

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su
conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi -
Ayacucho - 2021**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. ROKE JOHN ESPINOZA HUAMAN

ASESOR:

Dr. JUAN CHARAPAQUI ANCCASI

Ayacucho - Perú

2024

A Dios, que me ha dado salud, vitalidad y sabiduría a lo largo de mi vida y ha hecho posible que cumpla mis objetivos.

Con el mayor respeto, amor, admiración y gratitud a mis queridos padres Teófilo Espinoza, Luisa Huamán y hermano Jack por su sacrificio y apoyo incondicional en mi formación profesional.

A mis tesoros, Miriams Glidy Arones y Dayra Bellanira Espinoza, motivos para seguir adelante.

A mi estimado amigo por apoyarme, esforzarme, guiarme y ser empuje para realizar todo el proyecto.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a la Facultad de Ciencias Agrarias, en forma muy especial a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme formado para ser útil a la sociedad y mi país.

Al Dr. Juan Charapaqui Anccasi, asesor del presente proyecto, por su apoyo y orientación incondicional en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A los miembros del Jurado Ing. Efraín Chuchón Prado, Ph. D. Sandra Del Águila Ríos y el MSc. Ing. Richard Alex Oscoco Peceros por las correcciones y sugerencias en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga quienes me brindaron e inculcaron con paciencia, sus conocimientos y ética profesional en mi formación profesional.

Por último, a mis amigos que estuvieron apoyándome, animándome y colaborando en la elaboración del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS	xv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Conceptos básicos	6
1.2.1. Hidrología.....	6
1.2.2. Precipitación	6
1.2.2.1. Definición	6
1.2.2.2. Formación de las precipitaciones	7
1.2.2.3. Medición de la precipitación	8
1.2.2.4. Variación espacial de las precipitaciones	10
1.2.3. Estudio de tormentas	11
1.2.3.1. Definición e importancia	11
1.2.3.2. Elementos fundamentales para el análisis de tormentas.....	11
1.2.3.3. Curvas intensidad – duración - frecuencia (I-D-F).....	13
1.2.4. Selección del periodo de retorno	16
1.2.5. Verificación de hipótesis estadísticas básicas en las series históricas	19
1.2.5.1. Detección de datos atípicos en la serie	19

1.2.5.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz)	20
1.2.5.3. Prueba de Estacionariedad (Kendall)	21
1.2.5.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon)	23
1.2.6. Funciones de distribución de probabilidades	24
1.2.6.1. Distribución valor extremo generalizado (Gen Extreme Value –GEV).....	24
1.2.6.2. Distribución Normal	25
1.2.6.3. Distribución Log Normal 2 parámetros.....	25
1.2.6.4. Distribución Log Normal 3 parámetros.....	26
1.2.6.5. Distribución Gamma 2 parámetros.....	26
1.2.6.6. Distribución Gamma 3 parámetros.....	27
1.2.6.7. Distribución Log Pearson tipo III.....	27
1.2.6.8. Distribución Gumbel	28
1.2.6.9. Distribución Log Gumbel.....	29
1.2.7. Pruebas de bondad de ajuste	29
1.2.7.1. Test de Kolmogorov - Smirnov	29
1.2.7.2. Test de Anderson - Darling	32
1.2.7.3. Test de Chi - Cuadrado.....	33
1.2.8. Estadística espacial	34
1.2.9. La interpolación de datos espaciales	34
1.2.10. Métodos de interpolación	37
1.2.10.1. Inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting – IDW).....	38
1.2.10.2. Kriging (Kriging)	40
1.2.10.3. Regresión polinómica (Polynomial Regression)	42
1.2.10.4. Promedios móviles (Moving Average)	42
1.2.10.5. Curvatura mínima (Minimum Curvature)	43
1.2.10.6. Vecino cercano (Nearest Neighbor)	43
1.2.10.7. Funciones de base radial (Radial Basis Function - RBF).....	43

CAPÍTULO II.....	44
METODOLOGÍA.....	44
2.1. Ubicación.....	44
2.1.1. Ubicación geográfica (punto de aforo).....	44
2.1.2. Ubicación política.....	44
2.1.3. Ubicación hidrográfica	45
2.1.4. Ubicación administrativa	45
2.2. Materiales y equipos.....	47
2.2.1. Materiales	47
2.2.2. Equipos	47
2.3. Metodología.....	47
2.3.1. Labores preliminares	48
2.3.2. Trabajos de campo.....	49
a) Ubicación del punto de aforo	49
2.3.3. Trabajos de gabinete.....	49
2.3.3.1. Evaluación de la información de las precipitaciones máximas en 24h	49
2.3.3.2. Obtención de las ecuaciones y las curvas IDF	51
2.3.3.3. Conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación	52
CAPÍTULO III	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1. Resultados de la información de las precipitaciones máximas en 24h.....	54
3.1.1. Precipitaciones máximas en 24h.....	54
3.1.2. Datos dudosos de precipitaciones máximas en 24h.....	55
3.1.3. Pruebas estadísticas	67
3.1.4. Selección de la función de distribución de probabilidad.....	80
3.1.5. Precipitaciones máximas probables para distintas frecuencias	88

3.1.6. Discusión de la información de las precipitaciones máximas en 24h	89
3.2. Resultados de las ecuaciones y las curvas IDF	90
3.2.1. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno	90
3.2.2. Intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno	96
3.2.3. Curvas IDF con sus respectivas ecuaciones	102
3.2.4. Discusión de las ecuaciones y las curvas IDF	110
3.3. Resultados de la conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación	111
3.3.1. Intensidades máximas de precipitación para diferentes frecuencias y tiempos de duración seleccionados	111
3.3.2. Mapas de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración seleccionados	112
3.3.3. Discusión de la conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación	116
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Coeficientes de duración lluvias entre una hora y 48 horas	15
Tabla 1.2: Valores de Período de Retorno T (Años)	18
Tabla 1.3: Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje	18
Tabla 1.4: Valores Kn para la prueba de datos atípicos	19
Tabla 1.5: Valores de Kcri para el test de Kendall	22
Tabla 1.6: Fórmulas de probabilidades empíricas	31
Tabla 1.7: Nivel de significancia para la prueba de Kolmogorov - Smirnov	31
Tabla 1.8: Coordenadas X,Y y parámetro Z para ser procesados	36
Tabla 2.1: Ubicación hidrográfica del trabajo de investigación	45
Tabla 2.2: Estaciones meteorológicas entorno a la cuenca del río Cachi	49
Tabla 3.1: Precipitación máxima en 24h anual para cada estación meteorológica parte 1	54
Tabla 3.2: Precipitación máxima en 24h anual para cada estación meteorológica parte 2	55
Tabla 3.3: Prueba de datos dudosos estación Allpachaca	55
Tabla 3.4: Prueba de datos dudosos estación Apacheta	56
Tabla 3.5: Prueba de datos dudosos estación Chiara	57
Tabla 3.6: Prueba de datos dudosos estación Choccoro	58
Tabla 3.7: Prueba de datos dudosos estación Chontaca	59
Tabla 3.8: Prueba de datos dudosos estación Cuchoquesera	60
Tabla 3.9: Prueba de datos dudosos estación Huanta	61
Tabla 3.10: Prueba de datos dudosos estación INIA	62
Tabla 3.11: Prueba de datos dudosos estación Pucaloma	63
Tabla 3.12: Prueba de datos dudosos estación Quinoa	64
Tabla 3.13: Prueba de datos dudosos estación Tambillo	65
Tabla 3.14: Prueba de datos dudosos estación Putacca	66
Tabla 3.15: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Allpachaca	81
Tabla 3.16: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Apacheta	81

Tabla 3.17: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Chiara	82
Tabla 3.18: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Choccoro	83
Tabla 3.19: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Chontaca.....	83
Tabla 3.20: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Cuchoquesera	83
Tabla 3.21: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Huanta	84
Tabla 3.22: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación INIA	85
Tabla 3.23: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Pucaloma.....	85
Tabla 3.24: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Quinoa	86
Tabla 3.25: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Tambillo	87
Tabla 3.26: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Putacca	87
Tabla 3.27: Precipitación máxima probable para distintos periodos de retorno ajustada a diferentes funciones de distribución para cada estación parte 1.....	88
Tabla 3.28: Precipitación máxima probable para distintos periodos de retorno ajustada a diferentes funciones de distribución para cada estación parte 2.....	88
Tabla 3.29: Precipitación máxima probable corregido para distintos periodos de retorno ajustada a diferentes funciones de distribución para cada estación parte 1;Error! Marcador no definido.	
Tabla 3.30: Precipitación máxima probable corregido para distintos periodos de retorno ajustada a diferentes funciones de distribución para cada estación parte 2;Error! Marcador no definido.	
Tabla 3.31: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Allpachaca	90
Tabla 3.32: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Apacheta	90
Tabla 3.33: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chiara	91
Tabla 3.34: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Choccoro	91

Tabla 3.35: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chontaca	92
Tabla 3.36: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Cuchoquesera	92
Tabla 3.37: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Huanta	93
Tabla 3.38: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación INIA.....	93
Tabla 3.39: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Pucaloma	94
Tabla 3.40: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Quinua	94
Tabla 3.41: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Tambillo	95
Tabla 3.42: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Putacca.....	95
Tabla 3.43: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Allpachaca	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3.44: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Apacheta.....	96
Tabla 3.45: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chiara	97
Tabla 3.46: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Choccoro	97
Tabla 3.47: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chontaca.....	98
Tabla 3.48: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Cuchoquesera	98
Tabla 3.49: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Huanta	99

Tabla 3.50: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación INIA.....	99
Tabla 3.51: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Pucalloma	100
Tabla 3.52: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Quinua	100
Tabla 3.53: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Tambillo	101
Tabla 3.54: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Putacca.....	101
Tabla 3.55: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 50 años y tiempos de duración seleccionados.....	111
Tabla 3.56: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 100 años y tiempos de duración seleccionados.....	111
Tabla 3.57: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 200 años y tiempos de duración seleccionados.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Lluvia torrencial seguida por una granizada creó un río en la ciudad de Huamanga, por falta de drenaje pluvial en la ciudad.....	4
Figura 1.2: Las redes de alcantarillado y drenaje colapsaron en la provincia de Huanta.....	5
Figura 1.3: Pluviómetro Estándar (National Weather Service).....	9
Figura 1.4: Pluviograma	10
Figura 1.5: Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima	14
Figura 1.6: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil	17
Figura 1.7: Proceso de interpolación espacial en un punto	35
Figura 1.8: Datos incorporados en el grid	36
Figura 1.9: Representación mediante líneas de los datos interpolados	37
Figura 1.10: Estimación de un punto con el interpolador inverso de la distancia.....	39
Figura 1.11: Curvas generadas para el parámetro β con diferentes valores	40
Figura 1.12: Ejemplo de variograma	41
Figura 2.1: Ubicación de AAA XI Pampas Apurímac (Ubicación Administrativa).....	45
Figura 2.2: Ubicación de la zona del trabajo de investigación de la cuenca Cachi.....	46
Figura 2.3: Flujograma de la metodología.....	48
Figura 3.1: Prueba de independencia estación Allpachaca.....	68
Figura 3.2: Prueba de estacionariedad estación Allpachaca.....	68
Figura 3.3: Prueba de homogeneidad estación Allpachaca	68
Figura 3.4: Prueba de independencia estación Apacheta	69
Figura 3.5: Prueba de estacionariedad estación Apacheta.....	69
Figura 3.6: Prueba de homogeneidad estación Apacheta	69
Figura 3.7: Prueba de independencia estación Chiara.....	70
Figura 3.8: Prueba de estacionariedad estación Chiara	70
Figura 3.9: Prueba de homogeneidad estación Chiara	70

Figura 3.10: Prueba de independencia estación Choccoro	71
Figura 3.11: Prueba de estacionariedad estación Choccoro	71
Figura 3.12: Prueba de homogeneidad estación Choccoro.....	71
Figura 3.13: Prueba de independencia estación Chontaca	72
Figura 3.14: Prueba de estacionariedad estación Chontaca.....	72
Figura 3.15: Prueba de homogeneidad estación Chontaca	73
Figura 3.16: Prueba de independencia estación Cuchoquesera.....	73
Figura 3.17: Prueba de estacionariedad estación Cuchoquesera	73
Figura 3.18: Prueba de homogeneidad estación Cuchoquesera	74
Figura 3.19: Prueba de independencia estación Huanta	74
Figura 3.20: Prueba de estacionariedad estación Huanta	75
Figura 3.21: Prueba de homogeneidad estación Huanta.....	75
Figura 3.22: Prueba de independencia estación INIA	75
Figura 3.23: Prueba de estacionariedad estación INIA	76
Figura 3.24: Prueba de homogeneidad estación INIA.....	76
Figura 3.25: Prueba de independencia estación Pucaloma.....	76
Figura 3.26: Prueba de estacionariedad estación Pucaloma	77
Figura 3.27: Prueba de homogeneidad estación Pucaloma	77
Figura 3.28: Prueba de independencia estación Quinoa.....	77
Figura 3.29: Prueba de estacionariedad estación Quinoa	78
Figura 3.30: Prueba de homogeneidad estación Quinoa	78
Figura 3.31: Prueba de independencia estación Tambillo.....	78
Figura 3.32: Prueba de estacionariedad estación Tambillo	79
Figura 3.33: Prueba de homogeneidad estación Tambillo	79
Figura 3.34: Prueba de independencia estación Putacca	79
Figura 3.35: Prueba de estacionariedad estación Putacca	80
Figura 3.36: Prueba de homogeneidad estación Putacca.....	80

Figura 3.37: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Apacheta	82
Figura 3.38: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Chiara	82
Figura 3.39: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Cuchoquesera	84
Figura 3.40: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Huanta	85
Figura 3.41: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Pucaloma	86
Figura 3.42: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Putacca	87
Figura 3.43: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Allpachaca.....	103
Figura 3.44: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Allpachaca.....	103
Figura 3.45: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Apacheta.....	103
Figura 3.46: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Apacheta.....	103
Figura 3.47: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Chiara	104
Figura 3.48: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Chiara	104
Figura 3.49: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Choccoro	104
Figura 3.50: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Choccoro	105
Figura 3.51: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Chontaca.....	105
Figura 3.52: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Chontaca.....	105
Figura 3.53: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Cuchoquesera	106
Figura 3.54: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Cuchoquesera	106
Figura 3.55: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación Huanta	106
Figura 3.56: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación Huanta	107
Figura 3.57: Curvas IDF ($t < 120\text{min}$) de la estación INIA	107
Figura 3.58: Curvas IDF ($t > 120\text{min}$) de la estación INIA	107

Figura 3.59: Curvas IDF ($t < 120$ min) de la estación Pucaloma	108
Figura 3.60: Curvas IDF ($t > 120$ min) de la estación Pucaloma	108
Figura 3.61: Curvas IDF ($t < 120$ min) de la estación Quinua	108
Figura 3.62: Curvas IDF ($t > 120$ min) de la estación Quinua	109
Figura 3.63: Curvas IDF ($t < 120$ min) de la estación Tambillo	109
Figura 3.64: Curvas IDF ($t > 120$ min) de la estación Tambillo	109
Figura 3.65: Curvas IDF ($t < 120$ min) de la estación Putacca	110
Figura 3.66: Curvas IDF ($t > 120$ min) de la estación Putacca	110
Figura 3.67: Mapa de las estaciones meteorológicas según su ubicación en coordenadas UTM en la cuenca del río Cachi.....	113
Figura 3.68: Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 100$ años y tiempo de duración $D = 30$ min en la cuenca río Cachi.	114

LISTA DE ACRÓNIMOS

AAA	Autoridad Administrativa del Agua.
ALA	Administración Local del Agua.
ANA	Autoridad Nacional del Agua.
IDF	Intensidad Duración Frecuencia.
IDW	Inverse Distance Weighting (Inverso de la distancia)
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
UTM	Universal Transversal de Mercator.
WMS	Watershed Modeling System (Sistema de modelado de cuencas hidrográficas)

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se centró en la estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi; por tanto, esta investigación se basó en la evaluación de la información de las precipitaciones máximas en 24h, obtención de las ecuaciones de las curvas IDF y conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación de la cuenca del río Cachi. Logrados de esta manera los siguientes: Se evaluó la información de las precipitaciones máximas en 24h de las estaciones meteorológicas; de las cuales se efectuaron una verificación exhaustiva como es el análisis estadístico (determinación de datos dudosos, las pruebas de independencia, estacionalidad y homogeneidad); que seguidamente se seleccionaron las funciones de distribución de probabilidad de mejor ajuste; generando así la precipitación máxima para periodos de retorno de 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años ajustada a diferentes funciones de distribución para cada una de las 12 estaciones en estudio. Luego se obtuvo las ecuaciones y las curvas IDF, donde se empleó la ecuación de correlación lineal múltiple que relaciona la intensidad, duración y el periodo de retorno; siendo estas determinadas para cada una de las estaciones en estudio. Finalmente se conceptualizó mediante mapas las intensidades máximas de precipitación utilizando la herramienta de cálculo basada en SIG (en nuestro caso el programa ArcGIS), que consistió en el procesamiento de la información y la obtención de mapas de tendencia de la intensidad máxima de precipitación para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años; y tiempo de duración de 5, 10, 30 y 60 minutos, utilizando el método IDW de interpolación geoespacial; cuyos resultados serán de utilidad para estimar intensidades máximas de precipitación en puntos o zonas donde no se dispone de información dentro de la cuenca del río Cachi.

Palabras clave: Precipitación, Intensidad, Duración, Frecuencia, IDW.

INTRODUCCIÓN

El estudio propuesto se enfoca en analizar alternativas de solución para obtener curvas IDF confiables a partir de registros históricos de estaciones pluviográficas en lugares geográficos donde no se han identificado estas estaciones. Los métodos específicamente analizados se basan en el estudio de registros históricos de precipitaciones máximas de estaciones ubicadas en la cuenca del río Cachi. A partir de esta información, se difundió extrapolando la curva IDF a áreas alrededor de la cuenca de Cachi que no se pueden identificar con métodos convencionales.

Anaya (2017) refiere que, para estimar el caudal de diseño de estructuras hidráulicas, es necesario conocer el comportamiento temporal y espacial de la máxima intensidad de lluvia. No es posible estimar la máxima intensidad de precipitación en áreas sin pluviómetros, por lo que es necesario contar con modelos regionales que permitan encontrar la máxima intensidad de lluvia.

Ávila (2017) manifiesta que las bandas pluviográficas utilizadas para cuantificar la precipitación en el tiempo (intensidad) son lo único que constituye la información pluviográfica. La cantidad de precipitaciones desempeña un papel fundamental a la hora de determinar el tamaño de las estructuras hidráulicas, que son vitales para las operaciones agrícolas, los proyectos de ingeniería y la producción de energía del país, todos ellos elementos esenciales para el crecimiento económico.

Carhua & Vargas (2018) mencionan el sistema nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) dispone con estaciones meteorológicas e hidrológicas en todo el territorio nacional, no obstante, estas estaciones son muy pocas comparadas con la extensión de nuestro territorio, en el que se emplean estimaciones empíricas porque la gran mayoría de estas estaciones meteorológicas

sólo disponen de estaciones pluviométricas para registrar las precipitaciones para estimar las curvas intensidad duración y frecuencia (IDF), dichas curvas son un instrumento importante de diseño para el cálculo de caudales máximos asociados a un cierto periodo de retorno o grado dado de posibilidad de no excedencia, utilizados en la ingeniería para el diseño de obras hidráulicas.

En este sentido, cuando los proyectistas o consultores proyectan estructuras hidráulicas para un estudio sobre los posibles suministros de agua, a menudo se prepara una curva IDF utilizando los datos pluviográficos disponibles para la zona más cercana al emplazamiento del proyecto. Utilizar los datos de esta manera puede dar lugar a imprecisiones en el estudio, especialmente en una nación como Perú, con una topografía muy diversificada y niveles significativos de precipitaciones. La escasa cantidad y dispersión de estaciones hidrometeorológicas que ofrecen datos históricos sobre registros pluviográficos aumenta aún más la relevancia de esta cuestión.

Objetivo general

Estimar las intensidades máximas de precipitación y conceptualizar mediante mapas de la cuenca del río Cachi.

Objetivos específicos

1. Evaluar la información de las precipitaciones máximas en 24h de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cachi.
2. Obtener las ecuaciones y las curvas IDF para cada una de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cachi.
3. Conceptualizar mediante mapas las intensidades máximas de precipitación de la cuenca del río Cachi.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En la actualidad, En contraste con un pluviógrafo, que registra tanto la cantidad como el momento de las precipitaciones y proporciona registros más precisos de la intensidad de las precipitaciones, las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cachi utilizan pluviómetros, que sólo miden el porcentaje de precipitaciones caídas a lo largo del tiempo.

Tal es así que no se cuenta con las intensidades máximas de precipitación para un punto específico de la cuenca del río Cachi ocasionando en ciertos casos un sub dimensionamiento o sobre dimensionamiento de las obras hidráulicas planteadas generando un mal diseño, por lo cual se tiene los siguientes sucesos e investigaciones realizadas anteriormente:

El 19 de noviembre del año 2012 se estaba celebrando un mercado dominical en la ciudad de Huamanga cuando una granizada y una fuerte lluvia se combinaron para producir un río; tal como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1: En Huamanga, se formó un río debido a las granizadas y lluvias torrenciales, por falta de drenaje pluvial en la ciudad

Fuente: América Noticias (2012)

El 23 de febrero del año 2018 durante casi cuarenta minutos, un fuerte aguacero azotó prácticamente toda la provincia de Huanta en Ayacucho; como se muestra en la Figura 1.2, las redes de alcantarillado y drenaje colapsaron; motivo por el cual las calles del centro de la ciudad, las viviendas y los comercios quedaron totalmente inundados..



Figura 1.2: Las redes de alcantarillado y drenaje colapsaron en la provincia de Huanta

Fuente: Panorama 24 Horas Edición Central (2018)

Relacionadas con lo arriba expresado, se encontró como precedentes de este trabajo a las averiguaciones llevadas a cabo:

Carhua & Vargas (2018) realizaron una tesis titulada “Estimación de las intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno, y su conceptualización en mapas para la región de Huánuco”, para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la Universidad Nacional Hermilo Valdizan, Huánuco - Perú. En dicho trabajo se estimó la intensidad máxima de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno (curvas IDF), se conceptualizó mediante mapas de intensidades de precipitación, a fin de mejorar y facilitar las condiciones de diseños de los proyectos de obras hidráulicas en la Región de Huánuco.

Ávila (2017) elaboró una tesis titulada “Generación de intensidades máximas de la estación pluviográfica Jaén”, para optar el título de Ingeniero Civil, presentado ante la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. En dicha investigación se

generaron las intensidades más altas registradas por la estación pluviográfica de Jaén, según información de 1964-1993.

1.2. Conceptos básicos

1.2.1. Hidrología

Villón (2002) menciona “la hidrología es ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”

Aparicio (1992) agrega es necesario limitar la parte de la hidrología que se estudia en la ingeniería a una rama que comúnmente se llama ingeniería hidrológica o hidrología aplicada, que incluye aquellas partes del campo de la hidrología que atañen al diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

1.2.2. Precipitación

1.2.2.1. Definición

Villón (2002) manifiesta que la precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre, ya sea en estado líquido (garúas y lluvia) o en estado sólido (granizo, nieve, escarcha). Desde el punto de vista de la hidrología, la precipitación es uno de los procesos más importantes del ciclo hidrológico, y junto a la evaporación constituyen la interacción de la atmósfera con el agua superficial.

Aparicio (1992) refiere que, desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. En este capítulo se estudiarán dos aspectos fundamentales de la precipitación: por un lado, la manera en que se produce y algunos métodos con que se puede predecir dadas ciertas condiciones atmosféricas, para lo cual será necesario revisar algunos aspectos básicos de meteorología y, por otro, la manera en que se mide la precipitación y diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y tratamiento de los datos.

Robredo (2003) expresa “que la precipitación es el agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida”

1.2.2.2. Formación de las precipitaciones

Chereque (1989) señala la formación de las precipitaciones se origina debido a que las masas de aire ascienden hasta las alturas de enfriamiento los cuales requieren tres condiciones: Producirse un estado de saturación, un cambio de fase de vapor de agua a líquido o sólido y el crecimiento de pequeñas gotas o cristales de hielo que permitan su caída.

Con los dos primeros criterios se forman nubes, pero la precipitación no es segura. Los cristales de sal o el polvo de la atmósfera sirven como núcleos de condensación, permitiendo que se formen gotas de cierto peso y tamaño. El diámetro de las gotas de lluvia oscila entre 0,5 y 2 mm, sin embargo, tras la nucleación, las nubes producen gotitas diminutas con un diámetro aproximado de 0,02 mm. Esto sugiere que el volumen de las gotas de las nubes se ha multiplicado por un millón. Los siguientes fenómenos son los culpables de este aumento masivo:

- Engrosamiento de una gota causado por la condensación y fusión de otras gotas.
- Atracción de gotas de lluvia que producen nubes.
- La micro turbulencia dentro de la masa de la nube.

En función del mecanismo que eleva el aire y favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan volúmenes importantes de precipitaciones, éstas pueden dividirse en tres categorías.

- **Precipitación de convección:**

Se debe a que la masa de aire más caliente y ligera asciende porque es menos densa que el entorno. El calentamiento diferente en la superficie de la capa de aire es la causa del diferencial de temperatura. Los truenos y relámpagos suelen acompañar a las precipitaciones convectivas. Los lugares tropicales, caracterizados por un intenso calor matinal, vientos en calma y una preponderancia del movimiento vertical del aire, son conocidos por estas precipitaciones.

- **Precipitación ciclónica:**

Son el resultado del encuentro de dos masas de aire con temperaturas dispares, lo que empuja las nubes más cálidas hacia arriba y produce precipitaciones y condensación. Las zonas de bajas presiones están relacionadas con estas precipitaciones.

- **Precipitación orográfica:**

Se crea cuando el viento impulsa el vapor de agua que se condensa en la superficie del océano en dirección a una cadena montañosa. Aquí, se desplazan por la ladera de la montaña y alcanzan altitudes muy elevadas, buscando un lugar donde pueda producirse la condensación y producir precipitaciones.

Formas de precipitación:

- ✓ **Llovizna**, “pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caída muy bajas” (Villón, 2022, pág. 70).
- ✓ **Lluvia**, “gotas de agua con diámetro mayor a 0.5 mm” (Villón, 2022, pág. 70).
- ✓ **Escarcha**, “capa de hielo por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire” (Villón, 2022, pág. 70).
- ✓ **Nieve**, “compuesta de cristales de hielo blanco traslúcido, principalmente de forma compleja” (Villón, 2022, pág. 70).
- ✓ **Granizo**, “precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que producen por nubes convectivas, pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular, su diámetro varía entre 5 y 125 mm” (Villón, 2022, pág. 70).

1.2.2.3. Medición de la precipitación

Villón (2002) señala que “las precipitaciones se miden en términos de la altura de la lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Esta medición indica la altura de agua que alcanzaría al formarse sobre una superficie horizontal impermeable”

Los pluviómetros, que son dispositivos de medición normalizados y aprobados por la Organización Meteorológica Mundial, se utilizan para medir las precipitaciones y pluviógrafos.

1.2.2.3.1. Pluviómetro

Villón (2002) Se describe un recipiente cilíndrico de chapa metálica con un diámetro de unos 20 cm y una altura de 60 cm. La tapa del cilindro funciona como embudo receptor, comunicando con un cilindro graduado de sección circular diez veces más pequeño que la tapa, tal como se aprecia en la Figura 1.3.

Dado que cada centímetro registrado en la probeta corresponde a un milímetro de altura de la lluvia, esto permite medir la altura del agua en la probeta (hp) con una precisión de hasta décimas de milímetro. Normalmente, se realiza una lectura cada 24 horas.

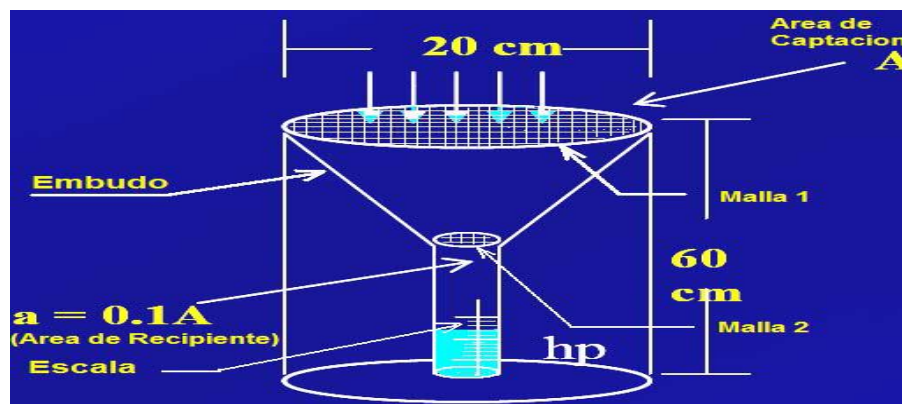


Figura 1.3: Pluviómetro Estándar (National Weather Service)

Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

1.2.2.3.2. Pluviógrafo

Villón (2002) indica que es un instrumento que registra la altura de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato de gran importancia para el diseño de estructuras hidráulicas. Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador. En el papel se registra en forma continua, mediante un sistema de reloj, la altura precipitada, una vez que se llega al rango superior del registro automáticamente regresa al borde inferior y se sigue registrando. El gráfico recibe el nombre de pluviograma.

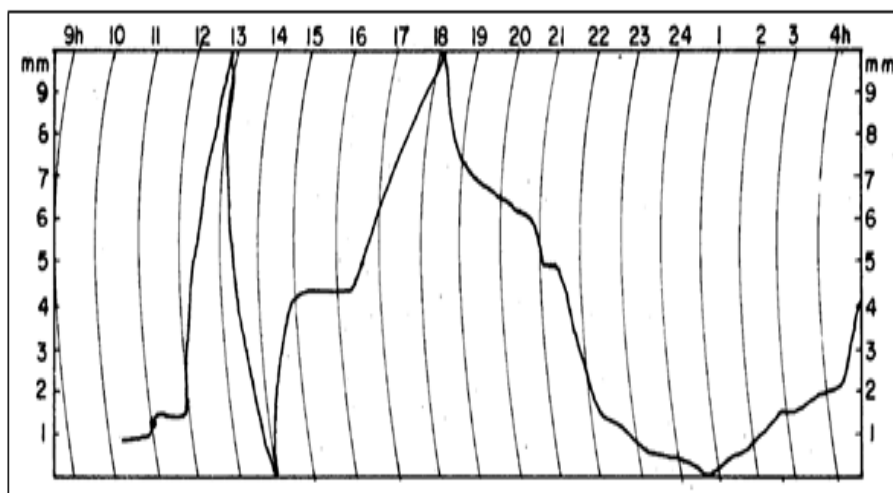


Figura 1.4: Pluviograma

Fuente: Chereque (1989)

1.2.2.4. Variación espacial de las precipitaciones

Robredo (2003) refiere que los datos de las estaciones meteorológicas sean precisos y con frecuencia influidos por su posición geográfica, ya que deben estar situadas en zonas donde sea sencillo mantener una medición regular de las variables objeto de estudio.

Cabe señalar que, en parte debido a la baja densidad de población de estos lugares, la densidad de pluviómetros que cubren las zonas correspondientes a las cuencas montañosas es con frecuencia inferior a la ideal.

Por ello, hay que tener cuidado al extrapolar estos valores puntuales a la zona circundante.

Especialmente en las cuencas montañosas, el factor de relieve y la dirección de los vientos predominantes tienen un impacto significativo en la cantidad de precipitaciones que se producen en un lugar determinado de la cuenca.

En general, se sabe poco sobre las precipitaciones atmosféricas en las zonas montañosas, a pesar de que estas zonas son cruciales como cabeceras de ríos y, por lo tanto, proporcionan una importante alimentación a los ríos.

Se sabe que, en general, las precipitaciones aumentan con la altura. El gradiente hipsométrico de precipitación se refiere al aumento de la precipitación por metro de altura. Hasta cierta altura, este gradiente es positivo; por encima de ella, el signo cambia. Aquí se sitúa el punto clave de inversión, que viene determinado por una serie de variables, entre ellas la orientación de las montañas y la cercanía al océano.

1.2.3. Estudio de tormentas

1.2.3.1. Definición e importancia

Villón (2002) define que una tormenta es un grupo de fenómenos de precipitación con características distintas y una perturbación meteorológica común. Por ello, la duración de una tormenta puede variar desde unos minutos hasta varias horas o incluso días. Pueden abarcar extensiones de territorio muy diferentes, desde una pequeña mancha hasta una gran región. El objetivo del análisis de tormentas tiene que ver con los cálculos o investigaciones que se realizan antes de diseñar los proyectos de ingeniería.

En consecuencia, el tamaño de estas obras viene determinado sobre todo por la fuerza de las tormentas y la frecuencia con que se producen en el lugar, lo que también afecta al coeficiente de seguridad de las obras y al número probable de años que cabe esperar que funcionen bien.

Entre las investigaciones que pueden realizarse con los datos de las tormentas están:

- Análisis del drenaje de una cuenca.
- calcular los caudales máximos que hay que dirigir para evitar inundaciones.
- Calcular la longitud efectiva de un puente.
- La medición de diámetros de alcantarillado en ciudades o carreteras.

1.2.3.2. Elementos fundamentales para el análisis de tormentas

Al analizar una tormenta, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- **Intensidad:**

Chow, Maidment & Mays (1994) manifiesta “que la intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia”

Villón (2002) refiere “es la cantidad de agua precipitada en un determinado tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado, es decir, la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo”. Es por ello, que la intensidad se expresa de la siguiente manera:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

i máx. : Intensidad máxima, en mm/hora.

P : Precipitación en altura de agua, en mm

t : Tiempo en horas.

- **Duración:**

Villón (2002) expresa que, medido en minutos u horas, es el intervalo entre el inicio y el final de la tormenta. De él depende la determinación de la intensidad máxima. La duración y la intensidad se obtienen a partir de una banda o pluviograma.

- **Frecuencia:**

Villón (2002) menciona “es la cantidad de veces que se repite una tormenta, con características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo más o menos largo, tomado comúnmente en años”

Chow et al (1994) menciona “que la frecuencia se expresa en función del periodo de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño”

- **Periodo de Retorno:**

Villón (2002) considera “es el intervalo de tiempo promedio dentro del cual un evento de magnitud “x” podría ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio”

Aparicio (1992) argumenta “el número de años en que se presenta un evento puntual, se llama período de retorno, intervalo de ocurrencia o frecuencia, y suele ser denotado mediante la ecuación”:

$$T = \frac{1}{p} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

T : Periodo de retorno.

p : Probabilidad que ocurra un evento cualquiera

1.2.3.3. Curvas intensidad – duración - frecuencia (I-D-F)

Hinojosa (1987) menciona “que se denominan así aquellas curvas que resultan de unir puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno”

MTC (2011) indica que la intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{Td} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

i : Intensidad.

P : Profundidad de lluvia en mm.

Td : Duración de la lluvia, expresada comúnmente en hr.

Para hacer un estudio de frecuencias con cada una de las series así creadas, es necesario obtener registros pluviográficos de las precipitaciones en el lugar de interés y elegir las precipitaciones más intensas de duración variable en cada año para determinar estas curvas IDF. Dicho de otro modo, es necesario mirar los hietogramas de cada tormenta que se produzca a lo largo de un año determinado y seleccionar la precipitación que corresponde a la tormenta durante la hora más lluviosa, las dos horas más lluviosas, las tres horas más lluviosas, etc. Para cada duración elegida, se forman series anuales utilizando los valores elegidos. Estas series anuales se crean seleccionando el valor más alto observado para cada duración en cada año de registro, obteniendo un valor tanto para el año como para la duración.

Cada serie se somete a un análisis de frecuencia, asociando modelos probabilísticos. Así se consigue una asignación de probabilidad para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, la cual se representa en un gráfico único de intensidad vs. duración, teniendo como parámetro el período de retorno, tal como se muestra en la Figura 1.5.

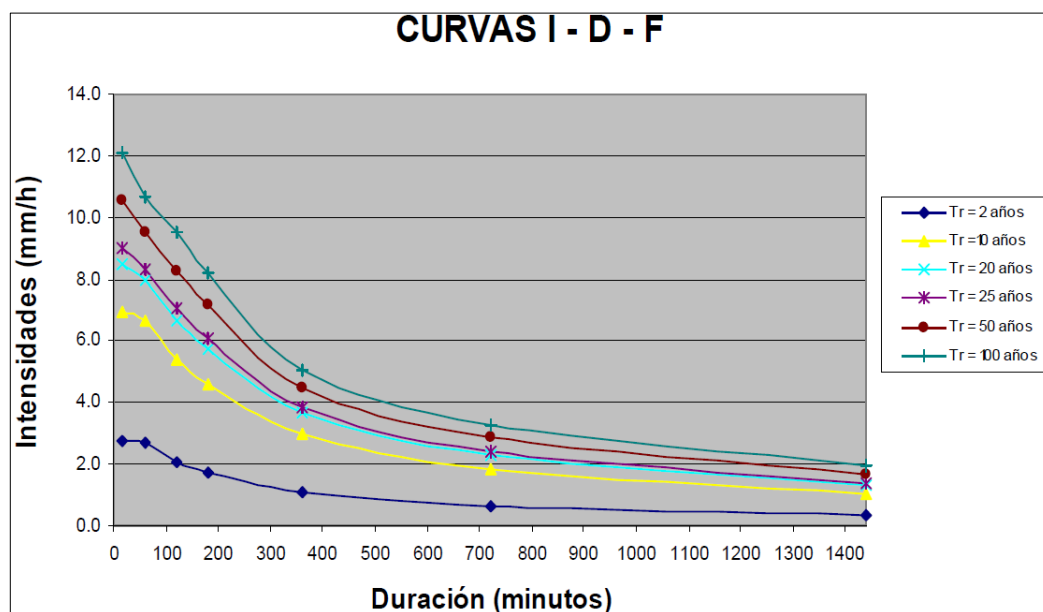


Figura 1.5: Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima

Fuente: MTC (2011)

Las Curvas IDF se pueden expresar como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es el siguiente:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m} \dots \dots \dots (4)$$

Donde D es la duración, I es la intensidad de lluvia de diseño y a, b y m son coeficientes que cambian en función de la región de estudio y del periodo de retorno. Asimismo, para determinarla, primero hay que linealizar la ecuación a fin de determinar los parámetros a, b y m mediante regresión lineal.

Dado que la escorrentía alcanza su punto máximo durante el tiempo de concentración, cuando toda la región contribuye al caudal de salida, la duración

de la precipitación de diseño es igual al tiempo de concentración (t_c) para la zona de drenaje considerada.

En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la Intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración; en la Tabla 1.1 se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información.

Tabla 1.1: Coeficientes de duración lluvias entre una hora y 48 horas

Duración de la precipitación en horas	Coeficiente
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1.00
48	1.32

Fuente: MTC (2011)

Se puede establecer lo siguiente como un proceso:

1. Elegir lluvias intensas de diversa duración.
2. Ordena los elementos de mayor a menor.
3. Asigna una probabilidad empírica a cada valor ordenado.
4. Determine la duración de la rentabilidad de cada valor.
5. Trazado de la curva de intensidad, frecuencia y duración.

En situaciones en las que no se dispone de registros pluviográficos de la zona de estudio, puede utilizarse la metodología Dyck Peschke para calcular las intensidades máximas.

Esta metodología relaciona la duración de la tormenta con la mayor cantidad de precipitación que se produce en un periodo de 24 horas. La expresión es:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

P_d : Precipitación total (mm).

d : Duración en minutos.

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas (mm).

