidad de valores menores o iguales a x_i .

$$P(x \leq x_i) = P(x_i) \quad (7)$$

2.1.4. Análisis de datos faltantes

Existen estaciones pluviométricas con datos faltantes en sus registros debido, esto puede estar relacionado a distintos factores durante determinado periodo tiempo. Como en hidrología se trabaja con series continuas, se deben completar dichos datos faltantes.

El método más común utilizado para verificar la homogeneidad de los datos en una estación pluviométrica es el método de doble masa. Este método permite comprobar si hubo alguna anomalía en la estación pluviométrica durante algún período, tal como el cambio de lugar de dicha estación, cambio de las condiciones del aparato registrador, o modificaciones en su método de construcción. El método consiste en construir una curva

doble acumulativa, en la cual son relacionados los totales acumulados de precipitación de un determinado lugar y la media acumulada de los totales de todos los puestos de la región, considerada climatológicamente homogénea y por consiguiente homogénea desde el punto de vista de datos. Se construye, de esta manera, una gráfica como la mostrada en la Figura 2.2.

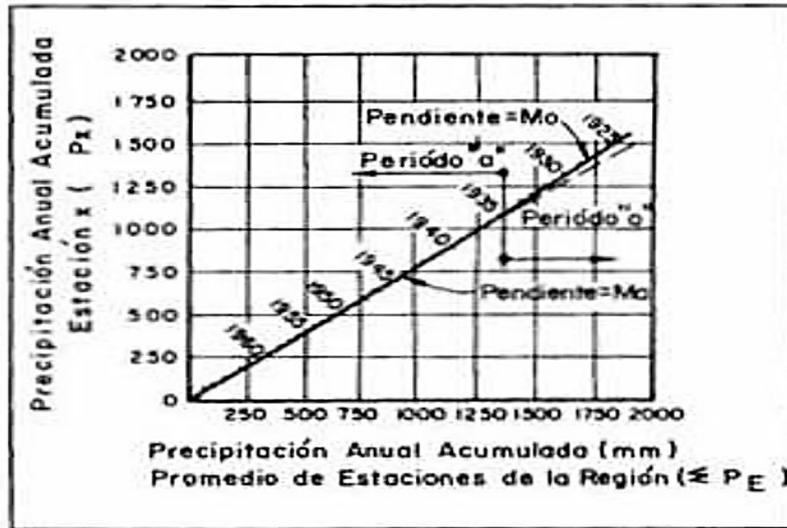


Figura 2.2. Verificación de la homogeneidad de datos pluviométricos

Fuente: Monsalve, (1998)

En el caso de que no haya cambio en la pendiente de la estación a analizar la línea es homogénea en sus datos de precipitación. En caso de cambio de la pendiente, no existe homogeneidad. Por consiguiente, sus datos deben ser corregidos para las condiciones actuales, asumiendo que los datos actuales son homogéneos (Figura 2.3).

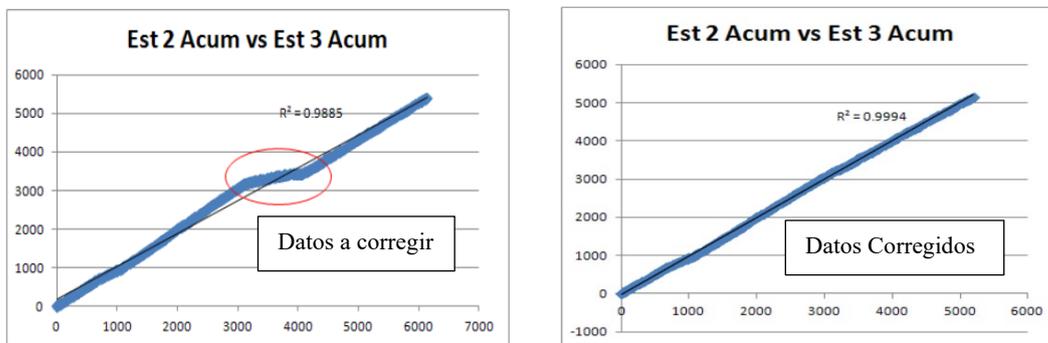


Figura 2.3. Correcciones de curvas de doble masa

La corrección consiste en eliminar los datos erróneos y volver a realizar la curva de doble masa, esto se realiza de manera repetitiva hasta obtener un coeficiente R^2 mayor o

igual a 0.999 para obtener una buena confianza de la calidad de los datos para el relleno. Una vez corregidos los datos mediante la curva de doble masa, se procede a realizar una correlación de los datos, si esta correlación es mayor a 0.7, quiere decir que estos datos se correlacionan entre sí por lo que se puede obtener la ecuación de la recta a la que se aproximan los datos y luego si proceder al relleno de la información faltante y corrección de la información errónea (Richard, 1996).

El coeficiente de correlación es la medida específica que cuantifica la intensidad de la relación lineal entre dos variables en un análisis de correlación. En los informes de correlación, este coeficiente se simboliza con la r y se estima con la siguiente ecuación.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Para dos variables (x y y), la fórmula compara la distancia de cada dato puntual respecto a la media de la variable y utiliza esta comparación para decirnos hasta qué punto la relación entre las variables se ajusta a una línea imaginaria trazada entre los datos. A esto se refiere cuando se dice que la correlación examina las relaciones lineales. El coeficiente de correlación es un valor sin unidades entre -1 y 1. La significancia estadística indica que si:

- Cuanto más se aproxima r a cero, más débil es la relación lineal.
- Los valores de r positivos indican una correlación positiva, en la que los valores de ambas variables tienden a incrementarse juntos.
- Los valores de r negativos indican una correlación negativa, en la que los valores de una variable tienden a incrementarse mientras que los valores de la otra variable descienden.

Estadísticamente, se considera una buena correlación si el valor de r es mayor a 0.6 (Maya & Martín, 1999).

2.2. Precipitación media sobre una cuenca.

Es importante la cuantificación de la precipitación en una cuenca hidrográfica para un intervalo de tiempo específico, en vista que permite obtener datos de partida para diversos proyectos hidrológicos e hidráulicos como por ejemplo el Balance Hídrico. Dicha precipitación se puede obtener mediante varios métodos como: Método de la media aritmética, polígonos de Thiessen o el Método de las Isoyetas o interpolación

espacial.

2.2.1. Métodos para la determinación de la precipitación media sobre una cuenca.

2.2.1.1. Método Aritmético.

Este método provee una buena estimación si los aparatos pluviométricos están distribuidos uniformemente en la cuenca, el área es bastante plana y la variación de las medidas pluviométricas entre los aparatos es pequeña. Se determina mediante la siguiente expresión.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (9)$$

Donde,

n = es el número de aparatos pluviométricos.

P_i = precipitación registrada en el aparato pluviométrico.

\bar{P} = Precipitación media.

2.2.1.2. Método de polígonos de Thiessen.

En este método se estima la precipitación media sobre una determinada superficie en una cuenca hidrográfica. Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (10)$$

En donde:

\bar{P} = Precipitación media

P_i = Valor de la precipitación puntual que se presenta en la i-ésima estación

A_i = Área de influencia de la estación i, definida a partir de los polígonos de Thiessen

Cada área de influencia (A_i) se define al construir los triángulos en cuyos vértices se encuentran localizadas 3 estaciones que se encuentran lo más cercanas entre sí. Después, se trazan líneas que bisecan los lados de todos los triángulos, las cuales van a converger en un solo punto. De manera que, cada una de las estaciones pluviométricas quedará rodeada por líneas rectas que forman un polígono irregular, el área encerrada por esta figura será la superficie de influencia de la estación correspondiente A_i (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006).

2.2.1.3. Método de las isoyetas.

Es el método más preciso, se utilizan curvas de igual precipitación. El trazado de esas curvas es semejante al de las curvas de nivel, en donde la altura de agua precipitada sustituye la cota del terreno. Se debe considerar los efectos orográficos de la hoya, de modo que el mapa final represente un modelo de precipitación más real que si hubiera sido obtenido sin tener en cuenta dichos efectos.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1}) A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}} \quad (11)$$

En donde:

\bar{P} = Precipitación media.

P_i = precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación i .

P_{i+1} = precipitación correspondiente a la curva de igual precipitación $i+1$.

$A_{i,i+1}$ = área entre las curvas de igual precipitación.

Para la aplicación del método de las isoyetas existen métodos de interpolación para la obtención de las curvas de igual precipitación. Con estos métodos, es posible calcular valores en puntos que no necesariamente cuentan con una muestra, a partir de valores conocidos en otras series de puntos. De esta forma se encuentran valores aproximados a las cifras reales.

Por medio de estas aproximaciones se pueden llegar a tener mapas que reflejen el comportamiento de una cuenca en cuanto a las precipitaciones que puedan suceder en la misma, es por esto que se describen algunos de los métodos que se utilizan en interpolación espacial a continuación:

- **Método de las curvas adaptativas**

Estas curvas conforman una familia de métodos de interpolación exactos, determinísticos y locales. Analizando el método desde un punto de vista físico podría ser semejante a colocar una superficie elástica encima del área a ser interpolada, fijándola sobre los puntos conocidos. Llegando a crear superficies suaves que pueden ser modificadas variando los parámetros establecidos.

Los Splines son funciones polinómicas por tramos. Las curvas que se definen

mediante estos polinomios se entrelazan entre sí formando nudos, cumpliendo con las condiciones de la continuidad.

Se debe tener cuidado en cuanto a las oscilaciones que pueden presentar en zonas con cambios bruscos de valores, como por ejemplo dos puntos de entrada cercanos, pero con valores muy diferentes, esto podría ocasionar oscilaciones artificiales significativas. Para estos casos particulares se recomienda utilizar Splines con tensión (Olaya, 2014).

- **Método de kriging**

Es un método de interpolación estocástico, exacto y que puede ser aplicado de manera local y global. Se basa principalmente en la geoestadística y existen diversas variantes. Este método se basa en las variables regionalizadas, su objetivo es establecer la ponderación óptima entre puntos en un interpolador local y debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El error de predicción debe ser mínimo.
- Los puntos cercanos deben tener pesos mayores que los lejanos.
- La presencia de un punto cercano en una dirección dada debe restar influencia.
- Enmascarar a puntos en la misma dirección, pero más lejanos.
- Puntos muy cercanos con valores muy similares deben «agruparse», de tal forma que no aparezca sesgo por sobre muestreo.
- La estimación del error debe hacerse en función de la estructura de los puntos, no de los valores.

El Kriging es similar a un método basado en la ponderación por distancia, el cual se representa mediante la siguiente expresión:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (12)$$

Donde:

$Z(s_i)$ = Valor medio en la ubicación i

λ_i = Ponderación para el valor medio en la ubicación i

s_0 = Ubicación de la predicción

n = Cantidad de valores medidos

La precisión de este método depende mucho de la calidad de datos con los que se trabaje, así como la distancia entre las estaciones (Olaya, 2014).

- **Método de distancia inversa ponderada**

Es un método basado en la autocorrección espacial de los puntos para predecir y generar superficies continuas. El mismo que usa la función de distancia inversa y parte del supuesto que los objetos más cercanos serán más similares entre sí. Por lo tanto, disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación a la muestra. Las muestras deben ser lo suficientemente densas para poder encontrar buenos resultados. La fórmula para representar este método es la siguiente:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (13)$$

Donde:

$Z(s_i)$ = Es el valor medio en la ubicación i .

λ_i = Es una ponderación para el valor medio en la ubicación i .

s_0 = Es la ubicación de la predicción.

n = Es la cantidad de valores medidos.

La fórmula es la misma que del método de Kriging ordinario, tomando en cuenta que la diferencia es que la ponderación en este caso depende únicamente de la distancia a la ubicación de predicción (Richard, 1996).

2.3. Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF)

Las curvas IDF son una de las herramientas más útiles para el diseño hidrológico de caudales máximos, cuando se utilizan modelos lluvia-escorrentía como los hidrogramas unitarios o el método racional. Es así como un gran número de proyectos hidrológicos, como el diseño de evacuadores de crecidas, la construcción de puentes y la construcción de redes de drenaje, entre otros, se definen en relación a la máxima precipitación que se podría esperar para un determinado período de retorno. A partir de estos eventos extremos se fijan las dimensiones del proyecto y se establecen los criterios de predicción y de riesgo (Villacrés et al., 2016).

Las curvas IDF, se obtienen mediante métodos probabilísticos o de regresión lineal

múltiple. Siempre es necesario definir un periodo de retorno para el análisis de los datos, porque de esta manera se establece el tiempo en promedio que puede tardar en ocurrir cierto evento. Los datos pueden ser procesados mediante varios métodos como: Método de regresión lineal múltiple y Método de Talbot (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006)

2.3.1. Funciones de distribución de probabilidad usadas para la determinación de las IDF.

Las variables hidrológicas, entre ellas, las intensidades máximas de precipitación, pueden ser descritas por diversas distribuciones de probabilidad, tales como valor extremo tipo I o Gumbel, Log normal, Pearson III, etc. No hay una función que sea mejor que otra, debiendo buscarse para cada caso la función que mejor se ajusta para cada serie de datos específicos. Las funciones que se considera en la presente investigación son Gumbel y Pearson Tipo III, al ser las más utilizadas en diferentes estudios.

2.3.1.1. Función de distribución de Gumbel.

Las curvas de IDF se generan a partir de métodos estadísticos. Esta distribución se basa en los valores extremos, fue creada por Gumbel en 1941 y corregida por Chow en 1954. Es una distribución logarítmica normal, en la cual se analiza un valor extremo o normal (Ven Te Chow, 1994), que en este caso llevará el nombre de “X”, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$x = \bar{x} + KS \quad (14)$$

Donde;

\bar{x} = Media de la muestra de valores de intensidad de precipitación

K = Factor de frecuencia, depende del período de retorno

S = Desviación estándar de la muestra

El valor de K se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (15)$$

Donde;

Y_t = Variable reducida, la cual es función del período de retorno y del tamaño de la muestra

Y_n = Media de la variable reducida

S_n = Desviación de la variable reducida

El valor de la Variable reducida Y_t se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Y_t = -\ln\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \quad (16)$$

Donde;

T = Período de retorno

Una vez que se transforman los valores de precipitación máxima en intensidad de precipitación se calcula la desviación estándar y el promedio de las intensidades de cada una de las muestras de la precipitación acumulada. Luego se calcula el factor K para diferentes periodos de retorno, tomando en cuenta que para obtener las intensidades máximas de frecuencia se utilizó la ecuación de análisis de frecuencia. Finalmente se procede a graficar la duración contra la intensidad de la precipitación para cada uno de los periodos de retorno seleccionados (Rojas M., 2011).

2.3.1.2. Función de distribución Pearson tipo III.

Es una de las distribuciones más utilizadas en la hidrología. Debido a que la mayoría de las variables hidrológicas son sesgadas se utiliza la función Gamma para ajustar la distribución de frecuencias de variables (Ven Te Chow, 1994). La fórmula que se utiliza para el cálculo es la siguiente:

$$W = \sqrt{\ln * \frac{1}{(P > \text{exceso})^2}} \quad (17)$$

$$Z = w - \frac{(2.515517 + 0.802853w + 0.010328(w^2))}{1 + 1.432788w + 0.189269(w^2) + 0.001308(w^3)} \quad (18)$$

$$k = \frac{Cs}{6} \quad (19)$$

$$kt = z + (z^2 - 1) * k + \left(\frac{z^3 - 6z}{3}\right) * k^2 - (z^2 - 1) * (k^3) + z * (k^4) + \frac{k^5}{3} \quad (20)$$

$$yt(\text{Pearson}) = \bar{x} + (kt * Sx) \quad (21)$$

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2) * s^3} \quad (22)$$

Donde:

\bar{x} = La media del registro de precipitaciones.

S_x = Desviación estándar del registro de precipitaciones respecto a la media.

z, w, kt = Parámetros que se calculan como se estipula en la formulas descritas anteriormente (Genovez Muñoz, 2018).

2.3.2. Test de Kolmogorov-Smirmov.

En el test de Kolmogorov – Smirnov surge con el objetivo de determinar el supremo de las diferencias la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; para obtener el estadígrafo D_c de Kolmogorov-Smirnov. Además, es una prueba de ajuste de bondad apropiada cuando $F_n(x)$ es continua (Maya & Martín, 1999).

Es una prueba de que no necesita que los datos se encuentren agrupados y es aplicable a muestras pequeñas. De esta definición, se desprende que es necesario determinar tanto la frecuencia observada acumulada, como la frecuencia teórica acumulada. En el primer caso, para determinar la frecuencia observada acumulada de la serie, se ordenan los datos de menor a mayor y se trabaja con la probabilidad de excedencia asignada a cada valor de la muestra, cuya expresión más usada es la de Weibull.

$$F_n(x) = \frac{n}{(N+1)} \quad (23)$$

Donde:

$F_n(x)$ = frecuencia observada acumulada.

n = número de orden.

N = número total de datos.

Por otra parte, la frecuencia teórica acumulada se determina a través de la función de Gumbel. Por lo tanto, cuando han sido obtenidas ambas frecuencias, se selecciona el supremo de las diferencias entre ambas, en la i -ésima posición de orden, definido por la siguiente expresión:

$$D_c = \text{Sup}|F_n(x)_i - F(x)_i| \quad (24)$$

Donde:

D_c = supremo de las diferencias entre la frecuencia observada y teórica acumulada.

$F_n(x)_i$ = Frecuencia observada acumulada.

$F_n(x)_i$ = Frecuencia teórica acumulada.

Una vez obtenido el valor de D_c , se recurre a la tabla de valores críticos de D en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, con un tamaño de muestra n y asumiendo un 95% de confianza. Para luego decidir si el ajuste es o no adecuado, considerando las siguientes afirmaciones:

- Si el valor de $D_c < D_{\text{tabla}}$, se acepta H_0 (H_0 : el ajuste es adecuado).
- Si el valor de $D_c > D_{\text{tabla}}$, se rechaza H_0 (H_0 : el ajuste no es adecuado).

2.3.3. Métodos para el cálculo de ecuaciones de intensidad duración y frecuencia.

Las curvas IDF también se pueden definir como gráficas en las cuales se concentran las características de las tormentas en una región, con respecto a sus 3 variables principales: magnitud, duración y frecuencia (Richard, 1996). Esto se logra a partir de los valores de intensidad obtenida para distintas duraciones, a través de la gráfica de datos de intensidad de modo que se obtienen los puntos de la curva asociada a cada período de retorno. De esta forma se expresa gráficamente la relación existente entre la intensidad, duración y frecuencia del evento de precipitación, registrado en cada estación. El cálculo de las ecuaciones consiste en determinar una expresión matemática que permita relacionar las variables antes mencionadas. Para esto, en la literatura existen diferentes métodos, sin embargo, en el presente estudio los métodos con los que se trabaja son:

- Regresión lineal múltiple
- Talbot

2.3.3.1. Método de regresión lineal múltiple.

En este método se calcula el valor de la intensidad máxima de lluvia a partir de su duración y su periodo de retorno. Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$i_{max} = \frac{KT_r^m}{D^n} \quad (25)$$

En donde:

i_{max} = es el valor de la intensidad máxima de lluvia en mm/h.

T_r = es el periodo de retorno en años.

D = es la duración de la lluvia en minutos.

k, m, n = son los parámetros que se determinan al ajustar la ecuación anterior y transformar a una forma lineal aplicando logaritmos.

Como se puede observar a continuación:

$$\text{Log}(i) = [\text{Log}(k) + m \text{Log}(T_r) - n \text{Log}(d)] \quad (26)$$

Sustituyendo algunas variables se tiene:

$$Y = [A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2] \quad (27)$$

Donde:

$$Y = \text{Log}(i) \quad x_1 = \text{Log}(T_r) \quad x_2 = \text{Log}(d) \quad (28)$$

$$A_0 = \text{Log}(k) \quad A_1 = m \quad A_2 = -n \quad (29)$$

Para encontrar los términos A_0 ; A_1 ; A_2 se plantean 3 ecuaciones que se describen a continuación:

$$\sum_{i=1}^n Y = N A_0 + A_1 \sum_{i=1}^n x_1 + A_2 \sum_{i=1}^n x_2 \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_1 Y) = A_0 \sum_{i=1}^n x_1 + A_1 \sum_{i=1}^n (x_1)^2 + A_2 \sum_{i=1}^n (x_1)(x_2) \quad (31)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_2 Y) = A_0 \sum_{i=1}^n x_2 + A_1 \sum_{i=1}^n (x_1)(x_2) + A_2 \sum_{i=1}^n (x_2)^2 \quad (32)$$

2.3.3.2. Método de Talbot.

En este método se calcula el valor de la intensidad máxima de lluvia a partir de coeficientes que están en función de la localidad y el periodo de retorno (Félix Mera et al., 2021). Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$i_{max} = \frac{a}{b+D} \quad (33)$$

En donde:

i_{max} = es la intensidad máxima, en mm/h

a y b = son los parámetros que dependen de la localidad y del período de retorno

D = es la duración de la precipitación en min.

Los coeficientes a y b son determinados a partir de las intensidades que se dan para diferentes duraciones, para lo cual se debe transformar la ecuación de la i_{max} en una ecuación lineal:

$$i_{max} = \frac{1}{y} = \frac{a}{b+D} \quad (34)$$

$$y = \frac{b+D}{a} \quad (35)$$

$$y = \frac{b}{a} + \frac{1}{a} D \quad (36)$$

$$y = a_1 + b_1 D \quad (37)$$

$$y = a_1 + b_1 x \quad (38)$$

Una vez que se obtiene la ecuación se procede a construir la siguiente tabla de pares a partir de las intensidades máximas: Luego los datos deben ajustarse a una línea recta para encontrar los coeficientes a y b.

De los cambios realizados se puede obtener:

$$\text{De } b_1 = \frac{1}{a} \text{ se tiene } a = \frac{1}{b_1} \quad (39)$$

$$\text{De } a_1 = \frac{b}{a} \text{ se tiene } b = a * a_1 \text{ y } b = \frac{a}{b_1} \quad (40)$$

2.3.4. Índice de tormenta.

En muchas ciudades ocurre que la mayor parte de las estaciones son de tipo pluviométrica, entregando registros para 24 horas y por tanto se desconocen los valores para duraciones menores. La ciudad de Cuenca aunque dispone de información pluviométrica registrada cada 5 minutos en gran parte de las estaciones, existen algunas en las que estos registro se desconocen o no cuentan, por lo que surge la necesidad de estimar el comportamiento de las intensidades para duraciones menores a 24 horas. Un método muy utilizado por Pizarro et al., (2013) es el Índice de Tormenta, puesto que permite la construcción de las curvas IDF para las estaciones a partir de la información

de las estaciones pluviográficas. Éste es un índice que da cuenta de la relación entre las intensidades máximas a una duración cualquiera y la de 24 horas para un mismo periodo de retorno. Este índice se obtiene para una estación pluviográfica en particular y se basa en la duración de 24 horas, debido a que es más fácil de encontrar.

Para poder extrapolar a otra estación de carácter pluviométrico, sólo se deberá multiplicar la precipitación de 24 horas de la estación, a un determinado período de retorno, por el Índice ligado a una nueva duración menor a 24 horas. Para ello se asume que el comportamiento de la curva IDF de la estación uno es similar al de la estación que se quiere extrapolar, por lo que esta relación sólo es posible considerando estaciones con similares características climáticas o que se encuentren en la misma región. En relación a lo anterior, se recomienda considerar la cercanía de las estaciones, así como también las diferencias de las intensidades en 24 horas, en donde estas no deben ser de más de 2 mm/h. El índice de tormenta se define mediante la siguiente ecuación:

$$I_t = \frac{I_i}{I_{24h}} \quad (41)$$

Donde:

I_i : intensidad de precipitación para una duración i y un periodo de retorno T

$I_{24 \text{ horas}}$: intensidad de precipitación para una duración de 24 horas y un periodo de retorno

T .

2.4.Hietogramas de precipitación

Es una representación gráfica de la variación de la altura de la intensidad de la lluvia en un determinado intervalo de tiempo, esta representación se presenta por medio de barras que muestran información de una tormenta, mientras disminuye el valor del intervalo de tiempo, significa que la información es muy detallada (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006).

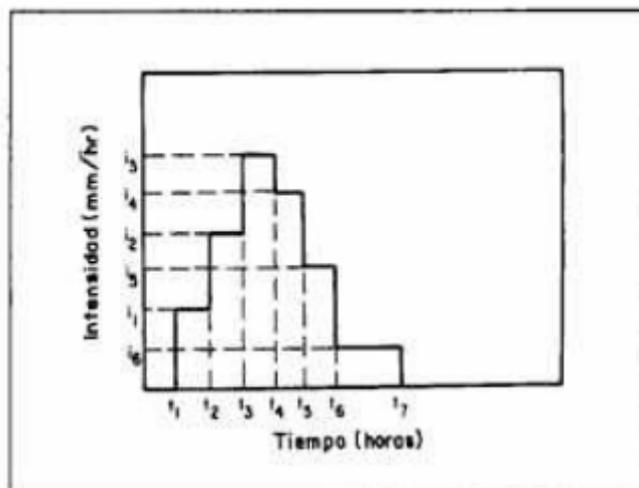


Figura 2.4. Hietograma de precipitación

2.5.Estado del arte

Para tener una mejor percepción sobre el trabajo que se va a realizar, es necesario investigar y consultar bibliografía acorde con el caso de estudio. Por lo que se han examinado varias fuentes como, por ejemplo: libros, artículos científicos y tesis que contienen información que es de gran ayuda para el desarrollo de esta tesis. La literatura mencionada anteriormente se describe a continuación:

De acuerdo a las investigaciones realizadas se ha obtenido información sobre un libro internacional escrito por Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W, Mays; con el título de “Hidrología Aplicada”, en el cual se detallan las relaciones entre la intensidad, duración y la frecuencia para tormentas de diseño, en las que se recomiendan varios métodos y análisis que se deberían llevar a cabo para poder analizar dichas relaciones, a través de gráficas y cálculos estadísticos basados en lluvias modelo (Chow et al., 1994). Además, se cuenta con un libro de Richard H. McCuen, el cual tiene como título “Hydrologic Analysis and Design”. En este libro explican cómo obtener las curvas de intensidad duración y frecuencia, mediante la presentación de varios ejemplos prácticos, que son representados matemáticamente, los cuales reflejan el comportamiento de las lluvias en ciertos sectores de EEUU (McCuen, 1998).

Por otra parte, se tiene un libro escrito en México D.F. con el título de “Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial” en el cual se analizan fundamentos básicos de la hidrología y conceptos importantes que forman la base de toda la investigación como

lo relacionado con precipitaciones, aparatos de medición de lluvia, técnicas de análisis de los registros de lluvias, entre otros. Los cuales ayudarán en la comprensión de la forma de cálculo de cada uno de los parámetros analizados en cuestión (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006).

Se tiene a nivel internacional, la tesis de M. Carmen Casas Castillo, con el título de “Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva”, obra que trata del análisis de las series de precipitaciones que ocurren en la ciudad de Catalunya en Barcelona. Se analizan varias formas y métodos para obtener las curvas de IDF de la zona analizada, investigando las ocurrencias de dichas lluvias durante varios años, llegando así a estimar acontecimientos de las precipitaciones máximas probables (Casas Castillo, 2005).

Además, a nivel local existe la tesis del estudiante Daniel Geovanny Genovez Muñoz, con el título de “Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca”, en la cual consta el procedimiento que se debe llevar a cabo para realizar desde el levantamiento de la información, hasta el procesamiento de datos y por supuesto encontrar los resultados esperados mediante las curvas de IDF de algunos pluviómetros analizados en la ciudad mencionada (Genovez Muñoz, 2018).

Mientras que a nivel nacional se cuenta con un artículo científico publicado en la revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores, de los autores: Jhon Félix, Jean Chávez y María Muñoz el cual lleva como título “Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad en la cuenca media del río Chone.”. En este estudio se obtienen las curvas de intensidad-duración-frecuencia para la cuenca del río Chone, basadas en los datos de intensidad máxima anual para diferentes periodos de tiempo. Todos estos datos se comparan con la información proporcionada por INAMHI en un lapso de estudio entre los años de 1999 y 2015 (Félix Mera et al., 2021).

A nivel internacional se encontró un artículo científico en el cual se calculan las curvas de IDF en Venezuela, debido a la necesidad de predecir las inundaciones que ocurrían en la provincia de Ciego de Ávila, todo este análisis se lo realiza mediante las funciones de Talbot y Aparicio, que no son más que fórmulas empíricas mediante las cuales se calculan las intensidades máximas para diferentes duraciones, dichas formulas pueden ser aplicadas a esta tesis y por lo tanto serán analizadas (Brown Manrique et al., 2013).

Un estudio realizado en Arabia Saudita, utilizando los datos de los últimos 13 años de mediciones de precipitaciones sirven para realizar los cálculos de las curvas IDF, pero dichos datos se obtienen mediante la medición de pluviómetros, los cuales se dividen en 2 grupos que tienen sifones y los que no poseen. Se realizan correcciones de datos mediante relaciones y ajustes que posteriormente sirven para rellenar datos faltantes o proyectar el comportamiento de la lluvia de una mejor manera y así obtener curvas de IDF confiables. Es importante saber cómo es el comportamiento de los datos tomados en diferentes tipos de pluviómetros, debido a que los datos van a reflejar el futuro y la toma de los mismos pueden afectar el análisis de todo el trabajo (Saad Al-Wagdany, 2020).

En EEUU se realiza un estudio que utiliza mediciones de lluvia de 36 estaciones y poseen más de 55 años de registros. Se evalúan 3 enfoques paramétricos distintos para obtener curvas de IDF, uno basado en una serie de máximos anuales, un modelo de picos sobre el umbral basado en la distribución de Pareto y otro en la aproximación analítica. Todos estos procedimientos son analizados, comparados y evaluados entre sí (Emmanouil et al., 2020).

Es importante también investigar a cerca de métodos que puedan facilitar el trabajo en cuanto al procesamiento de datos, en este artículo se analiza una herramienta basada en la web para desarrollar curvas de intensidad-duración-frecuencia en condiciones climáticas cambiantes. La herramienta se llama IDF_CC, está basada en la web y está diseñada para realizar estimaciones relacionadas con el impacto del cambio climático en las curvas de IDF para Canadá. Este programa se enfatiza en estandarizar el procedimiento para la actualización de dichas curvas (Saad Al-Wagdany, 2020)

En la India existe un caso de estudio en el cual se desarrollan las curvas de IDF basadas en la teoría de escalas, utilizando momentos ponderados de probabilidad lineal. Este es un método estadístico que permite, a través de la probabilidad, evaluar el cambio climático que puede tener el sector analizado. Los resultados reflejan que el método fue muy útil para analizar casos de hidrología urbana (Simonovic et al., 2016).

Además, en España se analizan las curvas de IDF de tormentas cortas en el Río Segura. Las tormentas analizadas duran menos de 60 min en los climas semiáridos. Se analizan 60 estaciones pluviométricas con un período de retorno de 21 años. Las técnicas que se utilizaron para encontrar dichas curvas fueron de Gumbel, TERC, Log Pearson tipo III y GEV. De esta forma se pueden comparar varios métodos de obtención de las curvas, lo cual también se plantea realizar en la tesis, por lo que es un artículo bastante

adecuado para analizar los resultados obtenidos de estas mediciones y así poder elegir los mejores métodos para realizar las curvas IDF de la ciudad de Cuenca (Pérez-Sánchez & Senent-Aparicio, 2017).

Existe un libro que contiene valiosa información acerca de las curvas IDF de algunas estaciones meteorológicas automáticas, en el cual se detallan tipos de metodologías para el desarrollo de dichas curvas, así como también todo el procedimiento que se debe llevar a cabo para realizar este tipo de análisis, como recolección de datos, relleno de datos con algunos métodos como Gumbel y método analítico, ajustes de datos, análisis de resultados y diseño de este tipo de curvas en general (Rojas M., 2011).

Por otra parte, existe la tesis de Jorge Gálvez que realiza un estudio en Guatemala, el cual compara el método Insivumeh con el método Wenzel para la creación de curvas IDF en la cuenca del Río Salinas. Se analizan estos dos métodos que sirven para ajustar matemáticamente las curvas o datos tomados en campo, a el comportamiento real de las precipitaciones (Gálvez González, 2013).

En la ciudad de Barranquilla se realiza una tesis por parte de Belly Mejía, en la cual se estiman las curvas de IDF a través de mapas de isoyetas, el cual es otro método que se realiza para el cálculo y la estimación de dichas curvas. Utiliza los datos del departamento del Atlántico los cuales son de 35 estaciones pluviométricas y 5 pluviográficas, considerando un periodo de referencia histórica de 37 años. Analizando también el ajuste de diferentes distribuciones de probabilidad para la proyección de datos de las intensidades máximas a través de un modelo matemático y mapas de isoyetas que utilizan técnicas de interpolación espacial para obtener sus resultados (Mejía Arrieta, 2017).

Por último, se cuenta con una tesis realizada en la Universidad de Cuenca en la cual se determinan las curvas de frecuencia y zonificación de intensidades en la cuenca media alta del Río Paute. En esta tesis se procesan, validan y analizan información que se encuentra cerca de la zona de estudio. Además, todos los datos son comparados con INAMHI, la cual será una fuente para la tesis a ser desarrollada. Se analizan 18 estaciones pluviométricas con una duración media de 13 años, las cuales están monitoreadas por la empresa ETAPA EP, INAMHI y PROMAS Universidad de Cuenca. Los datos se analizan mediante la función de distribución de probabilidad normal y distribución de probabilidad de Gumbel (Estrella Roldán, 2016).

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología para la recolección, análisis y tratamiento de la información de las estaciones meteorológicas y pluviográficas situadas en el cantón Cuenca. El estudio inicia con la descripción y recopilación de la información, en esta actividad se trata y organizan los registros de las estaciones, se identifica los valores a corregir y el rellenó de datos para completar las series de registros. Además, se procederá a determinar la media mensual de la precipitación máxima en 24 horas, que permita analizar la distribución de precipitación para cada mes de la zona de estudio.

Posterior a esto, se determina las curvas IDF de las estaciones a partir de la evaluación de ajuste de series de intensidades máximas. Como último paso, se construye de forma generalizada las curvas IDF en función de precipitación máxima, y posteriormente se determina una nueva ecuación que tenga mejor ajuste con las curvas IDF de cada estación del cantón Cuenca.

3.1. Descripción de la zona de estudio.

El área de estudio como se mencionó en el párrafo anterior corresponde al cantón Cuenca que se encuentra en la provincia del Azuay, con una superficie de 3086 km² y a una altura de 2480 msnm. La ciudad se encuentra ubicada en la región Sierra, en la parte interandina del Ecuador. Por la zona atraviesan 4 ríos que son: Yanuncay, Machángara, Tarqui y Tomebamba. Es una ciudad con variaciones de clima en el transcurso del día, lo cual ocasiona que su temperatura sea variable, con un promedio de 15°C, parámetro directamente relacionado con el fenómeno de la lluvia (Gobierno Provincial Del Azuay, 2018).

En la Figura 3.1 se presenta la ubicación del cantón de Cuenca de acuerdo al mapa geográfico del Ecuador.



Figura 3.1. Mapa geográfico del cantón Cuenca

3.2. Recopilación de información

Los datos utilizados para el desarrollo del presente estudio son los registros de varias estaciones, correspondientes a los periodos comprendidos entre mayo 2017 y septiembre 2021. En total se dispone de 20 estaciones ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad de Cuenca, pertenecientes a la empresa ETAPA EP. En la Tabla 3.1 se muestra un cuadro de resumen de las estaciones con sus respectivas ubicaciones en coordenadas WGS84 y en la Figura 3.2 se presentan en forma esquemática la ubicación de las estaciones analizadas. Para la selección se consideró el tipo, cantidad y principalmente la periodicidad de los datos.

Las estaciones presentan un registro de precipitación tomados cada 5 minutos, de las cuales 12 estaciones tienen información continua de al menos 5 años, 6 estaciones presentan información entre 1 año y 3 años. Por otra parte, la estación Llaviucu presenta pocos registros que no superan el año para el análisis.

Tabla 3.1. Coordenadas WGS 84 de las estaciones analizadas

ID	NOMBRE	X WGS84	Y WGS84	Elevación (msnm)
1	Cebollar	720230	9680898	2664
2	Challuabamba	732240	9682775	2521
3	Chanlud	714868	9705948	3845
4	El Labrado	714224	9698186	3426
5	Guangarchucho	734845	96855057	2951
6	Huizhil	714747	9678318	2773
7	Izhcayrrumi	693422	9677234	3752
8	Llaviucu	705553	9685489	3151
9	Machangara	720890	9695100	2972
10	Mamamag	699520	9687482	3629
11	Matadero en Sayausí	714623	9681641	2526
12	Narancay	716123	9675876	2728
13	Ricaurte	726027	9684215	2600
14	Sayausí	714719	9683783	2858
15	Soldados	695451	9674348	3538
16	Tixan	723026	9686691	2705
17	Totoracocho	723662	9679572	2516
18	Ucubamba	728722	9681876	2430
19	Ventanas	692346	9681395	3930
20	Yanuncay	703349	9674079	3000

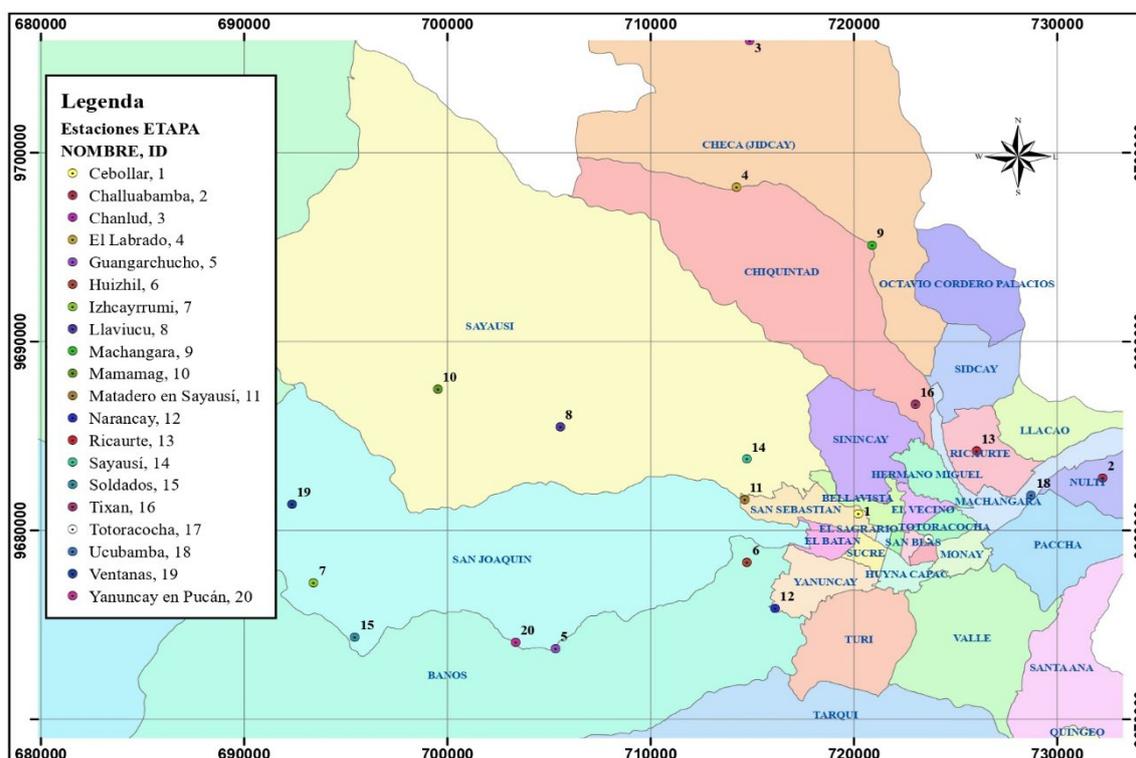


Figura 3.2. Mapa de ubicación de las estaciones analizadas

Los datos obtenidos del preprocesamiento de información presentados en la Figura 3.3, contienen registros discontinuos lo que indica que algunas estaciones necesitan ser rellenadas. En el siguiente numeral se describe la metodología llevada a cabo para verificar la homogeneidad de los datos y que no existan anomalías durante algún período, a partir de la construcción de una curva acumulativa de precipitación.

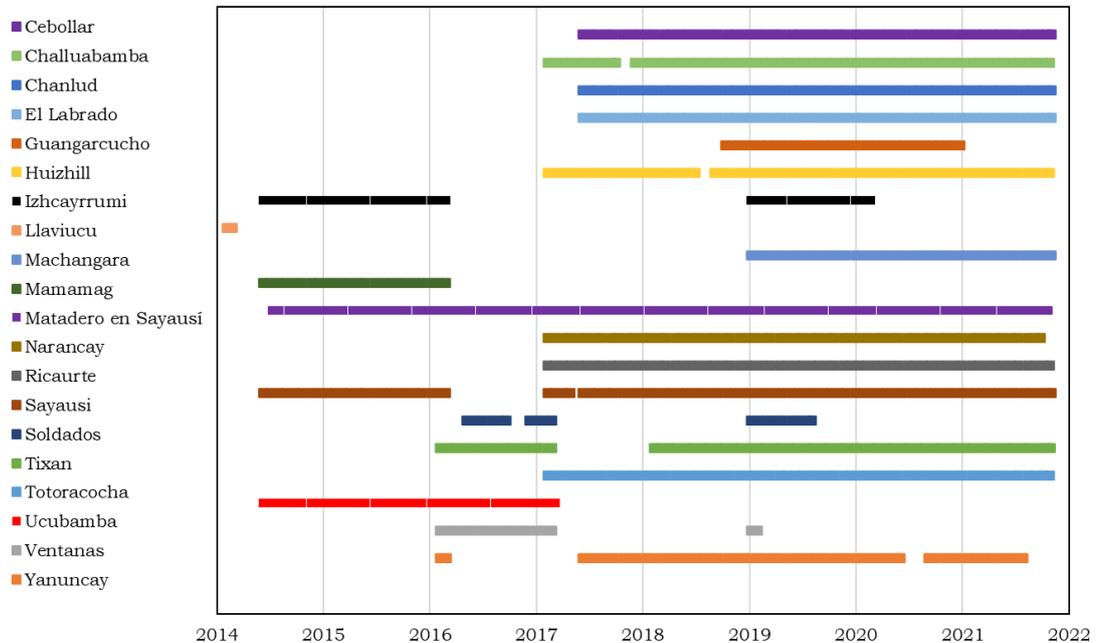


Figura 3.3. Registro de datos de precipitación obtenidos en las estaciones de estudio

3.3. Corrección y relleno de datos

Mediante análisis estadísticos realizados a todas las muestras se pueden determinar límites de confianza para establecer rangos en los cuales se indiquen valores superiores e inferiores, para poder identificar, datos que tienen sentido y coherencia al momento de analizar cada una de las muestras. Es por esto, que es importante reconocer los picos, es decir los datos que fueron medidos pero que no se encuentran dentro de dichos rangos, para que puedan ser corregidos, rellenados o eliminados. Es necesario recalcar, que para el análisis estadístico se trabajó con precipitaciones medias diarias y los resultados se presentan a continuación en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Análisis de estadísticos

ID	Estación	Número	Prom	Median	Mín	Máx	Desv. Típica.	C.V	Asimetría	Perc. 5%	Perc. 95%
1	Cebollar	1570	2,77	1,61	0,00	42,30	4,25	1,53	3,30	0,00	11,50
2	Challuabamba	1632	2,14	1,40	0,00	37,90	3,50	1,63	3,58	0,00	9,01
3	Chanlud	1601	4,40	2,50	0,00	46,30	5,26	1,20	2,10	0,00	15,00
4	EILabrador	1589	3,80	2,60	0,00	33,30	4,30	1,13	1,99	0,00	12,80
5	Guangarcucho	835	2,77	2,07	0,00	37,02	3,82	1,38	3,45	0,00	9,94
6	Huizhil	1678	2,24	1,00	0,00	64,50	3,78	1,69	4,68	0,00	8,80
7	Izhcayrrumi	1018	2,23	1,00	0,00	25,50	3,05	1,37	2,47	0,00	8,60
8	Llaviucu	4	5,20	6,25	0,00	8,30	3,90	0,75	-0,56	--	--
9	Machangara	1004	2,91	2,27	0,00	29,30	3,34	1,15	2,69	0,00	9,40
10	Mamamag	618	3,18	1,62	0,00	31,30	3,93	1,24	2,18	0,00	11,31
11	Matadero Sayausi	2559	2,02	0,10	0,00	46,30	4,29	2,12	3,69	0,00	10,70
12	Narancay	1677	2,02	1,31	0,00	34,90	3,43	1,70	3,57	0,00	8,96
15	Ricafuerte	1708	1,94	0,60	0,00	37,50	3,81	1,97	3,81	0,00	9,28
13	Sayausi	2253	2,67	0,85	0,00	50,40	4,75	1,78	4,11	0,00	11,76
16	Soldados	339	4,97	3,40	0,00	86,85	5,06	1,02	4,31	0,20	13,77
14	Tixan	1715	2,95	1,88	0,00	60,80	4,58	1,55	4,08	0,00	11,06
17	Totoracocha	1666	1,57	0,70	0,00	101,70	3,46	2,21	11,46	0,00	6,52
18	Ucubamba	983	2,18	0,37	0,00	59,20	4,68	2,15	4,07	0,00	12,06
19	Ventanas	359	5,61	3,39	0,00	122,35	7,20	1,28	4,47	0,40	18,00
20	Yanuncay En Pucan	1173	4,17	0,90	0,00	93,22	7,40	1,78	3,64	0,00	19,36

Del análisis estadístico (Tabla 3.2) se aprecia que la estación Matadero en Sayausi presenta mayor número de datos con 2559, es decir que esta estación contiene 2559 días con registros diarios y completos. La estación con menor número de datos registrados es la estación Llaviucu, con solo 4 días de registros. La precipitación promedio se encuentra alrededor de 3 mm, y los valores máximos se registran en la estación Totoracocha con un valor de 101.7 mm, y el valor mínimo de precipitación es cero que se presenta en todas las estaciones. De acuerdo al análisis de la asimetría, se observa que la mayoría de las estaciones presenta un valor positivo lo que indica que la distribución es oblicua con dirección hacia la izquierda, a excepción de la estación Llaviucu. En lo que respecta a la proporción de la serie de datos, se observa que los valores máximos de percentil 95% corresponden a la estación Yanuncay con un valor de 19.36. En general, se observa que existen valores máximos que superan el percentil 95 por lo que es necesario verificar la homogeneidad de los datos para garantizar que no existan anomalías durante algún período.

La curva de doble masa es uno de los métodos planteados en la parte teórica para el análisis y consistencia de datos, se obtiene a partir de valores diarios acumulados de precipitaciones ocurridas en el pasado. Graficando así, en el eje vertical los valores de las precipitaciones acumuladas de la estación en la cual se crea que existen inconsistencias y en el horizontal la precipitación anual acumulada media de las

estaciones más cercanas. En el caso de que los datos no sean coherentes, los resultados se verán reflejados a través de la curva y se procederá a corregir el error mediante factores de corrección (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006). Para construir la curva acumulativa de precipitación, se considera relacionar aquellas estaciones con un coeficiente de relación (r) mayor a 0.6. Para esto precedemos a elaborar la matriz de correlación de datos de las estaciones.

Tabla 3.3. Matiz de correlación de datos sin relleno

	Cebollar	Challuabamba	Chanlud	El Labrado	Guangarcucho	HuizhilP	Izhcayrrumi	LlaviucuM	Machangara	Mamamag	MataderoSayaus	Narancay	Ricaurte	Sayausi	Soldados	Tixan	TotoracochoaP	Ucubamba	Ventanas	Yanuncay
Cebollar	1.00	0.51	0.42	0.48	0.50	0.46	0.29	-	0.49	-	0.66	0.55	0.58	0.65	0.47	0.62	0.51	-	0.96	0.42
Challuabamba		1.00	0.42	0.47	0.73	0.48	0.35	-	0.49	-	0.41	0.47	0.65	0.40	0.47	0.57	0.30	-	0.63	0.33
Chanlud			1.00	0.79	0.38	0.42	0.68	-	0.59	-	0.43	0.45	0.41	0.49	0.56	0.44	0.24	-	0.67	0.49
El Labrado				1.00	0.47	0.46	0.63	-	0.72	-	0.49	0.52	0.46	0.54	0.48	0.52	0.27	-	0.17	0.51
Guangarcucho					1.00	0.41	0.34	-	0.51	-	0.38	0.44	0.70	0.47	0.44	0.59	0.51	-	0.279	0.32
Huizhil						1.00	0.51	-	0.43	-	0.55	0.68	0.48	0.52	0.66	0.47	0.26	-	1.00	0.43
Izhcayrrumi							1.00	-0.89	0.47	0.74	0.40	0.48	0.38	0.54	0.44	0.38	0.33	0.40	0.90	0.67
Llaviucu								1.00	-	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Machangara									1.00	-	0.47	0.46	0.49	0.52	0.46	0.57	0.32	-	0.24	0.47
Mamamag										1.00	0.43	-	-	0.54	-	-	-	0.39	-	-0.17
Matadero en Sayausí											1.00	0.62	0.58	0.71	0.56	0.47	0.34	0.47	0.47	0.56
Narancay												1.00	0.54	0.62	0.58	0.45	0.34	-	0.74	0.59
Ricaurte													1.00	0.63	0.44	0.72	0.43	-	0.61	0.36
Sayausí														1.00	0.62	0.64	0.44	0.48	0.58	0.51
Soldados															1.00	0.38	0.41	0.26	0.72	0.69
Tixan																1.00	0.51	0.70	0.44	0.31
Totoracochoa																	1.00	-	1.00	0.28
Ucubamba																		1.00	0.30	-0.05
Ventanas																			1.00	0.73
Yanuncay																				1.00

En la matriz de correlación de datos, se presentan en forma sombreada aquellas estaciones con una correlación positiva mayor a 0.6. Por otra parte, la estación Llaviucu al presentar pocos datos no es posible determinar un coeficiente de correlación y en algunos casos presenta una relación inversa con la estación Izhcayrrumi. Para finalizar, en la estación Yanuncay no existen estaciones con la cual se puede correlacionar para obtener la curva de acumulación.

Si se toma como ejemplo la curva de masas de las estaciones Chanlud y El Labrado (Figura 3.4), esta presenta un coeficiente de correlación 0.79, lo que indica que los datos con los que se trabajan presentan una correlación directa entre sí y no se observa discontinuidades o animalias en la curva. Por lo tanto, es posible determinar la ecuación lineal que permite determinar los valores faltantes (Figura 3.5 y Figura 3.6).

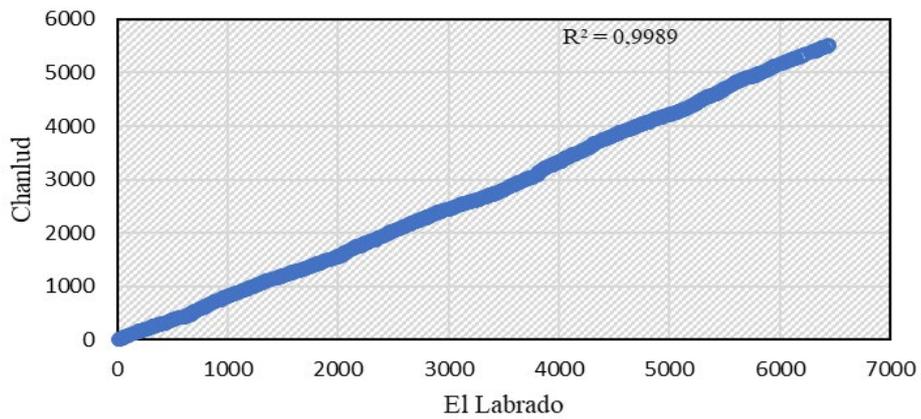


Figura 3.4. Curva de doble masa estación Chandul-El Labrado

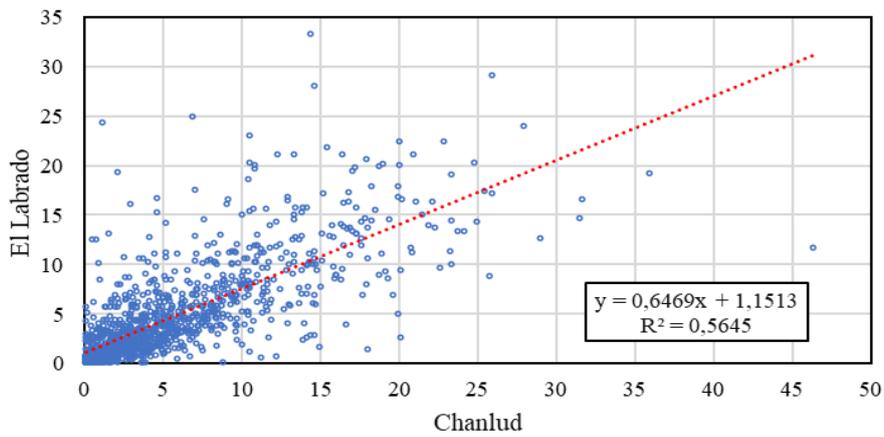


Figura 3.5. Regresión lineal estación El Labrado-Chandlud.

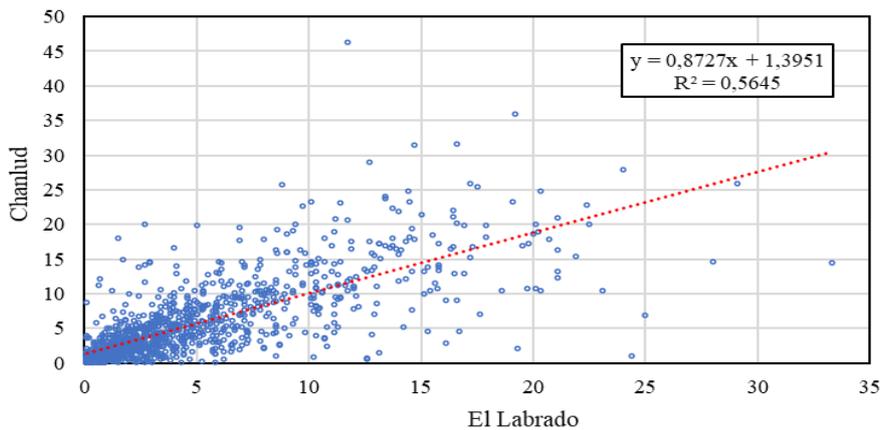


Figura 3.6. Regresión lineal estación Chandlud-El Labrado.