Dividiendo la precipitación P_d por la duración y las curvas, se puede determinar la intensidad. Para calcular la intensidad, la duración y la frecuencia se utiliza la siguiente relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:

I : Intensidad máxima (mm/h).

K, m, n : Factores característicos de la zona de estudio.

T : Período de retorno en años.

t : Duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min).

1.2.4. Selección del periodo de retorno

MTC (2011) indica el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \dots\dots\dots (7)$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T , fijando el riesgo de falla admisible R , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra. (Ver Figura 1.6).

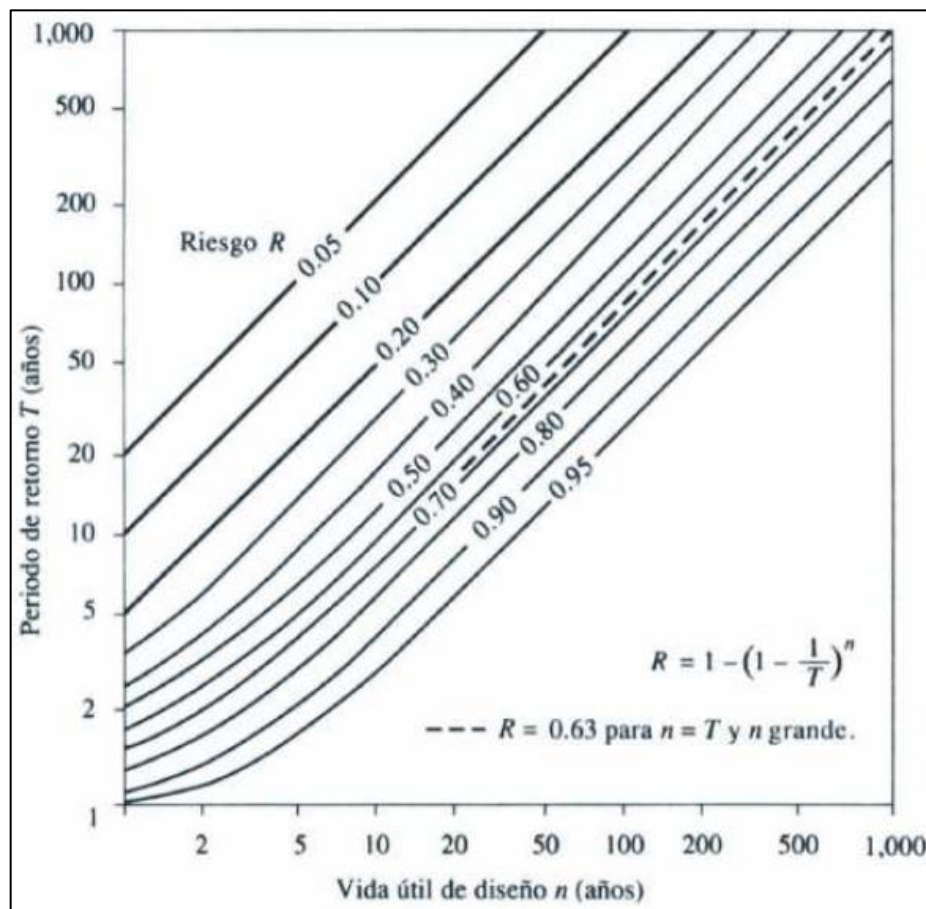


Figura 1.6: Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida útil

Fuente: MTC (2011)

El valor T para cada uno de los diferentes riesgos permitidos R y la vida útil de la obra n figuran en el cuadro 1.2.

Tabla 1.2: Valores de Período de Retorno T (Años)

Riesgo admisible R	Vida útil de las obras (n años)										
	1	2	3	5	10	20	25	40	50	100	200
0.01	100	199	299	498	995	1990	2488	3980	4975	9950	19900
0.02	50	99	149	248	495	990	1238	1980	2475	4950	9900
0.05	20	39	59	98	195	390	488	780	975	1950	3900
0.1	10	19	29	48	95	190	238	380	475	950	1899
0.2	5	9	14	23	45	90	113	180	225	449	897
0.22	5	9	13	21	41	81	101	161	202	403	805
0.25	4	7	11	18	35	70	87	140	174	348	696
0.5	2	3	5	8	15	29	37	58	73	145	289
0.75	1.3	2.0	2.7	4.1	7.7	15	19	29	37	73	145

Fuente: MTC (2011)

Los siguientes valores de riesgo admisibles para las obras de drenaje deben utilizarse como máximo, basándose en los valores que figuran en el cuadro 1.2:

Tabla 1.3: Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo admisible (**)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

Fuente: MTC (2011)

(*)

- Para conseguir el mayor nivel posible de luz y agua en vías navegables excepcionalmente grandes.
- Se aconseja utilizar un período de retorno T de 500 años para calcular la socavación.

(**)

- Vida útil considerado n=25 años.
- Tendremos en cuenta la importancia y la vida útil de la obra a diseñar.

- El riesgo de fallo admisible y la vida útil de la obra son determinados por el propietario de la obra.

1.2.5. Verificación de hipótesis estadísticas básicas en las series históricas

Audagna (2014) indica en esta sección se desarrollan las cuatro verificaciones que se realizan a cada una de las series de lluvias máximas diarias, para garantizar que la muestra de la que partimos es representativa, es decir, describe las características generales de la población a la que pertenece, y que a la misma se le puede aplicar la estadística inferencial.

1.2.5.1. Detección de datos atípicos en la serie

Audagna (2014) define los “datos atípicos” son definidos como registros que se alejan significativamente de la tendencia observada en la muestra (suponiendo que se encuentran normalmente distribuidos). La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas.

La metodología para la detección de los datos atípicos consiste en el análisis de las series históricas de datos correspondientes a las lluvias máximas anuales de las distintas estaciones emplazadas en el territorio provincial. A dichas series se les aplicó el logaritmo neperiano procediendo a la determinación de la media y el cual es el desvío estándar s_y . La siguiente ecuación de frecuencia puede utilizarse para detectar datos atípicos:

$$Y = y \pm K_n * s_y \quad \dots \dots \dots (8)$$

Donde es el umbral de dato atípico alto o bajo, en unidades logarítmicas K_n , es un valor que depende del tamaño de la muestra (Ver Tabla 1.2). Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que Y_s (límite superior) entonces se consideran como datos atípicos altos, análogamente en el caso de ser menores que Y_i (límite inferior) serán tomados como datos atípicos bajos.

Tabla 1.4: Valores K_n para la prueba de datos atípicos

Tamaño de muestra	K_n	Tamaño de muestra	K_n	Tamaño de muestra	K_n	Tamaño de muestra	K_n
-------------------	-------	-------------------	-------	-------------------	-------	-------------------	-------

10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: Audagna (2014)

1.2.5.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz)

Audagna (2014) menciona que una de las condiciones para poder analizar estadísticamente las series de datos es que los mismos sean aleatorios. Se busca que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de ellos no dependa de la ocurrencia de los datos que le preceden y que tampoco este influya a los datos que le siguen o datos futuros. Es decir que para el análisis estadístico se requiere que la muestra esté compuesta por datos independientes de los demás.

Una de estas pruebas estadísticas de independencia es la de secuencias de una muestra de Wald-Wolfowitz. En la misma, las hipótesis a contrastar son las siguientes:

H_0 : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

H_1 : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.

En esta prueba se compara cada valor observado con la media de la muestra. Se le asigna a cada dato un término E o F (éxito o fracaso) según si el valor es mayor o menor que la media de la muestra.

Para evaluar la aleatoriedad de la muestra, se considera como estadístico de prueba al número de secuencias presente en los datos. Una secuencia se define como una serie de éxitos o fracasos consecutivos. Luego en la muestra completa se puede distinguir:

R: Número de secuencias;

n_1 : Número de éxitos, o de valores superiores a la media;

n_2 : Número de fracasos, o de valores inferiores a la media;

n: Número de datos en la muestra

En la prueba se utiliza el valor estadístico Z para una prueba de dos extremos. Si es mayor o igual al valor crítico superior, o menor o igual al valor crítico inferior, la hipótesis nula de aleatoriedad puede ser rechazada al nivel de significancia α . Sin embargo, si Z se encuentra entre estos límites, la hipótesis nula de aleatoriedad puede aceptarse. El valor estadístico Z se determina de la siguiente manera:

$$Z = \frac{R - \mu_r}{\sigma_r^2} \dots \dots \dots (9)$$

Dónde:

$$\mu_r = \frac{2 * n_1 * n_2}{n} + 1 \dots \dots \dots (10)$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{(\mu_r - 1) * (\mu_r - 2)}{n - 1}} \dots \dots \dots (11)$$

Para un conjunto predeterminado de niveles de significación, el valor del estadístico Z se compara con el valor de la tabla de distribución normal.

1.2.5.3. Prueba de Estacionariedad (Kendall)

Audagna (2014) considera que mediante la prueba estadística de estacionalidad de Kendall se busca que en la serie de datos no se presente una tendencia temporal. Para cada dato de la serie, la cual se encuentra ordenada cronológicamente, se calcula cuantos datos posteriores son superiores (S). De esta forma:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} t(i) \dots \dots \dots (12)$$

En donde $s(i)$ es el número de los valores en la serie tal que $X_j > X_i$, siendo $i < j \leq n$. Por otro lado, se determinan cuántos valores posteriores son menores (T). Los mismos se determinan de la siguiente manera:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t(i) \quad \dots \dots \dots (13)$$

En donde $t(i)$ es el número de valores en la serie tal que $X_j < X_i$, siendo $i < j \leq n$. Con los valores de S y T calculados con las Ecuaciones 12 y 13, se define el índice $I = S - T$, que debe ser próximo a cero si la hipótesis nula es verdadera.

Por lo tanto, se deben verificar las siguientes condiciones:

- $I < I_{cri}(\alpha)$, Es decir, el I calculado es inferior a un valor I crítico que se ha tabulado en función del tamaño de la muestra y de varios niveles de significación.
- El valor del estadístico se aproxima a una distribución normal para tamaños de muestra superiores a 10. Por lo que se debe utilizar una forma estandarizada del estadístico en donde se transforma el índice en el índice K, definido como:

$$K = \frac{I - 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18} \right)^{0.5}} \quad I > 0 \quad \dots \dots \dots (14)$$

$$K = 0 \quad I = 0$$

$$K = \frac{I + 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18} \right)^{0.5}} \quad I < 0 \quad \dots \dots \dots (15)$$

Los valores de K_{cri} son obtenidos de una distribución Normal, los cuales son presentados en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5: Valores de K_{cri} para el test de Kendall

Nivel de significancia	0.01	0.05	0.10
Kcri	2.33	1.64	1.28

Fuente: Audagna (2014)

1.2.5.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon)

Audagna (2014) expresa que la prueba de homogeneidad a escala anual de Wilcoxon permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. Para efectuar esta prueba se debe sustituir las observaciones de las dos muestras de tamaños N_1 y N_2 , por sus rangos combinados. Los rangos son asignados de tal manera que el rango 1 se asigna a la más pequeña de las $N = N_1 + N_2$ observaciones combinadas, el rango 2 se le asigna a la siguiente más, de modo que el rango N queda asignado a la observación más grande. Si varias observaciones tienen el mismo valor, se asigna a cada una de estas el promedio de los rangos que, en otra circunstancia, se les habría asignado.

La estadística de la prueba de Wilcoxon T_1 , es simplemente la suma de los rangos asignados a las n_1 observaciones de la muestra más pequeña. Para cualquier valor entero n , la suma de los n primeros enteros consecutivos pueden calcularse fácilmente como $N(N + 1)/2$. La estadística de prueba T_1 , más la suma de los rangos asignados a los N_2 elementos de la segunda muestra, T_2 , por consiguiente, debe ser igual a este valor, es decir:

$$T_1 + T_2 = \frac{N(N + 1)}{2} \quad \dots \dots \dots (16)$$

Así, se puede utilizar esta ecuación para verificar el proceso de asignación de rangos. Dependiendo de si se está examinando si existe una única diferencia entre las dos medias poblacionales o si una es superior a la otra, la prueba de hipótesis nula puede ser de una o de dos colas.

T_1 , el estadístico de prueba, tiene una distribución aproximadamente normal. La hipótesis nula puede comprobarse utilizando la fórmula de aproximación de muestras grandes que se muestra a continuación:

$$|Z| = \frac{T_1 - \mu_{T_1}}{\sigma_{T_1}} \quad \dots \dots \dots (17)$$

El valor medio de la estadística de prueba T_1 , puede calcularse con:

$$\mu_{T_1} = \frac{n_1(n + 1)}{2} \quad \dots \dots \dots (18)$$

y la desviación estándar de la estadística de prueba T_1 , se puede calcular con:

$$\sigma_{T_1} = \sqrt{\frac{n_1 * n_2 (n + 1)}{12}} \dots \dots \dots (19)$$

Si el valor Z calculado está dentro de la zona de rechazo adecuada, se puede rechazar la hipótesis nula basándose en α , el nivel de significación elegido.

1.2.6. Funciones de distribución de probabilidades

Aunque existen muchas funciones teóricas de distribución de probabilidad diferentes, las siguientes son las que se emplean con más frecuencia en hidrología.

1.2.6.1. Distribución valor extremo generalizado (Gen Extreme Value –GEV)

García (2013) menciona la distribución generalizada de valores extremos (GEV o Gen Extreme Value) es una familia continua de distribuciones de probabilidad desarrollada en la teoría del valor extremo para combinar las distribuciones de Gumbel, Fréchet y Weibull, también conocidas como tipo I, II y III de la distribución de valor extremo.

Según el teorema del valor extremo la distribución GEV es la distribución límite de los máximos de una secuencia debidamente normalizada. Debido a esto, la distribución GEV se utiliza como una aproximación al modelo de los máximos de secuencias de variables aleatorias (por ejemplo, lluvias máximas).

En algunos campos de aplicación generalizada de la distribución del valor extremo es conocido como la distribución de Fisher-Tippett.

Su función de densidad se ajusta a la fórmula:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-(1+k*z)^{-\frac{1}{k}}} * (1 + k * z)^{-1-\frac{1}{k}} \dots \dots \dots (20)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} e^{-z * e^{-z}} \dots \dots \dots (21)$$

Y su Función de distribución acumulada:

$$F(x) = e^{-(1+k*z)^{-\frac{1}{k}}} \quad si \ k \neq 0 \quad \dots \dots \dots (22)$$

$$F(x) = e^{-e^{-z}} \quad \text{si } k = 0 \quad \dots \dots \dots (23)$$

Dónde:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \dots \dots \dots (24)$$

k: Parámetro de forma

μ : Parámetro de posición

σ : Parámetro de escala

1.2.6.2. Distribución Normal

MTC (2011) manifiesta la “función de densidad de probabilidad normal se define como”:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad \dots \dots \dots (25)$$

Dónde:

$f(x)$ = Función densidad normal de la variable x

X = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

1.2.6.3. Distribución Log Normal 2 parámetros

MTC (2011) expresa la función de distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx \quad \dots \dots \dots (26)$$

Donde $\bar{X}$ y S son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (25) se reemplaza por una función $y=f(x)$, tal que $y=\log(x)$, la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log - normal, N (Y, Sy). Los valores originales de la variable aleatoria x, deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad \dots \dots \dots (27)$$

Donde $\bar{Y}$ Es la media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}} \quad \dots \dots \dots (28)$$

Donde S_y Es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = \frac{a}{s^3 y} \quad \dots \dots \dots (29)$$

$$S_y = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad \dots \dots \dots (30)$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada.

1.2.6.4. Distribución Log Normal 3 parámetros

MTC (2011) indica “la función de densidad de x es”:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{S_y}\right)^2} \quad \dots \dots \dots (31)$$

Para $x > x_0$

Dónde:

x_0 : Parámetro de posición

μ_y : Parámetro de escala o media

S_y^2 : Parámetro de forma o varianza

1.2.6.5. Distribución Gamma 2 parámetros

MTC (2011) define “la función de densidad es”:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \dots \dots \dots (32)$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

1.2.6.6. Distribución Gamma 3 parámetros

MTC (2011) menciona “la función de densidad es”:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \dots \dots \dots (33)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

x_0 : Origen de la variable x, parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

1.2.6.7. Distribución Log Pearson tipo III

MTC (2011) refiere “la función de densidad es”:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \dots \dots \dots (34)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

x_0 : Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

1.2.6.8. Distribución Gumbel

MTC (2011) manifiesta “la distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión”:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots \dots \dots (35)$$

Aplicando la técnica de los momentos, se encuentran las siguientes correlaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \dots \dots \dots (36)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \dots \dots \dots (37)$$

Dónde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la “distribución puede expresarse de la siguiente forma”:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \dots \dots \dots (38)$$

Dónde:

x: Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$: Media de la serie.

k: Factor de frecuencia

1.2.6.9. Distribución Log Gumbel

MTC (2011) refiere “la variable aleatoria reducida log gumbel, se define como”:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \dots \dots \dots (39)$$

La función log gumbel acumulativa decreciente, entonces, es:

$$G_{(y)} = e^{-e^{-y}} \dots \dots \dots (40)$$

1.2.7. Pruebas de bondad de ajuste

Cahuana & Yugar (2009) expresa las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores muestrales.

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria, se distribuye según una cierta función de probabilidades.

A continuación, se detallarán las pruebas de bondad de ajuste estadístico más utilizadas en hidrología que son:

1.2.7.1. Test de Kolmogorov - Smirnov

Cahuana & Yugar (2009) define este método consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo, es decir:

$$D = \max|F(x) - P(x)| \dots \dots \dots (41)$$

Dónde

D : Estadístico de Kolmogorov - Smirnov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x)$: Probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$: Probabilidad experimental o empírica de los datos.

Si D_0 es un valor crucial para un nivel de significación α , se tiene que:

$$P[\max|F(x) - P(x)| \geq 0] = \alpha \quad \text{o} \quad P D \geq D_0 = \alpha$$

También:

$$P D < D_0 = 1 - \alpha \quad \dots \dots \dots (42)$$

Utilizando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov, el proceso de ajuste es el siguiente:

1. Utilice los métodos de la Tabla 2.6 para calcular la probabilidad empírica o experimental P_x de los datos. La fórmula de Weibull es la más preferida entre ellas:

$$P_x = \frac{m}{N + 1} \quad \dots \dots \dots (43)$$

Dónde

P_x : Probabilidad empírica o experimental.

m : Número de orden.

N : Número de datos.

2. Determinar la probabilidad teórica $F(x)$ utilizando la ecuación de la función acumulativa $F(x)$ incluida en los modelos o tablas teóricas desarrolladas para este objetivo.
3. Calcular las diferencias $F(x)-P(x)$.
4. Seleccionar la máxima diferencia: $D = \max|F(x) - P(x)|$.
5. Calcular el valor crítico del estadístico D , es decir D_0 , para un nivel de significancia α 0.05 y N igual al número de datos, los valores de D_0 se muestran en la Tabla 1.7.
6. Comparar el valor del estadístico D , con el valor crítico D_0 de la Tabla Nivel de significancia para la prueba de Kolmogorov - Smirnov, con los siguientes criterios de decisión:

Si: $D < D_0 \Rightarrow$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.

$D \geq D_0 \Rightarrow$ El ajuste no es bueno, debido al nivel de significación seleccionado, hay que probar otra distribución.

Esta prueba de ajuste puede aplicarse a cualquier distribución teórica y a distribuciones de datos no agrupadas, sin necesidad de conocer previamente la función de distribución teórica.

Se trata de una prueba de aproximación y no de precisión, a diferencia de la prueba Chi-cuadrado, que no requiere que la frecuencia absoluta de cada clase sea igual o superior a 5.

Tabla 1.6: Fórmulas de probabilidades empíricas

Fórmula Empírica	Probabilidad Acumulada Experimental "P"
California	$\frac{m}{N}$
Hazen	$\frac{m - 0.5}{N}$
Weibull	$\frac{m}{N + 1}$
Chegadayev	$\frac{m - 0.3}{N - 0.4}$
Blom	$\frac{m - 3/8}{N + 1/4}$
Tukey	$\frac{3m - 1}{3N + 1}$
Gringortem	$\frac{m - a}{N + 1 - 2a}$

Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

Tabla 1.7: Nivel de significancia para la prueba de Kolmogorov - Smirnov

Tamaño Muestral N	Nivel de Significancia				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371

19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

1.2.7.2. Test de Anderson - Darling

García (2013) refiere que la prueba de Anderson-Darling se utiliza para comprobar si una muestra de datos procede de una población con una distribución específica. Se trata de una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) y da más peso a las colas que la prueba KS. La prueba de KS es la distribución gratuita en el sentido de que los valores críticos no dependen de la distribución específica que se está probando. La prueba de Anderson-Darling hace uso de la distribución específica en el cálculo de los valores críticos. Esto tiene la ventaja de ser una prueba más sensible y la desventaja de que los valores críticos se deberán calcular para cada distribución.

Una alternativa a las pruebas de bondad de ajuste de Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov es la prueba de Anderson-Darling.

La definición de la prueba Anderson-Darling es:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada

H_1 : Los datos no siguen la distribución especificada

Cifra de la prueba: La definición de la estadística de prueba Anderson-Darling es:

$$A^2 = -N - S \quad \dots \dots \dots (44)$$

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} * \ln(F(x)_i) + \ln(1 - F(x)_{N+1-i}) \quad \dots \dots \dots (45)$$

La distribución concreta que se evalúa determina los valores críticos de la prueba de Anderson-Darling. Existen fórmulas y valores tabulados publicados (Stephens, 1974, 1976, 1977, 1977, 1979).

La prueba es de una cola, y si el estadístico de la prueba, A, es superior al valor crítico, se rechaza la hipótesis de que la distribución tiene una forma determinada.

1.2.7.3. Test de Chi - Cuadrado

García (2013) menciona “que la prueba de Chi - Cuadrado se utiliza para comprobar si una muestra de datos procede de una población con una distribución específica”

El hecho de que la bondad de ajuste Chi-cuadrado pueda utilizarse con cualquier distribución univariante para la que pueda calcularse la función de distribución acumulativa la convierte en una característica atractiva. Los datos rechazados se someten a la prueba de bondad de ajuste Chi-Cuadrado. No obstante, la secuencia de los datos afecta a la significación del estadístico Chi-cuadrado. La validez de la aproximación Chi-cuadrado depende de un tamaño de muestra suficientemente grande, lo que constituye otro inconveniente de la prueba Chi-cuadrado.

Las pruebas de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov pueden sustituirse por la prueba Chi-cuadrado.

Puede utilizar la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrado en distribuciones discretas como las de Poisson y binomial. Las pruebas de Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov sólo son aplicables a distribuciones continuas.

Las siguientes hipótesis caracterizan la prueba Chi-cuadrado:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada

H_1 : Los datos no siguen la distribución especificada

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{F(x)_i} \dots \dots \dots (46)$$

Dónde:

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada

$F(x)_i$: Frecuencia teórica

Es menos probable que la hipótesis sea cierta cuanto mayor sea el valor de X^2 .

Del mismo modo, cuanto mayor sea el ajuste entre las dos distribuciones, más se acercará a cero el valor de Chi-cuadrado.

P-valor:

Dado que P es un valor de probabilidad, su rango de valores es de 0 a 1.

Los cálculos de P altos permiten aceptar la hipótesis nula o impiden rechazarla. Los valores P inferiores a 0,05 descartan H_0 . Si el valor P es inferior o igual al nivel de significación elegido, se rechaza la hipótesis nula.

1.2.8. Estadística espacial

Giraldo (2005) expresa que la estadística espacial es la reunión de un conjunto de metodologías apropiadas para el análisis de datos que corresponden a la medición de variables aleatorias en diversos sitios (puntos del espacio o agregaciones espaciales) de una región. De manera más formal se puede decir que la estadística espacial trata con el análisis de realizaciones de un proceso estocástico, que representa una ubicación en el espacio euclidiano d -dimensional, para una variable aleatoria en una determinada ubicación y éste varía sobre un conjunto de índices asumido.

1.2.9. La interpolación de datos espaciales

Rodríguez (2008) explica que el número y la distribución de los pluviómetros empleados, la calidad de los datos y la idoneidad de la función matemática elegida para representar los fenómenos son los principales determinantes de la calidad de los resultados obtenidos a partir de la interpolación espacial y temporal del campo de precipitaciones.

En las dos secciones anteriores se han tratado los temas de la calidad de los datos y la configuración de la red. Por consiguiente, el objetivo de esta parte es presentar los relacionados con la técnica de interpolación. A este respecto, en la bibliografía se han propuesto diversos enfoques para la estimación de la precipitación areal, que van desde el conocido y sencillo método de la inversa de la distancia hasta métodos más complejos basados en la interpolación estadística, como Kriging, pasando por enfoques deterministas como las interpolaciones polinómicas.

Ferreira (2005) destaca el uso de la interpolación, una técnica matemática, para prever el valor de un atributo en una posición determinada a partir de los valores del atributo adquiridos en puntos cercanos situados en la misma región. La extrapolación es el proceso de estimación del valor de un atributo en puntos situados fuera de la zona de observación.

Para comparar los patrones espaciales de las demás variables consideradas con el patrón espacial que presentan las observaciones puntuales, un número finito de observaciones que se han obtenido a partir de localizaciones geográficas

precisas se transforman en un espacio continuo utilizando la interpolación de datos.

Básicamente, la interpolación es necesaria cuando los datos no abarcan toda la región de estudio.

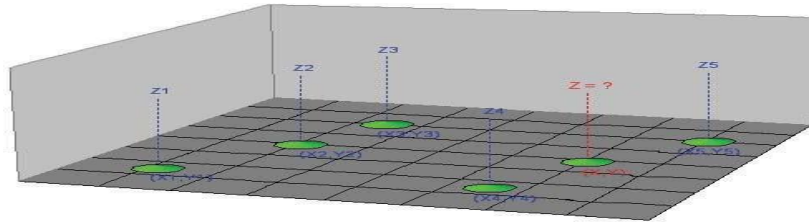


Figura 1.7: Proceso de interpolación espacial en un punto

Fuente: Ferreira (2005)

Como ilustración, considere la figura en la que el objetivo es predecir el valor en cada ubicación, dada una colección de datos (x, y, z) que tienen una distribución no uniforme. Los conos verdes dispuestos de forma irregular por la superficie de la imagen indican la presencia de este conjunto de datos.

Estos datos, que tienen el formato (x_i, y_i, z_i) , coinciden con datos espaciales en una posición espacial (x, y) en la que z es el parámetro observado. Los datos iniciales son los “puntos de control” (con color azul en la Figura 2.5). Se desea estimar el valor de un punto (expresado en la gráfica con letras rojas en la Figura 2.5) a partir de los datos iniciales. A continuación, para pasar de un espacio discreto a un espacio continuo en el que pueda determinarse el valor z de cualquier punto, el concepto consiste en estimar los valores de una superficie en cualquier punto.

Cuando se crean superficies de elevación a partir de datos medidos previamente, como curvas de nivel o puntos con sus respectivas alturas, se suele crear una muestra del sector que se va a estudiar utilizando la interpolación de puntos. Sin embargo, la interpolación también puede utilizarse en otros ámbitos para crear estimaciones precisas de otras cosas, como concentraciones químicas y niveles de contaminantes.

Numerosos campos, como la geología, la geofísica, la meteorología, la ingeniería medioambiental, la agricultura, la ingeniería, la economía, la medicina y la sociología, pueden beneficiarse del uso del análisis de datos espaciales.

Una región puede representarse en dos o tres dimensiones creando un mapa de contorno o una superficie de contorno mediante interpolación de datos espaciales, que puede utilizarse para estimar datos dispersos de forma desigual. En ambas situaciones, es necesaria una cuadrícula que representa un rango de valores. Todas las técnicas de

interpolación investigadas pueden manejar datos distribuidos de forma desigual y producir una cuadrícula regular de puntos interpolados.

Por ejemplo, se trata de crear un mapa de curvas de nivel a partir de datos de parámetros Z recogidos en toda una zona. No hay certeza de que todos los lugares de interés estén cubiertos por estos datos. En primer lugar, como se indica en la Fig.1.8, se crea una tabla utilizando el parámetro Z además de las coordenadas X, Y.

Tabla 1.8: Coordenadas X,Y y parámetro Z para ser procesados

Coordenada X	Coordenada Y	Parámetro Z
1665.4	9567.2	234.7
7659.3	2324.6	275.2
1499.5	3213.9	253.5
5438.1	5753.9	231.1
4327.4	4013.9	245.8
7272.4	8721.9	219.4

Fuente: Ferreira (2005)

A continuación, se muestra un mapa con los datos localizados. Las ubicaciones no están en los lugares habituales del mapa, y hay muchos "agujeros" donde no hay datos.

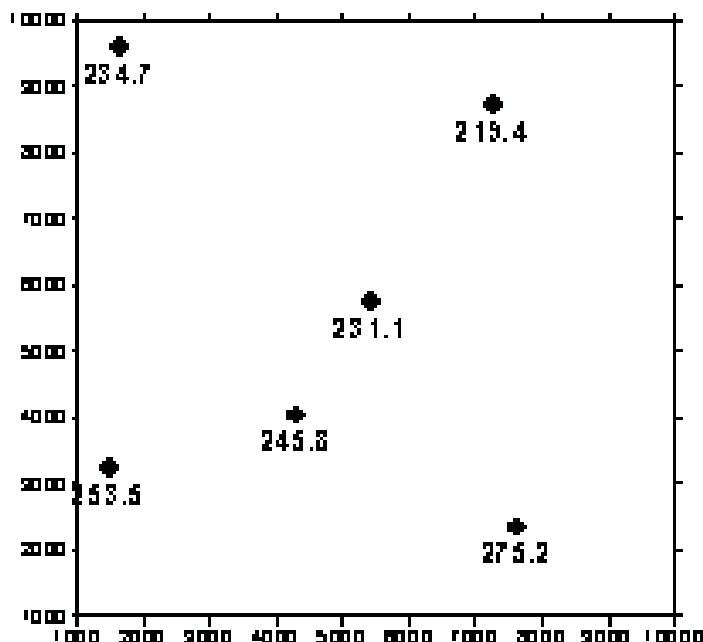


Figura 1.8: Datos incorporados en el grid

Fuente: Ferreira (2005)

A continuación, rellenando los "huecos" de los datos, se utiliza la cuadrícula para interpolar los valores Z en cada intersección de cada fila y columna. En este caso, las

líneas de cuadrícula creadas por el mapa, como se ve en la Figura 1.9, indican las filas y las columnas.

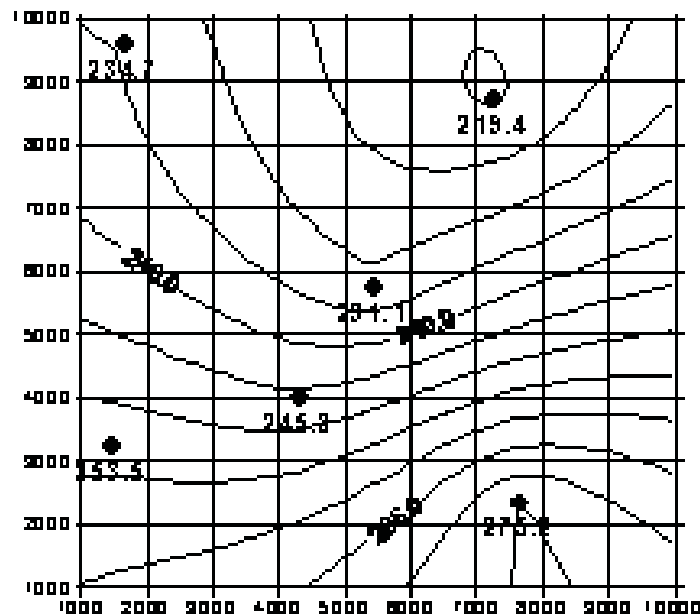


Figura 1.9: Representación mediante líneas de los datos interpolados

Fuente: Ferreira (2005)

Los valores en los nodos de la cuadrícula se interpolan utilizando los puntos de datos espaciados irregularmente. El mapa de contorno se crea utilizando los datos de la cuadrícula.

1.2.10. Métodos de interpolación

Ferreira (2005) se relaciona con A efectos del estudio actual, debe tenerse en cuenta el análisis de hipersuperficies aunque los métodos de interpolación a los que se hará referencia se rigen para un análisis con tres valores, como se ha explicado anteriormente, utilizando x e y para situar el punto y z como parámetro a investigar.

En el caso de las hipersuperficies, la ubicación de un punto se determina utilizando x, y, z, además de una cuarta variable que representa el parámetro de investigación. Por ello, hay una selección mucho menor de técnicas accesibles para la situación de las hipersuperficies; normalmente, sólo se utilizan Kriging e IDW.

Esta es la razón por la que se abordan las técnicas de interpolación; no obstante, a continuación, se analizan más a fondo los análisis Kriging e IDW.

1.2.10.1. Inverso de la distancia (Inverse Distance Weighting – IDW)

Maldonado (2015) señala que las ponderaciones espaciales por lo general están estandarizadas por fila, especialmente en las estrategias de ponderaciones binarias. La estandarización de filas se utiliza para crear ponderaciones proporcionales en aquellos casos en los que las entidades tienen una cantidad de vecinos desigual. La estandarización de filas implica la división del peso de cada vecino de una entidad por la suma de los pesos de todos los vecinos de esa entidad y se recomienda cuando la distribución de las entidades está potencialmente influenciada debido al diseño de muestreo o a un esquema de agregación impuesto.

Ferreira (2005) expresa que el método IDW es un método de estimación determinística. En el método IDW la interpolación del punto problema se estima asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa. Se establece, por lo tanto, que los puntos más cercanos tienen un peso mayor en el cálculo, aunque la relación no tiene por qué ser lineal.

La fórmula general de la interpolación en función inversa de la distancia es:

$$\hat{z}_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} * z_i \quad \dots \dots \dots (47)$$

Donde:

$\hat{z}_j$: Valor estimado para el punto j.

n : Número de puntos utilizados para la interpolación.

z_i : Valor en el punto i-ésimo.

k_{ij} : Peso asociado al dato i en el cálculo del nodo j.

Los pesos “k” varían entre 0 y 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad.

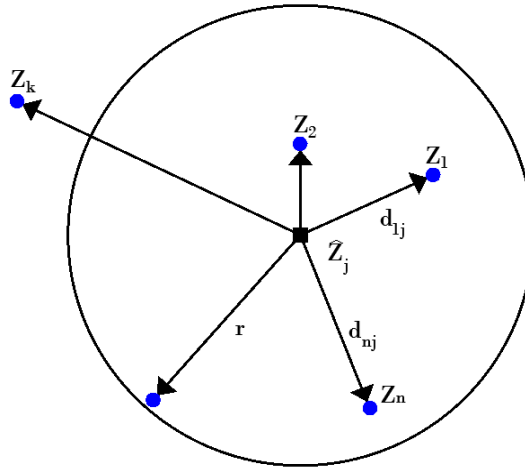


Figura 1.10: Estimación de un punto con el interpolador inverso de la distancia

Fuente: Ferreira (2005)

En la Figura 1.10 se ilustra una circunferencia de radio r , donde el punto a estimar es $\hat{Z}_j$. Son considerados los valores de los puntos Z_1, Z_2, Z_n que se encuentran dentro del radio. No se considera el punto Z_k ya que éste está fuera del radio.

La búsqueda de cuadrantes, la definición de un número mínimo de datos y otros esquemas de ponderación de la distancia son otras variaciones de esta técnica.

El modo en que se determinan las ponderaciones de cada dato determina en qué se diferencian entre sí las distintas técnicas. Los métodos de distancia inversa calculan la distancia euclidiana entre cada dato y el punto problema d_{ij} (ver la Figura 1.10).

La fórmula general puede obtenerse definiendo una función de proporcionalidad entre el peso y la distancia, que es la siguiente:

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_i \frac{Z_j}{d_{ij}^\beta}}{\sum_i \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \dots \dots \dots (48)$$

donde β es un exponente de ponderación. Este parámetro controla la forma en la que el peso disminuye con la distancia. En el caso $\beta = 0$ el valor estimado será la media aritmética de los datos; en el caso $\beta = 1$, el peso disminuye linealmente con la distancia; para valores superiores, la influencia de los puntos cercanos se hace mucho mayor que la de los lejanos. Por ejemplo, cuando $\beta = 2$, la interpolación se realiza en función inversa del cuadrado de la distancia.

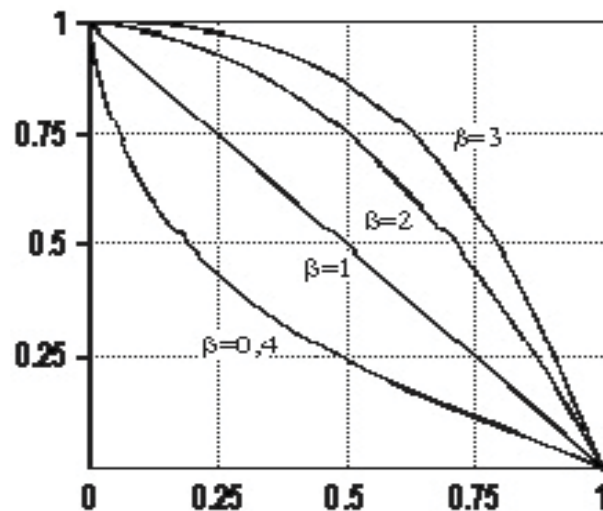


Figura 1.11: Curvas generadas para el parámetro β con diferentes valores

Fuente: Ferreira (2005)

Se construyen curvas que ilustran los patrones de cambio en los pesos (ordenadas) en función de las distancias (unidades arbitrarias, en las abscisas) para un rango de valores de β .

Esta técnica permite crear superficies de forma rápida y sencilla, pero al tratarse efectivamente de una media ponderada, el resultado siempre está contenido dentro del rango de varianza de los datos. Por ello, el tratamiento correcto de las formas cóncavas y convexas depende en gran medida de cómo se distribuyeron los puntos originales, lo que hace extremadamente útil disponer de datos complementarios.

Sin embargo, el valor β es en gran medida arbitrario, y variando los valores β se obtienen superficies drásticamente variadas.

1.2.10.2. Krigeaje (Kriging)

Ferreira (2005) se refiere a Kriging, un método de interpolación estocástica con una formulación general parecida a IDW que lleva el nombre de su inventor, el geólogo y estadístico Daniel Krige (también conocido como "krigeado" o "krigeaje" en español). Para ajustar las ponderaciones en función de la disposición espacial de las muestras, Kriging mide la correlación espacial entre dos puntos.

Esta hipótesis supone que las funciones de correlación espacial pueden explicar la variación espacial de la variable que se desea representar, al menos en parte. Concretamente, pueden utilizarse funciones homogéneas que abarquen toda la zona para inferir la variación espacial de los valores z a partir de los valores circundantes.

Examinando la correlación espacial entre los datos en función de la distancia que los separa, se pueden obtener funciones con este método. A partir de una estadística -la varianza de los datos separados por distintas distancias-, el kriging calcula la dependencia.

En función de la distancia entre los datos, la varianza toma valores distintos (cuanto mayor es la distancia, menor es la correlación entre los valores). El variograma, que representa la variación de la correlación entre los datos en función de la distancia, es la función que relaciona la varianza γ con la distancia h . La frase más utilizada para describirlos es:

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2 * n} \sum_{i=1}^n (z_i - z_{i+h})^2 \quad \dots \dots \dots (49)$$

donde n Es el número total de pares de valores dividido por h . Es factible elaborar el variograma empírico para la zona específica sobre la que hay que trabajar alterando gradualmente este valor.

Normalmente, se examina una colección de funciones teóricas y se utiliza la que mejor se ajusta a los datos reales, en lugar de utilizar directamente este variograma. Por último, utilizando técnicas de cálculo matricial, se determinan las ponderaciones k correspondientes a cada distancia entre los datos utilizando los valores del variograma.

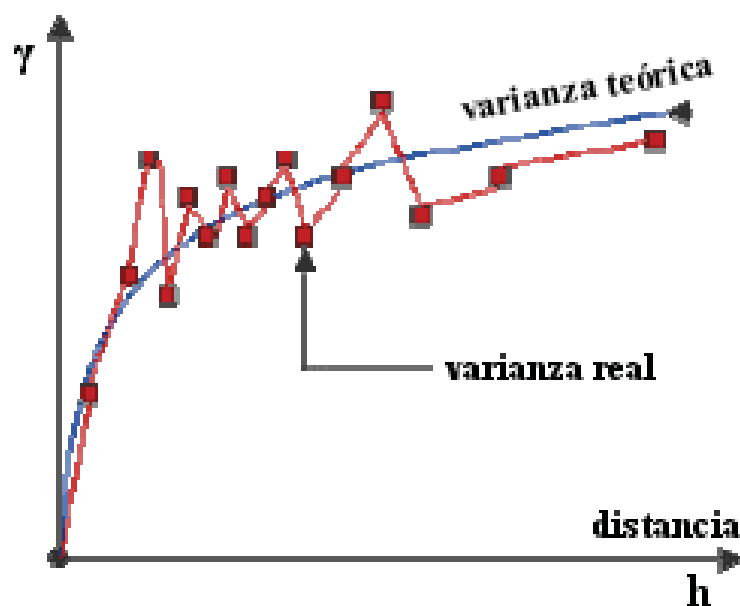


Figura 1.12: Ejemplo de variograma

Fuente: Ferreira (2005)

Este variograma, que se utiliza para estimar los pesos en la interpolación Kriging, se muestra en la Figura 1.12 y muestra cómo la varianza real se ha ajustado a una distribución teórica.

Podemos obtener dos valores de interés utilizando kriging. En primer lugar, el variograma proporciona el valor de distancia (h) a partir del cual los datos ya son independientes entre sí. Dado que añadir puntos más alejados impediría incorporar datos relevantes, este número de distancia establece un límite superior en el área del entorno que rodea al punto problemático. El valor del error previsto para cada punto, que es función de los valores de varianza observados para los datos, es el otro parámetro estimado.

Las variables de un conjunto de procesos en los que está presente la interacción de muchas variables concurrentes, o cuya distribución tiene un componente estocástico significativo, son candidatas recomendables para el uso de Kriging. Por ejemplo, los fenómenos de turbulencia y los intrincados factores meteorológicos operan a escalas muy diferentes para afectar a la distribución de un contaminante atmosférico. Kriging puede representar satisfactoriamente valores puntuales, ya que satisfacen las características enumeradas anteriormente, a pesar de que la modelización de estos procesos puede resultar muy difícil.

1.2.10.3. Regresión polinómica (Polynomial Regression)

Ferreira (2005) señala “que la regresión polinómica se usa para definir tendencias a gran escala y modelos en los datos. La Regresión polinómica en estricto rigor no se considera un interpolador ya que no intenta predecir los valores de z desconocidos”.

1.2.10.4. Promedios móviles (Moving Average)

Ferreira (2005) manifiesta este método asigna los valores a los nodos de la cuadrícula promediando los datos dentro de una elipse de búsqueda desde el nodo del grid. Establece una relación entre las distancias que separa a los puntos muestrales. Para un punto n_i , su cota z_i es el resultado de calcular la media aritmética de los puntos muestrales que le rodean, ponderada por la distancia. Este método aumenta su exactitud si el conglomerado de puntos muestrales seleccionado para calcular el punto no muestral, varía en función de un estudio previo y de información adicional.

1.2.10.5. Curvatura mínima (Minimum Curvature)

Ferreira (2005) argumenta que el método de curvatura mínima se usa ampliamente en las ciencias de la tierra. La superficie interpolada generada por este interpolador atraviesa cada uno de los valores de los datos con una cantidad mínima de curvatura. La curvatura mínima genera la superficie más lisa posible mientras intenta calcular los datos tan cercanamente cómo es posible. La curvatura mínima no es un interpolador exacto.

1.2.10.6. Vecino cercano (Nearest Neighbor)

Ferreira (2005) expresa el método del vecino cercano asigna el valor del punto más cercano a cada nodo de la cuadrícula. Este método es útil cuando los datos están espaciados uniformemente. En casos donde los datos están cercanos a la cuadrícula y solo hay algunos valores perdidos, este método es bastante eficaz para llenar los “agujeros” entre los datos.

1.2.10.7. Funciones de base radial (Radial Basis Function - RBF)

Ferreira (2005) destaca cómo la sencillez, la generalidad y el rápido aprendizaje de las redes neuronales artificiales (RNA) con funciones de base radial las hacen útiles en diversas aplicaciones. Las redes neuronales artificiales con funciones de base radial tienen información que fluye en una sola dirección, de las neuronas de entrada a las de salida. Son equivalentes a las redes neuronales artificiales con aprendizaje híbrido, que combinan el aprendizaje supervisado y el no supervisado.

Las funciones de base radial se ajustan a una amplia gama de técnicas de interpolación de datos. Mucha gente piensa que el método Multiquadratic (Multiquadric) es el mejor cuando se trata de ajustar datos y crear una superficie suave. Todas las técnicas de interpolación que utilizan funciones de base radial producen interpoladores precisos.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

Este trabajo de investigación se encuentra en la cuenca del río Cachi que forma parte de la vertiente del Atlántico o del Amazonas. Su nacimiento se da en las alturas de la localidad de Vinchos y tiene como afluentes a los ríos Choccoro, Apacheta y Chicllarazo. Posteriormente, en su recorrido recibe el aporte de los ríos Allpachaca, Yucaes, Paccha y Pongora. Con las aguas ya de un mayor caudal, el río está definido por la geología del lugar, la cual imprime bruscos cambios en su dirección. Esto se aprecia en el distrito de Santiago de Pischa, su capital es el centro poblado de San Pedro de Cachi desde donde es conocido con este último nombre; río Cachi.

2.1.1. Ubicación geográfica (punto de aforo)

Este : 573778.62 m
Norte : 8575277.90 m
Altura : 2195 m.s.n.m.

2.1.2. Ubicación política

Departamento : Ayacucho, Huancavelica

Provincia : Cangallo, Huamanga, Huanta, Vilcas Huamán, Angaraes y Huaytará

Distritos : Chuschi, Los Morochucos, Paras, Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Acocro, Acos Vinchos, Ayacucho, Carmen Alto, Chiara, Jesús Nazareno, Pacaycasa, Quinua, San Jose de Ticllas, San Juan Bautista, Santiago de Pischa, Socos Tambillo, Vinchos, Huamanguilla, Huanta, Iguain, Luricocha, Vischongo, Chincho, Julcamarca, San Antonio de Antaparco, Santo Tomas de Pata y Pilpichaca.

2.1.3. Ubicación hidrográfica

Según la ubicación hidrográfica la zona del trabajo de investigación se encuentra en la cuenca Mantaro tal como se aprecia en la Tabla 2.1 y la Figura 2.1.

Tabla 2.1: Ubicación hidrográfica del trabajo de investigación

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código
Nivel 1	Región Hidrográfica del Amazonas	4
Nivel 2	Cuenca Alto Amazonas	49
Nivel 3	Cuenca Ucayali	499
Nivel 4	Cuenca Mantaro	4996

2.1.4. Ubicación administrativa

AAA : Autoridad Administrativa del Agua X Mantaro

ALA : Administración Local del Agua Ayacucho

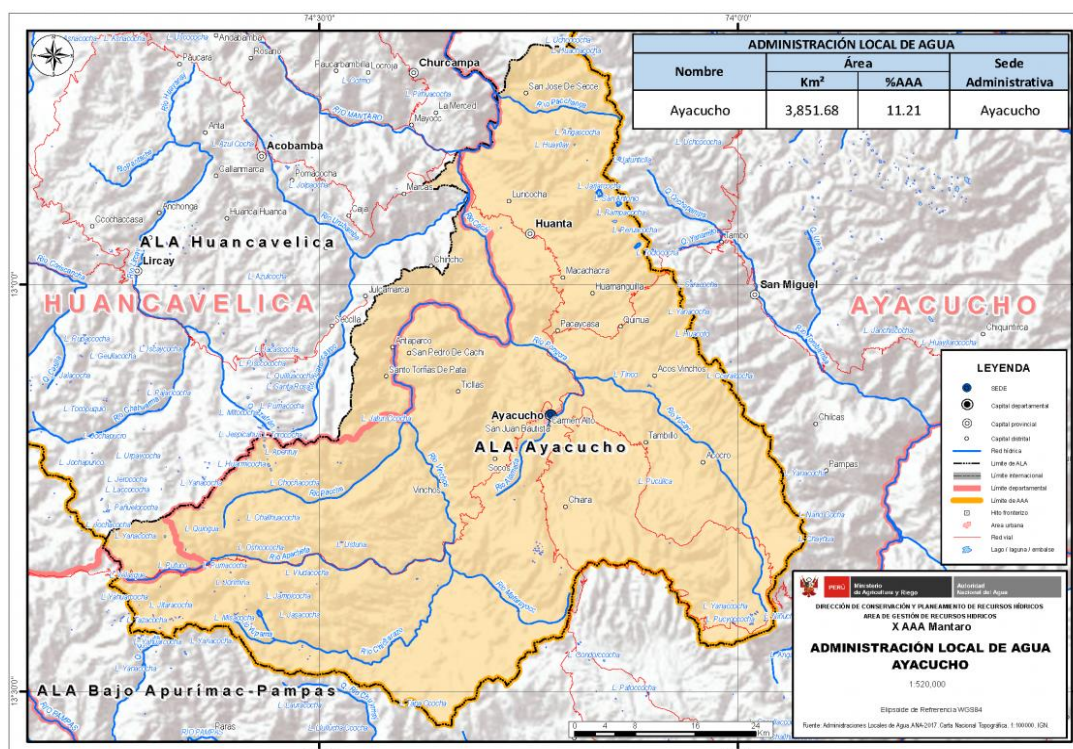


Figura 2.1: Ubicación de AAA X Mantaro (Ubicación Administrativa)

Fuente: ANA (2007)

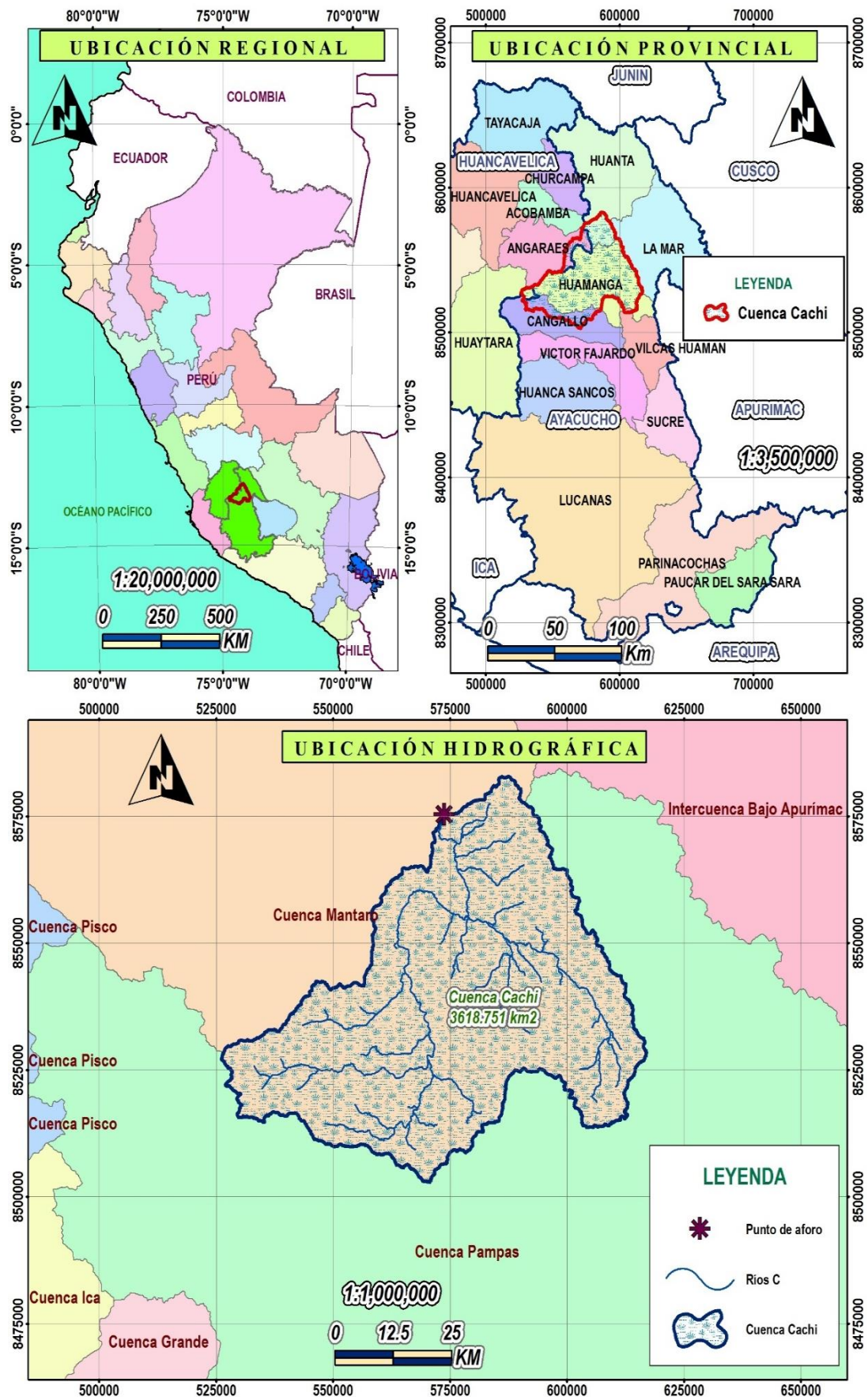


Figura 2.2: Ubicación de la zona del trabajo de investigación de la cuenca Cachi

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Materiales

- Libreta de apuntes.
- Hoja de papel.
- Lapicero.
- Material bibliográfico.
- Data como información cartográfica, información pluviométrica, etc.

2.2.2. Equipos

- Sistema de Posicionamiento Global.
- Máquina fotográfica.
- Laptop.
- Software: Google Earth Pro, ArcGIS 10.5, Global Mapper 21.0, WMS 11.0.4, Hidroesta 2, Hyfran, Hojas de cálculo etc.

2.3. Metodología

Los métodos de procedimientos empleados en la ejecución de la presente investigación de “Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la Cuenca del Río Cachi - Ayacucho – 2021”, se detallan en la Figura 2.3.

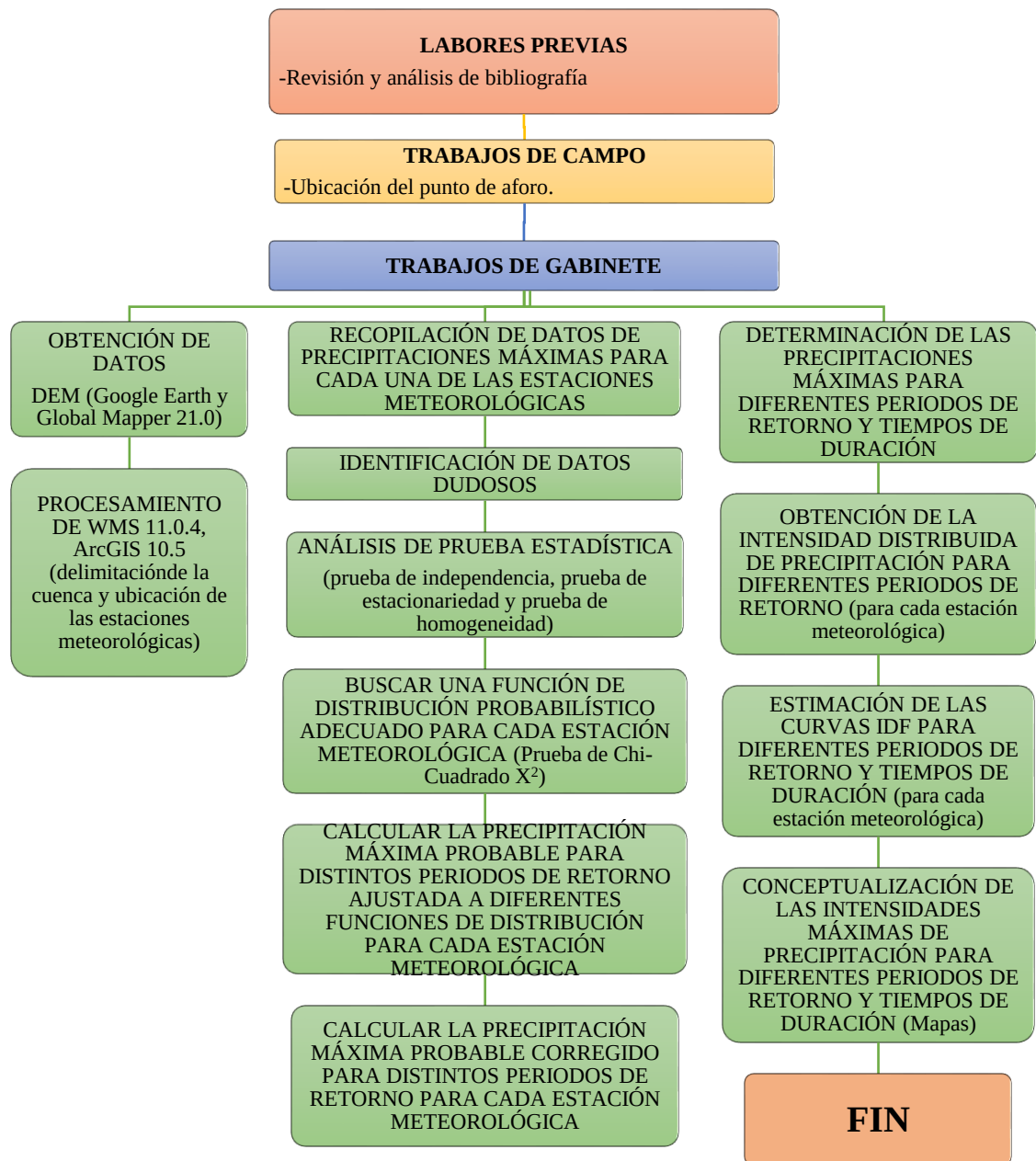


Figura 2.3: Flujograma de la metodología

2.3.1. Labores preliminares

Incluyó una revisión y análisis de la bibliografía, que sirvió de base para este proyecto de investigación. Además, se confirmó la existencia de datos pluviométricos y topográficos para la ubicación de la investigación. Como resultado, se descubrieron los siguientes datos:

- **Cartográfica:** El Ministerio de Educación de Perú proporcionó la cartografía a escala 1:100.000 (.shp), que cubre la región de estudio 26o, 27n, 27ñ, 27o y 28ñ. Asimismo, se utilizaron los programas Google Earth Pro, Global Mapper 21.0 y WMS 11.0.4 para la recolección de datos en forma de puntos y curvas de nivel en coordenadas UTM.
- **Pluviométrica:** La presente tesis se desarrolló utilizando registros de precipitación obtenidos del Gobierno Regional de Ayacucho, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Gerencia Regional de Infraestructura - Red Hidrometeorológica, e información pluviométrica obtenida desde 1991 hasta 2017 de referencia en torno a la cuenca del río Cachi.

2.3.2. Trabajos de campo

a) Ubicación del punto de aforo

Se definió la ubicación in situ del punto de aforo de la cuenca del río Cachi la que nos ayudaron en la delimitación de la cuenca en estudio.

2.3.3. Trabajos de gabinete

En los trabajos de gabinete se realizaron los siguientes, para demostrar los objetivos planteados.

2.3.3.1. Evaluación de la información de las precipitaciones máximas en 24h

a) Registros de precipitaciones máximas en 24h

Los datos máximos anuales de 12 estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio (cuenca del río Cachi) fueron seleccionados a partir de los datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Gerencia Regional de Infraestructura - Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

A continuación, se muestran las estaciones meteorológicas elegidas junto con la ubicación geográfica correspondiente.

Tabla 2.2: Estaciones meteorológicas entorno a la cuenca del río Cachi

Nombre de estación	Ubicación Política			Coordenadas Geográficas			Años de registro
	Departamento	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud	
Allpachaca	Ayacucho	Huamanga	Chiara	13°23' 19"S	74°16' 00"O	3550.00	1992 - 2017
Apacheta	Ayacucho	Cangallo	Paras	13°21'0.67"S	74°38'40.60"O	4150.00	2005 - 2017
Chiara	Ayacucho	Huamanga	Chiara	13°17'25.56"S	74°12'39.54"O	3599.00	1993 - 2016
Choccoro	Ayacucho	Cangallo	Paras	13°25'11.46"S	74°28'51.18"O	4061.00	1999 - 2017
Chontaca	Ayacucho	Huamanga	Acocro	13°17'44.28"S	74°01'33.54"O	3497.00	1992 - 2016
Cuchoquesera	Ayacucho	Cangallo	Chuschi	13°25'50.22"S	74°20'32.42"O	3740.00	1992 - 2016
Huanta	Ayacucho	Huanta	Huanta	12°56'51"S	74°14'00"O	2722.00	1995 - 2016
INIA	Ayacucho	Huamanga	Ayacucho	13°10'0.42"S	74°12'22.90"O	2735.00	1994 - 2017
Pucaloma	Ayacucho	Huamanga	Socos	13°12'21.48"S	74°17'57.48"O	3493.00	1995 - 2016
Quinua	Ayacucho	Huamanga	Quinua	13°02'02"S	74°08'07"O	3316.00	1995 - 2013
Tambillo	Ayacucho	Huamanga	Tambillo	13°13'06.72"S	74°06'22.68"O	3343.00	1992 - 2016
Putacca	Ayacucho	Huamanga	Vinchos	13°24'16.26"S	74°21'01.14"O	3589.00	1991 - 2009

b) Determinación de datos dudosos de precipitaciones máximas en 24h

El desarrollo de la determinación de datos dudosos se sintetizó en los siguientes procesos:

- Tener datos de precipitaciones máximas de 24h para cada una de las estaciones meteorológicas empleadas.
- Identificar los datos dudosos o atípicos, luego corregir dichos valores de precipitaciones máximas de 24h para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio.

c) Análisis de pruebas estadísticas

En las pruebas estadísticas aparece una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla en función de su probabilidad de ocurrencia. La evolución de las pruebas se resume del siguiente modo:

- Hacer el análisis de pruebas de independencia mediante el test de Wald-Wolfowitz, utilizando el programa Hyfran.
- Efectuar el análisis de pruebas de estacionariedad mediante el test de Kendall, empleando el programa Hyfran.
- Generar el análisis de pruebas de homogeneidad mediante la prueba a escala anual (Wilcoxon), con la ayuda del programa Hyfran.

d) Ajuste de los datos de precipitación a una función de distribución de probabilidad

A continuación, ajustamos los datos a diversas funciones de distribución de probabilidad basadas en los registros de precipitaciones máximas y en las pruebas estadísticas de

precipitaciones máximas. En consecuencia, hubo que realizar la prueba Chi-Cuadrado, un análisis estadístico. Los resultados se resumieron como sigue:

- Contar con registros de precipitaciones máximas, del análisis de pruebas estadísticas.
- Determinar los valores numéricos de la prueba Chi - Cuadrado X^2 para cada una de las funciones de distribución empleado, utilizando el software Hyfran.
- Elija la mejor función de distribución para cada estación meteorológica investigada.

e) Determinación de precipitaciones máximas probables para distintas frecuencias

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Determinar las precipitaciones máximas en 24h para diferentes periodos de retorno de la función de distribución seleccionada, para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio, utilizando el software Hyfran.
- Corregir o ponderar las precipitaciones máximas en 24h para diferentes periodos de retorno de la función de distribución seleccionada multiplicando por un coeficiente de corrección de 1.13.

2.3.3.2. Obtención de las ecuaciones y las curvas IDF

a) Obtención de precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Contar con las precipitaciones máximas en 24h corregidas para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio.
- Utilizando los coeficientes de duración de las precipitaciones del manual vial de hidrología, hidráulica y drenaje para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas, multiplique las precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.

b) Determinación de las intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Contar con las precipitaciones máximas para diferentes frecuencias y diferentes duraciones, para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio.

- Determinar la intensidad dispersa de las precipitaciones para distintos intervalos de retorno para cada estación meteorológica que se esté examinando.

c) Obtención de las Curvas IDF con sus respectivas ecuaciones

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Obtener los niveles más altos de intensidad de precipitación para varios intervalos de retorno para cada estación meteorológica estudiada.
- Obtener las ecuaciones de la Curva IDF para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas mediante una regresión múltiple que relacione simultáneamente las tres variables (intensidad, duración y tiempo de retorno).
- Utilizando un modelo que relacione simultáneamente las tres variables (intensidad, duración y periodo de retorno) en una familia de curvas para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas, obtener las curvas IDF a partir de las ecuaciones generadas para distintas frecuencias y periodos de duración.

2.3.3.3. Conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación

a) Selección de las intensidades máximas de precipitación para diferentes frecuencias y tiempos de duración

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Disponer de las ecuaciones de la curva IDF para cada estación meteorológica investigada.
- Para cada estación meteorológica investigada, determinar las intensidades máximas de lluvia para los distintos periodos de retorno y tiempos de duración que se emplean más comúnmente en el diseño de estructuras hidráulicas.

b) Generación de mapas de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración

El desarrollo se sintetizó en los siguientes:

- Delimitar la cuenca en estudio (cuenca del río Cachi) según la ubicación del punto de aforo, utilizando los programas Google Earth Pro, Global Mapper 21.0, WMS 11.0.4 y ArcGIS 10.5.

- Dibujar el mapa de las estaciones meteorológicas según su ubicación en coordenadas UTM en la cuenca del río Cachi.
- Utilizando el programa ArcGIS 10.5, cree mapas con las mayores intensidades para varios periodos de retorno y tiempos de duración elegidos interpolando mediante el enfoque geoestadístico IDW.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de la información de las precipitaciones máximas en 24h

3.1.1. Precipitaciones máximas en 24h

En principio, se obtuvieron los datos de precipitación máxima en 24h del Gestión de Infraestructura Regional - Red Hidrometeorológica - GORE Ayacucho y del SENAMHI, cuyos años de registro varían desde el año 1991 - 2017 pertenecientes a las estaciones cercanas al área de estudio: Allpachaca, Apacheta, Chiara, Choccoro, Chontaca, Cuchoquesera, Huanta, INIA, Pucaloma, Quinua, Tambillo y Putacca.

Tabla 3.1: Precipitación máxima en 24h anual para cada estación meteorológica parte 1

Año	Estación Allpachaca	Estación Apacheta	Estación Chiara	Estación Choccoro	Estación Chontaca	Estación Cuchoquesera
1991						
1992	45.70				25.70	27.00
1993	57.40		31.00		24.30	31.10
1994	35.90		30.30		31.10	27.00
1995	34.50		22.40		30.70	39.80
1996	38.10		27.90		34.90	35.20
1997	28.30		23.70		26.90	28.40
1998	35.20		23.90		25.80	27.00
1999	21.10		24.40	35.10	20.60	42.60
2000	41.90		19.11	47.45	27.31	43.94
2001	28.50		37.96	44.20	27.04	37.86
2002	28.50		27.28	79.00	36.77	39.34
2003	25.40		34.80	25.30	31.60	23.30
2004	36.00		32.62	35.50	18.10	30.30
2005	27.60	18.50	27.30	32.00	24.20	30.60
2006	28.20	S/D	26.00	31.70	21.10	36.00
2007	43.50	28.18	22.00	35.80	30.50	25.20
2008	28.90	20.22	18.40	36.20	25.40	26.20
2009	28.00	32.70	24.00	29.70	27.50	21.80
2010	37.40	27.90	28.10	30.40	34.70	28.40
2011	41.30	36.20	40.00	32.80	38.30	34.00
2012	45.20	42.30	25.00	49.90	30.00	40.30
2013	27.20	35.90	24.00	25.00	28.50	55.60
2014	28.00	38.50	24.00	41.70	43.10	28.00
2015	27.00	30.70	22.00	32.80	31.20	42.00
2016	23.00	31.60	20.00	46.00	32.30	28.40
2017				41.90	43.10	43.40

Tabla 3.2: Precipitación máxima en 24h anual para cada estación meteorológica parte 2

Año	Estación Huanta	Estación INIA	Estación Pucaloma	Estación Quinua	Estación Tambillo	Estación Putacca
1991						27.30
1992					35.30	23.50
1993					37.90	31.80
1994		17.50			52.20	29.00
1995	23.70	42.00	22.00	24.30	24.50	37.10
1996	22.40	29.00	31.30	31.10	28.30	35.40
1997	27.90	20.60	56.30	30.70	41.70	43.40
1998	23.70	31.50	29.80	34.90	31.20	39.20
1999	23.90	24.80	26.60	26.90	28.60	45.10
2000	24.40	35.20	36.12	25.80	41.47	45.92
2001	26.00	S/D	S/D	20.60	48.49	35.70
2002	22.70	27.60	28.32	27.31	41.08	29.10
2003	32.50	30.00	26.16	27.04	38.40	21.50
2004	25.20	S/D	S/D	36.77	27.90	35.10
2005	55.12	S/D	25.00	31.60	47.00	31.40
2006	28.12	S/D	26.17	20.80	21.50	29.70
2007	25.02	20.60	19.10	24.20	27.04	29.00
2008	23.00	31.50	25.40	24.60	18.33	53.34
2009	22.20	29.60	19.10	27.60	25.40	41.60
2010	27.50	24.50	41.00	28.50	25.50	
2011	28.70	46.70	30.30	32.10	41.60	
2012	24.80	24.70	23.20	28.70	28.40	
2013	34.10	23.60	20.30	26.20	30.70	
2014	23.40	23.10	24.80		42.10	
2015	36.10	29.20	42.20		49.00	
2016	24.08	28.80	30.30		27.20	
2017		23.50				

Los resultados obtenidos en las Tablas 3.1 y 3.2 muestran los datos de precipitación máxima total anual en 24 horas de doce localizaciones meteorológicas entre 1991 y 2017.

3.1.2. Datos dudosos de precipitaciones máximas en 24h

A continuación, se utilizaron los límites superior e inferior de cada estación utilizada para identificar los datos considerados dudosos: Allpachaca, Apacheta, Chiara, Choccoro, Chontaca, Cuchoquesera, Huanta, INIA, Pucaloma, Quinua, Tambillo y Putacca.

Tabla 3.3: Prueba de datos dudosos estación Allpachaca

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < L_n < Y_s$
1	45.70	1992	3.82	confiable
2	57.40	1993	4.05	confiable
3	35.90	1994	3.58	confiable
4	34.50	1995	3.54	confiable
5	38.10	1996	3.64	confiable
6	28.30	1997	3.34	confiable

7	35.20	1998	3.56	confiable
8	21.10	1999	3.05	confiable
9	41.90	2000	3.74	confiable
10	28.50	2001	3.35	confiable
11	28.50	2002	3.35	confiable
12	25.40	2003	3.23	confiable
13	36.00	2004	3.58	confiable
14	27.60	2005	3.32	confiable
15	28.20	2006	3.34	confiable
16	43.50	2007	3.77	confiable
17	28.90	2008	3.36	confiable
18	28.00	2009	3.33	confiable
19	37.40	2010	3.62	confiable
20	41.30	2011	3.72	confiable
21	45.20	2012	3.81	confiable
22	27.20	2013	3.30	confiable
23	28.00	2014	3.33	confiable
24	27.00	2015	3.30	confiable
25	23.00	2016	3.14	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Allpachaca

Promedio : 33.67

Desv. Est : 8.60

Tamaño de muestra : 25

Media Ln : 3.49

Desvió Ln : 0.24

K : 2.486

Lim. Superior (Ys) : 4.09

Lim. Inferior (Yi) : 2.88

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.3 muestra que no hay datos dudosos para la estación Allpachaca.

Tabla 3.4: Prueba de datos dudosos estación Apacheta

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	18.50	2005	2.92	confiable
2	S/D	2006	S/D	S/D
3	28.18	2007	3.34	confiable
4	20.22	2008	3.01	confiable
5	32.70	2009	3.49	confiable
6	27.90	2010	3.33	confiable

7	36.20	2011	3.59	confiable
8	42.30	2012	3.74	confiable
9	35.90	2013	3.58	confiable
10	38.50	2014	3.65	confiable
11	30.70	2015	3.42	confiable
12	31.60	2016	3.45	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Apacheta

Promedio	: 31.15
Desv. Est	: 7.27
Tamaño de muestra	: 11
Media Ln	: 3.41
Desvió Ln	: 0.26
K	: 2.088
Lim. Superior (Ys)	: 3.95
Lim. Inferior (Yi)	: 2.88

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.4 muestra que no hay datos dudosos para la estación Apacheta.

Tabla 3.5: Prueba de datos dudosos estación Chiara

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	31.00	1993	3.43	confiable
2	30.30	1994	3.41	confiable
3	22.40	1995	3.11	confiable
4	27.90	1996	3.33	confiable
5	23.70	1997	3.17	confiable
6	23.90	1998	3.17	confiable
7	24.40	1999	3.19	confiable
8	19.11	2000	2.95	confiable
9	37.96	2001	3.64	confiable
10	27.28	2002	3.31	confiable
11	34.80	2003	3.55	confiable
12	32.62	2004	3.48	confiable
13	27.30	2005	3.31	confiable
14	26.00	2006	3.26	confiable
15	22.00	2007	3.09	confiable
16	18.40	2008	2.91	confiable
17	24.00	2009	3.18	confiable
18	28.10	2010	3.34	confiable

19	40.00	2011	3.69	confiable
20	25.00	2012	3.22	confiable
21	24.00	2013	3.18	confiable
22	24.00	2014	3.18	confiable
23	22.00	2015	3.09	confiable
24	20.00	2016	3.00	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Chiara

Promedio	: 26.51
Desv. Est	: 5.60
Tamaño de muestra	: 24
Media Ln	: 3.26
Desvió Ln	: 0.20
K	: 2.467
Lim. Superior (Ys)	: 3.76
Lim. Inferior (Yi)	: 2.76

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.5 muestra que no hay datos dudosos para la estación Chiara.

Tabla 3.6: Prueba de datos dudosos estación Choccoro

N°	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	35.10	1999	3.56	confiable
2	47.45	2000	3.86	confiable
3	44.20	2001	3.79	confiable
4	79.00	2002	4.37	dudoso
5	25.30	2003	3.23	confiable
6	35.50	2004	3.57	confiable
7	32.00	2005	3.47	confiable
8	31.70	2006	3.46	confiable
9	35.80	2007	3.58	confiable
10	36.20	2008	3.59	confiable
11	29.70	2009	3.39	confiable
12	30.40	2010	3.41	confiable
13	32.80	2011	3.49	confiable
14	49.90	2012	3.91	confiable
15	25.00	2013	3.22	confiable

16	41.70	2014	3.73	confiable
17	32.80	2015	3.49	confiable
18	46.00	2016	3.83	confiable
19	41.90	2017	3.74	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Choccoro

Promedio	: 38.55
Desv. Est	: 12.13
Tamaño de muestra	: 19
Media Ln	: 3.61
Desvió Ln	: 0.27
K	: 2.361
Lim. Superior (Ys)	: 4.25
Lim. Inferior (Yi)	: 2.98

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.6 muestra que existe un dato dudoso para la estación Choccoro, el cual fue quitado para que no haya ningún dato dudoso.

Tabla 3.7: Prueba de datos dudosos estación Chontaca

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	25.70	1992	3.25	confiable
2	24.30	1993	3.19	confiable
3	31.10	1994	3.44	confiable
4	30.70	1995	3.42	confiable
5	34.90	1996	3.55	confiable
6	26.90	1997	3.29	confiable
7	25.80	1998	3.25	confiable
8	20.60	1999	3.03	confiable
9	27.31	2000	3.31	confiable
10	27.04	2001	3.30	confiable
11	36.77	2002	3.60	confiable
12	31.60	2003	3.45	confiable
13	18.10	2004	2.90	confiable
14	24.20	2005	3.19	confiable
15	21.10	2006	3.05	confiable
16	30.50	2007	3.42	confiable
17	25.40	2008	3.23	confiable
18	27.50	2009	3.31	confiable
19	34.70	2010	3.55	confiable

20	38.30	2011	3.65	confiable
21	30.00	2012	3.40	confiable
22	28.50	2013	3.35	confiable
23	43.10	2014	3.76	confiable
24	31.20	2015	3.44	confiable
25	32.30	2016	3.48	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Chontaca

Promedio : 29.10

Desv. Est : 5.74

Tamaño de muestra : 25

Media Ln : 3.35

Desvió Ln : 0.20

K : 2.486

Lim. Superior (Ys) : 3.85

Lim. Inferior (Yi) : 2.86

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.7 muestra que no hay datos dudosos para la estación Chontaca.

Tabla 3.8: Prueba de datos dudosos estación Cuchoquesera

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < L_n < Y_s$
1	27.00	1992	3.30	confiable
2	31.10	1993	3.44	confiable
3	27.00	1994	3.30	confiable
4	39.80	1995	3.68	confiable
5	35.20	1996	3.56	confiable
6	28.40	1997	3.35	confiable
7	27.00	1998	3.30	confiable
8	42.60	1999	3.75	confiable
9	43.94	2000	3.78	confiable
10	37.86	2001	3.63	confiable
11	39.34	2002	3.67	confiable
12	23.30	2003	3.15	confiable
13	30.30	2004	3.41	confiable
14	30.60	2005	3.42	confiable
15	36.00	2006	3.58	confiable
16	25.20	2007	3.23	confiable
17	26.20	2008	3.27	confiable
18	21.80	2009	3.08	confiable
19	28.40	2010	3.35	confiable
20	34.00	2011	3.53	confiable

21	40.30	2012	3.70	confiable
22	55.60	2013	4.02	confiable
23	28.00	2014	3.33	confiable
24	42.00	2015	3.74	confiable
25	28.40	2016	3.35	confiable
26	43.40	2017	3.77	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Cuchoquesera

Promedio	: 33.57
Desv. Est	: 8.05
Tamaño de muestra	: 26
Media Ln	: 3.49
Desvió Ln	: 0.23
K	: 2.502
Lim. Superior (Ys)	: 4.07
Lim. Inferior (Yi)	: 2.91

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.8 muestra que no hay datos dudosos para la estación Cuchoquesera.

Tabla 3.9: Prueba de datos dudosos estación Huanta

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	23.70	1995	3.17	confiable
2	22.40	1996	3.11	confiable
3	27.90	1997	3.33	confiable
4	23.70	1998	3.17	confiable
5	23.90	1999	3.17	confiable
6	24.40	2000	3.19	confiable
7	26.00	2001	3.26	confiable
8	22.70	2002	3.12	confiable
9	32.50	2003	3.48	confiable
10	25.20	2004	3.23	confiable
11	55.12	2005	4.01	dudoso
12	28.12	2006	3.34	confiable
13	25.02	2007	3.22	confiable
14	23.00	2008	3.14	confiable
15	22.20	2009	3.10	confiable
16	27.50	2010	3.31	confiable
17	28.70	2011	3.36	confiable
18	24.80	2012	3.21	confiable

19	34.10	2013	3.53	confiable
20	23.40	2014	3.15	confiable
21	36.10	2015	3.59	confiable
22	24.08	2016	3.18	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Huanta

Promedio : 27.48

Desv. Est : 7.26

Tamaño de muestra : 22

Media Ln : 3.29

Desvió Ln : 0.21

K : 2.429

Lim. Superior (Ys) : 3.80

Lim. Inferior (Yi) : 2.78

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.9 muestra que existe un dato dudoso para la estación Huanta, el cual fue quitado para que no haya ningún dato dudoso.