Para las demás estaciones se traja de igual forma y los datos faltantes se obtuvieron mediante regresión lineal. Las gráficas correspondientes al análisis se

encuentran en el ANEXO 1.

En la Figura 3.7 se presentan las estaciones con datos rellenados. Las estaciones que no se pudieron rellenar mediante el método de doble masa son la Llaviucu y Yanuncay, la primera por no poseer suficientes datos y obtener una correlación de -0.89 lo que indica que es una correlación indirecta. La estación Yanuncay no presentaba una correlación superior a 0.6 por lo tanto no hubo estaciones con las cuales rellenara. Finalmente, se presentan los registros de datos rellenados de las 20 estaciones, existen 5 estaciones en las que no se pudo completar toda la serie de datos, este tramo de registros faltantes se presenta entre los años 2016 y 2017. Por otra parte, para el resto de estaciones se obtuvo una serie continua de datos entre mayo de 2014 hasta septiembre del año 2021.

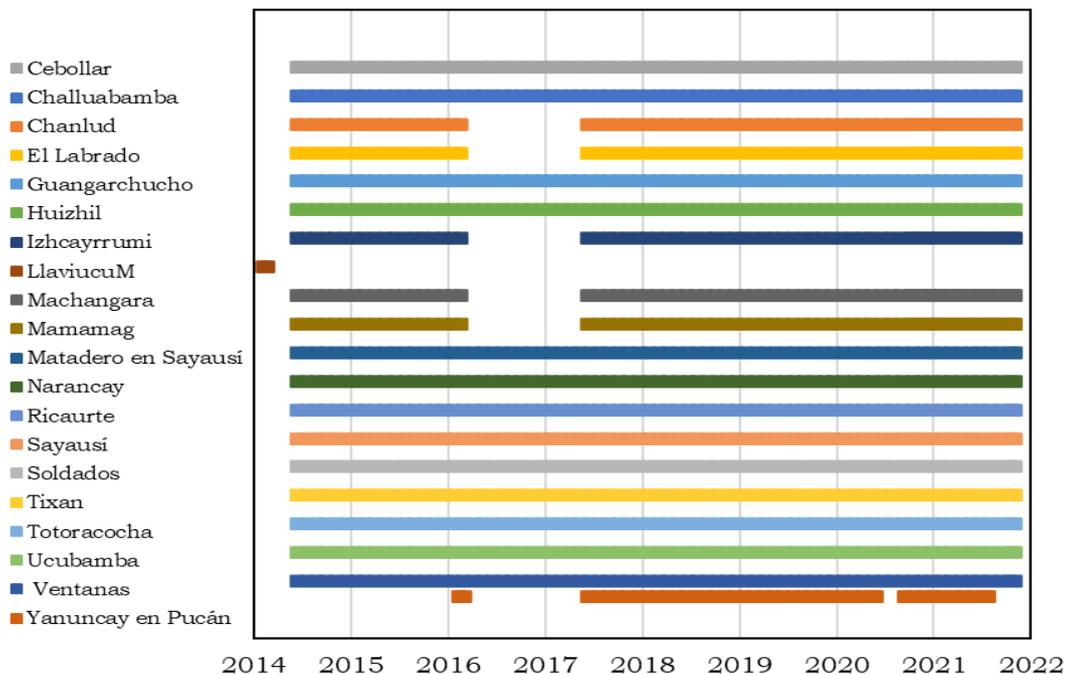


Figura 3.7. Registro de datos de precipitación obtenidos en el relleno de datos

Al trabajar con un grado de confiabilidad $R^2 > 0.999$ para la corrección y relleno de datos, se garantiza que en la gráfica no existan cambios de pendiente y la precipitación acumulada se ajuste entre sí. En la Tabla 3.4 se pudo observar los valores de correlación obtenidos entre cada estación relacionada.

Tabla 3.4. Coeficiente de correlación R² de la curva de doble masa

	Cebollar	Challuabamba	Chanlud	ElLabrado	Guangarcucho	Huizhil	Ricaurte
Chanlud	--	--	--	0.999	--	--	--
ElLabrado	--	--	0.999	--	--	--	--
Guangarcucho	--	0.999	--	--	--	--	--
Huizhil	--	--	--	--	--	--	--
Izhcayrumi	--	--	0.997	0.999	--	--	--
Llaviucu	--	--	--	--	--	--	--
Machangara	--	--	0.999	0.999	--	--	--
Mamamag	--	--	0.999	0.999	--	--	--
MataderoSayausi	0.9984	--	--	--	--	--	--
Narancay	--	--	--	--	--	0.999	--
Sayausi	--	--	--	--	--	--	0.999
Tixan	0.999	--	--	--	--	--	0.999
Ricaurte	--	0.998	--	--	0.9987	--	--
Soldados	--	--	--	--	--	0.9952	--
Totoracocha	0.999	--	--	--	--	--	--
Ucubamba	--	--	--	--	--	--	0.998
Ventanas	--	--	--	--	--	0.997	--
YanuncayEnPucan	--	--	--	--	--	--	--

Al obtener el coeficiente de correlación cercano a 0.999; se considera trabajar con las estaciones pares más cercanas, ya que estas son las que mejor se ajustan entre sí y la que mayor correlación de datos arroja, obteniendo ecuaciones lineales más cercanas a la realidad.

3.4. Estimación de la precipitación media.

3.4.1. Método de polígonos de Thiessen.

Los polígonos de Thiessen se generan a partir de las mediatrices formadas por la unión de puntos o ubicación geográfica que poseen las estaciones de monitoreo, la intersección de estas mediatrices forma los polígonos que serán equidistantes a los puntos vecinos, adjudicándoles un área de influencia. En el presente estudio se trabajó con el promedio mensual de las precipitaciones correspondientes a cada estación, los datos corregidos y rellenados están comprendidos desde el mes mayo de 2014 hasta septiembre del año 2021.

Para la elaboración de los polígonos de Thiessen se utilizó el programa ArcGIS, ya que este programa es una herramienta de apoyo al analizar eventos hidrológicos, debido a que el mismo trabaja con sistemas de información geográfica GIS, planos vectoriales como AutoCad y tablas de Excel, permitiendo un análisis real de la zona de estudio y sus variables; se trabajó con las coordenadas geográficas UTM de cada una de las estaciones

a analizar. La herramienta Argis para la elaboración de polígonos, trabaja con el método de triangulación Delaunay, este método trata de construir el mayor número de triángulos entre sí evitando que se crucen sus aristas, estos triángulos se definen entre los puntos más cercanos conectados entre sí, lo que implica que los triángulos formados sean lo más regulares posibles, obligando a minimizar la longitud de sus lados (Crosier et al., 2005). En la siguiente figura se presentan la geometría de los polígonos de Thiessen obtenidos con el programa ArcGIS.

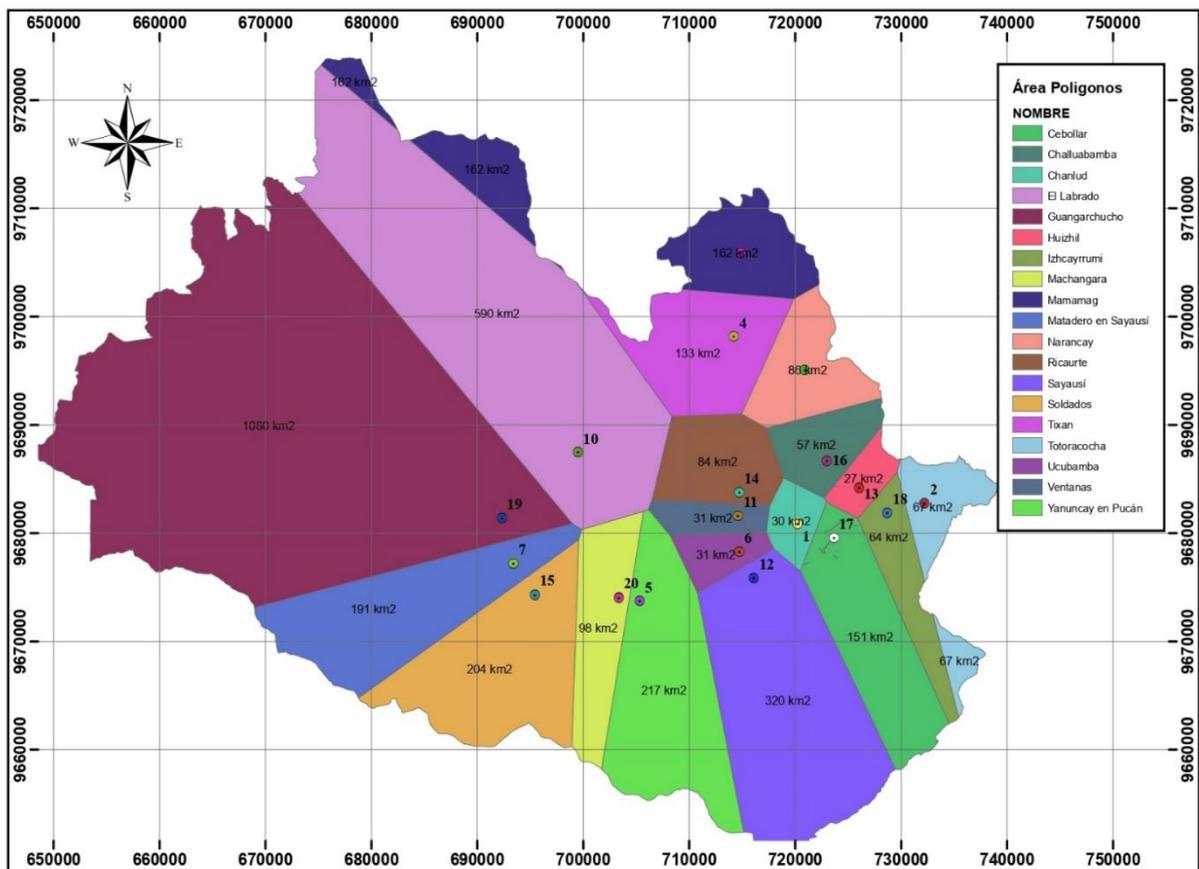


Figura 3.8. Geometría de los polígonos de Thiessen obtenidos con ArcGIS.

Para determinar el promedio mensual anual de las precipitaciones en las estaciones de monitoreo, es necesario elaborar una tabla en la que se cuente con estos promedios y la estación a la que pertenecen estos valores para su posterior interpolación espacial, en la siguiente tabla se cuenta con el promedio mensual anual de cada uno de los meses de análisis con su respectiva estación.

Tabla 3.5. Cálculo de las precipitaciones median mensuales

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cebollar	86,0	76	139	125	104	70	52	52	52	79	93	91
Challuabamba	63,0	60	105	85	67	52	37	35	44	82	76	82
Chanlud	111,0	111	143	137	141	117	107	81	72	122	115	127
El Labrado	77,2	83	126	109	82	68	53	50	61	93	112	105
Guangarchucho	57,9	55	130	76	89	52	48	44	49	78	71	69
Huizhil	64,4	62	84	76	86	74	73	43	43	81	65	59
Izhcayrrumi	118,4	109	173	150	170	145	146	95	95	146	121	122
Machangara	87,2	87	108	105	102	88	78	63	58	88	89	109
Mamamag	94,2	80	121	109	121	105	110	68	64	106	81	90
Matadero en Sayausí	63,7	52	136	134	110	53	33	24	24	26	40	43
Narancay	55,8	57	96	91	81	53	36	34	44	74	59	58
Ricaurte	58,8	45	88	98	66	46	29	24	43	77	72	69
Sayausí	64,5	68	122	127	110	65	50	39	50	113	90	82
Soldados	139,0	136	232	168	164	127	124	121	128	170	151	152
Tixan	81,5	67	136	134	99	74	55	52	72	94	101	116
Totoracocha	59,7	37	57	58	46	30	39	26	30	58	74	63
Ucubamba	77,7	47	112	111	72	49	26	24	40	79	81	86
Ventanas	156,6	144	290	188	210	143	134	123	132	188	175	167
Yanuncay en Pucán	106,5	125	144	76	177	112	77	48	54	114	80	102
Promedio (mm)	84,26	76,34	133,32	115,70	110,33	80,11	68,92	55,48	61,22	97,48	92,57	93,89

Tomado como referencia la distribución de estaciones presente en la Figura 3.8, se aprecia que cada estación presenta un área de influencia dentro de la cuenca. El siguiente paso es calcular el área asociada a cada pluviómetro y determinar el ponderador de área para encontrar la precipitación media (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Cálculo de la precipitación media mensual mediante el método de polígonos de Thiessen

Estación	Área (km ²)	Ponderado	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cebollar	151	0,04	4	3	6	5	4	3	2	2	2	3	4	4
Challuabamba	57	0,02	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chanlud	30	0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
El Labrado	590	0,16	13	14	21	18	13	11	9	8	10	15	18	17
Guangarchucho	1080	0,30	17	16	39	23	26	16	14	13	15	23	21	21
Huizhil	27	0,01	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Izhcayrrumi	64	0,02	2	2	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2
Machangara	98	0,03	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3
Mamamag	162	0,04	4	4	5	5	5	5	5	3	3	5	4	4
Matadero en Sayausí	191	0,05	3	3	7	7	6	3	2	1	1	1	2	2
Narancay	86	0,02	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
Ricaurte	84	0,02	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2
Sayausí	320	0,09	6	6	11	11	10	6	4	3	4	10	8	7
Soldados	204	0,06	8	8	13	9	9	7	7	7	7	10	9	9
Tixan	133	0,04	3	2	5	5	4	3	2	2	3	3	4	4
Totoracocha	67	0,02	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Ucubamba	31	0,01	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Ventanas	31	0,01	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
Yanuncay	217	0,06	6	7	9	5	11	7	5	3	3	7	5	6
Suma	3623	1												
Precipitación (mm)			77	74	133	105	104	71	60	51	57	93	88	88

El ponderador de área se calcula como el cociente entre el área de asociada a cada pluviómetro y el área total. La precipitación ponderada, se obtiene al multiplicar la precipitación medida en cada pluviómetro y al factor ponderador de área.

3.4.2. Método de isoyetas

El mapa de isoyetas representa un conjunto de isolíneas, las cuales unen los puntos que representan la media de lluvia para una unidad de tiempo establecida en un plano cartográfico, por lo que, para un área de estudio se puede contar con un gran número de planos. Para la elaboración de un mapa de isoyetas, se asume que la precipitación varía en forma lineal entre uno y otro pluviómetro, es decir sobre la línea que los une se puede trazar a intervalos regulares la curva que hace falta.

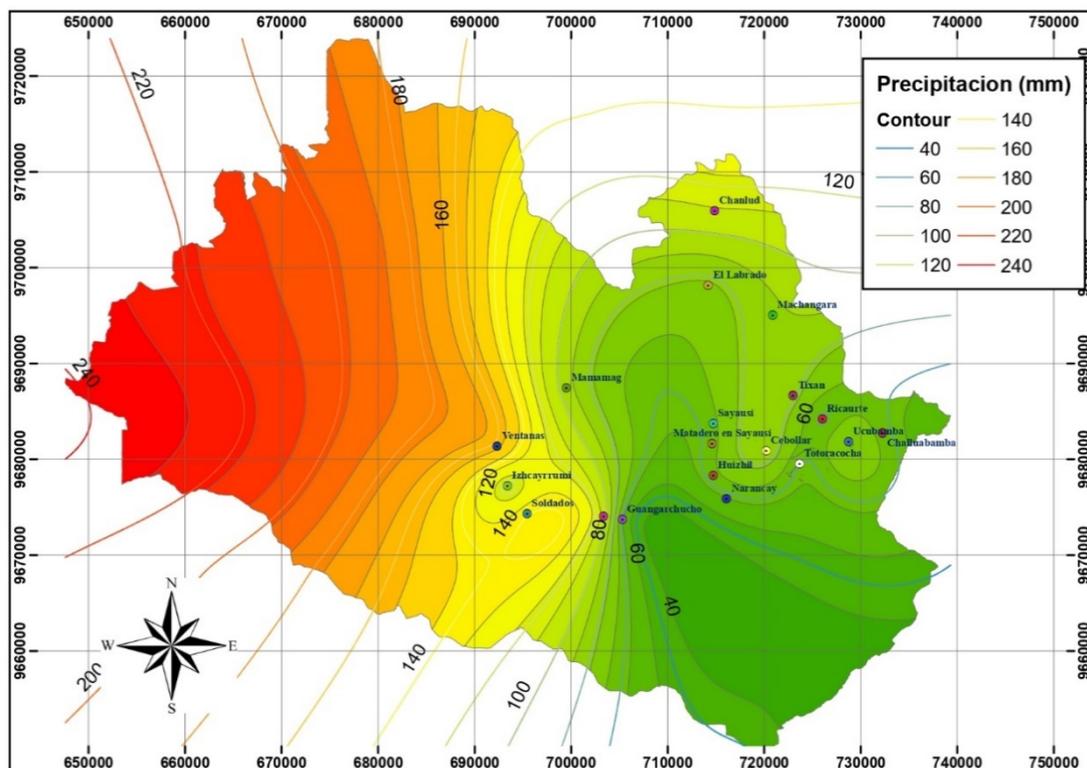


Figura 3.9. Mapas de isoyetas obtenidos con ArcGIS.

El mapa de isoyetas se generó utilizando el programa ArcGIS conjuntamente con el método de interpolación Spline, que es una técnica de interpolación polinómica. Una vez obtenido el mapa se procedió a calcular el área formada por dos isoyetas consecutivas, para esto se utilizó la utilidad reclasificar.

En la Figura 3.9 se muestran a manera de ejemplo los valores de precipitación en escala de color de cada isoyeta correspondientes al mes de enero. Lo que se hace a continuación es muy similar al método de Thiessen, se calcula el área entre dos isoyetas

consecutivas y el ponderado de área. Para obtener la precipitación media de la cuenca, se multiplica el factor ponderador por la isoyeta promedia, que es la isoyeta promedia de las dos consecutivas a las cuales se les determinó el área (Tabla 3.7). Los datos presentados en la tabla corresponden a los cálculos para el mes de enero.

Tabla 3.7. Cálculo de la precipitación media mensual mediante el método de polígonos de isoyetas

Isoyeta	Área (km ²)	Ponderado	P min (mm)	P max (mm)	P med (mm)	P pond (mm)
1	284,58	0,079	26,6	34,6	30,6	2,41
2	225,10	0,062	34,6	45,7	40,1	2,49
3	149,18	0,041	45,7	56,8	51,2	2,11
4	238,92	0,066	56,8	67,0	61,9	4,08
5	228,96	0,063	67,0	78,1	72,5	4,59
6	232,36	0,064	78,1	89,2	83,6	5,37
7	116,23	0,032	89,2	100,2	94,7	3,04
8	116,50	0,032	100,2	112,2	106,2	3,42
9	114,48	0,032	112,2	123,3	117,7	3,72
10	128,46	0,035	123,3	133,5	128,4	4,55
11	189,45	0,052	133,5	143,7	138,6	7,25
12	145,46	0,040	143,7	154,8	149,3	6,00
13	151,90	0,042	154,8	165,9	160,4	6,73
14	172,60	0,048	165,9	177,0	171,4	8,17
15	236,96	0,065	177,0	188,1	182,5	11,95
16	213,39	0,059	188,1	198,3	193,2	11,39
17	196,85	0,054	198,3	207,7	203,0	11,04
18	191,06	0,053	207,7	217,9	212,8	11,23
19	169,00	0,047	217,9	228,1	223,0	10,41
20	119,52	0,033	228,1	241,2	234,7	7,75
Suma	3620,96	1,00				
Precipitación (mm)						127,68

Este método se puede utilizar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas, provee resultados más correctos con un área de cuenca aproximadamente plana, pues no considera influencias orográficas.

3.5.Ecuación de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno.

En este numeral, se procede con el análisis de las variables involucradas en los eventos de precipitaciones, a fin de determinar los modelos de ecuaciones que ayudarán a la obtención de la intensidad máxima para una duración y período de retorno dado. Esto permitirá representar la relación de la intensidad, duración y frecuencia no sólo de forma gráfica, sino también de forma analítica.

Actualmente existen varios modelos que permiten describir el comportamiento de la lluvia, así como sus parámetros, muchos de ellos provienen de relaciones empíricas, partiendo de la relación existente entre la lámina de lluvia generada y su duración. Varias de las expresiones analíticas paramétricas están caracterizadas por un número variable de 3 a 4 parámetros, permitiendo una mayor flexibilidad de ajuste para los cuantiles de precipitación (Rojas M., 2011).

Para el presente estudio, se ha considerado utilizar dos métodos que relacionan simultáneamente las tres variables (intensidad, duración y período de retorno) y los cuales se describieron en el Capítulo 2. La metodología a seguir es la descrita por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que consta de los siguientes pasos:

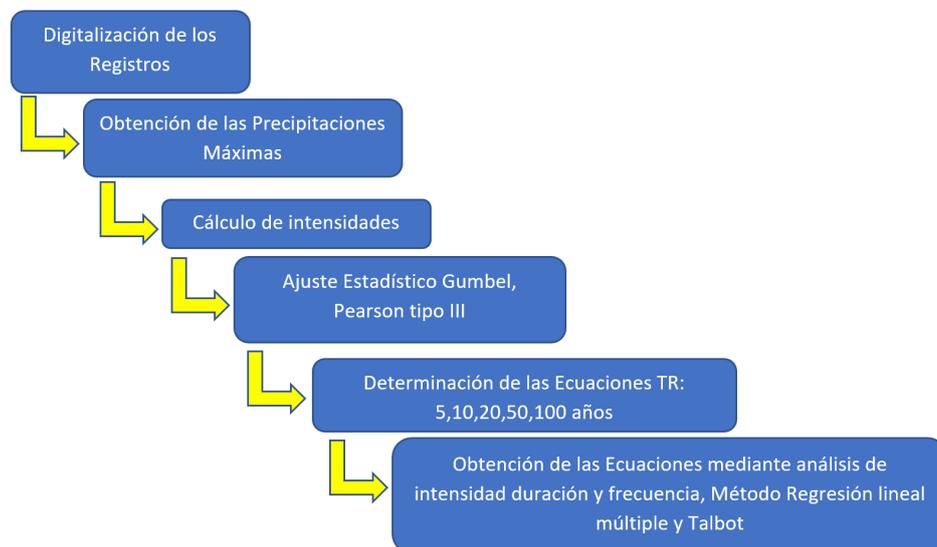


Figura 3.10. Metodología para la obtención de las ecuaciones de IDF.

El estudio se llevó a cabo utilizando información de 12 estaciones meteorológicas, que cuentan con registros instantáneos y continuos de precipitaciones tomadas con resolución de 0.1 mm de lluvia. Las a estaciones a considerar son:

- Cebollar
- Challuabamba
- Chanlud
- El Labrado
- Huizhil
- Matadero en Sayausí

- Narancay
- Ricaurte
- Sayausí
- Tixan
- Totoracocha
- Yanuncay

3.5.1. Curvas Intensidad, Duración, Frecuencia (IDF).

Para la construcción de las curvas de intensidad duración se obtuvieron los datos registrados de los pluviógrafos de cada estación. Estos datos fueron validados, observando que sea un registro continuo y consistente, así al detectar la existencia de errores, estos fueron corregidos oportunamente. Una vez validados los registros para cada estación, se obtienen los eventos máximos 24 horas anuales, registrados para cada duración; 5, 10, 20, 30, 60 y 120 minutos. Esto con la ayuda de hojas de cálculo electrónicas y el uso de macros, filtros y subtotales. Como ejemplo se presenta las precipitaciones máximas de la estación Chanlud en la Tabla 3.8, mientras que las precipitaciones máximas para cada estación estudiada se muestran en el ANEXO 2.

Tabla 3.8. Precipitaciones máximas estación Chanlud

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014	--	--	--	--	--	--	--	--
2015	--	--	--	--	--	--	--	--
2016	--	--	--	--	--	--	--	--
2017	4,3	6,7	11,7	13,9	16,8	19	18,9	22,7
2018	4,1	7,3	11,2	11,8	12,9	18,6	13,5	17,6
2019	4,4	8,4	14,6	12,5	18,7	16,5	18,9	19,9
2020	3,3	5,8	10,2	12,5	11,5	11,5	12,5	15,7
2021	4,8	6,3	8,9	9,0	11,6	12,3	14,1	14,1

Una vez calculadas las precipitaciones máximas para cada estación, se procede a ajustar dichos valores a funciones de distribución de probabilidad. Las funciones a emplear son log Pearson III y Gumbel de valores máximos, si bien en este punto generalmente se trabaja con intensidades existe un software denominado Hydrognomon que implementa alrededor de 28 funciones de distribución incluidas las mencionadas, este software permite trabajar con valores de precipitación máxima.

El software Hydrognomon es una herramienta para el procesamiento de datos hidrológicos. Es una aplicación de código abierto que se ejecuta en plataformas estándar de Microsoft Windows y forma parte del marco openmeteo.org. Aquí se da énfasis al módulo estadístico de Hydrognomon, que proporciona herramientas para la exploración de datos, ajuste de funciones de distribución, predicción estadística, simulación Monte-Carlo, determinación de límites de confianza, análisis de extremos y construcción de curvas intensidad-duración- frecuencia (Kizani & Markonis, 2009). Con el software antes mencionado se procede a determinar las funciones de distribución (Log Pearson III y Gumbel), para determinar los valores asociados a los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años.

Para la evaluación de ajuste de series de precipitaciones máximas a funciones de probabilidad con Hydrognomon, se inicia con la creación de una nueva serie de tiempo (paso 1), en este archivo se debe indicar el título de la serie, la variable a analizar, las unidades y la precisión, así como también especificar la zona horaria.

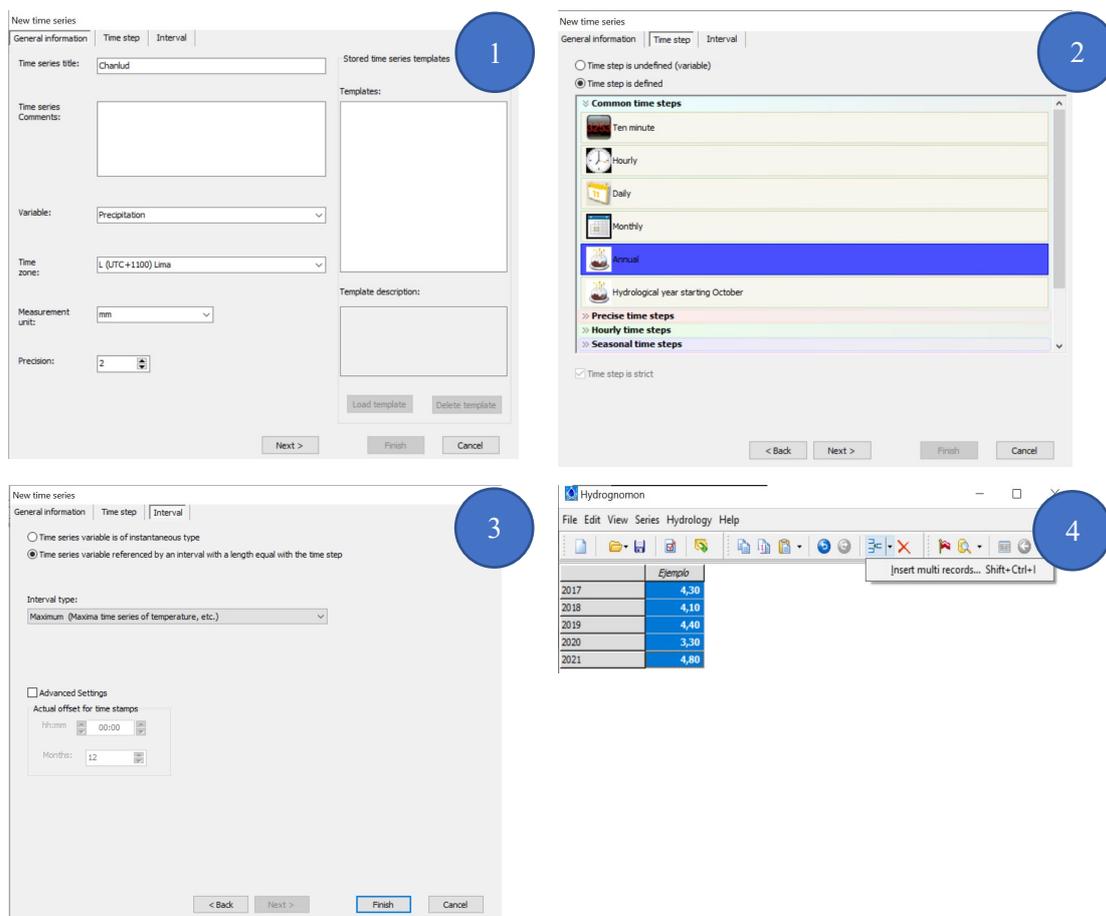


Figura 3.11. Creación de una nueva serie de tiempo software Hydrognomon.

Como segundo paso se procede a seleccionar el paso de tiempo, para el estudio al trabajar con precipitaciones máximas anuales, se selecciona el paso anual. Luego se identifica el tipo de intervalo, al trabajar con valores máximos se debe seleccionar máximos tiempos de serie (paso 3).

Como paso 4, se procede a ingresar los años de registro, esto se lo hace mediante el icono de *Insert multi records*. Creado los años de registro se copia las precipitaciones máximas correspondientes a cada función de distribución (Figura 3.11). Se considera amenera de ejemplo trabajar con los registros de precipitaciones máximas correspondientes a una duración de 5 minutos.

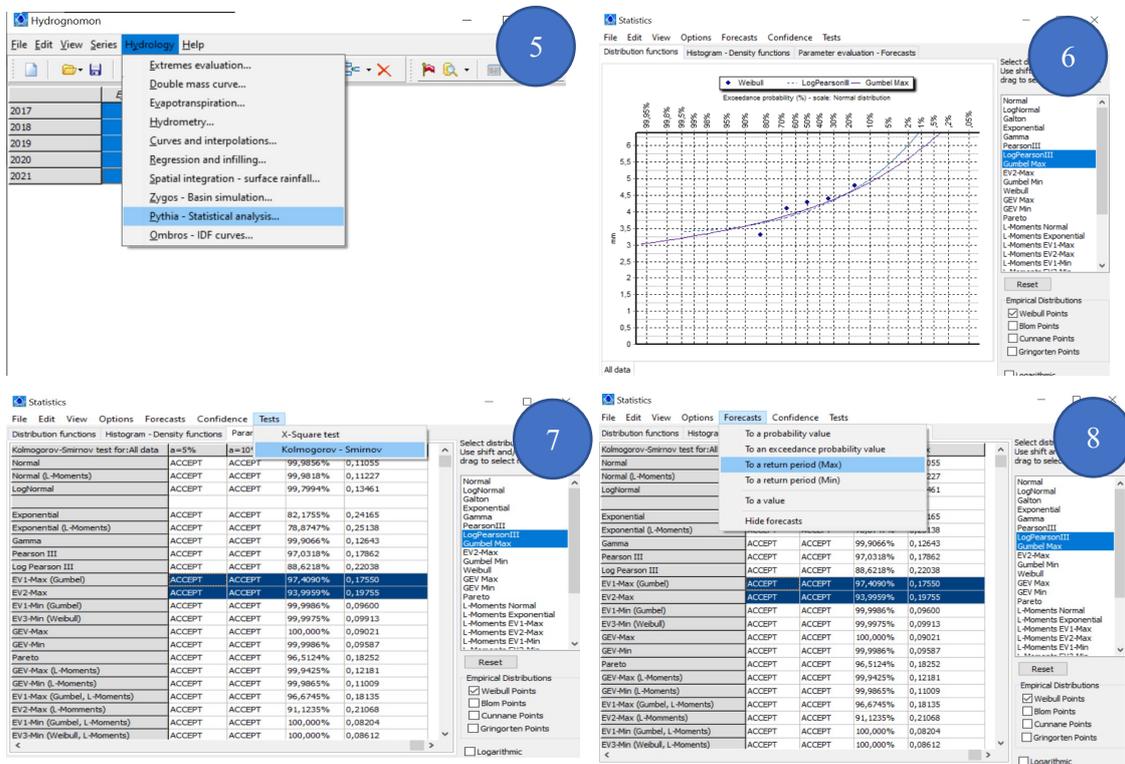


Figura 3.12. Ajuste a funciones de distribución con el software Hydrognomon.

Para ajustar a funciones de distribución se procede a seleccionar el icono *Hydrology* (Paso 5). En él se abrirá una ventana que contiene las gráficas de todas las distribuciones incluidas las Log Pearson III y Gumbel de valores máximos (Paso 6). Seleccionadas las distribuciones de interés se procede a evaluar mediante el test de Kolmogorov-Smirnov la calidad de ajuste (Paso 7), para luego determinar las precipitaciones máximas asociadas

a diferentes periodos de retorno (Paso 8).

Las precipitaciones máximas asociadas a los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años se determinan seleccionando el icono *Forecast*, donde se despliega una ventana para ingresar el periodo de retorno requerido (Paso 9). Como paso final se selecciona los valores correspondientes a las funciones de distribución analizadas y se realiza el mismo procedimiento para los intervalos de precipitación de 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 120 minutos.

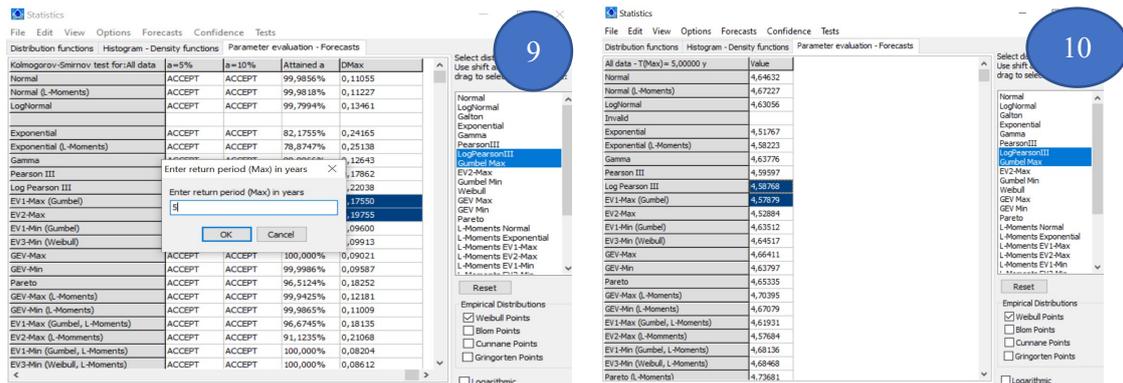


Figura 3.13. Ajuste a funciones de distribución con el software Hydrognomon.

Tomando como ejemplo, se presenta los valores correspondientes a los ajustes de distribución de Gumbel Máximo y Log Pearson III de la estación Chanlud, mientras que las precipitaciones máximas para cada estación asociada a un periodo de retorno se muestran en el ANEXO 3.

Tabla 3.9. Función de distribución Gumbel Máximo de la estación Chanlud

Precipitación Máxima Método Gumbel Max (mm)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	4,58	7,62	12,85	13,24	16,65	18,10	17,80	20,45
10	4,90	8,21	14,09	14,30	18,56	20,15	19,61	22,44
20	5,21	8,77	15,28	15,32	20,40	22,12	21,34	24,35
50	5,62	9,50	16,83	16,64	22,77	24,66	23,58	26,83
100	5,92	10,05	17,98	17,63	24,55	26,57	25,26	28,68

Tabla 3.10. Función de distribución Log Pearson III de la estación Chanlud

Precipitación Máxima Método Log Pearson III (mm)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	4,59	7,67	12,95	13,23	16,75	18,45	18,00	20,79
10	5,00	8,26	14,22	14,70	18,82	20,78	19,83	22,59
20	5,43	8,82	15,43	16,25	20,86	23,03	21,58	24,19
50	6,03	9,54	17,00	18,50	23,59	26,02	23,82	26,12
100	6,51	10,07	18,18	20,35	25,72	28,32	25,51	27,50

Mediante este test de bondad de ajuste, se pretende establecer el grado de fiabilidad con el cual la distribución empleada representa a las series de precipitaciones para la zona de estudio. Por lo cual, se debe calcular el superior de las diferencias entre la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada. Con lo cual se obtiene el término D crítico o máximo (Maya & Martín, 1999). Una vez obtenido el valor de Dc, se recurre a la tabla de valores de D en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, con un tamaño de muestra n y asumiendo un 95% de confianza (ANEXO 4), se decide si el ajuste es o no adecuado, considerando las siguientes afirmaciones:

- Si el valor de $D_c < D_{\text{tabla}}$, se acepta H_0 (H_0 : el ajuste es adecuado).
- Si el valor de $D_c > D_{\text{tabla}}$, se rechaza H_0 (H_0 : el ajuste no es adecuado).

Tabla 3.11. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 5, 10 y 20 minutos

Estación	Función de Distribución	Tamo Muestral	D teórico (95%)	5 min		10 min		20 min	
				% Ajuste	D max	% Ajuste	D max	% Ajuste	D max
Cebollar	Log Pearson III	5	0,56328	19,62%	0,44149	99,98%	0,11351	99,76%	0,13675
	Gumbel			90%	0,39539	96,50%	0,18261	98,91%	0,1585
Challuabamba	Log Pearson III	5	0,56328	100,00%	0,11201	100,00%	0,09605	100,00%	0,10161
	Gumbel			98,44%	0,18348	100,00%	0,10751	99,99%	0,11514
Chanlud	Log Pearson III	5	0,56328	88,62%	0,22038	100,00%	0,08211	100,00%	0,08608
	Gumbel			97,41%	0,1755	100,00%	0,08752	100,00%	0,09213
El Labrado	Log Pearson III	5	0,56328	99,99%	0,10358	99,66%	0,14093	93,07%	0,20212
	Gumbel			100,00%	0,09446	98,83%	0,15968	97,30%	0,17643
Huizhil	Log Pearson III	5	0,56328	98,94%	0,15798	99,99%	0,10701	80,38%	0,24702
	Gumbel			97,73%	0,17259	99,90%	0,12698	75,46%	0,26099
Matadero en Sayausí	Log Pearson III	8	0,45427	100,00%	0,06211	80,45%	0,19724	88,44%	0,17687
	Gumbel			99,99%	0,08471	99,66%	0,11352	99,49%	0,11802
Narancay	Log Pearson III	5	0,56328	100,00%	0,08533	96,39%	0,1834	73,23%	0,2671
	Gumbel			100,00%	0,10246	99,93%	0,12343	97,72%	0,17272
Ricaurte	Log Pearson III	5	0,56328	100,00%	0,10181	99,99%	0,10605	99,39%	0,14905
	Gumbel			98,72%	0,16135	99,98%	0,11115	98,20%	0,16779
Sayausí	Log Pearson III	5	0,56328	99,96%	0,11936	100,00%	0,0915	100,00%	0,0915
	Gumbel			99,58%	0,14374	100,00%	0,10252	100,00%	0,10252
Totoracocha	Log Pearson III	5	0,56328	75,01%	0,26225	100,00%	0,07848	96,32%	0,18385
	Gumbel			77,37%	0,25566	100,00%	0,09392	94,01%	0,19746
Yanuncay	Log Pearson III	5	0,56328	97,54%	0,17438	97,83%	0,17167	99,47%	0,14699
	Gumbel			97,87%	0,1712	96,56%	0,18216	99,50%	0,14634

Tabla 3.12. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 30, 40 y 50 minutos

Estación	Función de Distribución	Tamo Muestral	D teórico (95%)	30 min		40 min		50 min	
				% Ajuste	D max	% Ajuste	D max	% Ajuste	D max
Cebollar	Log Pearson III	5	0,56328	99,60%	0,14305	100,00%	0,08386	99,68%	0,1404
	Gumbel			99,14%	0,15449	100,00%	0,09964	98,66%	0,16212
Challuabamba	Log Pearson III	5	0,56328	100,00%	0,09506	99,89%	0,14169	99,62%	0,15842
	Gumbel			100,00%	0,11108	99,96%	0,13077	99,26%	0,16913
Chanlud	Log Pearson III	5	0,56328	75,13%	0,26192	99,77%	0,13638	99,68%	0,1404
	Gumbel			92,52%	0,20465	99,59%	0,1435	98,66%	0,16212
El Labrado	Log Pearson III	5	0,56328	99,71%	0,1392	100,00%	0,07657	99,99%	0,1041
	Gumbel			99,37%	0,1496	100,00%	0,08733	99,95%	0,12078
Huizhil	Log Pearson III	5	0,56328	90,65%	0,21262	99,98%	0,11381	80,38%	0,24702
	Gumbel			91,82%	0,20773	99,96%	0,11868	75,46%	0,26099
Matadero en Sayausí	Log Pearson III	8	0,45427	75,66%	0,20801	36,61%	0,29547	46,72%	0,2704
	Gumbel			99,54%	0,11692	96,09%	0,1487	86,61%	0,18196
Narancay	Log Pearson III	5	0,56328	80,37%	0,24705	81,02%	0,24511	94,52%	0,19482
	Gumbel			92,08%	0,20663	87,89%	0,22302	98,44%	0,16497
Ricaurte	Log Pearson III	5	0,56328	99,99%	0,1103	98,11%	0,16879	99,88%	0,12894
	Gumbel			99,88%	0,12917	99,53%	0,14542	99,78%	0,13595
Sayausí	Log Pearson III	5	0,56328	98,72%	0,16134	100,00%	0,1014	100,00%	0,09058
	Gumbel			98,07%	0,16922	100,00%	0,09748	99,99%	0,11021
Totoraococha	Log Pearson III	5	0,56328	98,03%	0,1696	97,96%	0,17035	98,44%	0,165
	Gumbel			95,18%	0,19108	96,16%	0,18498	99,10%	0,1553
Yanuncay	Log Pearson III	5	0,56328	99,36%	0,14995	100,00%	0,07721	97,67%	0,17313
	Gumbel			98,49%	0,16439	100,00%	0,09151	94,38%	0,19557

Tabla 3.13. Test de bondad Kolmogorov – Smirnov para tiempos de precipitación de 60 y 120 minutos

Estación	Función de Distribución	Tamo Muestral	D teórico (95%)	60 min		120 min	
				% Ajuste	D max	% Ajuste	D max
Cebollar	Log Pearson III	5	0,56328	99,98%	0,11127	77,59%	0,25504
	Gumbel			97,53%	0,17447	83,15%	0,23865
Challuabamba	Log Pearson III	5	0,56328	92,74%	0,2267	97,90%	0,19015
	Gumbel			97,13%	0,1978	96,58%	0,20252
Chanlud	Log Pearson III	5	0,56328	95,34%	0,19013	100,00%	0,07576
	Gumbel			93,17%	0,20161	100,00%	0,09327
El Labrado	Log Pearson III	5	0,56328	97,68%	0,17309	100,00%	0,08353
	Gumbel			96,97%	0,17912	100,00%	0,08985
Huizhil	Log Pearson III	5	0,56328	100,00%	0,09755	98,14%	0,16844
	Gumbel			99,94%	0,12183	97,58%	0,17399
Matadero en Sayausí	Log Pearson III	8	0,45427	79,55%	0,19931	36,59%	0,29553
	Gumbel			97,61%	0,13946	88,00%	0,26743
Narancay	Log Pearson III	5	0,56328	46,67%	0,33947	67,11%	0,28351
	Gumbel			76,66%	0,25765	81,77%	0,3543
Ricaurte	Log Pearson III	5	0,56328	98,47%	0,16463	99,96%	0,1194
	Gumbel			99,45%	0,1477	99,89%	0,12781
Sayausí	Log Pearson III	5	0,56328	99,96%	0,11852	97,44%	0,17526
	Gumbel			99,82%	0,13333	96,31%	0,18392
Totoraococha	Log Pearson III	5	0,56328	72,56%	0,26893	84,13%	0,23558
	Gumbel			93,32%	0,20092	97,43%	0,17532
Yanuncay	Log Pearson III	5	0,56328	99,44%	0,1478	100,00%	0,07595
	Gumbel			99,47%	0,14712	100,00%	0,08449

En el análisis del test de ajuste realizado con el software Hydrognomon, se ha sombreado aquellos valores con un porcentaje de ajuste menor al 90%, por otra parte se establece como hipótesis; que si el valor de D_c es menor al D teórico con un 95 % de nivel de confianza las distribuciones se aceptan, por lo tanto, se considera que se está trabajando con un ajuste adecuado. Por otra parte, el parámetro denominado porcentaje de ajuste, es indicativo de la calidad de los resultados obtenido con las funciones de distribución Gumbel Max y Log Pearson III. Este parámetro indica que el mejor ajuste es aquel que presenta un valor porcentual cercano al 100%.

De manera global, en la comparación de la mejor función de ajuste, se permite observar que ambas funciones se adaptan por igual a las series máximas de precipitaciones registradas por las 12 estaciones analizadas. Sin embargo, se observa que cerca del 50.4% de resultados obtenidos presentan un mejor ajuste con la función de Log Pearson III que con la función Gumbel de valores máximos. Es decir, de todos los resultados presentados en la Tabla 3.11, Tabla 3.12 y Tabla 3.13 el 50.4% tienen un porcentaje de ajuste más cercano a 100% con la función Log Pearson III.

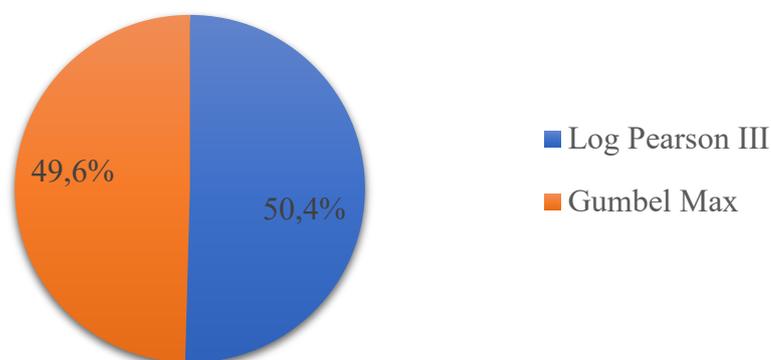


Figura 3.14. Comparación de porcentajes de ajuste global obtenidos en el análisis de las 11 estaciones el software Hydrognomon.

Sin embargo, la ecuación de distribución Pearson III a pesar de tener un buen ajuste, existen estaciones en las que supera ni el 50% como por ejemplo en las estaciones Matadero en Sayausí y Cebollar, donde se presentó deficiencias a la hora de analizar los valores extremos de intensidad tanto así que no se pudo ajustar a los modelos matemático propuesto para calculo da intensidades extremas (Figura 3.15).

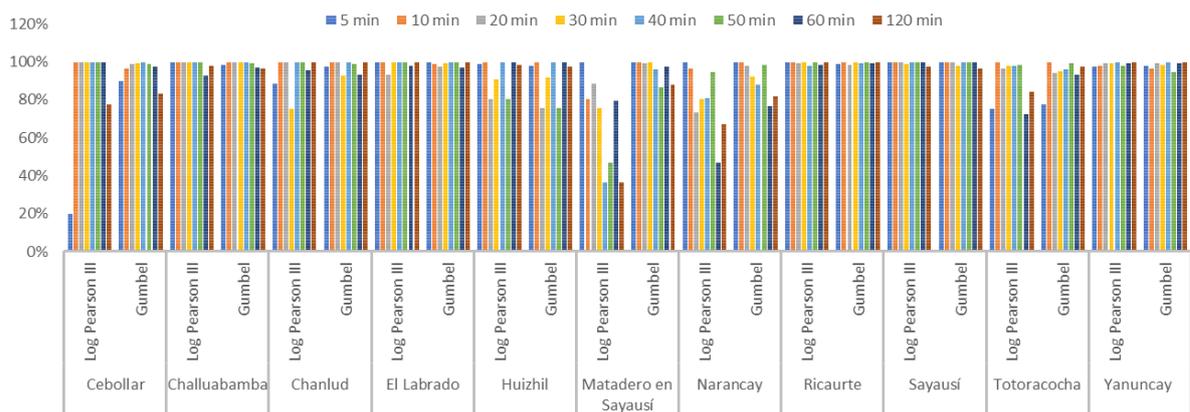


Figura 3.15. Comparación de porcentajes de ajuste por estación obtenidos con el software Hydrognomon.

En las estaciones con las cuales se pudo obtener datos con ambas funciones de distribución, como es el caso de la estación Chandul se observa que los valores obtenidos con la función de Log Pearson III son ligeramente mayores a los obtenidos con la función Gumbel de valores máximos tal como se puede apreciar en las siguientes tablas y gráficas.

Tabla 3.14. Intensidades máximas de la estación Chanlud con la función de distribución de Gumbel Max

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	54,95	45,73	38,54	26,49	24,98	21,72	17,80	10,23
10	58,84	49,25	42,27	28,61	27,85	24,18	19,61	11,22
20	62,57	52,63	45,85	30,64	30,60	26,54	21,34	12,18
50	67,40	57,00	50,48	33,28	34,16	29,60	23,58	13,41
100	71,02	60,27	53,95	35,25	36,83	31,88	25,26	14,34

Tabla 3.15. Intensidades máximas de la estación Chanlud con la función de distribución de Log Pearson III

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	55,05	46,04	38,85	26,47	25,13	22,15	18,00	10,40
10	60,05	49,58	42,66	29,40	28,24	24,93	19,83	11,29
20	65,20	52,92	46,29	32,51	31,29	27,64	21,58	12,09
50	72,36	57,21	50,99	36,99	35,39	31,22	23,82	13,06
100	78,11	60,43	54,55	40,70	38,58	33,99	25,51	13,75

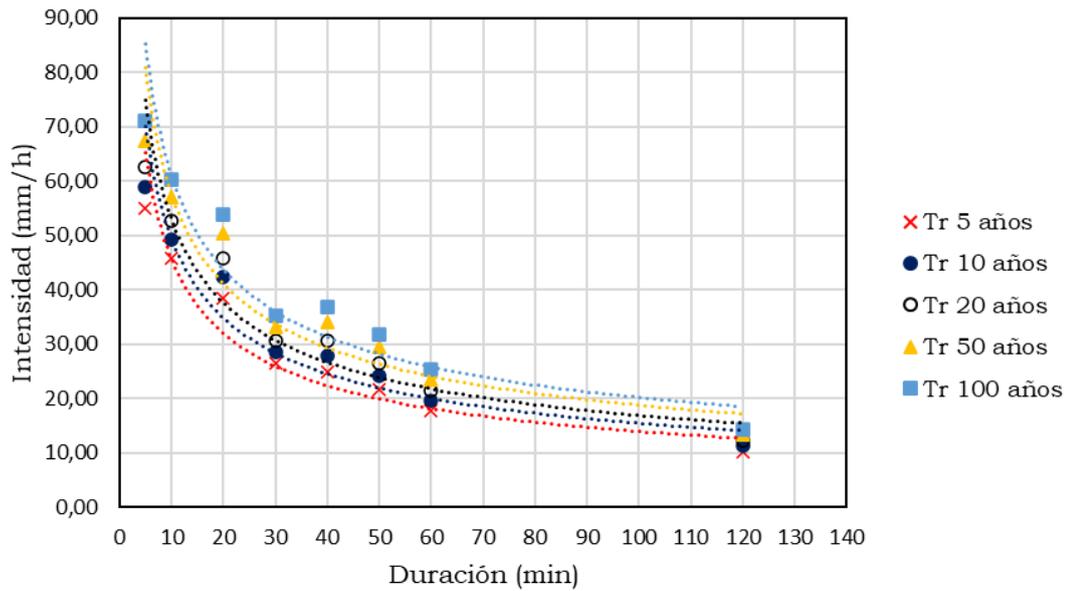


Figura 3.16. Curva IDF determinadas con la función de distribución de Gumbel Máximo de la estación Chanlud.

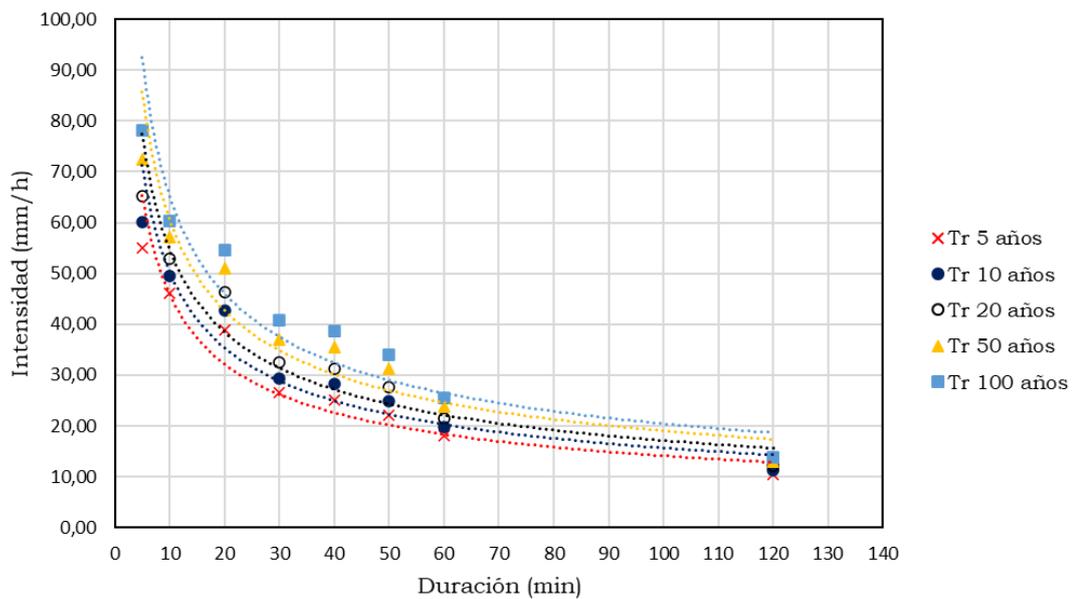


Figura 3.17. Curva IDF determinadas con la función de distribución de Log Pearson III de la estación Chanlud.