Tabla 3.10: Prueba de datos dudosos estación INIA

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Yi < Ln < Ys$
1	17.50	1994	2.86	confiable
2	42.00	1995	3.74	confiable
3	29.00	1996	3.37	confiable
4	20.60	1997	3.03	confiable
5	31.50	1998	3.45	confiable
6	24.80	1999	3.21	confiable
7	35.20	2000	3.56	confiable
8	S/D	2001	S/D	S/D
9	27.60	2002	3.32	confiable
10	30.00	2003	3.40	confiable
11	S/D	2004	S/D	S/D
12	S/D	2005	S/D	S/D
13	S/D	2006	S/D	S/D
14	20.60	2007	3.03	confiable
15	31.50	2008	3.45	confiable
16	29.60	2009	3.39	confiable
17	24.50	2010	3.20	confiable
18	46.70	2011	3.84	confiable

19	24.70	2012	3.21	confiable
20	23.60	2013	3.16	confiable
21	23.10	2014	3.14	confiable
22	29.20	2015	3.37	confiable
23	28.80	2016	3.36	confiable
24	23.50	2017	3.16	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación INIA

Promedio : 28.20

Desv. Est : 7.06

Tamaño de muestra : 20

Media Ln : 3.31

Desvió Ln : 0.24

K : 2.385

Lim. Superior (Ys) : 3.88

Lim. Inferior (Yi) : 2.75

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.10 muestra que no hay datos dudosos para la estación INIA.

Tabla 3.11: Prueba de datos dudosos estación Pucaloma

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	22.00	1995	3.09	confiable
2	31.30	1996	3.44	confiable
3	56.30	1997	4.03	dudoso
4	29.80	1998	3.39	confiable
5	26.60	1999	3.28	confiable
6	36.12	2000	3.59	confiable
7	S/D	2001	S/D	S/D
8	28.32	2002	3.34	confiable
9	26.16	2003	3.26	confiable
10	S/D	2004	S/D	S/D
11	25.00	2005	3.22	confiable
12	26.17	2006	3.26	confiable
13	19.10	2007	2.95	confiable
14	25.40	2008	3.23	confiable
15	19.10	2009	2.95	confiable
16	41.00	2010	3.71	confiable

17	30.30	2011	3.41	confiable
18	23.20	2012	3.14	confiable
19	20.30	2013	3.01	confiable
20	24.80	2014	3.21	confiable
21	42.20	2015	3.74	confiable
22	30.30	2016	3.41	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Pucaloma

Promedio : 29.17

Desv. Est : 9.02

Tamaño de muestra : 20

Media Ln : 3.33

Desvió Ln : 0.27

K : 2.385

Lim. Superior (Ys) : 3.99

Lim. Inferior (Yi) : 2.68

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.11 muestran que existe un dato dudoso para la estación Pucaloma, el cual fue quitado para que no haya ningún dato dudoso.

Tabla 3.12: Prueba de datos dudosos estación Quinua

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < Ln < Y_s$
1	24.30	1995	3.19	confiable
2	31.10	1996	3.44	confiable
3	30.70	1997	3.42	confiable
4	34.90	1998	3.55	confiable
5	26.90	1999	3.29	confiable
6	25.80	2000	3.25	confiable
7	20.60	2001	3.03	confiable
8	27.31	2002	3.31	confiable
9	27.04	2003	3.30	confiable
10	36.77	2004	3.60	confiable
11	31.60	2005	3.45	confiable
12	20.80	2006	3.03	confiable
13	24.20	2007	3.19	confiable
14	24.60	2008	3.20	confiable
15	27.60	2009	3.32	confiable
16	28.50	2010	3.35	confiable
17	32.10	2011	3.47	confiable
18	28.70	2012	3.36	confiable

19	26.20	2013	3.27	confiable
----	-------	------	------	-----------

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Quinua

Promedio	: 27.88
Desv. Est	: 4.27
Tamaño de muestra	: 19
Media Ln	: 3.32
Desvió Ln	: 0.15
K	: 2.361
Lim. Superior (Ys)	: 3.68
Lim. Inferior (Yi)	: 2.95

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.12 muestra que no hay datos dudosos para la estación Quinua.

Tabla 3.13: Prueba de datos dudosos estación Tambillo

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Y_i < L_n < Y_s$
1	35.30	1992	3.56	confiable
2	37.90	1993	3.63	confiable
3	52.20	1994	3.96	confiable
4	24.50	1995	3.20	confiable
5	28.30	1996	3.34	confiable
6	41.70	1997	3.73	confiable
7	31.20	1998	3.44	confiable
8	28.60	1999	3.35	confiable
9	41.47	2000	3.72	confiable
10	48.49	2001	3.88	confiable
11	41.08	2002	3.72	confiable
12	38.40	2003	3.65	confiable
13	27.90	2004	3.33	confiable
14	47.00	2005	3.85	confiable
15	21.50	2006	3.07	confiable
16	27.04	2007	3.30	confiable
17	18.33	2008	2.91	confiable
18	25.40	2009	3.23	confiable
19	25.50	2010	3.24	confiable
20	41.60	2011	3.73	confiable
21	28.40	2012	3.35	confiable
22	30.70	2013	3.42	confiable

23	42.10	2014	3.74	confiable
24	49.00	2015	3.89	confiable
25	27.20	2016	3.30	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Tambillo

Promedio	: 34.43
Desv. Est	: 9.44
Tamaño de muestra	: 25
Media Ln	: 3.50
Desvió Ln	: 0.28
K	: 2.486
Lim. Superior (Ys)	: 4.20
Lim. Inferior (Yi)	: 2.80

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.13 muestra que no hay datos dudosos para la estación Tambillo.

Tabla 3.14: Prueba de datos dudosos estación Putacca

Nº	Prec. Máx diaria anual	Año	Ln Máx	Condición $Yi < Ln < Ys$
1	27.30	1991	3.31	confiable
2	23.50	1992	3.16	confiable
3	31.80	1993	3.46	confiable
4	29.00	1994	3.37	confiable
5	37.10	1995	3.61	confiable
6	35.40	1996	3.57	confiable
7	43.40	1997	3.77	confiable
8	39.20	1998	3.67	confiable
9	45.10	1999	3.81	confiable
10	45.92	2000	3.83	confiable
11	35.70	2001	3.58	confiable
12	29.10	2002	3.37	confiable
13	21.50	2003	3.07	confiable
14	35.10	2004	3.56	confiable
15	31.40	2005	3.45	confiable
16	29.70	2006	3.39	confiable
17	29.00	2007	3.37	confiable
18	53.34	2008	3.98	confiable
19	41.60	2009	3.73	confiable

Parámetros de la fórmula general de detección de datos dudosos estación Putacca

Promedio	: 34.96
Desv. Est	: 8.25
Tamaño de muestra	: 19
Media Ln	: 3.53
Desvió Ln	: 0.24
K	: 2.361
Lim. Superior (Ys)	: 4.09
Lim. Inferior (Yi)	: 2.97

Los resultados adquiridos en la Tabla 3.14 muestra que no hay datos dudosos para la estación Putacca.

3.1.3. Pruebas estadísticas

En esta fase, se realizaron tres pruebas asintóticas de las series de precipitaciones máximas de 24 horas para asegurarse de que se podía hacer estadística inferencial y de que la muestra reflejaba fielmente las características generales de la comunidad a la que pertenecía.

Una de las condiciones para el análisis estadístico de series de datos es su aleatoriedad, es decir, la probabilidad de una ocurrencia no depende de la otra ocurrencia. La prueba de Wald-Wolfowitz es un ejemplo de prueba de independencia.

A continuación, se exponen las teorías que se investigarán:

H0: El conjunto de datos numéricos se crea mediante un procedimiento aleatorio.

H1: El conjunto de datos numéricos se produce mediante un mecanismo no aleatorio.

Si $p < 0.05$ entonces se considera significativo, en cuyo caso se rechaza la hipótesis nula.

Si $p > 0.05$ se considera insignificante, en cuyo caso no se rechaza la hipótesis nula.

Para verificar que la serie de datos no contiene una tendencia temporal, se realiza la prueba de estacionariedad mediante la prueba de estacionariedad de Kendall.

Por último, puede utilizarse la prueba de homogeneidad de escala anual de Wilcoxon para determinar si la media muestral del primer subconjunto difiere significativamente de la media muestral del segundo subconjunto.

A continuación, se determinaron las tres pruebas estadísticas para las 12 estaciones empleadas tal como se muestra:

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the 'ESTACIÓN ALLPACHACA.hyf' application. The 'Name of test' is set to 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN ALLPACHACA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results section shows a 'Statistics value' of $IUI = 0.7600$ and a 'p-value' of $p = 0.4473$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.1: Prueba de independencia estación Allpachaca

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the 'ESTACIÓN ALLPACHACA.hyf' application. The 'Name of test' is set to 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN ALLPACHACA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results section shows a 'Statistics value' of $|K| = 1.938$ and a 'p-value' of $p = 0.05258$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.2: Prueba de estacionariedad estación Allpachaca

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the 'ESTACIÓN ALLPACHACA.hyf' application. The 'Name of test' is set to 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN ALLPACHACA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results section shows a 'Statistics value' of $|W| = 0.6298$, a 'p-value' of $p = 0.5288$, a 'Start of first group' of 1992, and an 'End of first group' of 2005. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.3: Prueba de homogeneidad estación Allpachaca

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Allpachaca, Los resultados mostraron que estas pruebas se aceptaban con un nivel de significación del 5%.

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN APACHETA.hyf software. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN APACHETA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a 'Statistics value' of $|U| = 1.517$ and a 'p-value' of $p = 0.1291$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.4: Prueba de independencia estación Apacheta

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN APACHETA.hyf software. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN APACHETA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a 'Statistics value' of $|K| = 1.713$ and a 'p-value' of $p = 0.08677$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.5: Prueba de estacionariedad estación Apacheta

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN APACHETA.hyf software. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN APACHETA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a 'Statistics value' of $|W| = 1.917$, a 'p-value' of $p = 0.05525$, a 'Start of first group' of 2005, and an 'End of first group' of 2011. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.6: Prueba de homogeneidad estación Apacheta

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Apacheta, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHIARA.hyf software. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHIARA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a statistics value of $|U| = 0.8256$ and a p-value of $p = 0.4090$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %'.

Figura 3.7: Prueba de independencia estación Chiara

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHIARA.hyf software. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHIARA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a statistics value of $|K| = 1.265$ and a p-value of $p = 0.2058$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %'.

Figura 3.8: Prueba de estacionariedad estación Chiara

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHIARA.hyf software. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHIARA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a statistics value of $|W| = 0.6674$, a p-value of $p = 0.5045$, a start of first group of 1993, and an end of first group of 2010. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %' and 'It cannot be concluded that the averages of the two samples are different'.

Figura 3.9: Prueba de homogeneidad estación Chiara

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Chiara, los resultados mostraron que estas pruebas se aceptaban con un nivel de significación del 5%.

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHOCCORO.hyf software. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHOCCORO'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a 'Statistics value' of $|U| = 0.6290$ and a 'p-value' of $p = 0.5293$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.10: Prueba de independencia estación Choccoro

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHOCCORO.hyf software. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHOCCORO'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a 'Statistics value' of $|K| = 0.3409$ and a 'p-value' of $p = 0.7332$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.11: Prueba de estacionariedad estación Choccoro

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHOCCORO.hyf software. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHOCCORO'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a 'Statistics value' of $|W| = 0.9967$, a 'p-value' of $p = 0.3189$, 'Start of first group' as 1999, and 'End of first group' as 2010. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.12: Prueba de homogeneidad estación Choccoro

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Choccoro, los resultados mostraron que estas pruebas se aceptaban con un nivel de significación del 5%.

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHONTACA.hyf software. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHONTACA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a statistics value of $|U| = 1.459$ and a p-value of $p = 0.1447$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %'.

Figura 3.13: Prueba de independencia estación Chontaca

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHONTACA.hyf software. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHONTACA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a statistics value of $|K| = 1.752$ and a p-value of $p = 0.07984$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %'.

Figura 3.14: Prueba de estacionariedad estación Chontaca

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab in the ESTACIÓN CHONTACA.hyf software. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CHONTACA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a statistics value of $|W| = 1.161$, a p-value of $p = 0.2458$, a start of first group of 1992, and an end of first group of 2000. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %' and 'It cannot be concluded that the averages of the two samples are different'.

Figura 3.15: Prueba de homogeneidad estación Chontaca

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.13, 3.14 y 3.15 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Chontaca, los resultados mostraron que estas pruebas se aceptaban con un nivel de significación del 5%.

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab of the 'ESTACIÓN CUCHOQUESERA.hyf' software. The 'Name of test' is set to 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CUCHOQUESERA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results section shows a 'Statistics value' of $|U| = 0.6008$ and a 'p-value' of $p = 0.5480$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.16: Prueba de independencia estación Cuchoquesera

The screenshot shows the 'Hypotheses tests' tab of the 'ESTACIÓN CUCHOQUESERA.hyf' software. The 'Name of test' is set to 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN CUCHOQUESERA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results section shows a 'Statistics value' of $|K| = 0.7053$ and a 'p-value' of $p = 0.4806$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.17: Prueba de estacionariedad estación Cuchoquesera

ESTACIÓN CUCHOQUESERA.hyf

Description | Data | Basic statistics | Hypotheses tests | Graphics

Name of test: Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon) [Subdivide sample]

Project Title: ESTACIÓN CUCHOQUESERA

Hypotheses

H0: The averages of the two samples are equal

H1: The averages of the two samples are different

Results

Statistics value	W = 1.852
p-value	p = 0.06398
Start of first group	1992
End of first group	2010

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.
It cannot be concluded that the averages of the two samples are different

Figura 3.18: Prueba de homogeneidad estación Cuchoquesera

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Cuchoquesera, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

ESTACIÓN HUANTA.hyf

Description | Data | Basic statistics | Hypotheses tests | Graphics

Name of test: Test for independence (Wald-Wolfowitz) [Subdivide sample]

Project Title: ESTACIÓN HUANTA

Hypotheses

H0: The observations are independent

H1: Observations are dependent (autocorrelation of order 1)

Results

Statistics value	U = 1.189
p-value	p = 0.2344

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.

Figura 3.19: Prueba de independencia estación Huanta

The screenshot shows the 'ESTACIÓN HUANTA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN HUANTA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a statistics value of $|K| = 1.389$ and a p-value of $p = 0.1648$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.20: Prueba de estacionariedad estación Huanta

The screenshot shows the 'ESTACIÓN HUANTA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN HUANTA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a statistics value of $|W| = 0.4579$, a p-value of $p = 0.6471$, a start of first group of 1995, and an end of first group of 2006. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different'.

Figura 3.21: Prueba de homogeneidad estación Huanta

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.19, 3.20 y 3.21 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Huanta, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

The screenshot shows the 'ESTACIÓN INIA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN INIA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a statistics value of $|U| = 1.290$ and a p-value of $p = 0.1970$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.22: Prueba de independencia estación INIA

The screenshot shows the 'ESTACIÓN INIA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN INIA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a statistics value of $|K| = 0.6164$ and a p-value of $p = 0.5376$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.23: Prueba de estacionariedad estación INIA

The screenshot shows the 'ESTACIÓN INIA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN INIA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a statistics value of $|W| = 0.000$, a p-value of $p = 1.0000$, a start of first group of 1994, and an end of first group of 2007. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.24: Prueba de homogeneidad estación INIA

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.22, 3.23 y 3.24 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación INIA, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

The screenshot shows the 'ESTACIÓN PUCALOMA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN PUCALOMA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a statistics value of $|U| = 0.5951$ and a p-value of $p = 0.5518$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.25: Prueba de independencia estación Pucaloma

ESTACIÓN PUCALOMA.hyf

Description | Data | Basic statistics | Hypotheses tests | Graphics |

Name of test: Stationarity test (Kendall) Subdivide sample

Project Title: ESTACIÓN PUCALOMA

Hypotheses

H0: No trend is apparent in the observations

H1: There is a trend in the observations

Results

Statistics value: $|K| = 0.8111$

p-value: $p = 0.4173$

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.

Figura 3.26: Prueba de estacionariedad en Pucaloma

ESTACIÓN PUCALOMA.hyf

Description | Data | Basic statistics | Hypotheses tests | Graphics |

Name of test: Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon) Subdivide sample

Project Title: ESTACIÓN PUCALOMA

Hypotheses

H0: The averages of the two samples are equal

H1: The averages of the two samples are different

Results

Statistics value: $|W| = 1.064$

p-value: $p = 0.2871$

Start of first group: 1995

End of first group: 2005

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.

It cannot be concluded that the averages of the two samples are different

Figura 3.27: Prueba homogeneidad estación Pucaloma

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.25, 3.26 y 3.27 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Pucaloma, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

ESTACIÓN QUINUA.hyf

Description | Data | Basic statistics | Hypotheses tests | Graphics |

Name of test: Test for independence (Wald-Wolfowitz) Subdivide sample

Project Title: ESTACIÓN QUINUA

Hypotheses

H0: The observations are independent

H1: Observations are dependent (autocorrelation of order 1)

Results

Statistics value: $|U| = 1.394$

p-value: $p = 0.1633$

Conclusion

We accept H0 at a significance level of 5 %.

Figura 3.28: Comprobación de independencia estación Quinua

The screenshot shows the 'ESTACIÓN QUINUA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN QUINUA'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a statistics value of $IKI = 0.2099$ and a p-value of $p = 0.8337$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.29: Verificación de estacionariedad estación Quinua

The screenshot shows the 'ESTACIÓN QUINUA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN QUINUA'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a statistics value of $|W| = 0.4491$, a p-value of $p = 0.6534$, a start of first group of 1995, and an end of first group of 2003. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.30: Prueba de homogeneidad estación Quinua

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.28, 3.29 y 3.30 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Quinua, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

The screenshot shows the 'ESTACIÓN TAMBILLO.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN TAMBILLO'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a statistics value of $|U| = 0.5347$ and a p-value of $p = 0.5928$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.31: Comprobación de independencia estación Tambillo

The screenshot shows the 'ESTACIÓN TAMBILLO.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Stationarity test (Kendall)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN TAMBILLO'. The hypotheses are: H0: 'No trend is apparent in the observations' and H1: 'There is a trend in the observations'. The results show a Statistics value of $|K| = 0.4905$ and a p-value of $p = 0.6238$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.32: Verificación de estacionariedad estación Tambillo

The screenshot shows the 'ESTACIÓN TAMBILLO.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Homogeneity test at annual scale (Wilcoxon)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN TAMBILLO'. The hypotheses are: H0: 'The averages of the two samples are equal' and H1: 'The averages of the two samples are different'. The results show a Statistics value of $|W| = 1.224$, a p-value of $p = 0.2210$, a Start of first group of 1992, and an End of first group of 2004. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %. It cannot be concluded that the averages of the two samples are different.'

Figura 3.33: Prueba de homogeneidad estación Tambillo

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.31, 3.32 y 3.33 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Tambillo, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

The screenshot shows the 'ESTACIÓN PUTACCA.hyf' window with the 'Hypotheses tests' tab selected. The 'Name of test' is 'Test for independence (Wald-Wolfowitz)'. The 'Project Title' is 'ESTACIÓN PUTACCA'. The hypotheses are: H0: 'The observations are independent' and H1: 'Observations are dependent (autocorrelation of order 1)'. The results show a Statistics value of $|U| = 1.818$ and a p-value of $p = 0.06908$. The conclusion states: 'We accept H0 at a significance level of 5 %.'

Figura 3.34: Comprobación de independencia estación Putacca

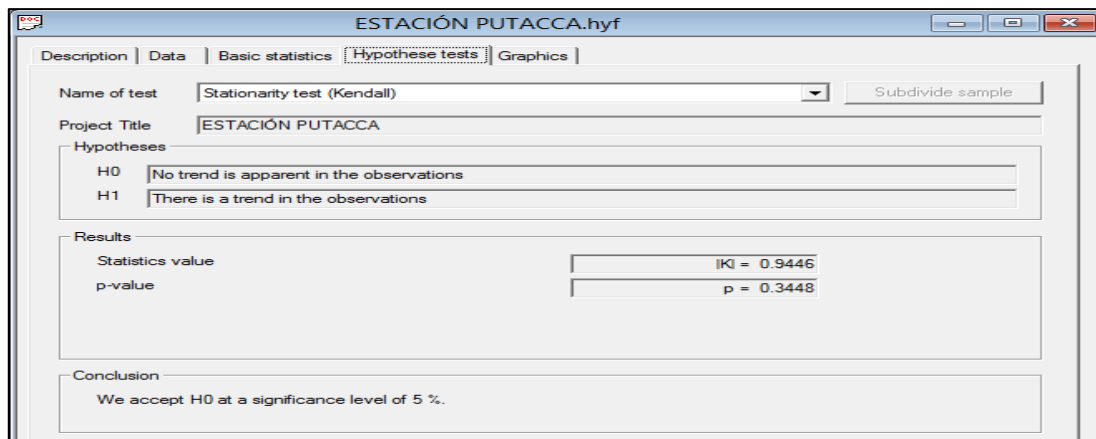


Figura 3.35: Comprobación de estacionariedad estación Putacca

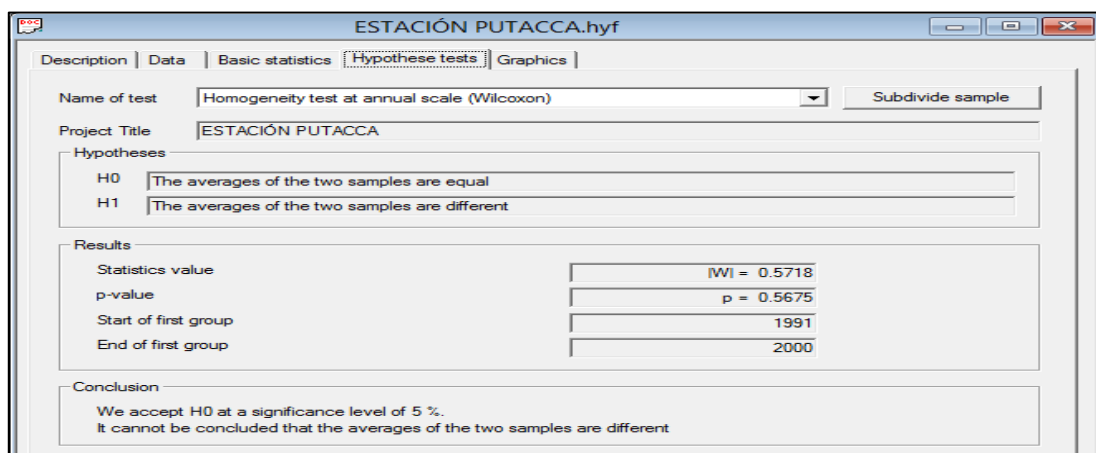


Figura 3.36: Prueba homogeneidad estación Putacca

Los resultados adquiridos en las Figuras 3.31, 3.32 y 3.33 muestran pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad de la estación Putacca, obteniendo como conclusión la aceptación de dichas pruebas a un nivel de significancia del 5%.

3.1.4. Selección de la función de distribución de probabilidad

Se eligieron las precipitaciones máximas de las 12 estaciones utilizadas para examinar las precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas. Tras la recepción de los datos, se ajustaron numerosas funciones de distribución de probabilidad, como Pearson tipo III, Gamma, Gumbel, Normal, Log Normal, Log Normal 3P y Gev.

Los valores de las precipitaciones máximas en 24h seleccionadas para las 12 estaciones empleadas, se ajustaron para las distribuciones teóricas antes mencionadas, utilizando el programa informático Hyfran mediante la prueba Chi - Cuadrado X^2 . Los análisis se presentan a continuación:

Tabla 3.15: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Allpachaca

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	5.52		2
Gumbel	7.76		3
Normal	15.60		Rechazado
Log Normal	10.56		Rechazado
Log Normal 3P	4.96	X	1
Gamma	16.16		Rechazado
Pearson tipo III	7.76		3

La función de distribución de probabilidad Log Normal 3P tiene el menor Error Estándar $X^2 = 4.96$ de la estación Allpachaca, la cual ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 3.15.

Tabla 3.16: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Apacheta

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	0.36	X	1
Gumbel	3.09		2
Normal	0.36	X	1
Log Normal	0.36	X	1
Log Normal 3P	0.36	X	1
Gamma	0.36	X	1
Pearson tipo III	44.00		Rechazado

Los datos obtenidos en la Tabla 3.16 demuestran que las funciones de distribución de probabilidad de la estación Apacheta, Gev, Normal, Log Normal, Log Normal 3P y Gamma, tienen un Error Estándar menor $X^2 = 0,36$.

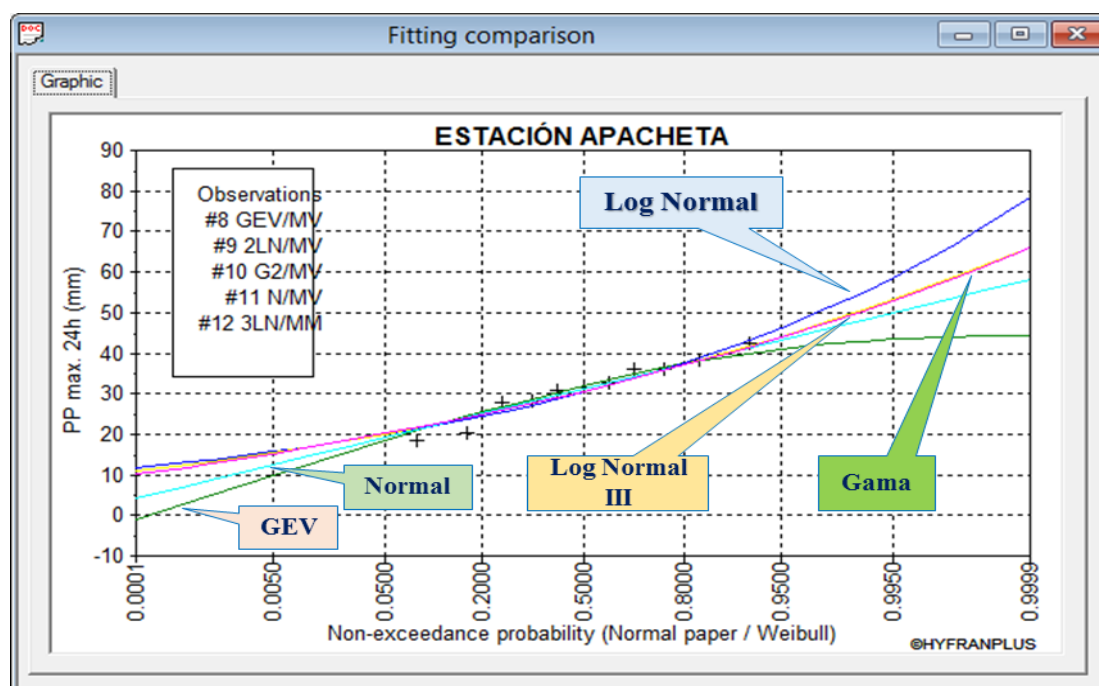


Figura 3.37: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Apacheta

El análisis gráfico que da lugar al resultado mostrado en la Figura 3.37 indica que la curva real se ajusta más a la distribución Log Normal de la estación Apacheta, que es la seleccionada para los cálculos relacionados.

Tabla 3.17: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Chiara

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	3.42	X	1
Gumbel	3.42	X	1
Normal	5.17		2
Log Normal	6.33		3
Log Normal 3P	3.42	X	1
Gamma	6.33		3
Pearson tipo III	3.42	X	1

Los datos obtenidos en la Tabla 3.17 indican que el error estándar $X^2 = 3,42$ de las funciones de distribución de probabilidad Gev, Gumbel, Log Normal 3P y Pearson tipo III es menor para la estación de Chiara.

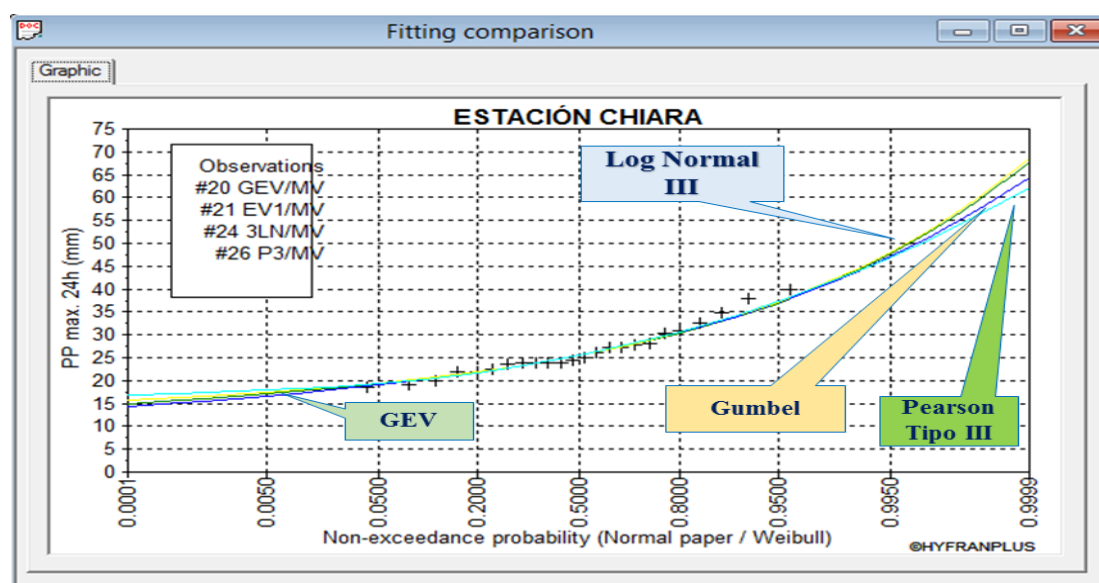


Figura 3.38: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Chiara

El análisis gráfico que da lugar al resultado mostrado en la Figura 3.38 indica que la distribución Log Normal III de la estación de Chiara, que se ha seleccionado para los cálculos correspondientes, es la distribución a la que más se asemeja la curva real.

Tabla 3.18: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Choccoro

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	6.67		4
Gumbel	2.00		2
Normal	7.33		5
Log Normal	2.00		2
Log Normal 3P	2.00		2
Gamma	5.33		3
Pearson tipo III	1.33	X	1

Los resultados obtenidos en la Tabla 3.18 demuestran que la estación de Choccoro, que ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, tiene un Error Estándar reducido $X^2 = 1,33$ para la función de distribución de probabilidad tipo III de Pearson.

Tabla 3.19: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Chontaca

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	5.52		4
Gumbel	3.28	X	1
Normal	3.84		2
Log Normal	5.52		4
Log Normal 3P	4.40		3
Gamma	5.52		4
Pearson tipo III	5.52		4

La función de distribución de probabilidad de Gumbel tiene el menor Error Estándar $X^2 = 3.28$ de la estación Chontaca, la cual ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 3.19.

Tabla 3.20: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Cuchoquesera

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	8.46		Rechazado
Gumbel	3.62	X	1
Normal	10.62		Rechazado
Log Normal	8.46		2
Log Normal 3P	3.62	X	1
Gamma	8.46		2
Pearson tipo III	3.62	X	1

Los resultados obtenidos en la Tabla 3.20 demuestran que el Error Estándar $X^2 = 3.62$ de la estación Cuchoquesera es menor para las funciones de distribución de probabilidad Gumbel, Log Normal 3P y Pearson tipo III.

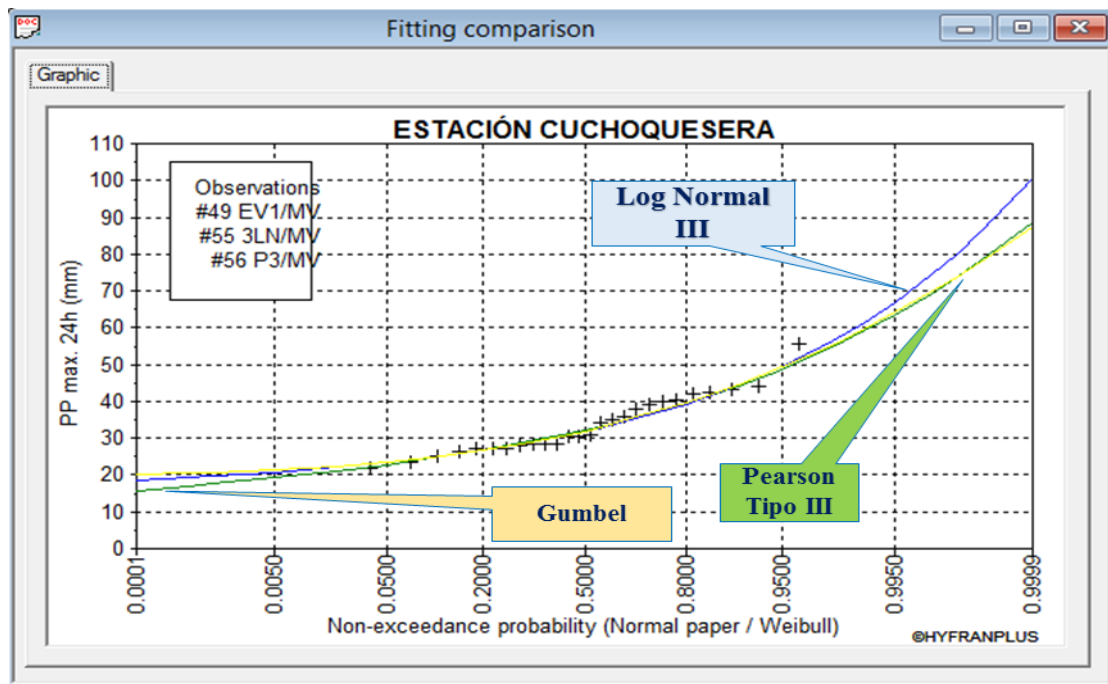


Figura 3.39: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Cuchoquesera

En la Figura 3.39 se muestra el análisis gráfico que da como resultado la curva real que se ajusta más a la distribución Log Normal III de la estación Cuchoquesera, la cual ha sido seleccionada para los cálculos asociados.

Tabla 3.21: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Huanta

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	0.43	X	1
Gumbel	3.86		2
Normal	12.43		Rechazado
Log Normal	7.29		4
Log Normal 3P	0.43	X	1
Gamma	7.29		4
Pearson tipo III	5.00		3

Los datos obtenidos en la Tabla 3.21 demuestran que el Error Estándar $X^2 = 0.43$ de la estación Huanta es menor para las funciones de distribución de probabilidad Gev y Log Normal 3P.

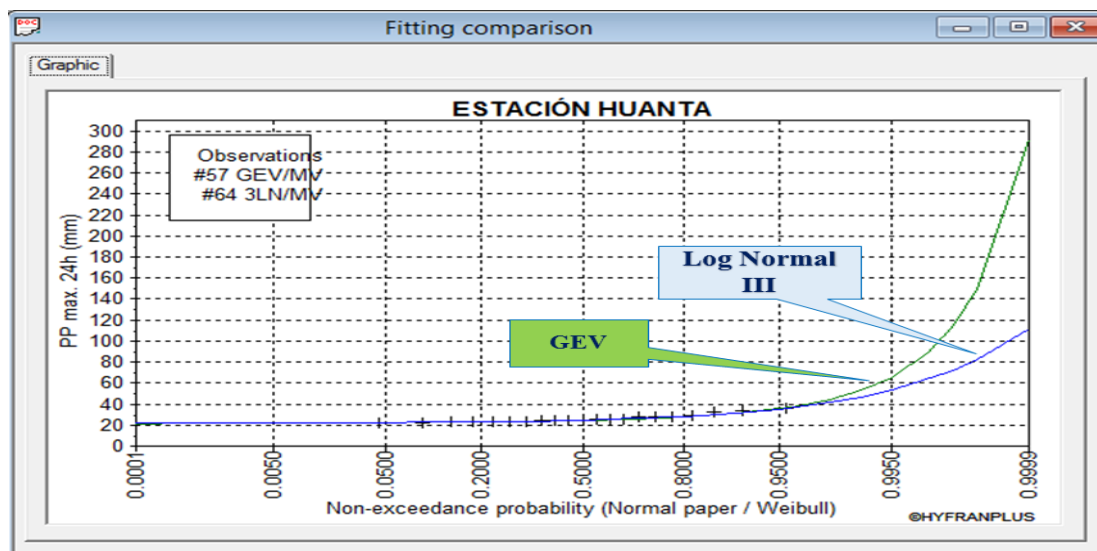


Figura 3.40: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Huanta

En la Figura 3.40 se muestra el análisis gráfico que da como resultado que la curva real se ajusta más a la distribución Log Normal III de la estación de Huanta, que se ha seleccionado para los cálculos asociados.

Tabla 3.22: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación INIA

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	1.60		2
Gumbel	1.00	X	1
Normal	5.20		4
Log Normal	5.20		4
Log Normal 3P	1.60		2
Gamma	5.20		4
Pearson tipo III	2.80		3

La función de distribución de probabilidad de Gumbel tiene un Error Estándar $X^2 = 1.00$ más bajo de la estación INIA, la cual ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, de acuerdo con los datos obtenidos en la Tabla 3.22.

Tabla 3.23: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Pucaloma

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	3.40		2
Gumbel	4.60		3
Normal	2.80	X	1
Log Normal	3.40		2
Log Normal 3P	3.40		2
Gamma	2.80	X	1
Pearson tipo III	3.40		2

Los datos obtenidos en la Tabla 3.23 demuestran que las funciones de distribución de probabilidad Normal y Rango de la estación de Pucaloma tienen un Error Estándar menor $X^2 = 2.80$.

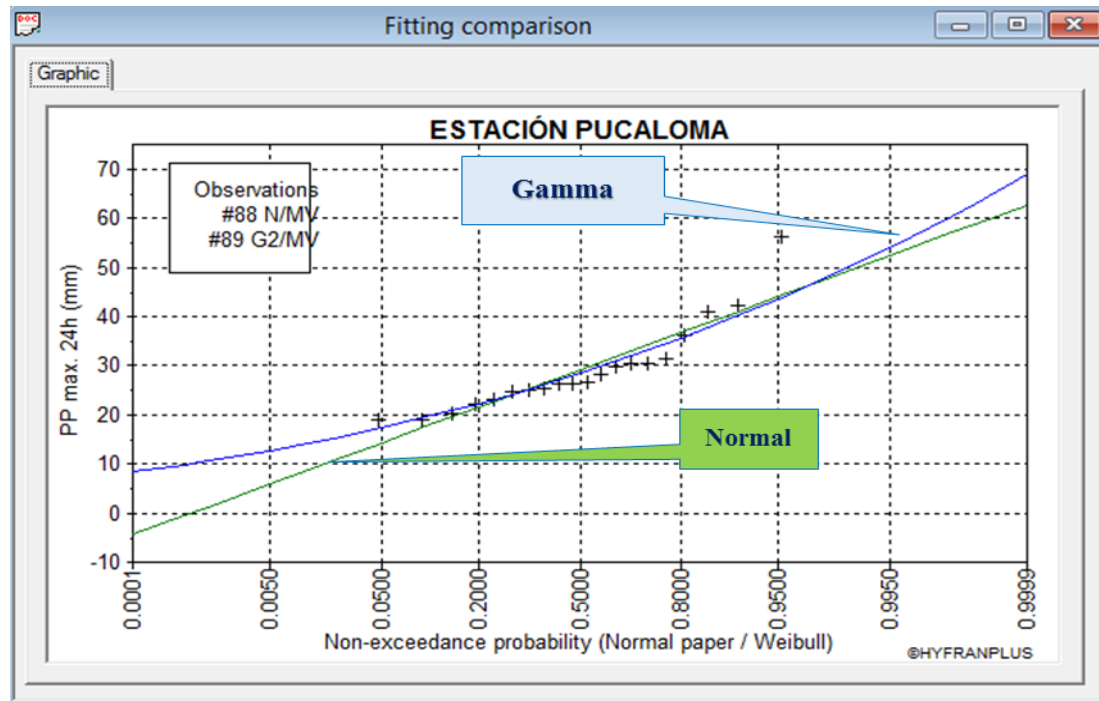


Figura 3.41: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Pucaloma

El análisis gráfico se muestra en la Figura 3.41, donde la curva real se ajusta más a la distribución Gamma de la estación de Pucaloma, que se ha seleccionado para los cálculos asociados.