En general, para todas las estaciones ambas funciones se adaptan por igual, la función de distribución Log Pearson III presenta resultados mayores que la función Gumbel de valores máximos, sin embargo, en análisis para dos estaciones no se pudo ajustar a los

modelos matemáticos. En este contexto, para las 12 estaciones meteorológicas e hidrológicas estudiadas la función de distribución con la que se llevara a cabo el estudio es la función de distribución de Gumbel de Valores Máximos por presentar un adecuado ajuste superior al 70% en todas las estaciones.

3.5.2. Obtención de la expresión analítica de las curvas IDF

3.5.2.1. Regresión lineal múltiple

La construcción de la familia de curvas IDF se puede realizar a partir de diferentes ecuaciones analíticas. Para esto, se emplea los modelos de ecuación planteados en el numeral (2.3.3.), que relaciona la intensidad máxima para un período de retorno, con la duración del evento.

La metodología para la correlación lineal múltiple se detalla en la sección (2.2.3.1), sin embargo, en la actualidad existen códigos y softwares que permiten la simplificación de cálculos. Dentro de los cuales se encuentra el software HidroEsta, que es muy aplicado en cálculos hidrológicos, utilizando Visual Basic. El cual pretende ser una aplicación que permita facilitar y simplificar los cálculos laboriosos, que se deben realizar en los estudios hidrológicos. El software permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones, calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, los cálculos de aforos realizados con molinetes o correntómetros, el cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos y estadísticos, cálculos de la evapotranspiración y cálculo del balance hídrico (Villón Béjar, 2014).

Para la obtención de las ecuaciones de las curvas IDF con el software HidroEsta, se inicia con la creación de un archivo en formato xlsx, que contiene los valores de intensidad duración y periodo de retorno, en el siguiente orden tal como se presenta a manera de ejemplo en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16. Orden de datos para ingresar al software HidroEsta de la estación Chanlud

TR (años)	Duración (min)	Intensidad Max (mm/h)
5	5	54,95
5	10	45,73
5	20	38,54
5	30	26,49
5	40	24,98
5	50	21,72
5	60	17,80
5	120	10,23
10	5	58,84
10	10	49,25
10	20	42,27
10	30	28,61
10	40	27,85
10	50	24,18
10	60	19,61
10	120	11,22
20	5	62,57
20	10	52,63
20	20	45,85
20	30	30,64
20	40	30,60
20	50	26,54
20	60	21,34
20	120	12,18
50	5	67,40
50	10	57,00
50	20	50,48
50	30	33,28
50	40	34,16
50	50	29,60
50	60	23,58
50	120	13,41
100	5	71,02
100	10	60,27
100	20	53,95
100	30	35,25
100	40	36,83
100	50	31,88
100	60	25,26
100	120	14,34

Los valores presentados en la tabla corresponden a los obtenidos mediante el ajuste de distribución de probabilidad con función de Gumbel Máximos presentados en la Tabla 3.14.

Para determinar las ecuaciones de IDF, se inicia seleccionando el icono de precipitación, para luego dirigirse al apartado de cálculo de intensidad máxima. El paso 2, consiste en cargar los archivos en formato xlsx, organizados tal como se presentó en la Tabla 3.16, esto se realiza seleccionado el icono de Excel para dirigir a la ruta que

contiene el archivo. El paso 4 consiste en calcular las ecuaciones, para ello se selecciona el icono de cómputo el cual da como resultado la ecuación de intensidad duración y frecuencia.

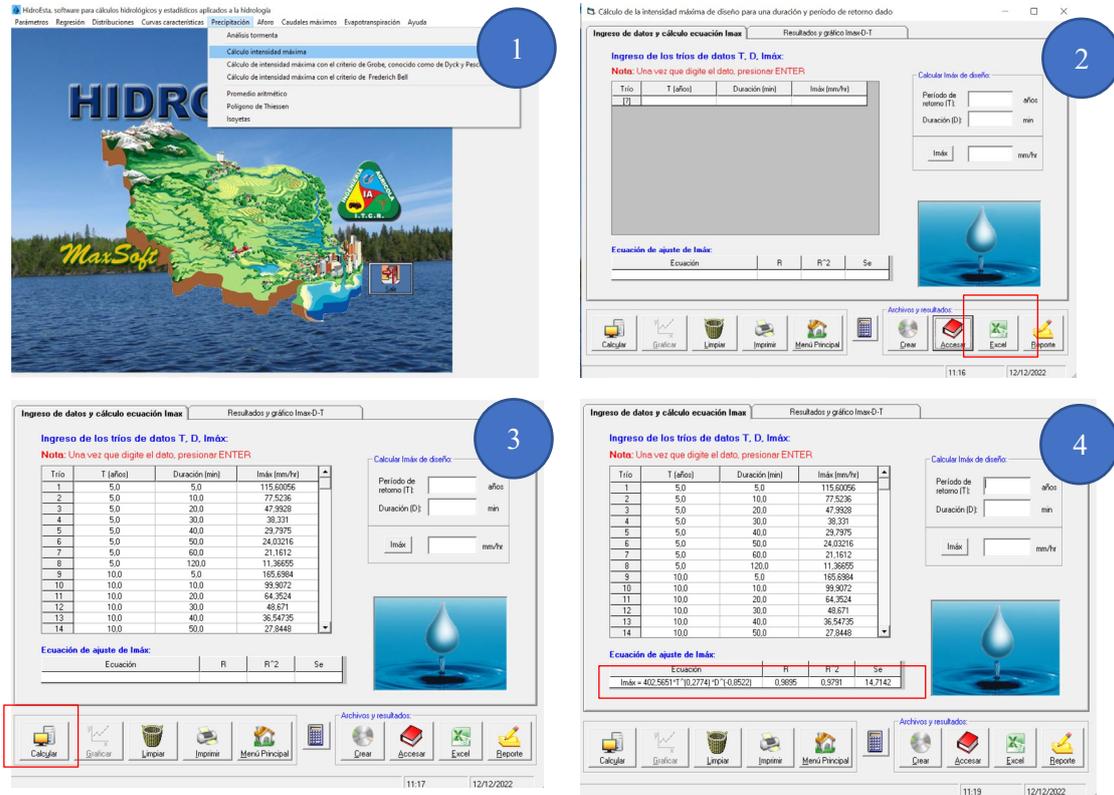


Figura 3.18. Pasos para la obtención de las curvas IDF con el software HidroEsta.

Una vez calculada la ecuación es posible determinar los parámetros k y n de la ecuación IDF, para establecer la calidad de la regresión, se utilizó como medida de bondad de ajuste al coeficiente de determinación R^2 y su coeficiente de correlación R . Por lo tanto, el modelo de ecuación de intensidad para la estación Chanlud, se expresa de la siguiente manera:

$$I = k * T^m * t^{-n} \quad (42)$$

Siendo los coeficientes:

Tabla 3.17. Parámetros k y n correspondientes a la estación Chanlud.

k	m	n	R	R^2
128,2409	0,1118	0.5027	0,9616	0,9203

A partir de la ecuación obtenida para la estación Chanlud, se obtiene los valores de intensidad de precipitación estimada y se puede construir la curva de IDF.

Tabla 3.18. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Tr (Años)	Intensidad Máxima Método Gumbel Max (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	63,03	44,48	31,40	25,61	22,16	19,81	18,07	12,76
10	68,11	48,07	33,93	27,67	23,94	21,40	19,53	13,78
20	73,60	51,94	36,66	29,90	25,87	23,13	21,10	14,89
50	81,53	57,55	40,61	33,13	28,67	25,62	23,38	16,50
100	88,10	62,18	43,89	35,79	30,98	27,69	25,26	17,83

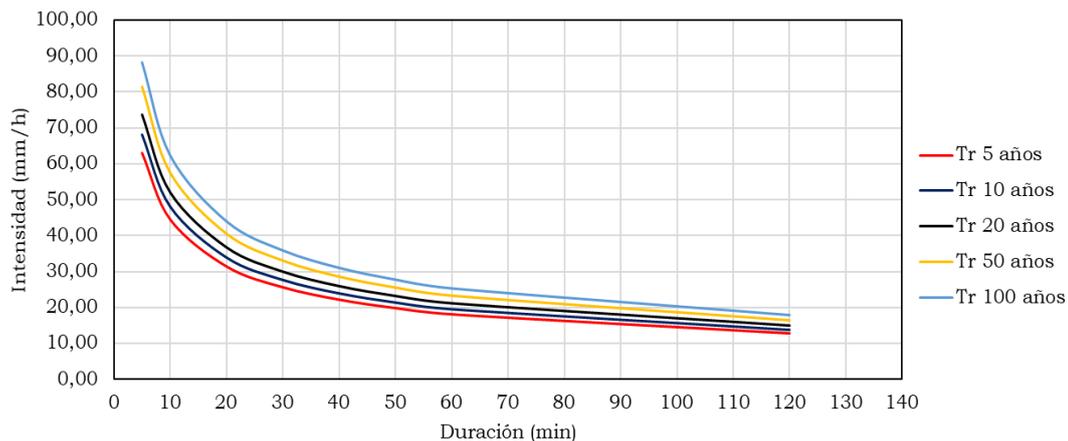


Figura 3.19. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

3.5.2.2. Método de Talbot

En este método se calcula el valor de la intensidad máxima de lluvia a partir de coeficientes que están en función de la localidad y el periodo de retorno. Se representa mediante la ecuación (33) y los coeficientes a y b son determinados a partir de transformar la ecuación de la i_{max} en una ecuación lineal tal como se indicó en el numeral (2.3.3.2). En la Figura 3.20, se presentan las regresiones lineales para diferentes periodos de retorno obtenidos aplicando el método de Talbot, los valores de intensidad corresponden a los calculados con la función de distribución y que para el caso de la estación Chanlud se presentaron en la Tabla 3.14.

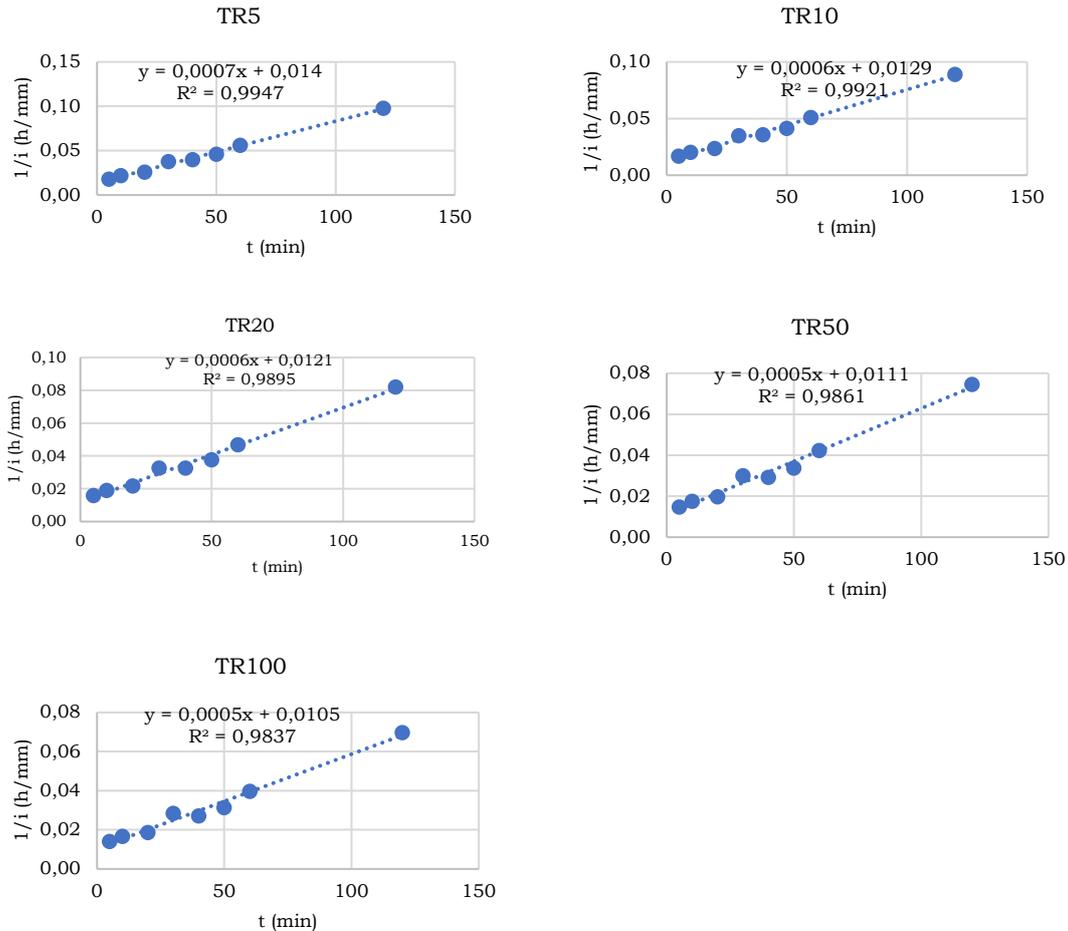


Figura 3.20. Transformación de las intensidades máximas a ecuaciones lineales de la estación Chanlud

Una vez que se obtiene la ecuación se procede a determinar los coeficientes a y b los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla de pares.

Tabla 3.19. Valores de los coeficientes a y b asociados a diferentes periodos de retorno para la estación Chandul.

Tr (Años)	a	b
5	1444,67	20,21
10	1596,44	20,65
20	1742,44	21,02
50	1931,89	21,46
100	2074,16	21,75

Con los coeficientes a y b obtenidos para la estación Chanlud, se obtiene los valores de intensidad de precipitación estimada y se puede construir la curva de IDF.

Tabla 3.20. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la

estación Chanlud aplicando el método de Talbot.

Intensidad Máxima Método Gumbel Máximo (mm/hora)								
Tr (Años)	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	57,30	47,82	35,93	28,77	23,99	20,58	18,01	10,30
10	62,25	52,09	39,28	31,52	26,32	22,60	19,80	11,35
20	66,96	56,17	42,48	34,15	28,55	24,53	21,51	12,36
50	73,02	61,41	46,60	37,54	31,43	27,04	23,72	13,66
100	77,53	65,32	49,68	40,08	33,59	28,91	25,37	14,63

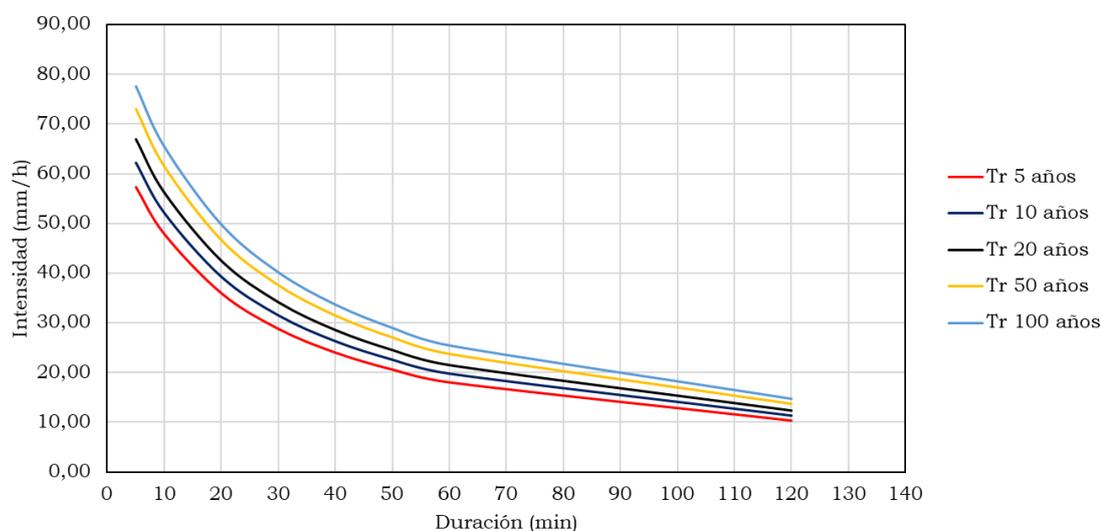


Figura 3.21. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de Talbot

3.5.3. Aplicación del índice de tormenta Hietograma de diseño

El Índice de Tormenta propuesto por Pizarro et al., (2013) es una adecuada herramienta para la estimación de las curvas IDF, a partir de estaciones que cuentan con dichas curvas. Para seleccionar una estación patrón, el criterio de selección es la correlación que existe en los datos de las dos estaciones. Con esta metodología se plantea estimar las curvas de intensidad duración y frecuencia para las estaciones que cuentan con poca información o con registros no continuos. Los resultados obtenidos fueron corroborados en relación al hietograma de precipitaciones máximas, registrados en los años que cuentan con registros.

Las estaciones de las cuales no se tiene registros continuos y que se aplicara la metodología son las siguientes:

- Guangarcucho
- Izhcayrrumi
- Machangara
- Mamamag
- Soldados
- Ucubamba
- Ventanas

El primer paso para determinar las curvas IDF a partir del índice de tormenta consiste en relacionar las estaciones con registros no continuos frente a una estación de registro continuo. En la Tabla 3.21 se presenta las estaciones utilizadas que permitirán construir las curvas IDF a partir del índice de tormenta.

Tabla 3.21. Relación de estaciones con registro frente a estaciones sin registro para el cálculo de las curvas IDF a partir del índice de tormenta

Estaciones Sin Registros Completos o Continuos	Estaciones Con Registros Continuos	Correlación
Guangarcucho	Challuabamba	0.73
Izhcayrrumi	Chanlud	0.68
Machangara	El Labrado	0.72
Mamamag	--	--
Soldados	Huizhil	0.66
Ucubamba	Tixan	0.70
Ventanas	Totoracocho	0.99

En la Tabla 3.21, se observa que la estación Mamamag, no presenta ninguna relación con las estaciones con registros continuos por lo que se descarta para el presente estudio. Por otra parte, para determinar el índice de tormenta es necesario conocer las precipitaciones máximas diarias, para estos valores se consideran los registros obtenidos en el análisis de rellenos de datos descrito en el literal (3.3).

Tabla 3.22. Precipitaciones máximas diarias obtenidas de la correlación y relleno de datos

Precipitaciones máximas diarias en (mm)						
Año	Guangarchucho	Izhcayrrumi	Machangara	Soldados	Ucubamba	Ventanas
2014	19,3	25,5	15,0	29,5	40,1	40,5
2015	16,8	23,9	14,2	25,8	29,2	35,2
2016	25,2	6,7	10,9	22,5	59,2	17,6
2017	23,2	21,6	17,8	44,2	40,7	61,5
2018	27,8	14,8	23,5	34,2	30,0	47,2
2019	32,7	17,2	23,5	31,9	39,4	51,3
2020	31,1	13,1	29,3	37,9	28,7	52,5
2021	22,9	16,8	27,3	86,8	24,5	122,3

Al disponer registros desde el año 2014, y aplicando la función de distribución de Gumbel de valores máximos en el software Hydrognomon se determina las intensidades asociadas para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50 y 100 años. Tal como se indicó en el numeral (3.5.2). Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3.23. Intensidades Máximas para una duración de 1440 minutos

Intensidad Máxima (mm/hora) para una duración de 1440 min						
Tr años	Guangarchucho	Izhcayrrumi	Machangara	Soldados	Ucubamba	Ventanas
5	1,20	0,91	1,041	2,24	1,852	1,22
10	1,34	1,06	1,204	2,74	2,121	1,40
20	1,46	1,21	1,359	3,22	2,380	1,58
50	1,63	1,39	1,561	3,84	2,715	1,81
100	1,76	1,53	1,712	4,30	2,966	1,98

La obtención del Índice de Tormenta de una estación pluviográfica consiste en conocer los valores de las intensidades de precipitación calculados para las distintas duraciones y periodos de retorno para lo cual se trabaja con los valores de las estaciones continuas obtenidos con la función de distribución de Gumbel de valores máximos. A manera de ejemplo se presenta los valores obtenidos con la función de distribución de Gumbel para la estación Chaullabamba (Tabla 3.24).

Tabla 3.24. Intensidades máximas de la estación Challuabamba con la función de distribución de Gumbel Max.

Intensidades máximas diarias en (mm/h)									
Tr (años)	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min	1440 min
5	93,03	51,82	43,50	33,64	27,46	24,35	22,06	12,21	1,22
10	113,79	59,19	53,50	41,16	32,31	28,73	25,94	14,24	1,40
20	133,70	66,27	63,10	48,38	36,97	32,93	29,65	16,19	1,58
50	159,48	75,42	75,52	57,71	42,99	38,38	34,46	18,72	1,81
100	178,79	82,28	84,82	64,71	47,51	42,45	38,07	20,61	1,98

Aplicando la ecuación (41), se procede a determinar el índice de tormenta de la estación Chaullabamba, dividiendo a los valores de intensidades para la intensidad máximas diarias lo que da como resultado:

Tabla 3.25. Índice de tormenta obtenido para la estación Challuabamba

Índice de tormenta (--)									
Tr (años)	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min	1440 min
5	76,39	42,55	35,72	27,63	22,55	19,99	18,12	10,03	1,00
10	81,16	42,22	38,16	29,36	23,05	20,49	18,50	10,16	1,00
20	84,69	41,97	39,97	30,64	23,42	20,86	18,78	10,26	1,00
50	88,23	41,73	41,78	31,93	23,79	21,23	19,07	10,36	1,00
100	90,35	41,58	42,86	32,70	24,01	21,45	19,24	10,41	1,00

La estación Challuabamba presenta una buena correlación con la estación Guangarchucho con un valor de 0.73, por lo tanto, multiplicando la precipitación máxima de la estación con el índice de tormenta, se puede obtener las intensidades máximas de la estación Guangarchucho, tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.26. Intensidad máximas de la estación Guangarchucho obtenidos con el índice de tormenta de la estación Challuabamba.

Intensidad Máxima (mm/hora)									
Tr (años)	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min	1440 min
5	91,80	51,14	42,93	33,20	27,10	24,03	21,77	12,05	1,22
10	108,42	56,40	50,98	39,22	30,79	27,37	24,71	13,57	1,40
20	124,02	61,47	58,53	44,87	34,29	30,55	27,51	15,02	1,58
50	143,90	68,06	68,14	52,07	38,80	34,63	31,10	16,89	1,81
100	158,63	73,00	75,26	57,41	42,15	37,67	33,77	18,28	1,98

Con los datos de precipitaciones se aplica la metodología descrita en el numeral (3.5.2) para obtener las curvas de intensidad duración y frecuencia.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se exhiben los resultados obtenidos, se inicia con la presentación de los resultados del análisis de precipitación media en la zona de estudio. Luego se presenta las curvas IDF obtenidas de manera gráfica y matemática para el cantón de Cuenca. Por otra parte, se indican las ecuaciones matemáticas que representan las curvas IDF para cada estación, con los respectivos resultados de las medidas de bondad de ajuste utilizadas, es decir, el coeficiente de determinación (R^2).

4.1. Análisis de la estimación precipitación media

En la Figura 4.1, se presentan en forma de diagrama de barras las precipitaciones medias mensuales obtenidas para las 19 estaciones analizadas y en forma de línea los resultados obtenidos con los métodos para la determinación de la precipitación media en el cantón Cuenca. En este gráfico se evidencia que los registros de precipitación máxima se presentan en el mes de marzo, abril y mayo con valores que varían entre 70 mm y 290 mm, para luego disminuir en los meses de julio, agosto y septiembre con valores entre 130 mm y 60 mm; y finalmente aumentar en los meses de octubre noviembre y diciembre.

Al comparar los resultados obtenidos con los métodos de interpolación de Isoyetas, Thiessen y el valor promedio, se observa que los valores del método de Thiessen son similares a los obtenidos con el valor promedio, aunque en algunos meses este valor es menor. En cambio, los resultados obtenidos con el método de isoyetas son considerablemente mayores a los obtenidos con los dos métodos antes mencionados.

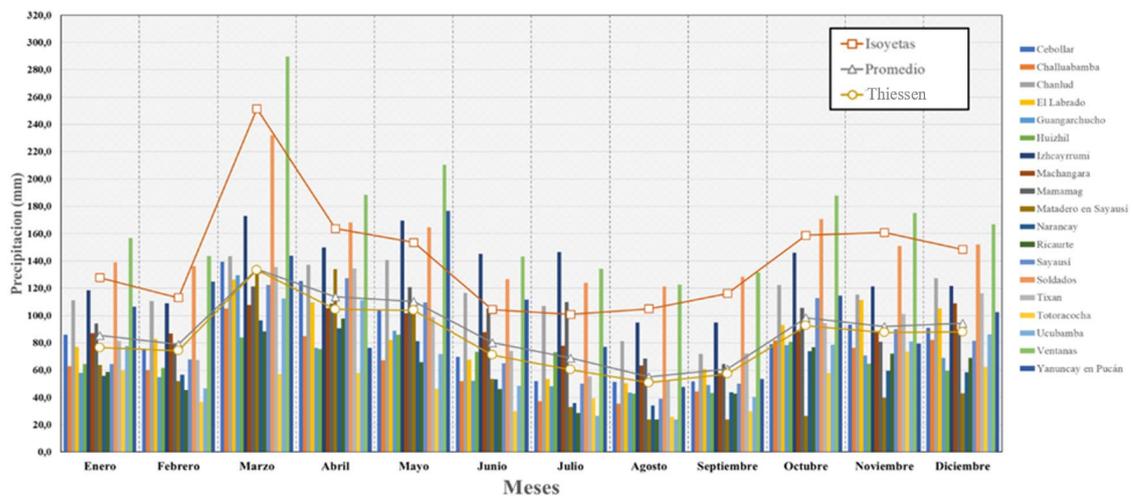


Figura 4.1. Comparación de métodos de precipitaciones medias mensuales en el cantón Cuenca.

Thiessen

El método de isoyetas se puede inferir que se ve afectado por los valores máximos registrados en las estaciones analizadas, las cuales son la estación Izhcayrumi, Soldados y Ventanas. Aunque existen sectores en la zona de estudio que presenta precipitaciones superiores a los valores presentados, tal como se evidencia en la **Figura 4.1**.

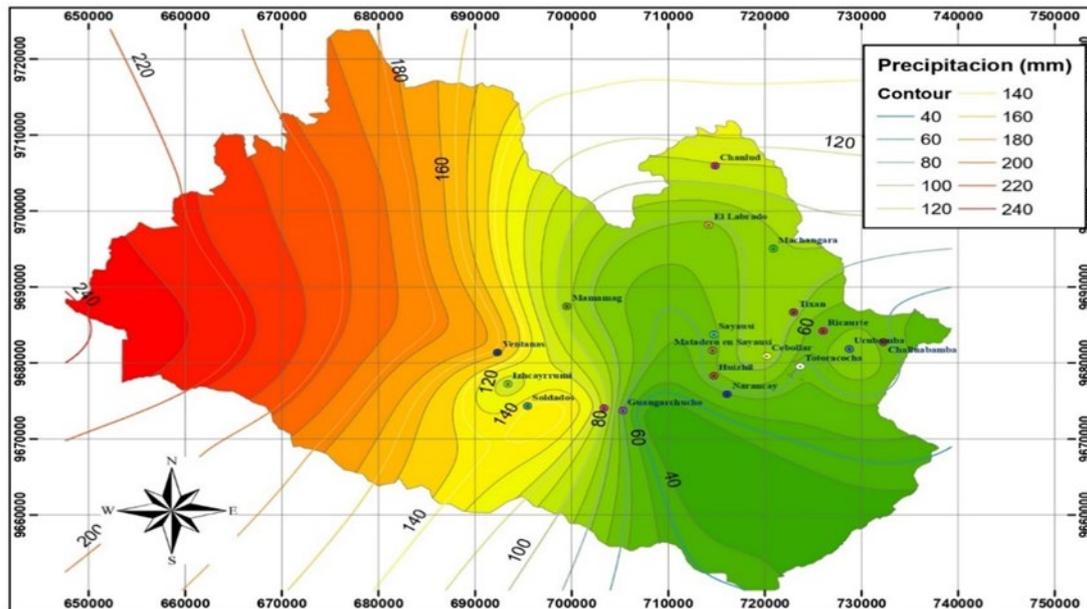


Figura 4.2. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de enero

En la **Figura 4.1** se observa que los mayores valores de precipitación se dan en la parte oeste del cantón Cuenca, y la distribución es similar para cada mes tal como se puede apreciar en las siguientes imágenes.

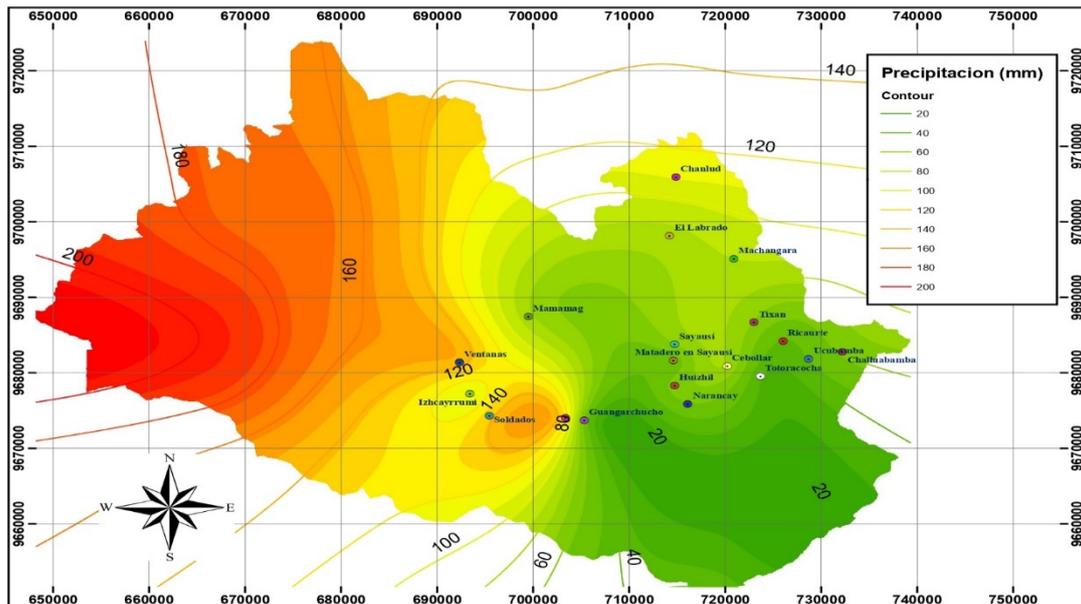


Figura 4.3. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de febrero.

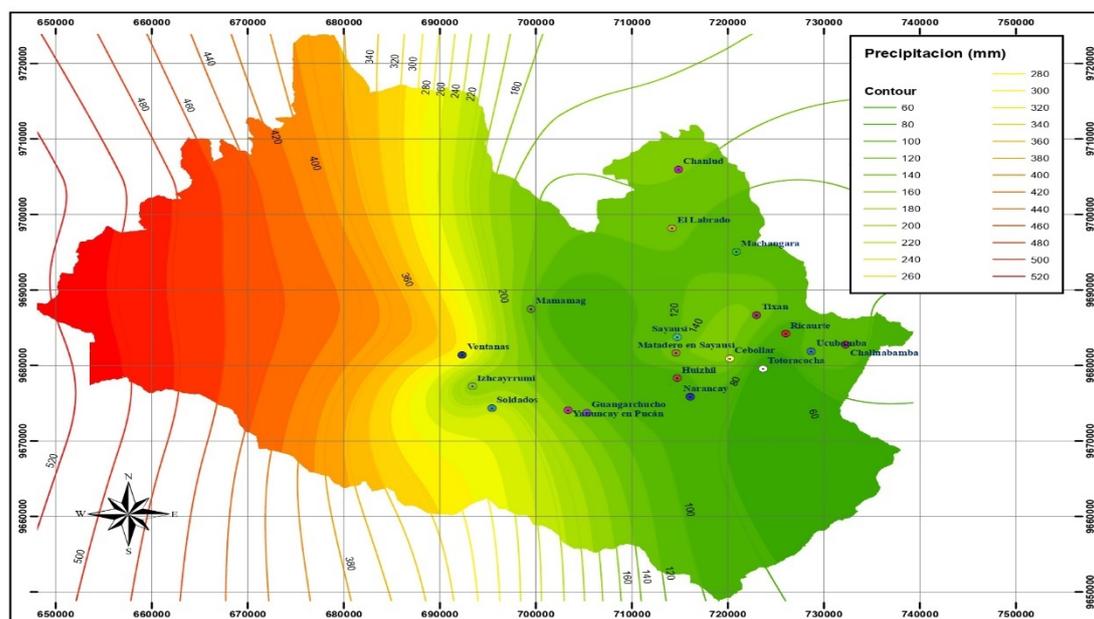


Figura 4.4. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de marzo.

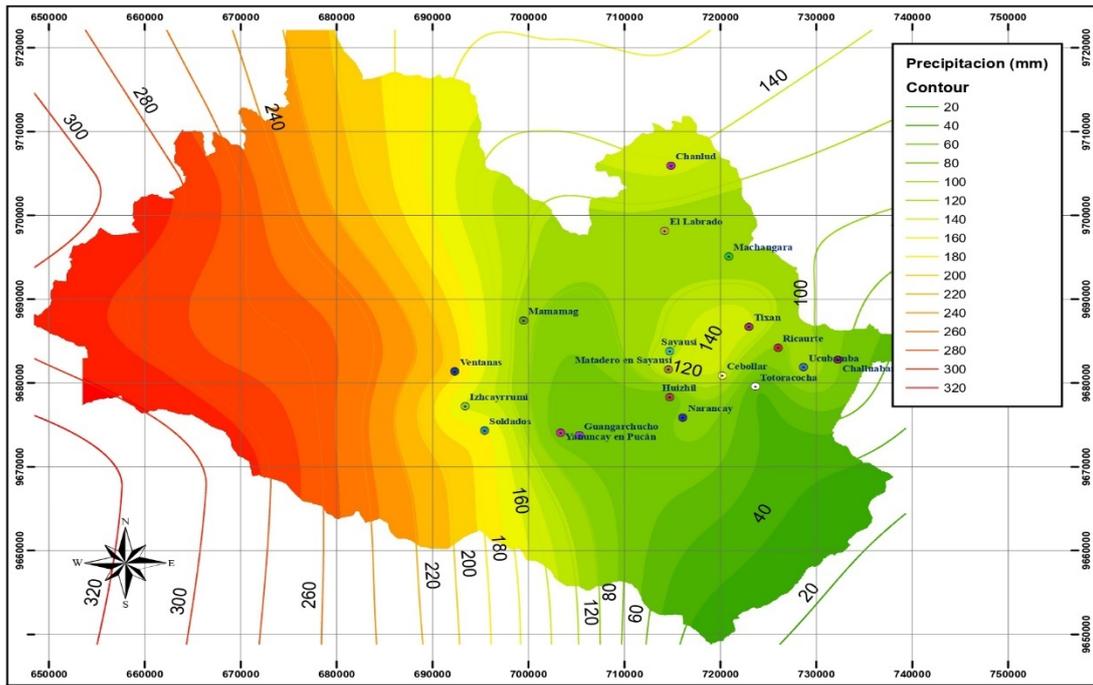


Figura 4.5. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de abril.

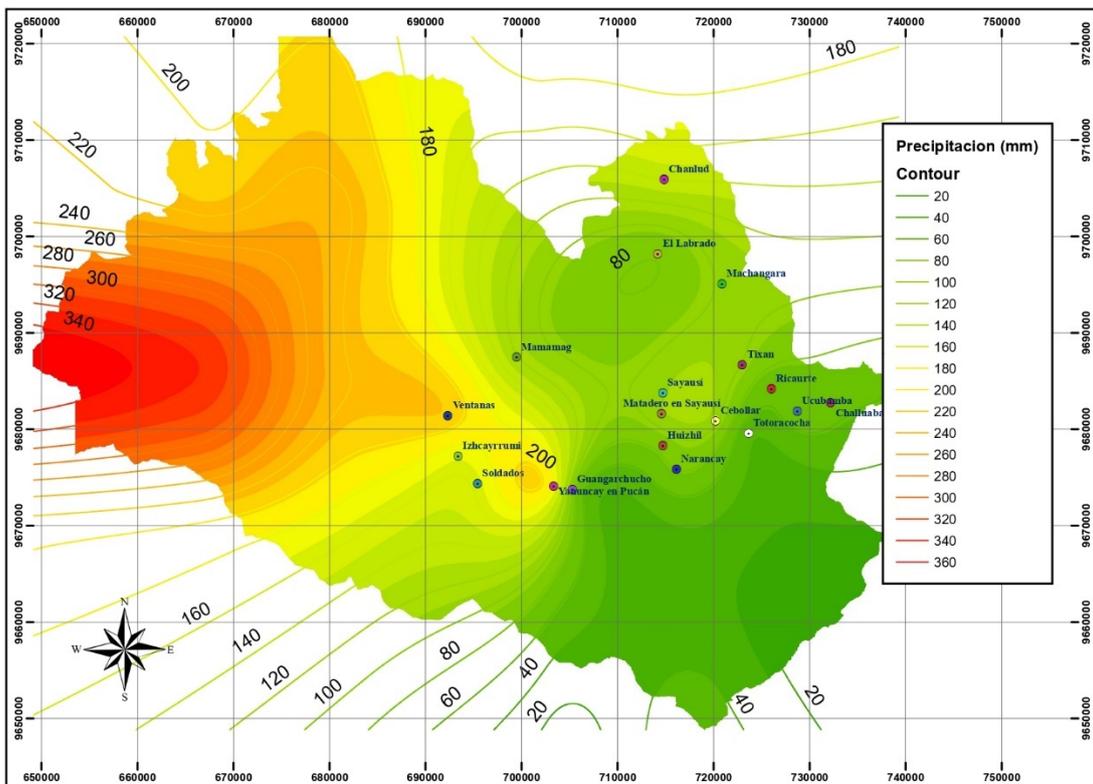


Figura 4.6. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de mayo.

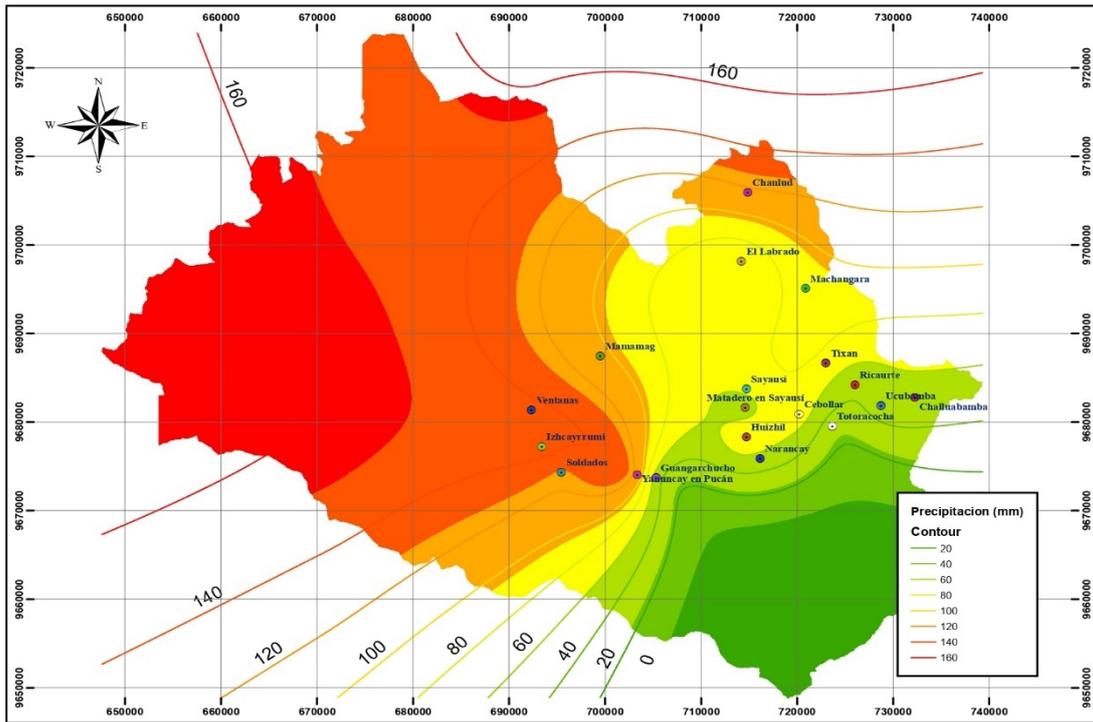


Figura 4.7. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de junio.

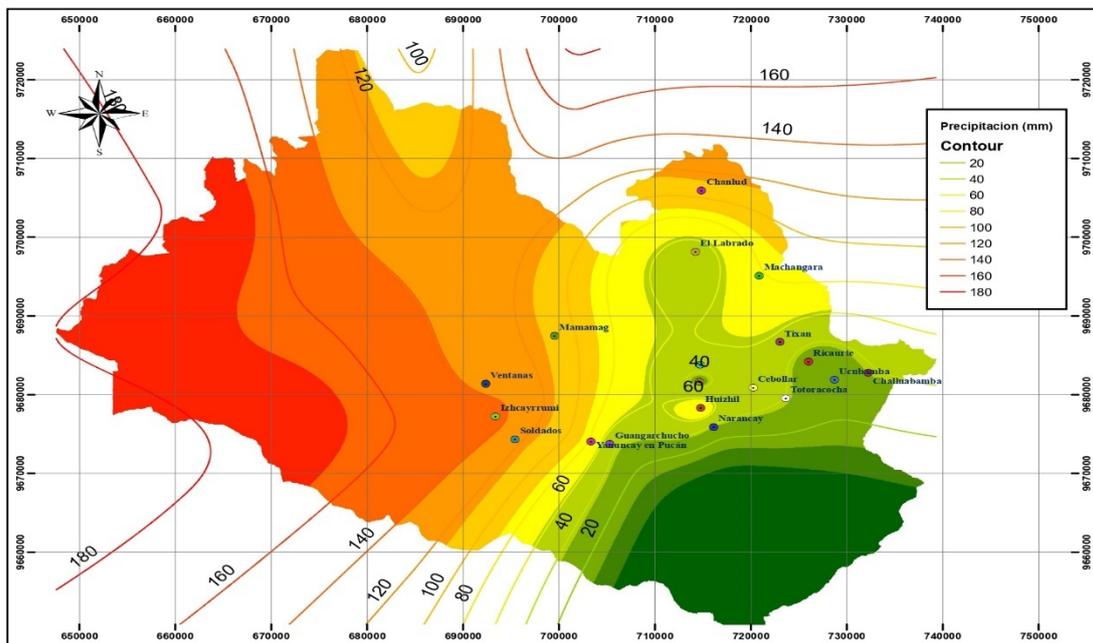


Figura 4.8. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de julio.

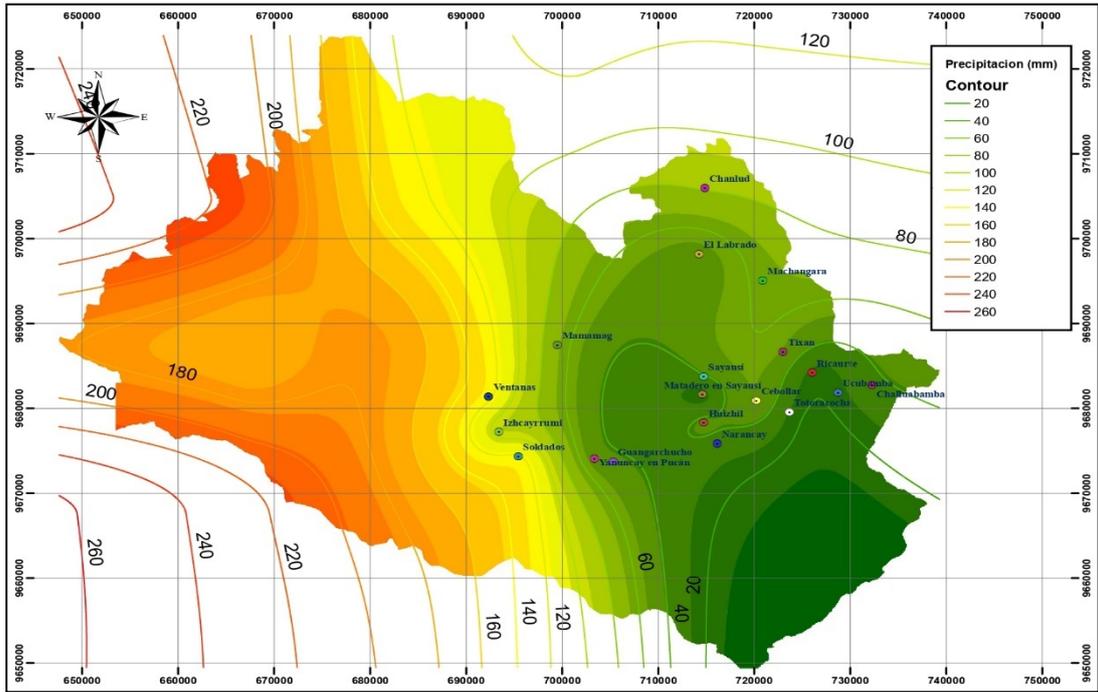


Figura 4.9. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de agosto.

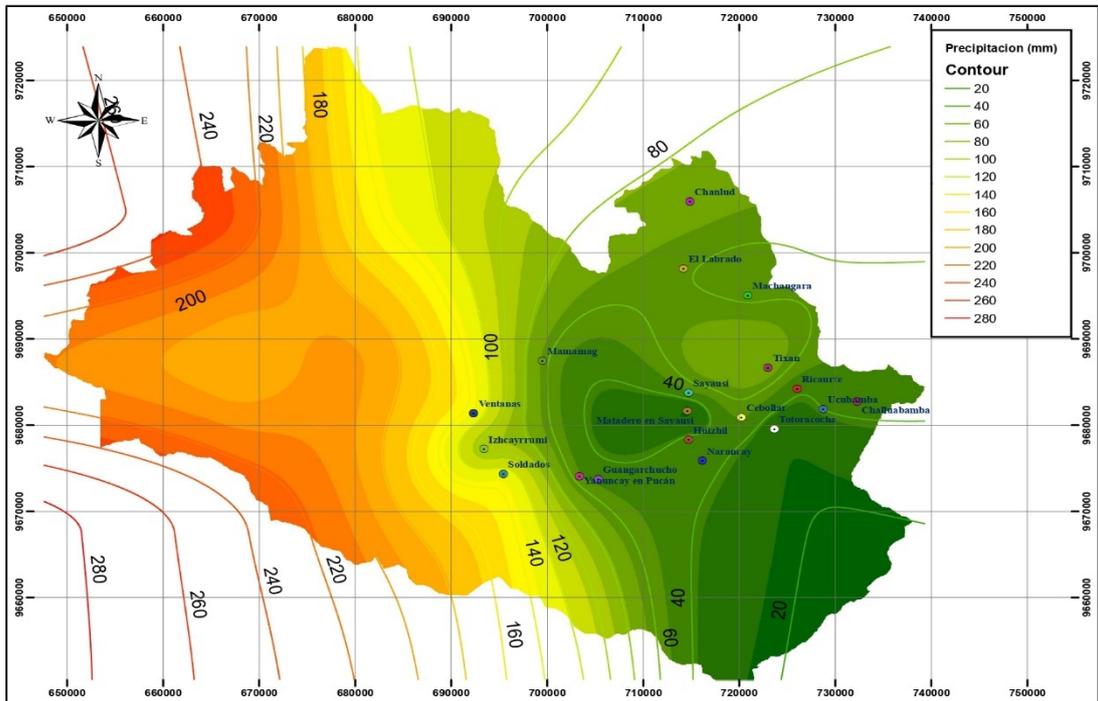


Figura 4.10. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de septiembre.

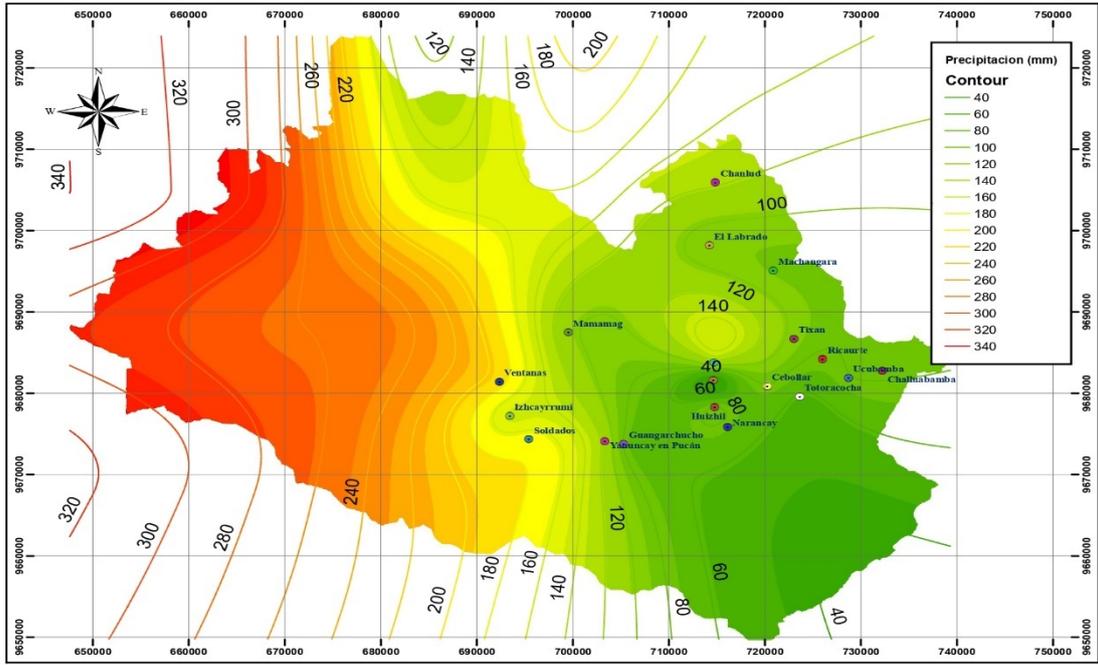


Figura 4.11. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de octubre.

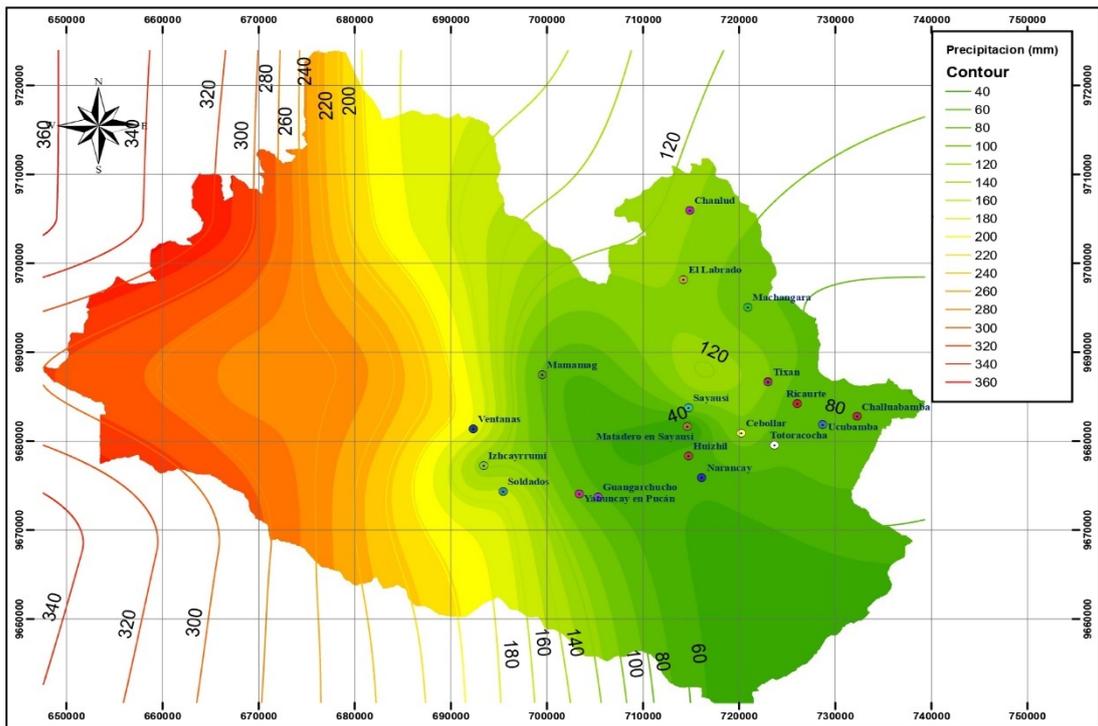


Figura 4.12. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de noviembre.

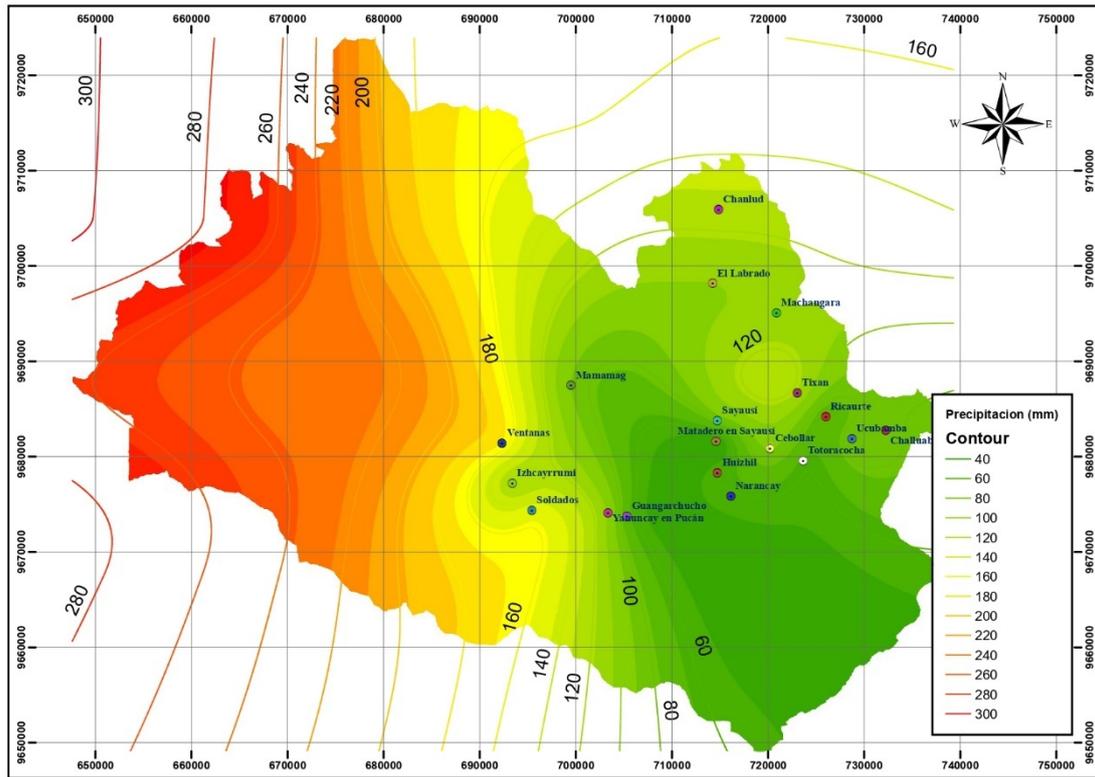


Figura 4.13. Distribución de precipitaciones método de Isoyetas para el mes de diciembre.

4.2. Resultados de curvas de intensidad duración y frecuencia.

Como resultado de la investigación, se obtuvieron ecuaciones para 18 de las 20 estaciones analizadas, de los cuales 6 se generaron a partir de la relación de intensidades a partir del índice de tormenta. Las ecuaciones están en función del periodo de retorno y la duración, así como ecuaciones en función de la intensidad diaria y la duración. Esto permitió generar información de lluvias y frecuencias en lugares donde se tenga poca o ninguna información. A forma de comparación, se analiza los resultados obtenidos con el método de regresión lineal múltiple y el método de Talbot para construir los hietogramas de precipitaciones y comparar con los registrados en las estaciones durante los años analizados.

4.2.1. Expresiones matemáticas y curvas obtenidas con método de regresión lineal

En la Tabla 4.1 se muestran las ecuaciones obtenidas reemplazando los parámetros estimados para cada estación, conjuntamente se enseñan las tablas y las gráficas de las curvas IDF sintéticas conseguidas a partir de precipitaciones máximas. De la Tabla 4.2 a la Tabla 4.13 se muestran los valores de intensidad de precipitación estimados con la

ecuación propuesta ajustada para cada una de las estaciones.

Tabla 4.1. Ecuaciones de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno

Estación	Ecuación				R ²
Cebollar	i =	253,13	T	0,1226 t -0,6247	0,9129
Challuabamba	i =	188,70	T	0,1910 t -0,6124	0,9633
Chanlud	i =	118,24	T	0,1118 t -0,5027	0,9616
El Labrado	i =	113,12	T	0,1185 t -0,5719	0,9705
Huizhil	i =	126,50	T	0,1203 t -0,5571	0,9805
Matadero Zayausi	i =	145,09	T	0,1629 t -0,6055	0,9796
Narancay	i =	207,05	T	0,1703 t -0,6908	0,989
Ricaurte	i =	139,87	T	0,1388 t -0,5345	0,9783
Sayausi	i =	107,89	T	0,1894 t -0,4322	0,9789
Tixan	i =	258,66	T	0,1583 t -0,6332	0,9525
Totoracocha	i =	383,48	T	0,1639 t -0,8150	0,9664
Yanuncay	i =	349,68	T	0,1979 t -0,7774	0,9822

Al momento de calcular las ecuaciones de intensidad en función del periodo de retorno y la duración, en el intervalo de 5 a 120 minutos, se observó que no existen discrepancias en el valor de intensidad calculada respecto a la intensidad obtenidas con las funciones de distribución, obteniendo valores de R² de por encima de 0.92. A continuación, se muestran las gráficas y las tablas resultantes para cada estación.

Tabla 4.2. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Tr	Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	112.82	73.17	47.45	36.83	30.78	26.77	23.89	15.49
10	122.82	79.66	51.66	40.10	33.51	29.15	26.01	16.87
20	133.72	86.72	56.24	43.66	36.48	31.73	28.32	18.36
50	149.61	97.03	62.93	48.85	40.81	35.50	31.68	20.55
100	162.88	105.64	68.51	53.18	44.43	38.65	34.49	22.37
500	198.41	128.68	83.46	64.78	54.13	47.08	42.01	27.25

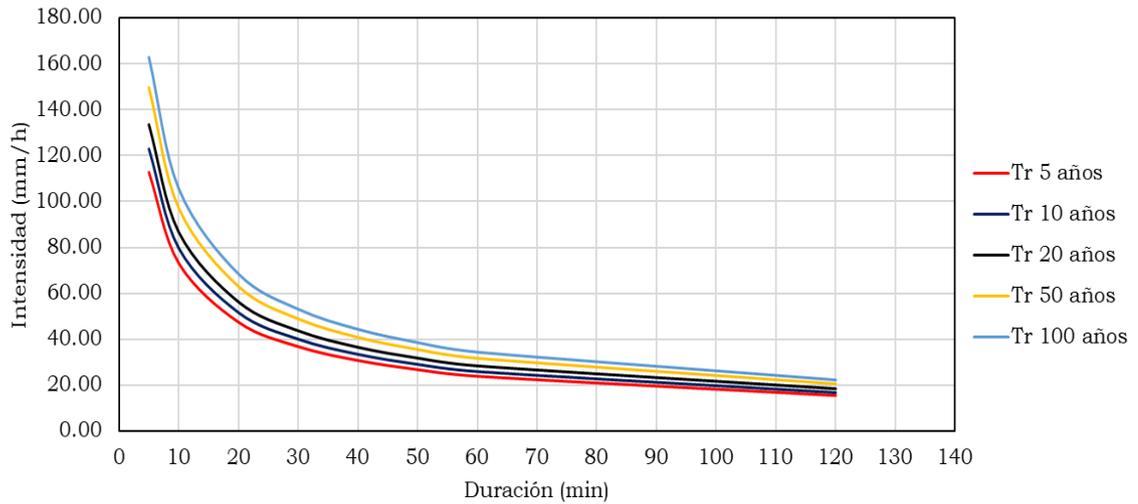


Figura 4.14. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.3. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Tr	Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	95.77	62.64	40.98	31.97	26.80	23.38	20.91	13.68
10	109.33	71.51	46.78	36.49	30.60	26.69	23.87	15.61
20	124.80	81.63	53.40	41.66	34.93	30.47	27.25	17.82
50	148.67	97.25	63.61	49.62	41.61	36.29	32.46	21.23
100	169.72	111.01	72.61	56.65	47.50	41.43	37.05	24.24

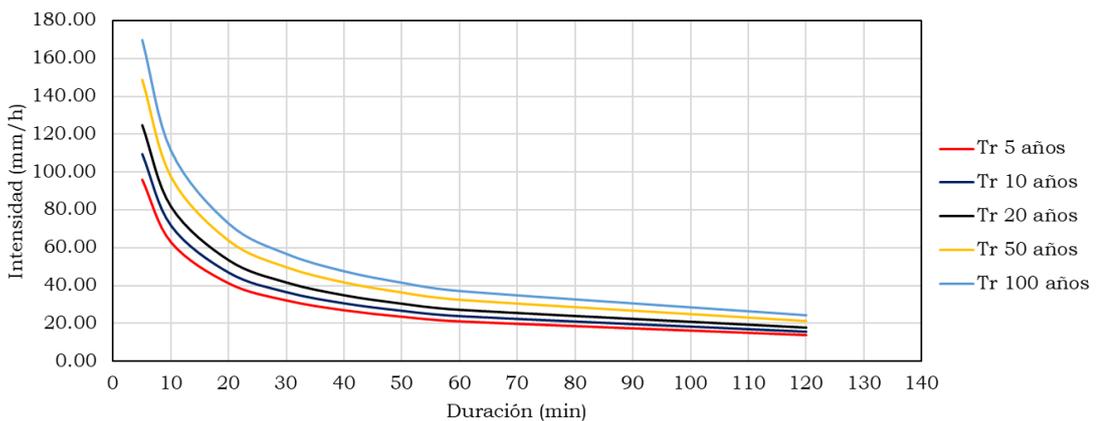


Figura 4.15. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.4. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la

estación Chanlud aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	63,03	44,48	31,40	25,61	22,16	19,81	18,07	12,76
10	68,11	48,07	33,93	27,67	23,94	21,40	19,53	13,78
20	73,60	51,94	36,66	29,90	25,87	23,13	21,10	14,89
50	81,53	57,55	40,61	33,13	28,67	25,62	23,38	16,50
100	88,10	62,18	43,89	35,79	30,98	27,69	25,26	17,83

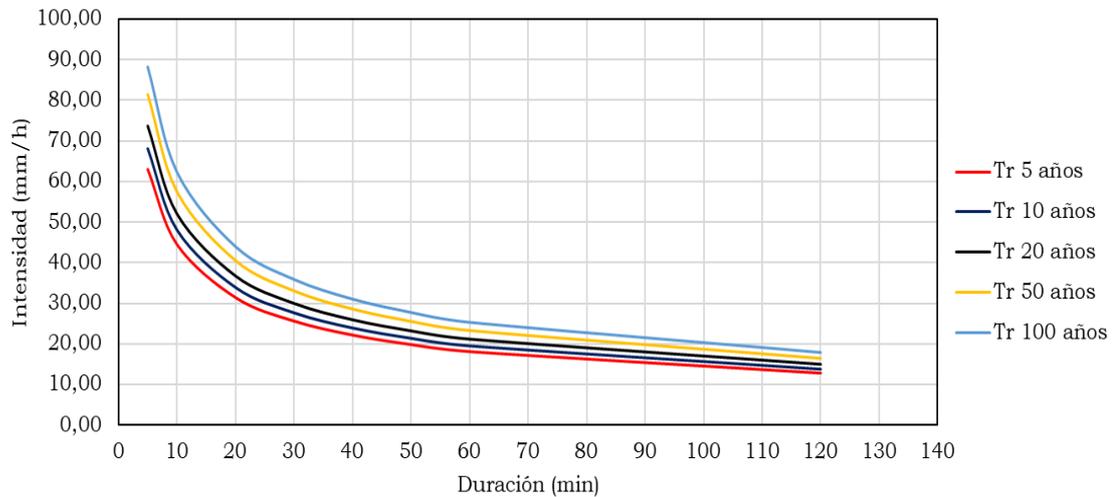


Figura 4.16. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.5. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación El Labrado aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	54,53	36,68	24,68	19,57	16,60	14,61	13,17	8,86
10	59,19	39,82	26,79	21,25	18,02	15,86	14,29	9,61
20	64,26	43,23	29,08	23,06	19,56	17,22	15,52	10,44
50	71,63	48,19	32,42	25,71	21,81	19,20	17,30	11,64
100	77,77	52,31	35,19	27,91	23,68	20,84	18,78	12,63

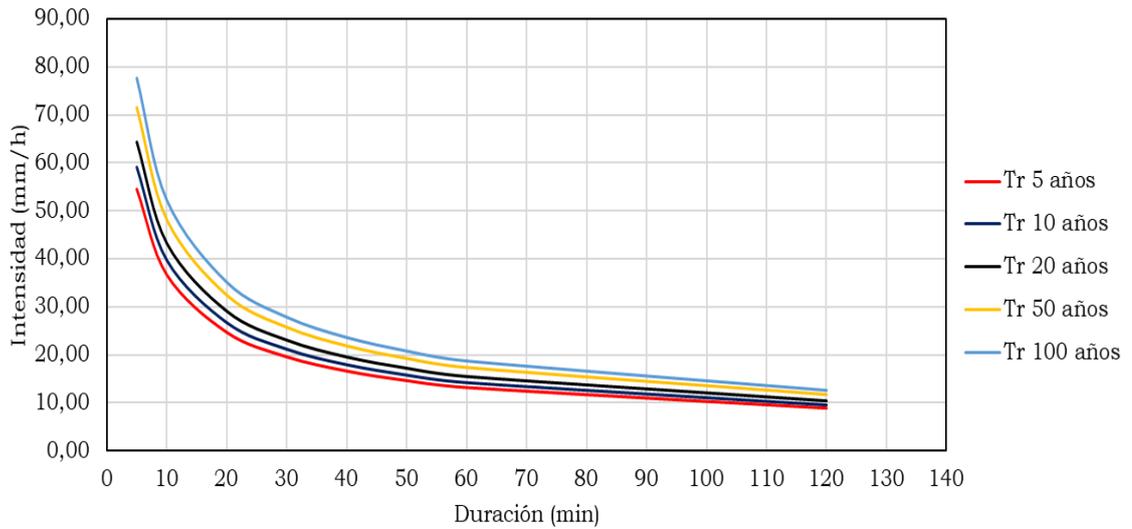


Figura 4.17. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenida con el método de regresión lineal múltiple

Tabla 4.6. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de regresión lineal múltiple

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	62,63	42,57	28,93	23,08	19,66	17,36	15,69	10,66
10	68,07	46,27	31,45	25,09	21,37	18,87	17,05	11,59
20	73,99	50,29	34,18	27,27	23,23	20,52	18,53	12,60
50	82,62	56,15	38,16	30,45	25,94	22,91	20,69	14,07
100	89,80	61,04	41,48	33,10	28,20	24,90	22,49	15,29

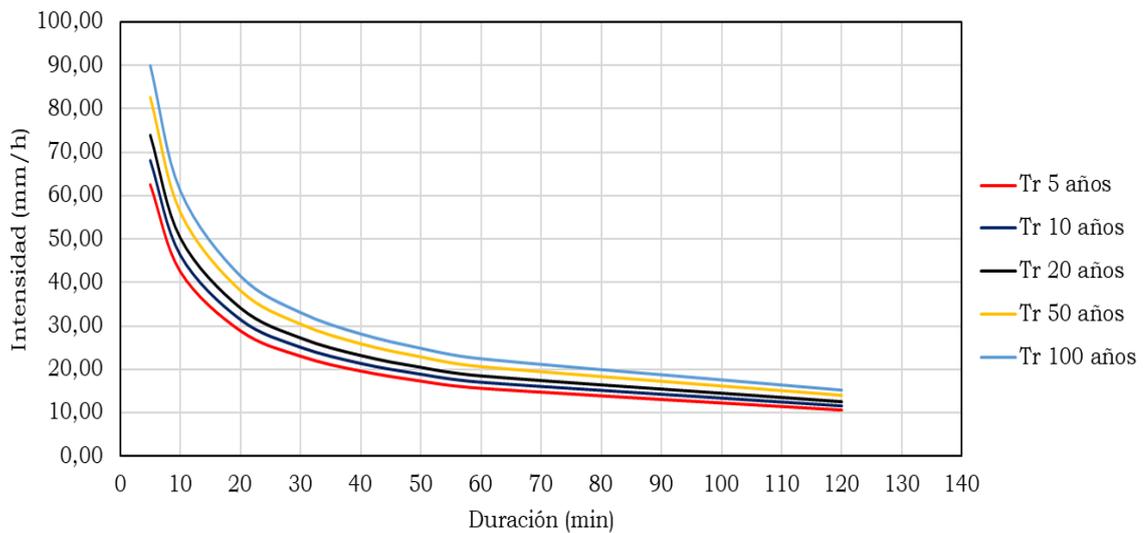


Figura 4.18. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenida con el método de regresión lineal múltiple

Tabla 4.7. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	71,17	46,77	30,74	24,05	20,20	17,65	15,81	10,39
10	79,67	52,36	34,42	26,92	22,62	19,76	17,70	11,63
20	89,20	58,62	38,53	30,14	25,32	22,12	19,81	13,02
50	103,55	68,06	44,73	34,99	29,40	25,68	23,00	15,12
100	115,93	76,20	50,08	39,18	32,91	28,75	25,75	16,92

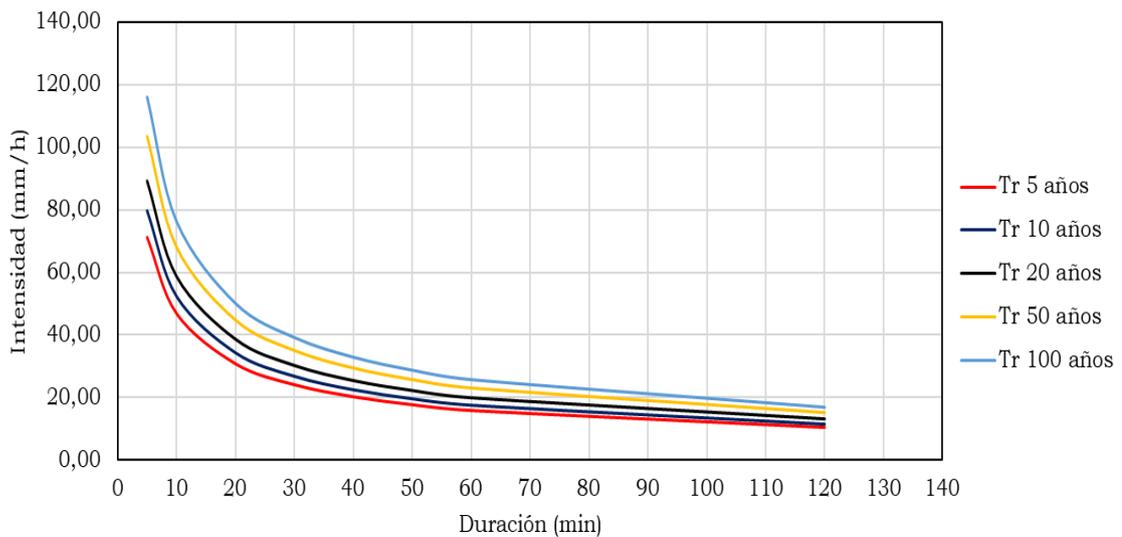


Figura 4.19. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.8. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de regresión lineal múltiple

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	89,59	55,50	34,38	25,98	21,30	18,26	16,10	9,97
10	100,81	62,46	38,69	29,24	23,97	20,55	18,11	11,22
20	113,44	70,28	43,54	32,90	26,97	23,12	20,38	12,63
50	132,60	82,15	50,89	38,46	31,53	27,02	23,83	14,76
100	149,22	92,44	57,27	43,28	35,48	30,41	26,81	16,61

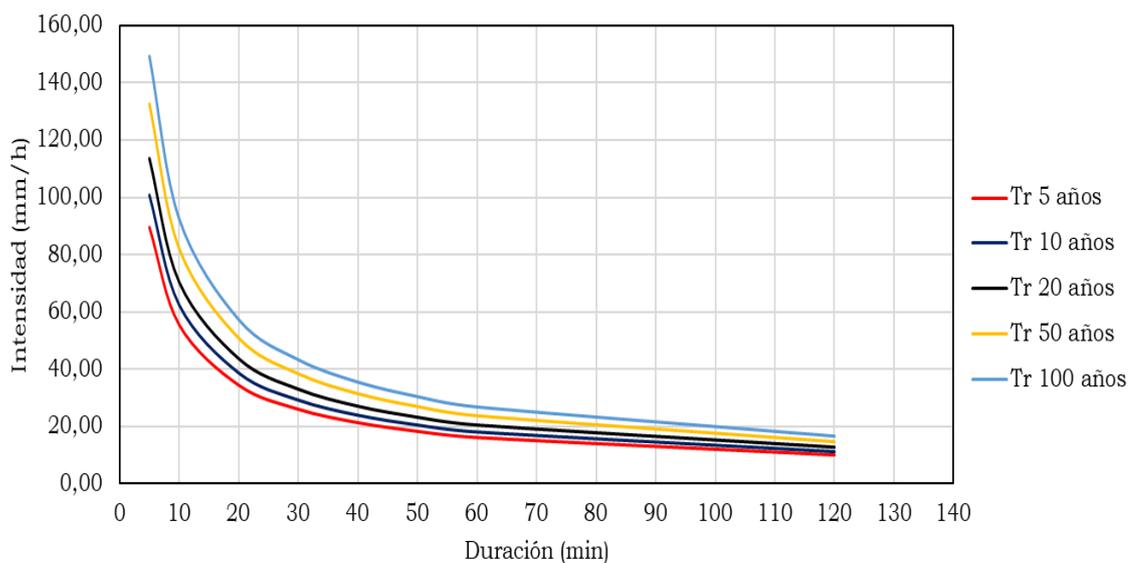


Figura 4.20. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Narancay obtenida con el método de regresión lineal múltiple

Tabla 4.9. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de regresión lineal múltiple

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	73,98	51,08	35,26	28,39	24,35	21,61	19,60	13,53
10	81,46	56,24	38,83	31,26	26,81	23,79	21,58	14,90
20	89,68	61,92	42,75	34,42	29,51	26,19	23,76	16,41
50	101,84	70,31	48,54	39,09	33,51	29,75	26,98	18,63
100	112,13	77,41	53,45	43,03	36,90	32,75	29,71	20,51

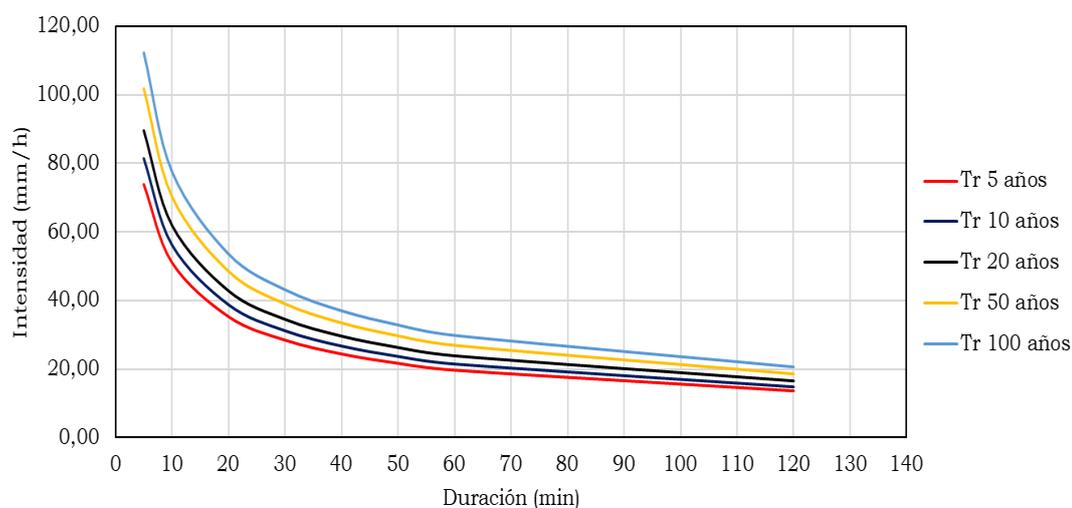


Figura 4.21. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.10. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de regresión lineal múltiple

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	72,99	54,10	40,09	33,65	29,71	26,98	24,94	18,48
10	83,23	61,68	45,72	38,37	33,88	30,77	28,44	21,07
20	94,91	70,34	52,13	43,75	38,63	35,08	32,42	24,03
50	112,89	83,67	62,01	52,04	45,96	41,73	38,57	28,58
100	128,73	95,41	70,71	59,34	52,40	47,59	43,98	32,60

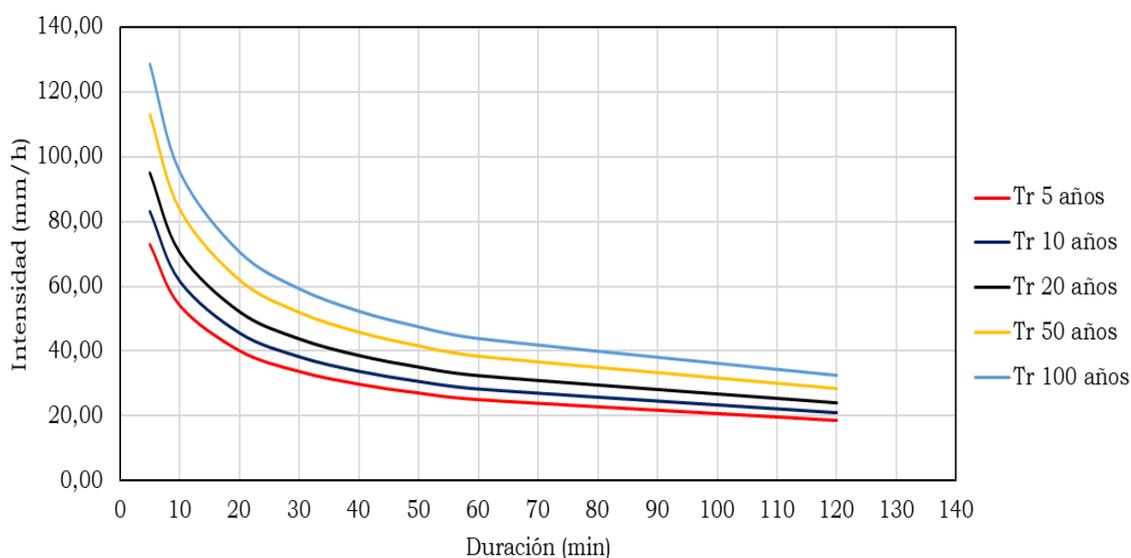


Figura 4.22. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.11. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de regresión lineal múltiple

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	120,45	77,66	50,07	38,73	32,28	28,03	24,97	16,10
10	134,41	86,66	55,88	43,22	36,03	31,28	27,87	17,97
20	150,00	96,71	62,36	48,24	40,20	34,91	31,10	20,05
50	173,42	111,81	72,09	55,77	46,48	40,35	35,95	23,18
100	193,53	124,78	80,45	62,23	51,87	45,03	40,12	25,87

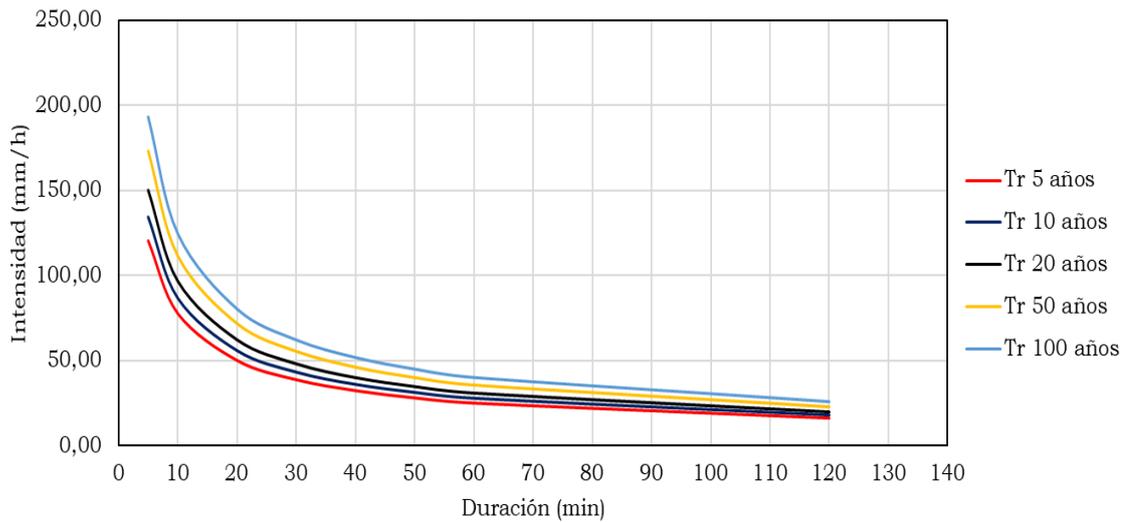


Figura 4.23. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.12. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Totoracocha aplicando el método de regresión lineal múltiple

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	134,47	76,44	43,45	31,22	24,70	20,59	17,75	10,09
10	150,65	85,63	48,67	34,98	27,67	23,07	19,88	11,30
20	168,78	95,93	54,53	39,19	31,00	25,84	22,27	12,66
50	196,13	111,48	63,37	45,53	36,02	30,03	25,88	14,71
100	219,72	124,89	70,99	51,01	40,35	33,64	29,00	16,48

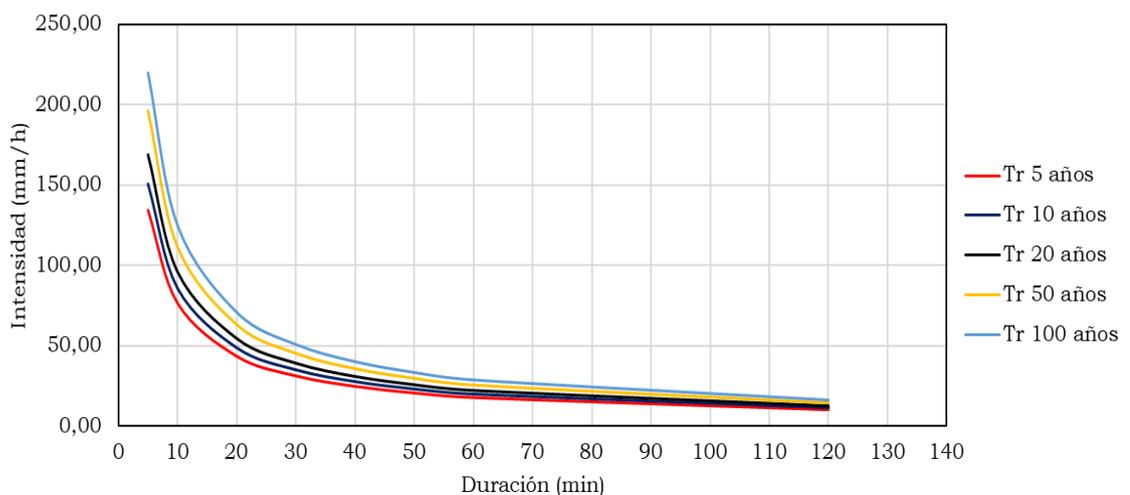


Figura 4.24. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

Tabla 4.13. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de regresión lineal múltiple

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5	10	20	30	40	50	60	120
5	137,60	80,28	46,84	34,17	27,33	22,97	19,94	11,63
10	157,83	92,08	53,72	39,20	31,34	26,35	22,87	13,34
20	181,04	105,62	61,62	44,96	35,95	30,23	26,23	15,30
50	217,03	126,62	73,87	53,90	43,10	36,23	31,45	18,35
100	248,94	145,24	84,73	61,82	49,44	41,56	36,07	21,04

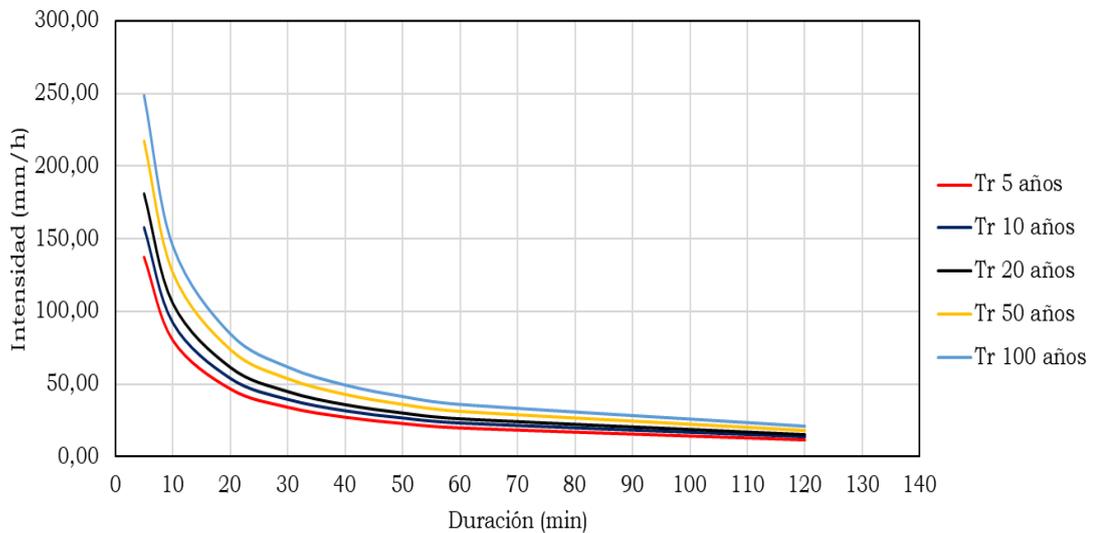


Figura 4.25. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Yanuncay obtenida con el método de regresión lineal múltiple.

4.2.2. Expresiones matemáticas y curvas obtenidas con Método de Talbot

A continuación, se muestran las ecuaciones obtenidas aplicando el método de Talbot, conjuntamente se enseñan las tablas y las gráficas de las curvas IDF sintéticas conseguidas a partir de precipitaciones máximas. De la Tabla 4.14 a la Tabla 4.36 se muestran los valores de intensidad de precipitación estimados con la ecuación propuesta ajustada para cada una de las estaciones.

$$i_{max} = \frac{a}{b+D} \quad (43)$$

Tabla 4.14. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1770,28	13,25
10	1892,88	11,70
20	2011,81	10,55
50	2167,15	9,40
100	2284,35	8,71

Tabla 4.15. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Cebollar aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	97,00	76,14	53,24	40,93	33,24	27,99	24,17	13,29
10	113,34	87,22	59,71	45,39	36,61	30,68	26,40	14,37
20	129,37	97,90	65,85	49,61	39,80	33,23	28,52	15,41
50	150,53	111,73	73,72	55,01	43,87	36,49	31,23	16,75
100	166,60	122,08	79,56	59,01	46,90	38,91	33,25	17,75

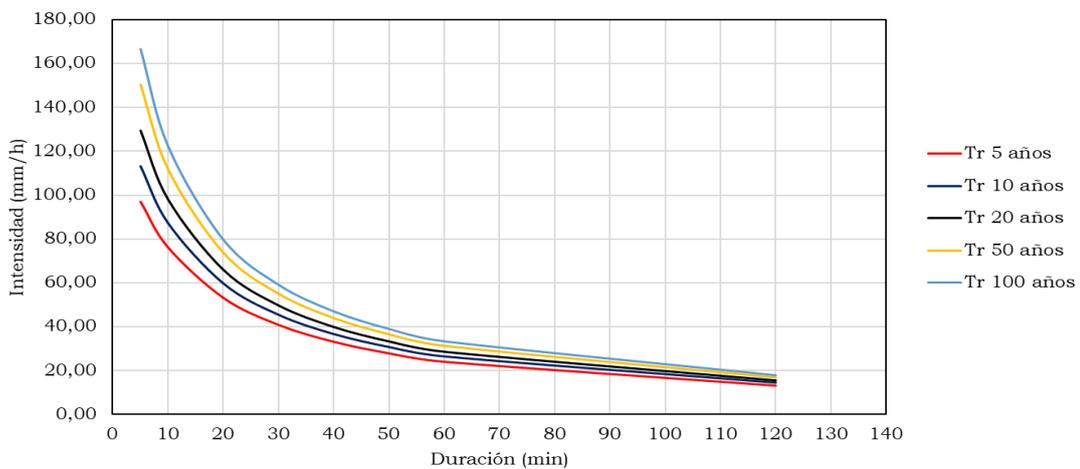


Figura 4.26. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.16. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1690,68	18,88
10	1958,73	17,67
20	2217,47	16,88
50	2553,73	16,18
100	2806,33	15,79

Tabla 4.17. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Challuabamba aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	70,81	58,55	43,49	34,59	28,72	24,55	21,43	12,17
10	86,42	70,80	52,00	41,09	33,97	28,95	25,22	14,23
20	101,33	82,49	60,12	47,30	38,98	33,15	28,84	16,20
50	120,58	97,55	70,59	55,30	45,46	38,59	33,52	18,75
100	134,98	108,81	78,41	61,29	50,30	42,66	37,03	20,67

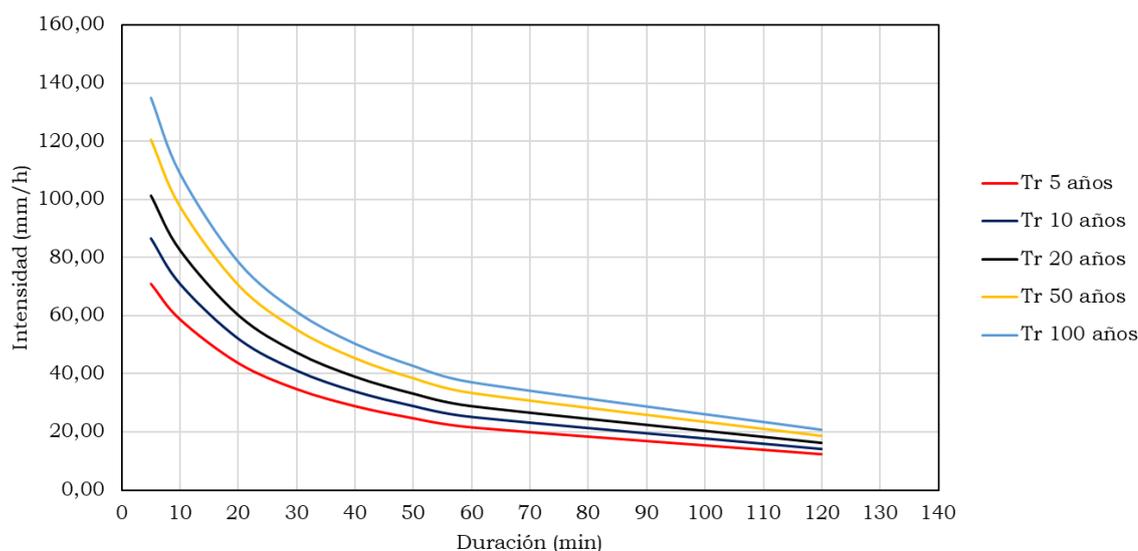


Figura 4.27. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.18. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1444,67	20,21
10	1596,44	20,65
20	1742,44	21,02
50	1931,89	21,46
100	2074,16	21,75

Tabla 4.19. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Chanlud aplicando el método de método de Talbot.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	57,30	47,82	35,93	28,77	23,99	20,58	18,01	10,30
10	62,25	52,09	39,28	31,52	26,32	22,60	19,80	11,35
20	66,96	56,17	42,48	34,15	28,55	24,53	21,51	12,36
50	73,02	61,41	46,60	37,54	31,43	27,04	23,72	13,66
100	77,53	65,32	49,68	40,08	33,59	28,91	25,37	14,63

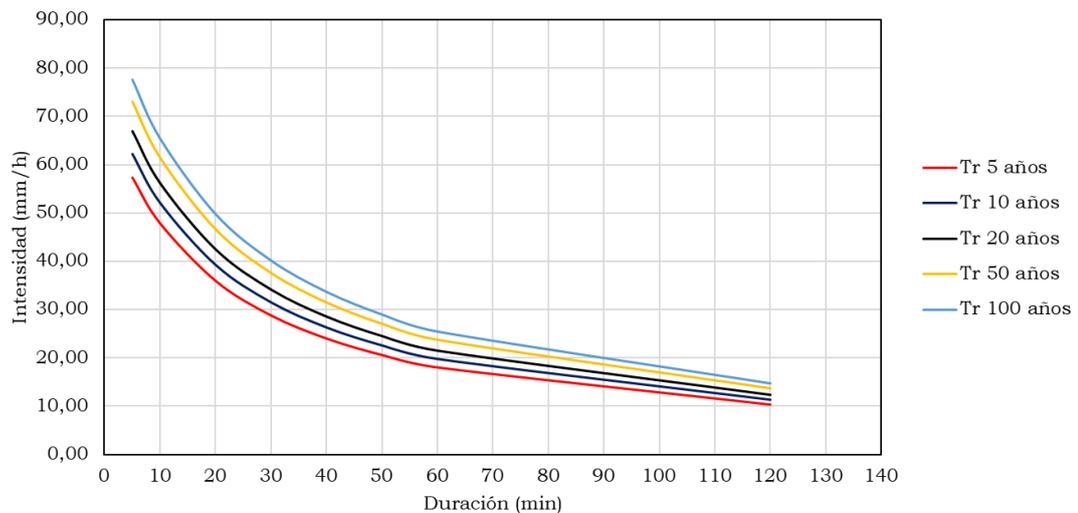


Figura 4.28. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.20. Coeficientes a y b correspondientes a la estación El Labrador aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1098,17	22,86
10	1206,70	21,95
20	1310,80	21,25
50	1445,54	20,51
100	1546,50	20,05

Tabla 4.21. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación El Labrado aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	39,41	33,42	25,62	20,77	17,47	15,07	13,25	7,69
10	44,77	37,77	28,76	23,23	19,48	16,77	14,72	8,50
20	49,94	41,95	31,78	25,58	21,40	18,40	16,13	9,28
50	56,67	47,38	35,68	28,62	23,89	20,50	17,95	10,29
100	61,73	51,46	38,61	30,90	25,75	22,08	19,32	11,04

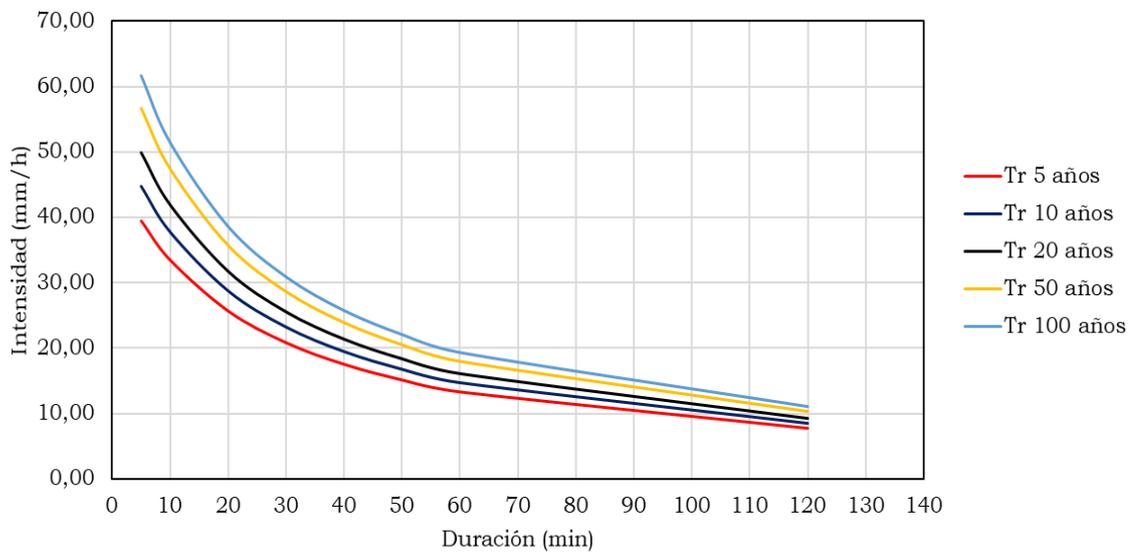


Figura 4.29. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.22. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1479,71	30,26
10	1566,10	26,90
20	1651,50	24,41
50	1764,47	21,90
100	1850,38	20,39

Tabla 4.23. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Huizhil aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	41,97	36,75	29,44	24,56	21,06	18,44	16,39	9,85
10	49,09	42,44	33,39	27,52	23,41	20,37	18,02	10,66
20	56,16	48,00	37,19	30,35	25,64	22,20	19,57	11,44
50	65,60	55,32	42,11	34,00	28,51	24,54	21,54	12,43
100	72,87	60,88	45,81	36,72	30,64	26,29	23,02	13,18

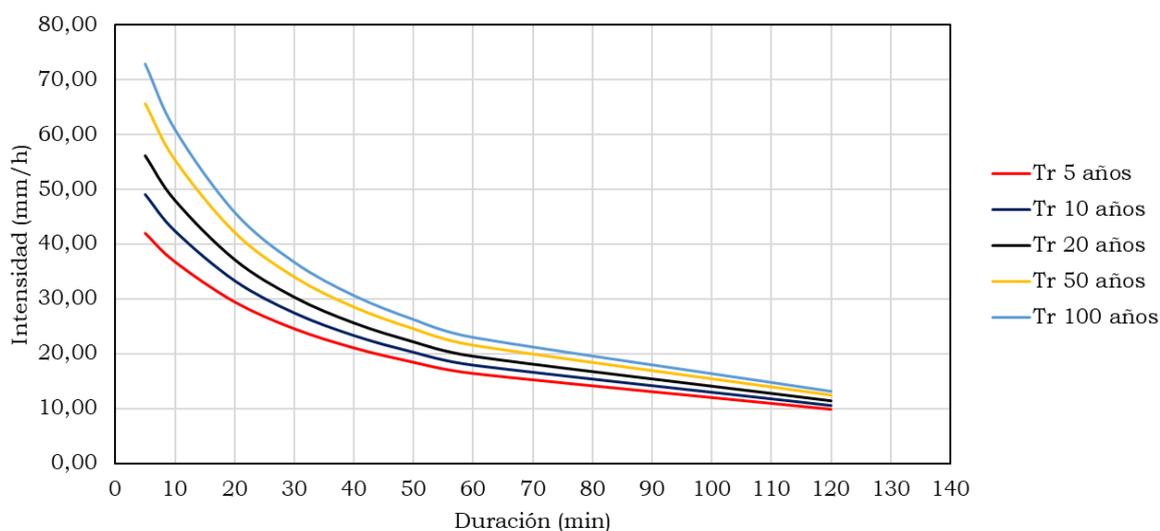


Figura 4.30. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.24. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1435,97	24,94
10	1647,43	24,87
20	1850,45	24,84
50	2113,38	24,83
100	2310,47	24,83

Tabla 4.25. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Matadero Sayausi aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	47,95	41,09	31,95	26,13	22,11	19,16	16,90	9,91
10	55,15	47,24	36,71	30,02	25,40	22,00	19,41	11,37
20	62,01	53,11	41,27	33,74	28,54	24,73	21,81	12,78
50	70,86	60,69	47,15	38,55	32,60	28,24	24,91	14,59
100	77,47	66,34	51,54	42,14	35,64	30,88	27,24	15,95

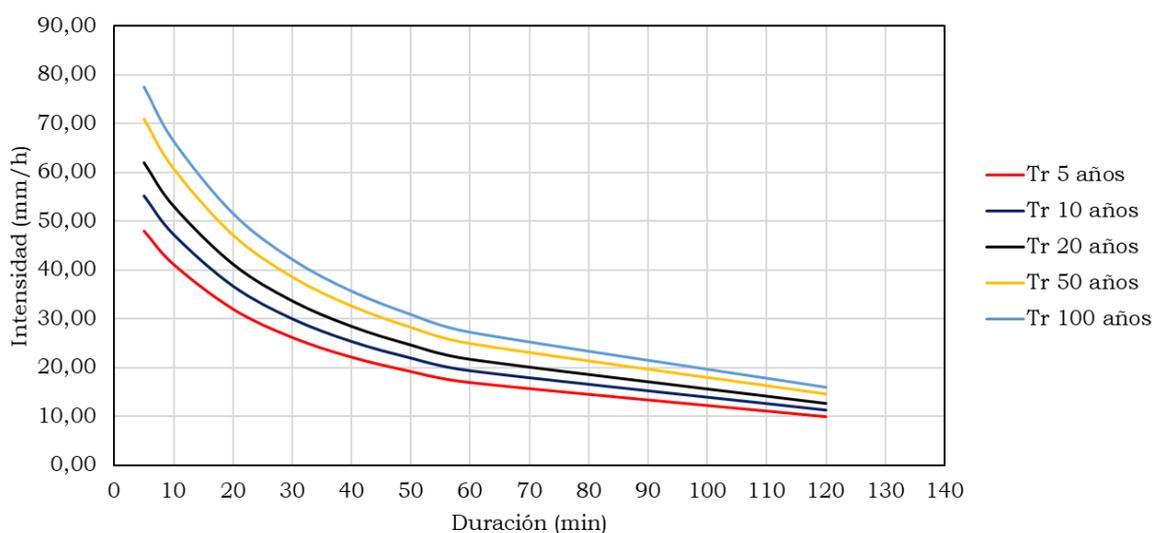


Figura 4.31. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.26. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1347,47	18,50
10	1533,70	17,77
20	1728,60	16,13
50	1946,74	16,84
100	2122,03	16,59

Tabla 4.27. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Narancay aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	57,33	47,28	35,00	27,78	23,03	19,67	17,16	9,73
10	67,34	55,22	40,60	32,10	26,55	22,63	19,72	11,13
20	81,80	66,15	47,84	37,47	30,80	26,14	22,71	12,70
50	89,12	72,52	52,84	41,56	34,25	29,12	25,33	14,23
100	98,27	79,79	57,99	45,54	37,50	31,87	27,70	15,54

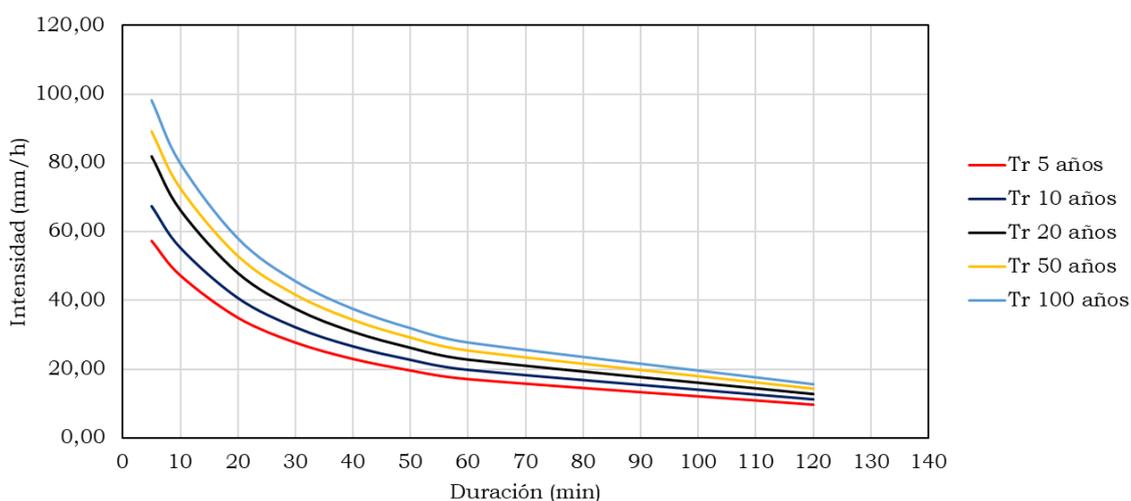


Figura 4.32. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Narancay obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.28. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1804,68	28,48
10	2125,03	31,26
20	2432,01	33,43
50	2828,89	35,71
100	3148,55	38,42

Tabla 4.29. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ricaurte aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	53,90	46,90	37,22	30,86	26,35	22,99	20,40	12,15
10	58,60	51,50	41,45	34,69	29,82	26,15	23,28	14,05
20	63,28	56,00	45,52	38,34	33,12	29,15	26,03	15,85
50	69,49	61,89	50,78	43,05	37,36	33,01	29,56	18,17
100	72,52	65,03	53,90	46,02	40,15	35,61	31,99	19,87

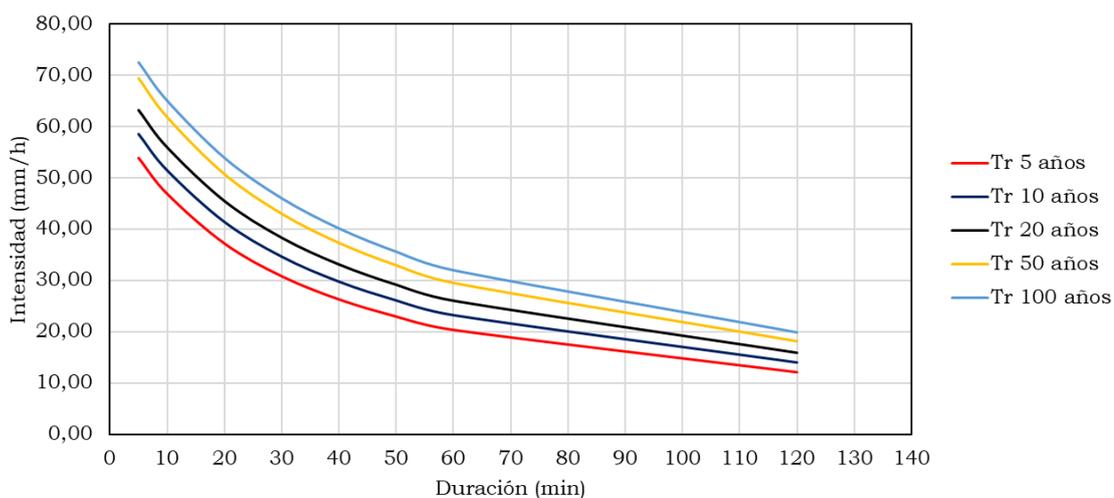


Figura 4.33. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.30. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	2691,34	43,86
10	3243,19	45,27
20	3773,56	46,31
50	4461,10	47,35
100	4976,86	47,97

Tabla 4.31. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Sayausi aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	55,08	49,97	42,14	36,44	32,09	28,67	25,91	16,42
10	64,51	58,68	49,69	43,09	38,03	34,04	30,81	19,62
20	73,54	67,01	56,91	49,45	43,72	39,18	35,50	22,69
50	85,22	77,79	66,24	57,67	51,07	45,82	41,56	26,66
100	93,95	85,85	73,22	63,83	56,57	50,80	46,09	29,63

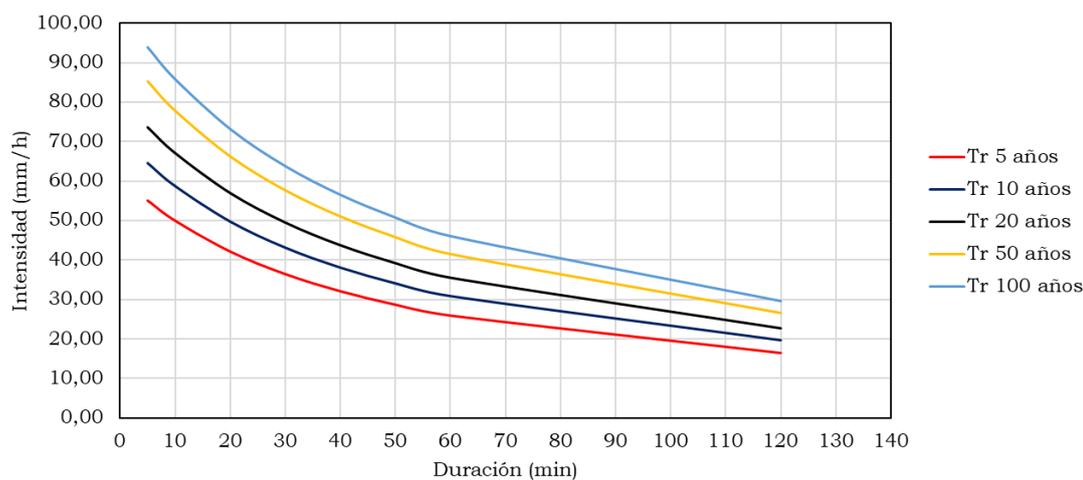


Figura 4.34. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.32. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	2298,80	25,42
10	2755,87	28,66
20	3191,14	31,15
50	3750,65	33,74
100	4167,47	35,32

Tabla 4.33. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Tixan aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	75,57	64,90	50,61	41,48	35,14	30,48	26,91	15,81
10	81,88	71,29	56,64	46,98	40,14	35,04	31,08	18,54
20	88,27	77,55	62,39	52,18	44,85	39,32	35,01	21,11
50	96,82	85,76	69,80	58,85	50,87	44,79	40,01	24,40
100	103,36	91,96	75,33	63,80	55,33	48,84	43,72	26,83

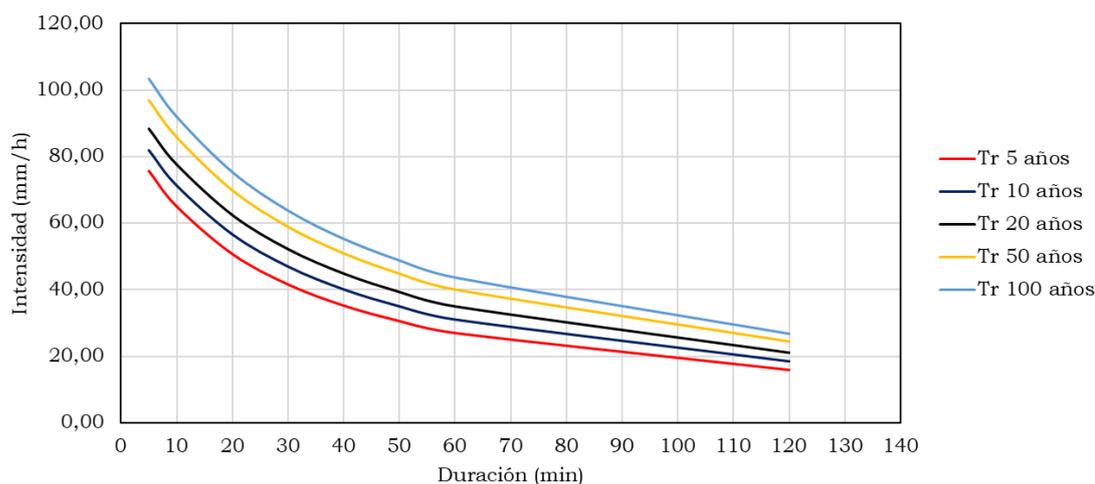


Figura 4.35. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.34. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Totoracocha aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1194,22	5,42
10	1268,45	2,79
20	1343,39	1,00
50	1443,55	-0,69
100	1520,10	-1,65

Tabla 4.35. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Totoracocha aplicando el método de Talbot.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	114,60	77,44	46,98	33,71	26,29	21,55	18,25	9,52
10	162,80	99,16	55,65	38,68	29,64	24,03	20,20	10,33
20	223,97	122,15	63,98	43,34	32,77	26,34	22,02	11,10
50	334,85	155,04	74,75	49,25	36,72	29,27	24,34	12,10
100	453,52	182,01	82,83	53,62	39,64	31,44	26,05	12,84

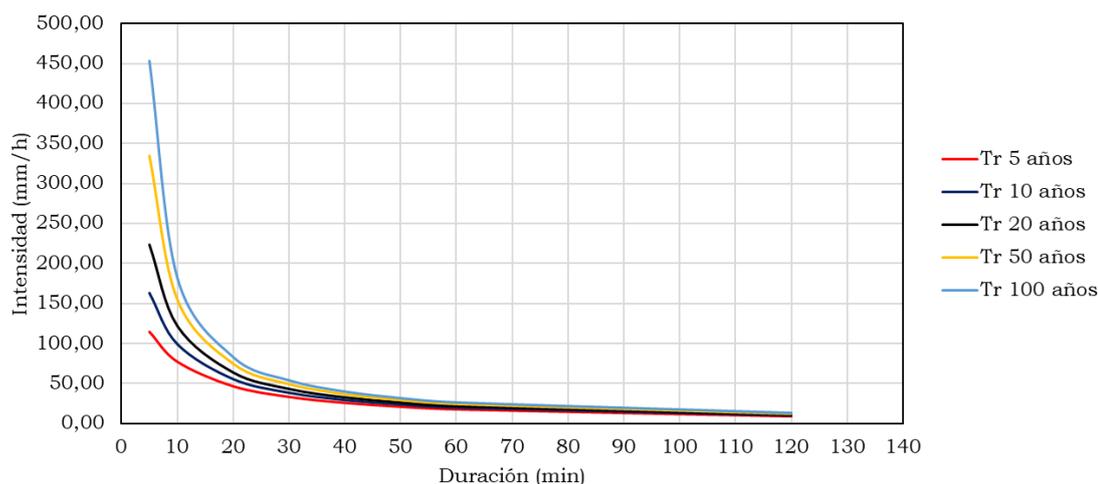


Figura 4.36. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.36. Coeficientes a y b correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de Talbot

Tr	a	b
5	1445,83	9,61
10	1597,65	6,69
20	1747,06	4,76
50	1943,41	3,00
100	2091,86	2,02

Tabla 4.37. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Yanuncay aplicando el método de regresión lineal múltiple.

Tr	Intensidad Máxima (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	98,96	73,73	48,83	36,50	29,14	24,26	20,77	11,16
10	136,69	95,74	59,86	43,55	34,22	28,18	23,96	12,61
20	178,93	118,33	70,55	50,25	39,03	31,90	26,98	14,00
50	242,91	149,49	84,49	58,89	45,20	36,67	30,85	15,80
100	298,14	174,08	95,01	65,34	49,79	40,22	33,73	17,14

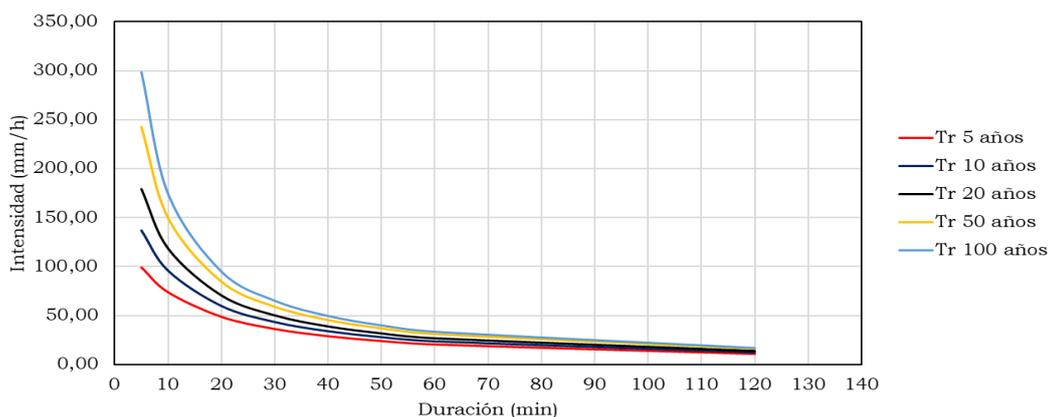


Figura 4.37. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Yanuncay obtenida con el método de Talbot.

Tabla 4.38. Coeficientes de correlación de las curvas obtenidas con el método de Talbor

Estación	R²
Cebollar	0,93
Chauhuabamba	0,89
Chanlud	0,98
El labrado	0,99
Huizhill	0,93
Matadero Sayausi	0,89
Narancay	0,89
Ricaurte	0,93
Sayausi	0,93
Tixan	0,80
Totoracocha	0,96
Yanuncay	0,96

Al momento de calcular las ecuaciones de intensidad en función del periodo de retorno y la duración con el método de Talbot, en el intervalo de 5 a 120 minutos, se obtiene valores de R^2 de por encima de 0.80. Aunque existen estaciones en las cuales se aprecia un coeficiente de correlación cercano a la unidad como es el caso de la estación el Labrado.

4.2.3. Expresiones matemáticas y curvas derivadas del método de regresión lineal múltiple a partir de datos obtenidos con el índice de tormenta.

En el siguiente numeral se muestran las ecuaciones derivadas a partir de las curvas obtenidas con el índice de tormenta, conjuntamente con el método de regresión lineal

múltiple. De la Tabla 4.14 a la Tabla 4.36 se muestran los valores de intensidad de precipitación estimados con la ecuación propuesta ajustada para cada una de las estaciones.

Tabla 4.39. Ecuaciones de Intensidad en función de la duración y periodo de retorno (Índice de tormenta)

Estación	Ecuación				R ²		
Guangarchucho	i=	190,45	T	0,1604	t	-0,6101	0,9642
Izhcayrumi	i=	69,83	T	0,1169	t	-0,5165	0,916
Machangara	i=	97,61	T	0,1299	t	-0,5840	0,9695
Soldados	i=	166,45	T	0,1201	t	-0,5575	0,9829
Ucubamba	i=	264,74	T	0,1005	t	-0,6326	0,9498
Ventanas	i=	429,66	T	0,1606	t	-0,8175	0,9661

Tabla 4.40. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Guangarchucho aplicando el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	92,36	60,51	39,64	30,95	25,97	22,67	20,28	13,29
10	103,22	67,62	44,30	34,59	29,03	25,33	22,66	14,85
20	115,35	75,57	49,51	38,66	32,44	28,31	25,33	16,59
50	133,62	87,54	57,35	44,78	37,57	32,79	29,34	19,22
100	149,33	97,83	64,10	50,05	41,99	36,65	32,79	21,48

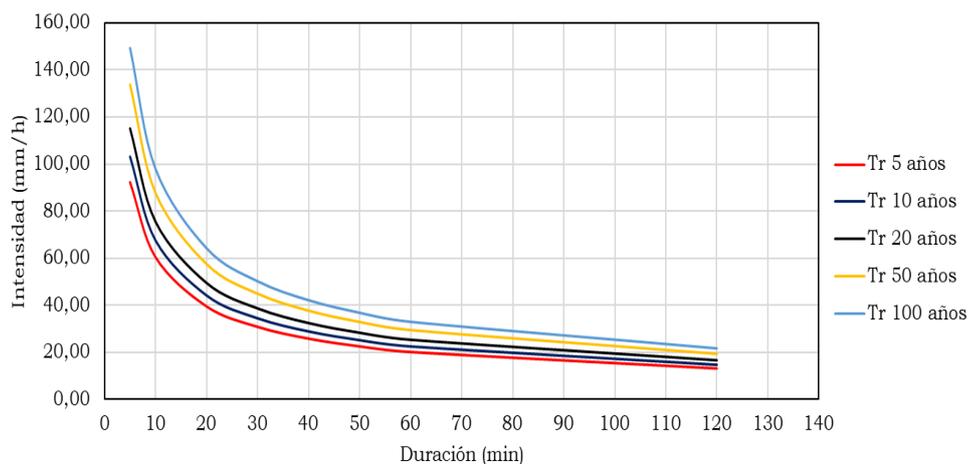


Figura 4.38. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Guangarchucho obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Tabla 4.41. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Izhcayrrumi aplicando el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	36.71	25.66	17.94	14.55	12.54	11.17	10.17	7.11
10	39.80	27.83	19.45	15.78	13.60	12.12	11.03	7.71
20	43.16	30.17	21.09	17.11	14.75	13.14	11.96	8.36
50	48.04	33.59	23.48	19.04	16.41	14.63	13.31	9.31
100	52.10	36.42	25.46	20.65	17.80	15.86	14.44	10.09

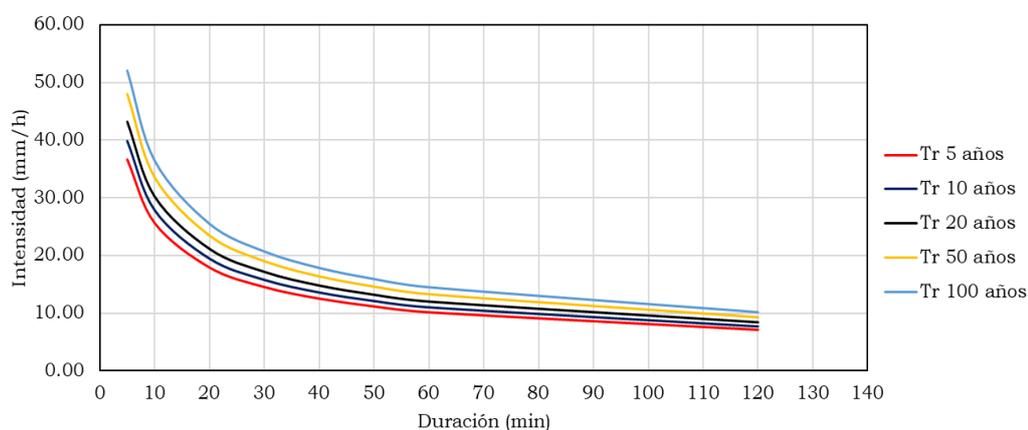


Figura 4.39. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Izhcayrrumi obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Tabla 4.42. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Machangara aplicando el método de regresión e índice de tormenta

Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
Tr	5	10	20	30	40	50	60	120
5	47.00	31.35	20.92	16.51	13.95	12.25	11.01	7.35
10	51.43	34.31	22.89	18.06	15.27	13.40	12.05	8.04
20	56.27	37.54	25.04	19.76	16.71	14.67	13.18	8.80
50	63.39	42.29	28.21	22.26	18.82	16.52	14.85	9.91
100	69.36	46.27	30.87	24.36	20.59	18.08	16.25	10.84

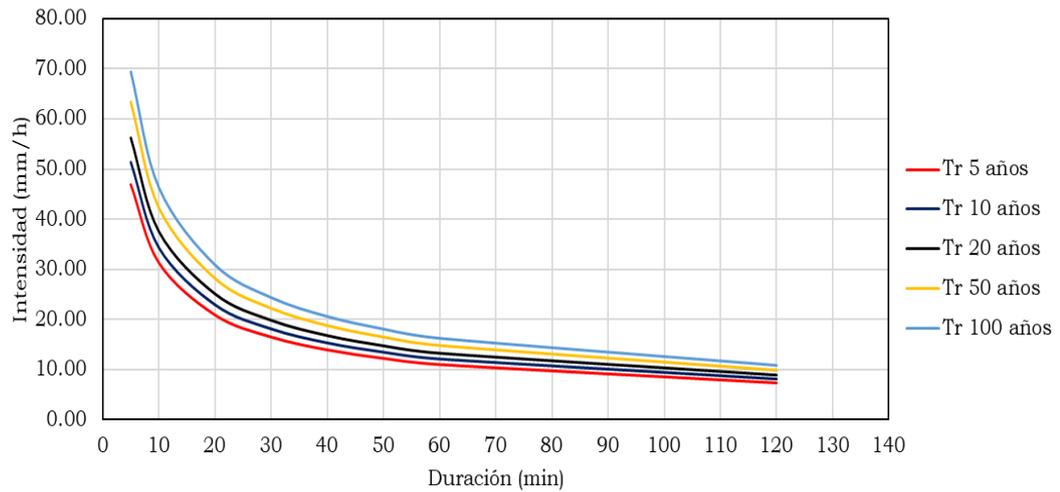


Figura 4.40. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Machangara obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Tabla 4.43. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Soldados aplicando el método de regresión e índice de tormenta

Tr	Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	82.33	55.94	38.01	30.32	25.83	22.81	20.60	14.00
10	89.48	60.80	41.31	32.95	28.07	24.79	22.39	15.21
20	97.24	66.08	44.90	35.81	30.51	26.94	24.33	16.53
50	108.56	73.76	50.12	39.98	34.06	30.07	27.17	18.46
100	117.98	80.17	54.47	43.45	37.01	32.68	29.52	20.06

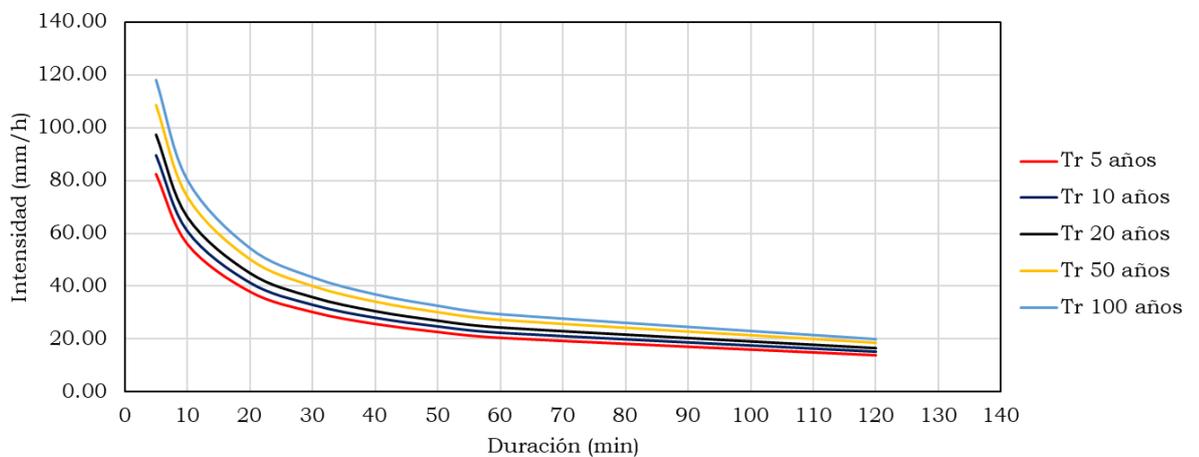


Figura 4.41. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la

estación Soldados obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Tabla 4.44. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ucubamba aplicando el método de regresión e índice de tormenta.

Tr	Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	112,43	72,52	46,78	36,19	30,17	26,20	23,35	15,06
10	120,54	77,75	50,15	38,80	32,35	28,09	25,03	16,14
20	129,24	83,36	53,77	41,60	34,68	30,12	26,84	17,31
50	141,71	91,40	58,96	45,62	38,03	33,02	29,42	18,98
100	151,93	98,00	63,21	48,91	40,77	35,40	31,55	20,35

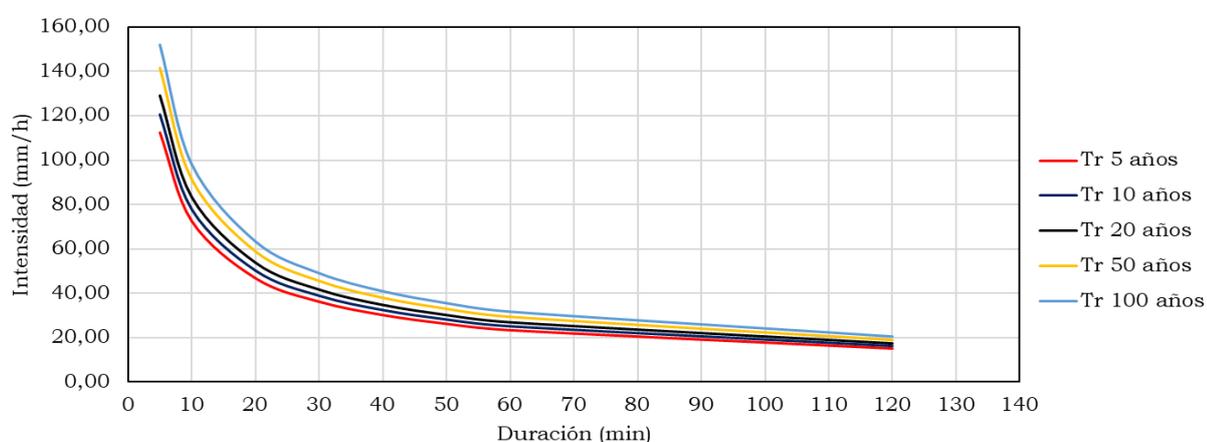


Figura 4.42. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ucubamba obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

Tabla 4.45. Valores de intensidad de precipitación estimada correspondientes a la estación Ventanas aplicando el método de regresión e índice de tormenta

Tr	Intensidad Máxima Método Gumbel (mm/hora)							
	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	149,27	84,70	48,06	34,50	27,27	22,72	19,58	11,11
10	166,85	94,67	53,72	38,56	30,48	25,40	21,88	12,42
20	186,49	105,82	60,05	43,10	34,07	28,39	24,46	13,88
50	216,06	122,60	69,56	49,94	39,47	32,89	28,34	16,08
100	241,50	137,03	77,76	55,82	44,12	36,76	31,67	17,97

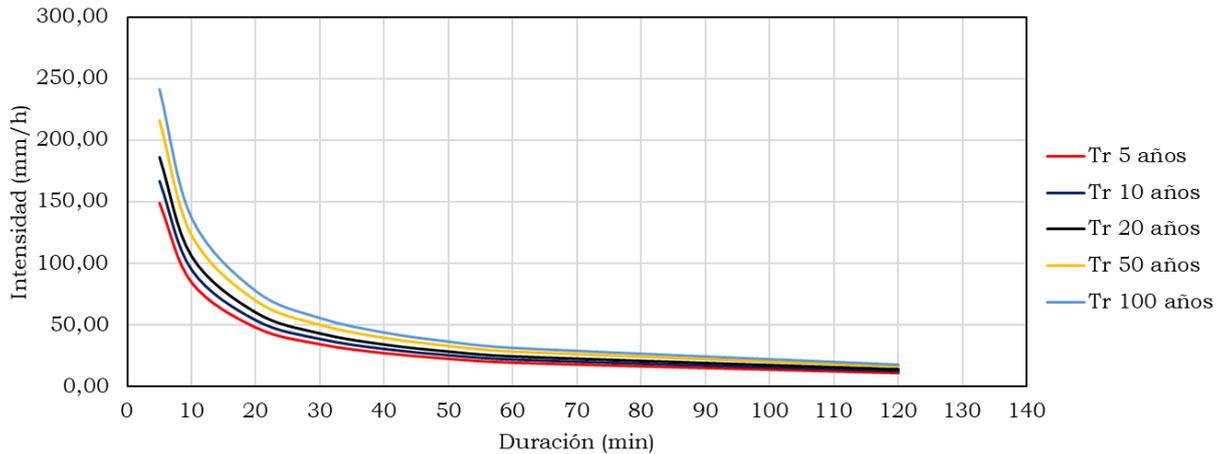


Figura 4.43. Curva IDF sintética a partir de precipitaciones máximas para la estación Ventanas obtenida con el método de regresión lineal múltiple e índice de tormenta.

4.3. Análisis entre los dos métodos con los hietogramas de intensidades.

Con las ecuaciones obtenidas en los numerales anteriores se determina la precipitación para un periodo de retorno de 5 años, luego se construye el hietograma con el método de bloques alternos, en el centro se coloca la precipitación con el valor más grande; a su derecha, se coloca la precipitación siguiente más grande; a la izquierda, la del tercer valor más lluvioso; y así sucesivamente hasta terminar con los intervalos del hietograma. Para comparar los resultados obtenidos con el método de regresión lineal múltiple y el método de Talbot a partir del hietograma de precipitación, se considera trabajar con una duración de tormenta de 70 minutos, con intervalos de 10 minutos. De acuerdo a Soulis et al., (2016) indican que la significancia estadística de las curvas IDF se logra analizando duraciones de tormenta para 10, 15 y 30 minutos, así como para tormentas de 1 y 24 horas de duración.

Al comprar la precipitación real con la precipitación obtenida por las curvas IDF se obtuvo un comportamiento similar entre las gráficas elaboradas por lo que se determinó que los valores de precipitación proyectados se ajustan a los valores registrados.

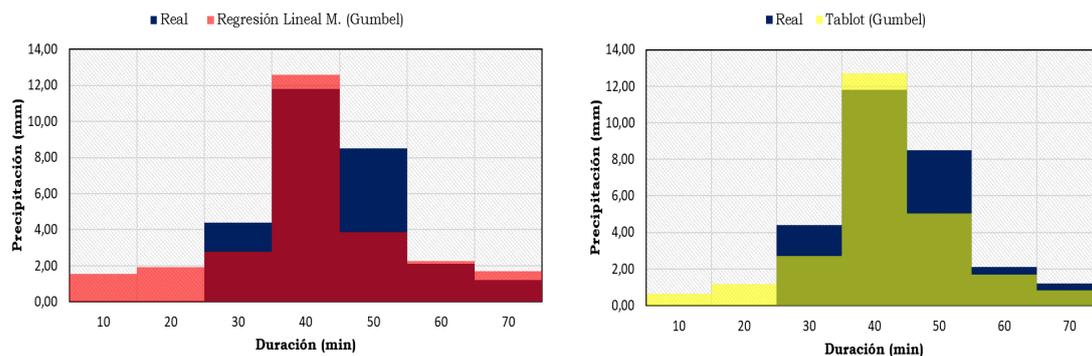


Figura 4.44. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Cebollar obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

En lo que respecta a la estación el Cebollar se aprecia que ambos métodos sobreestiman la precipitación máxima para un periodo de retorno de 5 años, por otra parte, las precipitaciones en los tiempos de 30 minutos y 60 minutos no son adecuadamente representadas observando diferencias entre los diagramas reales y obtenidos Figura 4.44.

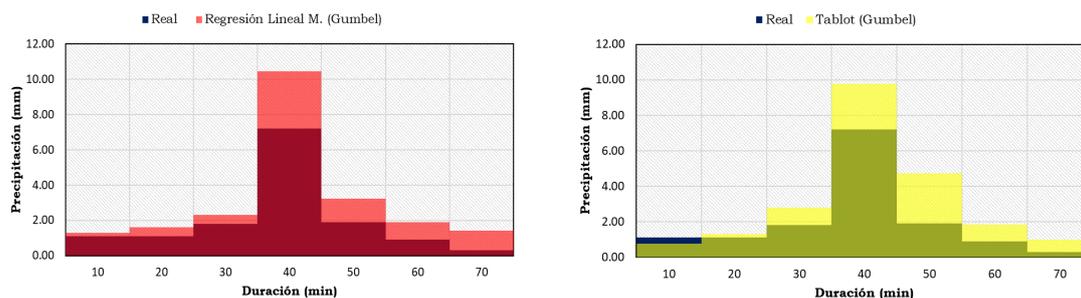


Figura 4.45. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Challuabamba obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

En la estación Chaulluabamba, se observa que los hietogramas sintéticos presentan un comportamiento similar al hietograma real, sin embargo, se evidencia que la precipitación máxima reportada para el periodo de retorno de 5 años es menor a los obtenidos con ambos métodos (Figura 4.45.).

La comparación de hietogramas de la estación Chanlud se muestra en la Figura 4.46. Se aprecia que el hietograma obtenido con el método de regresión lineal múltiple presenta un valor similar al observado en el hietograma de real, mientras que el método de Talbot presenta un valor mayor al observado.

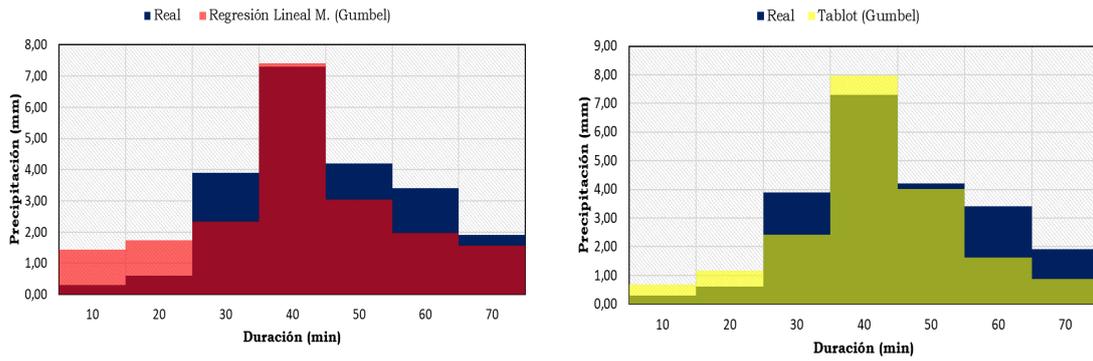


Figura 4.46. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Chanlud obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

La estación el labrado, se observa que los hietogramas sintéticos presentan un comportamiento similar al hietograma real, sin embargo, se evidencia que la precipitación máxima reportada en el hietograma real para el periodo de retorno de 5 años es menor a los obtenidos con ambos métodos (Figura 4.45).

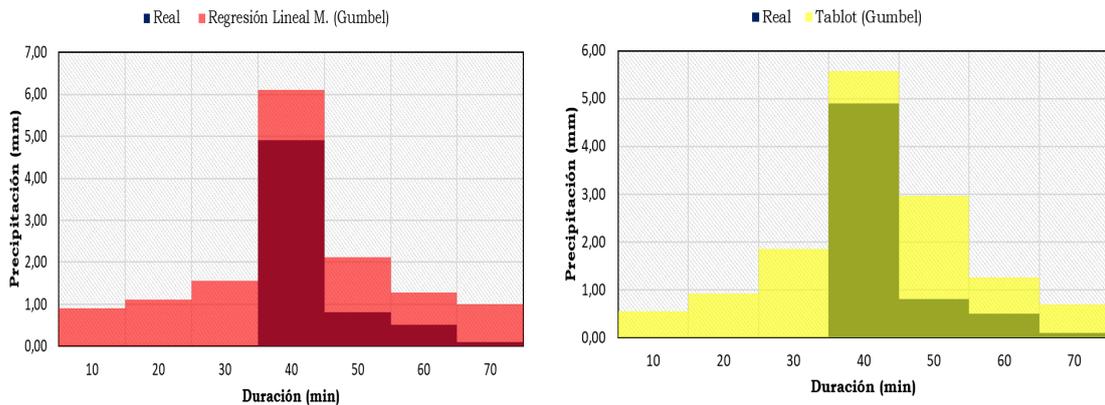


Figura 4.47. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación El Labrado obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

A Continuación, desde la Figura 4.48 hasta la Figura 4.51, se observa que los resultados obtenidos con el método de Talbot presentan un comportamiento bastante cercano al hidrograma real, presentando valores de precipitación máxima similares a los reportados en los registros de datos. Por otra parte, con el método de regresión lineal múltiple se observa una sobre estimación de la precipitación máxima.

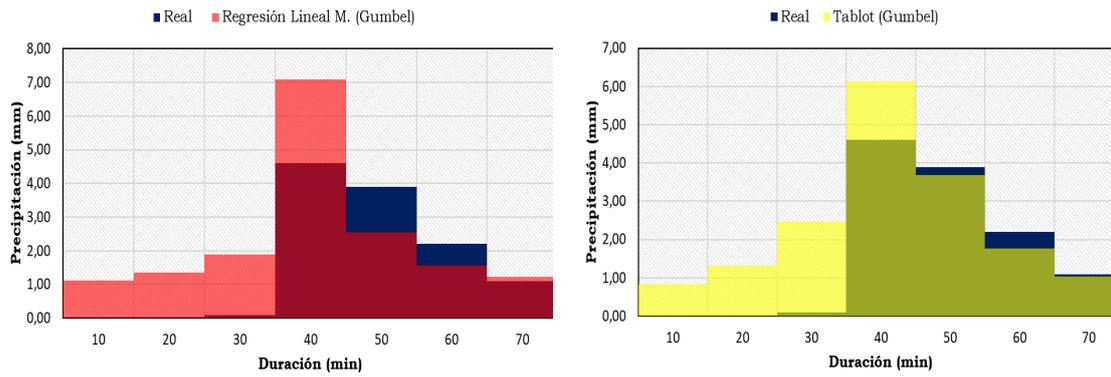


Figura 4.48. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Huizhil obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

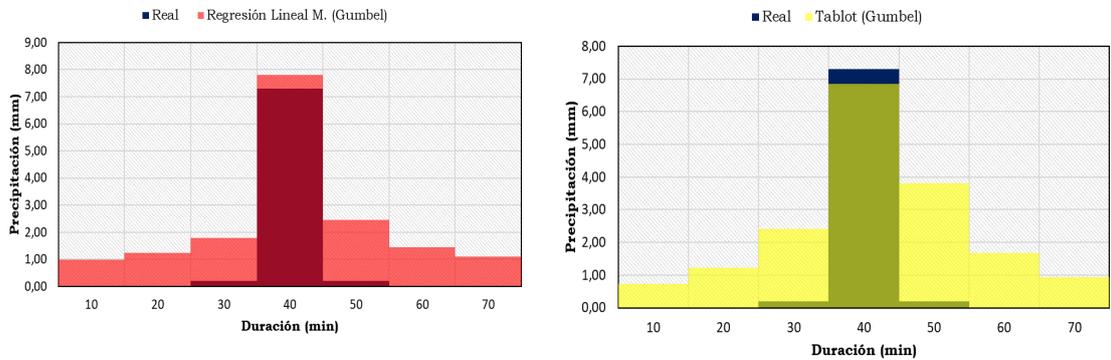


Figura 4.49. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Matadero Sayausi obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

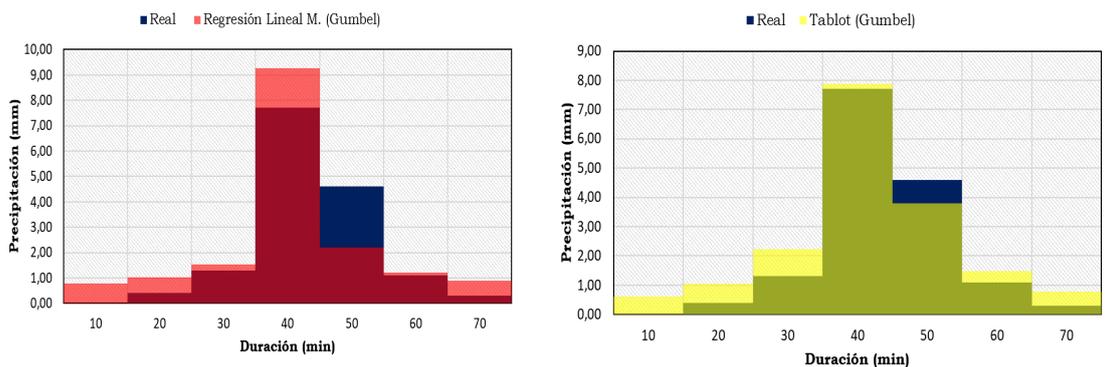


Figura 4.50. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Narancay obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot.

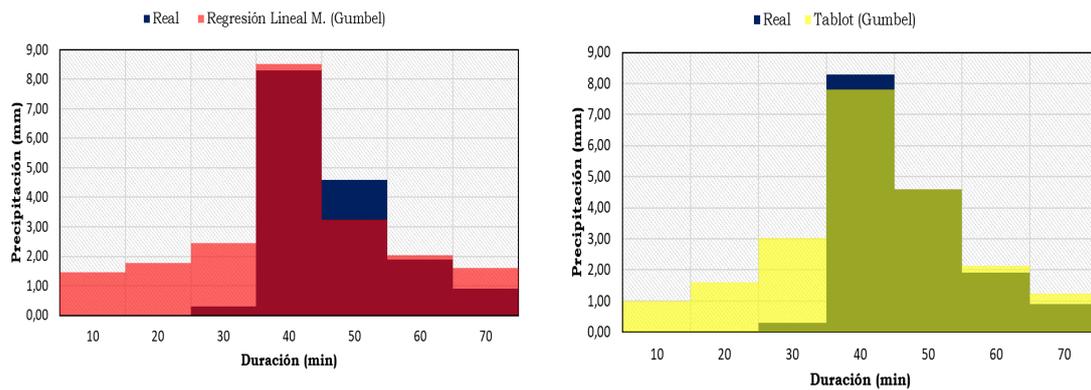


Figura 4.51. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Ricaurte obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot

Para la estación Sayausi, los hietogramas sintéticos determinados con los métodos analizados, subestiman la precipitación máxima reportada en el hidrograma real, aunque las precipitaciones para intervalos de 50, 60 y 70 minutos son similares.

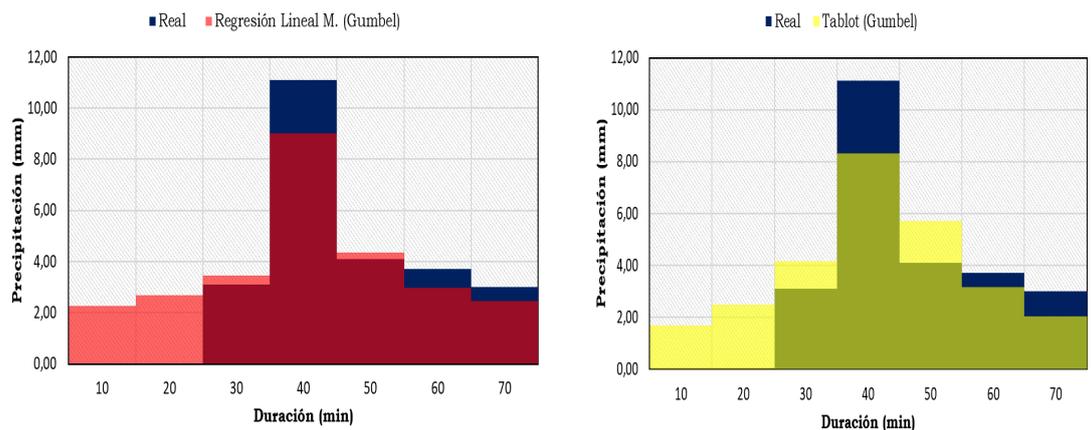


Figura 4.52. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Sayausi obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot

Finalmente, los hietogramas sintéticos de las estaciones Tixan, Totoracocha y Yanuncay presentan valor de precipitación máxima similar a hietograma real, a excepción de la estación Totoracocha, donde se observa que la precipitación máxima es sobre estimada.

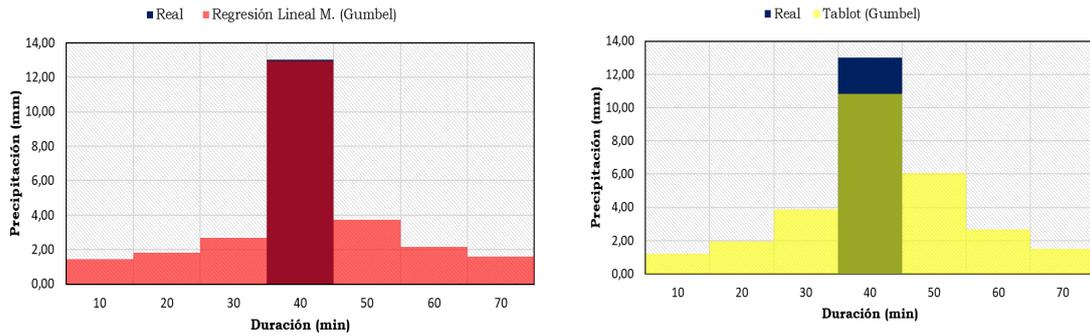


Figura 4.53. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Tixan obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot

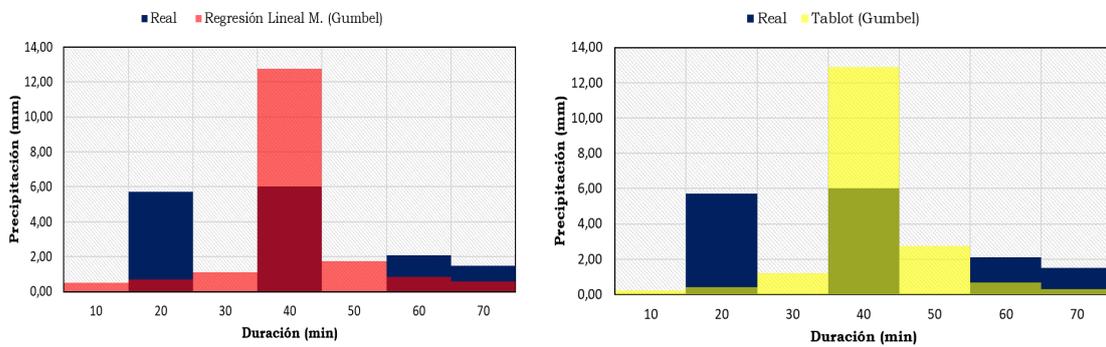


Figura 4.54. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Totoracocha obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot

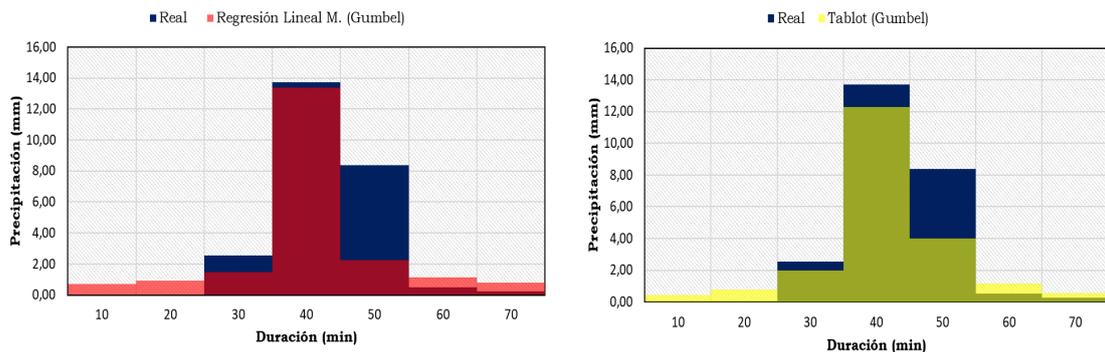


Figura 4.55. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Yanuncay obtenidos con los métodos de Regresión Lineal M. y Talbot

En general se observa que la mayoría de hidrogramas sintéticos tienen similitud con los hidrogramas reales reportados para el periodo de retorno de 5 años, sin embargo,

existen algunos casos en los que valores sobre estiman la precipitación máxima reportada, y en cambio la estación Sayausi subestima la precipitación.

4.4. Análisis de hietogramas obtenidos con el método de regresión lineal múltiple a partir de valores de intensidades determinado con el índice de tormenta

En el siguiente numeral se presentan la comparación de los hietogramas sintéticos determinados con el método de regresión lineal múltiple a través de intensidades máximas determinadas con el índice de tormenta. Para el análisis se considera solo los años con registro, sin embargo, existen estaciones que no coinciden con los años entre sí. Es decir, por un lado, tenemos estaciones con registros completos solo el año 2015, mientras que por otro solo existen estaciones con registros el año 2020. Para esto se establece que periodo de análisis que inicia desde el 2014 hasta el 2021.

Para la estación Guangarcucho, se cuenta con registro los años 2019 y 2020, al comparar el hietograma real con el sintético, se observa que la precipitación máxima estimada es similar a la precipitación máxima registrada. Aunque en algunos casos sobre estima el valor mientras que en otro sub estima.

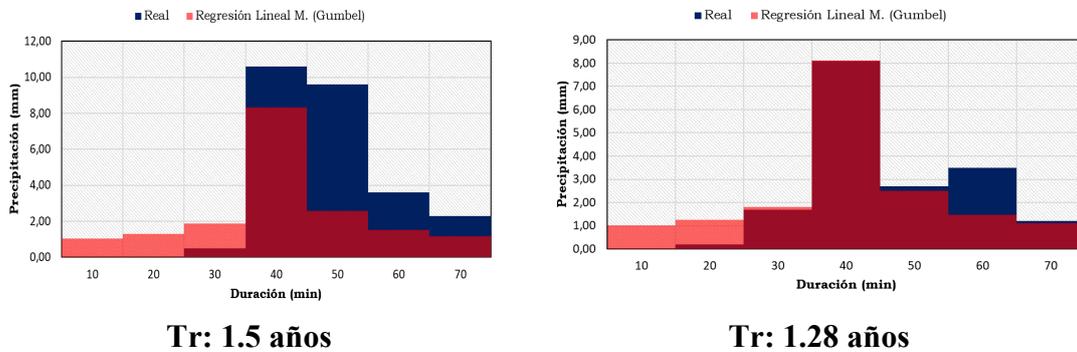
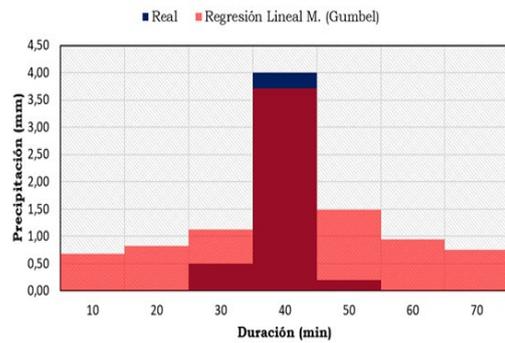
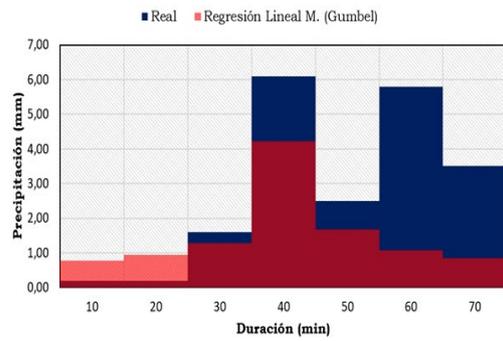


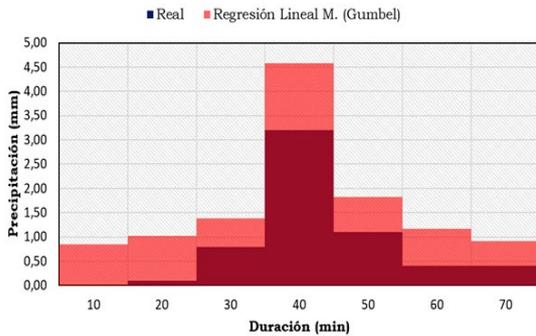
Figura 4.56. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Guangarcucho obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta



Tr: 1.5 años



Tr: 4.5 años

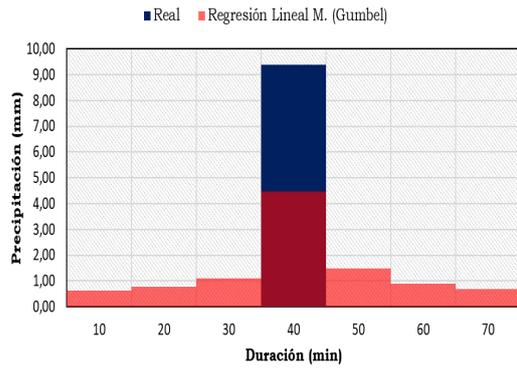


Tr: 9 años

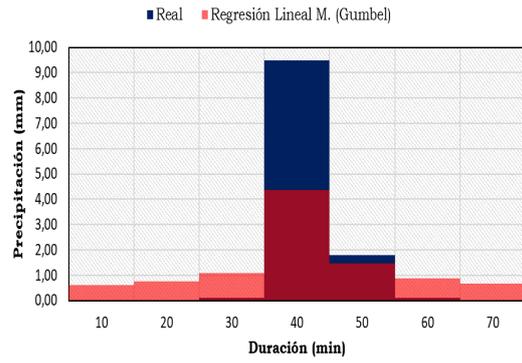
Figura 4.57. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Izhcayrrumi obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta

Por otra parte, la estación Izhcayrrumi presenta registros los años 2014, 2015 y 2019. Para el periodo de retorno de 1.5 años presenta un valor de precipitación máxima sintética semejante a la precipitación máxima registrada. Para el periodo de retorno de 4.5 años el hietograma no se representa adecuadamente al hietograma real, mientras que para el periodo de 9 años presenta una sobre estimación de la precipitación máxima.

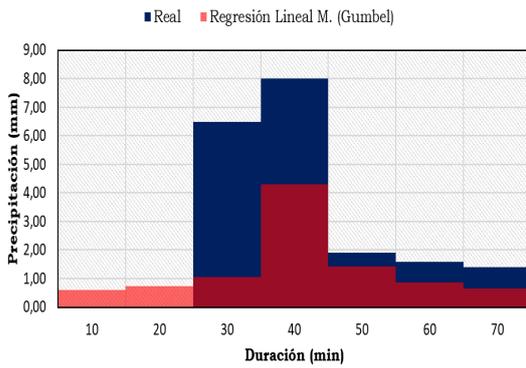
Siguiendo con el análisis, en la estación Machangara el hietograma sintético, no presenta ninguna relación con el hietograma real, se aprecia que la precipitación máxima es subestimada para los periodos de retorno de 1.5, 1.29 y 1.125 años. Es necesario recalcar que los años de registros para la estación Machángara presenta valores en los años 2019, 2020 y 2021.



Tr: 1.5 años



Tr: 1.29 años



Tr: 1.125 años

Figura 4.58. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Machangara obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta

Para la estación Soldados, solo se dispone registros del año 2019, el hietograma sintético representa adecuadamente la precipitación máxima para un periodo de retorno de 1.5 años.

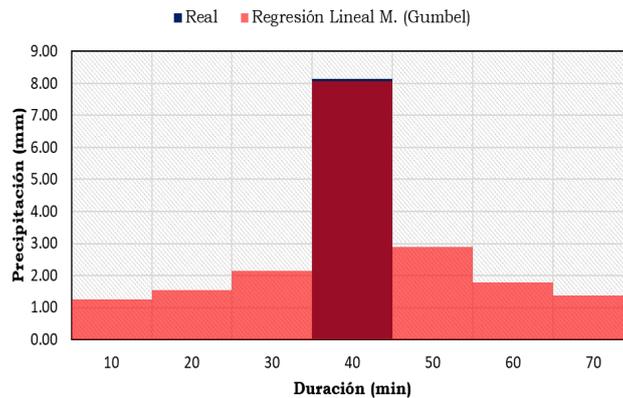


Figura 4.59. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Soldados obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta

En cambio, para la estación Ucubamba se observa que para los años 2015 y 2016 asociados a los periodos de retorno de 4.5 años y 3 años, se observa que en periodo de 4.5 años la precipitación máxima es semejante a la precipitación real medida, mientras que para el periodo de 3 años la precipitación máxima es menor a lo registrado en el hietograma real.

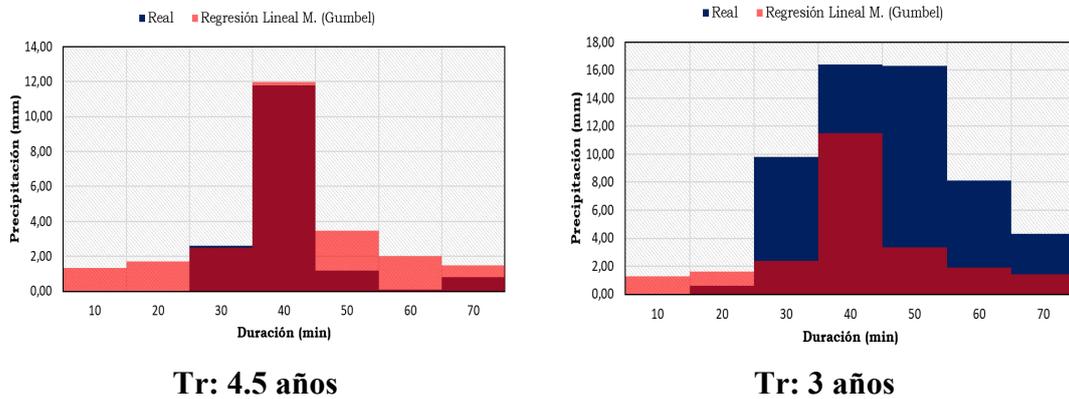


Figura 4.60. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Ucubamba obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta

Finalmente, para la estación ventana que cuenta con registros en el año 2016 asociado a un periodo de retorno de 3 años, se observa que la precipitación máxima sobre estima en gran medida a la precipitación máxima registrada en el año.

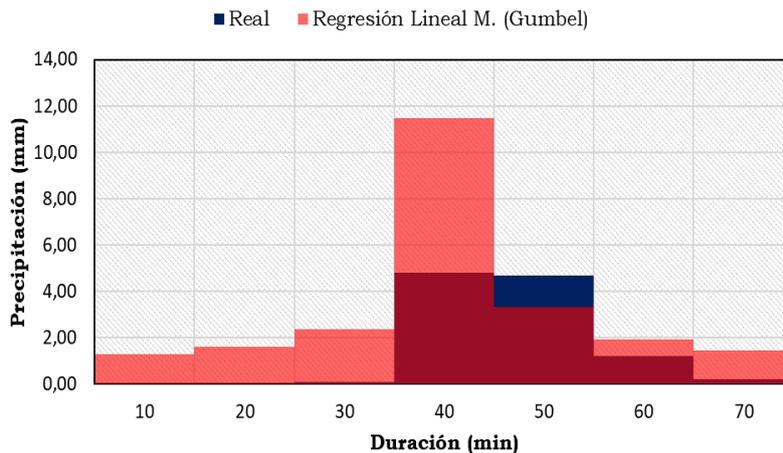


Figura 4.61. Comparación de Hietogramas sintéticos a partir de precipitaciones máximas para la estación Ventana obtenidos el método de Regresión Lineal M. e índice de tormenta

Si bien las ecuaciones de intensidad presentadas en el numeral (4.2.3) permite construir hietogramas sintéticos para aquellas estaciones que presentan datos faltantes, es necesario considerar que se presentan resultados en los que se debe realizar un ajuste al hietograma calculado y en otros casos se observa que la representación es lo más próxima a lo observado.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el presente trabajo de investigación se pretende completar y actualizar la información existente sobre eventos de precipitación en el cantón Cuenca. De tal forma que considerando los resultados de la investigación se pueda mejorar la calidad en la realización de estudios hídricos y poder ejecutar cualquier obra con una mayor fiabilidad frente a eventos máximos.

En el análisis se contó con registros instantáneos de 20 estaciones, de entre las cuales a partir de procesamiento de información se obtuvo las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia para 12 estaciones. Todo esto permitió el análisis completo de la mayoría de información. Se debe tomar en cuenta que el periodo mínimo en la serie datos fue de 5 años.

Por otra parte, se obtuvo ecuaciones de intensidad duración y frecuencia para 6 estaciones a partir de intensidades máximas obtenidas con la relación del índice de tormenta, por presentar pocos registros o registros no continuos. En las estaciones Laviucu y Mamamag no se pudieron obtener las curvas IDF.

En el análisis pluviométrico, se evidencia que los registros de precipitación máxima se presentan en el mes de marzo, abril y mayo con valores que varían entre 70 mm y 290 mm, para luego disminuir en los meses de julio, agosto y septiembre con valores entre 130 mm y 60 mm; y finalmente aumentar en los meses de octubre noviembre y diciembre.

En lo que respecta al análisis máximo las funciones de distribución Gumbel de valores máximos y Log Pearson III se adaptan por igual. Aunque la función de distribución Log Pearson III presenta resultados mayores que la función Gumbel de valores máximos, sin embargo, en el análisis existen dos estaciones en las cuales no se pudo ajustar a los modelos matemáticos con dicha función. Por lo tanto, para el estudio se realiza el análisis con la función de distribución de Gumbel de Valores Máximos por presentar un adecuado ajuste en todas las estaciones con porcentaje de ajuste superior 70%

El método de regresión lineal múltiple, se obtuvieron las curvas IDF para cada una de las estaciones de análisis en base de la información disponible con la que se trabajó, la modelación para explicar la intensidad, duración y frecuencia, posee una buena calidad

de ajuste con un valor de R^2 superior a 0.9059, lo que asegura que se tenga una buena estimación y pronóstico de intensidades máximas de lluvias a lo largo de los diferentes periodos de análisis.

Para el caso del método de Talbot, al momento de calcular las ecuaciones de intensidad en función del periodo de retorno y la duración, en el intervalo de 5 a 120 minutos, se observó que no existen discrepancias en el valor de intensidad calculada respecto a la intensidad obtenidas con las funciones de distribución, sin embargo, se observa que algunos ajustes de distribución presentan valores de R^2 de por encima de 0,8.

En la obtención del hietograma de diseño se opta por utilizar el método de bloques alternativos, este método arroja resultados muy semejantes a la realidad, evaluando los resultados con las mayores precipitaciones obtenidas en cada una de las estaciones a analizar; esta evaluación permitió corroborar que las variables analizadas de intensidad, duración, frecuencia y estimación de lluvias arrojan resultados que se ajustan a la realidad de la zona de análisis para el periodo de retorno de 5 años. Sin embargo, existen algunos casos en los que valores sobre estiman la precipitación máxima reportada, y en muy pocos casos se subestima la precipitación. En sí, los hietogramas que mejor se ajustan a los valores máximos de precipitación son los obtenidos con el método de regresión lineal múltiple.

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia obtenidas a partir del índice de tormenta permite construir hietogramas sintéticos para aquellas estaciones que presentan datos faltantes, sin embargo, es necesario considerar que, los resultados presentados deben ajustarse al hietograma calculado en los casos que se subestima la precipitación, por lo que se recomienda implementar factores de corrección como los reportados por la Organización Mundial de Meteorología donde establece factores de mayoración que dependen del número de observaciones diarias.

Aunque la mejor alternativa sigue siendo el incremento de puntos de monitoreo en la región o el remplazo de las estaciones con problemas de registros, especialmente en zonas elevadas, pues es el lugar en el cual se genera mayor cantidad de escorrentía y con esta gran parte de los eventos de crecida. Esto a fin de conocer la ocurrencia de eventos extremos, así como el ejecutar soluciones oportunas, evitando pérdidas humanas tanto

como económicas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. In C. abierta al Tiempo (Ed.), *Universidad Autónoma Metropolitana* (Casa abier).
- Brown Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., & Valdés, J. (2013). Intensity Duration Frequency curve (IDF) of flooding for the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávila, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 63–67.
- Casas Castillo, M. C. (2005). *Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva*. Universidad de Barcelona.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (M.- Hill (ed.); 1st ed.).
- Crosier, S., Booth, B., Dalton, K., Mitchell, A., & Clark, K. (2005). *ArcGIS 9: Getting Started With ArcGIS*. 227–7015. www.esri.com,
- Emmanouil, S., Langousis, A., Nikolopoulos, E. I., & Anagnostou, E. N. (2020). Evaluación cuantitativa de enfoques paramétricos de máximos anuales, picos por encima del umbral y multifractales en la estimación de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de registros de precipitaciones breves. *Journal of Hydrology*, 589(December 2019), 125151.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125151>
- Estrella Roldán, D. (2016). *Determinación De Curvas De Frecuencia Y Zonificació N De Intensidades En La Cuenca Media Alta Del Río Paute*. Universidad De Cuenca.
- Félix Mera, J. E., Chávez Álava, J. P., & Muñoz Mendoza, M. A. (2021). Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad en la cuenca media del río Chone. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2595>
- Gálvez González, J. F. (2013). COMPARACIÓN DEL MÉTODO INSIVUMEH CON EL MÉTODO WENZEL, PARA LA CREACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA (IDF) EN LA CUENCA DEL RÍO SALINAS. In *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Universidad De San Carlos de Guatemala.
- Genovez Muñoz, G. D. (2018). *Análisis de precipitaciones y elaboración de*

- hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Gobierno Provincial Del Azuay. (2018). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL AZUAY ACTUALIZADO 2015 - 2030* (Vol. 1).
- Kizani, S., & Markonis, I. (2009). *Hydrognomon Manual de Usuario*. C. <http://www.itia.ntua.gr/el/softinfo/28/%0Acon>
- Maya, L., & Martín, J. (1999). *Fundamentos de Inferencia Estadística*.
- McCuen, R. H. (1998). Hydrologic Analysis and Design. *Fiber Composites in Infrastructure. Proceedings Conference Tucson, 1996*, 2, 833. <https://doi.org/10.1680/bce.58088.343>
- Mejía Arrieta, B. S. (2017). *Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el Departamento del Atlántico*. Universidad De La Costa.
- Monsalve, G. (1998). HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA. In ALFAOMEGA (Ed.), *Octubre* (2nd ed., Issue 1).
- Olaya, V. (2014). *Sistemas De Información Geográfica* (Copyrigh (ed.); Copyrigh). Copyrigh.
- Organización Meterológica Mundial. (1994). *Guia de Prácticas Hidrológicas*.
- Pérez-Sánchez, J., & Senent-Aparicio, J. (2017). Curvas intensidad-duración-frecuencia de tormentas de corta duración en la cuenca del río Segura, España. *Agrociencia*, 51(6), 607–616.
- Pizarro, R., Sanguesa, C., Bjame, P., Ingram, B., Vera, M., & Vallejos, C. (2013). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las regiones Metropolitana , Maule y Biobío . Intensidades desde 15 minutos a 24 horas*.
- Richard, H. (1996). Hydrologic Analysis and Design. *Fiber Composites in Infrastructure. Proceedings Conference Tucson, 1996*, 245–355. <https://doi.org/10.1680/bce.58088.343>
- Rojas M., N. (2011). *CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA DE ALGUNAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS* (MINAET (ed.); 1st ed.).
- Saad Al-Wagdany, A. (2020). Una herramienta basada en la web para el desarrollo de curvas de frecuencia de duración de intensidad en condiciones climáticas cambiantes. *Journal of King Saud University - Science*, 32(8), 3421–3431. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.028>
- Simonovic, S. P., Schardong, A., Sandink, D., & Srivastav, R. (2016). Desarrollo de

- curvas de frecuencia de duración de intensidad basadas en la teoría de escalas utilizando momentos ponderados de probabilidad lineal: un estudio de caso de la India. *Environmental Modelling and Software*, 81, 136–153.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.016>
- Soulis, E. D., Sarhadi, A., Tinel, M., & Suthar, M. (2016). Extreme precipitation time trends in Ontario, 1960–2010. *Hydrological Processes*, 30(22), 4090–4100.
<https://doi.org/10.1002/hyp.10969>
- Ven Te Chow. (1994). HIDROLOGÍA APLICADA. In *Hidrología Aplicada* (Issue (13°; McGrawHill, Ed.). Santafé de Bogotá.).
- Villón Béjar, M. (2014). *MANUAL HIDROESTA* (Revista Digital: Matemática (ed.)).
- Vinicio Carrera-Villacrés, D., Valeria Guevara-García, P., Carolina Tamayo-Bacacela, L., Lucía Balarezo-Aguilar, A., Alfonso Narváez-Rivera, C., & Rosa Morocho-López, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecu. *Idesia*, 34(3), 81–90.
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. In C. abierta al Tiempo (Ed.), *Universidad Autónoma Metropolitana* (Casa abier).
- Brown Manrique, O., Gallardo Ballat, Y., & Valdés, J. (2013). Intensity Duration Frequency curve (IDF) of flooding for the administrative area of Venezuela in the province of Ciego de Ávila, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 63–67.
- Casas Castillo, M. C. (2005). *Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva*. Universidad de Barcelona.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (M.- Hill (ed.); 1st ed.).
- Crosier, S., Booth, B., Dalton, K., Mitchell, A., & Clark, K. (2005). *ArcGIS 9: Getting Started With ArcGIS*. 227–7015. www.esri.com,
- Emmanouil, S., Langousis, A., Nikolopoulos, E. I., & Anagnostou, E. N. (2020). Evaluación cuantitativa de enfoques paramétricos de máximos anuales, picos por encima del umbral y multifractales en la estimación de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de registros de precipitaciones breves. *Journal of Hydrology*, 589(December 2019), 125151.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125151>

- Estrella Roldán, D. (2016). *Determinación De Curvas De Frecuencia Y Zonificación De Intensidades En La Cuenca Media Alta Del Río Paute*. Universidad De Cuenca.
- Félix Mera, J. E., Chávez Álava, J. P., & Muñoz Mendoza, M. A. (2021). Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad en la cuenca media del río Chone. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 19. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2595>
- Gálvez González, J. F. (2013). COMPARACIÓN DEL MÉTODO INSIVUMEH CON EL MÉTODO WENZEL, PARA LA CREACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN Y FRECUENCIA (IDF) EN LA CUENCA DEL RÍO SALINAS. In *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Universidad De San Carlos de Guatemala.
- Genovez Muñoz, G. D. (2018). *Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca*. Universidad del Azuay.
- Gobierno Provincial Del Azuay. (2018). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL AZUAY ACTUALIZADO 2015 - 2030* (Vol. 1).
- Kizani, S., & Markonis, I. (2009). *Hydrognomon Manual de Usuario*. C. <http://www.itia.ntua.gr/el/softinfo/28/%0Acon>
- Maya, L., & Martín, J. (1999). *Fundamentos de Inferencia Estadística*.
- McCuen, R. H. (1998). Hidrologic Analysis and Design. *Fiber Composites in Infrastructure. Proceedings Conference Tucson, 1996*, 2, 833. <https://doi.org/10.1680/bce.58088.343>
- Mejía Arrieta, B. S. (2017). *Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el Departamento del Atlántico*. Universidad De La Costa.
- Monsalve, G. (1998). HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA. In ALFAOMEGA (Ed.), *Octubre* (2nd ed., Issue 1).
- Olaya, V. (2014). *Sistemas De Información Geográfica* (Copyrigh (ed.); Copyrigh). Copyrigh.
- Organización Meterológica Mundial. (1994). *Guia de Prácticas Hidrológicas*.
- Pérez-Sánchez, J., & Senent-Aparicio, J. (2017). Curvas intensidad-duración-frecuencia de tormentas de corta duración en la cuenca del río Segura, España. *Agrociencia*, 51(6), 607–616.
- Pizarro, R., Sanguesa, C., Bjame, P., Ingram, B., Vera, M., & Vallejos, C. (2013).

Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las regiones Metropolitana , Maule y Biobío . Intensidades desde 15 minutos a 24 horas.

- Richard, H. (1996). Hydrologic Analysis and Design. *Fiber Composites in Infrastructure. Proceedings Conference Tucson, 1996*, 245–355.
<https://doi.org/10.1680/bce.58088.343>
- Rojas M., N. (2011). *CURVAS DE INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA DE ALGUNAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS* (MINAET (ed.); 1st ed.).
- Saad Al-Wagdany, A. (2020). Una herramienta basada en la web para el desarrollo de curvas de frecuencia de duración de intensidad en condiciones climáticas cambiantes. *Journal of King Saud University - Science*, 32(8), 3421–3431.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.09.028>
- Simonovic, S. P., Schardong, A., Sandink, D., & Srivastav, R. (2016). Desarrollo de curvas de frecuencia de duración de intensidad basadas en la teoría de escalas utilizando momentos ponderados de probabilidad lineal: un estudio de caso de la India. *Environmental Modelling and Software*, 81, 136–153.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.03.016>
- Soulis, E. D., Sarhadi, A., Tinel, M., & Suthar, M. (2016). Extreme precipitation time trends in Ontario, 1960–2010. *Hydrological Processes*, 30(22), 4090–4100.
<https://doi.org/10.1002/hyp.10969>
- Ven Te Chow. (1994). HIDROLOGÍA APLICADA. In *Hidrologia Aplicada* (Issue 13°; McGrawHill, Ed.). Santafé de Bogotá.).
- Villón Béjar, M. (2014). *MANUAL HIDROESTA* (Revista Digital: Matemática (ed.)).
- Vinicio Carrera-Villacrés, D., Valeria Guevara-García, P., Carolina Tamayo-Bacacela, L., Lucía Balarezo-Aguilar, A., Alfonso Narváez-Rivera, C., & Rosa Morocho-López, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media Filling series annual meteorological data by statistical methods in the coastal zone from Ecu. *Idesia*, 34(3), 81–90.

7. ANEXOS

ANEXO 1 . GRAFICAS DE CURVA DE MASA

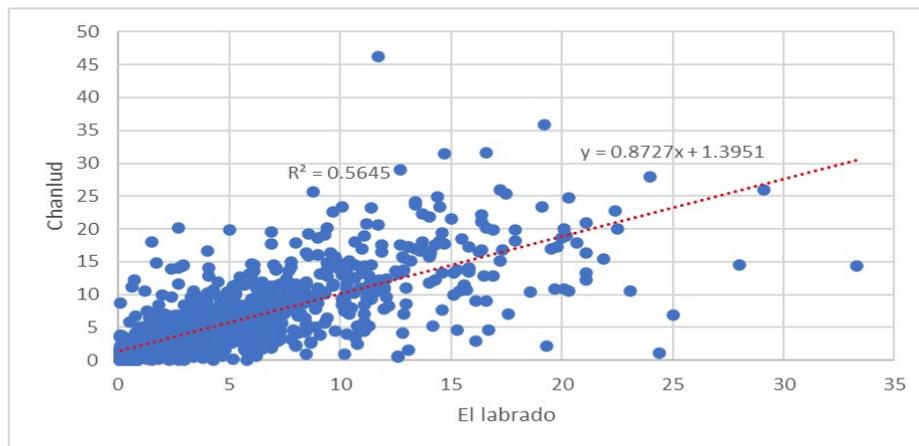
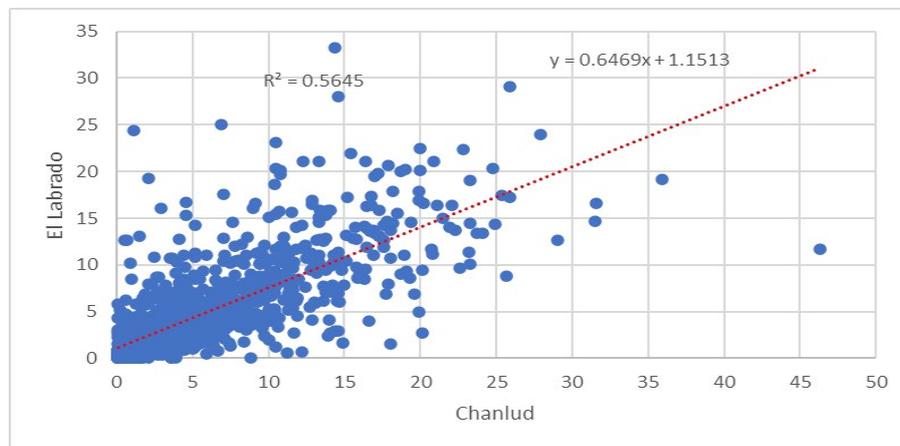
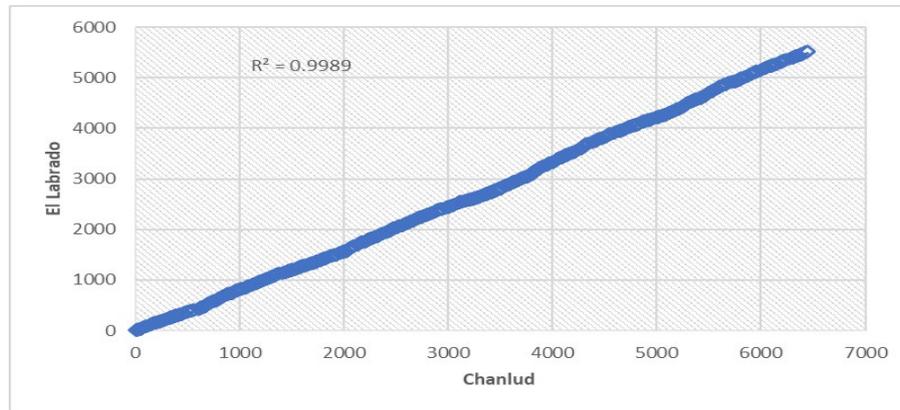


Figura A1. 1 Análisis de doble masa estaciones (Chanlud-El Labrado).

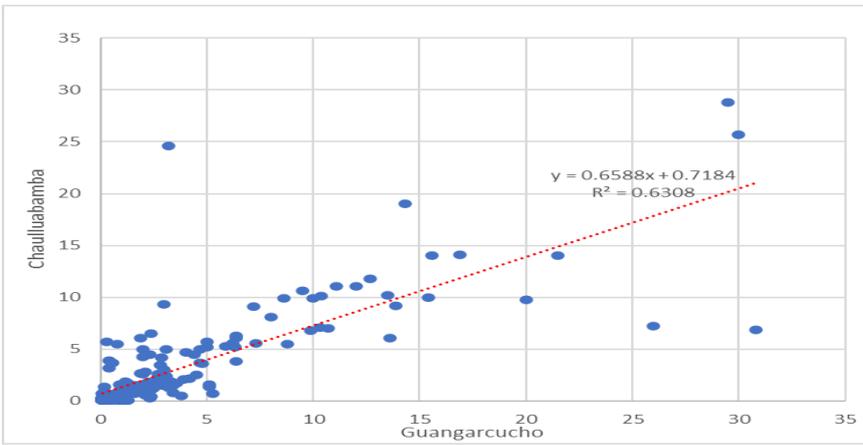
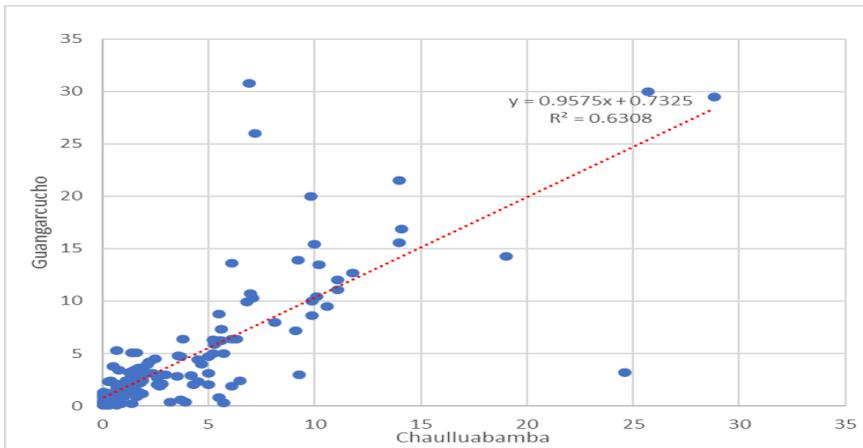
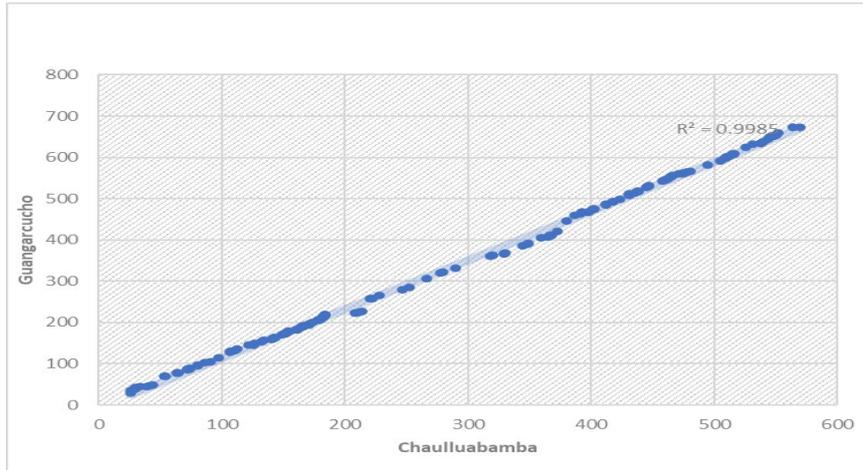


Figura A1. 2 Análisis de doble masa estaciones (Chaulluabamba-El Labrado).

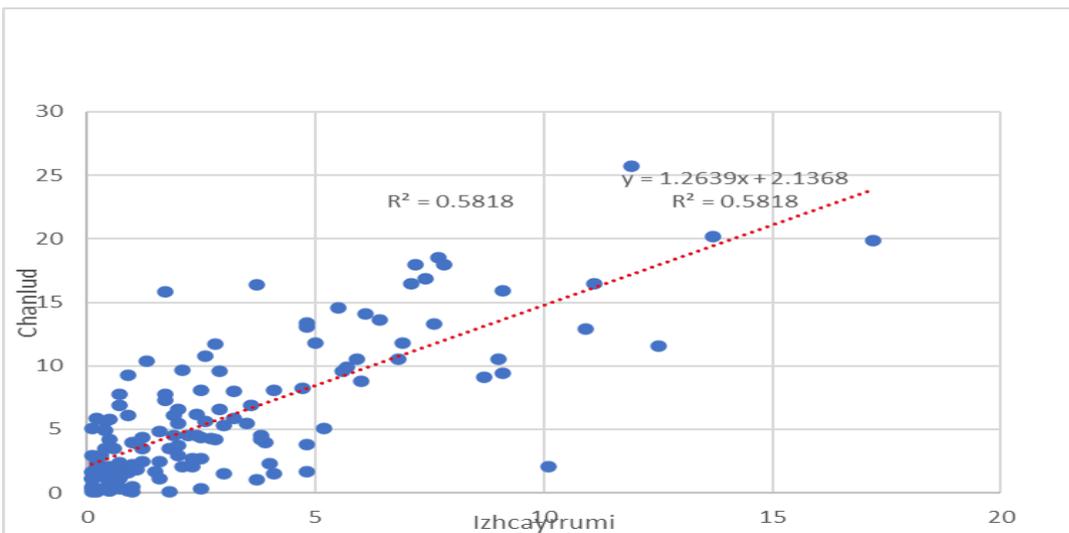
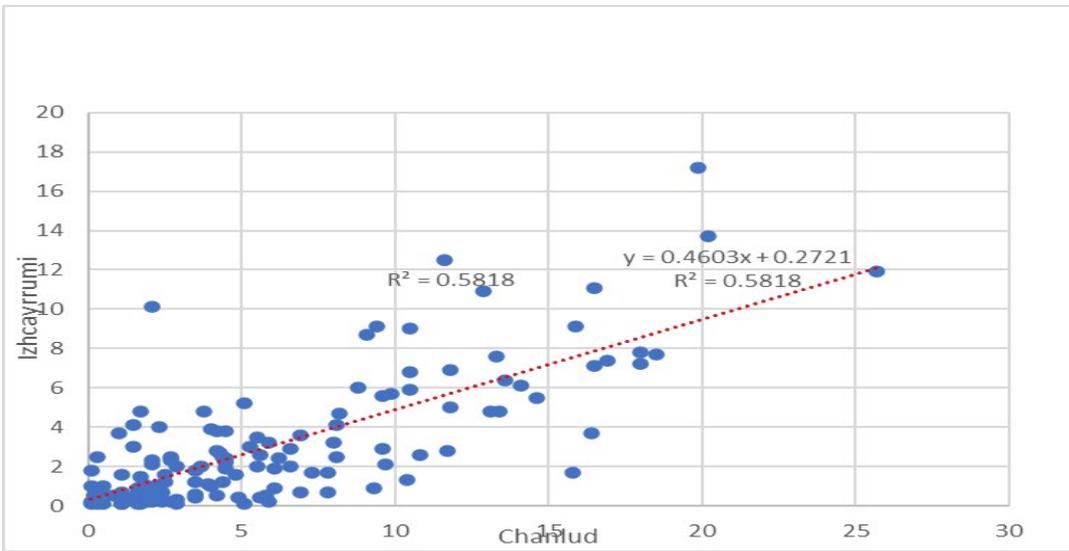
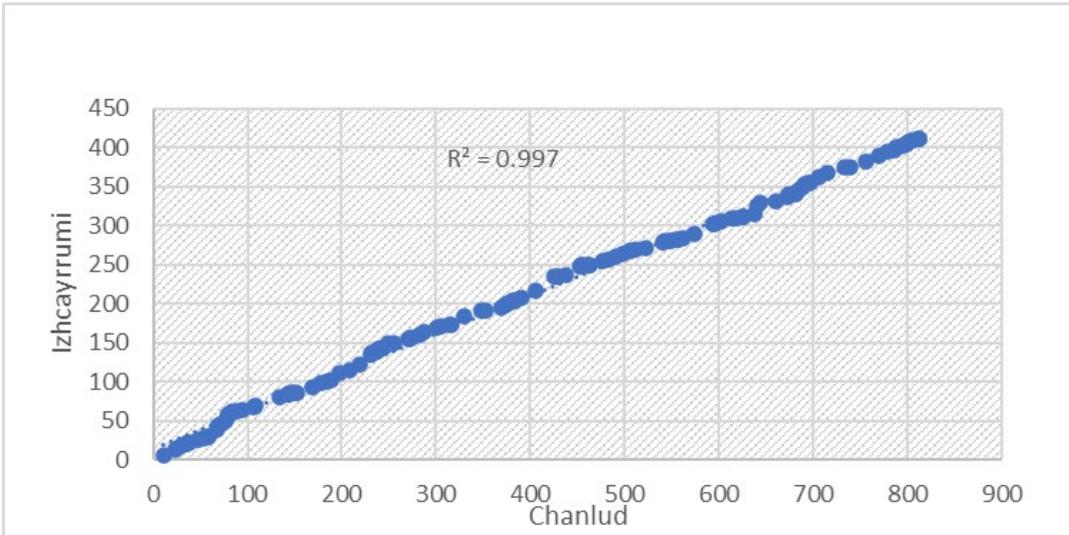


Figura A1. 3 Análisis de doble masa estaciones (Izhcayrrumi-Chanlud).

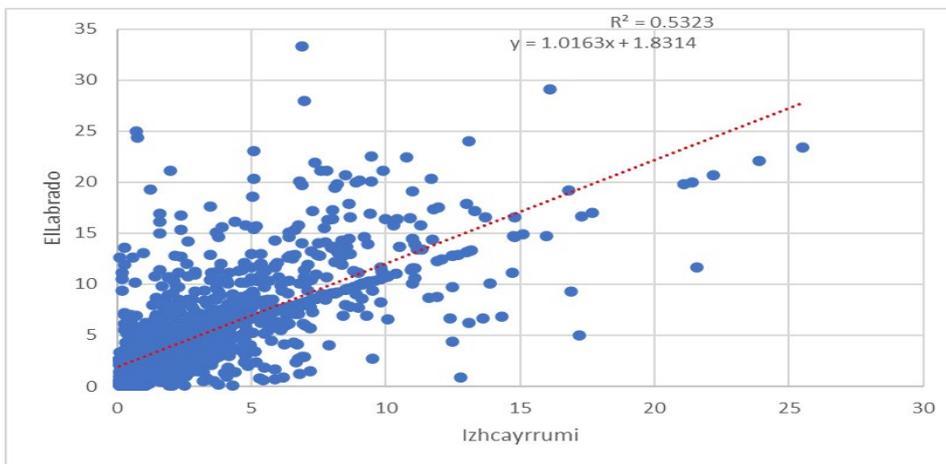
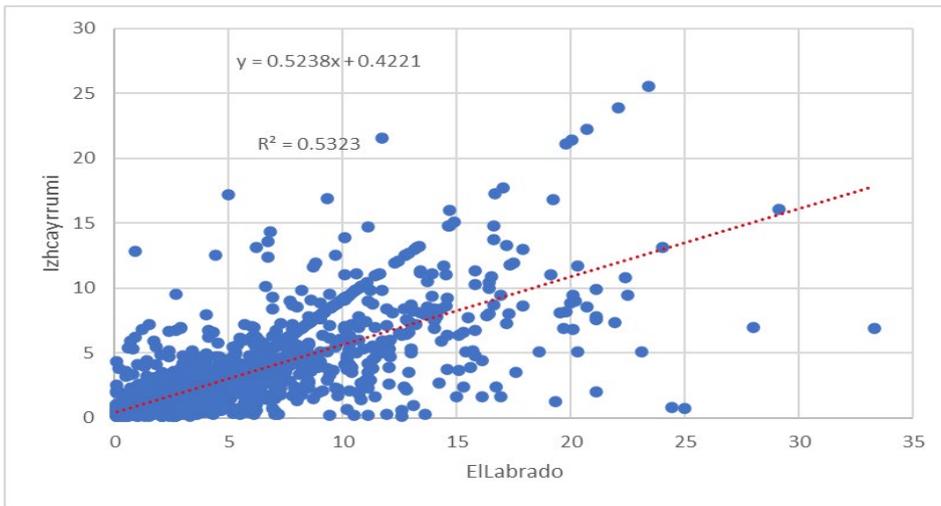
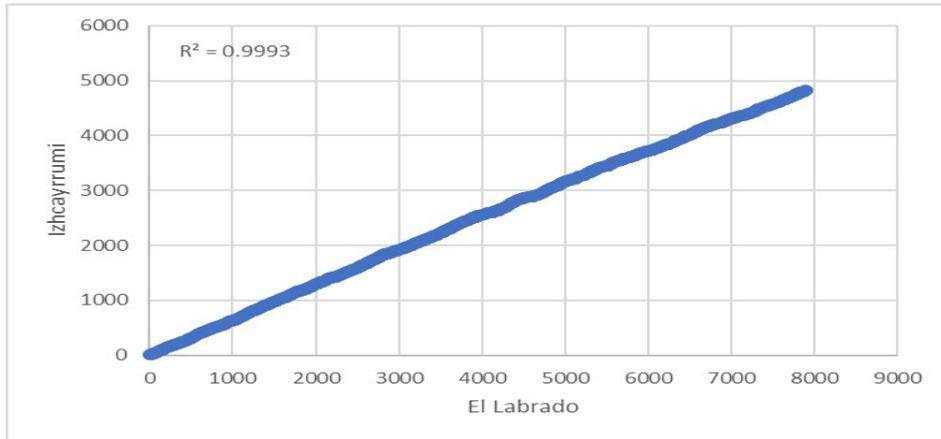


Figura A1. 4 Análisis de doble masa estaciones (Izhcayrrumi-El Labrado).

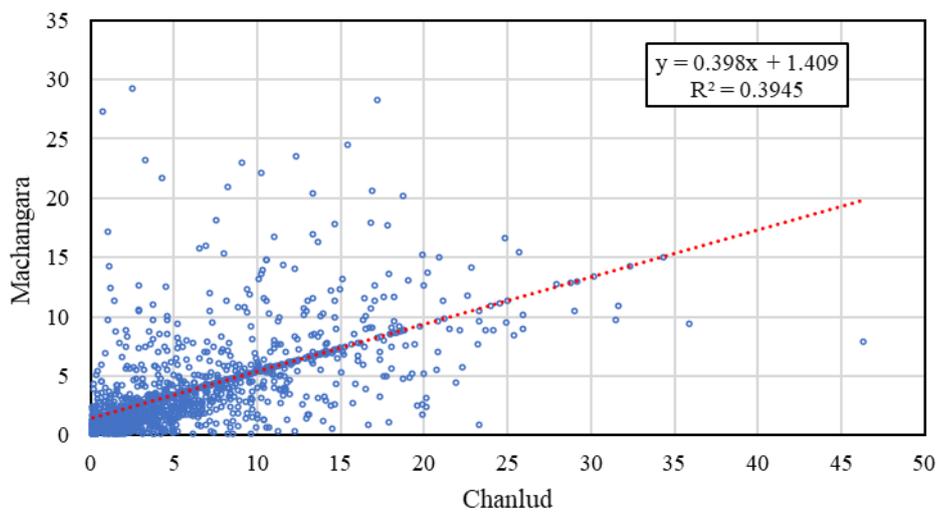
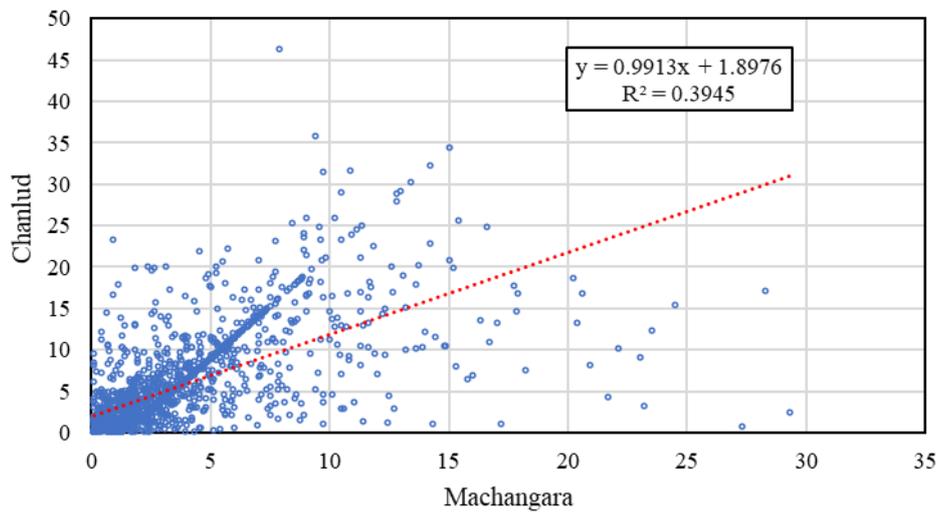
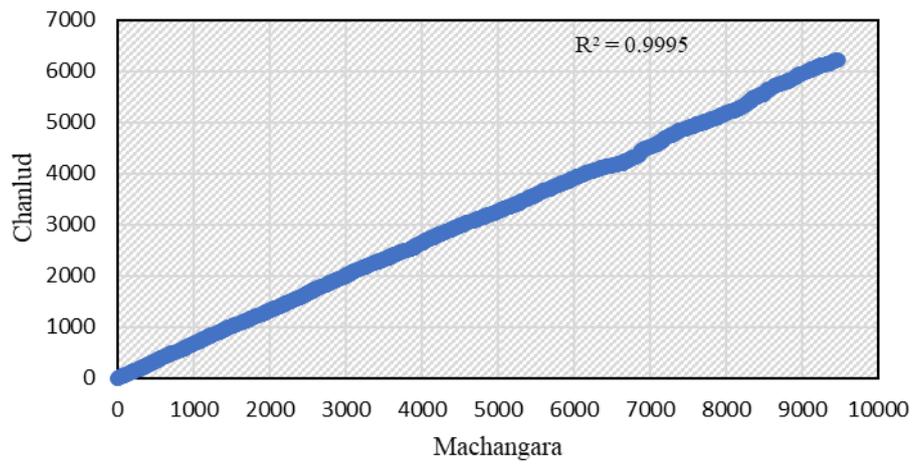


Figura A1. 5 Análisis de doble masa estaciones (Chanlud-Machangara).

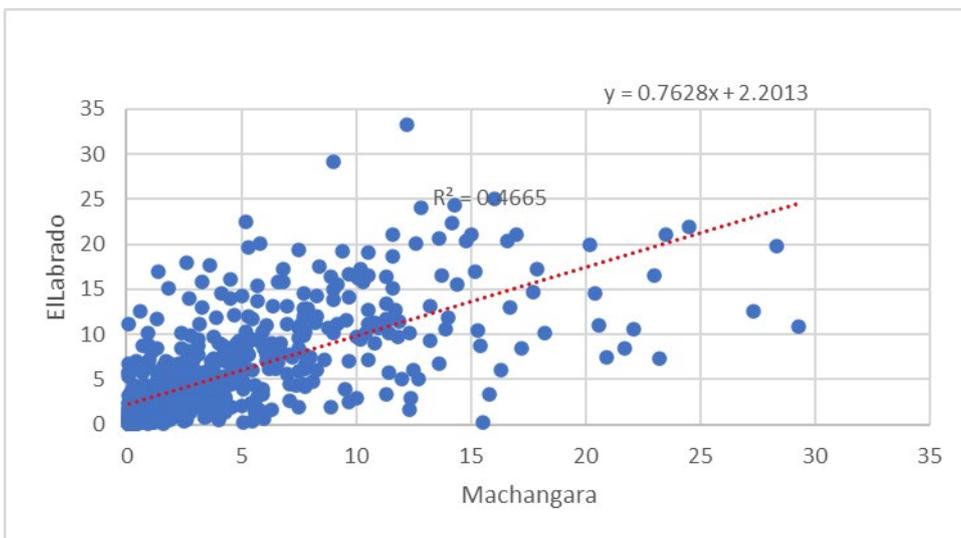
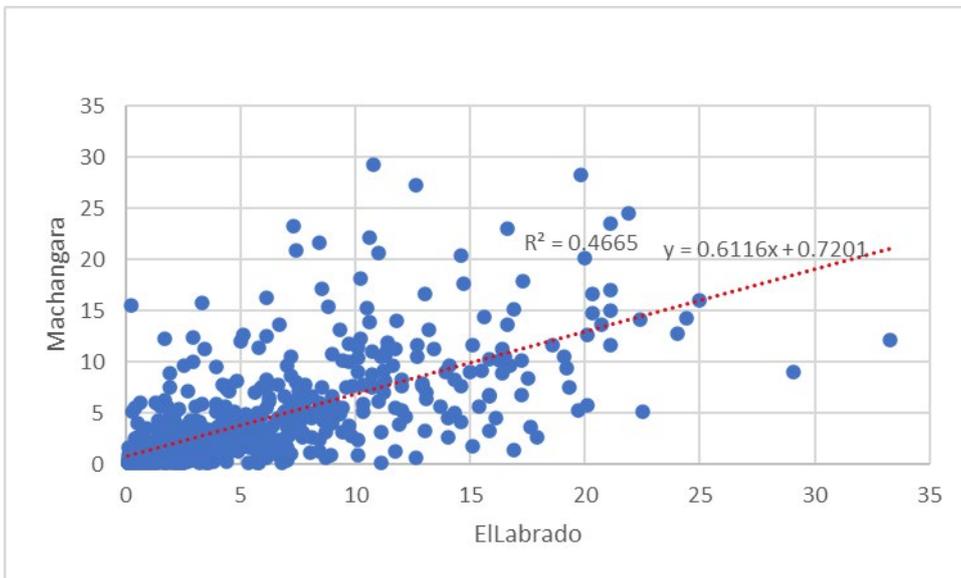
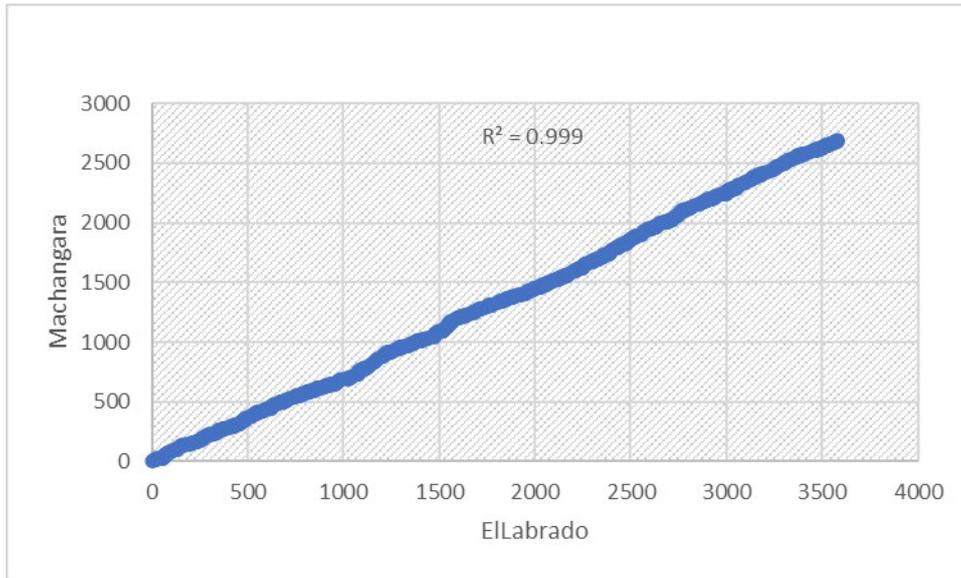


Figura A1. 6 Análisis de doble masa estaciones (El Labrado-Machangara).

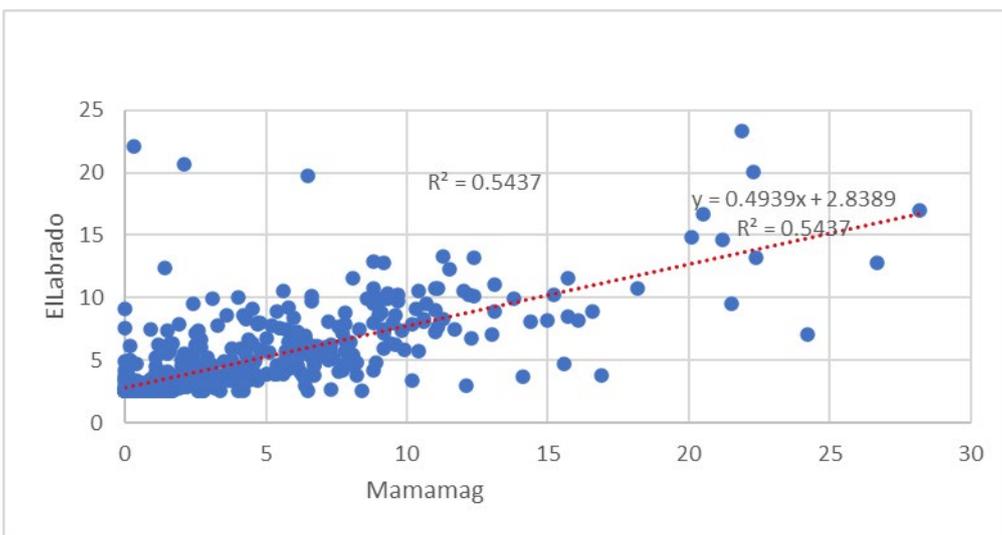
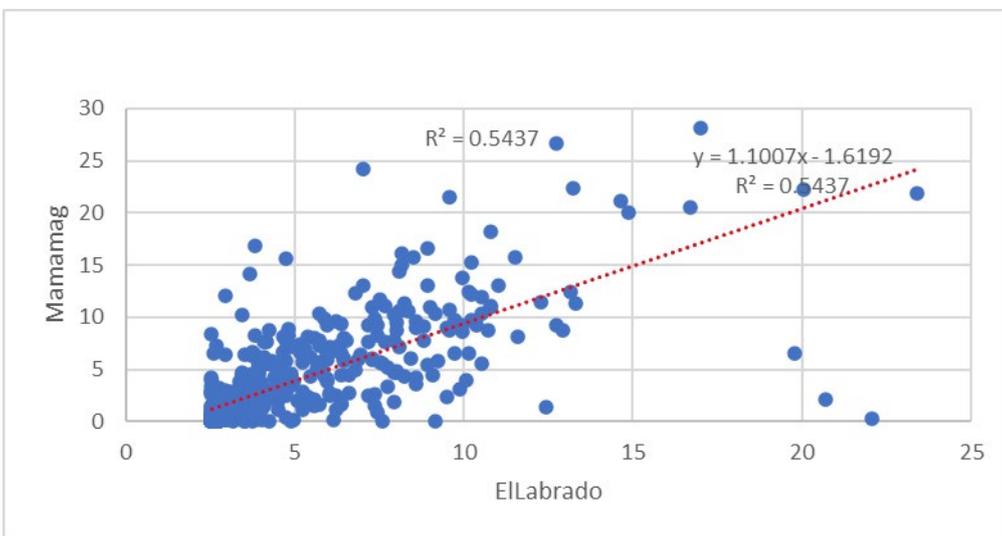
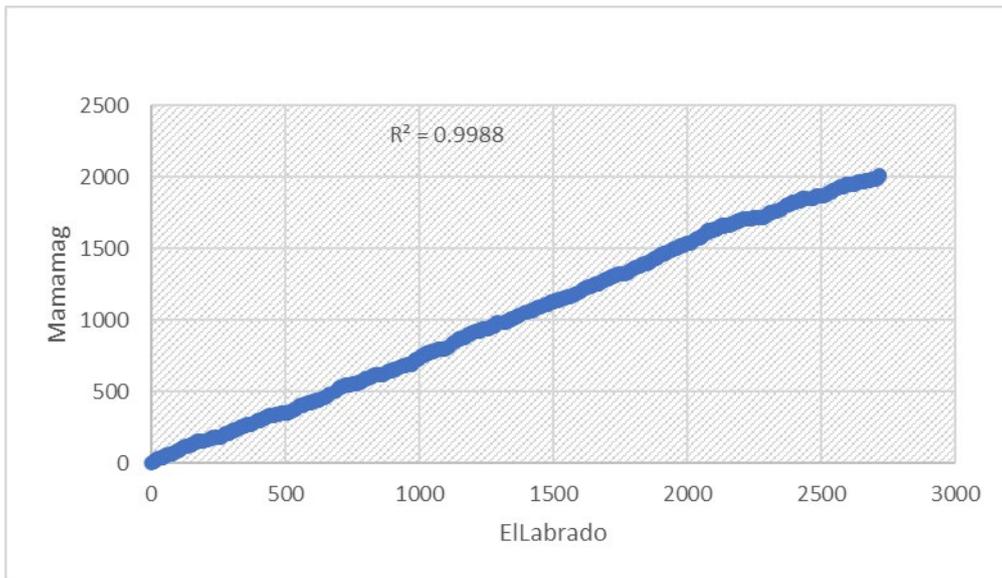


Figura A1. 7 Análisis de doble masa estaciones (El Labrador-Mamamag).

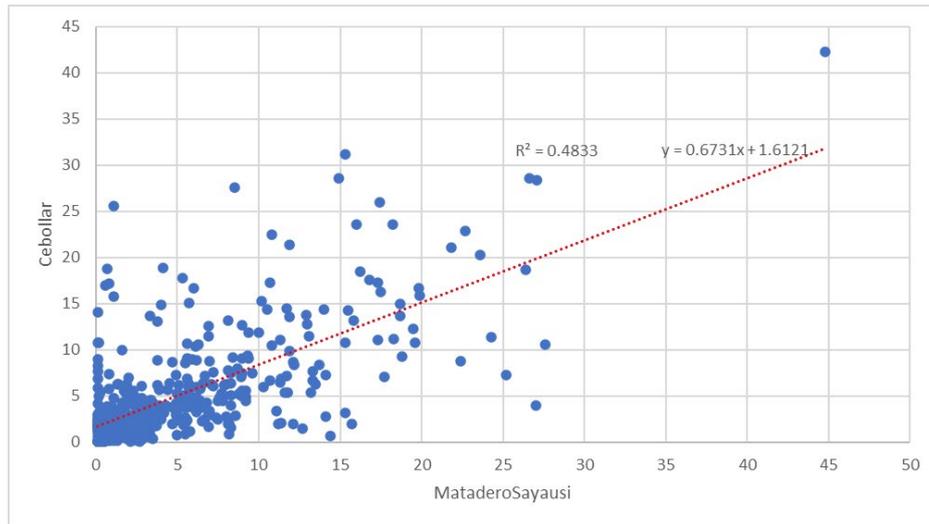
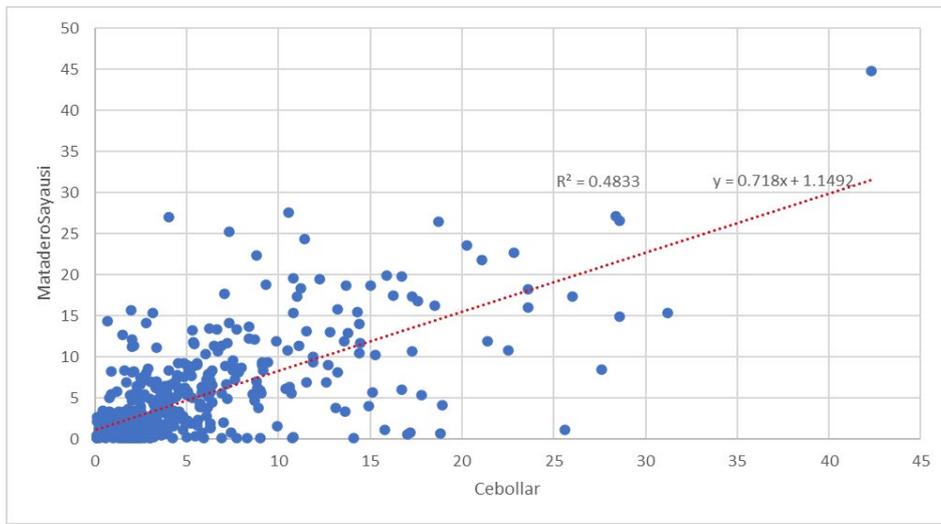
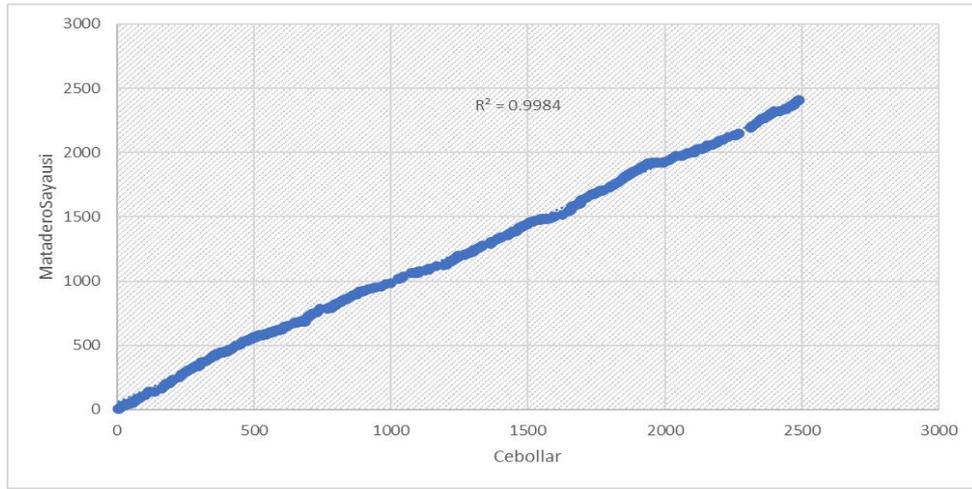


Figura A1. 8 Análisis de doble masa estaciones (Cebollar- MataderoSayausi).

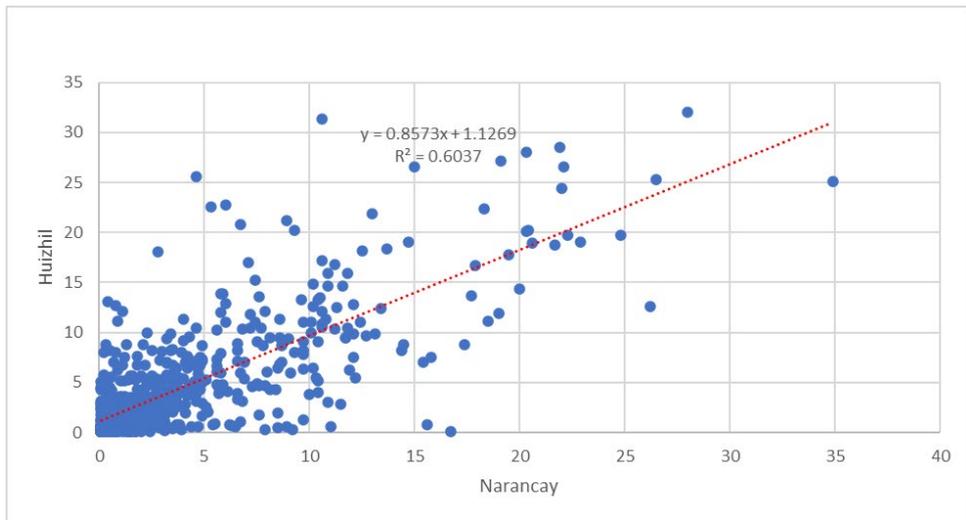
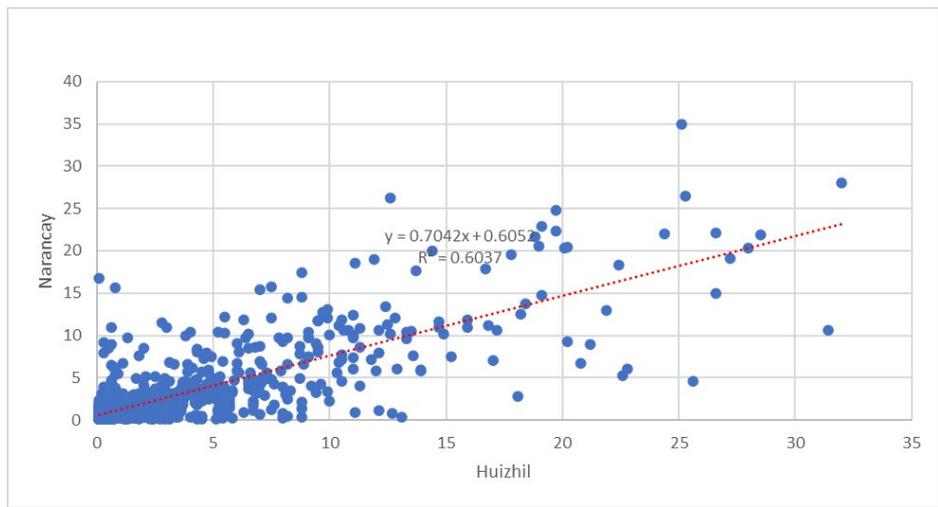
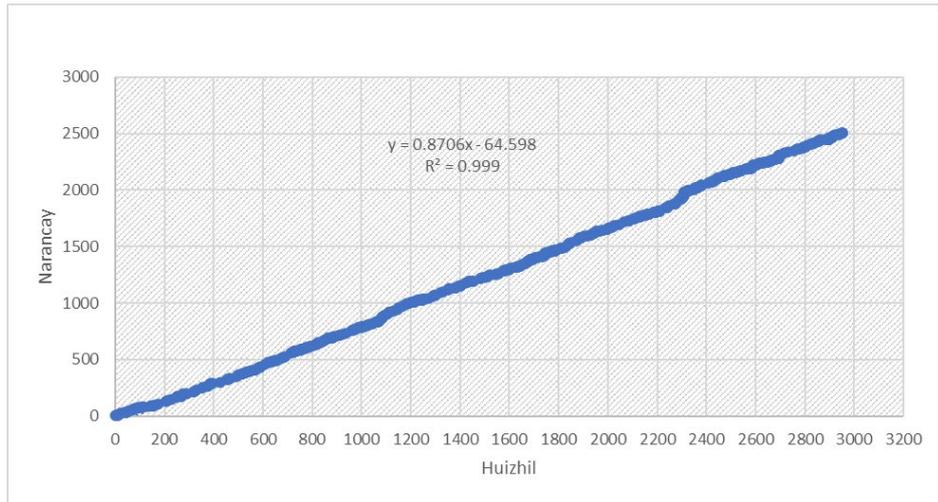


Figura A1. 9 Análisis de doble masa estaciones (Huizhil- Narancay).

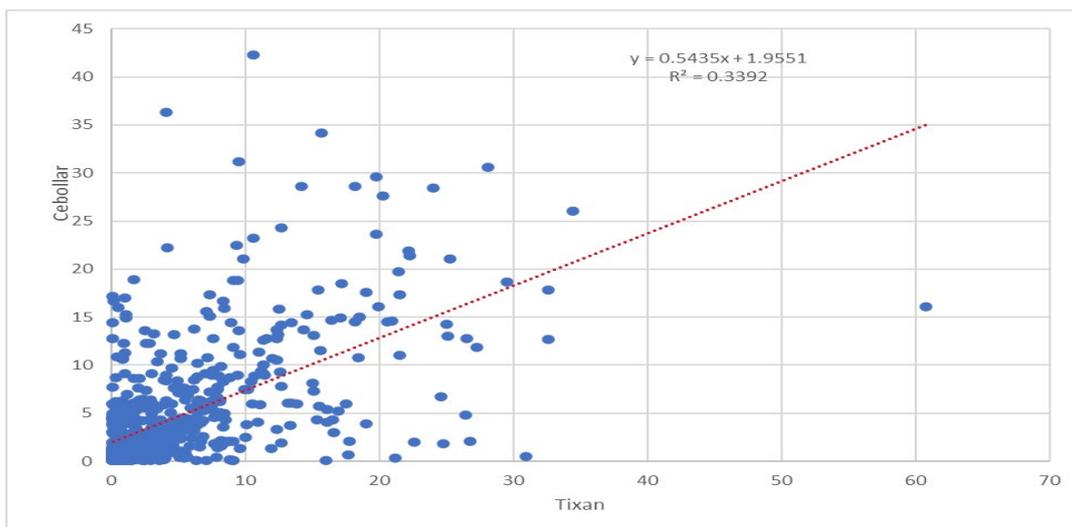
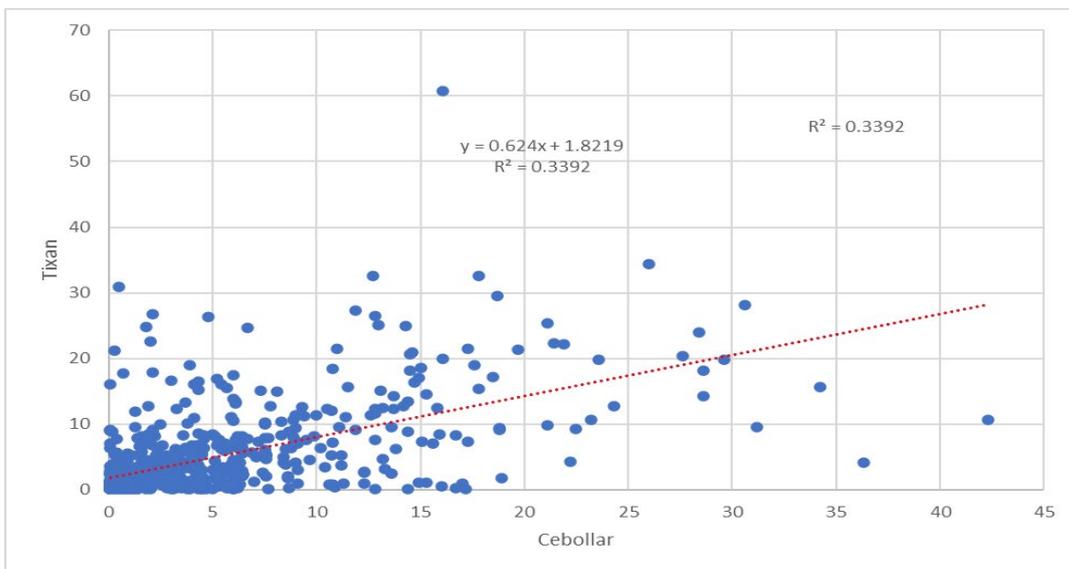
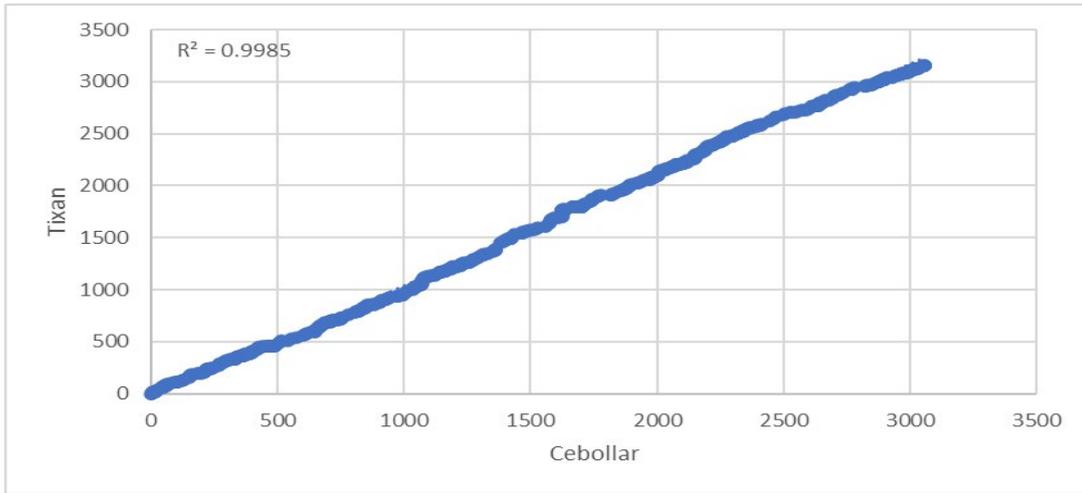


Figura A1. 10 Análisis de doble masa estaciones (Cebollar- Tixan).

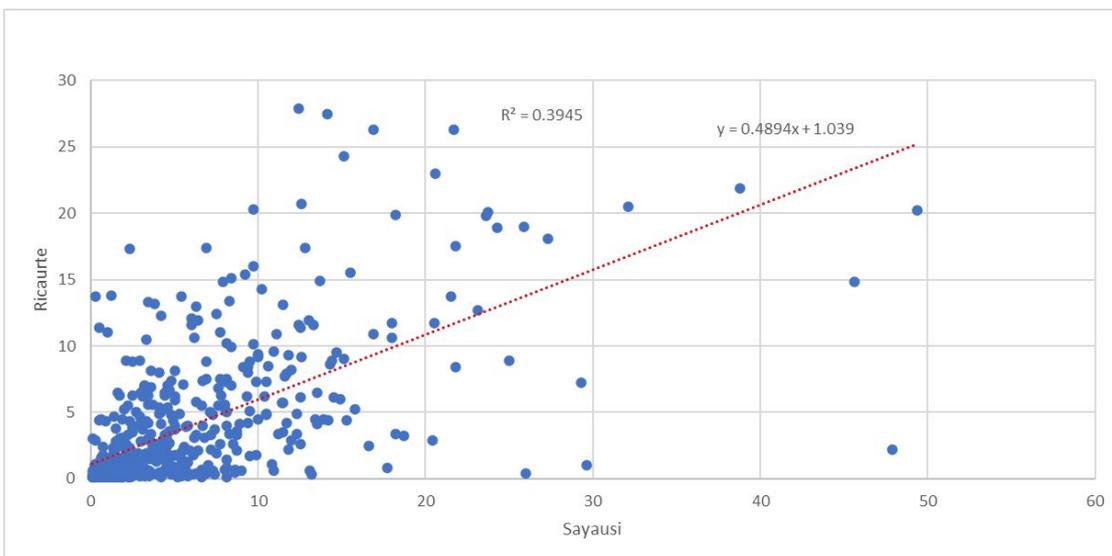
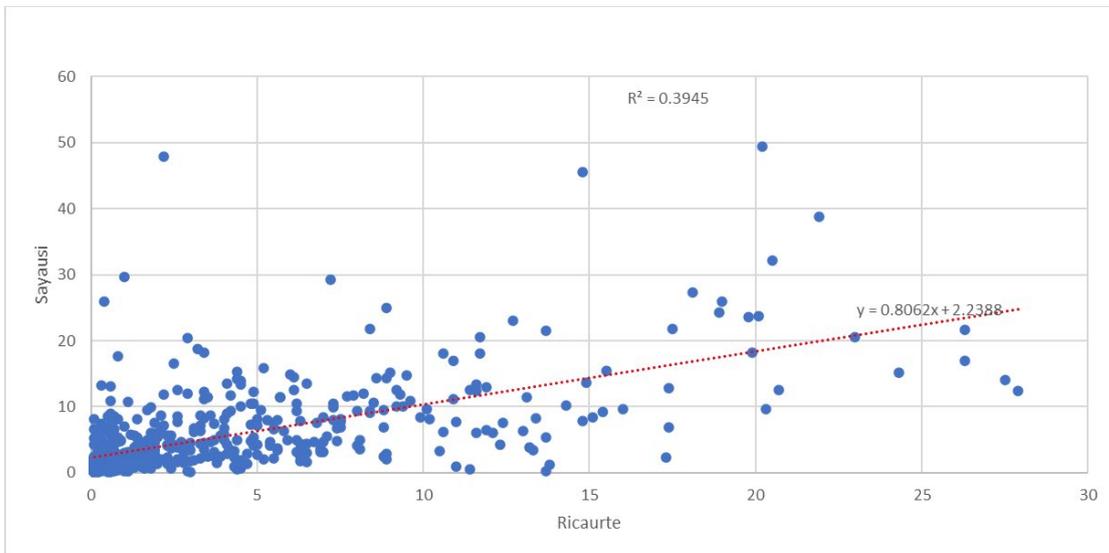
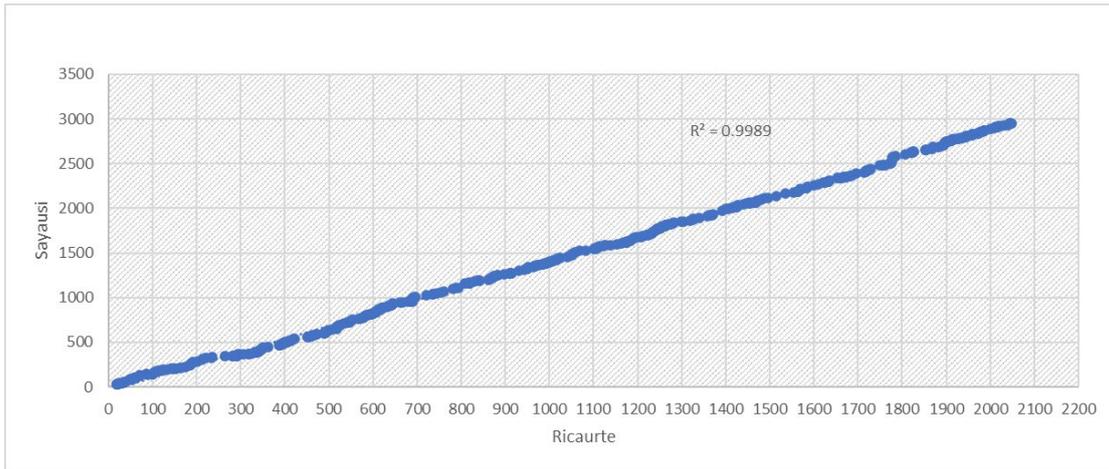


Figura A1. 11 Análisis de doble masa estaciones (Ricaurte- Sayausi).

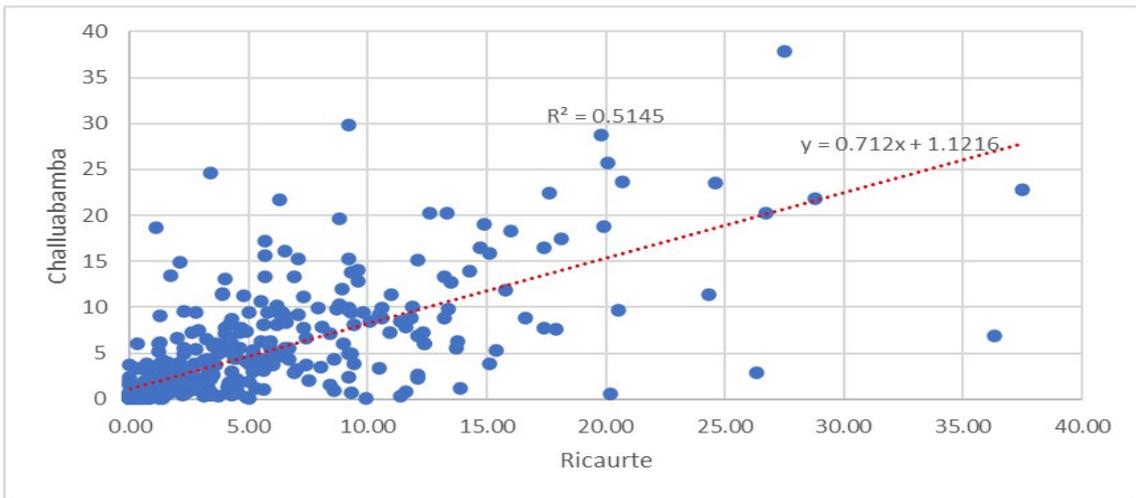
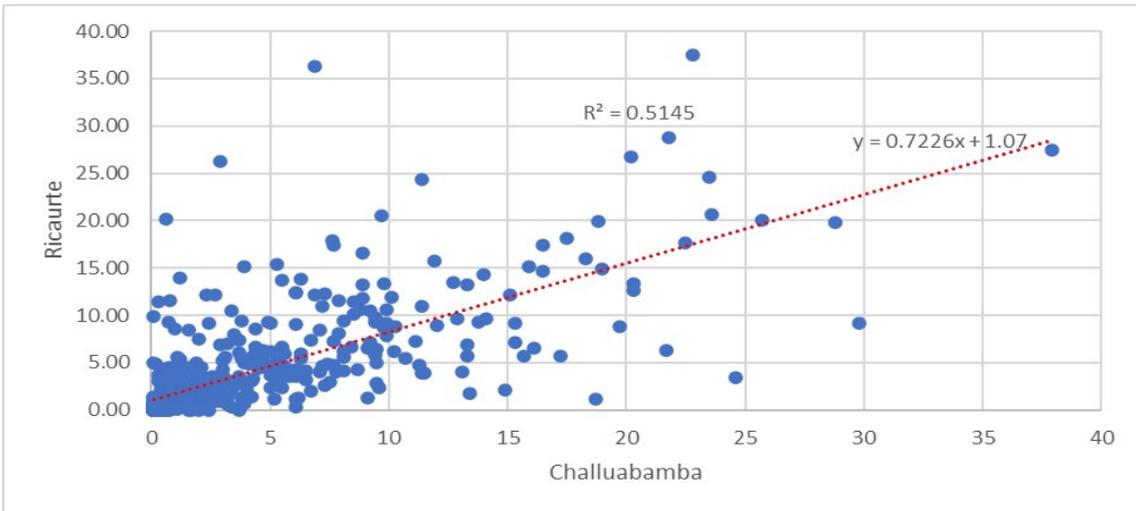
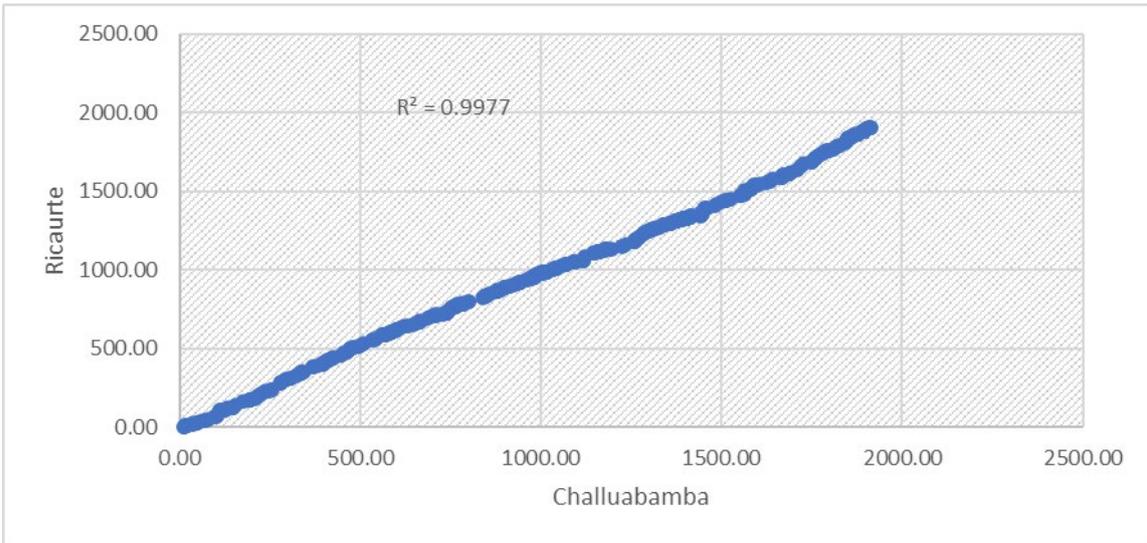


Figura A1. 12 Análisis de doble masa estaciones (Challuabamba- Ricaurte).

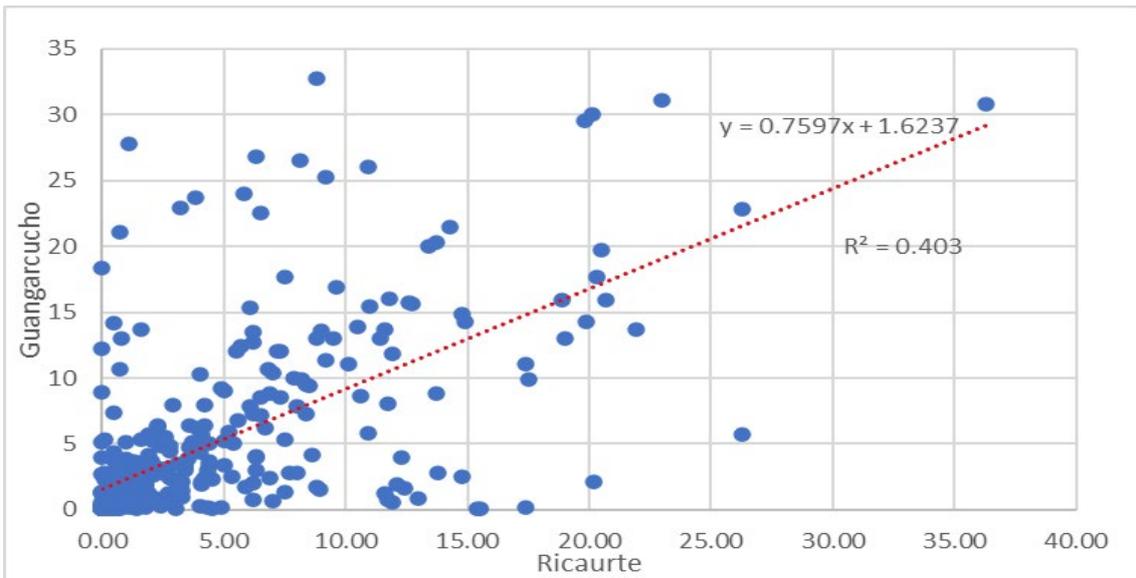
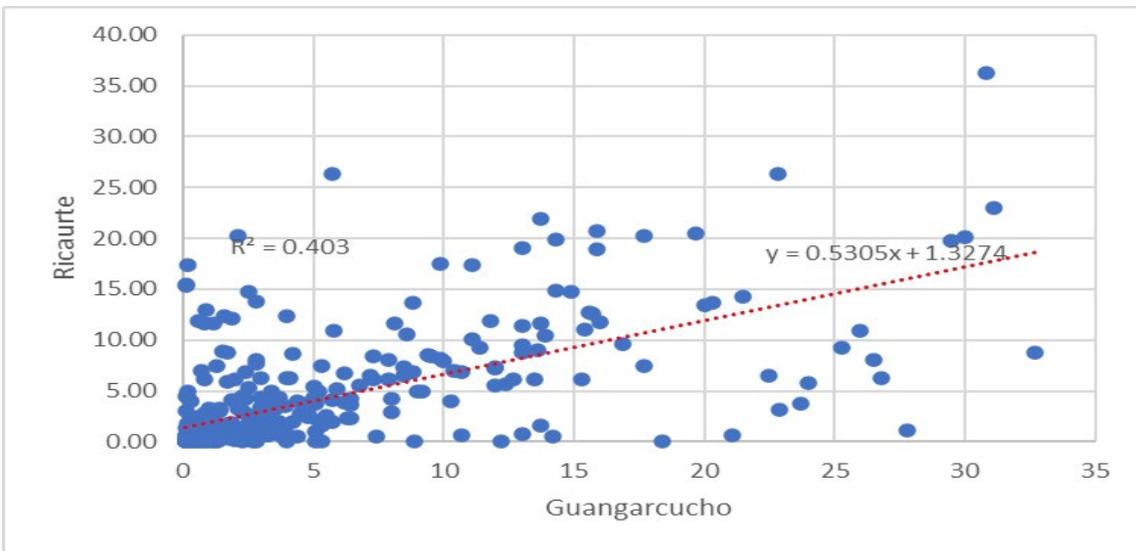
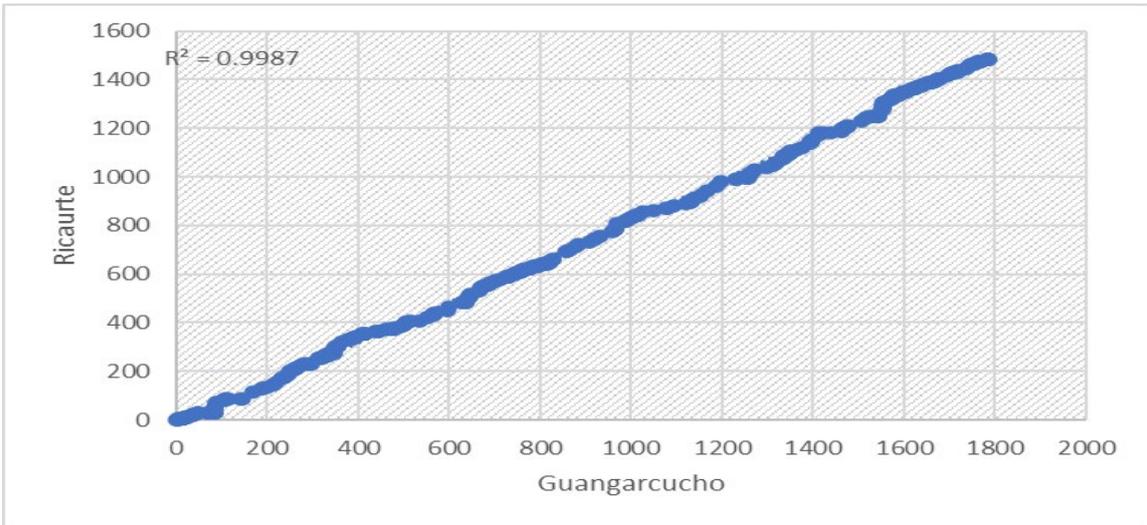


Figura A1. 13 Análisis de doble masa estaciones (Guangarcucho-Ricaurte).

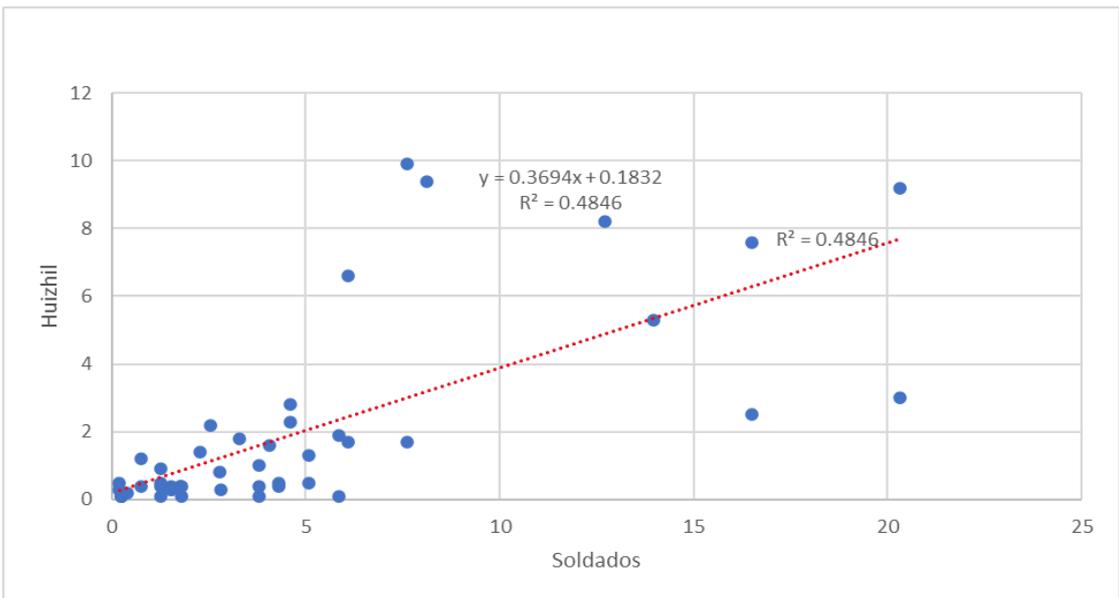
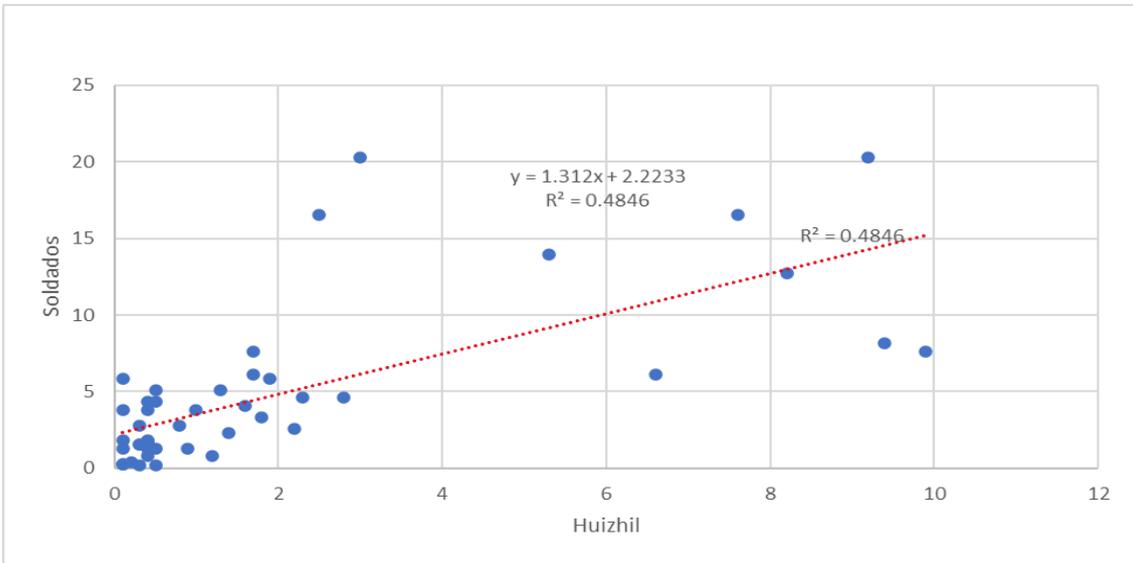
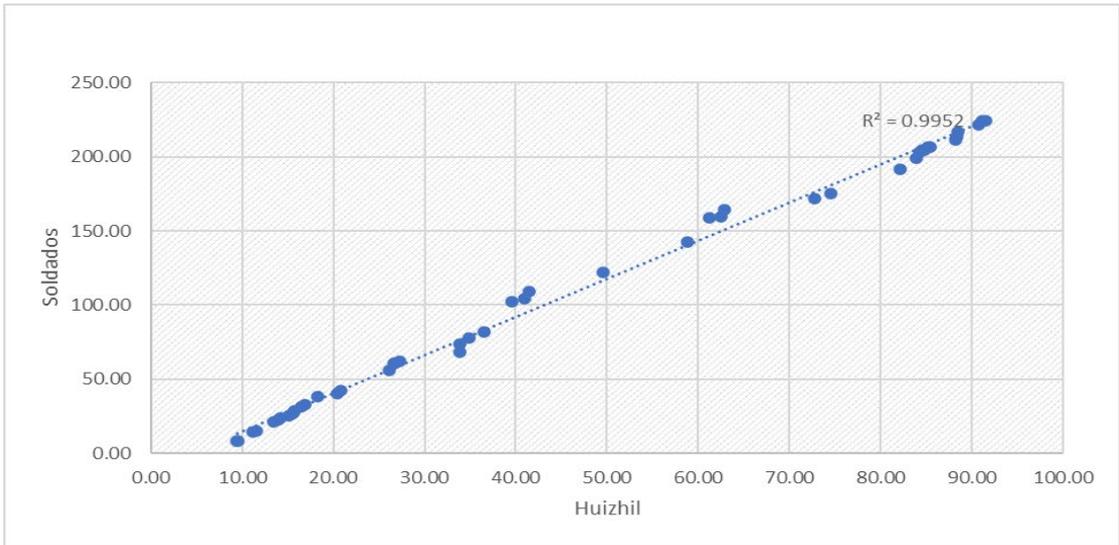


Figura A1. 14 Análisis de doble masa estaciones (Soldados- Huizhil).

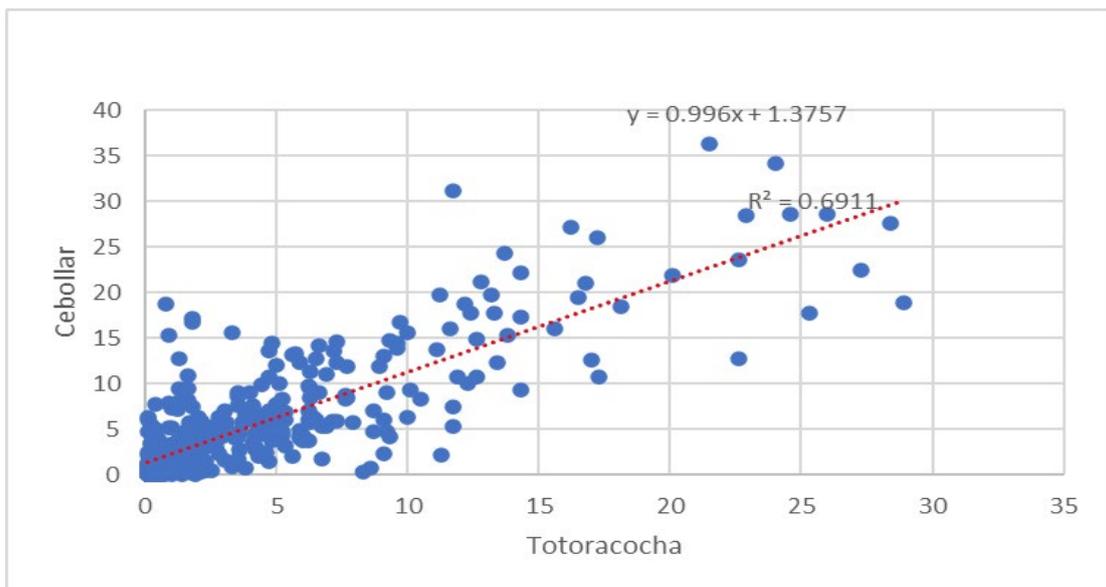
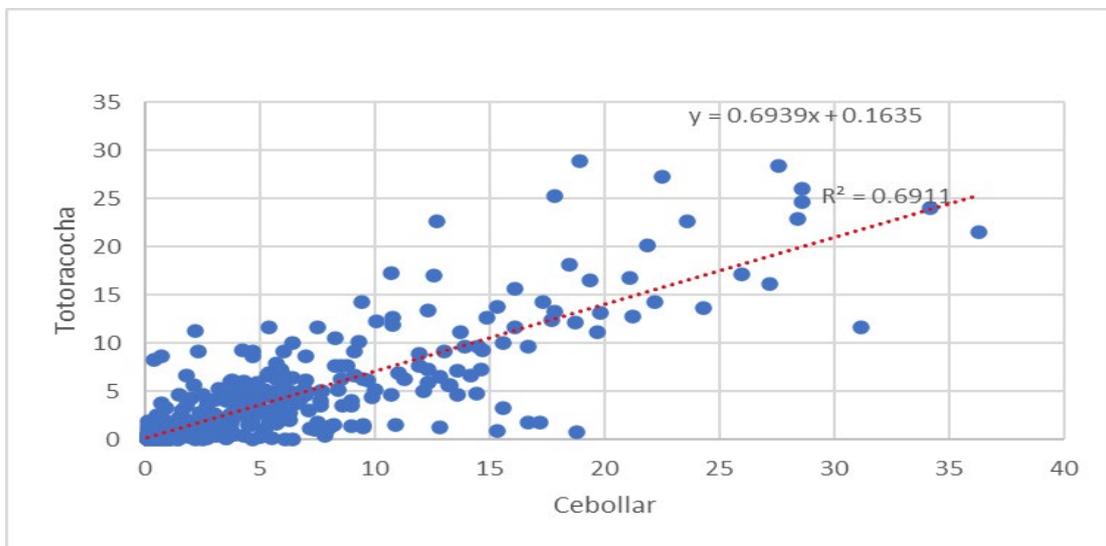
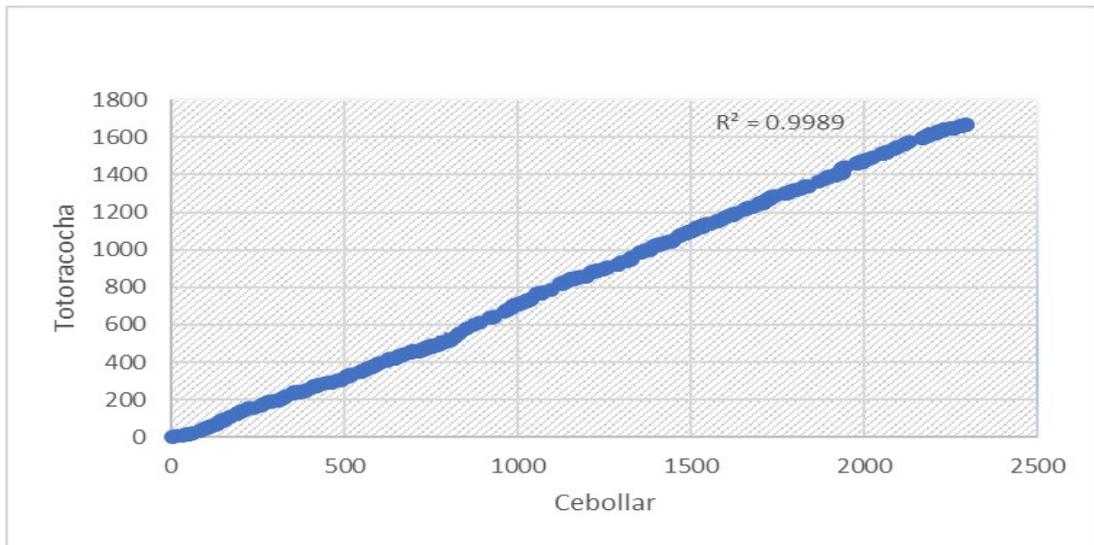


Figura A1. 15 Análisis de doble masa estaciones (Cebollar-Totaracocho).

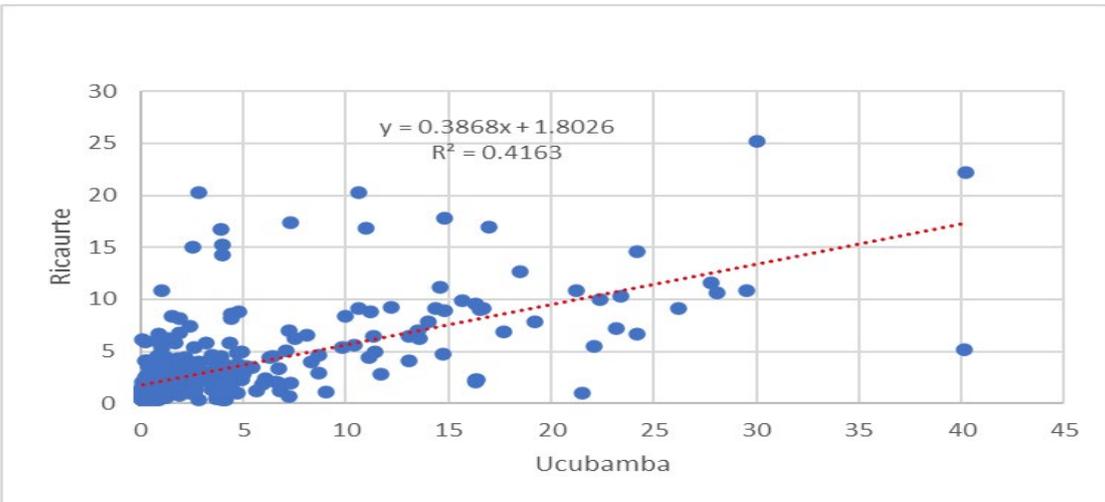
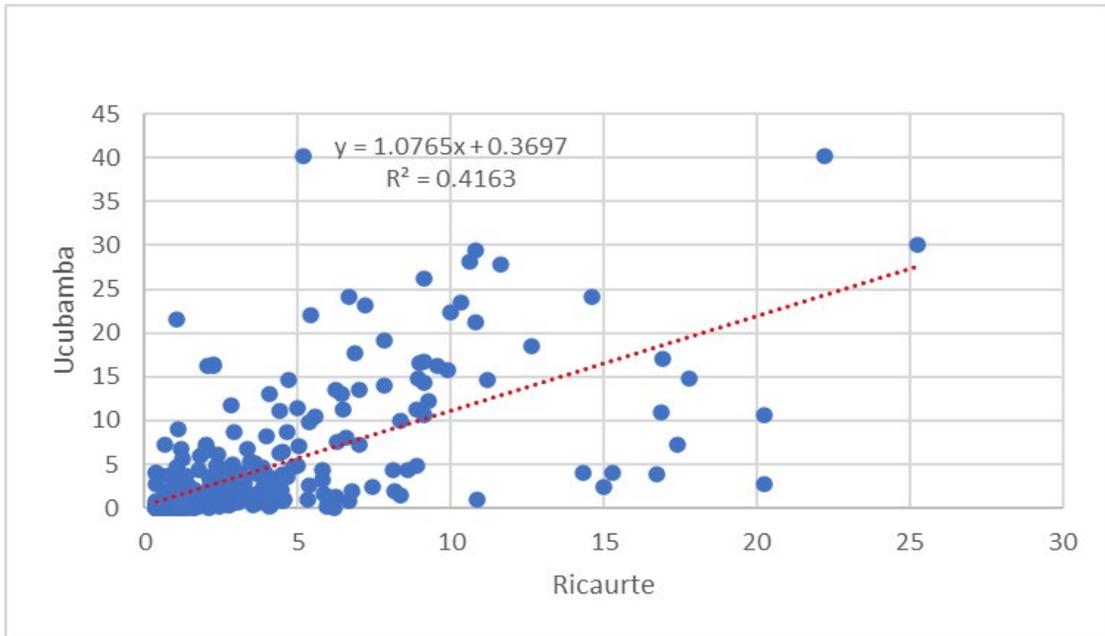
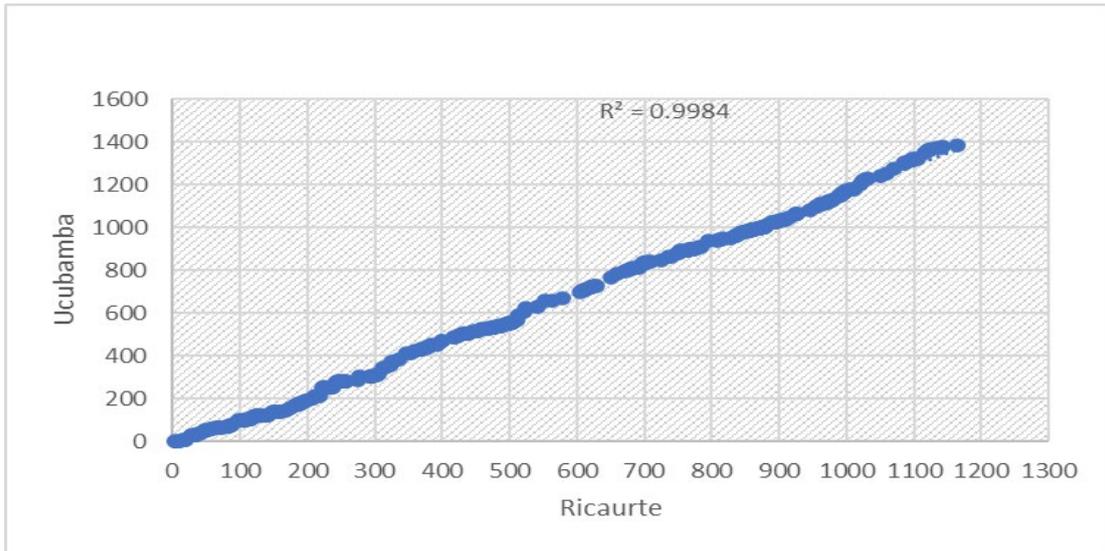


Figura A1. 16 Análisis de doble masa estaciones (Ucubamba-Ricaurte).

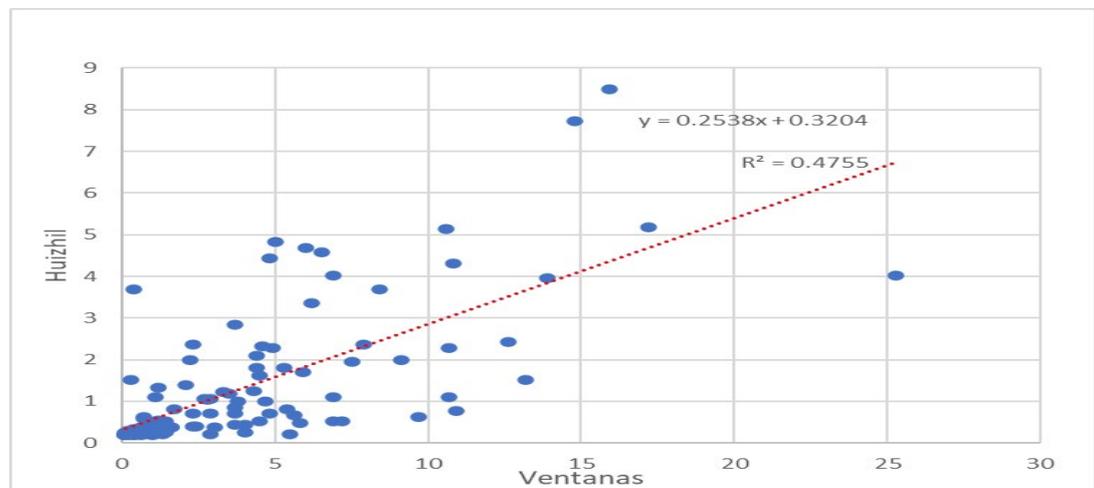
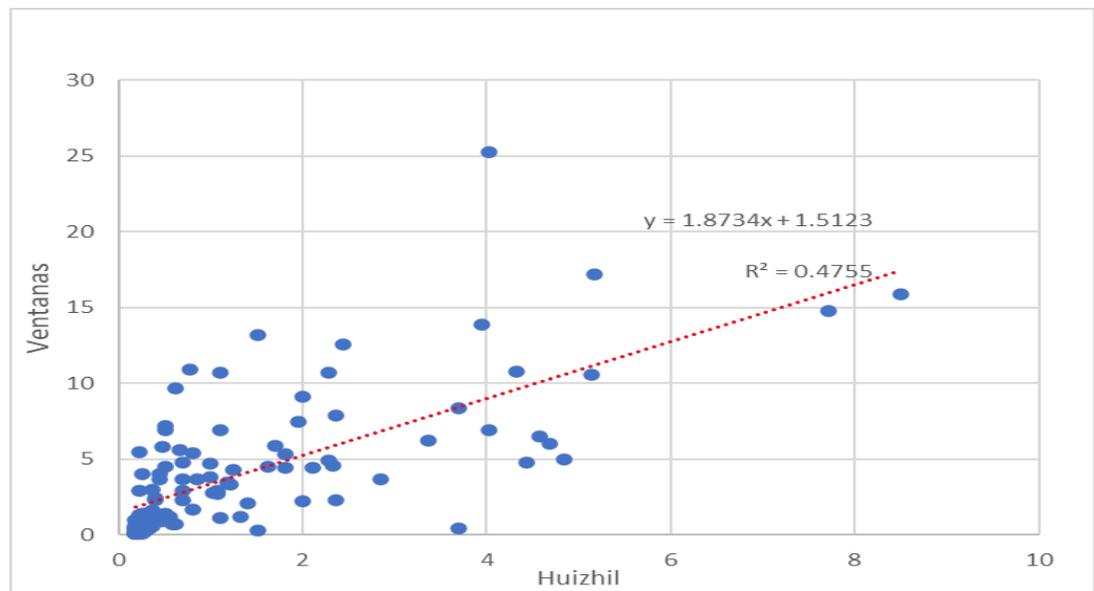
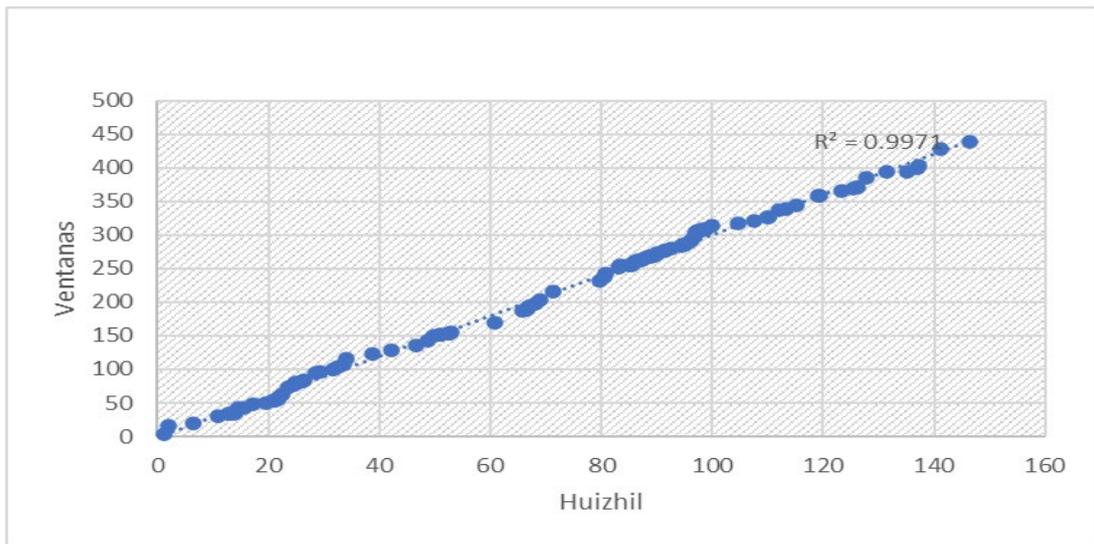


Figura A1. 17 Análisis de doble masa estaciones (Ventanas-Huizhil).

ANEXO 2 . TABLAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Tabla A2. 1 Registro de precipitaciones máximas estación el Cebollar.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	8	16	16	16	17.3	16	16	19.4
2018	8.0	8.0	12.5	16.6	14.0	12.8	17.5	23.8
2019	8.0	11.8	20.3	26.8	23.6	26.8	25.4	26.5
2020	8.0	8.0	12.8	24.5	20.4	25.1	18.5	26.3
2021	7.0	9.3	11.5	18.8	15.4	19.5	18.4	27.6

Tabla A2. 2 Registro de precipitaciones máximas estación el Chaulluabamba.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	Año	5 min	Año	5 min	Año	5 min	Año
2014								
2015								
2016								
2017								
2018	4.4	7.2	9.5	12.1	16.2	19.5	22.0	25.5
2019	10.0	10.0	18.6	21.2	20.7	22.3	22.4	24.5
2020	3.5	5.1	5.6	6.5	7.6	8.6	8.2	10.7
2021	4.6	6.2	7.9	9.0	12.8	12.8	16.6	17.0

Tabla A2. 3 Registro de precipitaciones máximas estación el Chanlud.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	4.3	6.7	11.7	13.9	16.8	19	18.9	22.7
2018	4.1	7.3	11.2	11.8	12.9	18.6	13.5	17.6
2019	4.4	8.4	14.6	12.5	18.7	16.5	18.9	19.9
2020	3.3	5.8	10.2	12.5	11.5	11.5	12.5	15.7
2021	4.8	6.3	8.9	9.0	11.6	12.3	14.1	14.1

Tabla A2. 4 Registro de precipitaciones máximas estación El Labrado

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	3.6	6.7	8	8.1	8.1	12.8	8.8	13.8
2018	3.0	4.9	6.9	7.6	10.3	8.9	7.6	12.6
2019	4.4	6.4	9.5	12.5	12.6	9.9	12.6	14.9
2020	3.0	5.2	8.3	11.2	9.4	10.6	13.7	18.3
2021	2.4	3.7	4.8	6.7	6.9	7.0	8.7	11.0

Tabla A2. 5 Registro de precipitaciones máximas estación Guangarcucho.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017								
2018	6.3	9.7	12.4	17.8	16.4	17.0	24.5	24.5
2019	8.3	10.6	13.2	23.8	24.3	24.3	24.3	24.3
2020	6.0	8.1	9.8	12.5	12.5	16.2	17.9	18.1
2021								

Tabla A2. 6 Registro de precipitaciones máximas estación Huizhil.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	3	4.7	8.6	8.5	10.8	14.8	16.9	17.0
2018	3.3	4.6	8.5	10.7	9.6	8.6	12.2	14.9
2019	4.8	6.4	8.5	11.1	15.4	15.5	13.5	19.2
2020	5.5	7.4	9.3	12.3	12.7	15.9	15.4	21.2
2021	3.0	3.3	5.1	6.6	6.8	8.9	10.4	20.2

Tabla A2. 7 Registro de precipitaciones máximas estación Izhcayrrumi.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014	2.1	3.2	4.3	5.4	6	5.2	6.5	9.2
2015	3.2	6.1	9.3	14.4	17.9	19.5	19.6	19
2016								
2017								
2018								
2019	2.7	4.0	5.7	6.6	8.2	8.3	9.5	10.6
2020								
2021								

Tabla A2. 8 Registro de precipitaciones máximas estación Llaviucu

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016	2	2.9	3.1	5.7	4.7	6.4	6.4	6.4
2017								
2018								
2019								
2020								
2021								

Tabla A2. 9 Registro de precipitaciones máximas estación Machangara

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017								
2018								
2019	9.4	9.4	10.6	11.5	12.6	13.0	13.9	18.2
2020	4.8	9.5	11.9	11.9	11.9	12.7	11.9	13.7
2021	6.3	8.0	10.6	14.5	16.4	18.0	19.4	21.8

Tabla A2. 10 Registro de precipitaciones máximas estación Mamamag

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014	3.3	5.8	8.1	13.3	11	11.5	12	13.9
2015	3.9	6.4	9.3	11.6	9.3	11.7	8.6	12.2
2016								
2017								
2018								
2019								
2020								
2021								

Tabla A2. 11 Registro de precipitaciones máximas estación Matadero Sayausi

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014	2.5	2.8	3.6	5.3	3.8	6	6	7.1
2015	8.20	8.50	8.80	10.70	8.80	12.70	12.00	12.90
2016	6.00	6.30	12.30	14.70	15.80	16.40	15.30	20.20
2017	4.00	6.90	10.80	12.30	12.30	12.30	12.40	18.60
2018	4.7	7.3	7.8	11.0	9.7	10.0	21.5	21.5
2019	3.5	5.4	7.4	9.0	10.0	11.9	12.4	12.4
2020	3.4	5.6	10.2	13.2	10.9	11.4	18.9	18.9
2021	2.8	4.4	6.2	9.9	11.9	13.6	21.0	21.0

Tabla A2. 12 Registro de precipitaciones máximas estación Narancay.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	4.50	6.20	9.50	9.70	10.00	10.60	13.80	17.00
2018	4.7	7.7	12.3	13.6	13.7	16.5	17.7	22.2
2019	3.5	5.9	9.4	12.2	12.7	15.8	15.2	18.1
2020	9.1	10.3	13.7	13.7	13.9	13.7	13.7	17.4
2021	1.9	3.1	4.7	4.9	6.5	7.0	7.1	8.1

Tabla A2. 13 Registro de precipitaciones máximas estación Ricaurte.

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	7.20	7.20	13.60	17.40	17.80	15.00	17.40	25.60
2018	4.6	8.3	10.8	13.2	15.1	17.2	16.1	16.9
2019	4.9	9.7	11.2	13.7	18.9	20.7	18.9	30.5
2020	4.9	6.1	7.0	8.6	12.0	12.0	14.9	17.0
2021	5.2	5.6	8.0	10.6	8.0	11.2	11.4	11.4

Tabla A2. 14 Registro de precipitaciones máximas estación Sayausi

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	4.10	5.40	8.40	8.90	9.20	10.30	10.80	15.60
2018	7.7	11.1	17.0	19.1	25.9	27.7	35.9	40.1
2019	5.4	7.3	10.8	17.4	19.5	16.6	22.2	33.9
2020	4.1	6.8	9.1	10.9	13.1	15.8	12.8	25.1
2021	3.3	4.4	6.8	10.0	10.5	13.7	15.7	15.7

Tabla A2. 15 Registro de precipitaciones máximas estación Tixan

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017								
2018	13.0	13.0	13.7	20.6	20.7	20.5	20.7	20.7
2019	6.7	10.3	17.1	18.1	31.2	26.1	24.8	42.9
2020	4.6	7.1	9.5	11.8	15.2	15.1	19.6	20.4
2021	6.1	11.2	11.9	15.4	13.0	16.5	16.4	17.7

Tabla A2. 16 Registro de precipitaciones máximas estación Totoracocha

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	9.60	9.60	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99	17.99
2018	4.4	6.0	7.2	11.7	12.5	17.1	17.6	17.6
2019	8.2	15.0	17.7	18.3	18.7	23.9	18.9	19.6
2020	2.4	4.5	6.8	7.5	10.6	8.3	12.7	12.7
2021	8.2	8.2	9.5	9.7	9.7	11.5	16.5	16.5

Tabla A2. 17 Registro de precipitaciones máximas estación Yanuncay

Precipitación Máxima (mm)								
Año	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
2014								
2015								
2016								
2017	11.94	14.48	18.29	19.81	17.53	20.58	21.08	21.34
2018	7.1	13.7	16.5	22.6	25.1	20.6	25.1	25.9
2019	8.1	8.1	9.8	10.2	11.5	11.5	10.9	16.3
2020	2.2	4.4	4.4	6.2	8.3	8.4	10.7	18.2
2021	2.7	4.5	7.1	9.3	13.0	13.2	14.2	14.2

ANEXO 3 . GRAFICAS Y TABLAS DE FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Tabla A3. 1 Intensidades máximas de la estación el Cebollar determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

		Intensidad Máxima (mm/hora)						
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	97.46	78.33	51.62	48.06	31.40	29.16	21.77	13.54
10	100.60	90.22	57.94	53.74	34.81	33.32	23.90	14.50
20	103.62	101.62	63.99	59.18	38.08	37.31	25.93	15.42
50	107.52	116.38	71.83	66.23	42.31	42.48	28.57	16.62
100	110.44	127.43	77.71	71.51	45.48	46.35	30.55	17.51

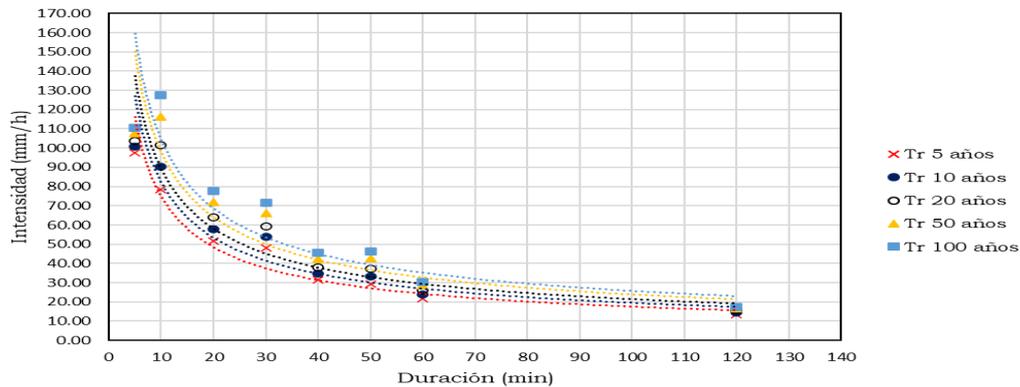


Tabla A3. 2 Intensidades máximas de la estación el Challuabamba determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

		Intensidad Máxima (mm/hora)						
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	93.03	51.82	43.50	33.64	27.46	24.35	22.06	12.21
10	113.79	59.19	53.50	41.16	32.31	28.73	25.94	14.24
20	133.70	66.27	63.10	48.38	36.97	32.93	29.65	16.19
50	159.48	75.42	75.52	57.71	42.99	38.38	34.46	18.72
100	178.79	82.28	84.82	64.71	47.51	42.45	38.07	20.61

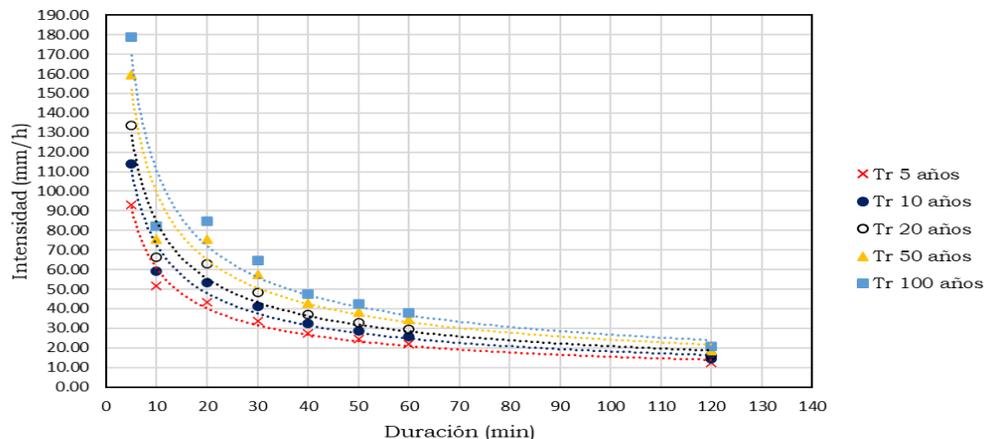


Tabla A3. 3 Intensidades máximas de la estación el Challuabamba determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	84.44	51.98	41.60	33.06	28.09	25.08	22.20	12.46
10	113.72	60.48	55.45	43.14	35.72	31.51	30.09	15.77
20	151.64	69.18	72.05	54.63	44.41	38.57	40.35	19.58
50	219.77	81.31	99.46	72.53	57.97	49.16	58.83	25.60
100	289.58	91.13	125.36	88.56	70.15	58.31	77.83	31.08

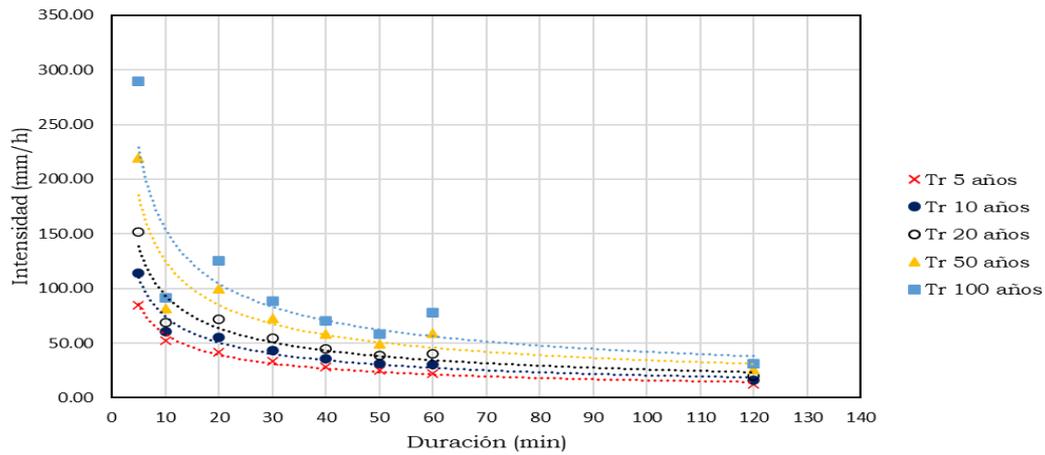


Tabla A3. 4 Intensidades máximas de la estación el Chanlud determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	54.95	45.73	38.54	26.49	24.98	21.72	17.80	10.23
10	58.84	49.25	42.27	28.61	27.85	24.18	19.61	11.22
20	62.57	52.63	45.85	30.64	30.60	26.54	21.34	12.18
50	67.40	57.00	50.48	33.28	34.16	29.60	23.58	13.41
100	71.02	60.27	53.95	35.25	36.83	31.88	25.26	14.34

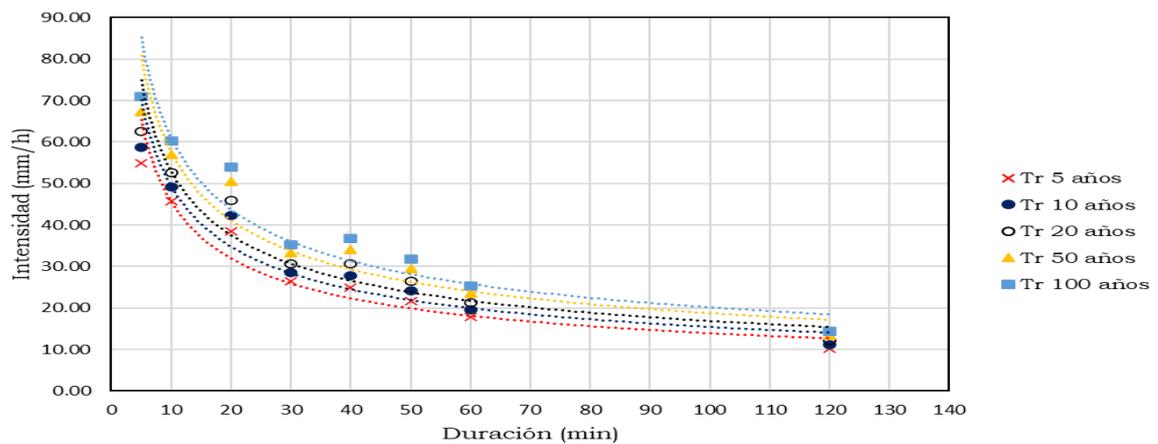


Tabla A3. 5 Intensidades máximas de la estación el Chanlud determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	55.05	46.04	38.85	26.47	25.13	22.15	18.00	10.40
10	60.05	49.58	42.66	29.40	28.24	24.93	19.83	11.29
20	65.20	52.92	46.29	32.51	31.29	27.64	21.58	12.09
50	72.36	57.21	50.99	36.99	35.39	31.22	23.82	13.06
100	78.11	60.43	54.55	40.70	38.58	33.99	25.51	13.75

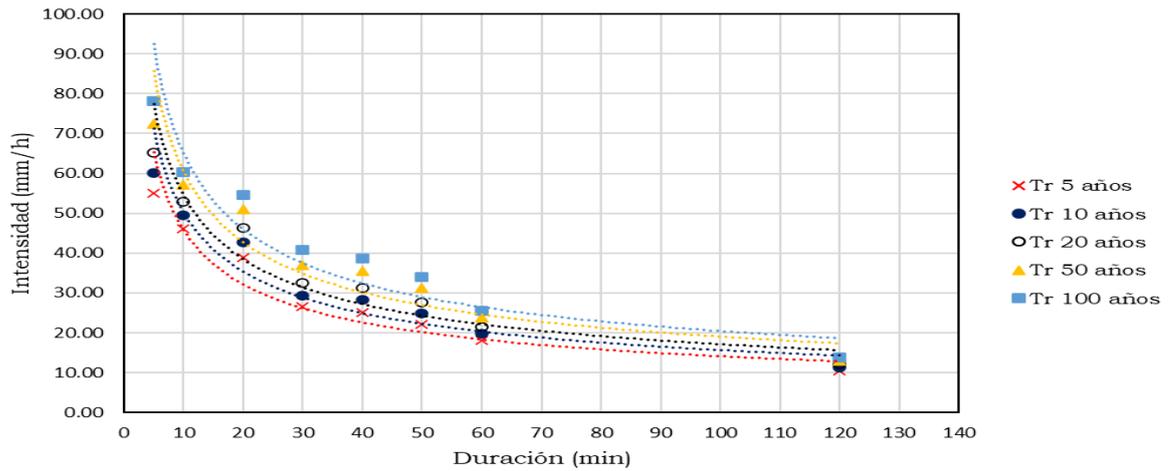


Tabla A3. 6 Intensidades máximas de la estación el El Labrado determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	45.89	37.51	26.32	22.03	16.54	13.65	12.22	8.05
10	51.20	41.76	29.43	24.95	18.45	15.16	13.79	8.85
20	56.30	45.84	32.41	27.76	20.29	16.60	15.30	9.63
50	62.90	51.13	36.28	31.38	22.66	18.46	17.26	10.62
100	67.84	55.08	39.17	34.10	24.44	19.86	18.72	11.37

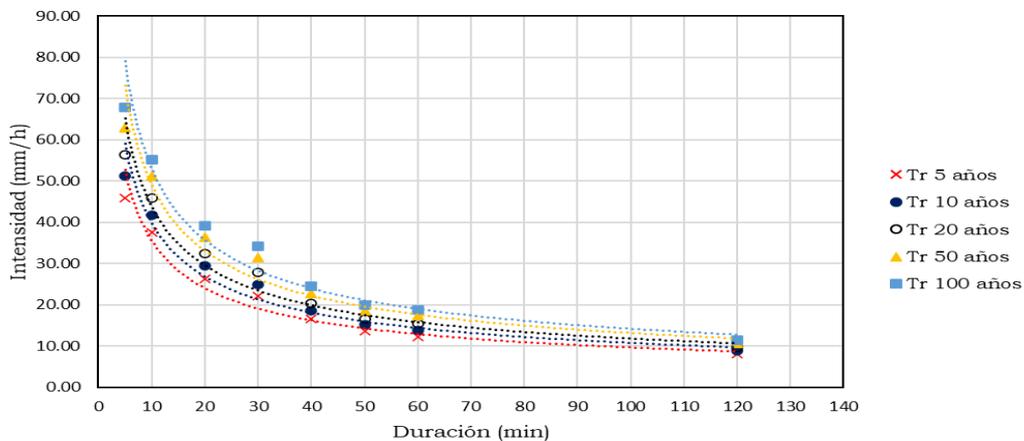


Tabla A3. 7 Intensidades máximas de la estación el El Labrado determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	46.51	38.10	26.51	22.26	16.86	13.90	12.34	8.12
10	51.86	43.36	31.13	25.43	18.65	15.53	14.04	8.94
20	56.90	48.68	36.22	28.53	20.27	17.09	15.71	9.72
50	63.36	55.99	43.85	32.68	22.26	19.14	17.95	10.72
100	68.20	61.84	50.44	35.90	23.70	20.70	19.69	11.47

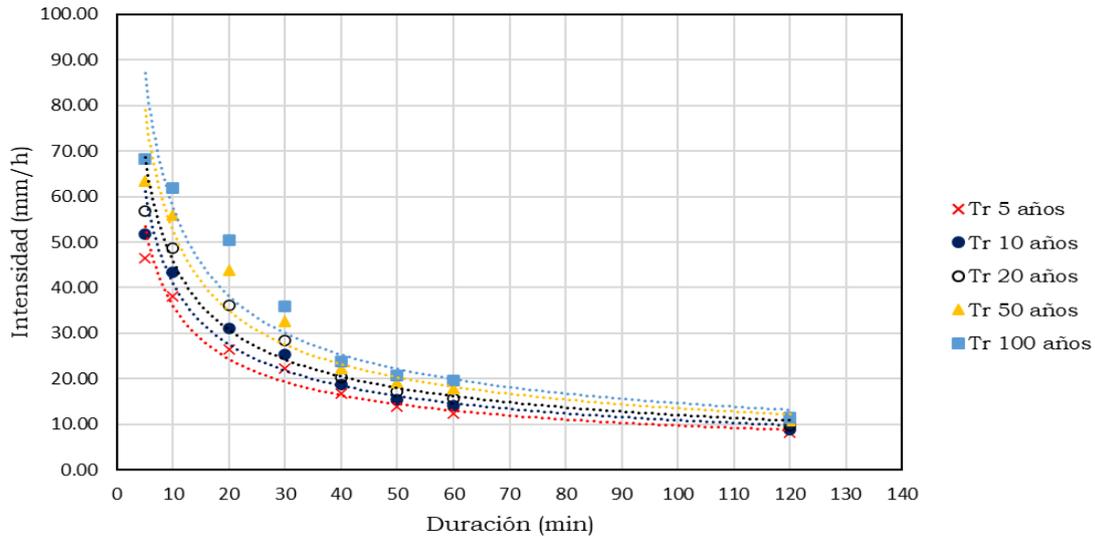


Tabla A3. 8 Intensidades máximas de la estación el Huizhil determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	57.03	38.67	27.57	22.95	20.08	18.45	15.53	10.17
10	65.15	44.35	30.48	25.61	22.92	21.03	17.03	10.91
20	72.94	49.80	33.27	28.17	25.65	23.50	18.47	11.62
50	83.02	56.85	36.88	31.47	29.18	26.69	20.33	12.55
100	90.58	62.14	39.58	33.95	31.82	29.09	21.73	13.24

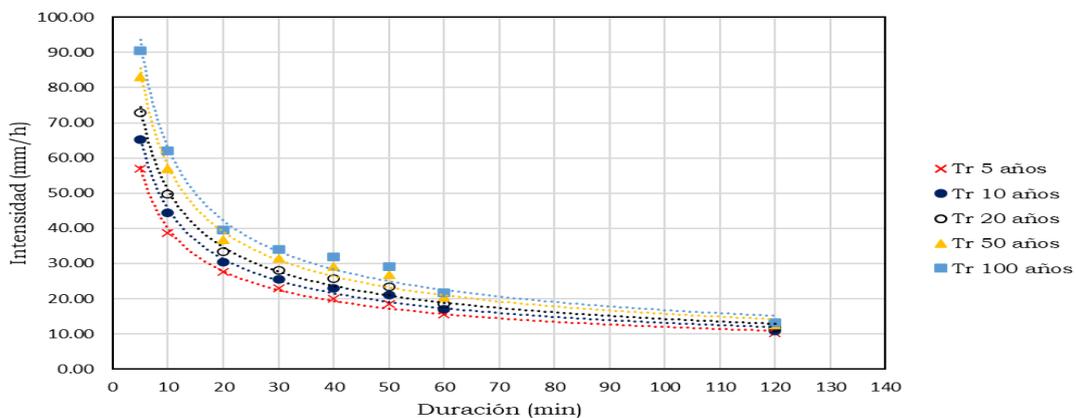


Tabla A3. 9 Intensidades máximas de la estación el Huizhil determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	57.03	39.57	27.13	23.25	20.50	18.90	15.79	10.26
10	66.42	45.92	32.17	26.86	24.05	22.26	17.31	11.10
20	76.09	48.33	38.19	30.65	27.68	25.73	18.73	11.93
50	89.63	52.95	47.98	36.08	32.74	30.61	20.53	13.02
100	100.64	56.11	57.05	40.57	36.82	34.58	21.86	13.85

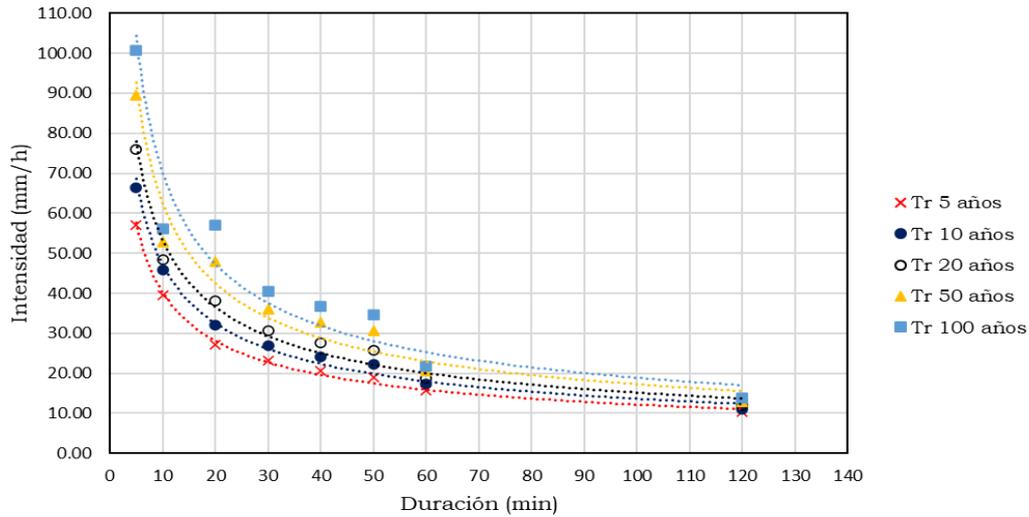


Tabla A3. 10 Intensidades máximas de la estación el Matadero Sayausi determinados con la función de distribución n Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	69.05	43.07	31.14	25.65	19.30	16.73	18.76	10.15
10	82.38	49.31	36.00	29.01	22.30	18.82	21.86	11.66
20	95.17	55.29	40.66	32.23	25.19	20.84	24.84	13.11
50	111.73	63.03	46.69	36.40	28.92	23.44	28.70	14.99
100	124.14	68.84	51.21	39.52	31.71	25.40	31.59	16.40

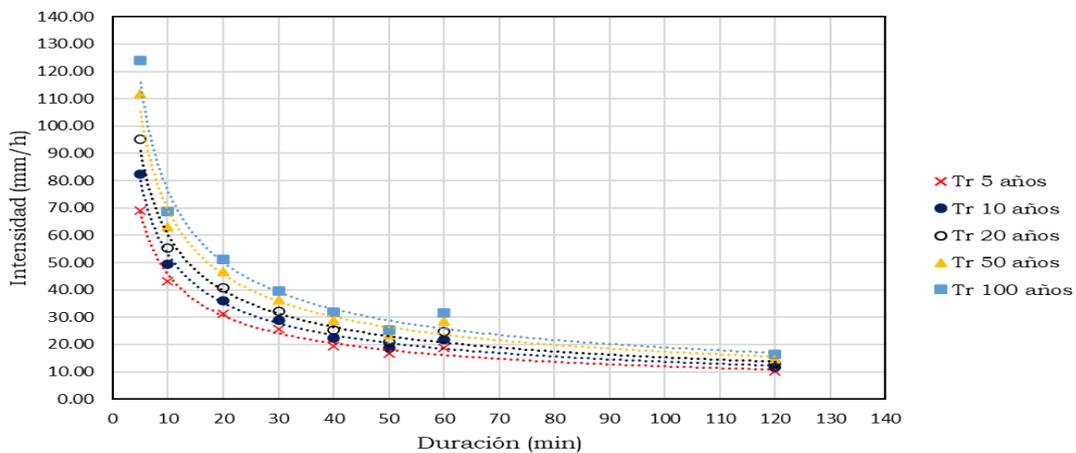


Tabla A3. 11 Intensidades máximas de la estación el Narancay determinados con la función de distribución n Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	80.00	51.22	37.21	26.94	20.42	18.66	16.32	10.14
10	98.81	60.48	43.27	31.25	23.17	21.43	18.62	11.65
20	116.85	60.48	49.09	35.39	34.67	24.08	20.83	13.10
50	140.20	80.85	56.61	40.74	29.22	27.51	23.68	14.98
100	157.69	89.47	62.25	44.75	31.77	30.08	25.82	16.38

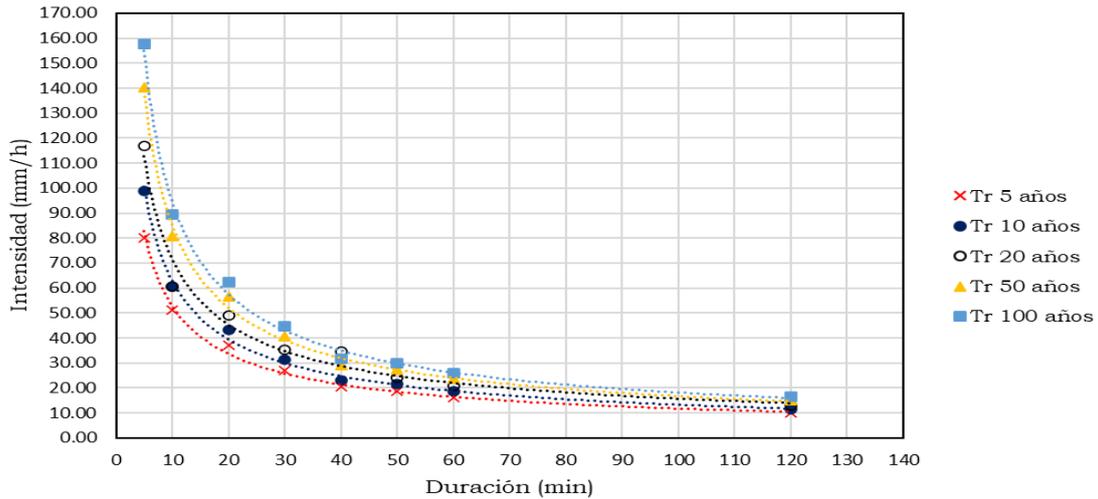


Tabla A3. 12 Intensidades máximas de la estación el Narancay determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	80.76	52.20	37.53	26.95	20.52	18.94	16.26	10.08
10	103.55	67.12	48.85	35.90	25.17	23.42	20.55	13.08
20	127.16	67.12	62.81	47.53	58.08	28.57	25.84	16.88
50	160.21	111.73	86.56	68.44	39.27	36.63	34.83	23.58
100	186.90	136.66	109.66	89.91	47.23	43.91	43.55	30.29

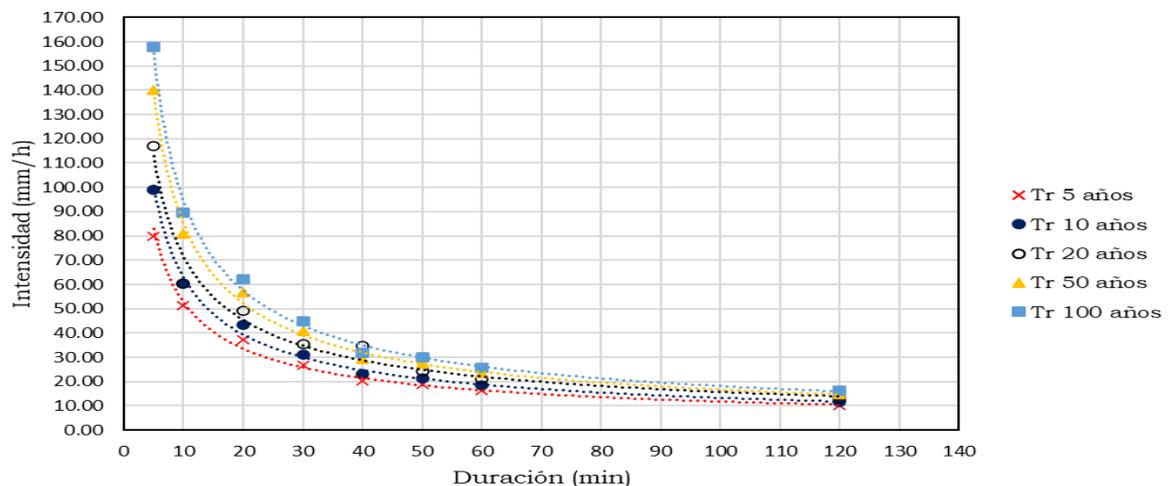


Tabla A3. 13 Intensidades máximas de la estación el Ricaurte determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	73.39	51.46	36.07	30.20	26.34	21.62	17.79	12.89
10	80.77	57.31	40.71	34.11	30.24	24.36	19.46	15.13
20	87.84	62.91	45.17	37.86	33.98	26.98	21.05	17.27
50	97.00	70.16	50.93	42.71	38.83	30.37	23.12	20.05
100	103.87	75.60	55.25	42.71	42.46	32.91	24.67	22.13

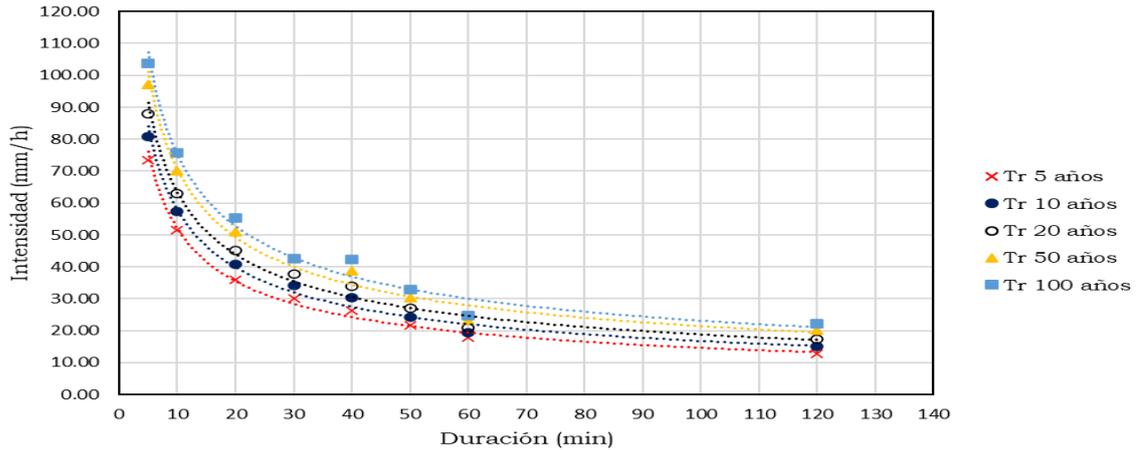


Tabla A3. 14 Intensidades máximas de la estación el Ricaurte determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	70.92	52.22	36.87	30.90	26.76	21.96	17.90	13.25
10	80.11	58.07	41.91	34.14	32.90	24.76	20.12	15.70
20	90.41	63.55	46.74	36.92	39.83	27.42	22.43	18.08
50	105.99	70.55	53.04	40.16	50.54	29.10	25.71	21.18
100	119.50	71.09	57.82	40.16	60.06	30.88	28.40	23.54

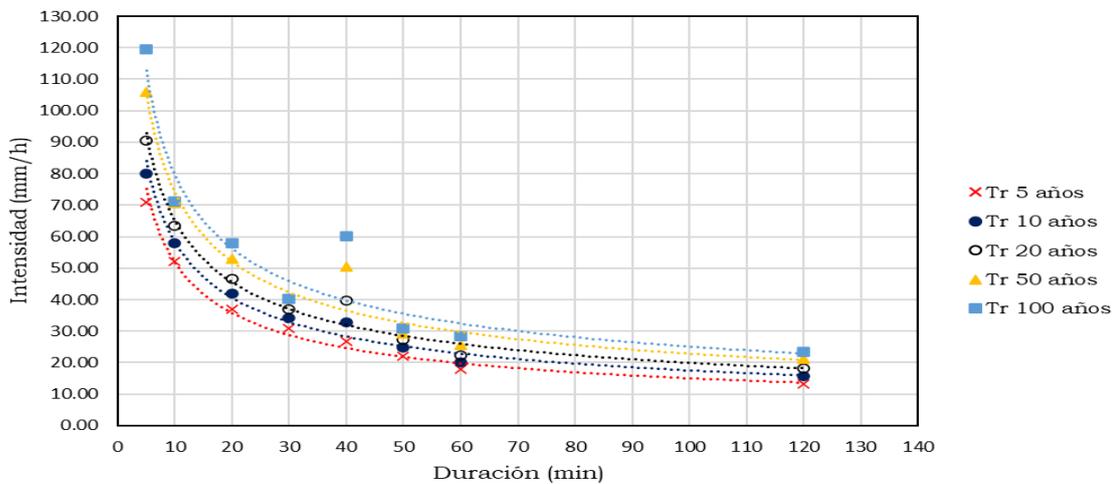


Tabla A3. 15 Intensidades máximas de la estación el Sayausi determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	73.95	53.06	39.79	33.21	30.99	25.84	26.78	16.97
10	86.08	62.06	46.72	38.65	37.11	30.44	32.71	20.16
20	97.72	70.70	53.37	43.88	42.98	34.86	38.41	23.22
50	112.78	81.87	61.98	50.63	50.59	40.57	45.78	27.19
100	124.06	90.24	68.43	55.70	56.28	44.85	51.30	30.16

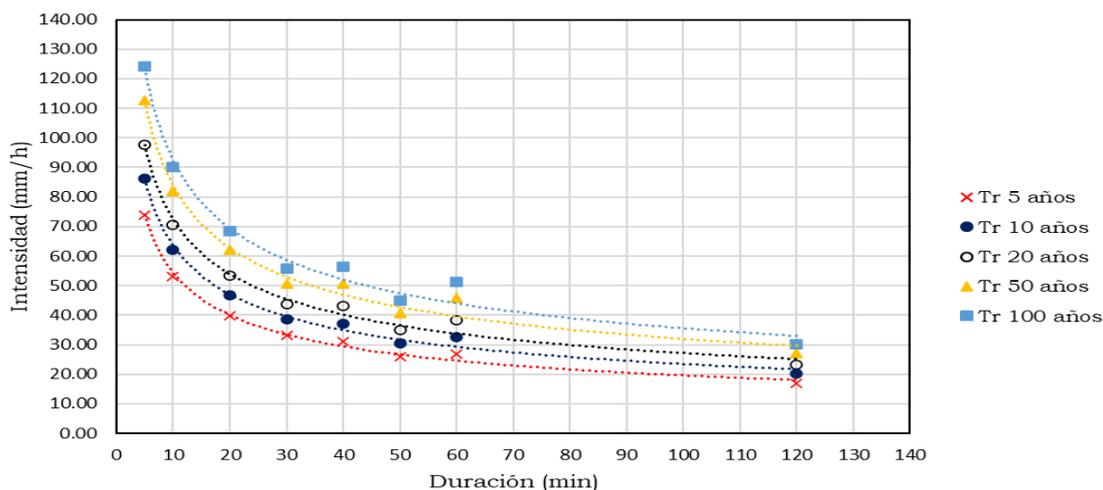


Tabla A3. 16 Intensidades máximas de la estación el Sayausi determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	72.64	52.90	38.56	33.42	30.83	25.38	25.67	17.44
10	87.35	63.39	47.17	39.79	38.47	30.93	33.51	21.10
20	103.30	74.32	56.80	46.32	46.69	36.95	42.64	24.70
50	126.91	89.85	71.53	55.46	58.77	45.84	57.22	29.48
100	147.08	102.61	84.50	62.87	69.00	53.44	70.59	33.18

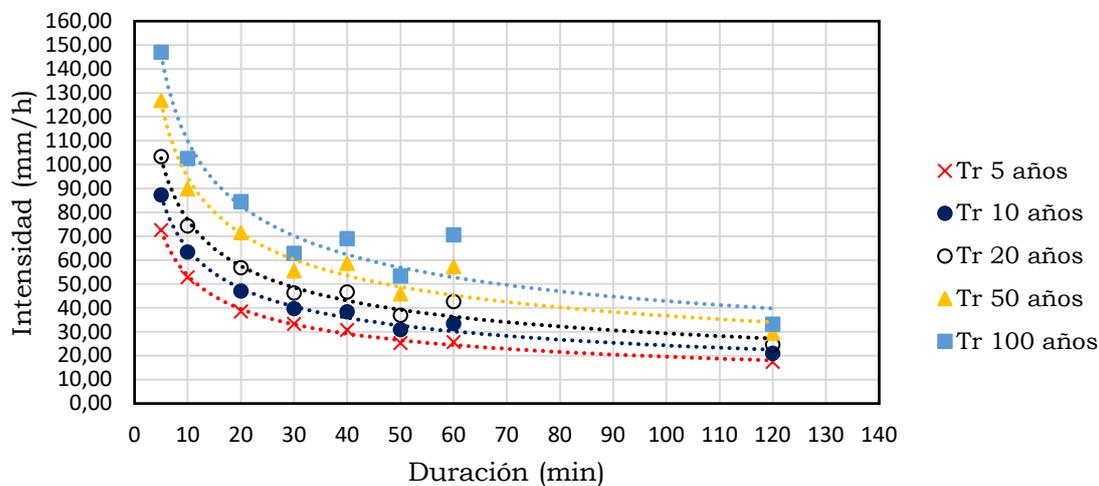


Tabla A3. 17 Intensidades máximas de la estación Tixan determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	123.21	73.07	46.06	38.38	38.81	27.72	22.87	16.93
10	149.25	81.74	51.68	42.79	45.94	31.18	24.90	20.37
20	174.23	90.06	57.08	47.03	52.78	34.50	26.85	23.66
50	206.55	100.83	64.06	52.51	61.64	38.80	29.37	27.92
100	230.78	108.90	69.29	56.62	68.27	42.02	31.26	31.11

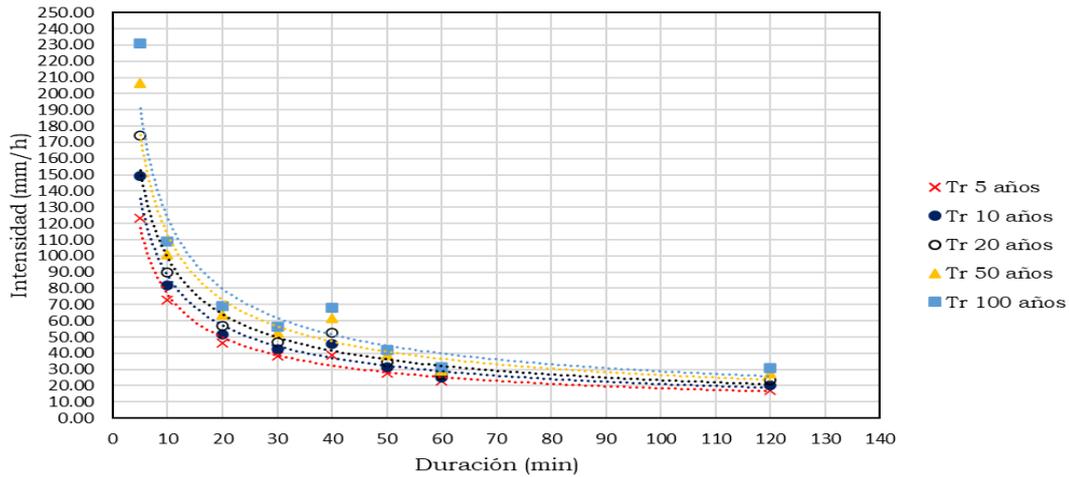


Tabla A3. 18 Intensidades máximas de la estación Tixan determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	116.46	73.67	47.10	39.01	38.40	27.84	23.26	15.38
10	152.14	86.07	52.51	44.44	47.46	31.75	25.07	20.13
20	195.40	99.55	57.43	49.94	57.40	35.69	26.67	26.25
50	267.69	119.50	63.53	57.53	72.31	41.10	28.59	37.13
100	336.86	136.52	67.95	63.59	85.22	45.42	29.95	48.17

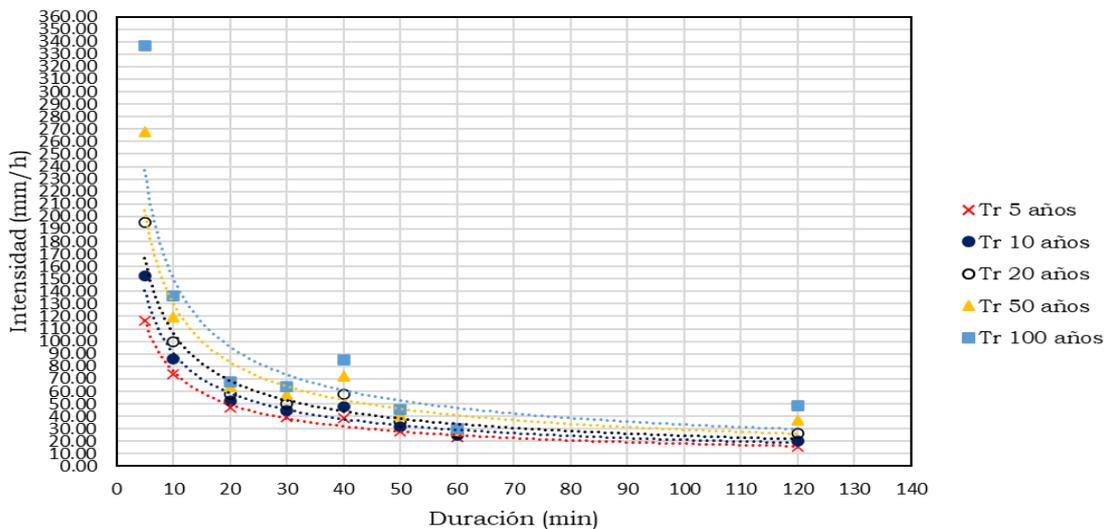


Tabla A3. 19 Intensidades máximas de la estación Ventanas determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	93.03	51.82	43.50	33.64	27.46	24.35	22.06	12.21
10	113.79	59.19	53.50	41.16	32.31	28.73	25.94	14.24
20	133.70	66.27	63.10	48.38	36.97	32.93	29.65	16.19
50	159.48	75.42	75.52	57.71	42.99	38.38	34.46	18.72
100	178.79	82.28	84.82	64.71	47.51	42.45	38.07	20.61

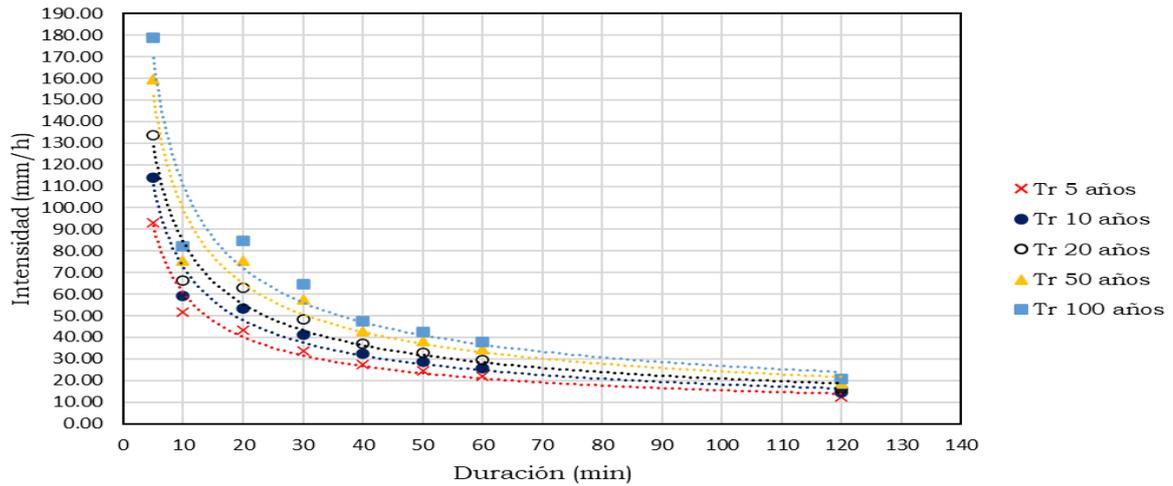


Tabla A3. 20 Intensidades máximas de la estación Ventanas determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	84.44	51.98	41.60	33.06	28.09	25.08	22.20	12.46
10	113.72	60.48	55.45	43.14	35.72	31.51	30.09	15.77
20	151.64	69.18	72.05	54.63	44.41	38.57	40.35	19.58
50	219.77	81.31	99.46	72.53	57.97	49.16	58.83	25.60
100	289.58	91.13	125.36	88.56	70.15	58.31	77.83	31.08

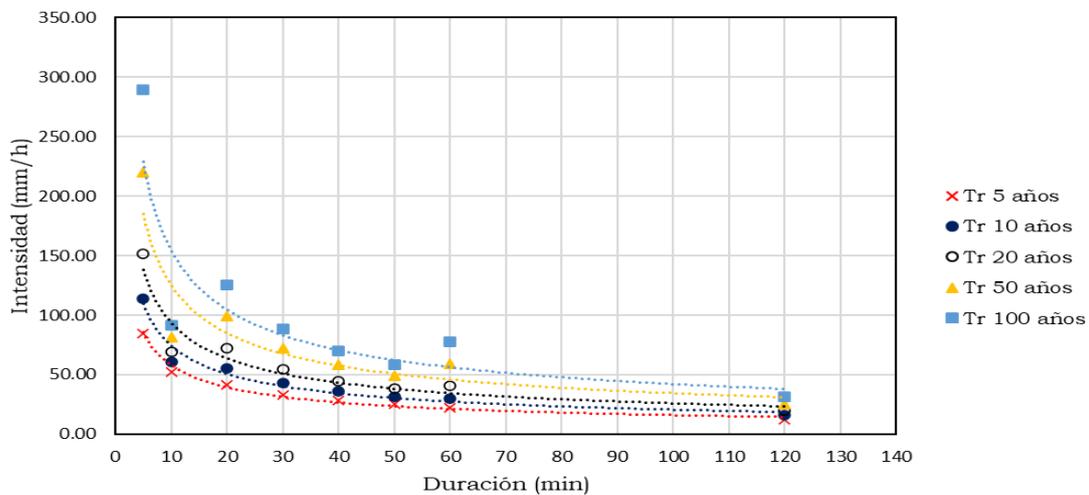


Tabla A3. 21 Intensidades máximas de la estación Totoracocha determinados con la función de distribución Gumbel de valores máximos.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	104.84	69.46	47.56	33.12	25.37	24.14	18.48	9.37
10	126.09	83.69	57.36	38.85	29.05	28.40	19.89	10.13
20	146.47	97.34	66.76	44.35	32.58	32.48	21.25	10.85
50	172.84	115.01	78.93	51.46	37.15	37.76	23.00	11.79
100	192.61	128.25	88.05	56.79	40.57	41.72	24.32	12.50

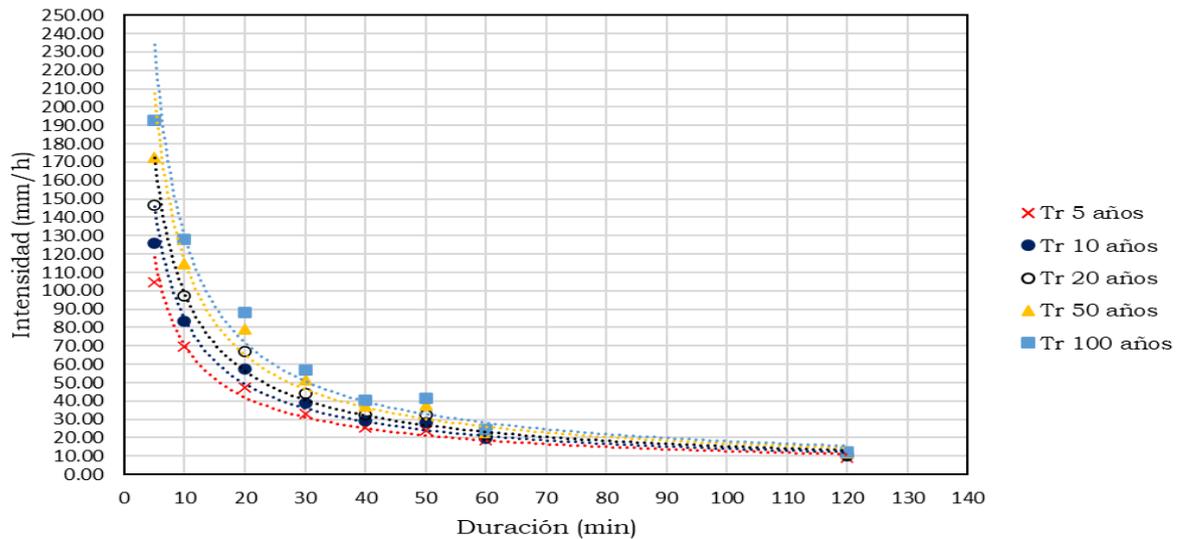
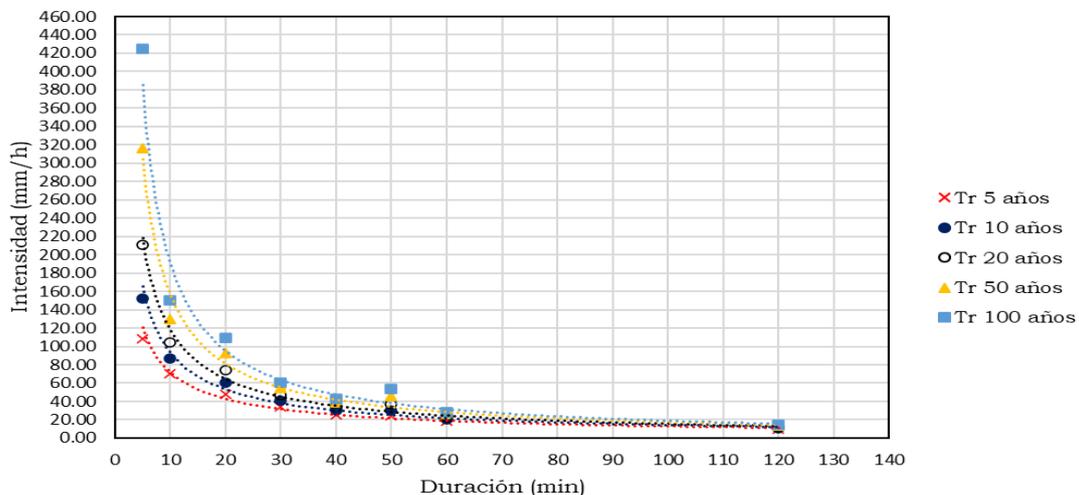


Tabla A3. 22 Intensidades máximas de la estación Totoracocha determinados con la función de distribución Log Pearson III.

Intensidad Máxima (mm/hora)								
Tr	5 min	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min
5	107.92	69.82	47.93	34.10	25.79	24.77	18.38	9.37
10	152.76	86.85	60.42	40.47	29.76	30.65	20.41	10.41
20	211.07	104.57	73.71	46.62	33.62	36.93	22.61	11.52
50	316.33	129.62	92.98	54.66	38.71	46.09	25.83	13.12
100	424.55	150.11	109.09	60.78	42.63	53.81	28.53	14.44



ANEXO 4. VALORES CRÍTICOS DEL TEST DE KOLMOGÓROV-SMIRNOV PARA UNA MUESTRA

<i>Tamaño muestral</i>	<i>mues- tral</i>	<i>Nivel de significación α</i>			
		0,10	0,05	0,02	0,01
1		0,95000	0,97500	0,99000	0,99500
2		0,77639	0,84189	0,90000	0,92929
3		0,63604	0,70760	0,78456	0,82900
4		0,56522	0,62394	0,68887	0,73424
5		0,50945	0,56328	0,62718	0,66853
6		0,46799	0,51926	0,57741	0,61661
7		0,43607	0,48342	0,53844	0,57581
8		0,40962	0,45427	0,50654	0,54179
9		0,38746	0,43001	0,47960	0,51332
10		0,36866	0,40925	0,45662	0,48893
11		0,35242	0,39122	0,43670	0,46770
12		0,33815	0,37543	0,41918	0,44905
13		0,32549	0,36143	0,40362	0,43247
14		0,31417	0,34890	0,38970	0,41762
15		0,30397	0,33760	0,37713	0,40420
16		0,29472	0,32733	0,36571	0,39201
17		0,28627	0,31796	0,35528	0,38086
18		0,27851	0,30936	0,34569	0,37062
19		0,27136	0,30143	0,33685	0,36117
20		0,26473	0,29408	0,32866	0,35241
21		0,25858	0,28724	0,32104	0,34427
22		0,25283	0,28087	0,31394	0,33666
23		0,24746	0,27490	0,30728	0,32954
24		0,24242	0,26931	0,30104	0,32286
25		0,23768	0,26404	0,29516	0,31657
26		0,23320	0,25907	0,28962	0,31064
27		0,22898	0,25438	0,28438	0,30502
28		0,22497	0,24993	0,27942	0,29971
29		0,22117	0,24571	0,27471	0,29466
30		0,21756	0,24170	0,27023	0,28987

Para tamaños muestrales $n > 30$, el valor crítico D puede calcularse como $D = \sqrt{-\ln(\alpha/2)/2n}$.

Para $\alpha = 0,05$, $D = 1,358/\sqrt{n}$ y para $\alpha = 0,01$, $D = 1,628/\sqrt{n}$.

Fuente: Adaptada de MILLER, L. H.: «Table of percentage points of Kolmogorov Statistics», JASA; vol. 51. Reproducida con permiso de JASA. Copyright 1956 por American Statistical Association. Todos los derechos reservados.