Tabla 3.24: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Quinua

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	2.16		3
Gumbel	1.53		2
Normal	2.16		3
Log Normal	0.89	X	1
Log Normal 3P	2.16		3
Gamma	2.16		3
Pearson tipo III	2.16		3

La función de distribución de probabilidad Log Normal tiene el menor Error Estándar $X^2 = 0.89$ de la estación Quinua, la cual ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 3.24.

Tabla 3.25: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Tambillo

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	9.44		Rechazado
Gumbel	4.96	X	1
Normal	12.80		Rechazado
Log Normal	6.08		2
Log Normal 3P	7.76		3
Gamma	9.44		4
Pearson tipo III	6.08		2

La función de distribución de probabilidad de Gumbel tiene el menor Error Estándar $X^2 = 4.96$ de la estación Tambillo, la cual ha sido seleccionada para los cálculos relacionados, de acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 3.25.

Tabla 3.26: Elección de la función de distribución de probabilidad - estación Putacca

Función	Error Estándar X^2	D mín	Calificación
Gev	2.79	X	1
Gumbel	2.79	X	1
Normal	5.32		2
Log Normal	2.79	X	1
Log Normal 3P	2.79	X	1
Gamma	2.79	X	1
Pearson tipo III	2.79	X	1

Las funciones de distribución de probabilidad Gev, Gumbel, Log Normal, Log Normal 3P, Gamma y Pearson tipo III han reducido el Error Estándar $X^2 = 2.79$ (las funciones especificadas) de la estación Putacca, de acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 3.26.

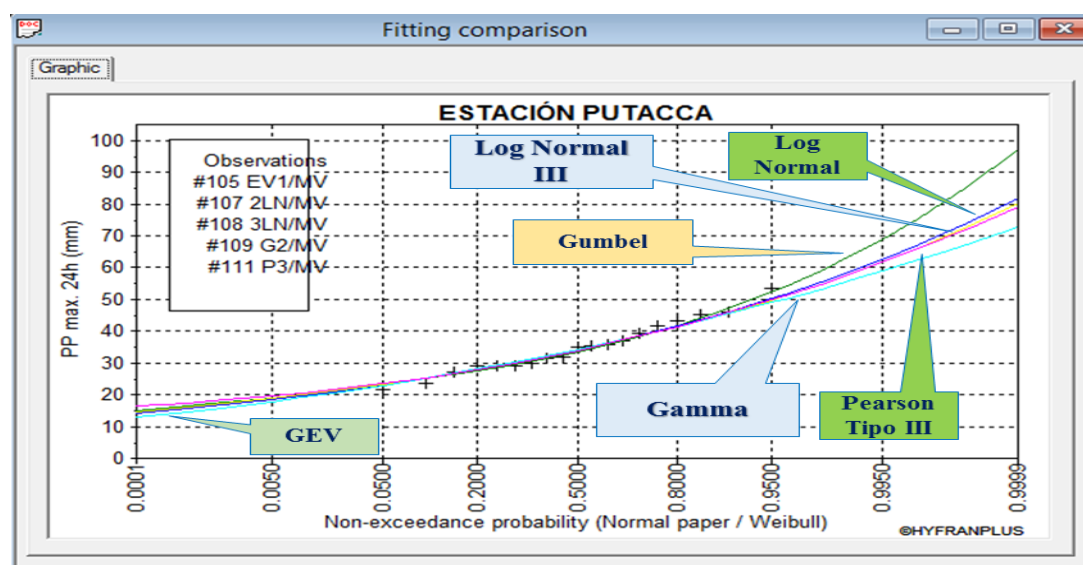


Figura 3.42: Análisis gráfico de la función de distribución mejor ajustada de la estación Putacca

La distribución de Gumbel de la estación de Putacca, que se ha utilizado para los cálculos relacionados, se ajusta más a la curva real en el análisis gráfico de la figura 3.42.

3.1.5. Precipitaciones máximas probables para distintas frecuencias

Para hallar la precipitación máxima probable para cada una de las 12 estaciones utilizadas, se eligió la función de distribución mejor ajustada mediante la prueba Chi-cuadrado X². Para determinar estos resultados se utilizó el programa informático Hyfran. A continuación, se utilizaron hojas de cálculo para multiplicar los resultados por 1,13 y hallar la precipitación máxima corregida probable para cada uno de los periodos de retorno. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.27: Precipitación máxima probable para distintos periodos de retorno ajustada a diferentes funciones de distribución para cada estación parte 1

T	Estación Allpachaca Log Normal 3P	Estación Apacheta Log Normal	Estación Chiara Log Normal 3P	Estación Choccoro Pearson tipo III	Estación Chontaca Gumbel	Estación Cuchoquesera Log Normal 3P
500	76.28	63.33	52.60	64.37	59.18	74.17
200	68.57	58.61	48.08	60.48	54.32	66.83
100	62.94	54.98	44.74	57.42	50.64	61.47
50	57.46	51.27	41.45	54.25	46.95	56.25
25	52.09	47.44	38.20	50.90	43.23	51.14
20	50.38	46.17	37.15	49.78	42.02	49.51
10	45.08	42.07	33.87	46.12	38.21	44.46

La tabla 3.28 muestra la precipitación máxima esperada para varios intervalos de retorno para cada estación, parte 2, ajustada a varias funciones de distribución.

T	Estación Huanta Log Normal 3P	Estación INIA Gumbel	Estación Pucalloma Gamma	Estación Quinua Log Normal	Estación Tambillo Gumbel	Estación Putacca Gumbel
500	63.46	59.33	57.70	42.96	80.88	75.51
200	53.41	54.26	53.99	41.01	73.34	68.93
100	46.97	50.42	51.04	39.46	67.63	63.95
50	41.42	46.56	47.94	37.84	61.89	58.94
25	36.67	42.68	44.64	36.11	56.11	53.90
20	35.30	41.42	43.53	35.53	54.23	52.27
10	31.47	37.44	39.83	33.59	48.32	47.11

Para cada una de las estaciones investigadas, los resultados obtenidos en las tablas 3.27 y 3.28 muestran las precipitaciones máximas para varios periodos de retorno ajustados a varias funciones de distribución.

Tabla 3.29: Precipitaciones máximas probables de la parte 1 de cada estación ajustadas a diversas funciones de distribución para diferentes duraciones de retorno.

T	Estación Allpachaca Log Normal 3P	Estación Apacheta Log Normal	Estación Chiara Log Normal 3P	Estación Choccoro Pearson tipo III	Estación Chontaca Gumbel	Estación Cuchoquesera Log Normal 3P
500	86.20	71.56	59.44	72.74	66.87	83.81
200	77.48	66.23	54.33	68.34	61.38	75.52
100	71.12	62.13	50.56	64.88	57.22	69.46
50	64.93	57.94	46.84	61.30	53.05	63.56
25	58.86	53.61	43.17	57.52	48.85	57.79
20	56.93	52.17	41.98	56.25	47.48	55.95
10	50.94	47.54	38.27	52.12	43.18	50.24

Tabla 3.30: Precipitaciones máximas probables de la parte 2 de cada estación, corregidas para distintas duraciones de retorno y distribuidas según distintas funciones de distribución.

T	Estación Huanta Log Normal 3P	Estación INIA Gumbel	Estación Pucaloma Gamma	Estación Quinua Log Normal	Estación Tambillo Gumbel	Estación Putacca Gumbel
500	71.71	67.04	65.20	48.54	91.39	85.33
200	60.35	61.31	61.01	46.34	82.87	77.89
100	53.08	56.97	57.68	44.59	76.42	72.26
50	46.80	52.61	54.17	42.76	69.94	66.60
25	41.44	48.23	50.44	40.80	63.40	60.91
20	39.89	46.80	49.19	40.15	61.28	59.07
10	35.56	42.31	45.01	37.96	54.60	53.23

Los resultados obtenidos en las Tablas 3.29 y 3.30 muestran precipitaciones máximas corregidas para diferentes periodos de retorno ajustadas a distintas funciones de distribución para cada una de las estaciones en estudio.

3.1.6. Discusión de la información de las precipitaciones máximas en 24h

La prueba de datos dudosos de las precipitaciones máximas en 24 horas se efectuó en cada uno de las 12 estaciones ubicadas en la cuenca de estudio, en el cual se identificaron datos dudosos como se aprecia en las Tablas 3.6, 3.9 y 3.11 en las estaciones Choccoro, Huanta y Pucaloma respectivamente; las cuales fueron descartados de la serie de datos de precipitaciones, tal como tomó en cuenta en su investigación Lobo (2017).

Como se observa en las Figuras 3.1 a 3.36, las muestras de cada estación investigada han superado los criterios de independencia, estacionariedad y homogeneidad, arrojando datos independientes sin tendencia perceptible y resultados homogéneos con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significación del 5%. Su aplicación se realizó utilizando el mismo software Hyfran que la investigación de Quispe (2019).

3.2. Resultados de las ecuaciones y las curvas IDF

3.2.1. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno

Se utilizaron hojas de cálculo para calcular la precipitación máxima de cada uno de los 12 lugares, multiplicada por un coeficiente de duración. Esto permitió determinar la precipitación máxima para diversos tiempos de duración y periodos de retorno. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.31: Precipitaciones máximas en diferentes momentos e intervalos de recurrencia

Estación Allpachaca

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	50.9404	58.8617	64.9298	71.1222	77.4841	86.1964
22 h	X22 = 97%	49.4122	57.0958	62.9819	68.9885	75.1596	83.6105
20 h	X20 = 93%	47.3746	54.7414	60.3847	66.1436	72.0602	80.1627
18 h	X18 = 90%	45.8464	52.9755	58.4368	64.0100	69.7357	77.5768
16 h	X16 = 87%	44.3181	51.2097	56.4889	61.8763	67.4112	74.9909
14 h	X14 = 83%	42.2805	48.8552	53.8917	59.0314	64.3118	71.5430
12 h	X12 = 79%	40.2429	46.5007	51.2945	56.1865	61.2124	68.0952
10 h	X10 = 73%	37.1865	42.9690	47.3988	51.9192	56.5634	62.9234
8 h	X8 = 64%	32.6019	37.6715	41.5551	45.5182	49.5898	55.1657
6 h	X6 = 56%	28.5266	32.9626	36.3607	39.8284	43.3911	48.2700
5 h	X5 = 50%	25.4702	29.4309	32.4649	35.5611	38.7421	43.0982
4 h	X4 = 44%	22.4138	25.8991	28.5691	31.2938	34.0930	37.9264
3 h	X3 = 38%	19.3574	22.3674	24.6733	27.0264	29.4440	32.7546
2 h	X2 = 31%	15.7915	18.2471	20.1282	22.0479	24.0201	26.7209
1 h	X1 = 25%	12.7351	14.7154	16.2325	17.7806	19.3710	21.5491

En la Tabla 3.31 se muestran las mayores precipitaciones para distintos tiempos de duración y periodos de retorno, como consecuencia de multiplicar el resultado por el coeficiente de duración de la estación de Allpachaca.

Tabla 3.32: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno

estación Apacheta

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	47.5391	53.6072	57.9351	62.1274	66.2293	71.5629
22 h	X22 = 97%	46.1129	51.9990	56.1970	60.2636	64.2424	69.4160
20 h	X20 = 93%	44.2114	49.8547	53.8796	57.7785	61.5932	66.5535
18 h	X18 = 90%	42.7852	48.2465	52.1416	55.9147	59.6064	64.4066
16 h	X16 = 87%	41.3590	46.6383	50.4035	54.0508	57.6195	62.2597
14 h	X14 = 83%	39.4575	44.4940	48.0861	51.5657	54.9703	59.3972
12 h	X12 = 79%	37.5559	42.3497	45.7687	49.0806	52.3211	56.5347

10 h	X10 = 73%	34.7035	39.1333	42.2926	45.3530	48.3474	52.2409
8 h	X8 = 64%	30.4250	34.3086	37.0785	39.7615	42.3868	45.8003
6 h	X6 = 56%	26.6219	30.0200	32.4437	34.7913	37.0884	40.0752
5 h	X5 = 50%	23.7696	26.8036	28.9676	31.0637	33.1147	35.7815
4 h	X4 = 44%	20.9172	23.5872	25.4914	27.3361	29.1409	31.4877
3 h	X3 = 38%	18.0649	20.3707	22.0153	23.6084	25.1671	27.1939
2 h	X2 = 31%	14.7371	16.6182	17.9599	19.2595	20.5311	22.1845
1 h	X1 = 25%	11.8848	13.4018	14.4838	15.5319	16.5573	17.8907

El resultado, que se representa en la Tabla 3.32, es la precipitación máxima multiplicada por el coeficiente de duración de la estación Apacheta para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.

Tabla 3.33: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chiara

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	38.2731	43.1660	46.8385	50.5562	54.3304	59.4380
22 h	X22 = 97%	37.1249	41.8710	45.4333	49.0395	52.7005	57.6549
20 h	X20 = 93%	35.5940	40.1444	43.5598	47.0173	50.5273	55.2773
18 h	X18 = 90%	34.4458	38.8494	42.1547	45.5006	48.8974	53.4942
16 h	X16 = 87%	33.2976	37.5544	40.7495	43.9839	47.2674	51.7111
14 h	X14 = 83%	31.7667	35.8278	38.8760	41.9616	45.0942	49.3335
12 h	X12 = 79%	30.2357	34.1011	37.0024	39.9394	42.9210	46.9560
10 h	X10 = 73%	27.9394	31.5112	34.1921	36.9060	39.6612	43.3897
8 h	X8 = 64%	24.4948	27.6262	29.9766	32.3560	34.7715	38.0403
6 h	X6 = 56%	21.4329	24.1730	26.2296	28.3115	30.4250	33.2853
5 h	X5 = 50%	19.1366	21.5830	23.4193	25.2781	27.1652	29.7190
4 h	X4 = 44%	16.8402	18.9930	20.6089	22.2447	23.9054	26.1527
3 h	X3 = 38%	14.5438	16.4031	17.7986	19.2114	20.6456	22.5864
2 h	X2 = 31%	11.8647	13.3815	14.5199	15.6724	16.8424	18.4258
1 h	X1 = 25%	9.5683	10.7915	11.7096	12.6391	13.5826	14.8595

El resultado, que se representa en el cuadro 3.33, es la precipitación máxima multiplicada por el coeficiente de duración de la estación de Chiara para distintos tiempos de duración e intervalos de retorno.

Tabla 3.34: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Choccoro

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	52.1156	57.5170	61.3025	64.8846	68.3424	72.7381
22 h	X22 = 97%	50.5521	55.7915	59.4634	62.9381	66.2921	70.5560
20 h	X20 = 93%	48.4675	53.4908	57.0113	60.3427	63.5584	67.6464
18 h	X18 = 90%	46.9040	51.7653	55.1723	58.3961	61.5082	65.4643
16 h	X16 = 87%	45.3406	50.0398	53.3332	56.4496	59.4579	63.2821
14 h	X14 = 83%	43.2559	47.7391	50.8811	53.8542	56.7242	60.3726
12 h	X12 = 79%	41.1713	45.4384	48.4290	51.2588	53.9905	57.4631
10 h	X10 = 73%	38.0444	41.9874	44.7508	47.3658	49.8900	53.0988

8 h	X8 = 64%	33.3540	36.8109	39.2336	41.5261	43.7391	46.5524
6 h	X6 = 56%	29.1847	32.2095	34.3294	36.3354	38.2717	40.7333
5 h	X5 = 50%	26.0578	28.7585	30.6513	32.4423	34.1712	36.3691
4 h	X4 = 44%	22.9309	25.3075	26.9731	28.5492	30.0707	32.0048
3 h	X3 = 38%	19.8039	21.8565	23.2950	24.6561	25.9701	27.6405
2 h	X2 = 31%	16.1558	17.8303	19.0038	20.1142	21.1861	22.5488
1 h	X1 = 25%	13.0289	14.3793	15.3256	16.2212	17.0856	18.1845

Como resultado de multiplicar el resultado por el coeficiente de duración de la estación de Choccoro, en la Tabla 3.34 se muestran las precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.

Tabla 3.35: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chontaca

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	43.1773	48.8499	53.0535	57.2232	61.3816	66.8734
22 h	X22 = 97%	41.8820	47.3844	51.4619	55.5065	59.5402	64.8672
20 h	X20 = 93%	40.1549	45.4304	49.3398	53.2176	57.0849	62.1923
18 h	X18 = 90%	38.8596	43.9649	47.7482	51.5009	55.2434	60.1861
16 h	X16 = 87%	37.5643	42.4994	46.1565	49.7842	53.4020	58.1799
14 h	X14 = 83%	35.8372	40.5454	44.0344	47.4953	50.9467	55.5049
12 h	X12 = 79%	34.1101	38.5914	41.9123	45.2063	48.4915	52.8300
10 h	X10 = 73%	31.5194	35.6604	38.7291	41.7729	44.8086	48.8176
8 h	X8 = 64%	27.6335	31.2639	33.9542	36.6228	39.2842	42.7990
6 h	X6 = 56%	24.1793	27.3559	29.7100	32.0450	34.3737	37.4491
5 h	X5 = 50%	21.5887	24.4250	26.5268	28.6116	30.6908	33.4367
4 h	X4 = 44%	18.9980	21.4940	23.3435	25.1782	27.0079	29.4243
3 h	X3 = 38%	16.4074	18.5630	20.1603	21.7448	23.3250	25.4119
2 h	X2 = 31%	13.3850	15.1435	16.4466	17.7392	19.0283	20.7308
1 h	X1 = 25%	10.7943	12.2125	13.2634	14.3058	15.3454	16.7184

El resultado, representado en la Tabla 3.35, es la precipitación máxima multiplicada por el coeficiente de duración de la estación de Chontaca para varios tiempos de duración y periodos de retorno.

Tabla 3.36: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Cuchoquesera

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	50.2398	57.7882	63.5625	69.4611	75.5179	83.8121
22 h	X22 = 97%	48.7326	56.0546	61.6556	67.3773	73.2524	81.2977
20 h	X20 = 93%	46.7230	53.7430	59.1131	64.5988	70.2316	77.9453
18 h	X18 = 90%	45.2158	52.0094	57.2063	62.5150	67.9661	75.4309
16 h	X16 = 87%	43.7086	50.2757	55.2994	60.4312	65.7006	72.9165
14 h	X14 = 83%	41.6990	47.9642	52.7569	57.6527	62.6799	69.5640
12 h	X12 = 79%	39.6894	45.6527	50.2144	54.8743	59.6591	66.2116
10 h	X10 = 73%	36.6751	42.1854	46.4006	50.7066	55.1281	61.1828

8 h	X8 = 64%	32.1535	36.9844	40.6800	44.4551	48.3315	53.6397
6 h	X6 = 56%	28.1343	32.3614	35.5950	38.8982	42.2900	46.9348
5 h	X5 = 50%	25.1199	28.8941	31.7813	34.7306	37.7590	41.9061
4 h	X4 = 44%	22.1055	25.4268	27.9675	30.5629	33.2279	36.8773
3 h	X3 = 38%	19.0911	21.9595	24.1538	26.3952	28.6968	31.8486
2 h	X2 = 31%	15.5743	17.9143	19.7044	21.5329	23.4105	25.9818
1 h	X1 = 25%	12.5600	14.4471	15.8906	17.3653	18.8795	20.9530

La precipitación máxima de la estación de Cuchoquesera para varios tiempos de duración y periodos de retorno se muestra en la Tabla 3.36 después de ser multiplicada por un coeficiente de duración.

Tabla 3.37: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Huanta

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	35.5611	41.4371	46.8046	53.0761	60.3533	71.7098
22 h	X22 = 97%	34.4943	40.1940	45.4005	51.4838	58.5427	69.5585
20 h	X20 = 93%	33.0718	38.5365	43.5283	49.3608	56.1286	66.6901
18 h	X18 = 90%	32.0050	37.2934	42.1241	47.7685	54.3180	64.5388
16 h	X16 = 87%	30.9382	36.0503	40.7200	46.1762	52.5074	62.3875
14 h	X14 = 83%	29.5157	34.3928	38.8478	44.0532	50.0932	59.5191
12 h	X12 = 79%	28.0933	32.7353	36.9756	41.9301	47.6791	56.6507
10 h	X10 = 73%	25.9596	30.2491	34.1674	38.7456	44.0579	52.3482
8 h	X8 = 64%	22.7591	26.5197	29.9549	33.9687	38.6261	45.8943
6 h	X6 = 56%	19.9142	23.2048	26.2106	29.7226	33.7978	40.1575
5 h	X5 = 50%	17.7806	20.7186	23.4023	26.5381	30.1767	35.8549
4 h	X4 = 44%	15.6469	18.2323	20.5940	23.3535	26.5555	31.5523
3 h	X3 = 38%	13.5132	15.7461	17.7857	20.1689	22.9343	27.2497
2 h	X2 = 31%	11.0239	12.8455	14.5094	16.4536	18.7095	22.2300
1 h	X1 = 25%	8.8903	10.3593	11.7012	13.2690	15.0883	17.9275

Las precipitaciones máximas de la estación de Huanta para distintos tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.37 tras ser multiplicadas por un coeficiente de duración.

Tabla 3.38: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación INIA

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	42.3072	48.2284	52.6128	56.9746	61.3138	67.0429
22 h	X22 = 97%	41.0380	46.7815	51.0344	55.2654	59.4744	65.0316
20 h	X20 = 93%	39.3457	44.8524	48.9299	52.9864	57.0218	62.3499
18 h	X18 = 90%	38.0765	43.4056	47.3515	51.2771	55.1824	60.3386
16 h	X16 = 87%	36.8073	41.9587	45.7731	49.5679	53.3430	58.3273
14 h	X14 = 83%	35.1150	40.0296	43.6686	47.2889	50.8905	55.6456
12 h	X12 = 79%	33.4227	38.1004	41.5641	45.0099	48.4379	52.9639
10 h	X10 = 73%	30.8843	35.2067	38.4073	41.5915	44.7591	48.9413

8 h	X8 = 64%	27.0766	30.8662	33.6722	36.4637	39.2408	42.9075
6 h	X6 = 56%	23.6920	27.0079	29.4632	31.9058	34.3357	37.5440
5 h	X5 = 50%	21.1536	24.1142	26.3064	28.4873	30.6569	33.5215
4 h	X4 = 44%	18.6152	21.2205	23.1496	25.0688	26.9781	29.4989
3 h	X3 = 38%	16.0767	18.3268	19.9929	21.6503	23.2992	25.4763
2 h	X2 = 31%	13.1152	14.9508	16.3100	17.6621	19.0073	20.7833
1 h	X1 = 25%	10.5768	12.0571	13.1532	14.2437	15.3285	16.7607

El resultado, que se representa en el cuadro 3.38, es la precipitación máxima multiplicada por el coeficiente de duración de la estación INIA para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.

Tabla 3.39: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Pucaloma

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	45.0079	50.4432	54.1722	57.6752	61.0087	65.2010
22 h	X22 = 97%	43.6577	48.9299	52.5470	55.9449	59.1784	63.2450
20 h	X20 = 93%	41.8573	46.9122	50.3801	53.6379	56.7381	60.6369
18 h	X18 = 90%	40.5071	45.3989	48.7550	51.9077	54.9078	58.6809
16 h	X16 = 87%	39.1569	43.8856	47.1298	50.1774	53.0776	56.7249
14 h	X14 = 83%	37.3566	41.8679	44.9629	47.8704	50.6372	54.1168
12 h	X12 = 79%	35.5562	39.8501	42.7960	45.5634	48.1969	51.5088
10 h	X10 = 73%	32.8558	36.8235	39.5457	42.1029	44.5364	47.5967
8 h	X8 = 64%	28.8051	32.2836	34.6702	36.9121	39.0456	41.7286
6 h	X6 = 56%	25.2044	28.2482	30.3364	32.2981	34.1649	36.5126
5 h	X5 = 50%	22.5040	25.2216	27.0861	28.8376	30.5044	32.6005
4 h	X4 = 44%	19.8035	22.1950	23.8358	25.3771	26.8438	28.6884
3 h	X3 = 38%	17.1030	19.1684	20.5854	21.9166	23.1833	24.7764
2 h	X2 = 31%	13.9524	15.6374	16.7934	17.8793	18.9127	20.2123
1 h	X1 = 25%	11.2520	12.6108	13.5431	14.4188	15.2522	16.3003

Las mayores precipitaciones de la estación de Pucaloma para varios tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.39 después de ser multiplicadas por un coeficiente de duración.

Tabla 3.40: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Quinua

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	37.9567	40.8043	42.7592	44.5898	46.3413	48.5448
22 h	X22 = 97%	36.8180	39.5802	41.4764	43.2521	44.9511	47.0885
20 h	X20 = 93%	35.2997	37.9480	39.7661	41.4685	43.0974	45.1467
18 h	X18 = 90%	34.1610	36.7239	38.4833	40.1308	41.7072	43.6903
16 h	X16 = 87%	33.0223	35.4997	37.2005	38.7931	40.3169	42.2340
14 h	X14 = 83%	31.5041	33.8676	35.4901	37.0095	38.4633	40.2922
12 h	X12 = 79%	29.9858	32.2354	33.7798	35.2259	36.6096	38.3504
10 h	X10 = 73%	27.7084	29.7871	31.2142	32.5506	33.8291	35.4377

8 h	X8 = 64%	24.2923	26.1148	27.3659	28.5375	29.6584	31.0687
6 h	X6 = 56%	21.2558	22.8504	23.9452	24.9703	25.9511	27.1851
5 h	X5 = 50%	18.9784	20.4022	21.3796	22.2949	23.1707	24.2724
4 h	X4 = 44%	16.7009	17.9539	18.8140	19.6195	20.3902	21.3597
3 h	X3 = 38%	14.4235	15.5056	16.2485	16.9441	17.6097	18.4470
2 h	X2 = 31%	11.7666	12.6493	13.2554	13.8228	14.3658	15.0489
1 h	X1 = 25%	9.4892	10.2011	10.6898	11.1475	11.5853	12.1362

En la tabla 3.40 se muestran las precipitaciones máximas de la estación de Quinua para distintos tiempos de duración y periodos de retorno, una vez multiplicadas por un coeficiente de duración.

Tabla 3.41: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Tambillo

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	54.6016	63.4043	69.9357	76.4219	82.8742	91.3944
22 h	X22 = 97%	52.9636	61.5022	67.8376	74.1292	80.3880	88.6526
20 h	X20 = 93%	50.7795	58.9660	65.0402	71.0724	77.0730	84.9968
18 h	X18 = 90%	49.1414	57.0639	62.9421	68.7797	74.5868	82.2550
16 h	X16 = 87%	47.5034	55.1617	60.8441	66.4871	72.1006	79.5131
14 h	X14 = 83%	45.3193	52.6256	58.0466	63.4302	68.7856	75.8574
12 h	X12 = 79%	43.1353	50.0894	55.2492	60.3733	65.4706	72.2016
10 h	X10 = 73%	39.8592	46.2851	51.0531	55.7880	60.4982	66.7179
8 h	X8 = 64%	34.9450	40.5788	44.7588	48.9100	53.0395	58.4924
6 h	X6 = 56%	30.5769	35.5064	39.1640	42.7963	46.4096	51.1809
5 h	X5 = 50%	27.3008	31.7022	34.9679	38.2110	41.4371	45.6972
4 h	X4 = 44%	24.0247	27.8979	30.7717	33.6256	36.4646	40.2135
3 h	X3 = 38%	20.7486	24.0936	26.5756	29.0403	31.4922	34.7299
2 h	X2 = 31%	16.9265	19.6553	21.6801	23.6908	25.6910	28.3323
1 h	X1 = 25%	13.6504	15.8511	17.4839	19.1055	20.7186	22.8486

El resultado obtenido en la Tabla 3.41 muestra precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno multiplicados por un coeficiente de duración de la estación Tambillo.

Tabla 3.42: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Putacca

Tiempo de duración	Cociente	P.M. (mm) para diferentes tiempos de duración vs periodo de retorno					
		10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	X24	53.2343	60.9070	66.6022	72.2635	77.8909	85.3263
22 h	X22 = 97%	51.6373	59.0798	64.6041	70.0956	75.5542	82.7665
20 h	X20 = 93%	49.5079	56.6435	61.9400	67.2051	72.4385	79.3535
18 h	X18 = 90%	47.9109	54.8163	59.9420	65.0372	70.1018	76.7937
16 h	X16 = 87%	46.3138	52.9891	57.9439	62.8692	67.7651	74.2339
14 h	X14 = 83%	44.1845	50.5528	55.2798	59.9787	64.6494	70.8208
12 h	X12 = 79%	42.0551	48.1165	52.6157	57.0882	61.5338	67.4078
10 h	X10 = 73%	38.8610	44.4621	48.6196	52.7524	56.8604	62.2882

8 h	X8 = 64%	34.0700	38.9805	42.6254	46.2486	49.8502	54.6088
6 h	X6 = 56%	29.8112	34.1079	37.2972	40.4676	43.6189	47.7827
5 h	X5 = 50%	26.6172	30.4535	33.3011	36.1318	38.9455	42.6632
4 h	X4 = 44%	23.4231	26.7991	29.3050	31.7959	34.2720	37.5436
3 h	X3 = 38%	20.2290	23.1447	25.3088	27.4601	29.5985	32.4240
2 h	X2 = 31%	16.5026	18.8812	20.6467	22.4017	24.1462	26.4512
1 h	X1 = 25%	13.3086	15.2268	16.6506	18.0659	19.4727	21.3316

El resultado obtenido en la Tabla 3.42 muestra precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno multiplicados por un coeficiente de duración de la estación Putacca.

3.2.2. Intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno

Se utilizaron hojas de cálculo para dividir las precipitaciones máximas y los distintos tiempos de duración ($I=P.t-1$) en función del periodo de retorno para cada una de las 12 estaciones utilizadas con el fin de adquirir las mayores intensidades de precipitación para cada periodo. Los resultados se muestran a continuación:

Las intensidades máximas de lluvia en la estación de Allpachaca para diferentes duraciones y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.43.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	2.1225	2.4526	2.7054	2.9634	3.2285	3.5915
22 h	1320	2.2460	2.5953	2.8628	3.1358	3.4163	3.8005
20 h	1200	2.3687	2.7371	3.0192	3.3072	3.6030	4.0081
18 h	1080	2.5470	2.9431	3.2465	3.5561	3.8742	4.3098
16 h	960	2.7699	3.2006	3.5306	3.8673	4.2132	4.6869
14 h	840	3.0200	3.4897	3.8494	4.2165	4.5937	5.1102
12 h	720	3.3536	3.8751	4.2745	4.6822	5.1010	5.6746
10 h	600	3.7186	4.2969	4.7399	5.1919	5.6563	6.2923
8 h	480	4.0752	4.7089	5.1944	5.6898	6.1987	6.8957
6 h	360	4.7544	5.4938	6.0601	6.6381	7.2318	8.0450
5 h	300	5.0940	5.8862	6.4930	7.1122	7.7484	8.6196
4 h	240	5.6034	6.4748	7.1423	7.8234	8.5233	9.4816
3 h	180	6.4525	7.4558	8.2244	9.0088	9.8147	10.9182
2 h	120	7.8958	9.1236	10.0641	11.0239	12.0100	13.3604
1 h	60	12.7351	14.7154	16.2325	17.7806	19.3710	21.5491

Las mayores intensidades de lluvia de la estación de Allpachaca para varias duraciones y períodos de retorno se muestran en la Tabla 3.43.

Tabla 3.44: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Apacheta

Tiempo de duración	Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno
--------------------	---

horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.9808	2.2336	2.4140	2.5886	2.7596	2.9818
22 h	1320	2.0960	2.3636	2.5544	2.7393	2.9201	3.1553
20 h	1200	2.2106	2.4927	2.6940	2.8889	3.0797	3.3277
18 h	1080	2.3770	2.6804	2.8968	3.1064	3.3115	3.5781
16 h	960	2.5849	2.9149	3.1502	3.3782	3.6012	3.8912
14 h	840	2.8184	3.1781	3.4347	3.6833	3.9265	4.2427
12 h	720	3.1297	3.5291	3.8141	4.0901	4.3601	4.7112
10 h	600	3.4704	3.9133	4.2293	4.5353	4.8347	5.2241
8 h	480	3.8031	4.2886	4.6348	4.9702	5.2983	5.7250
6 h	360	4.4370	5.0033	5.4073	5.7986	6.1814	6.6792
5 h	300	4.7539	5.3607	5.7935	6.2127	6.6229	7.1563
4 h	240	5.2293	5.8968	6.3729	6.8340	7.2852	7.8719
3 h	180	6.0216	6.7902	7.3384	7.8695	8.3890	9.0646
2 h	120	7.3686	8.3091	8.9799	9.6297	10.2655	11.0922
1 h	60	11.8848	13.4018	14.4838	15.5319	16.5573	17.8907

Las intensidades máximas de precipitación para varios intervalos de duración y períodos de retorno para la estación de Apacheta se muestran en la Tabla 3.44.

Tabla 3.45: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chiara

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.5947	1.7986	1.9516	2.1065	2.2638	2.4766
22 h	1320	1.6875	1.9032	2.0652	2.2291	2.3955	2.6207
20 h	1200	1.7797	2.0072	2.1780	2.3509	2.5264	2.7639
18 h	1080	1.9137	2.1583	2.3419	2.5278	2.7165	2.9719
16 h	960	2.0811	2.3472	2.5468	2.7490	2.9542	3.2319
14 h	840	2.2690	2.5591	2.7769	2.9973	3.2210	3.5238
12 h	720	2.5196	2.8418	3.0835	3.3283	3.5768	3.9130
10 h	600	2.7939	3.1511	3.4192	3.6906	3.9661	4.3390
8 h	480	3.0618	3.4533	3.7471	4.0445	4.3464	4.7550
6 h	360	3.5722	4.0288	4.3716	4.7186	5.0708	5.5475
5 h	300	3.8273	4.3166	4.6839	5.0556	5.4330	5.9438
4 h	240	4.2100	4.7483	5.1522	5.5612	5.9763	6.5382
3 h	180	4.8479	5.4677	5.9329	6.4038	6.8819	7.5288
2 h	120	5.9323	6.6907	7.2600	7.8362	8.4212	9.2129
1 h	60	9.5683	10.7915	11.7096	12.6391	13.5826	14.8595

Para la estación de Chiara, las mayores intensidades de precipitación para varios tiempos de duración e intervalos de retorno se muestran en la Tabla 3.45.

Tabla 3.46: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Choccoro

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
--------------------	--	---	--	--	--	--	--

horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	2.1715	2.3965	2.5543	2.7035	2.8476	3.0308
22 h	1320	2.2978	2.5360	2.7029	2.8608	3.0133	3.2071
20 h	1200	2.4234	2.6745	2.8506	3.0171	3.1779	3.3823
18 h	1080	2.6058	2.8759	3.0651	3.2442	3.4171	3.6369
16 h	960	2.8338	3.1275	3.3333	3.5281	3.7161	3.9551
14 h	840	3.0897	3.4099	3.6344	3.8467	4.0517	4.3123
12 h	720	3.4309	3.7865	4.0357	4.2716	4.4992	4.7886
10 h	600	3.8044	4.1987	4.4751	4.7366	4.9890	5.3099
8 h	480	4.1692	4.6014	4.9042	5.1908	5.4674	5.8190
6 h	360	4.8641	5.3683	5.7216	6.0559	6.3786	6.7889
5 h	300	5.2116	5.7517	6.1303	6.4885	6.8342	7.2738
4 h	240	5.7327	6.3269	6.7433	7.1373	7.5177	8.0012
3 h	180	6.6013	7.2855	7.7650	8.2187	8.6567	9.2135
2 h	120	8.0779	8.9151	9.5019	10.0571	10.5931	11.2744
1 h	60	13.0289	14.3793	15.3256	16.2212	17.0856	18.1845

Las mayores intensidades de lluvia de la estación de Choccoro para varios intervalos de duración y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.46.

Tabla 3.47: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Chontaca

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.7991	2.0354	2.2106	2.3843	2.5576	2.7864
22 h	1320	1.9037	2.1538	2.3392	2.5230	2.7064	2.9485
20 h	1200	2.0077	2.2715	2.4670	2.6609	2.8542	3.1096
18 h	1080	2.1589	2.4425	2.6527	2.8612	3.0691	3.3437
16 h	960	2.3478	2.6562	2.8848	3.1115	3.3376	3.6362
14 h	840	2.5598	2.8961	3.1453	3.3925	3.6391	3.9646
12 h	720	2.8425	3.2160	3.4927	3.7672	4.0410	4.4025
10 h	600	3.1519	3.5660	3.8729	4.1773	4.4809	4.8818
8 h	480	3.4542	3.9080	4.2443	4.5779	4.9105	5.3499
6 h	360	4.0299	4.5593	4.9517	5.3408	5.7289	6.2415
5 h	300	4.3177	4.8850	5.3054	5.7223	6.1382	6.6873
4 h	240	4.7495	5.3735	5.8359	6.2946	6.7520	7.3561
3 h	180	5.4691	6.1877	6.7201	7.2483	7.7750	8.4706
2 h	120	6.6925	7.5717	8.2233	8.8696	9.5141	10.3654
1 h	60	10.7943	12.2125	13.2634	14.3058	15.3454	16.7184

Las mayores intensidades de precipitación de la estación Chontaca para varias duraciones y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.47.

Tabla 3.48: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Cuchoquesera

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	2.0933	2.4078	2.6484	2.8942	3.1466	3.4922
22 h	1320	2.2151	2.5479	2.8025	3.0626	3.3297	3.6954
20 h	1200	2.3362	2.6872	2.9557	3.2299	3.5116	3.8973

18 h	1080	2.5120	2.8894	3.1781	3.4731	3.7759	4.1906
16 h	960	2.7318	3.1422	3.4562	3.7769	4.1063	4.5573
14 h	840	2.9785	3.4260	3.7683	4.1181	4.4771	4.9689
12 h	720	3.3075	3.8044	4.1845	4.5729	4.9716	5.5176
10 h	600	3.6675	4.2185	4.6401	5.0707	5.5128	6.1183
8 h	480	4.0192	4.6231	5.0850	5.5569	6.0414	6.7050
6 h	360	4.6890	5.3936	5.9325	6.4830	7.0483	7.8225
5 h	300	5.0240	5.7788	6.3563	6.9461	7.5518	8.3812
4 h	240	5.5264	6.3567	6.9919	7.6407	8.3070	9.2193
3 h	180	6.3637	7.3198	8.0513	8.7984	9.5656	10.6162
2 h	120	7.7872	8.9572	9.8522	10.7665	11.7053	12.9909
1 h	60	12.5600	14.4471	15.8906	17.3653	18.8795	20.9530

Las mayores intensidades de lluvia de la estación Cuchoquesera para varios tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.48.

Tabla 3.49: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Huanta

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.4817	1.7265	1.9502	2.2115	2.5147	2.9879
22 h	1320	1.5679	1.8270	2.0637	2.3402	2.6610	3.1618
20 h	1200	1.6536	1.9268	2.1764	2.4680	2.8064	3.3345
18 h	1080	1.7781	2.0719	2.3402	2.6538	3.0177	3.5855
16 h	960	1.9336	2.2531	2.5450	2.8860	3.2817	3.8992
14 h	840	2.1083	2.4566	2.7748	3.1467	3.5781	4.2514
12 h	720	2.3411	2.7279	3.0813	3.4942	3.9733	4.7209
10 h	600	2.5960	3.0249	3.4167	3.8746	4.4058	5.2348
8 h	480	2.8449	3.3150	3.7444	4.2461	4.8283	5.7368
6 h	360	3.3190	3.8675	4.3684	4.9538	5.6330	6.6929
5 h	300	3.5561	4.1437	4.6805	5.3076	6.0353	7.1710
4 h	240	3.9117	4.5581	5.1485	5.8384	6.6389	7.8881
3 h	180	4.5044	5.2487	5.9286	6.7230	7.6448	9.0832
2 h	120	5.5120	6.4228	7.2547	8.2268	9.3548	11.1150
1 h	60	8.8903	10.3593	11.7012	13.2690	15.0883	17.9275

Las mayores intensidades de precipitación de la estación de Huanta para varias duraciones y períodos de retorno se muestran en la Tabla 3.49.

Tabla 3.50: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación INIA

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.7628	2.0095	2.1922	2.3739	2.5547	2.7935
22 h	1320	1.8654	2.1264	2.3197	2.5121	2.7034	2.9560
20 h	1200	1.9673	2.2426	2.4465	2.6493	2.8511	3.1175

18 h	1080	2.1154	2.4114	2.6306	2.8487	3.0657	3.3521
16 h	960	2.3005	2.6224	2.8608	3.0980	3.3339	3.6455
14 h	840	2.5082	2.8593	3.1192	3.3778	3.6350	3.9747
12 h	720	2.7852	3.1750	3.4637	3.7508	4.0365	4.4137
10 h	600	3.0884	3.5207	3.8407	4.1591	4.4759	4.8941
8 h	480	3.3846	3.8583	4.2090	4.5580	4.9051	5.3634
6 h	360	3.9487	4.5013	4.9105	5.3176	5.7226	6.2573
5 h	300	4.2307	4.8228	5.2613	5.6975	6.1314	6.7043
4 h	240	4.6538	5.3051	5.7874	6.2672	6.7445	7.3747
3 h	180	5.3589	6.1089	6.6643	7.2168	7.7664	8.4921
2 h	120	6.5576	7.4754	8.1550	8.8311	9.5036	10.3916
1 h	60	10.5768	12.0571	13.1532	14.2437	15.3285	16.7607

En la Tabla 3.50 se muestran las intensidades máximas de precipitación para distintos tiempos de duración y periodos de retorno para la estación INIA.

Tabla 3.51: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Pucaloma

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.8753	2.1018	2.2572	2.4031	2.5420	2.7167
22 h	1320	1.9844	2.2241	2.3885	2.5430	2.6899	2.8748
20 h	1200	2.0929	2.3456	2.5190	2.6819	2.8369	3.0318
18 h	1080	2.2504	2.5222	2.7086	2.8838	3.0504	3.2601
16 h	960	2.4473	2.7428	2.9456	3.1361	3.3173	3.5453
14 h	840	2.6683	2.9906	3.2116	3.4193	3.6169	3.8655
12 h	720	2.9630	3.3208	3.5663	3.7970	4.0164	4.2924
10 h	600	3.2856	3.6824	3.9546	4.2103	4.4536	4.7597
8 h	480	3.6006	4.0355	4.3338	4.6140	4.8807	5.2161
6 h	360	4.2007	4.7080	5.0561	5.3830	5.6941	6.0854
5 h	300	4.5008	5.0443	5.4172	5.7675	6.1009	6.5201
4 h	240	4.9509	5.5488	5.9589	6.3443	6.7110	7.1721
3 h	180	5.7010	6.3895	6.8618	7.3055	7.7278	8.2588
2 h	120	6.9762	7.8187	8.3967	8.9397	9.4563	10.1062
1 h	60	11.2520	12.6108	13.5431	14.4188	15.2522	16.3003

Las mayores intensidades de lluvia de la estación de Pucaloma para varios tiempos de duración e intervalos de retorno se muestran en la Tabla 3.51.

Tabla 3.52: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Quinua

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	1.5815	1.7002	1.7816	1.8579	1.9309	2.0227
22 h	1320	1.6735	1.7991	1.8853	1.9660	2.0432	2.1404
20 h	1200	1.7650	1.8974	1.9883	2.0734	2.1549	2.2573

18 h	1080	1.8978	2.0402	2.1380	2.2295	2.3171	2.4272
16 h	960	2.0639	2.2187	2.3250	2.4246	2.5198	2.6396
14 h	840	2.2503	2.4191	2.5350	2.6435	2.7474	2.8780
12 h	720	2.4988	2.6863	2.8150	2.9355	3.0508	3.1959
10 h	600	2.7708	2.9787	3.1214	3.2551	3.3829	3.5438
8 h	480	3.0365	3.2643	3.4207	3.5672	3.7073	3.8836
6 h	360	3.5426	3.8084	3.9909	4.1617	4.3252	4.5308
5 h	300	3.7957	4.0804	4.2759	4.4590	4.6341	4.8545
4 h	240	4.1752	4.4885	4.7035	4.9049	5.0975	5.3399
3 h	180	4.8078	5.1685	5.4162	5.6480	5.8699	6.1490
2 h	120	5.8833	6.3247	6.6277	6.9114	7.1829	7.5244
1 h	60	9.4892	10.2011	10.6898	11.1475	11.5853	12.1362

Las mayores intensidades de lluvia de la estación de Quinua para varios tiempos de duración e intervalos de retorno se muestran en la Tabla 3.52.

Tabla 3.53: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Tambillo

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	2.2751	2.6418	2.9140	3.1842	3.4531	3.8081
22 h	1320	2.4074	2.7956	3.0835	3.3695	3.6540	4.0297
20 h	1200	2.5390	2.9483	3.2520	3.5536	3.8537	4.2498
18 h	1080	2.7301	3.1702	3.4968	3.8211	4.1437	4.5697
16 h	960	2.9690	3.4476	3.8028	4.1554	4.5063	4.9696
14 h	840	3.2371	3.7590	4.1462	4.5307	4.9133	5.4184
12 h	720	3.5946	4.1741	4.6041	5.0311	5.4559	6.0168
10 h	600	3.9859	4.6285	5.1053	5.5788	6.0498	6.6718
8 h	480	4.3681	5.0723	5.5949	6.1138	6.6299	7.3116
6 h	360	5.0961	5.9177	6.5273	7.1327	7.7349	8.5301
5 h	300	5.4602	6.3404	6.9936	7.6422	8.2874	9.1394
4 h	240	6.0062	6.9745	7.6929	8.4064	9.1162	10.0534
3 h	180	6.9162	8.0312	8.8585	9.6801	10.4974	11.5766
2 h	120	8.4632	9.8277	10.8400	11.8454	12.8455	14.1661
1 h	60	13.6504	15.8511	17.4839	19.1055	20.7186	22.8486

Las mayores intensidades de lluvia de la estación Tambillo para varios tiempos de duración y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.53.

Tabla 3.54: Intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno estación Putacca

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm.h ⁻¹) según el periodo de retorno					
horas	minutos	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
24 h	1440	2.2181	2.5378	2.7751	3.0110	3.2455	3.5553
22 h	1320	2.3471	2.6854	2.9366	3.1862	3.4343	3.7621
20 h	1200	2.4754	2.8322	3.0970	3.3603	3.6219	3.9677
18 h	1080	2.6617	3.0454	3.3301	3.6132	3.8945	4.2663

16 h	960	2.8946	3.3118	3.6215	3.9293	4.2353	4.6396
14 h	840	3.1560	3.6109	3.9486	4.2842	4.6178	5.0586
12 h	720	3.5046	4.0097	4.3846	4.7573	5.1278	5.6173
10 h	600	3.8861	4.4462	4.8620	5.2752	5.6860	6.2288
8 h	480	4.2587	4.8726	5.3282	5.7811	6.2313	6.8261
6 h	360	4.9685	5.6847	6.2162	6.7446	7.2698	7.9638
5 h	300	5.3234	6.0907	6.6602	7.2264	7.7891	8.5326
4 h	240	5.8558	6.6998	7.3262	7.9490	8.5680	9.3859
3 h	180	6.7430	7.7149	8.4363	9.1534	9.8662	10.8080
2 h	120	8.2513	9.4406	10.3233	11.2008	12.0731	13.2256
1 h	60	13.3086	15.2268	16.6506	18.0659	19.4727	21.3316

Las mayores intensidades de lluvia de la estación de Putacca para varias duraciones y periodos de retorno se muestran en la Tabla 3.54.

3.2.3. Curvas IDF con sus respectivas ecuaciones

En esta etapa, para obtener las curvas IDF con sus respectivas ecuaciones, se empleó el método de regresión potencial para las 12 estaciones empleadas.

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I : Intensidad máxima (mm.h⁻¹)

t : Tiempo de duración de la precipitación (min)

T : Período de retorno (años)

K, m, n : Factores característicos de la zona de estudio

Dichos análisis se determinaron utilizando hojas de cálculo. Los resultados se presentan a continuación:

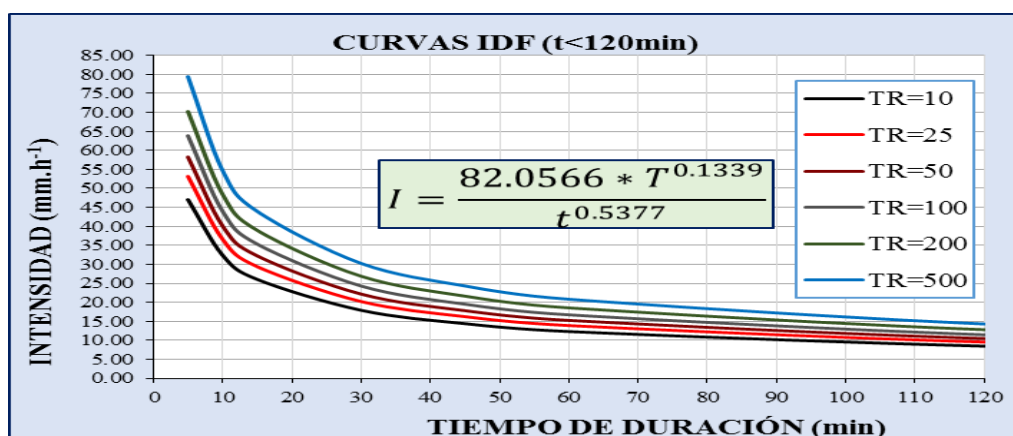


Figura 3.43: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Allpachaca

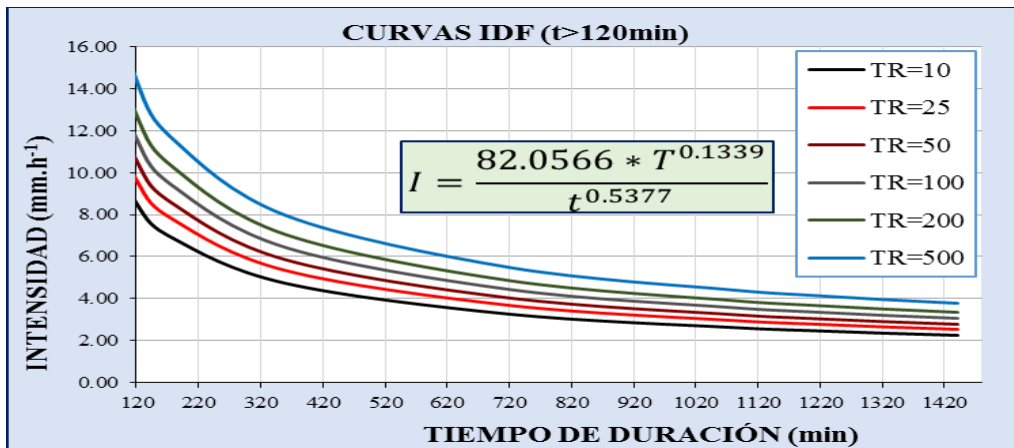


Figura 3.44: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Allpachaca

Para la estación de Allpachaca, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.43 y 3.44.

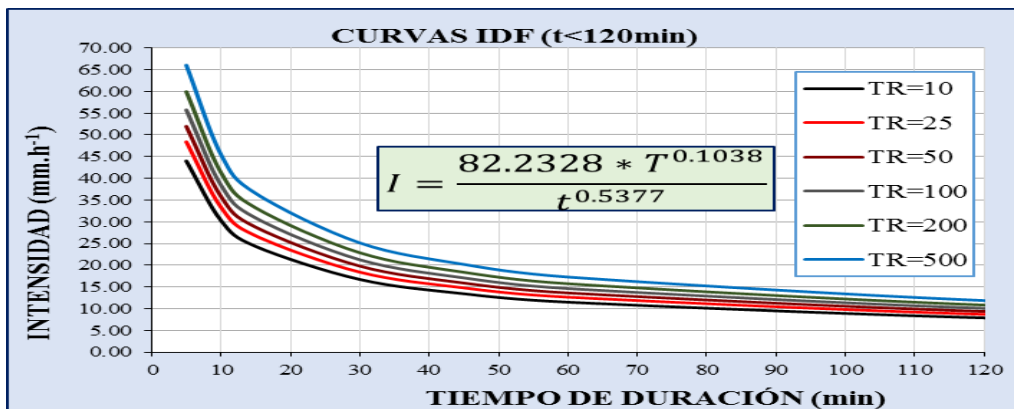


Figura 3.45: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Apacheta

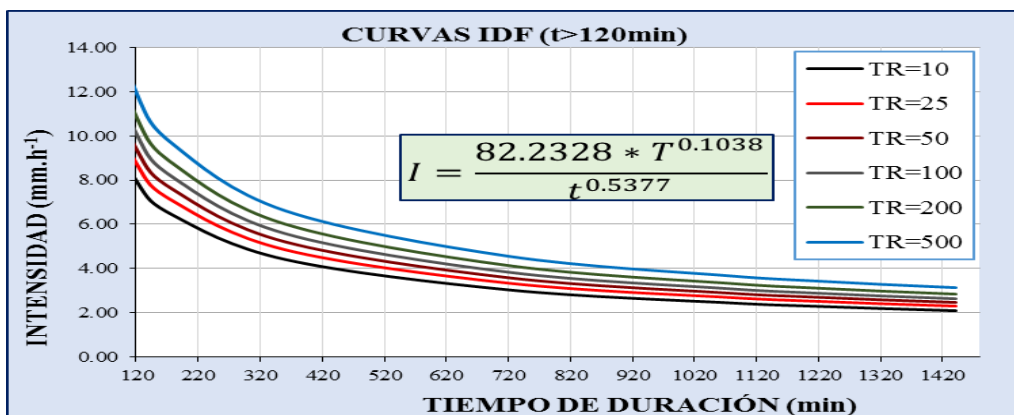


Figura 3.46: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Apacheta

Para la estación de Apacheta, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las figuras 3.45 y 3.46.

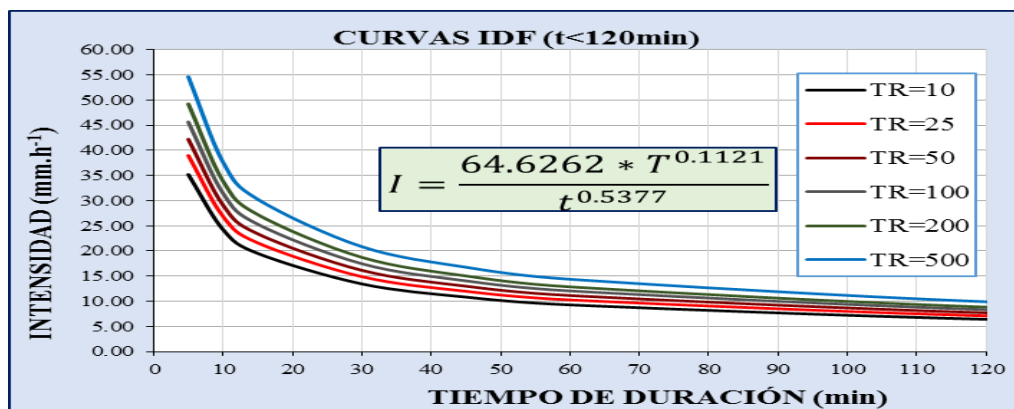


Figura 3.47: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Chiara

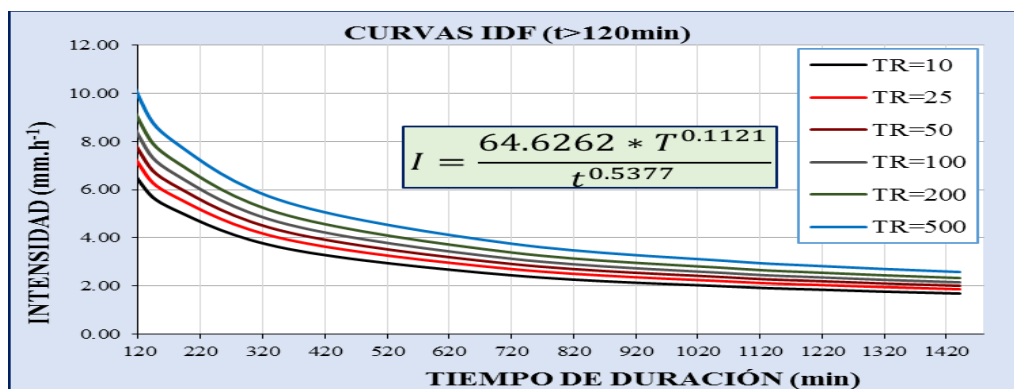


Figura 3.48: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Chiara

Las curvas IDF de la estación de Chiara se muestran junto con las ecuaciones correspondientes en las figuras 3.47 y 3.48.

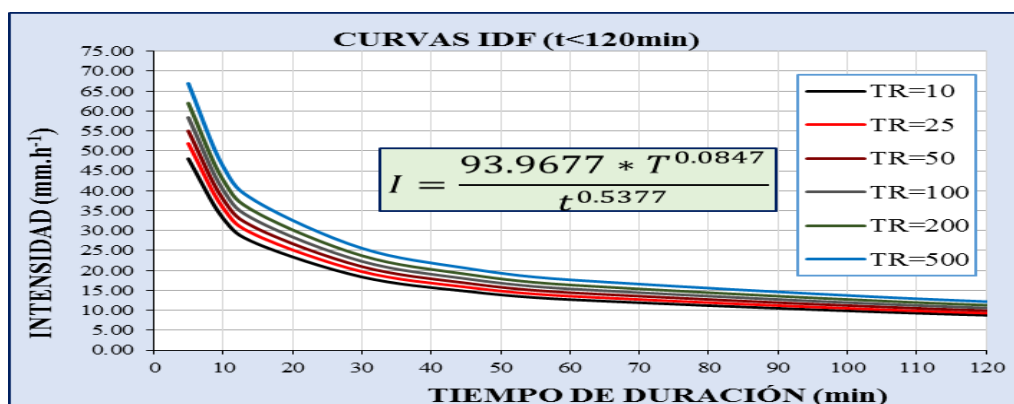


Figura 3.49: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Choccoro

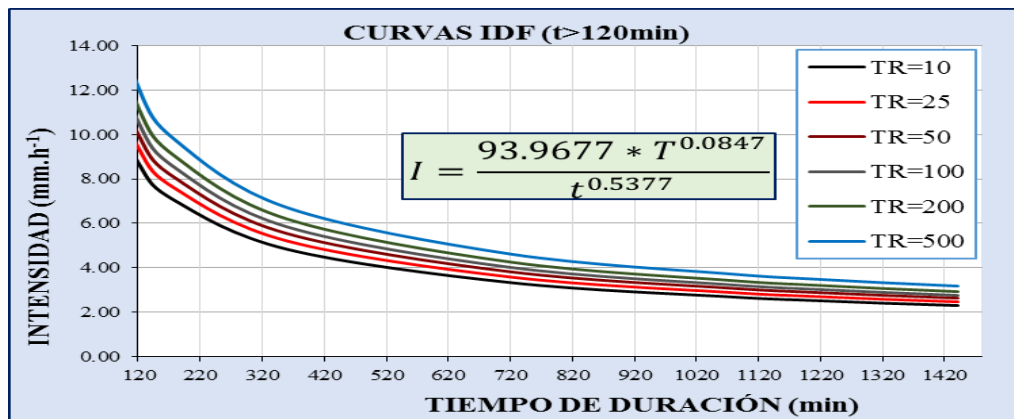


Figura 3.50: Curvas IDF (t>120min) de la estación Choccoro

Para la estación de Choccoro, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.49 y 3.50.

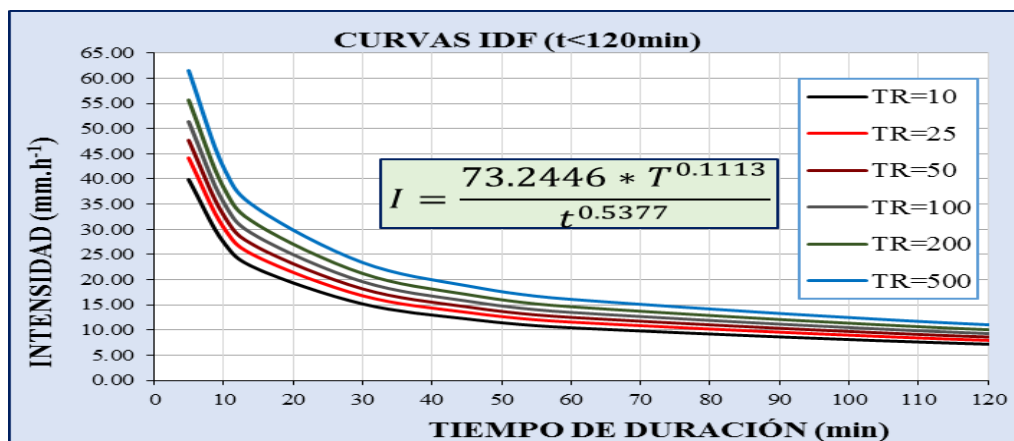


Figura 3.51: Curvas IDF (t<120min) de la estación Chontaca

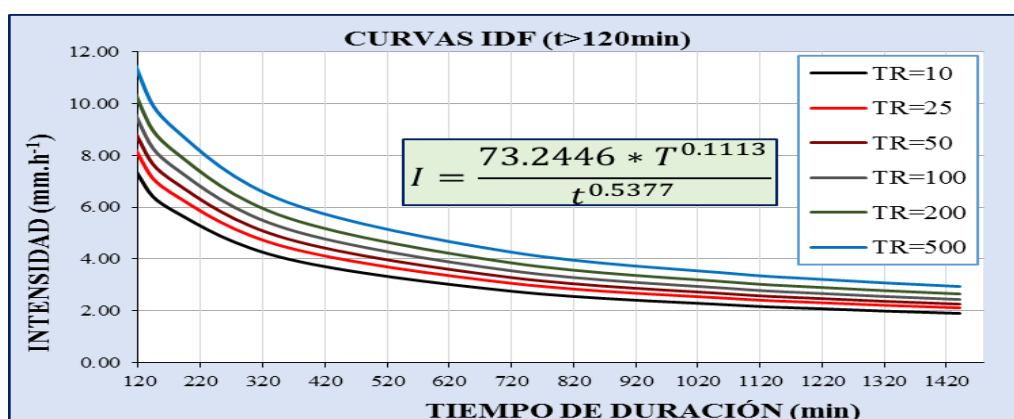


Figura 3.52: Curvas IDF (t>120min) de la estación Chontaca

Para la estación de Chontaca, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.51 y 3.52.

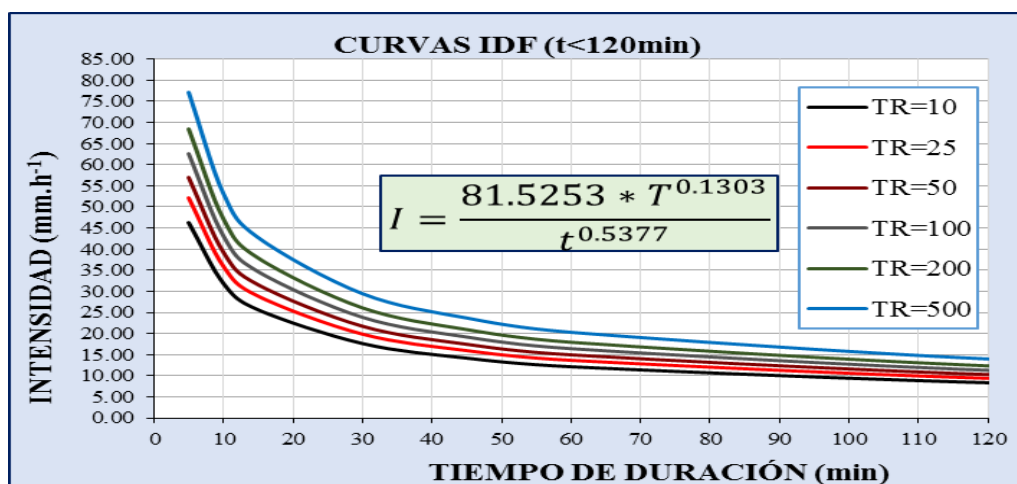


Figura 3.53: Curvas IDF (t<120min) de la estación Cuchoquesera

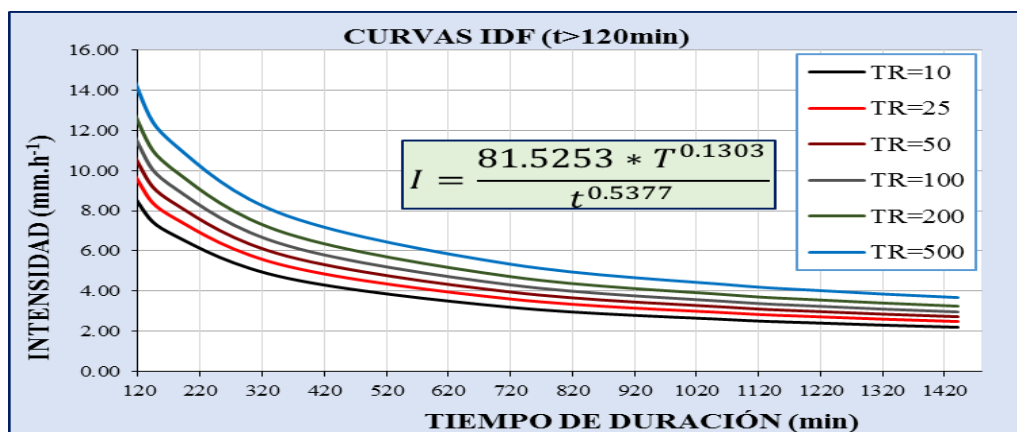


Figura 3.54: Curvas IDF (t>120min) de la estación Cuchoquesera

Para la estación Cuchoquesera, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.53 y 3.54.

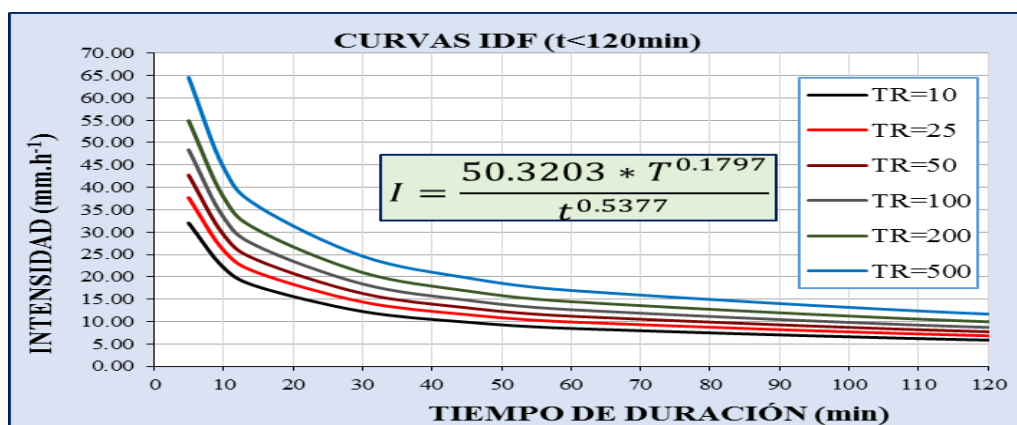


Figura 3.55: Curvas IDF (t<120min) de la estación Huanta

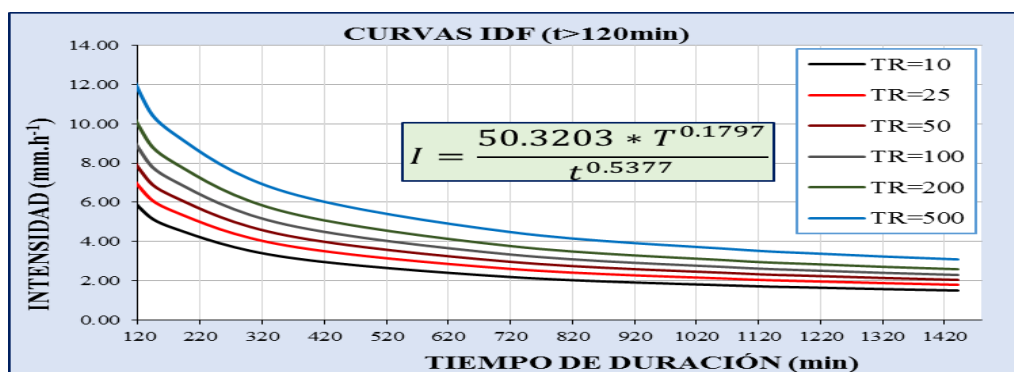


Figura 3.56: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Huanta

Para la estación de Huanta, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.55 y 3.56.

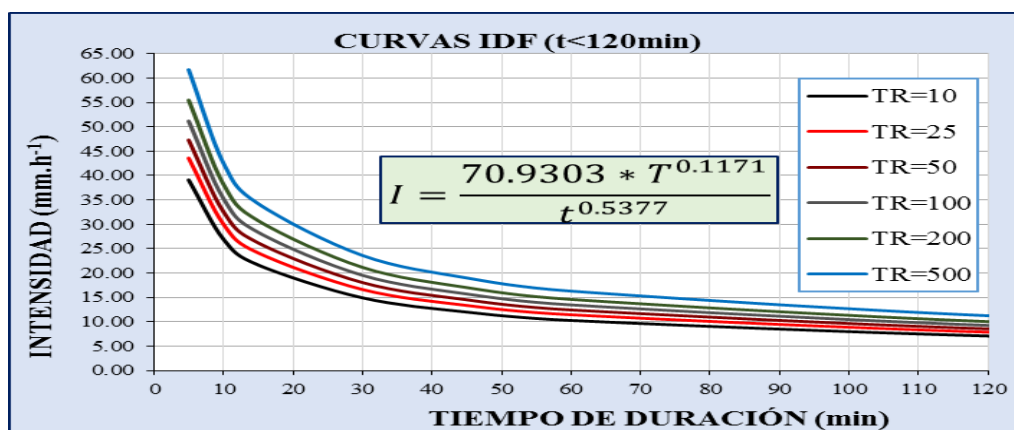


Figura 3.57: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación INIA

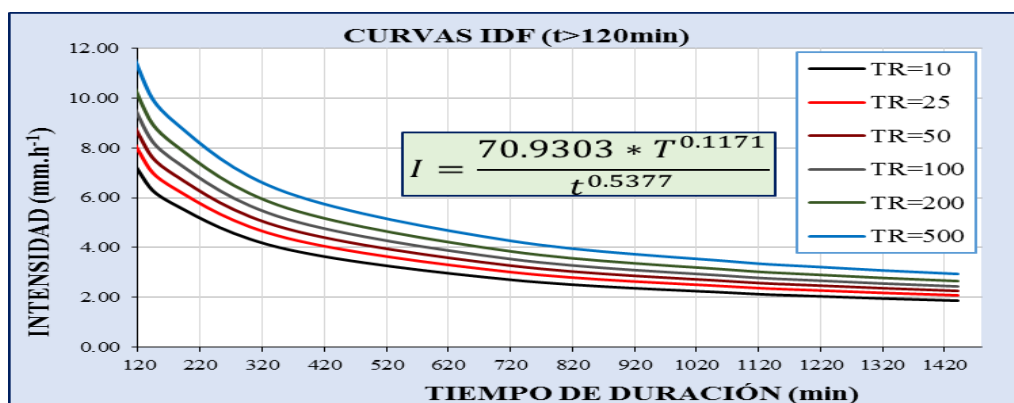


Figura 3.58: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación INIA

Las curvas IDF de la estación INIA se muestran junto con las ecuaciones correspondientes en las figuras 3.57 y 3.58.

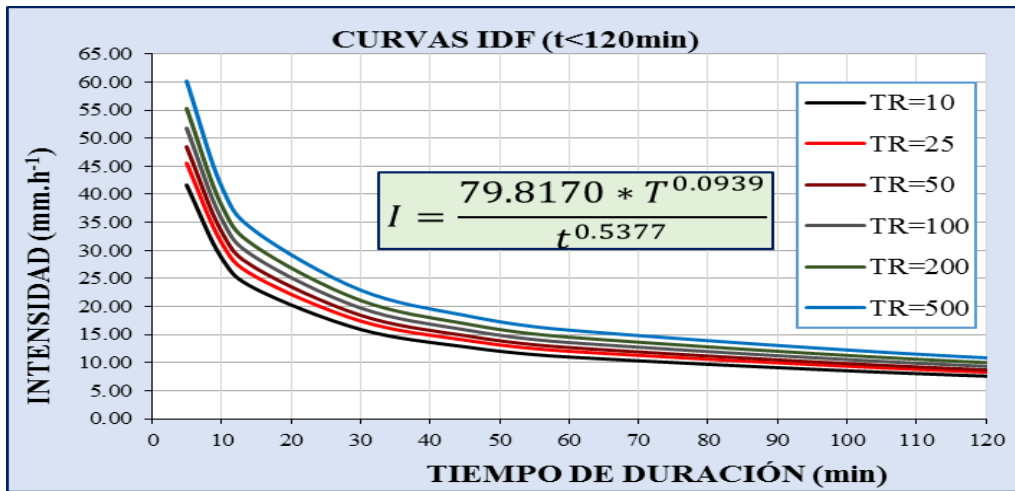


Figura 3.59: Curvas IDF (t<120min) de la estación Pucaloma

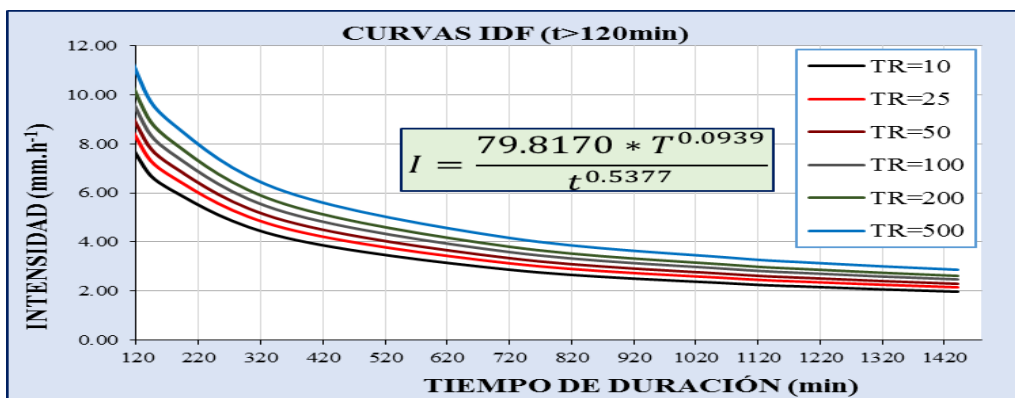


Figura 3.60: Curvas IDF (t>120min) de la estación Pucaloma

Para la estación de Pucaloma, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.59 y 3.60.

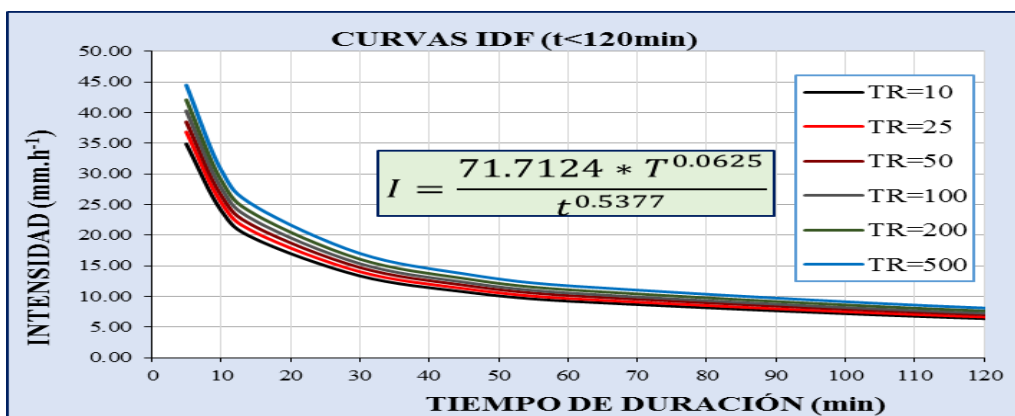


Figura 3.61: Curvas IDF (t<120min) de la estación Quinua

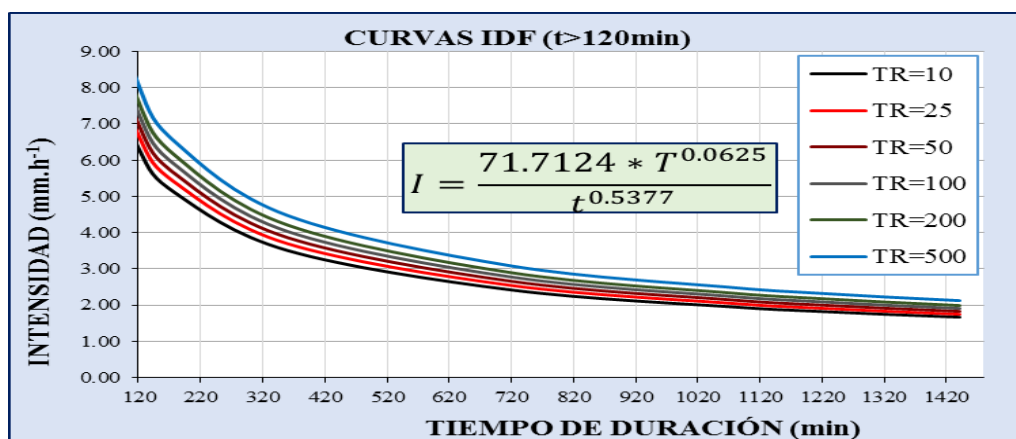


Figura 3.62: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Quinoa

Para la estación de Quinoa, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.61 y 3.62.

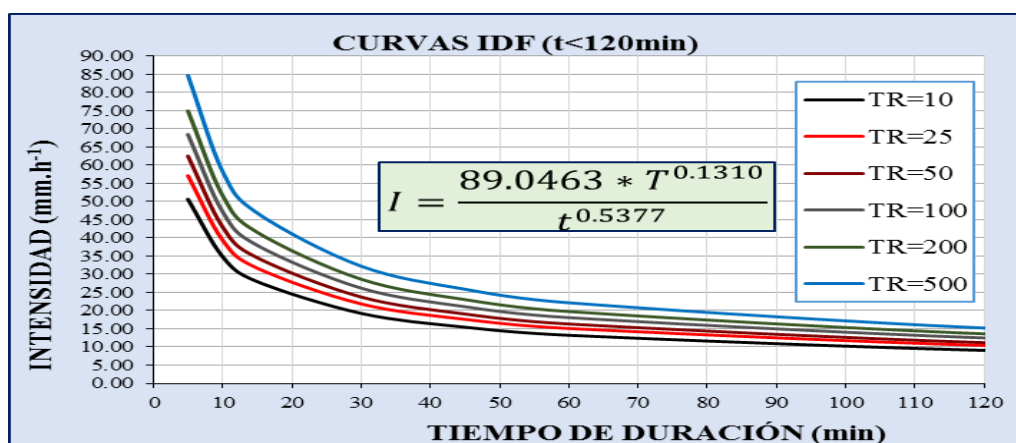


Figura 3.63: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Tambillo

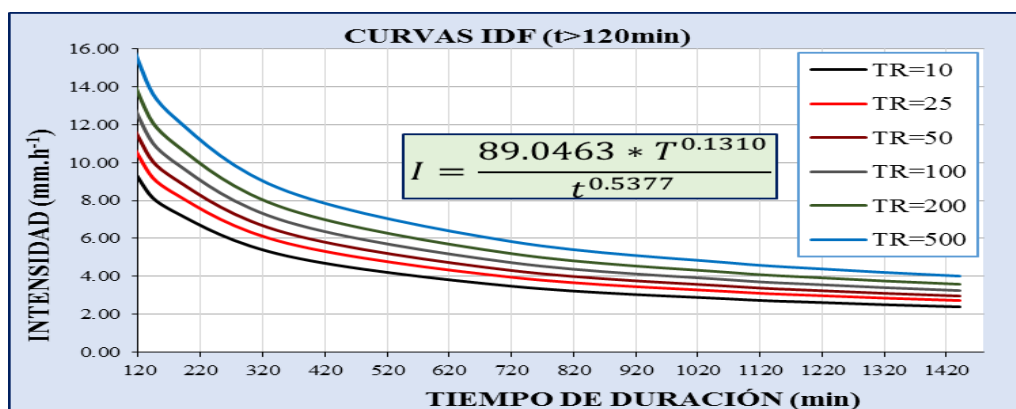


Figura 3.64: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Tambillo

Para la estación de Tambillo, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.63 y 3.64.

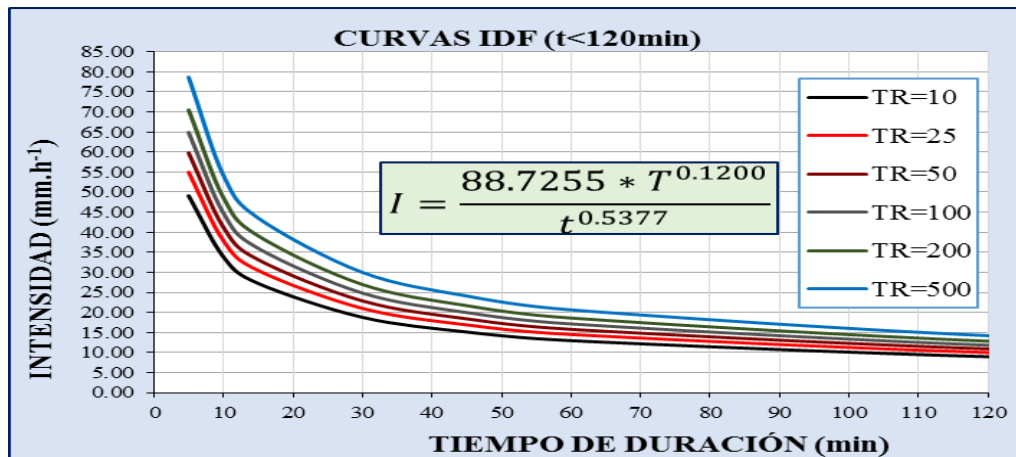


Figura 3.65: Curvas IDF ($t < 120 \text{ min}$) de la estación Putacca

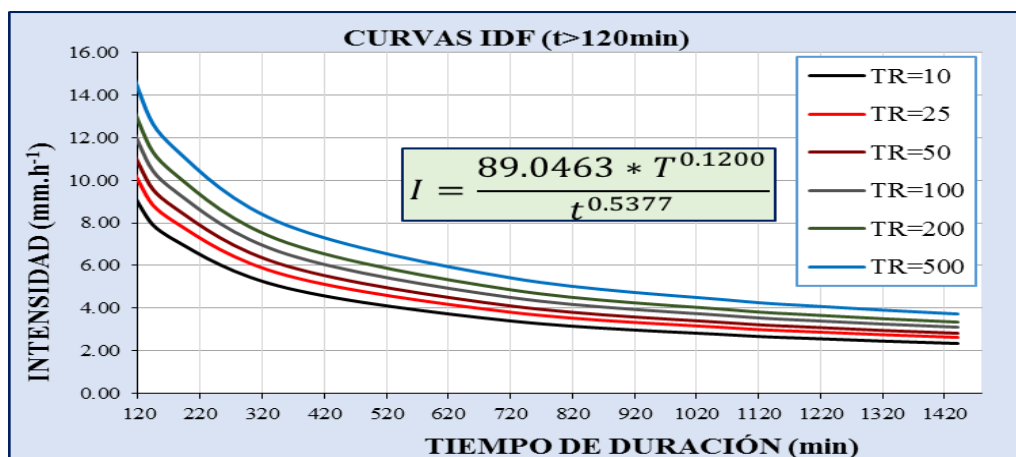


Figura 3.66: Curvas IDF ($t > 120 \text{ min}$) de la estación Putacca

Para la estación de Putacca, los resultados se muestran como curvas IDF con las ecuaciones correspondientes en las Figuras 3.65 y 3.66.

3.2.4. Discusión de las ecuaciones y las curvas IDF

La regla de que, a mayor longitud de precipitación, menor intensidad, puede expresarse una vez construidas las curvas IDF. Como se observa en las Figuras 3.43 a 3.66, la mayor intensidad se produce en los tiempos de longitud más cortos, lo que concuerda con la conclusión de Félix, Chávez & Muñoz (2021).

3.3. Resultados de la conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación

3.3.1. Intensidades máximas de precipitación para diferentes frecuencias y tiempos de duración seleccionados

En esta etapa, seleccionamos las intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años y tiempos de duración de 5, 10, 30 y 60 minutos para las 12 estaciones empleadas. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.55: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 50 años y tiempos de duración seleccionados

Estación	Intensidades máximas de precipitación para TR=50 años			
	Duración=5min	Duración=10min	Duración=30min	Duración=60min
Allpachaca	58.31	40.17	22.25	15.33
Apacheta	51.95	35.79	19.82	13.66
Chiara	42.16	29.04	16.09	11.08
Choccoro	55.07	37.94	21.01	14.48
Chontaca	47.65	32.82	18.18	12.52
Cuchoquesera	57.12	39.35	21.80	15.01
Huanta	42.77	29.46	16.32	11.24
INIA	47.20	32.52	18.01	12.41
Pucaloma	48.51	33.42	18.51	12.75
Quinua	38.54	26.55	14.70	10.13
Tambillo	62.56	43.09	23.87	16.44
Putacca	59.72	41.14	22.79	15.70

Para cada sitio de estudio, las intensidades máximas de precipitación para períodos de retorno de 50 años y tiempos de duración elegidos se muestran en la Tabla 3.55.

Tabla 3.56: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 100 años y tiempos de duración seleccionados

Estación	Intensidades máximas de precipitación para TR=100 años			
	Duración=5min	Duración=10min	Duración=30min	Duración=60min
Allpachaca	63.98	44.07	24.41	16.82
Apacheta	55.83	38.46	21.30	14.68
Chiara	45.57	31.39	17.39	11.98
Choccoro	58.40	40.23	22.28	15.35
Chontaca	51.47	35.46	19.64	13.53
Cuchoquesera	62.52	43.07	23.86	16.43
Huanta	48.44	33.37	18.48	12.73

INIA	51.20	35.27	19.53	13.46
Pucaloma	51.77	35.66	19.75	13.61
Quinua	40.24	27.72	15.35	10.58
Tambillo	68.50	47.19	26.14	18.00
Putacca	64.90	44.71	24.76	17.06

Para cada sitio de estudio, las intensidades de precipitación más altas para periodos de retorno de 100 años y tiempos de duración elegidos se muestran en la Tabla 3.56.

Tabla 3.57: Intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 200 años y tiempos de duración seleccionados

Estación	Intensidades máximas de precipitación para TR=200 años			
	Duración=5min	Duración=10min	Duración=30min	Duración=60min
Allpachaca	70.20	48.36	26.79	18.45
Apacheta	60.00	41.33	22.89	15.77
Chiara	49.25	33.93	18.79	12.94
Choccoro	61.93	42.66	23.63	16.28
Chontaca	55.60	38.30	21.22	14.62
Cuchoquesera	68.43	47.14	26.11	17.99
Huanta	54.87	37.80	20.94	14.42
INIA	55.53	38.25	21.19	14.59
Pucaloma	55.26	38.06	21.08	14.52
Quinua	42.02	28.95	16.03	11.05
Tambillo	75.01	51.67	28.62	19.72
Putacca	70.53	48.59	26.91	18.54

Para cada sitio de investigación, las intensidades de precipitación más altas para periodos de retorno de 200 años y tiempos de duración elegidos se muestran en la Tabla 3.57.

3.3.2. Mapas de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración seleccionados

Utilizando el software ArcGIS 10.5, interpolamos las intensidades máximas de precipitación para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años y tiempos de duración de 5, 10, 30 y 60 minutos para crear los mapas de esta sección. Los resultados se muestran a continuación:

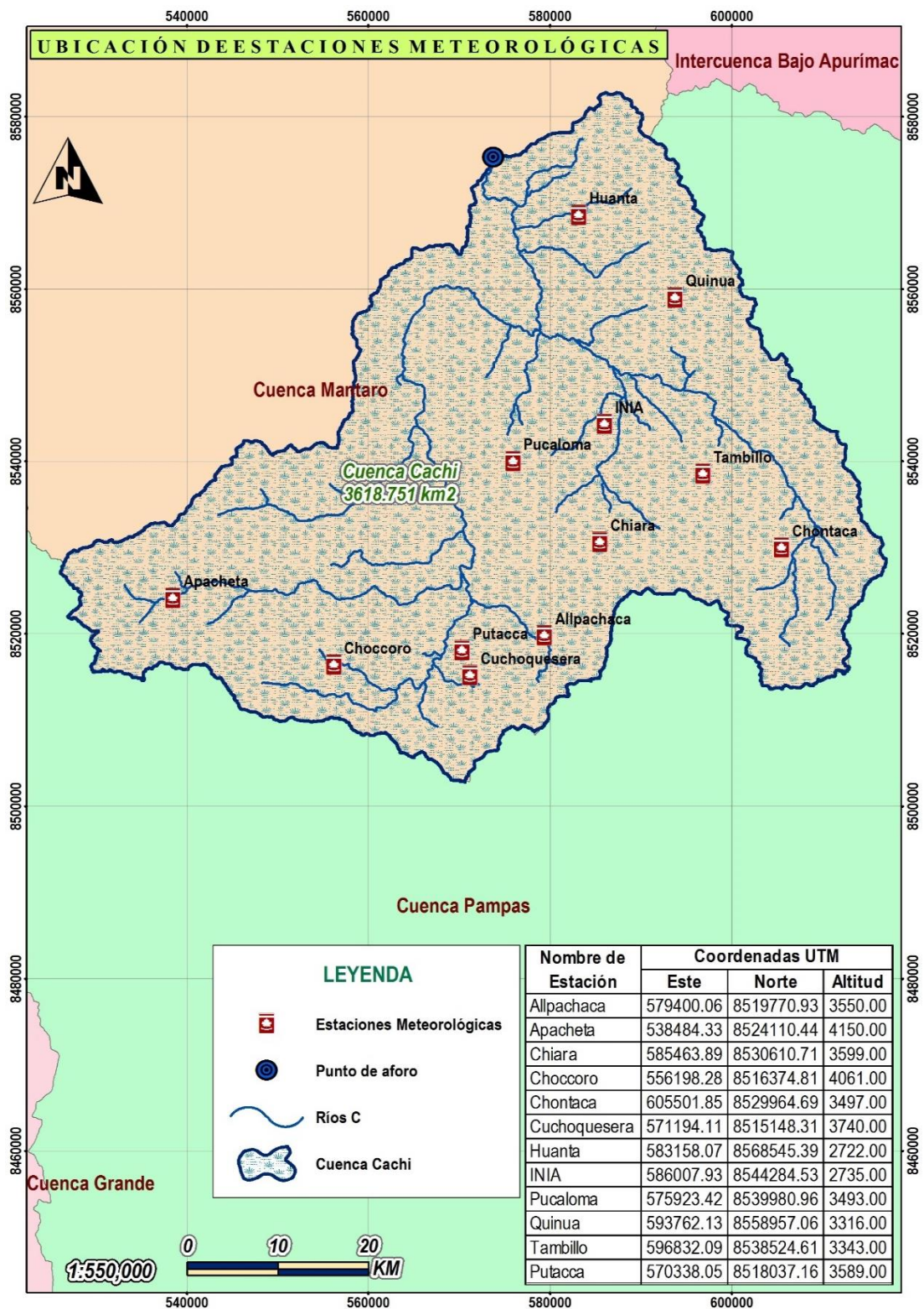


Figura 3.67: Mapa de las estaciones meteorológicas según su ubicación en coordenadas UTM en la cuenca del río Cachi.

El resultado obtenido en la Figura 3.67 muestra el mapa de las estaciones meteorológicas según su ubicación en coordenadas UTM en la cuenca del río Cachi.

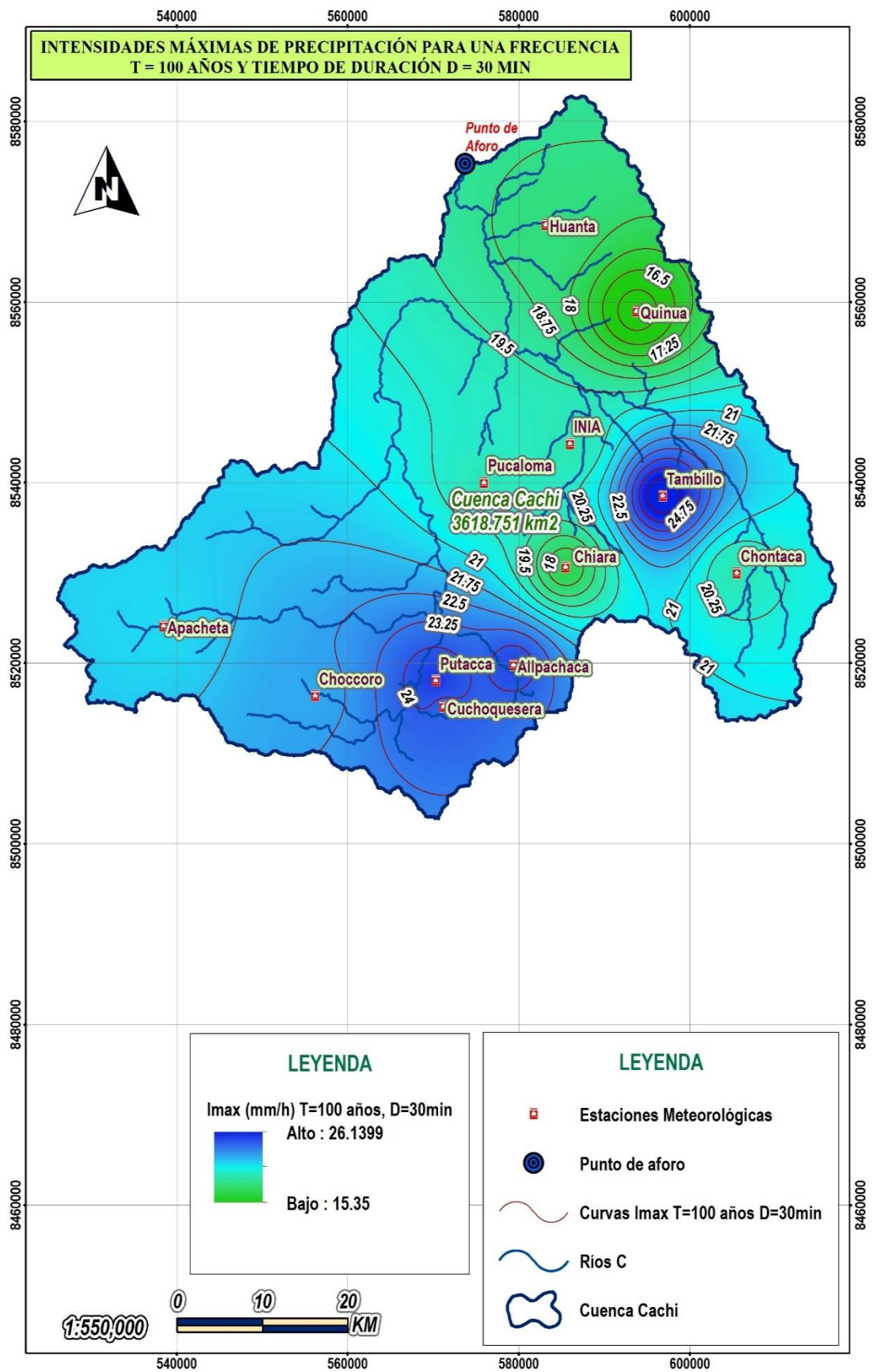


Figura 3.68: Mapa que ilustra las mayores intensidades de precipitación de la cuenca del río Cachi para una frecuencia de T = 100 años y una duración de D = 30 minutos.

En la Figura 3.68 se muestra el mapa de intensidades máximas de precipitación para un periodo de retorno $T = 100$ años y un tiempo de duración $D = 30$ minutos en la cuenca del río Cachi, que es el resultado de este análisis.

El Anexo 1 muestra a mayor detalle los mapas de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración seleccionados, como son:

- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 50$ años y tiempo de duración $D = 5$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 50$ años y tiempo de duración $D = 10$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 50$ años y tiempo de duración $D = 30$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 50$ años y tiempo de duración $D = 60$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 100$ años y tiempo de duración $D = 5$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 100$ años y tiempo de duración $D = 10$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 100$ años y tiempo de duración $D = 30$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 100$ años y tiempo de duración $D = 60$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 200$ años y tiempo de duración $D = 5$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 200$ años y tiempo de duración $D = 10$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 200$ años y tiempo de duración $D = 30$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).
- Mapa de intensidades máximas de precipitación para una frecuencia $T = 200$ años y tiempo de duración $D = 60$ min en la cuenca río Cachi. (ver anexo 1).

3.3.3. Discusión de la conceptualización mediante mapas las intensidades máximas de precipitación

Se utilizó el método de interpolación IDW, teniendo en cuenta los hallazgos de los trabajos de investigación de Acosta (2017) y Estrella (2016), para generar el mapa de zonificación de intensidades máximas de lluvia para diferentes periodos de retorno y tiempos de duración. Esto ayudará a generar información sobre la intensidad máxima de precipitación cuando se cuente con poca o nula información. Para la creación de este mapa se utilizaron las ecuaciones de las curvas IDF de cada una de las estaciones en estudio y el análisis estadístico de interpolación, como se muestra en la Figura 3.68.

CONCLUSIONES

1. Se evaluaron los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cachi. Tras un exhaustivo proceso de verificación, se procedió a un análisis estadístico que consistió en determinar qué datos eran dudosos y comprobar su independencia, estacionalidad y homogeneidad. La superación de estas pruebas de evaluación demostró la coherencia de los datos, y finalmente se eligieron las funciones de distribución de probabilidad mejor ajustadas mediante el método Chi-cuadrado. De este modo se obtuvieron precipitaciones máximas para periodos de retorno de 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años, ajustadas a diferentes funciones de distribución para cada una de las 12 estaciones objeto de estudio. Los valores de estas variables fueron cruciales para generar las ecuaciones y las curvas IDF de cada una de las doce estaciones del estudio.
2. Utilizando la ecuación de correlación lineal múltiple que relaciona intensidad, duración y período de retorno, se obtuvieron las ecuaciones y curvas IDF para cada una de las 12 estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cachi. Estos resultados serán útiles para conceptualizar mediante mapas las intensidades máximas de diversos períodos de retorno y tiempos de duración en la cuenca del río Cachi.
3. Se utilizó una herramienta de cálculo basada en SIG (en nuestro caso, ArcGIS 10.5) para concebir las intensidades máximas de precipitación de la cuenca del río Cachi mediante mapas, que consistió en utilizar el método IDW de interpolación geoespacial para procesar los datos y crear mapas de tendencias de la intensidad máxima de precipitación para períodos de retorno de 50, 100 y 200 años, así como para duraciones temporales de 5, 10, 30 y 60 minutos. Los resultados de este proceso serán útiles para estimar las intensidades máximas de precipitación en lugares de la cuenca del río Cachi de los que no se dispone de datos.

RECOMENDACIONES

1. Para determinar la ocurrencia de intensidades máximas en estas subcuencas, se aconseja que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la Gerencia Regional de Infraestructura - Red Hidrometeorológica, el Gobierno Regional de Ayacucho y las localidades de Paccha, Pongora, San Pedro de Cachi, Yucaes y Vinchos incrementen el número de puntos de monitoreo en la cuenca del río Cachi.
2. Se aconseja a los consultores y al público en general que apliquen las fórmulas de curvas IDF determinadas; la elección y aplicación de estas fórmulas dependerá de la experiencia del hidrólogo en la determinación de las intensidades máximas de precipitación.
3. Se aconseja realizar investigaciones adicionales para mejorar y ampliar los conocimientos que los profesores y estudiantes de ingeniería pueden obtener de este estudio. Esta investigación debería centrarse en el tratamiento en profundidad de los datos y la aplicación de diversas técnicas de interpolación estadística.
4. Se aconseja que los educadores y los estudiantes de ingeniería se interesen por fomentar la investigación hidrometeorológica adicional en este campo, ya que confirmará los avances en nuestra comprensión de la precipitación y sus mecanismos.
5. Para los alumnos que realizarán posteriores investigaciones con respecto al tema en estudio tener en cuenta que la estación de INIA cuenta con pluviógrafos en su estación, con los cuales sería bueno comparar los resultados para la verificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

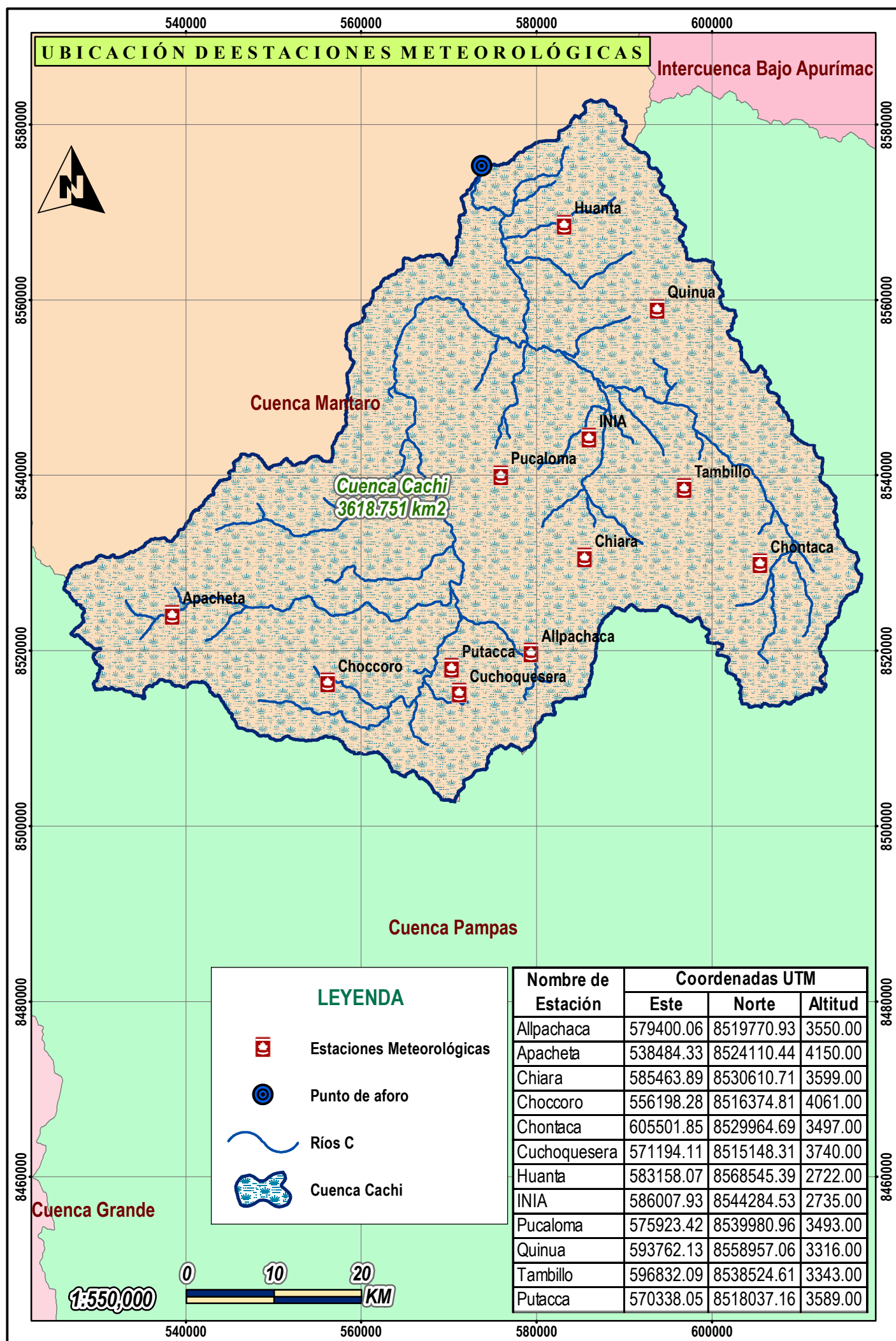
- Acosta, P. (2017). *Estimación de curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) en puntos geográficos sin registros históricos de precipitación*. Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Magíster en Ingeniería Civil Con Énfasis en Hidroambiental. Universidad Santo Tomás. Seccional Tunja - Colombia.
- América Noticias (2012). *Huamanga: lluvia torrencial provocó un río en las calles*. Recuperado de <https://www.americatev.com.pe/noticias/actualidad/huamanga-lluvia-torrencial-provoco-un-rio-en-las-calles-n29798>.
- Autoridad Nacional del Agua (2007). *Órganos desconcentrados*. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/aaa-mantaro/ala-ayacucho>.
- Anaya, N. (2017). *Modelo regional de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del Mantaro – Junín - 2015*. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias e Ingeniería mención en Ingeniería de Recursos Hídricos. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Perú.
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F. Editorial Limusa, S.A.
- Audagna, Y. (2014). *Regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Santiago del Estero*. Práctica supervisada carrera de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Córdoba - Argentina.
- Ávila, A. (2017). *Generación de intensidades máximas de la estación pluviográfica Jaén*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú.
- Cahuana, A. & Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. (Trabajo Dirigido Por Adscripción, Presentado Para Optar al Diploma Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad Mayor de San Simón.

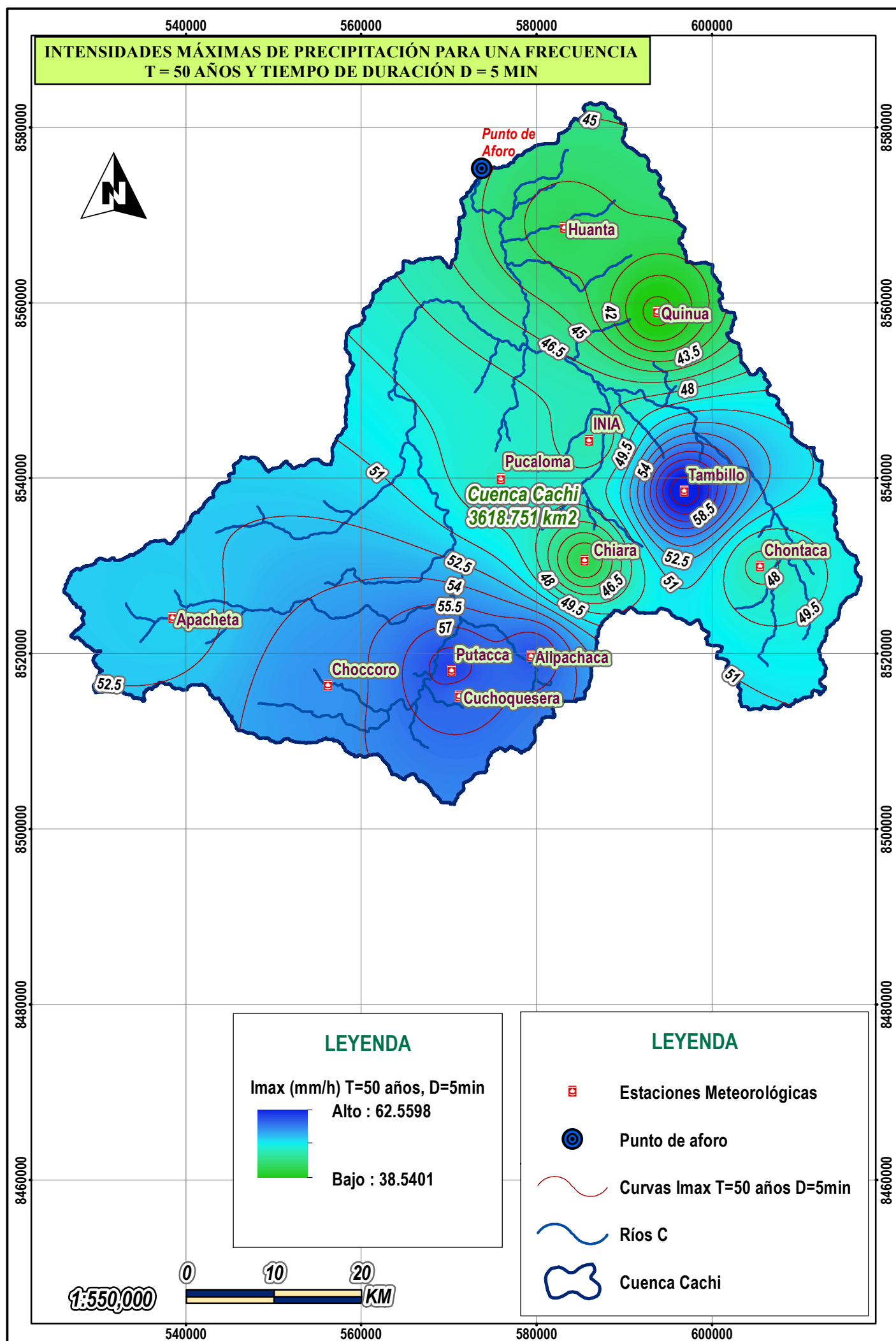
- Carhua, J. & Vargas, J. (2018). *Estimación de las intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno, y su conceptualización en mapas para la región de Huánuco*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Hermilo Valdizan. Huánuco - Perú.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima - Perú.
- Chow, V., Maidment, D. & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Santa Fe de Bogotá. Mc Graw-Hill Interamericana S.A.
- Estrella, D. (2016). *Determinación de curvas de frecuencia y zonificación de intensidades en la cuenca media alta del río Paute*. Tesis previa a la obtención del grado de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Ecuador.
- García, A. (2013). *Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos*. Tesis doctoral. Universidad de Extremadura - España.
- Giraldo, R. (2005). *Introducción a la geoestadística*. Departamento de Estadística. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.
- Hinojosa, J. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid. Alanmer S.A.
- Félix, J., Chávez, J. & Muñoz, M. (2021). *Obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia a partir de distribuciones de probabilidad en la cuenca media del río Chone*. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000400012&script=sci_arttext.
- Ferreira, G. (2005). *Técnicas de interpolación espacial utilizadas en la evaluación de reservas geológicas*. Informe final del proyecto para optar al título profesional de Ingeniero Civil en informática. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile.
- Lobo, E. (2017). *Estudio hidrológico e hidráulico para la identificación de la vulnerabilidad a desbordes de la cuenca baja del río Coata - Puno*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima - Perú.
- Maldonado, R. (2015). *Determinación de relaciones intensidad-duración-frecuencia (IDF) de 11 estaciones meteorológicas del altiplano, mediante el análisis de eventos extremos de precipitación*. Tesis para optar el Grado Académico de Magister Scientiarum. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2011). *Manual de carreteras hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima - Perú.
- Quispe, N. (2019). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para control de socavación de estribos del puente Marita de la carretera Sancos Saccsamarca, provincia de Huanca Sancos - Ayacucho*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho - Perú.
- Panorama 24 Horas Edición Central (2018). *Huanta quedó completamente inundada por lluvia torrencial*. Recuperado de <https://panamericana.pe/24horas/nacionales/240871-ayacucho-huanta-queda-completamente-inundada-lluvia-torrencial/multimedia/1>.
- Robredo, J. (2003). *Cálculo de caudales de avenidas*. E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Villón M. (2002). *Hidrología*. Cartago - Costa Rica. Primera edición, Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

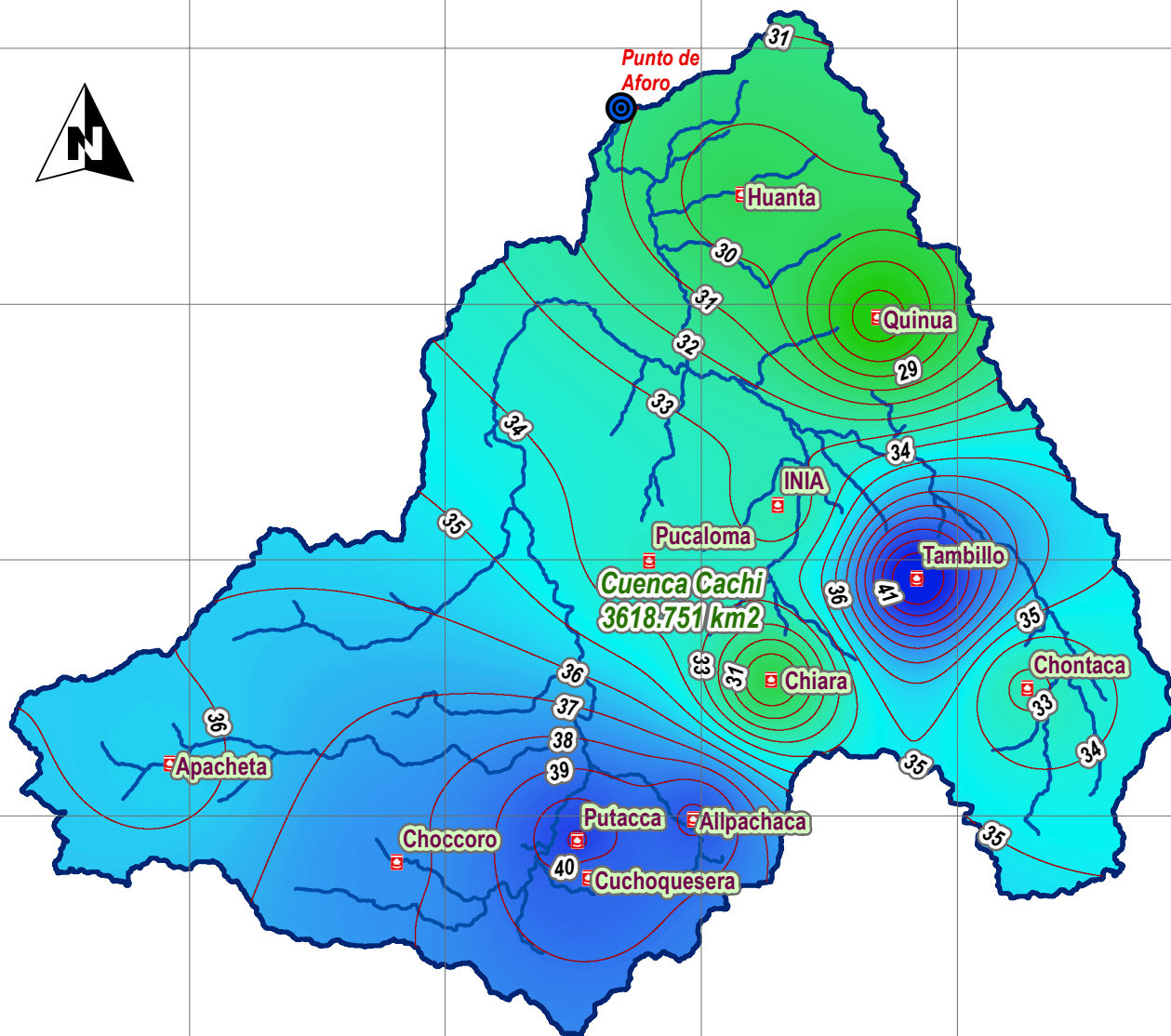
ANEXOS

ANEXO 1: Mapas





**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 50 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 10 MIN**



LEYENDA

Imax (mm/h) T=50 años, D=10min
Alto : 43.0899
Bajo : 26.5501



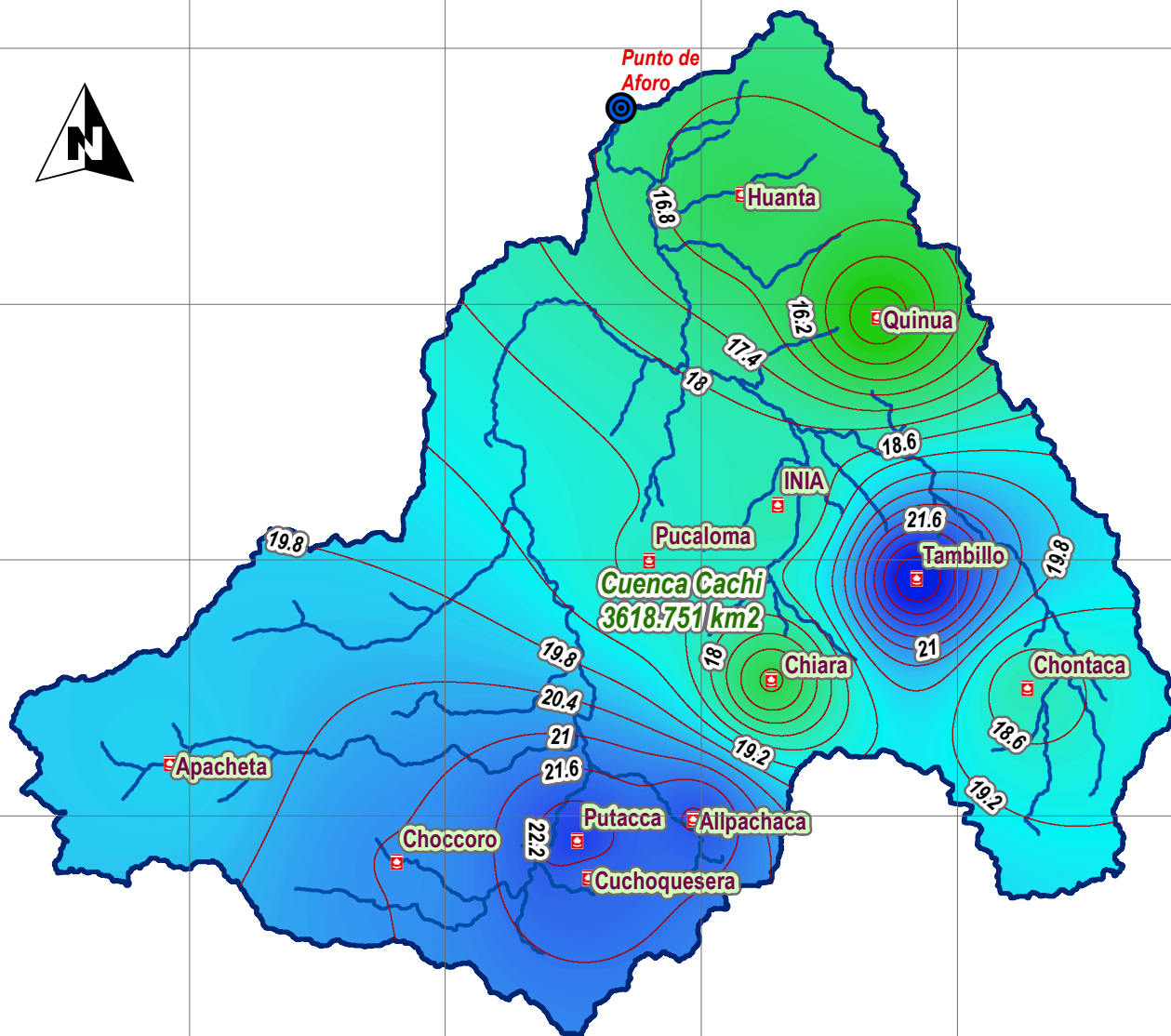
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=50 años D=10min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 50 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 30 MIN**



LEYENDA

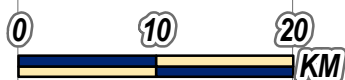
Imax (mm/h) T=50 años, D=30min
Alto : 23.8699
Bajo : 14.7



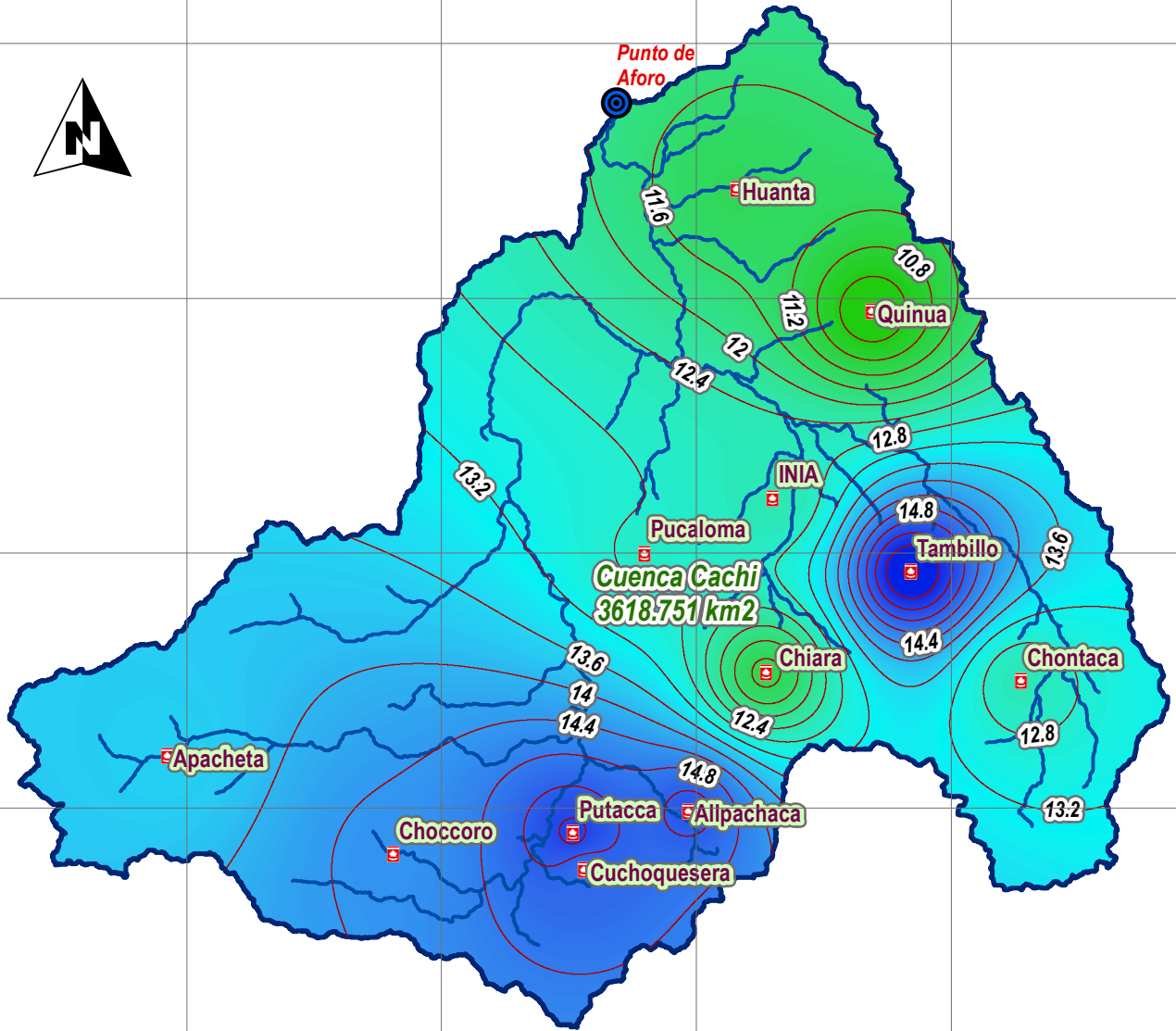
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=50 años D=30min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 50 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 60 MIN**



LEYENDA

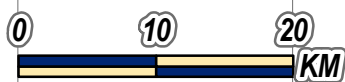
Imax (mm/h) T=50 años, D=60min
Alto : 16.4399
Bajo : 10.13



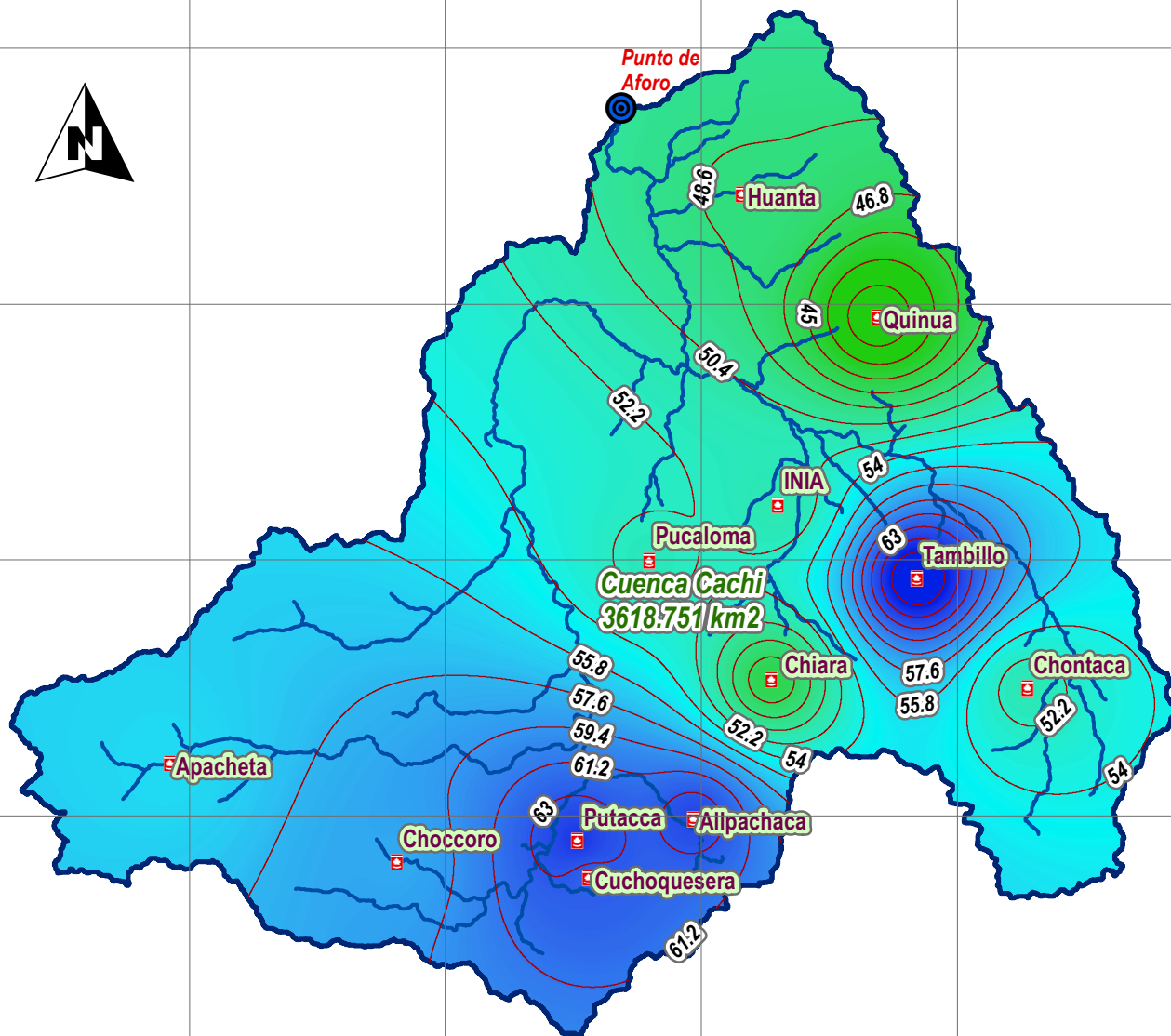
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=50 años D=60min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 5 MIN**



LEYENDA

Imax (mm/h) T=100 años, D=5min
Alto : 68.4998
Bajo : 40.2401



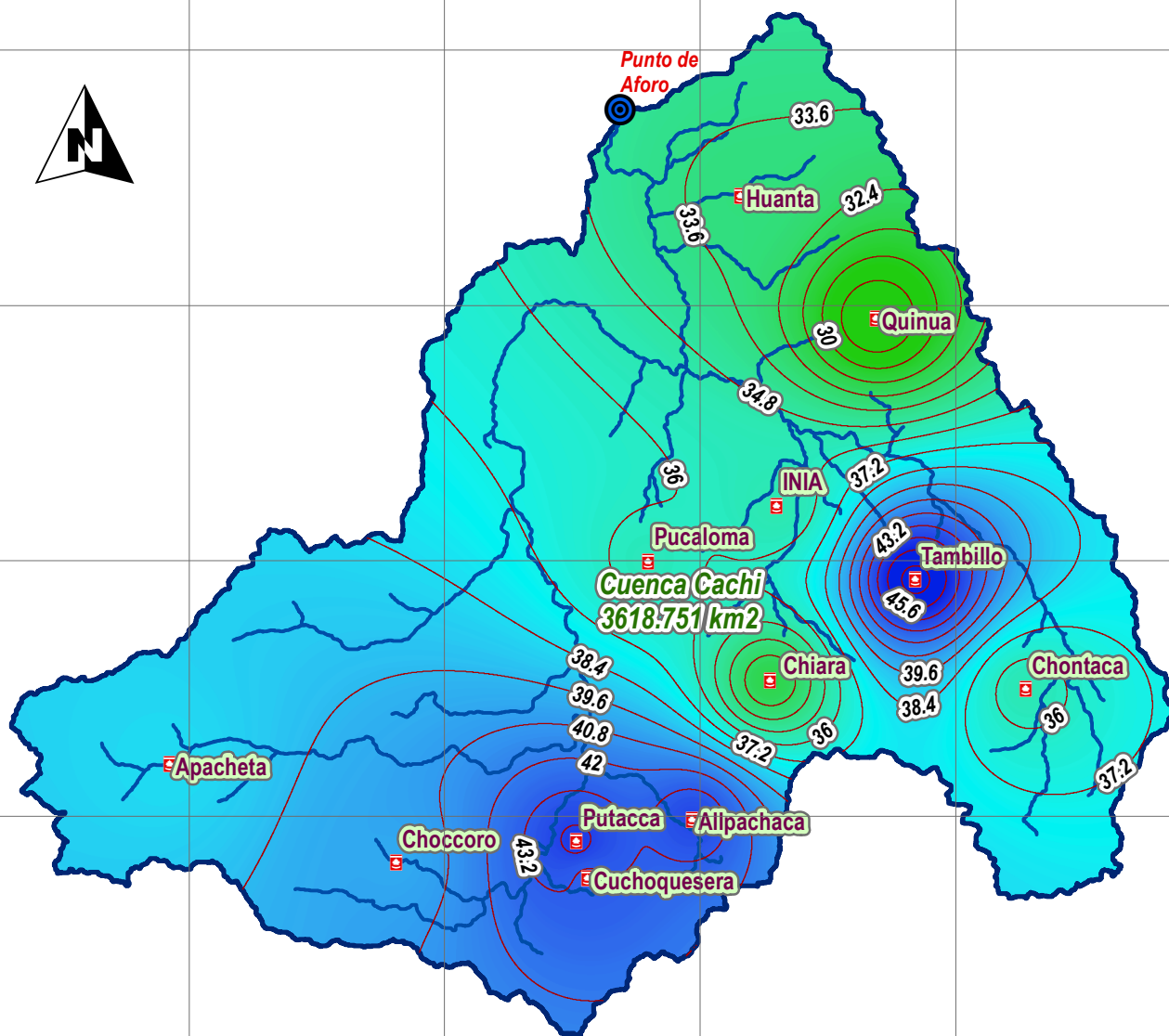
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=100 años D=5min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 10 MIN**



LEYENDA

Imax (mm/h) T=100 años, D=10min

Alto : 47.1898



Bajo : 27.7201

LEYENDA



Estaciones Meteorológicas



Punto de aforo



Curvas Imax T=100 años D=10min



Ríos C

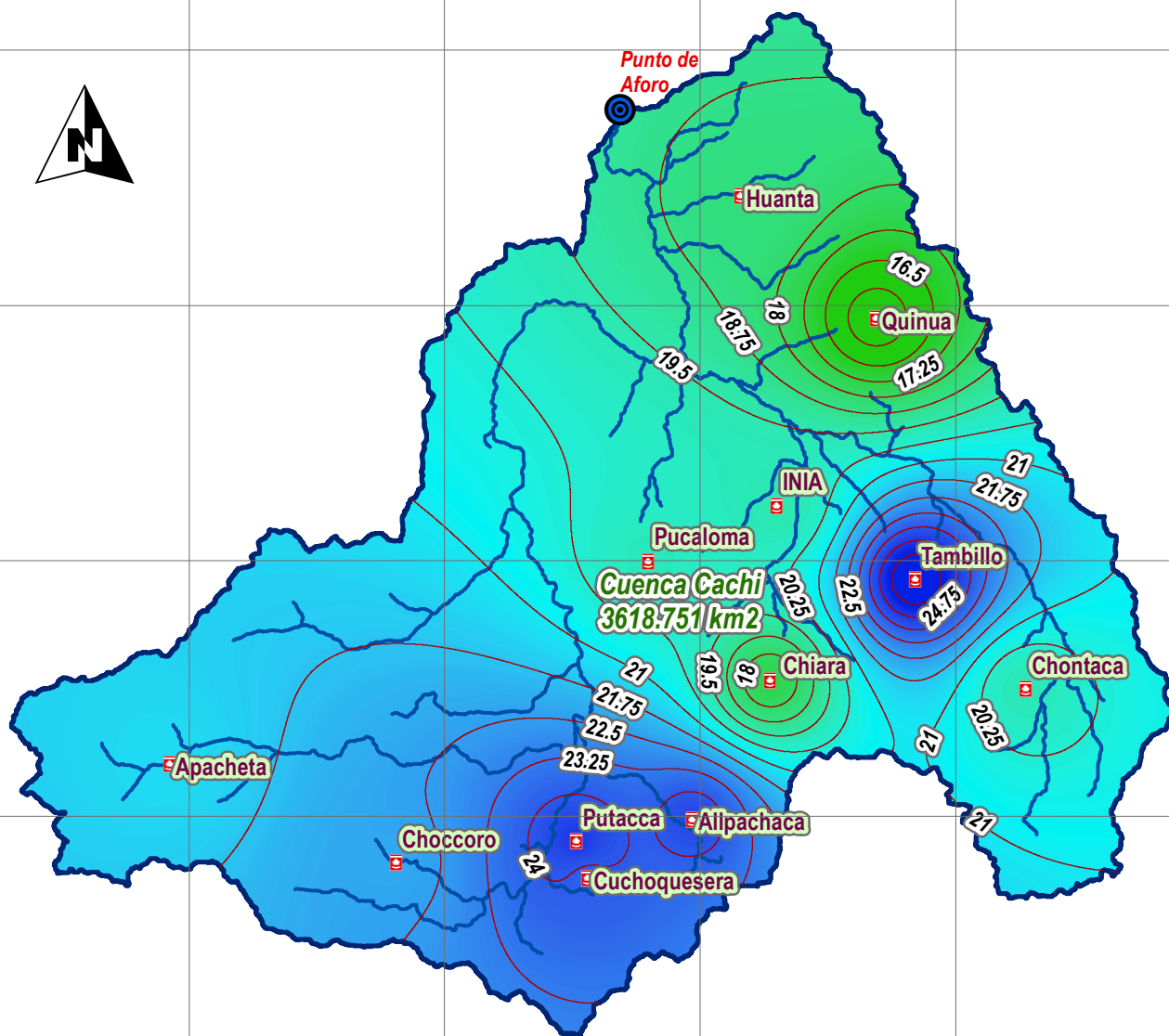


Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 30 MIN**



LEYENDA

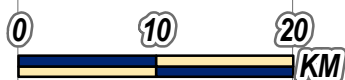
Imax (mm/h) T=100 años, D=30min
Alto : 26.1399
Bajo : 15.35



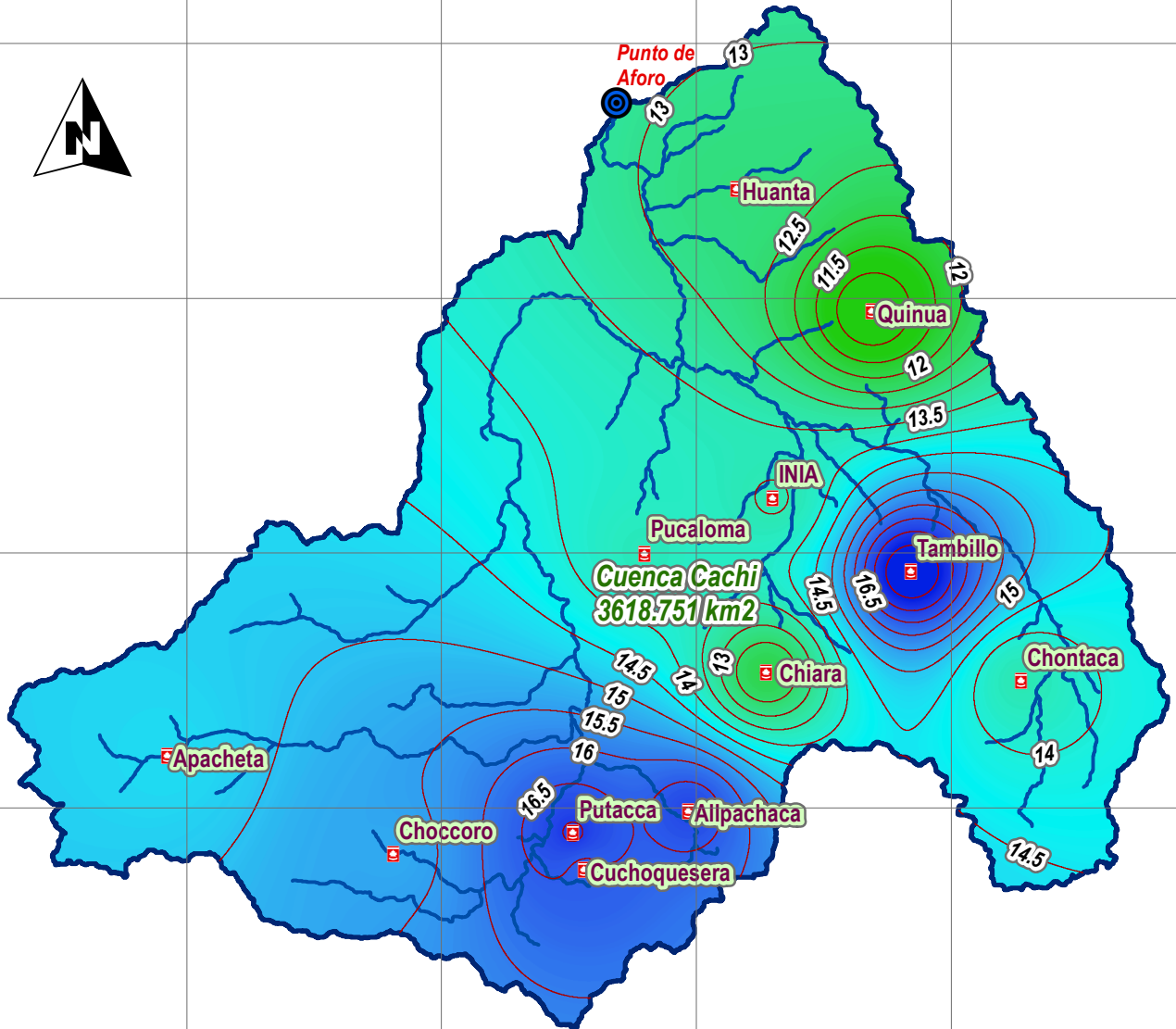
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=100 años D=30min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 60 MIN**



LEYENDA

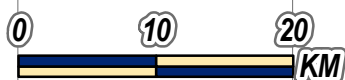
Imax (mm/h) T=100 años, D=60min
Alto : 17.9999
Bajo : 10.58



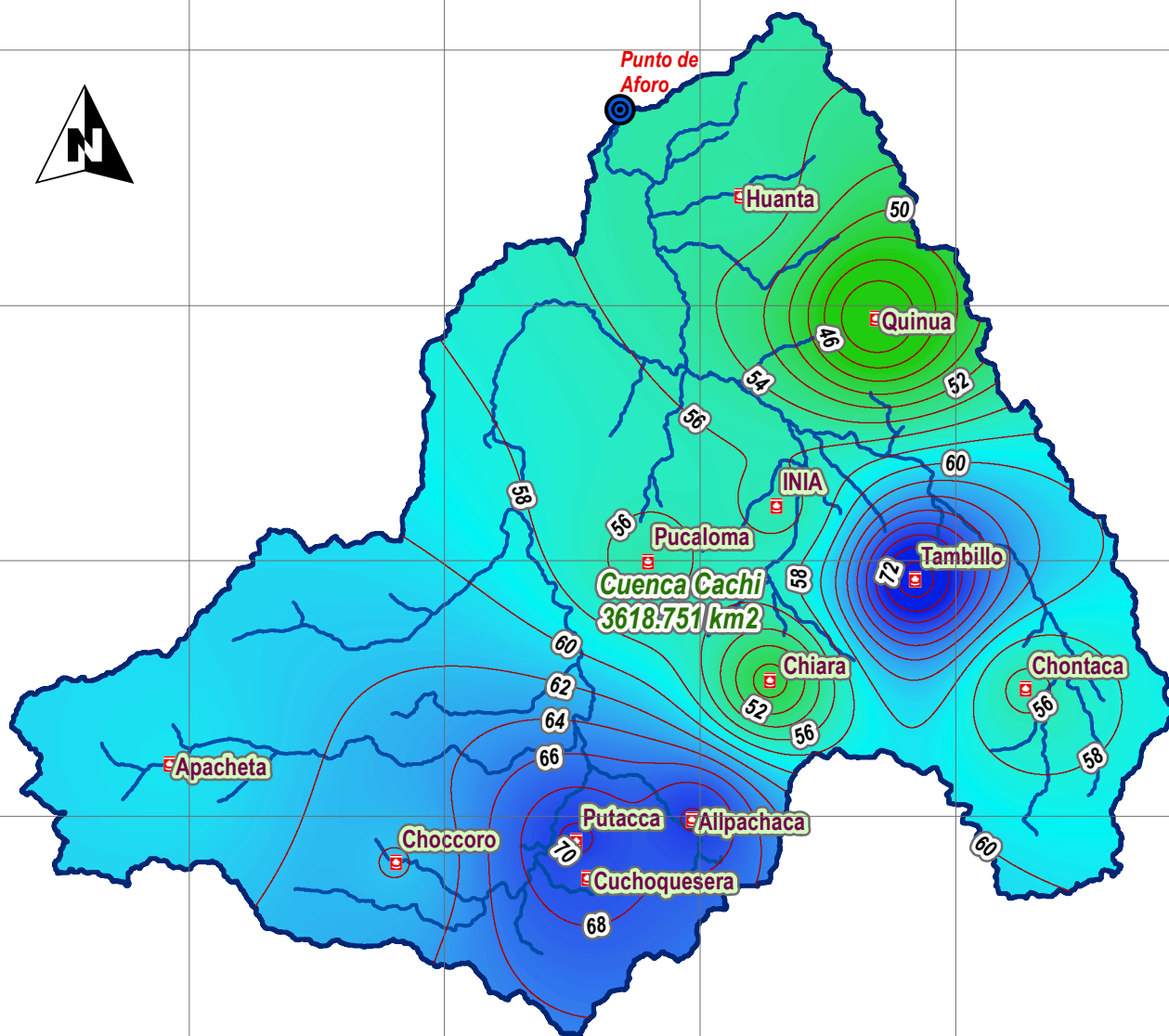
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=100 años D=60min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000

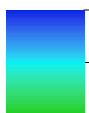


**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 5 MIN**



LEYENDA

Imax (mm/h) T=200 años, D=5min
Alto : 75.0098
Bajo : 42.0202



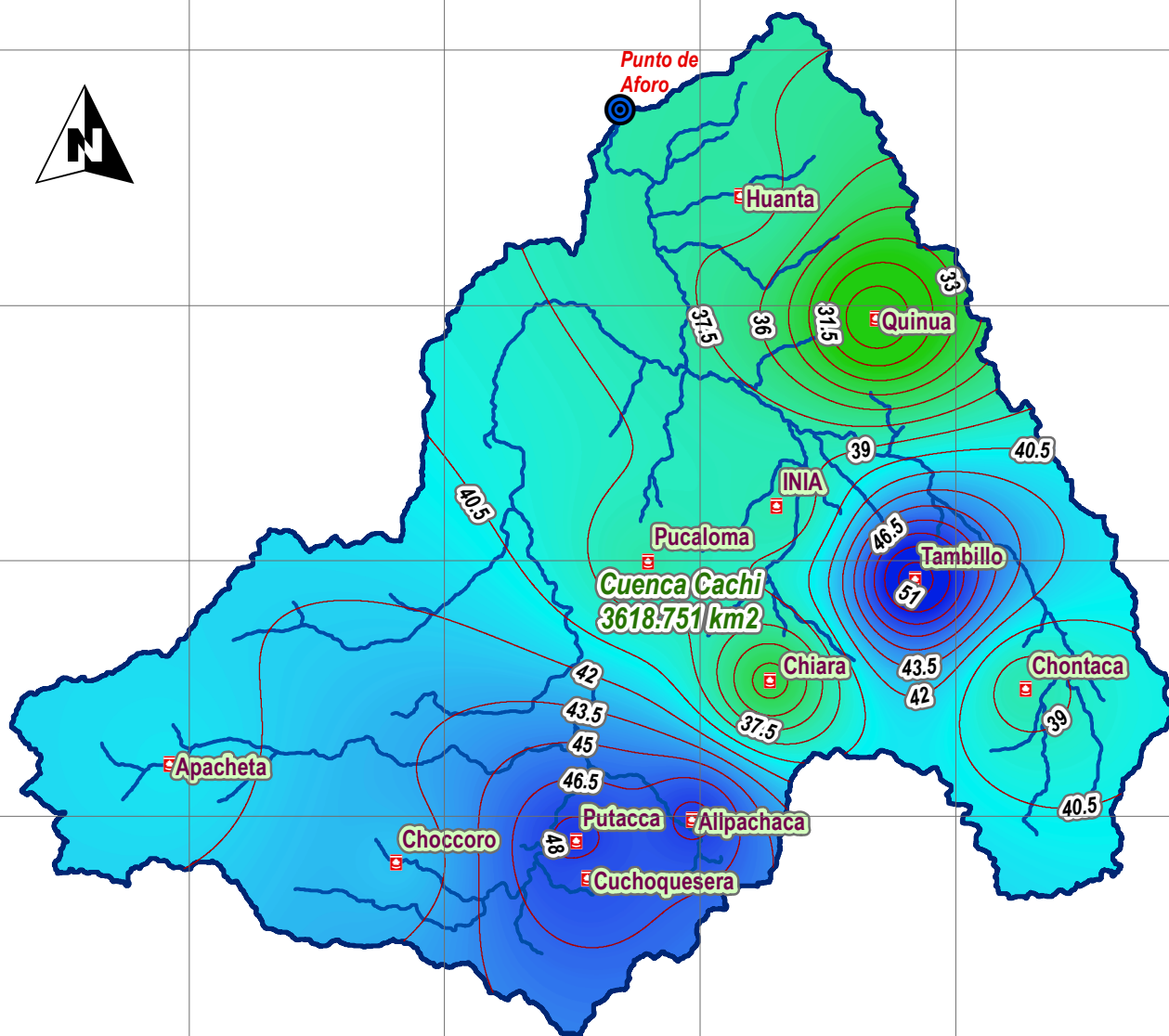
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=200 años D=5min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 10 MIN**



LEYENDA

Imax (mm/h) T=200 años, D=10min

Alto : 51.6698



Bajo : 28.9501

LEYENDA



Estaciones Meteorológicas



Punto de aforo



Curvas Imax T=200 años D=10min



Ríos C

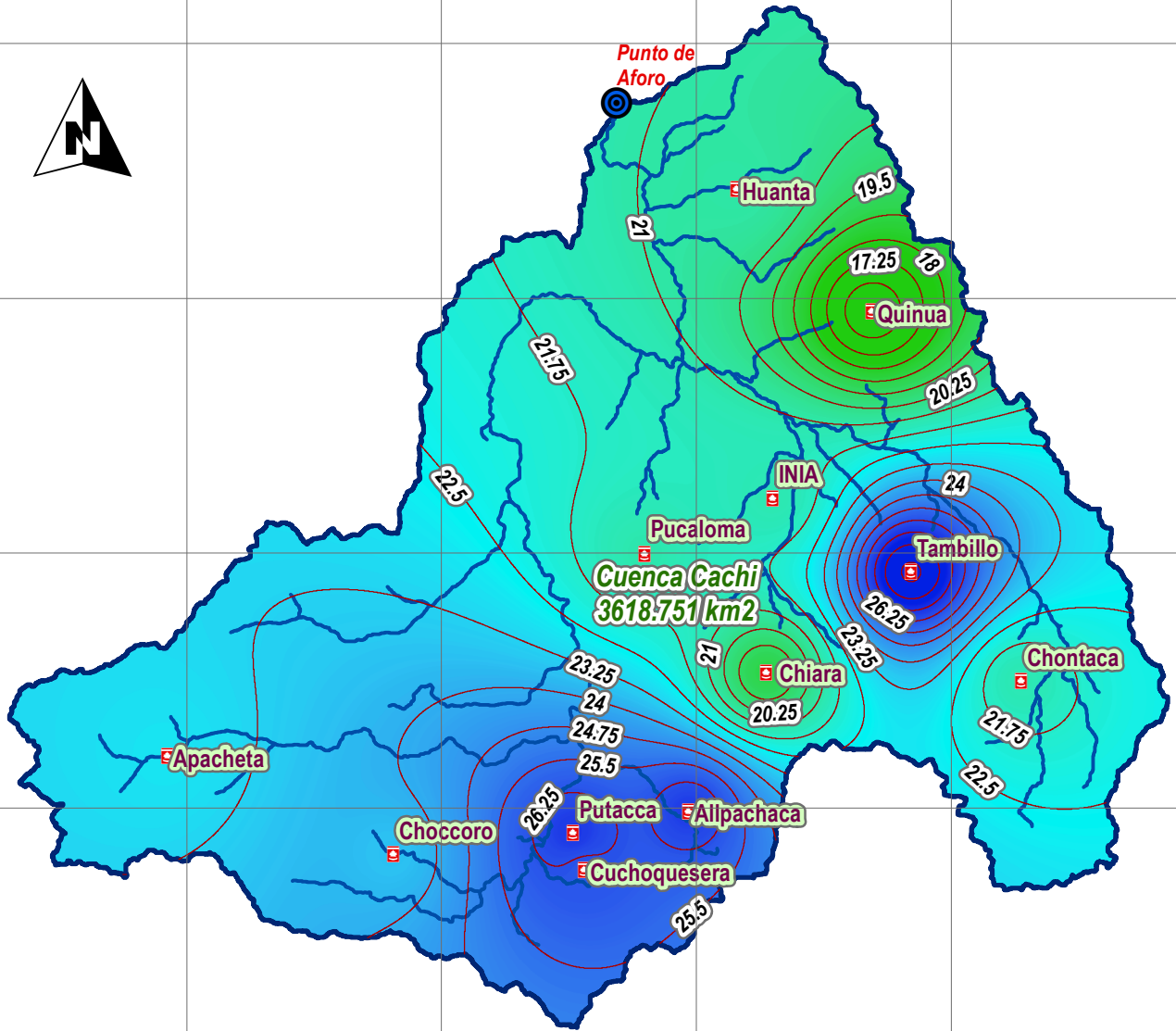


Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 30 MIN**



LEYENDA

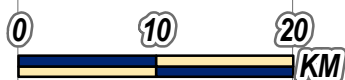
Imax (mm/h) T=200 años, D=30min
Alto : 28.6199
Bajo : 16.0301



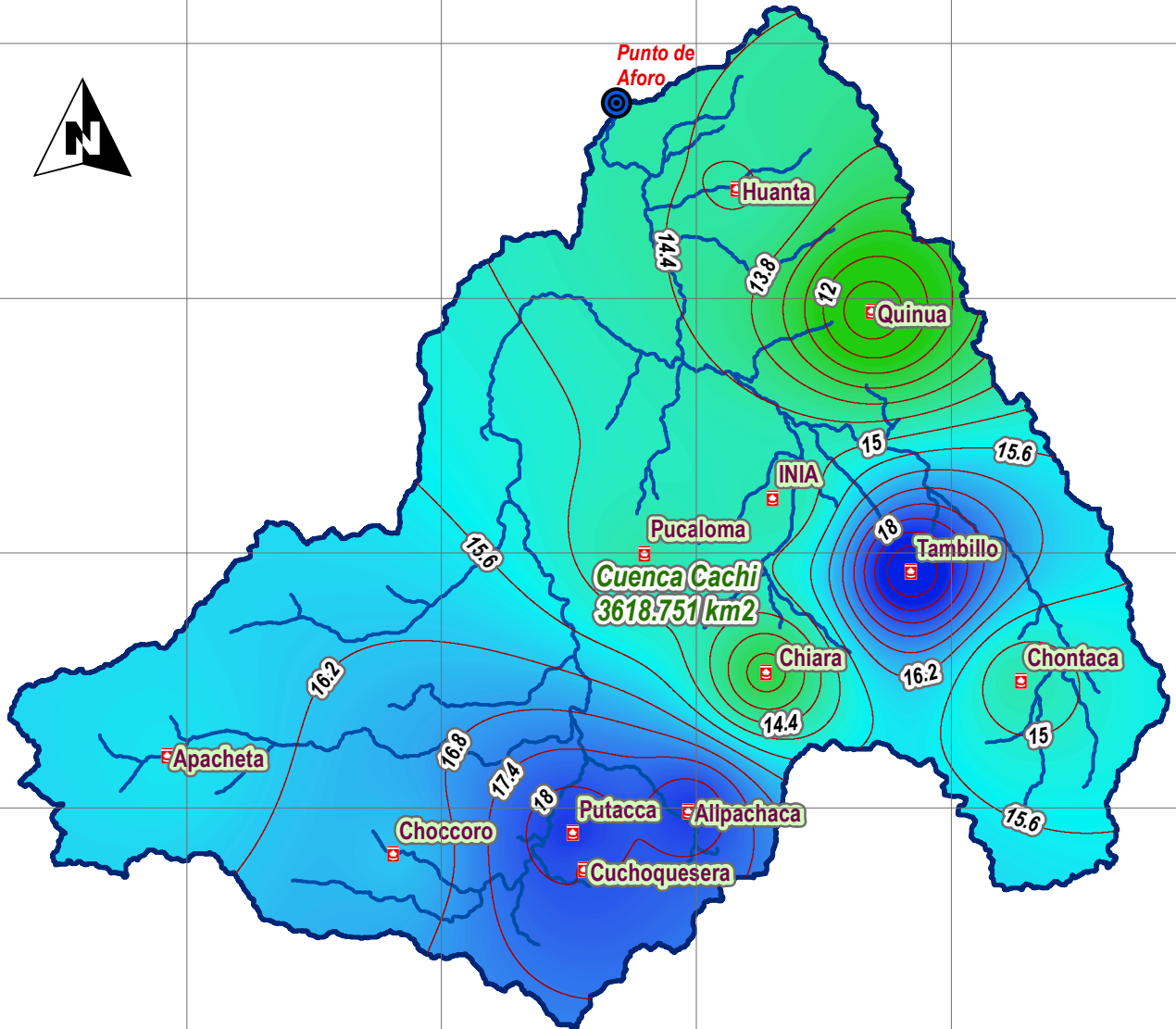
LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=200 años D=30min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UNA FRECUENCIA
T = 200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D = 60 MIN**



LEYENDA

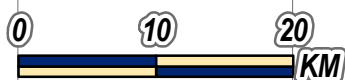
Imax (mm/h) T=200 años, D=60min
Alto : 19.7199
Bajo : 11.05



LEYENDA

- Estaciones Meteorológicas
- Punto de aforo
- Curvas Imax T=200 años D=60min
- Ríos C
- Cuenca Cachi

1:550,000



540000

560000

580000

600000

8580000

8560000

8540000

8520000

8500000

8480000

8460000



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

**TRANSCRIPCIÓN DE ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL LIBRO N° 02 FOLIO 117
Y 118 DEL EX-ALUMNO ROKE JOHN ESPINOZA HUAMÁN, DE LA ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA, PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGRÍCOLA**

En la ciudad de Ayacucho a los tres días del mes de agosto del año dos mil veintidós, siendo las seis y cinco de la tarde se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Dr. Rolando Bautista Gómez, el jurado calificador conformado por los siguientes docentes: M.Sc. Efraín Chuchón Prado, M.Sc. Juan Charapaqui Anccasi como asesor, Ph.D. Sandra Del Águila Ríos y el M.Sc. Richard Alex Oscco Peceros, actuando como secretario docente el Mg. Ennio Chauca Retamozo.

El sustentante **ROKE JOHN ESPINOZA HUAMÁN**, a pedido del señor Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias, procedió a desarrollar el contenido de la Tesis titulada: **Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi - Ayacucho - 2021**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Terminado la exposición, los señores profesores miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones que consideraron convenientes en el orden que señaló el Decano de la Facultad.

Acto seguido el Decano de la Facultad, informa públicamente al sustentante el resultado final, obteniendo la nota aprobatoria de **dieciséis (16)**, felicitándole e instándole al Profesionalismo que todo egresado de Nuestra Casa de Estudios debe demostrar en el desempeño de sus funciones.

Ayacucho, noviembre 14 de 2022.

Mg. Ennio Chauca Retamozo
Secretario docente

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativisar, verificar, garantizar y contolar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por RR N° 294-2022-UNSCH-R y la R.D. N° N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo titulado;

Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi - Ayacucho - 2021

Autor : Roke John Espinoza Huaman

Asesor : Juan Charapaqui Anccasi

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante la RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de **veintidos por ciento (22 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2414782883

Ayacucho, 10 de julio de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias
Ing. Edgar Feroño Mancilla
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación y tesis - FCA

Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi - Ayacucho - 2021

por ROKE JOHN ESPINOZA HUAMAN

Fecha de entrega: 10-jul-2024 10:47a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2414782883

Nombre del archivo: TESIS_ROKE_ESPINOZA_FINAL_TERMINADO_ok.docx (8.55M)

Total de palabras: 28871

Total de caracteres: 151366

Estimación de las intensidades máximas de precipitación y su conceptualización mediante mapas de la cuenca del río Cachi - Ayacucho - 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

4%

3

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

4%

4

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

5

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

2%

6

repositorio.upecen.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
10	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	ribuni.uni.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
14	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad de San Martín de Porres Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Trabajo del estudiante	<1 %
18	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	cooperaccion.org.pe Fuente de Internet	<1 %

20	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	helvia.uco.es Fuente de Internet	<1 %
22	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
23	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.uci.cu Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Organismo de Evaluación y Fiscalización Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to tec Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo