

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LAS INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN
Y ZONIFICACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAMPAS**

Trabajo de Investigación

Para obtener el grado académico de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Presentado por:

RILDO YARIHUAMÁN TACAS

ASESOR:

Dr. José Luis León Untiveros

Huancayo, diciembre 2021

DEDICATORIA

A Dios por proporcionarme inteligencia, sapiencia, salud y ser el guía de mi juventud.

Con el más inmenso respeto, amor, admiración y gratitud a mis queridos padres Moisés y Sabina, símbolo de eterno empeño, esfuerzo y dedicación incansables para mi formación profesional de la ingeniería.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Peruana del Centro, alma mater de mi formación profesional, por haberme brindado la oportunidad de acogerme en su seno del saber.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por impartir conocimientos básicos y de especialidad durante mi desarrollo académico y profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana del Centro quienes me brindaron e inculcaron con paciencia, sus conocimientos y ética profesional en mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRAC	xi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación problemática.....	1
1.2. Formulación del problema	1
1.2.1. Problema general.....	1
1.2.2. Problemas específicos	1
1.3. Justificación teórica	2
1.4. Justificación Práctica	2
1.5. Objetivos.....	2
1.5.1. Objetivo general	2
1.5.2. Objetivos específicos	2
1.6. Hipótesis	3
1.6.1. Hipótesis general.....	3
1.6.2. Hipótesis específicas.....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación.....	4
2.2. Antecedentes del problema	4
2.2.1. Antecedentes Internacionales	4
2.2.2. Antecedentes Nacionales	5
2.2.3. Antecedentes Regionales.....	5

2.3. Bases teóricas	5
2.3.1. Hidrología.....	5
2.3.2. Precipitación.....	6
2.3.2.1. Definición.....	6
2.3.2.2. Formación de las precipitaciones	6
2.3.2.3. Medición de la precipitación.....	7
2.3.3. Estudio de tormentas	8
2.3.3.1. Determinación de la Tormenta de Diseño	8
2.3.3.2. Elementos fundamentales para el análisis de tormentas.....	9
2.3.3.3. Curvas intensidad – duración - frecuencia (I-D-F)	10
2.3.4. Selección del periodo de retorno.....	13
2.3.5. Análisis de los Datos Pluviométricos.....	15
2.3.5.1. Detección de datos atípicos en la serie	16
2.3.5.2. Prueba de Independencia.....	17
2.3.5.3. Prueba de Estacionalidad	19
2.3.5.4. Pruebas de Homogeneidad	20
2.3.6. Funciones de distribución de probabilidades	23
2.3.6.1. Distribución Normal	23
2.3.6.2. Distribución Log Normal 2 parámetros	23
2.3.6.3. Distribución Log Normal 3 parámetros	24
2.3.6.4. Distribución Gamma 2 parámetros	25
2.3.6.5. Distribución Gamma 3 parámetros	25
2.3.6.6. Distribución Log Pearson tipo III	26
2.3.6.7. Distribución Gumbel	26
2.3.7. Selección de la función de distribución de probabilidad	27
2.3.7.1. Análisis gráfico.....	27
2.3.7.2. Método del Error Cuadrático Mínimo	28

2.3.7.3. Pruebas de bondad del ajuste	28
2.3.8. Estadística espacial.....	32
2.3.9. Enfoques para la espacialización de la precipitación	32
2.3.9.1 Métodos deterministas.....	32
2.3.9.2 Métodos estocásticos	33
2.3.10. Métodos de interpolación	33
2.3.10.1. Método de ponderación inverso a la distancia (IDW)	33
2.3.10.2. Kriging Ordinario (KO)	33
2.4. Marco conceptual o glosario	34
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	35
3.1. Tipo y diseño de la investigación	35
3.1.1. Tipo de investigación.....	35
3.1.2. Tipo de análisis	35
3.1.3. Diseño	35
3.2. Población de estudio.....	36
3.3. Tamaño de muestra.....	36
3.4. Técnica de recolección de datos	36
CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE TEMA	37
4.1. Ubicación	37
4.1.1. Ubicación hidrográfica.....	37
4.1.2. Ubicación administrativa	37
4.2. Materiales y equipos	38
4.2.1. Materiales.....	38
4.2.2. Equipos	39
4.3. Trabajos previos o de campo.....	39
4.3.1. Recopilación de la información existente y ubicación del punto de aforo.....	39

4.4. Trabajos de gabinete	39
4.4.1. Tratamiento de datos	39
4.4.1.1. Análisis exploratorio de datos	40
4.4.1.2. Análisis de tendencia	40
4.4.1.3. Selección de la función de distribución de probabilidad	41
4.4.1.4. Precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno	41
4.4.2. Determinación de las curvas IDF	41
4.4.2.1. Precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno.....	41
4.4.2.2. Intensidad distribuida de precipitación	41
4.4.2.3. Determinación de las ecuaciones de curvas IDF	42
4.4.3. Zonificación de las intensidades máximas de precipitación	42
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
5.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	43
5.1.1. Tratamiento de datos sobre precipitación máxima	43
5.1.2. Determinación de las ecuaciones de las curvas IDF	47
5.1.3. Zonificación de las intensidades máximas de precipitación	54
5.2. Pruebas de hipótesis	55
5.3. Presentación de resultados	55
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS	57
6.1. Desagregado del presupuesto del trabajo de investigación.....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	62

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora	12
Cuadro 2.2. Valores de Período de Retorno T (Años).....	14
Cuadro 2.3. Valores aconsejados de riesgo admisible de obras de drenaje	15
Cuadro 2.4. Valores Kn para la prueba de datos atípicos	16
Cuadro 2.5. Valores de Kcri para el test de Kendall.....	20
Cuadro 2.6. Fórmulas de probabilidades empíricas	30
Cuadro 2.7. Nivel de significancia para la prueba de Smirnov-kolmogorov	30
Cuadro 4.1: Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio	37
Cuadro 4.2: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pampas.....	40
Cuadro 5.1: Láminas para distintas frecuencias - estación Andahuaylas	43
Cuadro 5.2: Láminas para distintas frecuencias - estación Andamarca.....	44
Cuadro 5.3: Láminas para distintas frecuencias - estación Aucará.....	44
Cuadro 5.4: Láminas para distintas frecuencias - estación Chilcayocc.....	44
Cuadro 5.5: Láminas para distintas frecuencias - estación Huanca Sancos....	45
Cuadro 5.6: Láminas para distintas frecuencias - estación Pampa Cangallo...	45
Cuadro 5.7: Láminas para distintas frecuencias - estación Sachabamba	45
Cuadro 5.8: Láminas para distintas frecuencias - estación San Miguel	46
Cuadro 5.9: Láminas para distintas frecuencias - estación Túnel Cero	46
Cuadro 5.10: Láminas para distintas frecuencias - estación Vilcas Huamán ...	46
Cuadro 6.1. Presupuesto para la elaboración del trabajo de investigación	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Pluviómetro estándar del U.S.....	7
Figura 2.2. Pluviograma	8
Figura 2.3. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima....	11
Figura 2.4. Riesgo de al menos una superación del evento de diseño durante la vida útil	14
Figura 4.1: Ubicación de AAA XI Pampas Apurímac (Ubicación Administrativa)	38
Figura 5.1: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Andahuaylas	47
Figura 5.2: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Andahuaylas	47
Figura 5.3: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Andamarca.....	48
Figura 5.4: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Andamarca.....	48
Figura 5.5: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Aucará.....	48
Figura 5.6: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Aucará.....	49
Figura 5.7: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Chilcayocc.....	49
Figura 5.8: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Chilcayocc.....	49
Figura 5.9: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Huanca Sancos.....	50
Figura 5.10: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Huanca Sancos.....	50
Figura 5.11: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Pampa Cangallo.....	50
Figura 5.12: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Pampa Cangallo.....	51
Figura 5.13: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Sachabamba	51
Figura 5.14: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Sachabamba	51
Figura 5.15: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación San Miguel	52
Figura 5.16: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación San Miguel	52
Figura 5.17: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Túnel Cero	52
Figura 5.18: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Túnel Cero	53
Figura 5.19: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Vilcas Huamán	53
Figura 5.20: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Vilcas Huamán	53

Figura 5.21: Intensidades máximas de precipitación para un periodo de retorno TR = 100 años y tiempo de duración D = 10 min	54
--	----

RESUMEN

Este trabajo de investigación se apunta en la determinación de las intensidades máximas de precipitación y zonificación de la cuenca del río Pampas y según la ubicación hidrográfica se encuentra en la vertiente Amazonas, cuenca Pampas Apurímac y subcuenca Pampas. Por consiguiente, se tuvo como objetivos específicos de: Recolectar y procesar datos sobre precipitación máxima de estaciones meteorológicas, Generar las ecuaciones de las curvas IDF para cada una de las estaciones pluviométricas y zonificar las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del río Pampas. Se utilizaron herramientas de cálculo basada en el sistema de información geográfica GIS, en nuestro caso el programa ArcGis, aplicando el método de interpolación espacial a través de IDW. Se pudo concluir que las intensidades máximas de precipitación y la zonificación del mismo en mapas serán útiles en el diseño de estructuras hidráulicas de futuros proyectos en la cuenca del río Pampas.

Palabras clave: Intensidad máxima de precipitación, Curvas IDF.

ABSTRAC

This research work is aimed at determining the maximum intensities of precipitation and zoning of the Pampas river basin and according to the hydrographic location it is located in the Amazon slope, Pampas Apurímac basin and Pampas sub-basin. Consequently, the specific objectives of the following were: Collect and process data on maximum precipitation from meteorological stations, Generate the equations of the IDF curves for each of the pluviometric stations, and zone the maximum precipitation intensities in the Pampas river basin. Calculation tools based on the GIS geographic information system were used, in our case the ArcGis program, applying the spatial interpolation method through IDW. It was concluded that the maximum precipitation intensities and its zoning on maps will be useful in the design of hydraulic structures for future projects in the Pampas river basin.

Key words: Maximum intensity of precipitation, IDF curves.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

El problema fundamental observado a nivel de la cuenca del río Pampas fue que los mayores eventos de precipitación ocurren año tras año, provocando inundaciones en la parte baja de la cuenca, daños a los proyectos viales de conservación de agua en la cuenca y erosión del suelo. El suelo está erosionado. Muchas protecciones diseñadas para el evento más grande necesitan estimar el caudal máximo, usando la probabilidad obtenida del registro histórico. Pero en ausencia de estaciones hidrométricas y solo contar con estaciones meteorológicas y estas son mínimas con respecto al área de la cuenca Pampas, este debe estimarse a partir de la precipitación, que en este caso es la precipitación máxima. Por eso fue necesario proponer la zonificación de la precipitación máxima para que la precipitación de cada lugar de la cuenca del río Pampas se pueda estimar con mayor precisión.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye la determinación de las intensidades máximas de precipitación y la zonificación de la cuenca del río Pampas?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera influirá la recolección y el procesamiento de los datos sobre precipitación máxima de estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pampas?
- ¿Cómo influirá la determinación de las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación de la cuenca del río Pampas?

- ¿En qué influirá la zonificación de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del río Pampas?

1.3. Justificación teórica

El presente trabajo de investigación es justificado porque en todos los estudios para el aprovechamiento hídrico de una determinada cuenca hidrográfica es necesario la información de intensidades de precipitaciones máximas en un punto de interés de la cuenca hidrográfica, con la finalidad de determinar su potencial aprovechable o tomar previsiones para su protección.

1.4. Justificación Práctica

El presente trabajo de investigación permitirá emplear de manera adecuada la zonificación de la cuenca Pampas de las intensidades máximas de precipitación para lograr una óptima generación de eventos máximos en un punto de interés de la red hídrica, con fines de planeamiento hídrico y/o diseño de estructuras hidráulicas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar las intensidades máximas de precipitación y zonificar la cuenca del río Pampas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar y procesar la información instantánea obtenida de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pampas.
- Determinar las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación de la cuenca del río Pampas.
- Zonificar las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del río Pampas.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La determinación de las intensidades máximas de precipitación y la zonificación de la cuenca, influirá de manera relevante e importante en el diseño de estructuras hidráulicas en la cuenca del río Pampas.

1.6.2. Hipótesis específicas

- La recolección y procesamiento de los datos sobre precipitación máxima de estaciones meteorológicas, influirá de manera relevante e importante en la determinación de las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación de la cuenca del río Pampas.
- La determinación de las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación, influirá de manera relevante e importante en la obtención de las intensidades máximas de las estaciones en estudio de la cuenca del río Pampas.
- La zonificación de las intensidades máximas de precipitación, influirá de manera relevante e importante en la determinación de las intensidades máximas de precipitación en cualquier lugar de la cuenca del río Pampas.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación

La exigencia de consolidar en el conocimiento de las intensidades máximas de precipitación como variable sin dependencia y la zonificación de la cuenca en mapas de las intensidades máximas de precipitación como variable dependiente, nace la necesidad de hacer una averiguación para conocer las repercusiones de manipular las intensidades máximas de precipitación, que determinan variaciones significativas en el ámbito del área de influencia del proyecto, en la determinación de eventos máximos, dando motivo al estudio de varias posiciones favorables u opuestas, que tienen la posibilidad de ofrecer prioridad a la solución de inconvenientes ordinarios en la determinación de los caudales máximos; No obstante, la zonificación de las intensidades máximas de precipitación aspira ofrecer contestación a las cuestiones con hechos probados que demuestren que son los puntos más relevantes a tener en cuenta en el momento de plantear proyectos de ingeniería (estructuras hidráulicas, como obras de drenaje de carreteras, obras de alcantarillado, control y evacuación de inundaciones, diseño de conservación de suelos, protección de riberas, u otros).

2.2. Antecedentes del problema

2.2.1. Antecedentes Internacionales

Acosta (2016) en su trabajo de investigación realizó “Estimación de curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) en puntos geográficos sin registros históricos de precipitación”, que cuyo objetivo de estudio fue “determinar las curvas IDF en sitios sin estaciones pluviográficas de la zona central del departamento de Boyacá, mediante la interpolación de la intensidad media de precipitación y la interpolación de los parámetros u y α de la función de probabilidad de valor extremo tipo I”.

Awadallah, ElGamal, ElMostafa y ElBadry (2011) en sus estudios completados en relación a la regionalización de las curvas IDF como entre otras cosas para la zona del noreste de Angola, en el que, a la baja proporción de estaciones pluviométricas, no se podía asegurar un correcto manejo de datos, ni parámetros hidrológicos. Contando con datos tomados por satélites correspondientes, se elaboraron los parámetros hidrológicos, introduciendo principalmente las curvas IDF para la zona citada.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

Anaya (2017) en su investigación de tesis realizó “Modelo regional de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del Mantaro – Junín-2015”, el objetivo de su investigación estaba enfocado en “estimar un modelo regional para las intensidades máximas de precipitación, para diferentes tiempos de duración y periodos de retorno en la cuenca del Mantaro”.

Parizaca (2012) en su tesis efectuó el estudio “Regionalización de precipitaciones máximas en la cuenca del río Ramis”, que cuyo objetivo de estudio fue “realizar la regionalización de las precipitaciones máximas en la cuenca del río Ramis”.

2.2.3. Antecedentes Regionales

No se cuenta con antecedentes regionales.

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Hidrología

Breña y Jacobo (2006) ratifica que “es la ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice:

- Las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global y;
- El movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria”.

2.3.2. Precipitación

2.3.2.1. Definición

Chow, Maidment & Mays (1994) definieron que “la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca”.

Aparicio (1992) menciona que, “desde la perspectiva de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la principal fuente de agua en la extensión de la tierra y sus mediciones constituyen el punto de inicio para la mayoría de los estudios relacionados con el uso y control del agua”. En este capítulo se estudiarán 2 puntos primordiales de la precipitación: por un lado, la forma en que se manifiesta y ciertos procedimientos con que se puede pronosticar en determinadas condiciones atmosféricas, para lo que va a ser primordial verificar ciertos puntos básicos de meteorología y, por otro, cómo se mide la precipitación y varios criterios para el estudio, síntesis, corrección y procesamiento de los datos.

2.3.2.2. Formación de las precipitaciones

Chow et al (1994) señala que “la formación de precipitación necesita aumentar una masa de agua en la atmósfera de tal forma que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los 3 mecanismos primordiales para levantar masas de aire son”:

- **la altura frontal**, donde el aire caliente es alto sobre aire gélido por un pasaje frontal.
- **la altura orográfica**, por medio de la cual una masa de aire se eleva para pasar por arriba de una cadena montañosa.
- **la altura convectiva**, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como pasa en el interior de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostienen por el calor latente de vaporización liberado mientras el vapor del agua asciende y lleva a cabo el proceso de condensación.

2.3.2.3. Medición de la precipitación

Chereque (1989) señala que “existen básicamente tres tipos de instrumentos”.

2.3.2.3.1. Pluviómetros simples

Chereque (1989) señala que “en principio cualquier recipiente abierto con paredes verticales puede actuar como pluviómetro, porque lo importante es retener el agua de lluvia y luego medirla. En el sistema métrico se mide en milímetros y décimas de milímetro”. No obstante, es fundamental que las magnitudes de dichos aparatos estén estandarizadas para poder comparar las mediciones realizadas en diferentes lugares.

El pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service (figura. 2.1) consta de un recipiente cilíndrico (a), un embudo colector (b) de diámetro 8" y un tubo medidor (c) de área igual a un décimo del área del embudo colector; de esta manera, 1 mm de lluvia llenará el tubo medidor 10 mm con el cual se mejora la precisión de la lectura. Con una regla graduada en mm es posible estimar hasta los décimos de mm.

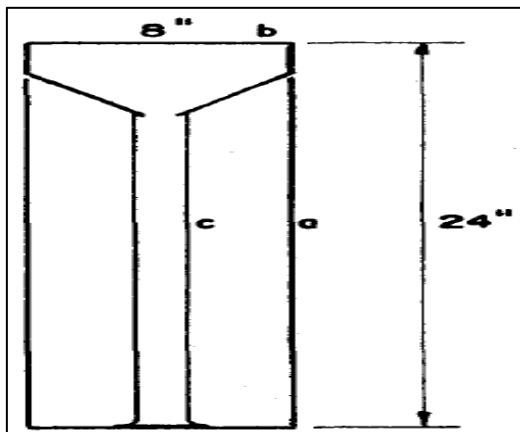


Figura 2.1. Pluviómetro estándar del U.S.

Fuente: Chereque (1989)

Una vez que se espera nieve, se retiran tanto el embudo como la tubería y se obtiene la nieve en el depósito cilíndrico; después de que la nieve se haya derretido, se vierte en el tubo de medición.

2.3.2.3.2. Pluviómetros registradores (pluviógrafo)

Chereque (1989) menciona que “los pluviómetros simples sólo registran la proporción de lluvia caída; no nos mencionan nada sobre la intensidad que asume en el transcurso de la precipitación, que se logra con los pluviómetros”.

El movimiento oscilante del tanque se transmite a una aguja que marca su línea en un papel enrollado en un tambor que gira gracias a un mecanismo de relojería. El gráfico resultante se llama pluviograma. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma.

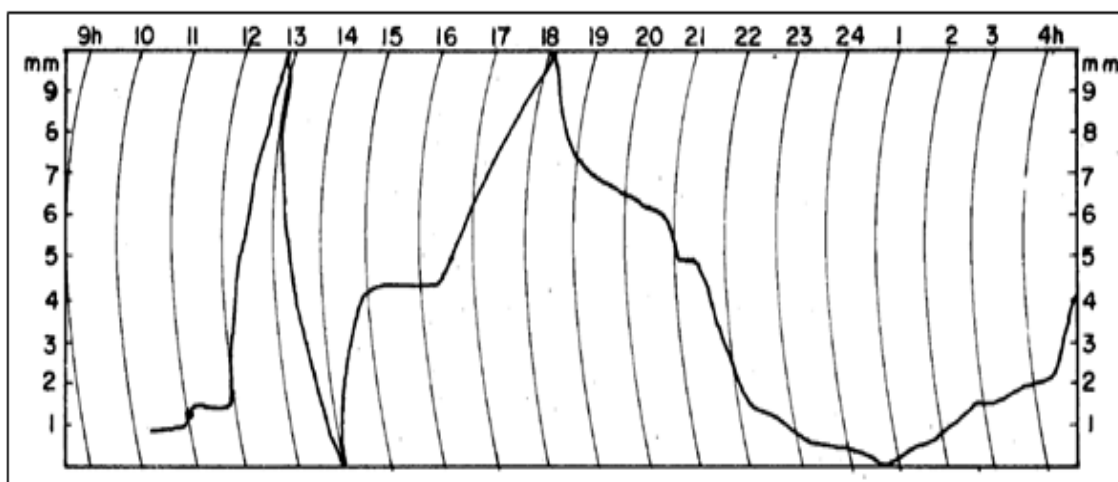


Figura 2.2. Pluviograma

Fuente: Chereque (1989)

2.3.3. Estudio de tormentas

2.3.3.1. Determinación de la Tormenta de Diseño

Chow et al (1994) menciona que “una tormenta de diseño es un modelo de precipitación definido para su uso en el diseño de un sistema hidrológico. Por lo general, la tormenta de diseño constituye la entrada al sistema y los caudales resultantes a través del sistema se calculan utilizando los procedimientos de lluvia - escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse por un valor de profundidad de lluvia en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta, o mediante un mapa de isoyetas que especifique el patrón espacial de la precipitación”.

2.3.3.2. Elementos fundamentales para el análisis de tormentas

Para el análisis de una tormenta se tienen que considerar los siguientes elementos.

- **Intensidad:**

Villón (2002) expresa que “es la proporción de agua que se precipita en un determinado tiempo. De particular interés en cada tormenta es la intensidad máxima que ha ocurrido, o sea, la altura máxima de caída por unidad de tiempo. Por lo tanto, la intensidad se expresa de la siguiente forma”:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \quad Ec. (1)$$

Dónde:

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

P : Precipitación en altura de agua, en mm

t : Tiempo en horas.

- **Duración:**

Villón (2002) manifiesta que es “el tiempo que transcurre entre el inicio y el final de la tormenta, medido en minutos u horas. Es importante para determinar las intensidades máximas. La intensidad y la duración se toman de un pluviograma o una cinta pluviográfica”.

- **Frecuencia:**

Villón (2002) expresa que “es la frecuencia con la que se repite una tormenta, definiendo las características de intensidad y duración en un período de tiempo más o menos extenso, que suele medirse en años”.

Chow et al (1994) define que “es la frecuencia se expresa en función del período de retorno, T, que es el intervalo de tiempo promedio entre los eventos de precipitación que cumplen o superan el punto de referencia”.

- **Periodo de Retorno:**

Villón (2002) define que “es el intervalo de tiempo promedio dentro del cual un acontecimiento de intensidad x podría alcanzarse o superarse en promedio al menos una vez”.

$$T = \frac{1}{f} \quad Ec. (2)$$

Donde:

T : Periodo de retorno.

f : Frecuencia

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

MTC (2011) señala que “es la intensidad es la tasa de precipitación en el tiempo, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Esta puede ser la intensidad instantánea o la intensidad media durante la duración de la lluvia. A menudo se utiliza la intensidad media”, que se puede expresar como:

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

Dónde:

i : Intensidad.

P : Profundidad de lluvia en mm.

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

Para establecer estas curvas IDF es obligatorio contar con registros pluviográficos de la precipitación en el punto de interés y elegir la precipitación más fuerte de diferentes duraciones en cada año para poder realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben inspeccionar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y, de estos hietogramas, seleccionar la lluvia correspondiente a la hora más húmeda, las dos horas más húmedas, las tres horas, etc. Con los valores escogidos, se forman series anuales para cada uno de los tiempos de ejecución seleccionados. Estas series anuales se forman seleccionando el valor observado más alto para cada duración en cada año récord para obtener un valor para cada año y duración.

Cada serie se somete a un examen de frecuencia que asigna modelos de probabilidad. De esta forma, se obtiene un mapa de probabilidad de la intensidad de precipitación perteneciente a cada duración, en una única gráfica de

intensidad versus duración, utilizando como parámetro el período de retorno, como se manifiesta en la figura 2.3.

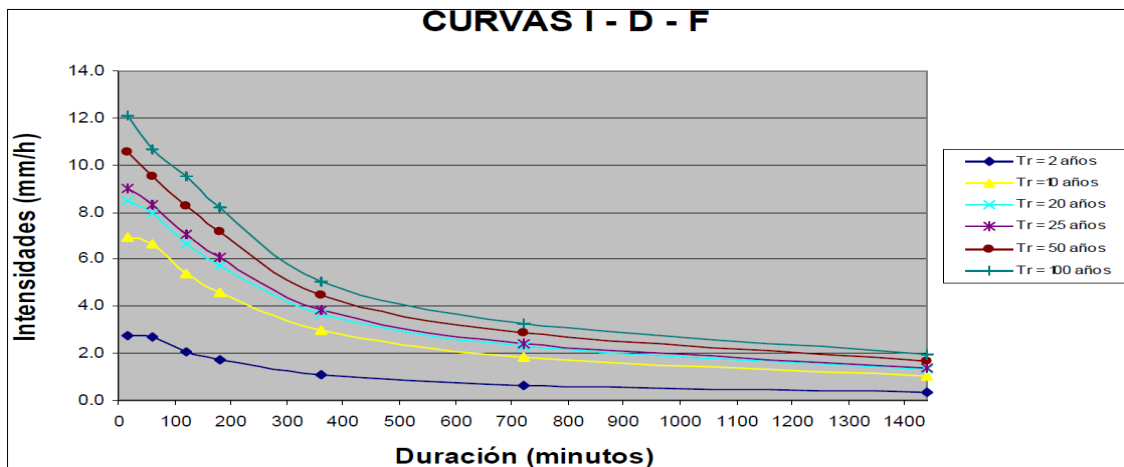


Figura 2.3. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima

Fuente: MTC (2011)

Las curvas IDF tienen la posibilidad de manifestarse como ecuaciones para evitar leer la intensidad de lluvia de diseño en un gráfico. Un modelo general se ve así:

$$I = \frac{a}{(D + b)^m} \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

I : intensidad de lluvia de diseño.

D : duración.

a, b y m : coeficientes que varían según la zona de estudio y el período de retorno.

Para determinarlo, también es necesario linealizar la ecuación de antemano y luego encontrar los parámetros a, b y m mediante una regresión lineal.

La duración de la precipitación de diseño es lo mismo al tiempo de concentración (t_c) para la zona de drenaje considerada, ya que la escorrentía alcanza su pico en el momento de concentración, una vez que todo el sector está contribuyendo al flujo en la salida.

En nuestro país estas curvas difícilmente se pueden elaborar debido a la escasa información pluviográfica disponible. Por lo general, solo hay una precipitación máxima en 2 horas, por lo que el valor de la intensidad de la precipitación máxima

generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 2 horas multiplicada por un coeficiente de duración; en el cuadro 2.1 se presentan los coeficientes de duración entre 1 hora y 48 horas, los mismos que se pueden utilizar con criterio y precaución para calcular la intensidad cuando no se dispone de mejor información.

Cuadro 2.1. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

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 como un procedimiento lo siguiente:

1. Seleccionar las lluvias mayores para diferentes tiempos de duración.
2. Ordenar de mayor a menor.
3. Asignar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
4. Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
5. Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración.

Si no existen registros de precipitación en el área de investigación con los que se puedan determinar las intensidades máximas, estas se pueden calcular utilizando el método Dyck-Peschke, que relaciona la duración de la tormenta con la cantidad máxima de precipitación en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

Pd : Precipitación total (mm).

d : Duración en minutos.

P24h : Precipitación máxima en 24 horas (mm).

La intensidad se determina dividiendo la precipitación Pd entre la duración y las curvas intensidad - duración - frecuencia se obtienen de acuerdo con la siguiente relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad Ec. (6)$$

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).

2.3.4. Selección del periodo de retorno

MTC (2011) señala que “el tiempo promedio en años en el que se alcanza o supera el valor máximo de descarga de una determinada crecida cada T años se denomina período de retorno T. Si se supone que los eventos anuales son independientes, la probabilidad de falla se puede calcular para una vida útil de n años”.

El riesgo de falla admisible según el periodo de retorno y la vida útil de la obra viene dado por:

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

Si la construcción tiene una vida útil de n años, “la ecuación anterior facilita la determinación del período de retorno T, estableciendo el riesgo de falla admisible R, que es la probabilidad de ocurrencia del pico de la crecida en estudio durante la vida útil de la obra” (Ver figura 2.4).

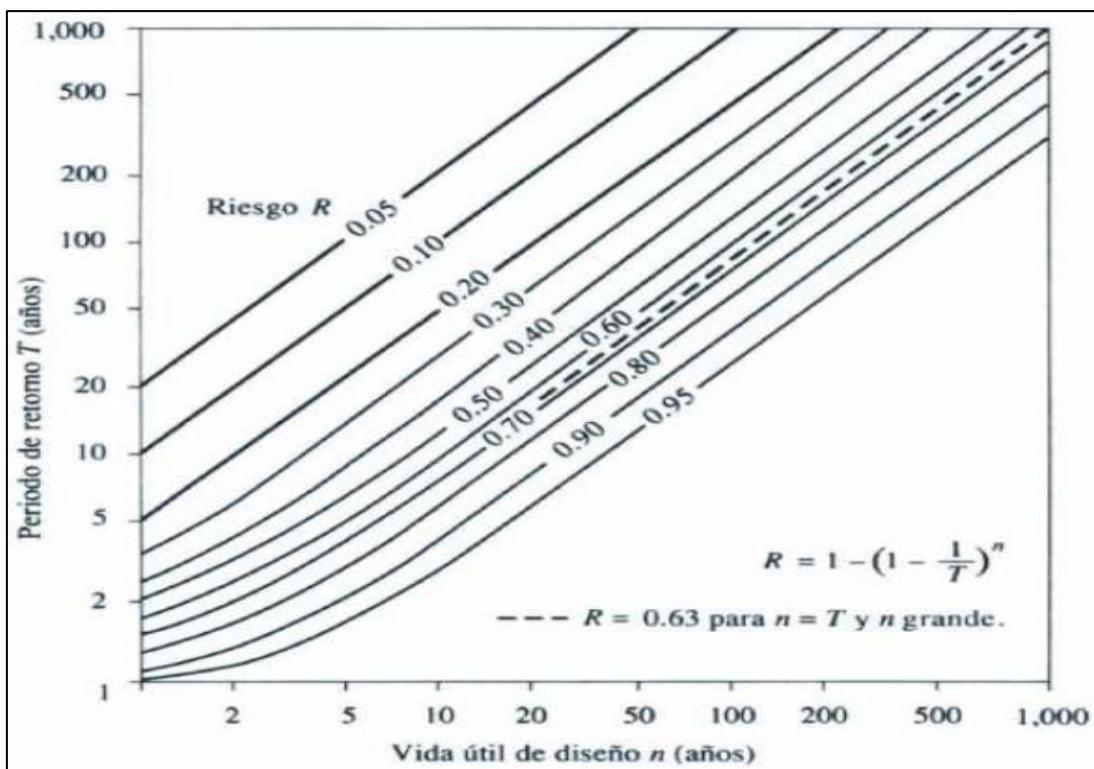


Figura 2.4. Riesgo de al menos una superación del evento de diseño durante la vida útil

Fuente: MTC (2011)

En el cuadro 2.2 se muestra el valor T para los distintos riesgos admisibles R y para la vida útil n de la construcción.

Cuadro 2.2. 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)

Según los valores mostrados en el cuadro 2.2, se aconseja recurrir a los siguientes valores de riesgo máximo permisible para trabajos de drenaje:

Cuadro 2.3. Valores aconsejados 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 determinación de la luz y nivel de máximas avenidas.
- Se aconseja un período de retorno T de 500 años para la determinación de socavación.

(**)

- Vida Útil considerado n=25 años.
- Se tiene que tener en cuenta, la prioridad y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una construcción es el que concretiza el riesgo admisible de falla y la vida útil de las construcciones.

2.3.5. Análisis de los Datos Pluviométricos

Chereque (1989) señala que “la cantidad de precipitación medida con pluviómetros varía de un lugar a otro y de un momento a otro en el mismo lugar. Estas mediciones representan un gran conjunto de datos que deben analizarse en proyectos hidráulicos y sintetizar en algunos valores más manejables y fáciles de usar. Para ello se utilizan estadísticas, con un modelo matemático seleccionado que representa el comportamiento de la lluvia en el lugar examinado”.

Audagna (2014) menciona que “en este apartado se amplían los cuatro controles que se efectúan sobre cada una de las series de precipitaciones máximas diarias, para asegurar que la muestra de la que partimos sea definida, es decir, describa las particularidades generales de la población a la que pertenece, y que la estadística inferencial se le puede aplicar”.

2.3.5.1. Detección de datos atípicos en la serie

Audagna (2014) expresa que “los valores atípicos se definen como conjuntos de datos que se desvían significativamente de la tendencia observada en la muestra (asumiendo que están distribuidos normalmente). Mantener o eliminar estos datos puede afectar significativamente el tamaño de los parámetros estadísticos, especialmente con muestras pequeñas”.

La metodología para la identificación de datos atípicos radica en analizar la serie histórica de datos pertenecientes a la precipitación máxima anual de las diferentes estaciones del ámbito provincial. A estas series se les aplicó el logaritmo natural que se utilizó para determinar el valor promedio y la desviación estándar s_y . La expresión siguiente de frecuencia se puede utilizar para identificar valores atípicos:

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

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 cuadro 2.4). Si los logaritmos de los datos en una muestra son superiores que Y_s (límite superior) se asumen valores atípicos altos y si son menores que Y_i (límite inferior) se asumen valores atípicos bajos.

Cuadro 2.4. 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)

2.3.5.2. Prueba de Independencia

2.3.5.2.1. Test de Anderson

Escalante y Reyes (2002) mencionan que “para que se logre realizar el estudio de frecuencia es necesario que la muestra P_i^j de la serie para $i = 1, 2, \dots, n_j$, está compuesta por variables aleatorias. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson, la cual hace uso del coeficiente de auto correlación serial r_k^j para distintos tiempos de retraso k . Si se examina un solo registro, por tanto $j = 1$ ”.

La ecuación para calcular el coeficiente de auto correlación serial de retraso k es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (P_i^j - \bar{P}^j)(P_{i+k}^j - \bar{P}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (P_i^j - \bar{P}^j)^2}; \text{ para } r_0^j \text{ y } k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3} \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

$$\bar{P}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{P_i^j}{n_j} \quad \text{Ec. (10)}$$

Asimismo, los límites al 95% de confianza para r_k^j se consigue como:

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n_j - k - 1}}{n_j - k} \quad \text{Ec. (11)}$$

La gráfica de los valores considerados para r_k^j (ordenadas) versus los tiempos de retardo k (abscisas), junto con los límites de confianza correspondientes, se denomina cerrelograma de muestra.

Si solo el 10% de los valores r_k^j exceden los límites de confianza, se plantea que la serie P_i^j es independiente y por consiguiente es una variable que sigue las leyes de la posibilidad.

2.3.5.2.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz)

Audagna (2014) menciona que “uno de los escenarios para analizar estadísticamente series de datos es que sean aleatorias. Se entiende que la probabilidad de ocurrencia de uno de ellos no depende de la ocurrencia de los

datos que le preceden y que no influye en los siguientes datos o datos futuros. En otras palabras, el análisis estadístico requiere que la muestra esté compuesta por datos independientes de los demás”.

Una de estas pruebas estadísticas de independencia es la de las secuencias de una muestra de Wald-Wolfowitz. En él las hipótesis a verificar 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, cada valor observado se compara con el valor medio de la muestra. A cada elemento de datos se le asigna un término E o F (éxito o fracaso) dependiendo de si el valor es mayor o menor que la media de la muestra.

Para apreciar la aleatoriedad de la muestra, el número de secuencias presentes en los datos se toma una estadística de prueba. Una secuencia se define como una serie de éxitos o fracasos consecutivos. Entonces, 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.

La prueba emplea el estadístico z para una prueba de dos colas. Si es mayor o igual que el valor crítico superior o menor o igual que el valor crítico inferior, se puede rechazar la hipótesis nula de aleatoriedad en el nivel de significancia α . Por consiguiente, si Z se localiza entre estos límites, se puede aceptar la hipótesis nula de aleatoriedad. El valor estadístico Z se establece de la siguiente manera:

$$Z = \frac{R - \mu_r}{\sigma_r^2} \quad \text{Ec. (12)}$$

Dónde:

$$\mu_r = \frac{2 * n_1 * n_2}{n} + 1 \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{(\mu_r - 1) * (\mu_r - 2)}{n - 1}} \quad Ec. (14)$$

El valor del estadístico Z, “se contrasta con el valor de cuadro de la distribución normal para un cierto nivel de significancia determinado”.

2.3.5.3. Prueba de Estacionalidad

2.3.5.3.1 Prueba de Estacionariedad (Kendall)

Audagna (2014) expresa que “la prueba de estacionalidad estadística de Kendall se utiliza para encontrar que no hay una tendencia temporal en la serie. Para cada serie de datos ordenados cronológicamente, se determina cuántos datos posteriores son más altos (S)”. Por lo tanto:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} t(i) \quad Ec. (15)$$

Dónde:

$s(i)$: número de los valores en la serie tal que $X_j > X_i$, siendo $i < j \leq n$.

Por consiguiente, se calculan cuántos valores posteriores son menores (T). Los mismos se determinan de la siguiente manera:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t(i) \quad Ec. (16)$$

Dónde:

$t(i)$: número de valores en la serie tal que $X_j < X_i$, siendo $i < j \leq n$.

Con los valores de S y T establecidos con las ecuaciones 15 y 16, se determina el índice $I = S - T$, que debe ser próximo a cero si la hipótesis nula es verdadera.

Siendo así, se deben verificar las siguientes condiciones:

- $I < I_{cri}(\alpha)$, es decir, el I establecido es menor que un valor I crítico tabulado en el tamaño de la muestra y en diferentes niveles de significancia.
- Para tamaños de muestra superiores a 10, el valor estadístico se aproxima a una distribución normal. Por lo tanto, se debe utilizar una forma estandarizada de la estadística en la que el índice se transforme en el índice K , expresado como:

$$K = \frac{I - 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I > 0 \quad Ec. (17)$$

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

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

Los valores de K_{cri} se obtienen de una distribución normal que se muestra en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Valores de K_{cri} para el test de Kendall

Nivel de significancia	0.01	0.05	0.10
K_{cri}	2.33	1.64	1.28

Fuente: Audagna (2014)

2.3.5.4. Pruebas de Homogeneidad

Escalante y Reyes (2002) definen que “las propiedades estadísticas de la serie hidrológica, como la media, la desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se ven afectadas cuando la serie muestra una tendencia en la media o varianza, o cuando ocurren saltos negativos o positivos, tales anomalías son creadas por la pérdida de homogeneidad e inconsistencia”.

En general, “la falta de homogeneidad en los datos se debe a actividades humanas como la deforestación, el cultivo en nuevas tierras, la rectificación de cauces, la construcción de embalses y la forestación. También es producto de procesos naturales repentinos como incendios forestales, terremotos, deslizamientos de tierra y erupciones volcánicas”.

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una condición para aceptarla o rechazarla.

2.3.5.4.1. Prueba Estadística de Helmer

Escalante y Reyes (2002) expresa que “esta prueba es espontánea y se trata en examinar el signo de las desviaciones de cada evento P_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, con relación a su valor medio \bar{P}^j . Si una desviación de un cierto signo es seguida por otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia S, de lo contrario se considera como un cambio C”.

La serie se considera homogénea si se cumple:

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad \text{Ec. (19)}$$

2.3.5.4.2. Prueba Estadística de t de Student

Escalante y Reyes (2002) mencionan que, “si la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie es un cambio brusco en la media, la prueba del estadístico t es muy útil”.

Si se toma una serie evento P_i^j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos en tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$, entonces, el estadístico de prueba se detalla con la expresión.

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad \text{Ec. (20)}$$

Dónde:

\bar{X}_1, S_1^2 : Son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1 .

\bar{X}_2, S_2^2 : Son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2 .

El valor absoluto de t_d “se confronta con el valor de la distribución t de Student de dos colas y con $v = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel 0.05”.

Solo cuando el valor absoluto de t_d es mayor que el de la distribución t de Student, se define que la diferencia entre las medidas es una indicación de

inconsistencia y, por lo tanto, la serie P_i^j se asume no homogénea. De lo contrario, la serie es homogénea.

2.3.5.4.3. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon)

Audagna (2014) define que “la prueba de homogeneidad de la escala anual de Wilcoxon se puede utilizar para evidenciar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra se desvía significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. Para realizar esta prueba, las observaciones de las dos muestras de tamaños N_1 y N_2 , deben reemplazarse con sus rangos combinados. Los rangos se asignan de modo que a la más pequeña de las observaciones combinadas $N = N_1 + N_2$ se le asigna el rango 1, y el rango 2 se asigna a la siguiente más alta, en tanto que el rango N se asigna a la observación más grande. Si varias observaciones tienen la misma puntuación, a cada una de ellas se le asigna el promedio de los rangos que de otro modo se habrían asignado”.

La estadística de la prueba de Wilcoxon T_1 , es sencillamente 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:

$$T_1 + T_2 = \frac{N(N + 1)}{2} \quad Ec. (21)$$

Por lo tanto, esta ecuación se puede utilizar como verificación de la forma de asignación de rangos.

La estadística de prueba, T_1 , “tiene una distribución aproximadamente normal. La siguiente ecuación de aproximación de muestra grande se puede utilizar para probar la hipótesis nula”:

$$|Z| = \frac{T_1 - \mu_{T_1}}{\sigma_{T_1}} \quad Ec. (22)$$

El valor promedio de la estadística de prueba T_1 , se obtiene con:

$$\mu_{T_1} = \frac{n_1(n+1)}{2} \quad Ec. (23)$$

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

$$\sigma_{T_1} = \sqrt{\frac{n_1 * n_2(n+1)}{12}} \quad Ec. (24)$$

Basándose en α , el nivel de significación seleccionado, la hipótesis nula puede ser rechazada si el valor Z calculado cae en la región de rechazo apropiada.

2.3.6. Funciones de distribución de probabilidades

Villón (2002) señala que “hay muchas funciones de distribución de probabilidad teóricas, las funciones de distribución de probabilidad teórica más comúnmente utilizadas en hidrología son las siguientes”.

2.3.6.1. Distribución Normal

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

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

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.

2.3.6.2. Distribución Log Normal 2 parámetros

MTC (2011) define que “la función de distribución de probabilidad es”:

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

Dónde:

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

Si la variable x de la fórmula (25) se sustituye por una función $y = f(x)$, como que $y = \log(x)$, la función alcanza normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades llamada log - normal, $N(Y, S_y)$. Los valores originales de la variable aleatoria x , deben ser convertidos a $y = \log x$, de tal forma que:

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

Dónde:

\bar{Y} : es la media de los datos de la muestra transformada.

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

Dónde:

S_y : es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

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

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

Dónde:

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

2.3.6.3. Distribución Log Normal 3 parámetros

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

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

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

2.3.6.4. Distribución Gamma 2 parámetros

MTC (2011) expresa que la función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \text{Ec. (32)}$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.3.6.5. Distribución Gamma 3 parámetros

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

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \text{Ec. (33)}$$

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

2.3.6.6. Distribución Log Pearson tipo III

MTC (2011) expresa que la función de densidad es:

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

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

2.3.6.7. Distribución Gumbel

MTC (2011) señala que “la distribución de valores de Tipo I, llamada también como Distribución de Gumbel o Exponencial Doble, tiene la siguiente expresión como función de distribución de probabilidad”:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad Ec. (35)$$

Las siguientes relaciones se obtienen con el método del momento:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad Ec. (36)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad Ec. (37)$$

Dónde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede representarse de la siguiente manera:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad \text{Ec. (38)}$$

Dónde:

x: Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k: Factor de frecuencia

2.3.7. Selección de la función de distribución de probabilidad

Aparicio (1992) señala que “la selección apresurada de una de las funciones podría resultar en una estructura sobredimensionada y cara o subdimensionada y peligrosa. Por lo tanto, la función debe seleccionarse cuidadosamente. Algunos métodos para hacer esto se describen a continuación”.

2.3.7.1. Análisis gráfico

Aparicio (1992) describe que “un primer método utilizado para escoger la función es simplemente examinar un gráfico en el que se ha representado cada una de las diversas funciones junto con los puntos medidos. La función de distribución de probabilidad seleccionada es la que mejor se corresponde visualmente con los datos medidos”.

Este método en ocasiones también se utiliza para adaptar las funciones de distribución de probabilidad a los datos medidos, dibujando dichos datos en una hoja separada para cada función, eligiendo la función para la cual el conjunto de puntos es similar a una línea y finalmente trazando esta línea a ojo en para realizar las extrapolaciones necesarias.

Este es un método con un alto grado de subjetividad y, utilizado de forma aislada, puede resultar bastante peligroso. No obstante, es muy ilustrativo y se recomienda su uso con otros métodos. Cuando lo aplica un ingeniero experimentado, puede ser el mejor de todos.

2.3.7.2. Método del Error Cuadrático Mínimo

Aparicio (1992) señala que “consiste en determinar, para diferentes funciones de distribución, el error cuadrático”:

$$C = \left[\sum_{i=1}^n (Xe_i - Xo_i)^2 \right]^{1/2} \quad Ec. (39)$$

Dónde:

Xe_i : Es el i – ésimo dato estimado

Xo_i : Es el i – ésimo dato calculado con la función de distribución bajo análisis

2.3.7.3. Pruebas de bondad del ajuste

Aparicio (1992) argumenta que, “en la teoría estadística, las pruebas de bondad del ajuste más conocidas son la Kolmogorov-Smirnov y el chi-cuadrado χ^2 . Se describen brevemente a continuación”.

2.3.7.3.1. Test de kolmogorov - smirnov

Cahuana e Yugar (2009) refieren que “este método trata en contrastar las diferencias encontradas entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, asumiendo el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo”, tal como se aprecia a continuación:

$$D = \max |F(x) - P(x)| \quad Ec. (40)$$

Dónde:

D : Estadístico de Smirnov – Kolmogorov.

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

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

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

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

También:

$$P D < D_0 = 1 - \alpha \quad Ec. (41)$$

Los pasos para determinar el ajuste, por el estadístico de Smirnov-Kolmogorov, es el siguiente:

1. Determinar la probabilidad empírica o experimental P_x de los datos, para esto se puede utilizar las fórmulas del cuadro 2.6, la más recomendada de las cuales es la fórmula de Weibull que se proporciona a continuación:

$$P_x = \frac{m}{N + 1} \quad \text{Ec. (42)}$$

Dónde:

P_x : Probabilidad empírica o experimental.

m : Número de orden.

N : Número de datos.

2. Determinar la probabilidad teórica $F(x)$, empleando la fórmula de la función acumulada $F(x)$ de los modelos teóricos o cuadros hechos para tal fin.
3. Calcular las diferencias $F(x) - P(x)$.
4. Seleccionar la máxima diferencia: $D = \max|F(x) - P(x)|$.
5. Determinar 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 observan en el cuadro 2.7.
6. Confrontar el valor del estadístico D , con el valor crítico D_0 del cuadro de Nivel de significancia para la prueba de Smirnov-kolmogorov, con los siguientes razones de evaluación:
 - Si: $D < D_0 \Rightarrow$ El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.
 - $D \geq D_0 \Rightarrow$ El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado.

Cuadro 2.6. Fórmulas de probabilidades empíricas

Formula 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 et al. (2009)

Cuadro 2.7. Nivel de significancia para la prueba de Smirnov-kolmogorov

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 e Yugar (2009)

2.3.7.3.2. Test de chi - cuadrado

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

Una característica atractiva de la bondad de Chi-cuadrado es que se puede aplicar a cualquier distribución univariante para la cual se puede calcular la función de distribución acumulada. La prueba de bondad de chi-cuadrado se aplica a los datos descartados. No obstante, el valor de la estadística de Chi-cuadrado acata de cómo se ordenan los datos. Otra desventaja de la prueba de chi-cuadrado es que requiere un tamaño de muestra suficiente para que la aproximación de chi-cuadrado sea válida.

La prueba de Chi-cuadrado es una alternativa a la de Kolmogorov-Smirnov.

El test Chi-cuadrado de bondad de la prueba puede ser aplicado a distribuciones discretas, como la binomial y la de Poisson. Los test de Kolmogorov-Smirnov se limitan a distribuciones continuas.

La prueba de Chi-cuadrado se define para las hipótesis:

H_0 : Los datos siguen una distribución especificada

H_1 : Los datos no siguen la distribución especificada

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{F(x)_i} \quad \text{Ec. (43)}$$

Dónde:

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada

$F(x)_i$: Frecuencia teórica

Cuanto mayor sea el valor de X^2 , menos verosímil es que la hipótesis sea correcta.

De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de Chi-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones.

P-valor:

El P es un valor de probabilidad por lo que su valor se localiza entre 0 y 1.

Cálculos de P altos aceptan la hipótesis nula o no permiten rechazarla. Valores calculados de P bajos rechazan la H_0 . Se rechazará la hipótesis nula si el P-valor es menor o igual al nivel de significación adoptado.

2.3.8. Estadística espacial

Senamhi (2014) ratifica que “la estadística espacial, también conocida como geoestadística, es la rama de la estadística que estudia los procesos aleatorios con índices espaciales. En general, los modelos estadísticos tienen en cuenta variables aleatorias independientes, en casos más reales se tiene en cuenta la dependencia estadística. En el caso de las series de tiempo, siempre que los datos estén más cerca, puede haber una correlación, al igual que los geodatos, donde la dependencia puede tener lugar en todas las direcciones”.

2.3.9. Enfoques para la espacialización de la precipitación

Senamhi (2014) expresa que “se han manejado diversas técnicas para la espacialización de la precipitación, a partir de datos obtenidos en redes de medición, que casi siempre implican la realización de tareas de exploración, descripción y predicción del comportamiento espacial de una o más variables en el dominio de estudio”.

Se utiliza el uso de algoritmos de interpolación espacial para realizar las estimaciones, que, en general, utilizan información discreta de una variable de interés para obtener superficies continuas. Se puede decir que estos se clasifican en dos categorías, los métodos deterministas y los métodos estocásticos.

2.3.9.1 Métodos deterministas

Senamhi (2014) confirma que Presentar una revisión completa de los varios métodos deterministas clásicos para generar superficies continuas de variables espaciales desde valores medidos en puntos, “como por ejemplo el vecino cercano, el método lineal, el método de inverso de la distancia elevada a un exponente, spline, la interpolación cúbica y bicúbica. etc. Aunque la mayoría de estos métodos son incapaces de cuantificar la incertidumbre de interpolación”, muchos autores afirman que tienen la gran ventaja de ser algoritmos muy simples que se pueden implementar fácilmente.

2.3.9.2 Métodos estocásticos

Senamhi (2014) ratifica que “la geoestadística ha formado varios métodos de estimación, conocidos como modelos de interpolación estocástica o krigado. En ellos la variable a estimar tiene dos componentes intrínsecos: (i) un componente determinista que varía uniformemente en el espacio y (ii) un componente aleatorio”.

2.3.10. Métodos de interpolación

Senamhi (2014) afirma que “en este estudio el enfoque determinista y estocástico será considerado”.

2.3.10.1. Método de ponderación inverso a la distancia (IDW)

Senamhi (2014) expresa que “este algoritmo determina los valores de las celdas basándose en una composición ponderada de los datos de la muestra, el modelo sugiere que el resultado predicho disminuirá en frecuencia a medida que aumenta la distancia entre el punto a evaluar y los puntos cercanos. De esta forma se acepta que los puntos más cercanos al centroide tendrán mayor peso en el cálculo del valor final de la celda, su modelo matemático”.

$$Z = \sum \left(\frac{Z_i}{d_i^n} \right) / \sum \left(\frac{1}{d_i^n} \right) \text{ Ec. (44)}$$

Dónde:

Z : Es el valor a interpolar.

Z_i : Son los valores de los puntos vecinos.

d_i : Distancia entre los puntos vecinos y el punto de la celda a predecir.

n : Es la potencia a la cual se eleva la distancia, oscila entre 0.5 a 4.

2.3.10.2. Kriging Ordinario (KO)

Senamhi (2014) afirma que “la familia kriging, asimismo conocida como métodos geoestadísticos, se centra en la idea de que los valores medidos en lugares cercanos tienden a estar más estrechamente relacionados que los valores medidos en otros lugares”.

Similar a IDW, “Kriging también usa ponderación, pero como método probabilístico, Kriging se basa en relaciones espaciales y estadísticas para

predecir puntos no medidos. Las funciones de semivariograma empírico proporcionan un medio para cuantificar la autocorrelación espacial de conjuntos de datos que luego se incluyen en el modelo espacial”.

2.4. Marco conceptual o glosario

- **Cuenca hidrográfica:** MTC (2011) precisa que “como la superficie de la tierra, cuya escorrentía superficial fluye completamente a través de una serie de arroyos, ríos y eventualmente lagos hacia el mar a través de un solo estuario”.
- **Curva intensidad- duración- frecuencia:** MTC (2011) relata que “es un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, su duración y la frecuencia con la que puede ocurrir, en otras palabras, su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno”.
- **Intensidad:** MTC (2011) detalla que “es la tasa de precipitación temporal, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h)”.
- **Lluvia:** MTC (2011) expresa que “es la precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas con un diámetro superior a 0,5 mm o de gotas más pequeñas y muy dispersas”.
- **Periodo de retorno:** MTC (2011) refiere que “es el tiempo promedio, en años, en el que el valor máximo de caudal o precipitación se iguala o supera una vez cada t años”.
- **Precipitación:** MTC (2011) menciona que “es la caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo”.
- **Tiempo de concentración:** MTC (2011) indica que “es el tiempo que tarda una gota en llegar desde el punto más alejado hidráulicamente hasta la salida de la cuenca”.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Por la naturaleza de los datos y el alcance, ésta fue una investigación descriptiva, ya que describió las características del objetivo.

Se trató de una investigación cualitativo, ya que se basó en el análisis de los resultados de diversos datos calculados a partir de datos de precipitaciones máximas de 24 horas para la zonificación de las intensidades máximas de precipitación de la cuenca del río Pampas.

3.1.2. Tipo de análisis

El tipo de análisis que se desarrolló fue no experimental; debido a que se basó en un análisis descriptivo y teórico.

3.1.3. Diseño

El diseño de investigación fue del tipo descriptivo no experimental, realizando un análisis de precipitaciones máximas de 24 horas para luego procesar la información. La metodología que se manejó para el desarrollo del proyecto de investigación fue con finalidad de dar el cumplimiento a los objetivos planteados, como la recopilación y procesamiento de la información instantánea, obtenida de las estaciones meteorológicas, ubicadas en la cuenca del río Pampas, determinación de las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación de la cuenca del río Pampas y finalmente la zonificación de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del río Pampas.

3.2. Población de estudio

La población manejada en la presente investigación, fue constituida por la cuenca del río Pampas.

3.3. Tamaño de muestra

La muestra empleada en la presente investigación, fue conformada por las estaciones pluviométricas entorno a la cuenca del río Pampas.

3.4. Técnica de recolección de datos

La técnica de recopilación de datos utilizada para realizar el estudio se muestra a continuación.

Observación:

Para el desarrollo de la investigación se empleó la técnica de recolección de datos, Observación, como son las estaciones pluviométricas que presenta la cuenca del río Pampas.

Medición:

Para el desarrollo de la investigación se empleó la técnica de recolección de datos, Medición, donde se medirá, asignará símbolos o valores que presenta la cuenca del río Pampas.

Explicación:

Para el desarrollo de la investigación se empleó la técnica de recolección de datos, Explicación, donde mediante el procesamiento de datos y con una base teórica fundamental se podrá explicar los factores que intervienen para zonificación de la cuenca de intensidades máximas de precipitación para la cuenca del río Pampas.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO DE TEMA

4.1. Ubicación

4.1.1. Ubicación hidrográfica

Vertiente : Amazonas - Atlántico

Cuenca : Pampas Apurímac

Subcuenca : Pampas

Cuadro 4.1: Ubicación hidrográfica del ámbito de estudio

Nivel	Nombre de la unidad hidrográfica	Código
Nivel 1	Región Hidrográfica Amazonas	4
Nivel 2	Cuenca Alto Amazonas	49
Nivel 3	Cuenca Ucayali	499
Nivel 4	Cuenca Pampas	4998

4.1.2. Ubicación administrativa

AAA : Autoridad Administrativa del Agua XI Pampas Apurímac

ALA : Administración Local del Agua Bajo Apurímac Pampas

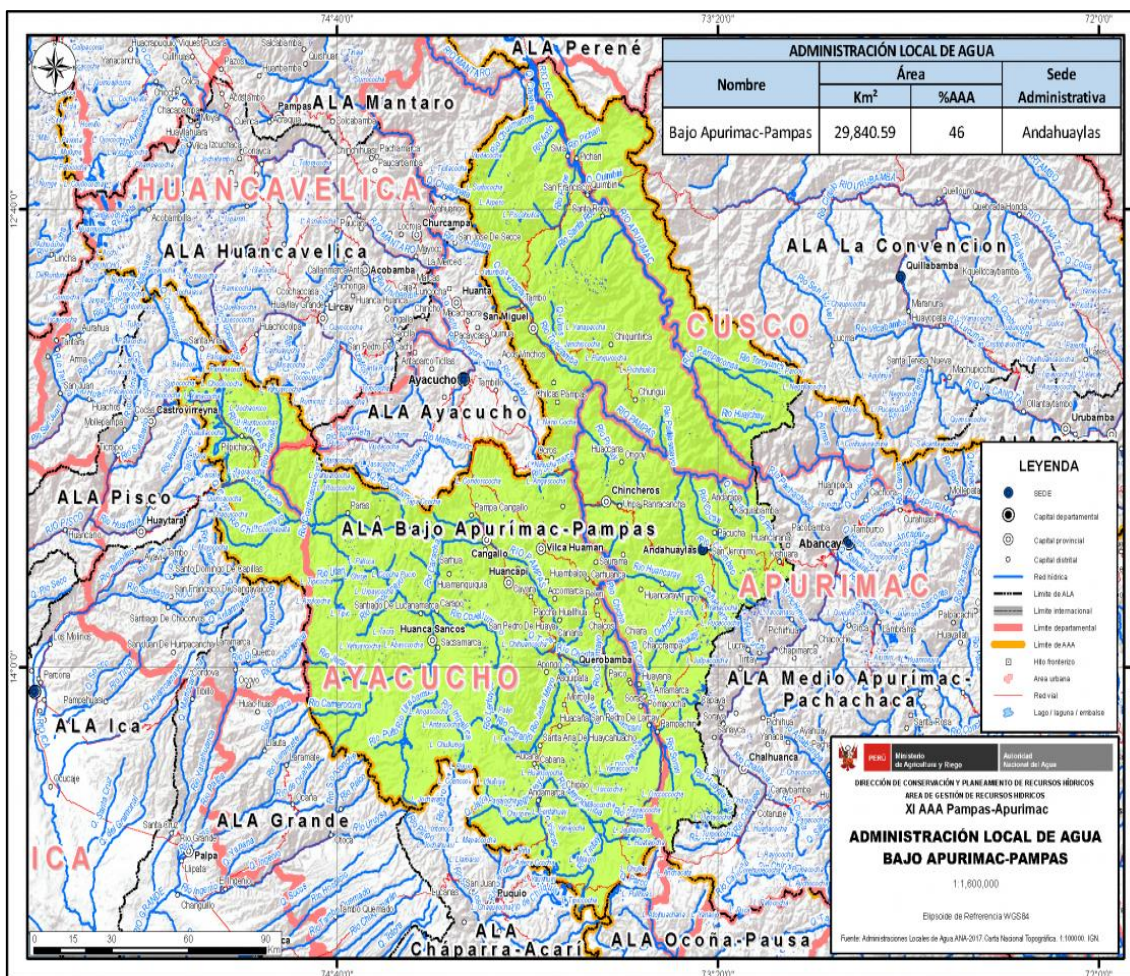


Figura 4.1: Ubicación de AAA XI Pampas Apurímac (Ubicación Administrativa)

Fuente: ANA (2007)

4.2. Materiales y equipos

Los materiales, equipos y software que fueron utilizados en la elaboración del trabajo de Investigación son las siguientes:

4.2.1. Materiales

- Calculadora.
- Cuaderno de campo.
- Papel bond.
- Material bibliográfico.
- Base de datos como cartas nacionales, etc.

4.2.2. Equipos

- GPS.
- Computadora personal.
- Plotter.
- Impresoras.
- Software empleado: Hec 4, Hyfran, HIDROESTA, ARCGIS 10.5, Global Mapper, Google Earth, WMS 9.1 y Microsoft Excel.

4.3. Trabajos previos o de campo

4.3.1. Recopilación de la información existente y ubicación del punto de aforo

Se realizó el diagnóstico in situ, recolección de datos de información cartográfica; este trabajo permitió identificar la orografía de la cuenca. Por otra parte, también se acudió a la información pluviométrica, como las precipitaciones máximas de cada estación meteorológica que se encuentra en cuenca del río Pampas y finalmente se ubicó el punto de aforo de la cuenca en estudio.

4.4. Trabajos de gabinete

Se efectuó mediante el uso de hojas de cálculo y software como Hyfran, ArcGIS 10.5, Global Mapper, Google Earth, WMS 9.1.

4.4.1. Tratamiento de datos

En el marco de este estudio, se analizaron las tendencias de precipitación mensual de 10 estaciones pluviométricas, de la cuenca del río Pampas, disponible por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) se han utilizado para obtener las precipitaciones máximas de 24 horas anuales. Como resultado, 10 variables de precipitación en cada estación se sometieron a análisis de detección de tendencia. Para el procesamiento de datos se utilizaron la planilla Excel y el software hyfran.

Cuadro 4.2: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pampas

Nombre de Estación	Ubicación política			Coordenadas geográficas		
	Departamento	Provincia	Distrito	Latitud	Longitud	Altitud
Andahuaylas	Apurímac	Andahuaylas	San Jerónimo	13°38'55.1" S	73°22'04" O	2981.00
Andamarca	Ayacucho	Lucanas	Carmen Salcedo	14°23'01" S	73°58'01" O	3509.00
Aucará	Ayacucho	Lucanas	Cabana	14°17'01" S	73°58'01" O	3157.00
Chilcayocc	Ayacucho	Sucre	Chilcayocc	13°52'57.26" S	73°43'35.7" O	3400.00
Huanca Sancos	Ayacucho	Huanca Sancos	Sancos	13°55'01" S	74°20'01" O	3440.00
Pampa Cangallo	Ayacucho	Cangallo	Los Morochucos	13°34'09" S	74°11'37" O	3350.00
Sachabamba	Ayacucho	Huamanga	Chiara	13°27'38" S	74°06'02" O	3555.00
San Miguel	Ayacucho	La mar	San Miguel	13°01'01" S	73°59'01" O	2720.00
Túnel Cero	Huancavelica	Huaytará	Pilpichaca	13°15'33.54" S	75°5'9.46" O	4512.00
Vilcas Huamán	Ayacucho	Vilcas Huamán	Vilcas Huamán	13°38'54" S	73°56'04" O	3656.00

4.4.1.1. Análisis exploratorio de datos

Los datos analizados presentan muchos problemas de calidad, entre los cuales podemos mencionar:

Estaciones con datos faltantes, para los cuales no se dispone de ningún registro y estaciones con datos atípicos, este fenómeno puede ocurrir debido a varias causas, algunas de las cuales se relacionan con los cambios en el manejo y observación de los instrumentos.

Cabe señalar que para realizar esta etapa se ha hecho el uso de las planillas de Excel.

4.4.1.2. Análisis de tendencia

El análisis de toda variable pluviométricas, evalúa los estadísticos, que son supuestos básicos que nos ayuda a aumentar la confiabilidad de los datos (calidad), poniendo a prueba hipótesis con respecto a la data observada: independiente (independientes de los demás y libre de tendencia), estacionario (constante en el tiempo y libre de tendencia) y homogéneo (libre de tendencia y saltos).

En el presente estudio se analizaron tres supuestos básicos como son: el análisis de independencia mediante el test de Wald-Wolfowitz, análisis de estacionariedad mediante el test de Kendall y el análisis de homogeneidad mediante la prueba a escala anual (Wilcoxon).

4.4.1.3. Selección de la función de distribución de probabilidad

Para un mejor análisis de los datos hidrológicos fue necesario conocer el tipo o forma de distribución teórica que puede representar aproximadamente a la distribución empírica (método estadístico) de estos datos. Por tanto, fue necesario realizar la prueba estadística conocida como prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov.

4.4.1.4. Precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno

Una vez realizado las pruebas de ajuste Smirnov – Kolmogorov demostrando que estos son adecuados, se procedió al cálculo de precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno, por consiguiente, se tomaron valores típicos de periodos de retorno para diferentes proyectos hidrológicos e hidráulicos.

Estas precipitaciones máximas fueron corregidas multiplicando por un coeficiente de corrección por intervalo fijo. Por tanto, el coeficiente de corrección por intervalo fijo fue de 1.13.

4.4.2. Determinación de las curvas IDF

4.4.2.1. Precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración y periodos de retorno

Después de haber obtenido las precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno y corregido por intervalo fijo, se procedió al cálculo de las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración multiplicando por coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora, dadas por el manual de carreteras hidrología, hidráulica y drenaje.

4.4.2.2. Intensidad distribuida de precipitación

Inmediatamente de haber calculado las precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno y para distintas duraciones o tiempos de duración, se procedió a calcular la intensidad distribuida de lluvia según periodos de retorno.

4.4.2.3. Determinación de las ecuaciones de curvas IDF

Una vez calculadas las intensidades distribuidas de lluvia según periodos de retorno, se procedió a calcular las curvas IDF para distintos periodos de retorno y tiempos de duración mediante un modelo que relaciona simultáneamente las tres variables (intensidad, duración y período de retorno) en una familia de curvas.

4.4.3. Zonificación de las intensidades máximas de precipitación

Una vez determinado las ecuaciones y generado las familias de curvas IDF para distintos periodos de retorno y tiempos de duración de cada estación, se procedió a generar los mapas de intensidades máximas para distintos periodos de retorno y tiempos de duración, a través de la interpolación por el método geo estadístico de IDW, haciendo uso del programa de arcgis.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

5.1.1. Tratamiento de datos sobre precipitación máxima

Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. Las lluvias máximas horarias o diarias por lo común se ajustan bien a la distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, a la Log-Pearson tipo III y a la gamma incompleta. En este proyecto se empleó la distribución Gumbel.

Cuadro 5.1: Láminas para distintas frecuencias - estación Andahuaylas

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	26.9270	0.5000	30.4276
5	1.4999	32.5071	0.8000	36.7330
10	2.2504	36.2015	0.9000	40.9077
25	3.1985	40.8695	0.9600	46.1825
50	3.9019	44.3324	0.9800	50.0956
75	4.3108	46.3452	0.9867	52.3701
100	4.6001	47.7698	0.9900	53.9799
200	5.2958	51.1946	0.9950	57.8499
500	6.2136	55.7131	0.9980	62.9558

Cuadro 5.2: Láminas para distintas frecuencias - estación Andamarca

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	26.9605	0.5000	30.4654
5	1.4999	33.4070	0.8000	37.7499
10	2.2504	37.6751	0.9000	42.5729
25	3.1985	43.0679	0.9600	48.6667
50	3.9019	47.0686	0.9800	53.1875
75	4.3108	49.3939	0.9867	55.8151
100	4.6001	51.0397	0.9900	57.6748
200	5.2958	54.9963	0.9950	62.1458
500	6.2136	60.2164	0.9980	68.0445

Cuadro 5.3: Láminas para distintas frecuencias - estación Aucará

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	26.7528	0.5000	30.2306
5	1.4999	34.8425	0.8000	39.3720
10	2.2504	40.1985	0.9000	45.4243
25	3.1985	46.9659	0.9600	53.0715
50	3.9019	51.9864	0.9800	58.7446
75	4.3108	54.9045	0.9867	62.0421
100	4.6001	56.9698	0.9900	64.3759
200	5.2958	61.9350	0.9950	69.9865
500	6.2136	68.4856	0.9980	77.3888

Cuadro 5.4: Láminas para distintas frecuencias - estación Chilcayoc

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	30.6188	0.5000	34.5992
5	1.4999	35.7017	0.8000	40.3429
10	2.2504	39.0670	0.9000	44.1457
25	3.1985	43.3191	0.9600	48.9506
50	3.9019	46.4736	0.9800	52.5151
75	4.3108	48.3071	0.9867	54.5870
100	4.6001	49.6047	0.9900	56.0533
200	5.2958	52.7245	0.9950	59.5786
500	6.2136	56.8403	0.9980	64.2296

Cuadro 5.5: Láminas para distintas frecuencias - estación Huanca Sancos

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	27.3614	0.5000	30.9184
5	1.4999	31.6178	0.8000	35.7281
10	2.2504	34.4358	0.9000	38.9125
25	3.1985	37.9965	0.9600	42.9360
50	3.9019	40.6380	0.9800	45.9209
75	4.3108	42.1733	0.9867	47.6558
100	4.6001	43.2599	0.9900	48.8837
200	5.2958	45.8723	0.9950	51.8357
500	6.2136	49.3189	0.9980	55.7304

Cuadro 5.6: Láminas para distintas frecuencias - estación Pampa Cangallo

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	30.1790	0.5000	34.1023
5	1.4999	34.9209	0.8000	39.4606
10	2.2504	38.0604	0.9000	43.0083
25	3.1985	42.0273	0.9600	47.4908
50	3.9019	44.9701	0.9800	50.8162
75	4.3108	46.6805	0.9867	52.7490
100	4.6001	47.8912	0.9900	54.1170
200	5.2958	50.8016	0.9950	57.4058
500	6.2136	54.6413	0.9980	61.7447

Cuadro 5.7: Láminas para distintas frecuencias - estación Sachabamba

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	34.9470	0.5000	39.4901
5	1.4999	43.4205	0.8000	49.0652
10	2.2504	49.0308	0.9000	55.4048
25	3.1985	56.1193	0.9600	63.4148
50	3.9019	61.3780	0.9800	69.3571
75	4.3108	64.4345	0.9867	72.8110
100	4.6001	66.5978	0.9900	75.2555
200	5.2958	71.7986	0.9950	81.1325
500	6.2136	78.6601	0.9980	88.8859

Cuadro 5.8: Láminas para distintas frecuencias - estación San Miguel

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	23.9338	0.5000	27.0452
5	1.4999	29.3530	0.8000	33.1689
10	2.2504	32.9410	0.9000	37.2233
25	3.1985	37.4744	0.9600	42.3461
50	3.9019	40.8376	0.9800	46.1465
75	4.3108	42.7924	0.9867	48.3554
100	4.6001	44.1759	0.9900	49.9188
200	5.2958	47.5021	0.9950	53.6773
500	6.2136	51.8903	0.9980	58.6360

Cuadro 5.9: Láminas para distintas frecuencias - estación Túnel Cero

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	29.5047	0.5000	33.3403
5	1.4999	36.5959	0.8000	41.3534
10	2.2504	41.2910	0.9000	46.6588
25	3.1985	47.2231	0.9600	53.3622
50	3.9019	51.6240	0.9800	58.3351
75	4.3108	54.1819	0.9867	61.2256
100	4.6001	55.9923	0.9900	63.2713
200	5.2958	60.3447	0.9950	68.1895
500	6.2136	66.0869	0.9980	74.6781

Cuadro 5.10: Láminas para distintas frecuencias - estación Vilcas Huamán

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. De ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	28.1389	0.5000	31.7970
5	1.4999	35.7056	0.8000	40.3473
10	2.2504	40.7154	0.9000	46.0084
25	3.1985	47.0453	0.9600	53.1611
50	3.9019	51.7411	0.9800	58.4675
75	4.3108	54.4705	0.9867	61.5517
100	4.6001	56.4023	0.9900	63.7346
200	5.2958	61.0465	0.9950	68.9826
500	6.2136	67.1736	0.9980	75.9062

Interpretación:

Los cuadros 5.1 al 5.10 presentan las precipitaciones máximas probables para distintos períodos de retorno de las diferentes estaciones pluviométricas. Estos valores fueron corregidos multiplicando con el factor 1.13, para ajustarlo por intervalo fijo con el fin de obtener las precipitaciones máximas probables desde las precipitaciones máximas diarias (24 horas) tal como expresó Hershfield (1961).

5.1.2. Determinación de las ecuaciones de las curvas IDF

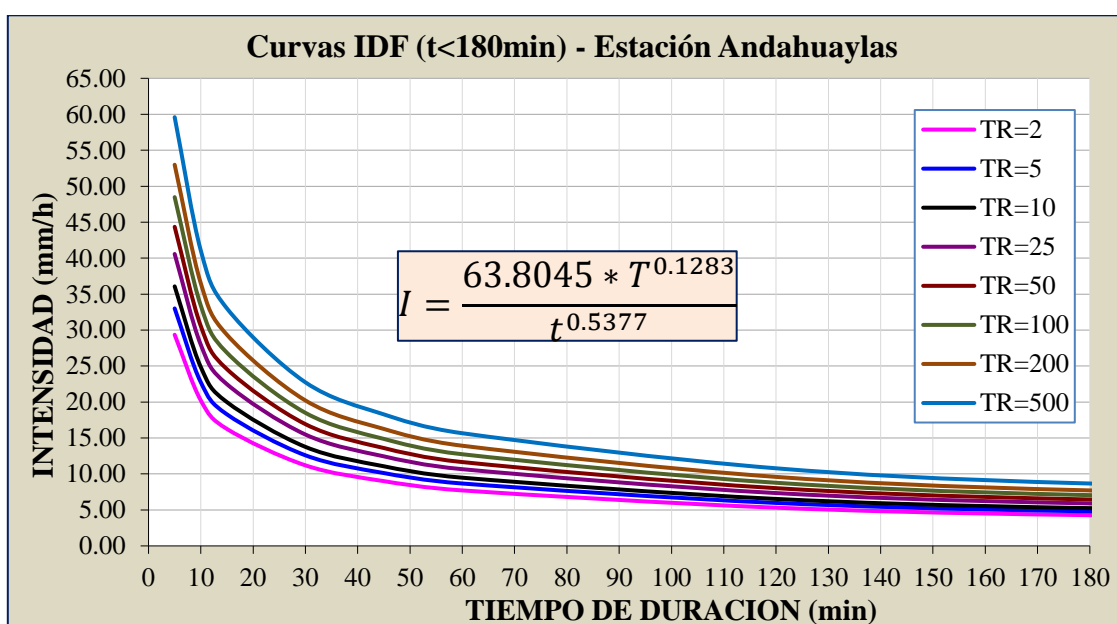


Figura 5.1: Curvas IDF (t<180min) - Estación Andahuaylas

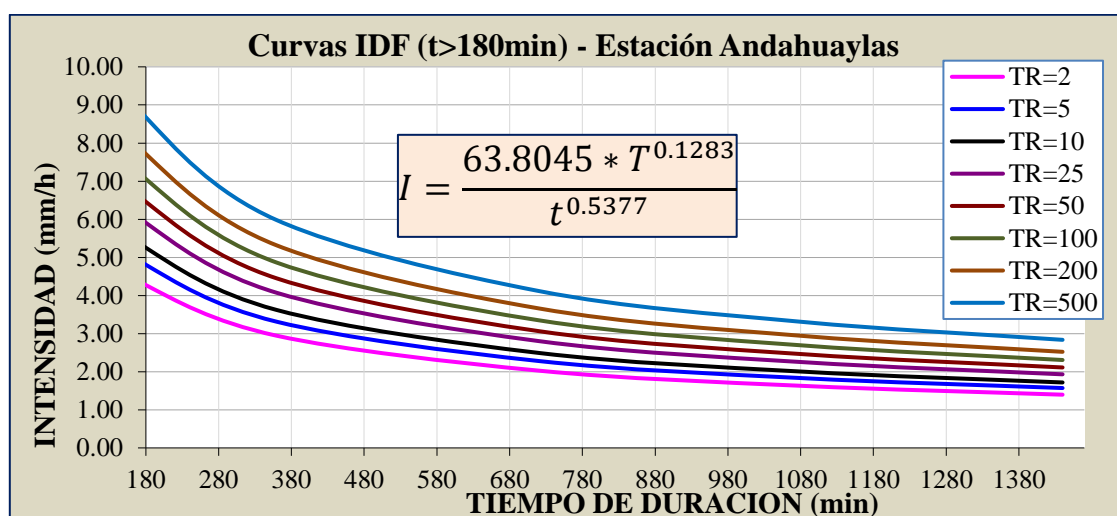


Figura 5.2: Curvas IDF (t>180min) - Estación Andahuaylas

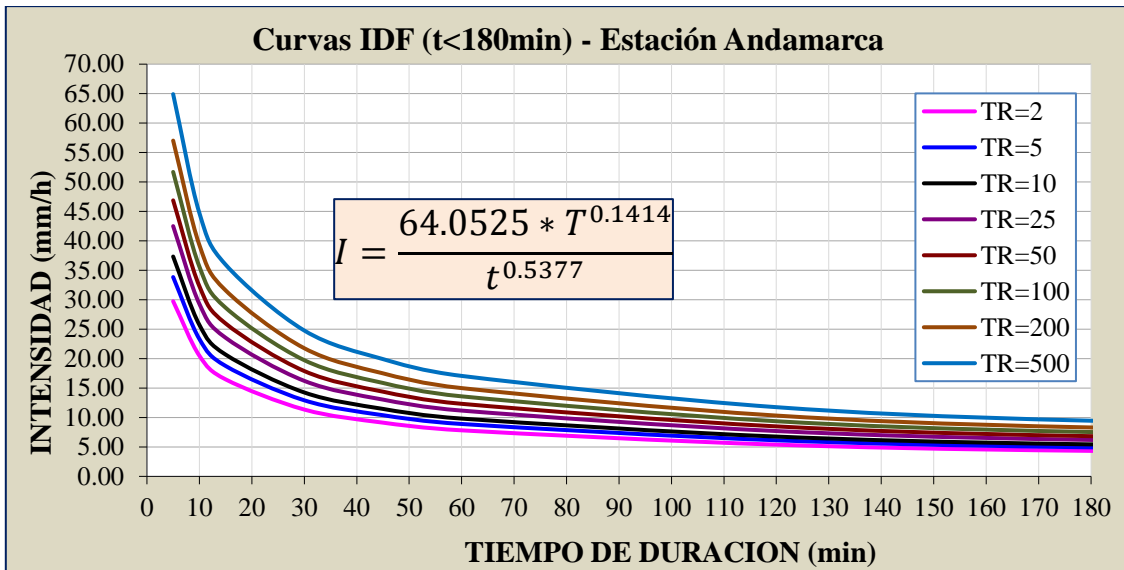


Figura 5.3: Curvas IDF (t<180min) - Estación Andamarca

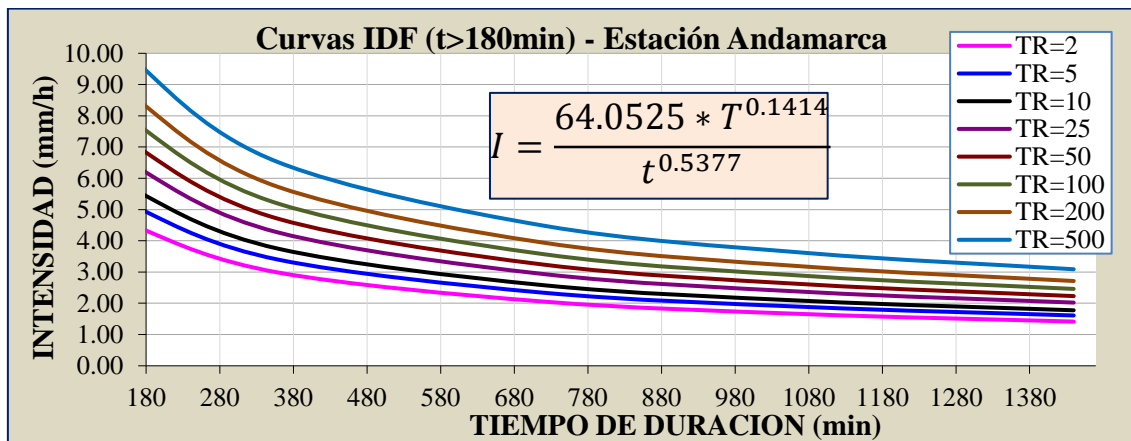


Figura 5.4: Curvas IDF (t>180min) - Estación Andamarca

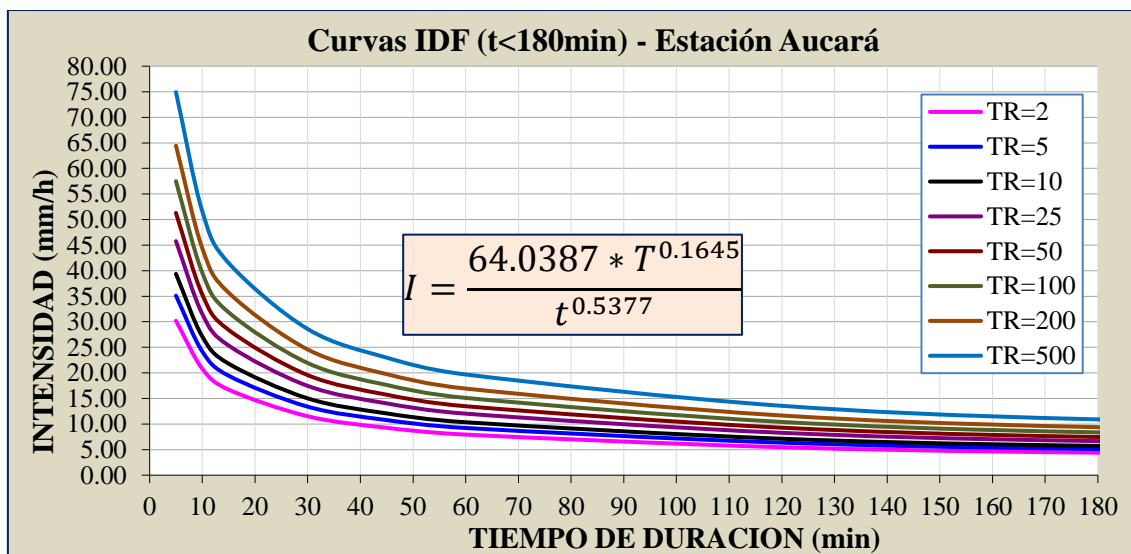


Figura 5.5: Curvas IDF (t<180min) - Estación Aucará

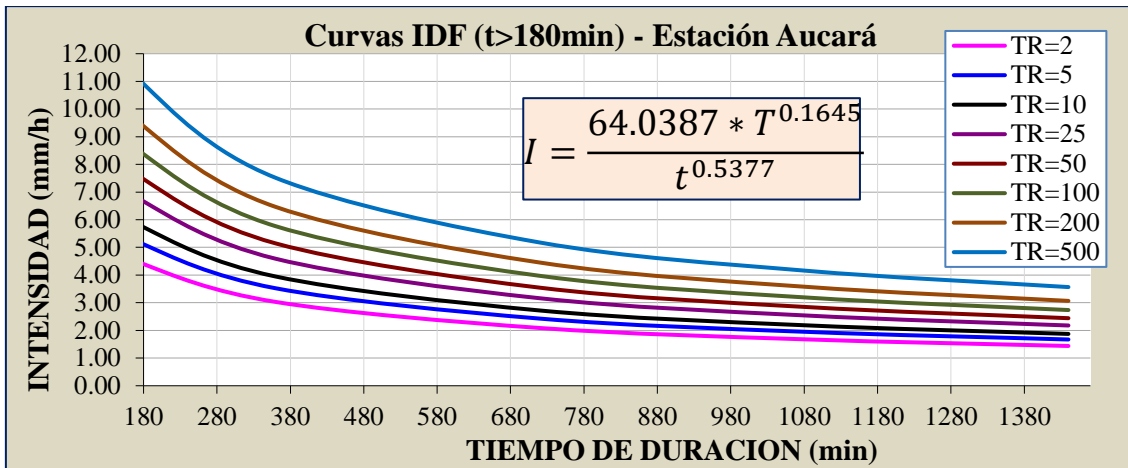


Figura 5.6: Curvas IDF (t>180min) - Estación Aucará

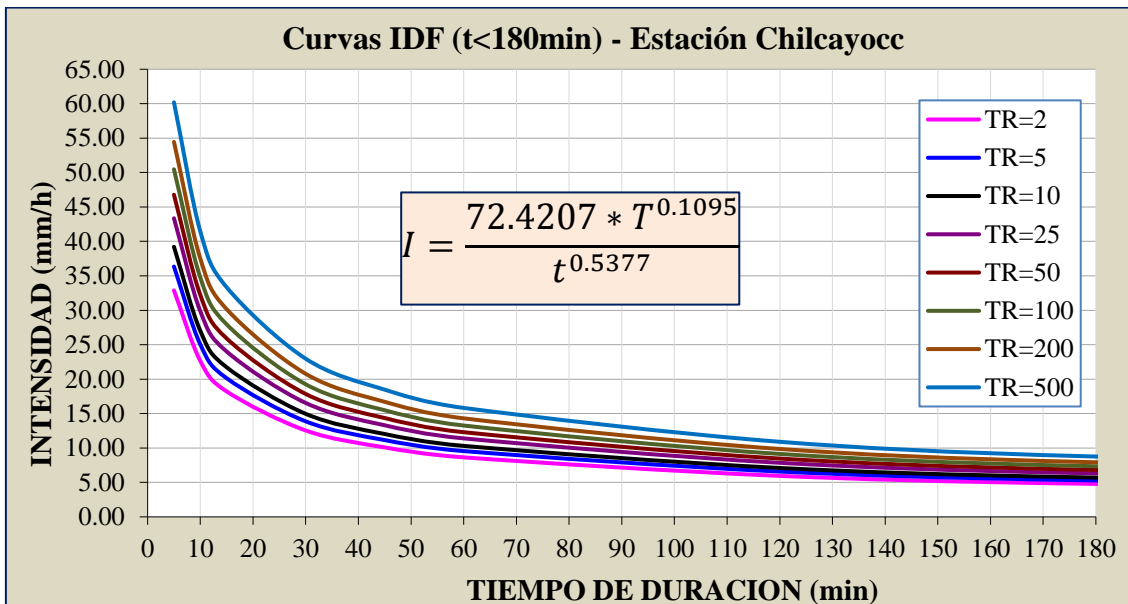


Figura 5.7: Curvas IDF (t<180min) - Estación Chilcayocc

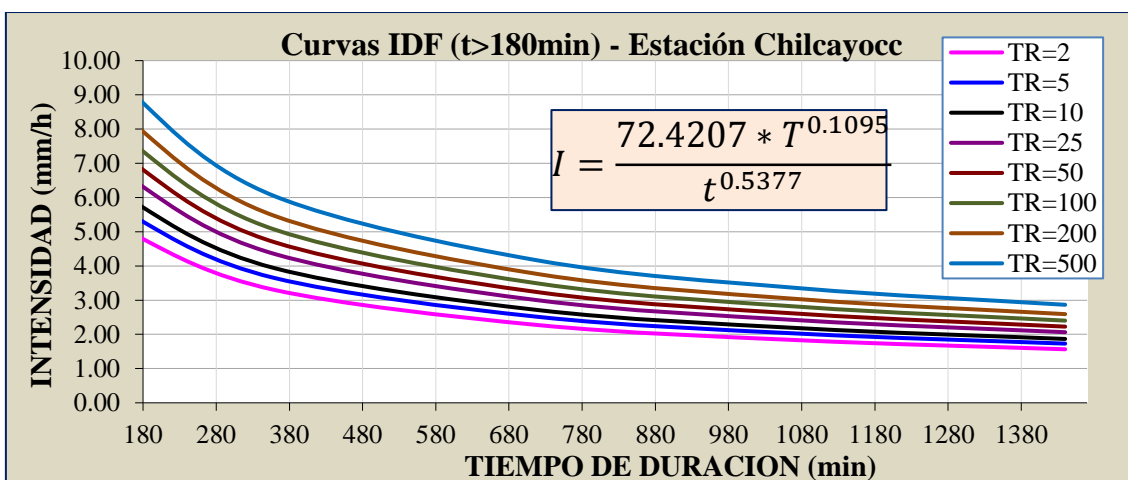


Figura 5.8: Curvas IDF (t>180min) - Estación Chilcayocc

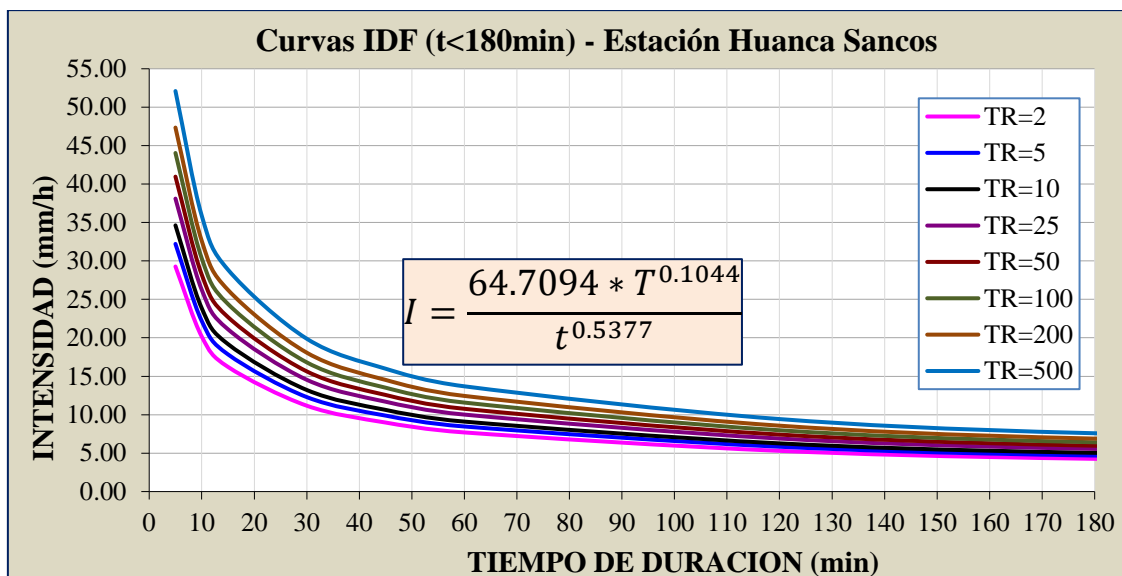


Figura 5.9: Curvas IDF (t<180min) - Estación Huanca Sancos

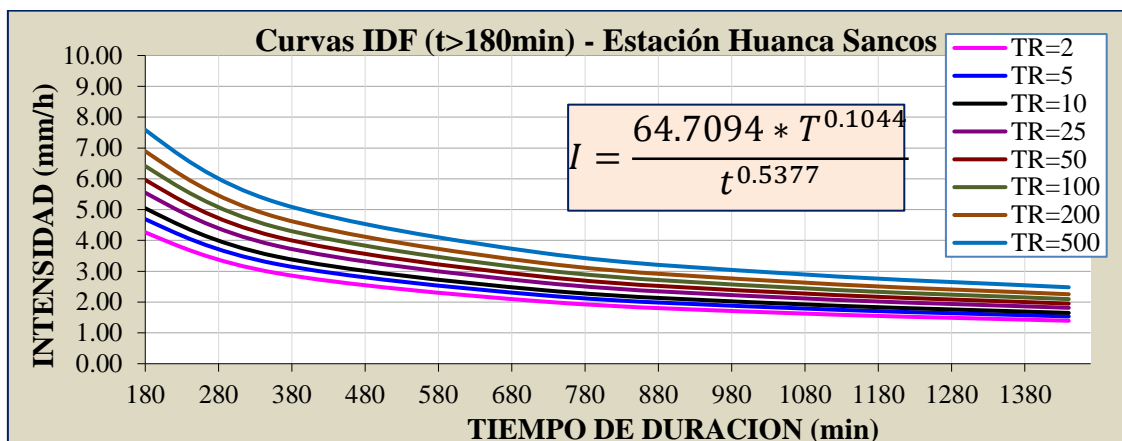


Figura 5.10: Curvas IDF (t>180min) - Estación Huanca Sancos

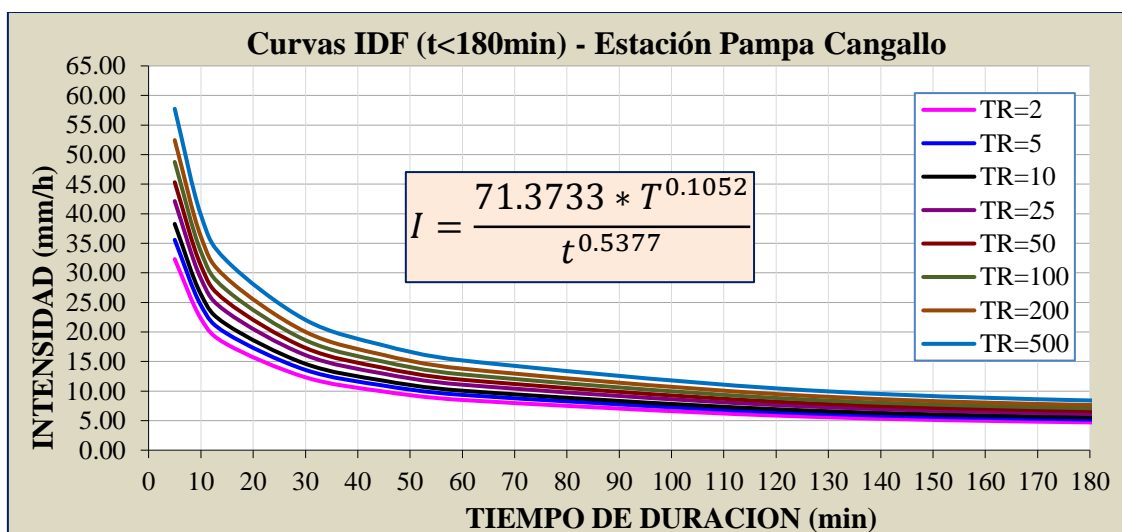


Figura 5.11: Curvas IDF (t<180min) - Estación Pampa Cangallo

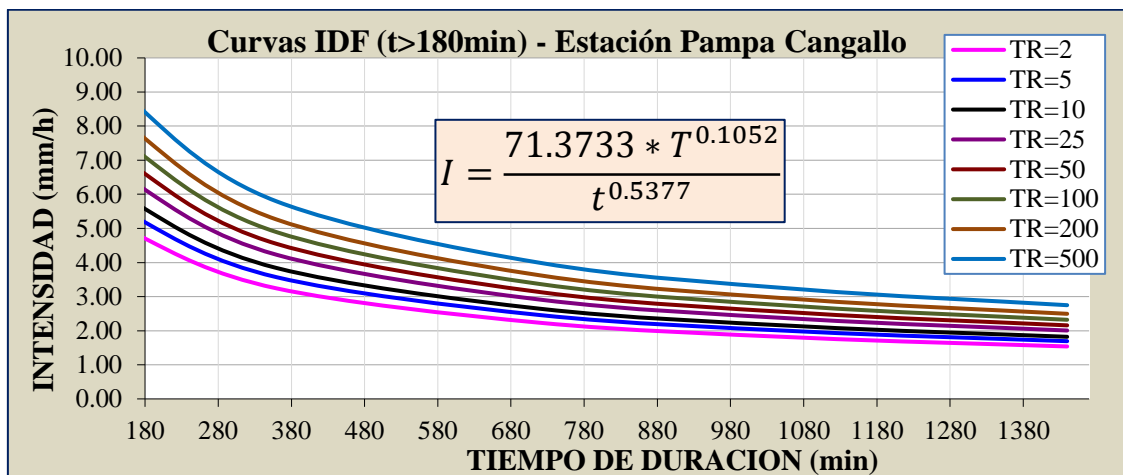


Figura 5.12: Curvas IDF (t>180min) - Estación Pampa Cangallo

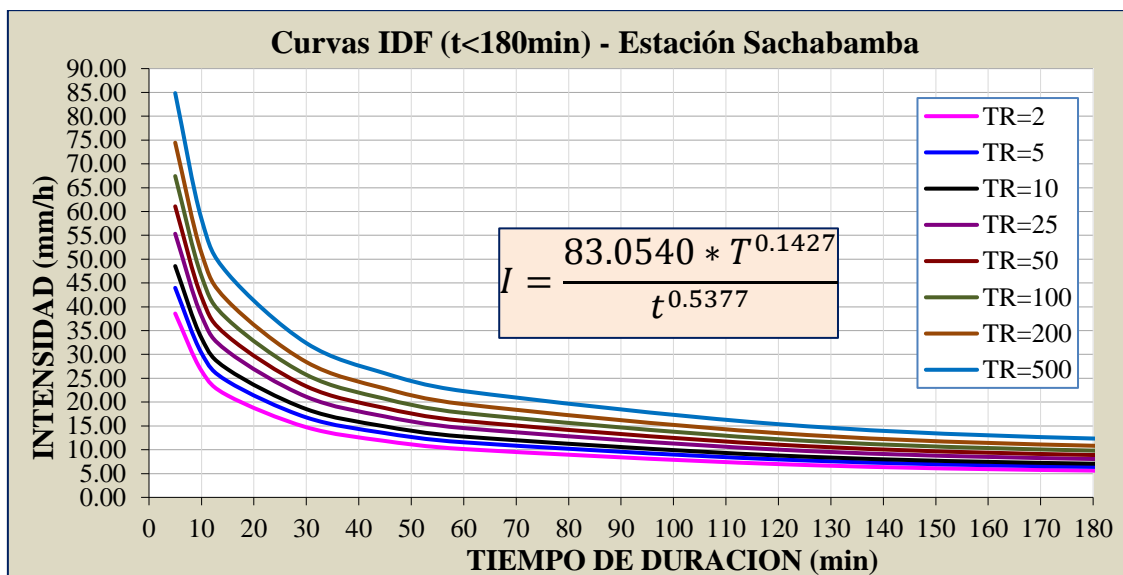


Figura 5.13: Curvas IDF (t<180min) - Estación Sachabamba

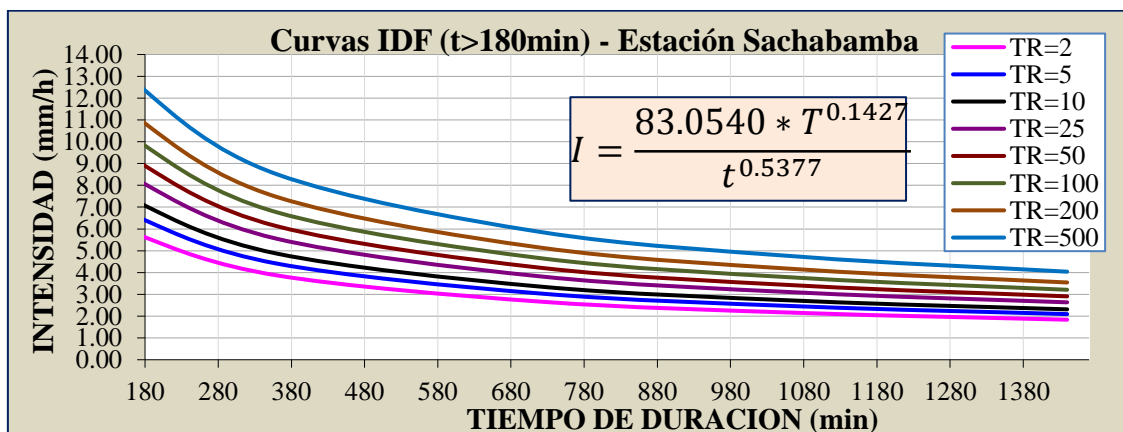


Figura 5.14: Curvas IDF (t>180min) - Estación Sachabamba

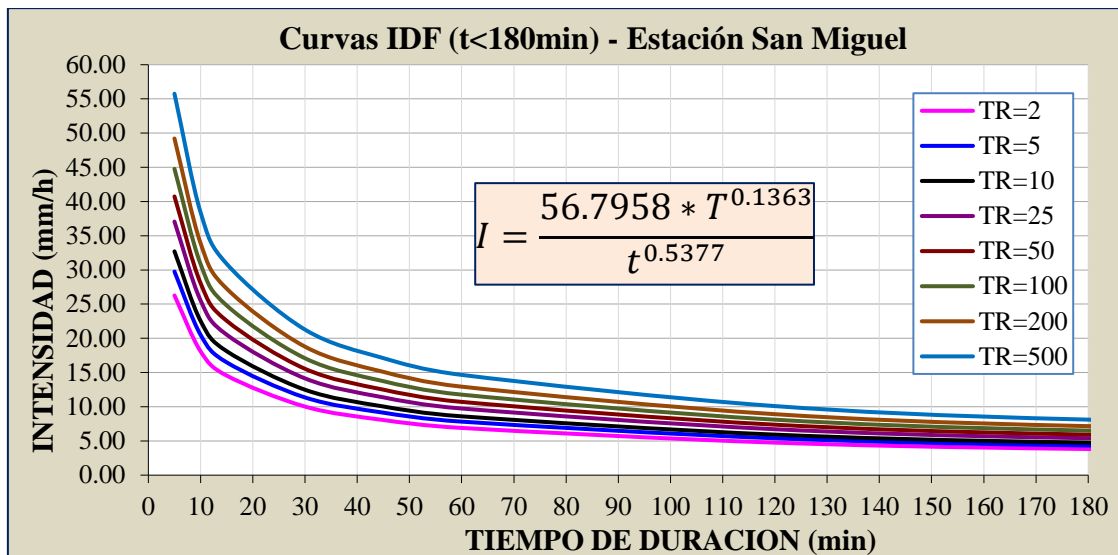


Figura 5.15: Curvas IDF (t>180min) - Estación San Miguel

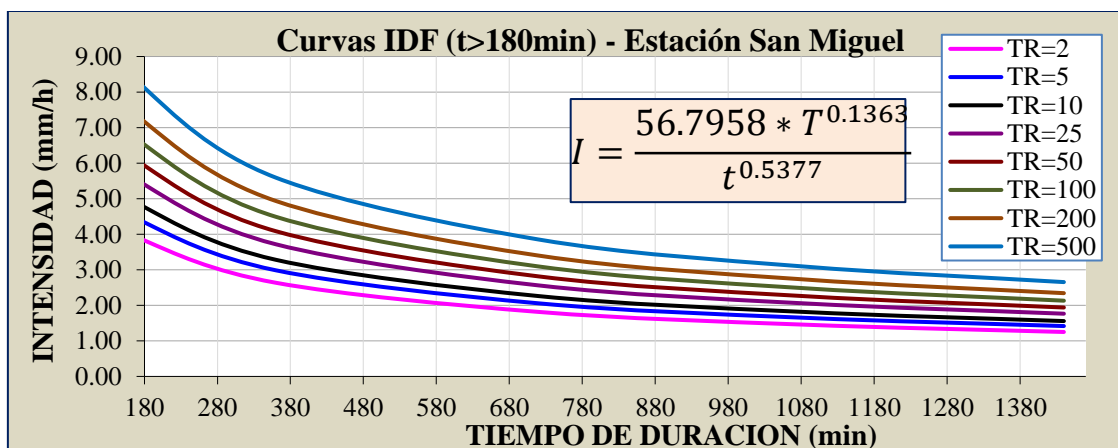


Figura 5.16: Curvas IDF (t>180min) - Estación San Miguel

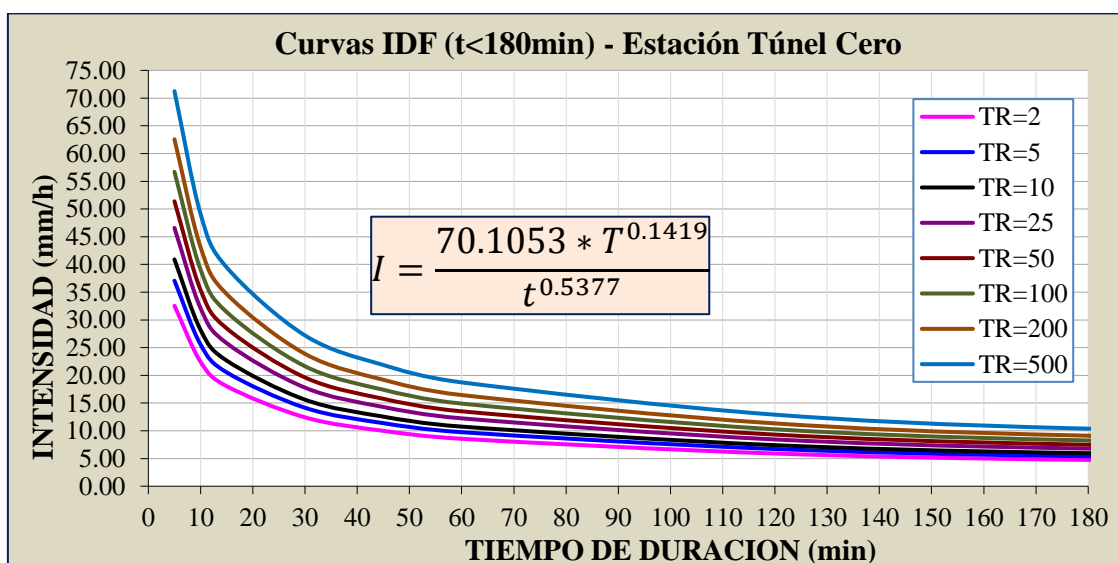


Figura 5.17: Curvas IDF (t<180min) - Estación Túnel Cero

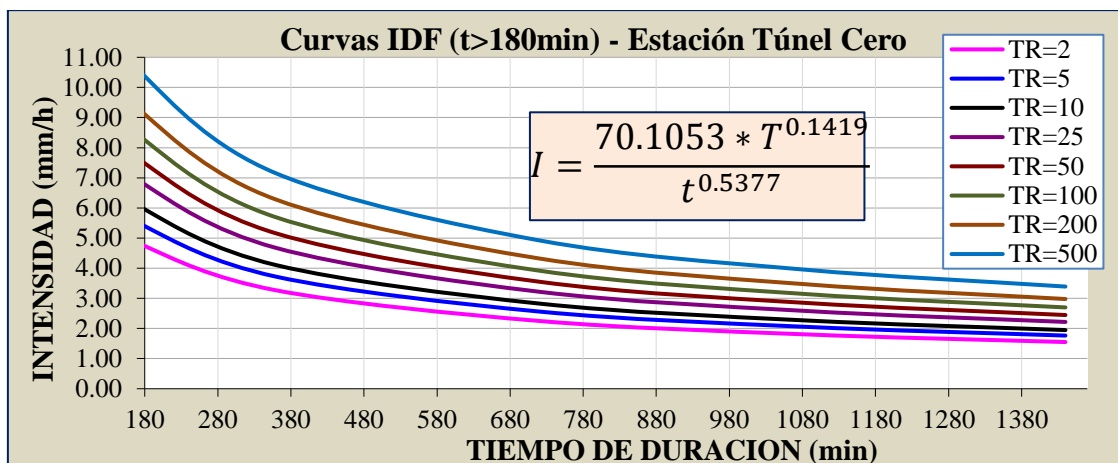


Figura 5.18: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Túnel Cero

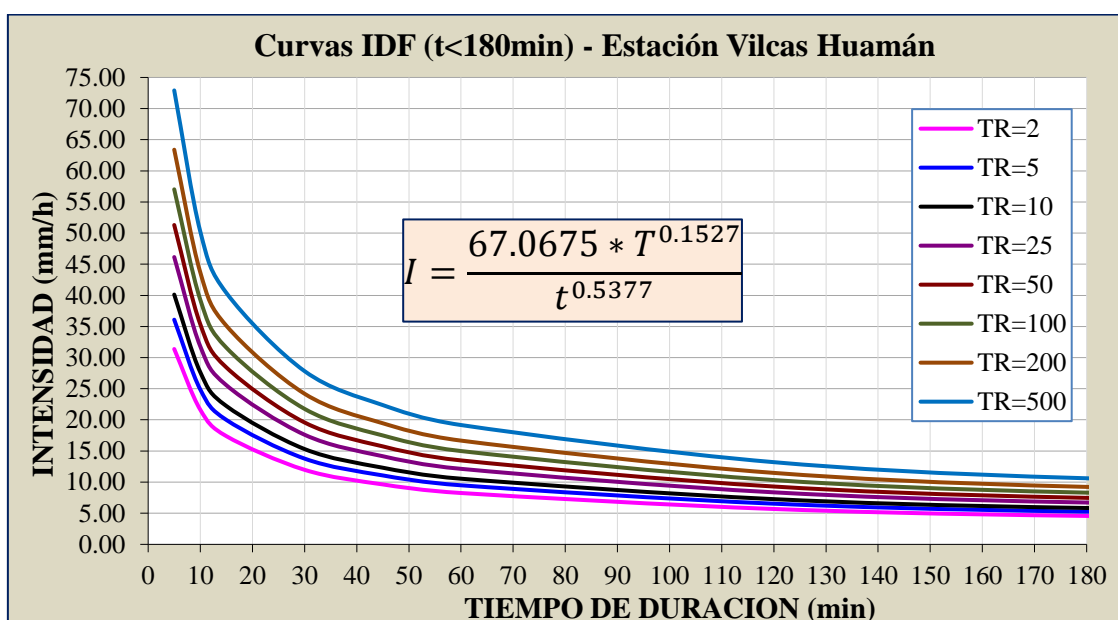


Figura 5.19: Curvas IDF ($t < 180$ min) - Estación Vilcas Huamán

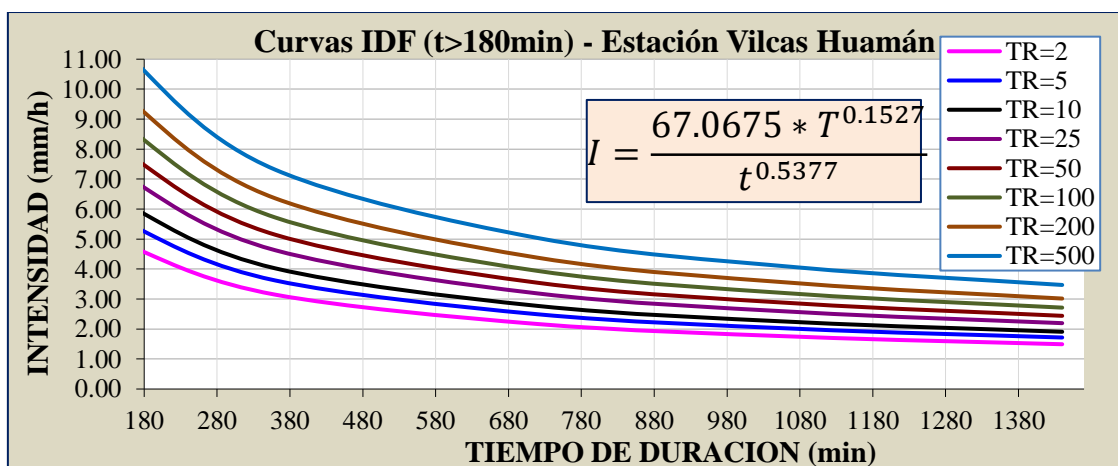


Figura 5.20: Curvas IDF ($t > 180$ min) - Estación Vilcas Huamán

Interpretación:

Las figuras 5.1 al 5.20 presentan ecuaciones de las curvas IDF para cada una de las estaciones pluviométricas. Estos resultados fueron generados mediante las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas, que se emplean para duraciones de varias horas y mediante una regresión potencial se obtuvo dichos parámetros de las curvas IDF, planteadas por MTC (2011)

5.1.3. Zonificación de las intensidades máximas de precipitación

Con los valores de intensidades de precipitación estimados para los distintos periodos de retorno y tiempos de duración en cada una de las estaciones pluviométricas, se utilizaron técnicas de análisis espacial para poder interpolar la información puntual con el objeto de generar grillas de información pluviométrica.

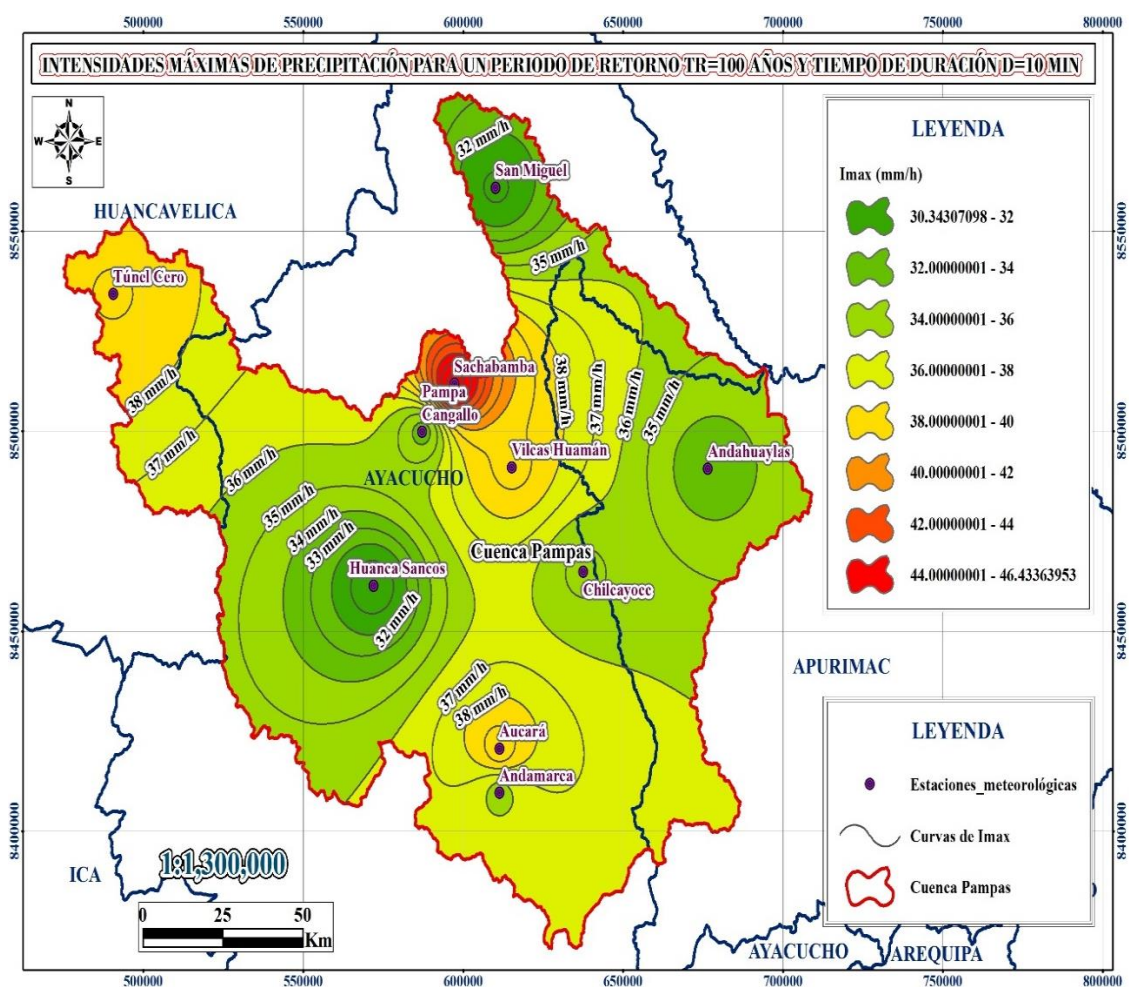


Figura 5.21: Intensidades máximas de precipitación para un periodo de retorno TR = 100 años y tiempo de duración D = 10 min

Interpretación:

La figura 5.21, muestra el mapa interpolado por el método IDW para la intensidad máxima de precipitación estimada para un período de retorno de 100 años y una duración de 10 minutos en mm/hora.

Para mayor detalle y ver los demás mapas ir al anexo.

5.2. Pruebas de hipótesis

La determinación de las intensidades máximas de precipitación y la zonificación de la cuenca, aportará como datos de entrada en el diseño de estructuras hidráulicas en la cuenca del río Pampas.

Se efectuó el tratamiento de datos sobre precipitación máxima de estaciones meteorológicas, luego se determinó las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones de precipitación y finalmente se zonificó mediante mapas las intensidades máximas de precipitación, que influirá de manera relevante e importante en la determinación de las intensidades máximas de precipitación en cualquier lugar la cuenca del río Pampas.

De acuerdo al establecido en la regla de decisión, la hipótesis queda validada, y se confirma que la determinación de las intensidades máximas de precipitación y la zonificación de la cuenca constituye una herramienta comúnmente utilizada para estimar caudales de diseño de estructuras hidráulicas, como obras de drenaje de carreteras, obras de alcantarillado, control y evacuación de inundaciones, diseño de conservación de suelos, protección de riberas, u otros, porque permite obtener información sobre las precipitaciones esperadas en un área determinada o zona.

5.3. Presentación de resultados

La presente investigación permitió para obtener un resultado favorable, en la aclaración y en la concepción de un proyecto de la intensidades máximas de precipitación y zonificación de la cuenca, conociendo los datos sobre la precipitación máxima de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca,

ecuaciones de las curvas IDF para estaciones de precipitación y zonificación utilizando mapas de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca; Se ha llegado a un entendimiento general de que, las intensidades máximas de precipitación son información fundamental para el desarrollo y análisis de muchos proyectos de ingeniería.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS

6.1. Desagregado del presupuesto del trabajo de investigación

El presupuesto para la elaboración del trabajo de investigación es la suma de S/ 6,418.50 tal como se muestra en el cuadro 6.1.

Cuadro 6.1. Presupuesto para la elaboración del trabajo de investigación

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario (S/.)	Total (S/.)
1	Bienes				1585
1.1	Materiales de escritorio				85.00
	papel bond A4	Millar.	2	30.00	60.00
	Lapiceros, corrector, resaltador, etc.	Global	1	25.00	25.00
1.2	Material de impresión				1500.00
	Fotocopias	Global.	1	250.00	250.00
	Ejemplares de tesinas	Unidad	5	250.00	1250.00
2	Servicios				4250.00
2.1	Recursos humano				4250.00
	Personal de dibujo y tipeo del informe	Global	1	3000.00	3000.00
	Pasajes	Viajes	5	150.00	750.00
	Viáticos y estadía	Viajes	5	100.00	500.00
	Sub Total				5835.00
	Imprevistos. (10% ST)				583.50
	Total				S/. 6418.50

CONCLUSIONES

- Se determinó las intensidades máximas de precipitación y mediante mapas se zonifica dichos resultados, y éstos serán útiles en el diseño de estructuras hidráulicas de futuros proyectos en la cuenca del río Pampas.
- En este trabajo de investigación se recopiló y procesó la información instantánea obtenida de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pampas, porque gracias a las precipitaciones máximas se generaron las ecuaciones de las curvas IDF.
- Se generaron las ecuaciones de las curvas IDF para cada una de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río Pampas, de esta manera se utilizaron estos resultados en la zonificación de la cuenca.
- En esta investigación, las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del río Pampas fueron zonificadas según intensidades máximas de precipitación para diferentes tiempos de retorno y distintos tiempos de concentración.

RECOMENDACIONES

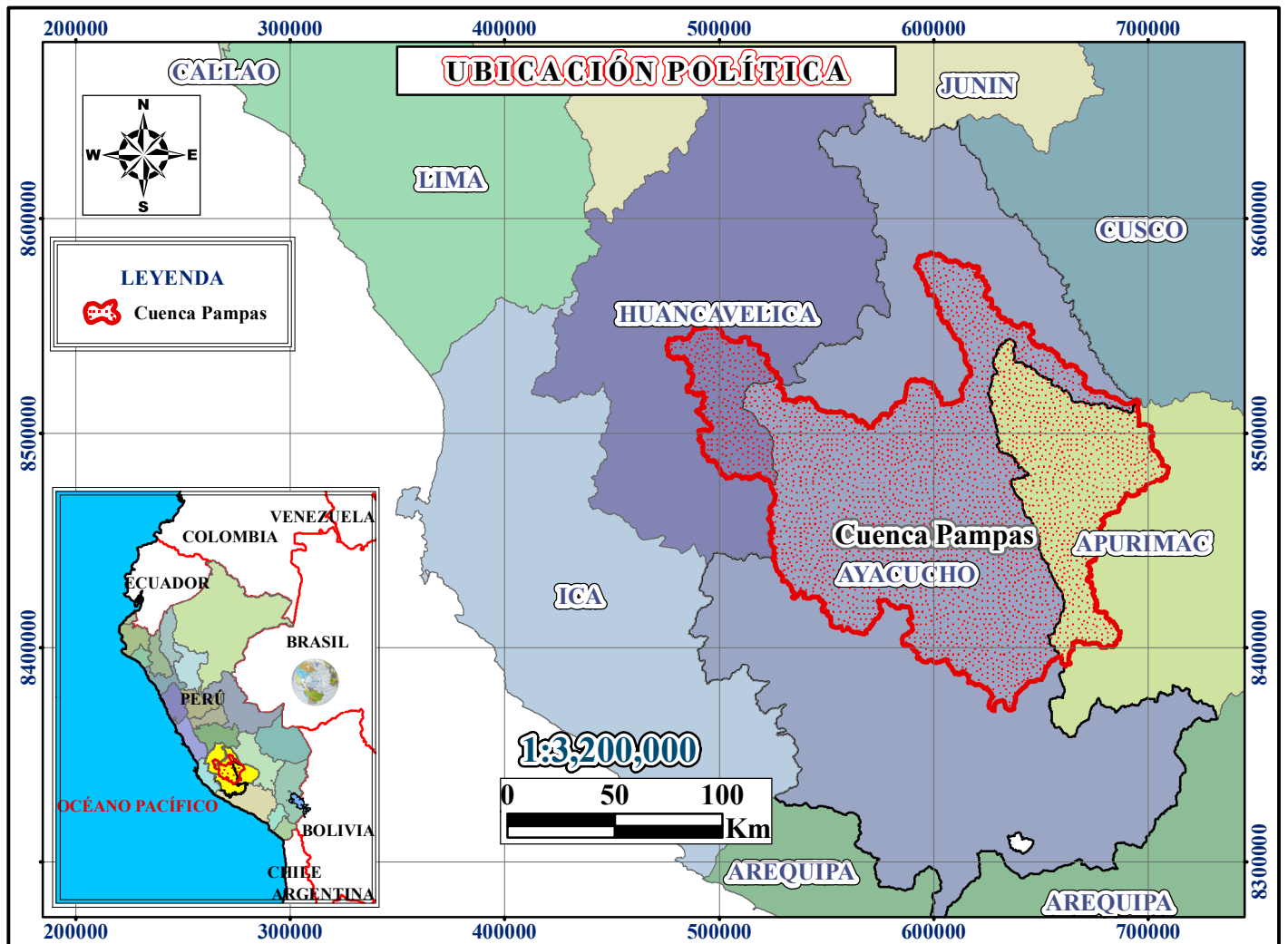
- Se recomienda destacar este tipo de investigaciones ya que permiten contar con datos de intensidades máximas de precipitación en cualquier punto de la cuenca, así hacer un mejor diseño de estructuras hidráulicas.
- Debido a la falta de información sobre precipitaciones en esta zona, los datos obtenidos son relativamente limitados, debido a la falta de información pluviométrica en la zona de estudio. Por tal motivo, se recomienda que los organismos responsables, como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), instalen más estaciones meteorológicas para futuras investigaciones.
- Para generar las ecuaciones de las curvas IDF para las estaciones pluviométricas, se recomienda emplear una regresión potencial.
- Para zonificar las intensidades máximas de precipitación en la cuenca, se recomienda emplear una herramienta de cálculo basada en el sistema de información geográfica GIS, utilizando el método de interpolación espacial a través de IDW.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

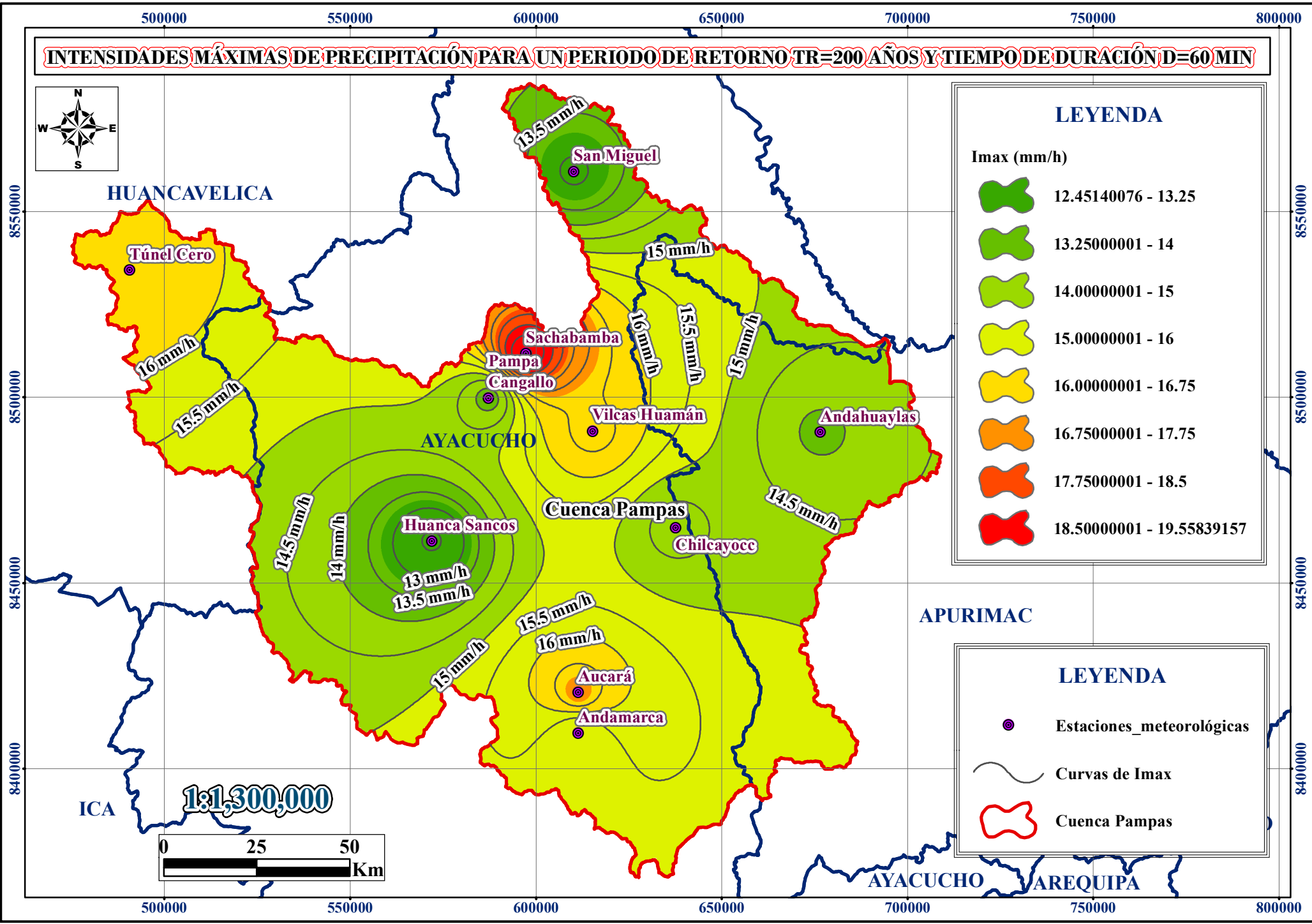
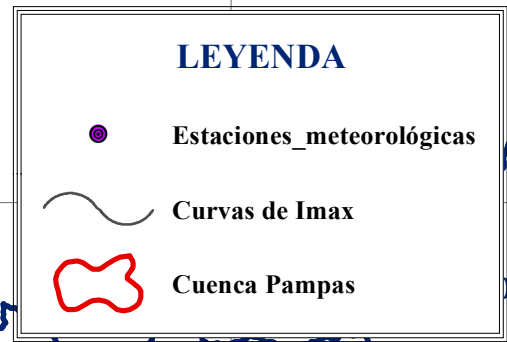
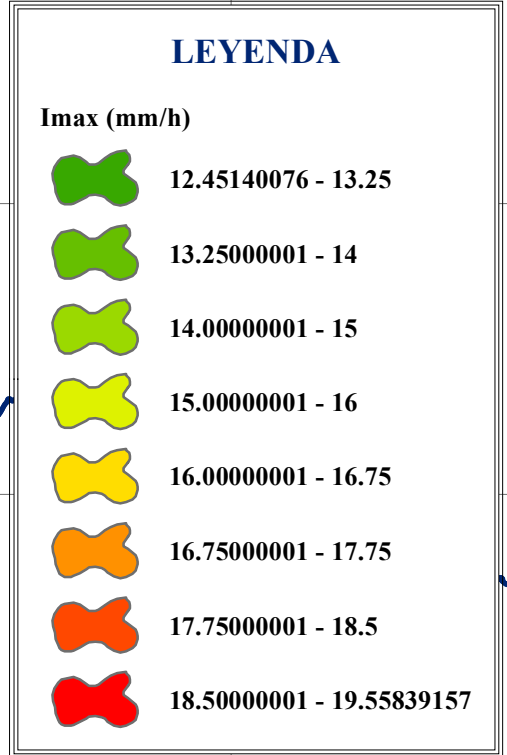
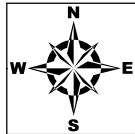
- ACOSTA P. (2016). Estimación de curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF) en puntos geográficos sin registros históricos de precipitación. Trabajo presentado para optar título de Magister en Ingeniería Civil Con Énfasis en hidroambiental. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja. Boyacá - Colombia.
- ANAYA N. (2017). Modelo regional de las intensidades máximas de precipitación en la cuenca del Mantaro – Junín-2015. Tesis para optar Maestro en Ciencias e Ingeniería Mención en Ingeniería de Recursos Hídricos. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Áncash - 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.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (2007). Órganos desconcentrados. Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/aaa-pampas-apurimac/ala-bajo-apurimac-pampas>.
- AWADALLAH A, ELGAMAL M., ELMOSTAFA A. Y ELBADRY H. (2011). Developing intensity-duration-frequency curves in scarce data region: an approach using regional analysis and satellite data. Engineering, 215-226. Egipto.
- CAHUANA A. E 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.
- CHEREQUE W. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Lima – Perú.
- CHOW V., MAIDMENT D. Y MAYS L. (1994). Hidrología aplicada. Santa Fe de Bogotá. Mc Graw-Hill Interamericana S.A.

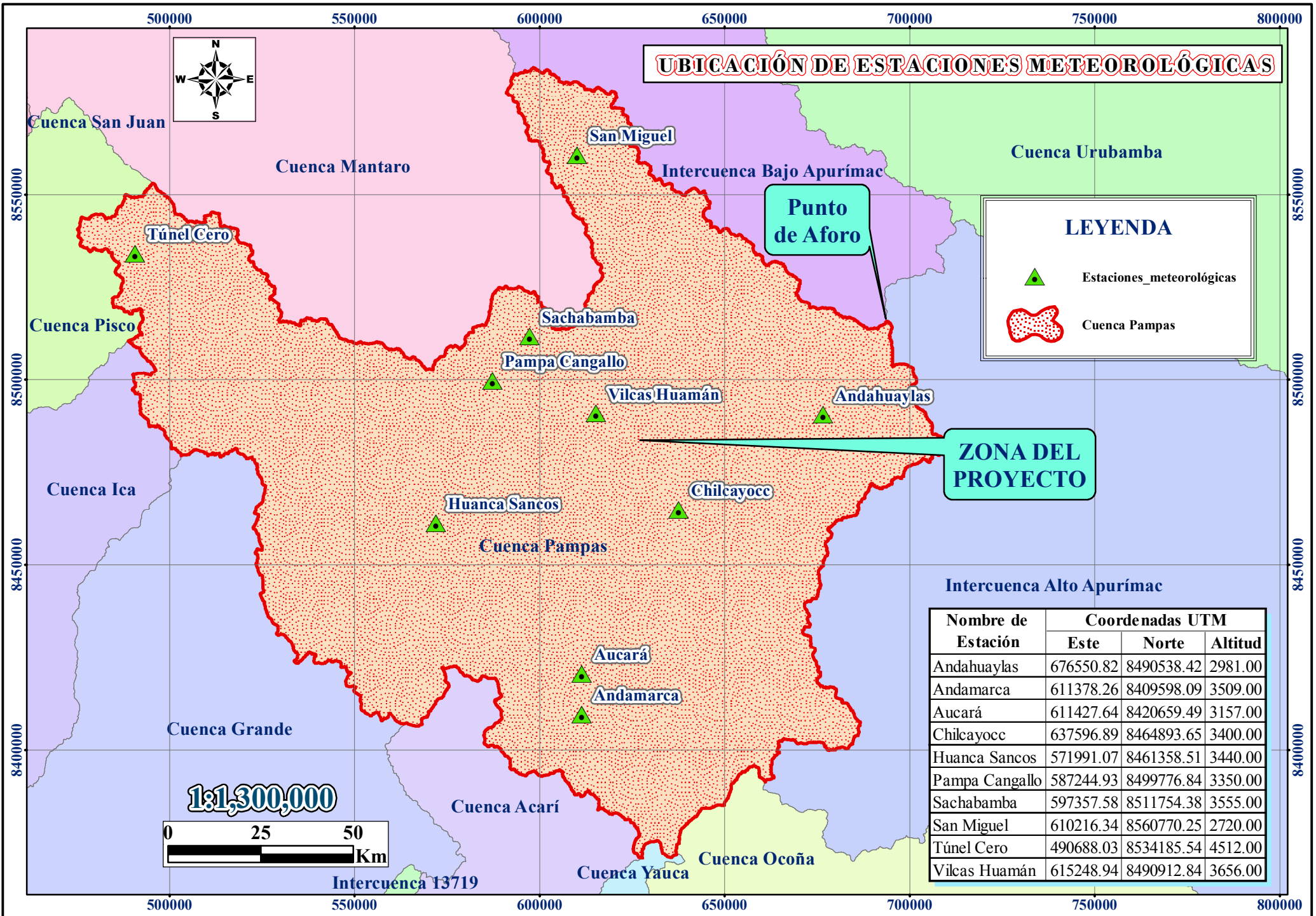
- ESCALANTE C. Y REYES L. (2002). Técnicas Estadísticas en Hidrología. Primera Edición. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.
- GARCÍA A. (2013). Análisis de distribuciones estadísticas alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo 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.
- HERSHFIELD D. (1961). Estimating the Probable Maximum Precipitation. American Society of Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division.
- 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.
- 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.
- PARIZACA Y. (2012). Regionalización de precipitaciones máximas en la cuenca del río Ramis. Tesis para optar título profesional de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano. Puno - Perú.
- RODRÍGUEZ E. (2008). Análisis de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en una microcuenca urbana, Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá - Colombia.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (2014). Análisis comparativo de métodos de interpolación espacial para la elaboración de mapas climáticos de precipitación. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-64.pdf>.
- VILLÓN M. (2002). Hidrología. Cartago - Costa Rica. Primera edición, Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

ANEXOS




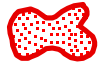
INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=60 MIN





UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

LEYENDA

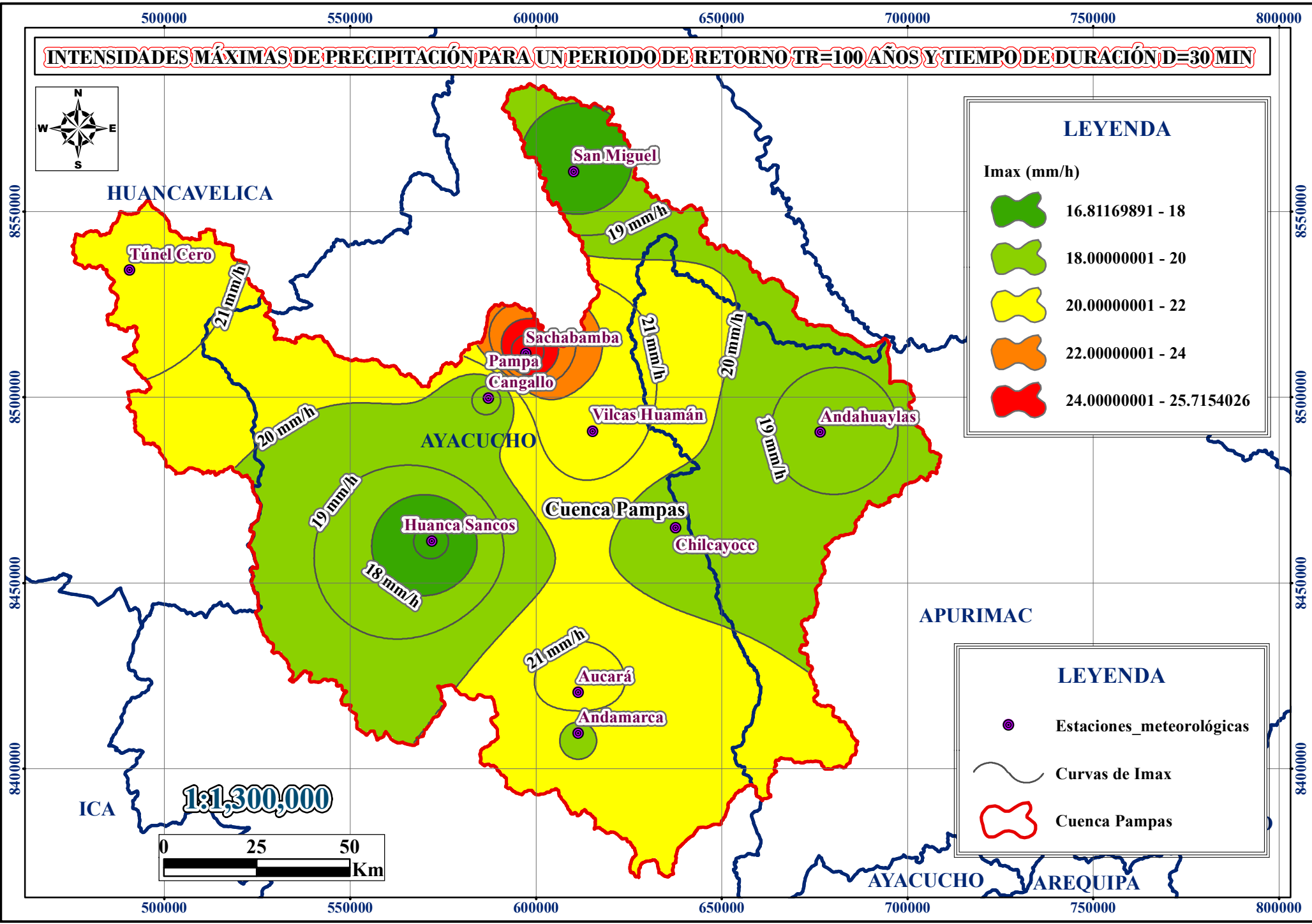
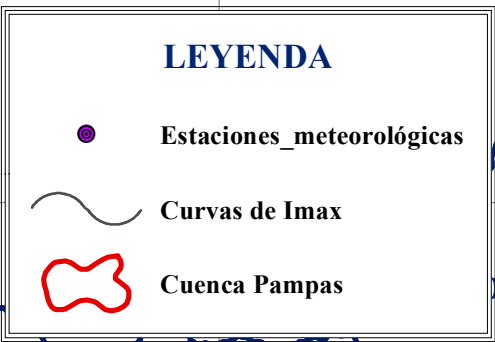
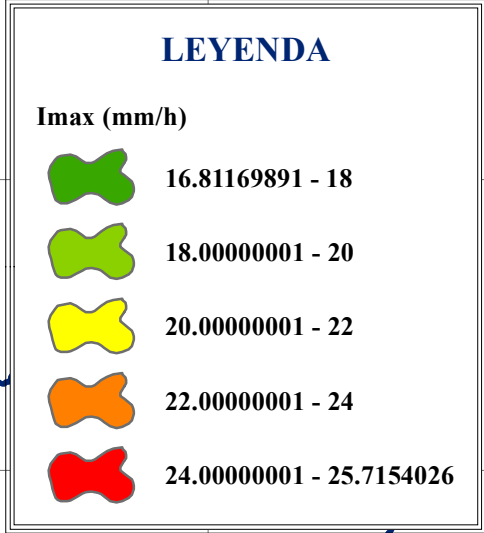
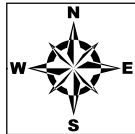
-  Estaciones_meteorológicas
-  Cuenca Pampas

ZONA DEL PROYECTO

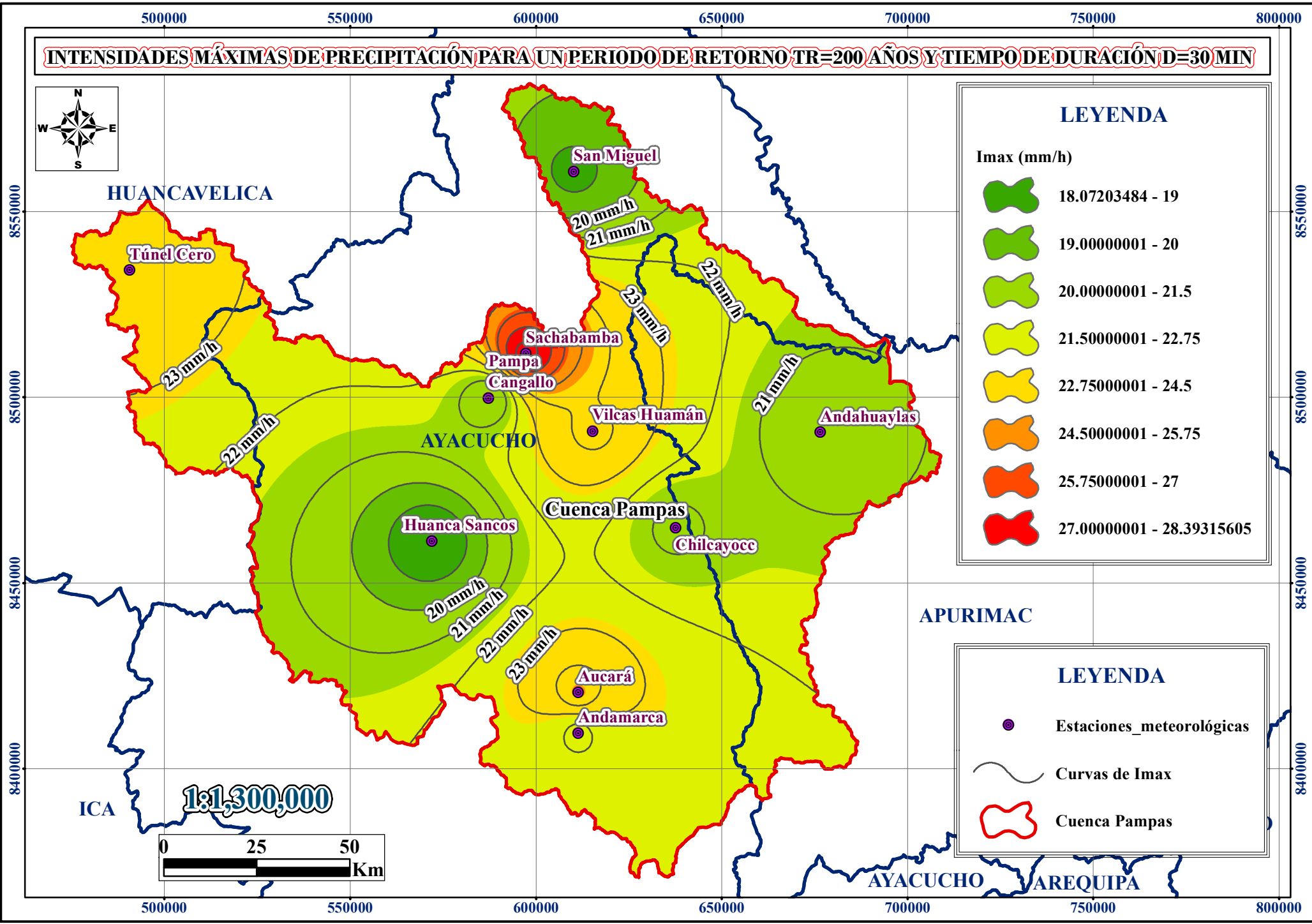
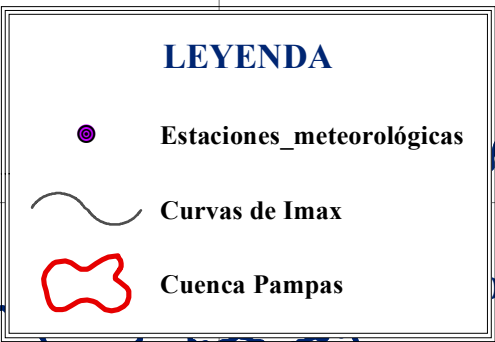
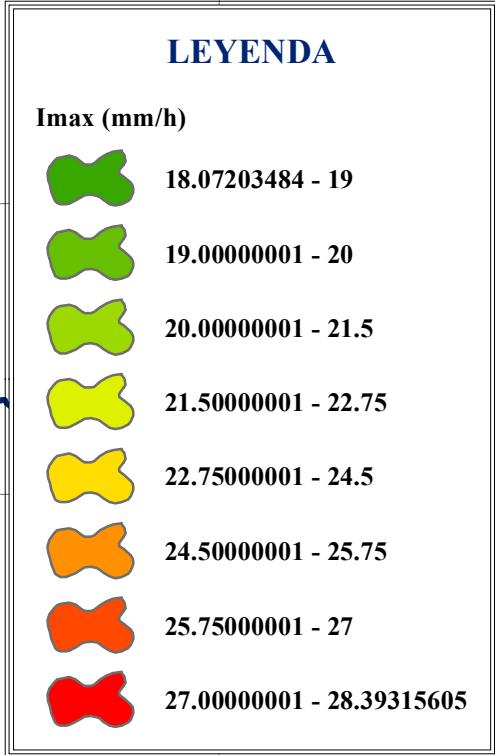
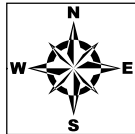
Intercuenca Alto Apurímac

Nombre de Estación	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Altitud
Andahuaylas	676550.82	8490538.42	2981.00
Andamarca	611378.26	8409598.09	3509.00
Aucará	611427.64	8420659.49	3157.00
Chilcayocc	637596.89	8464893.65	3400.00
Huanca Sancos	571991.07	8461358.51	3440.00
Pampa Cangallo	587244.93	8499776.84	3350.00
Sachabamba	597357.58	8511754.38	3555.00
San Miguel	610216.34	8560770.25	2720.00
Túnel Cero	490688.03	8534185.54	4512.00
Vilcas Huamán	615248.94	8490912.84	3656.00

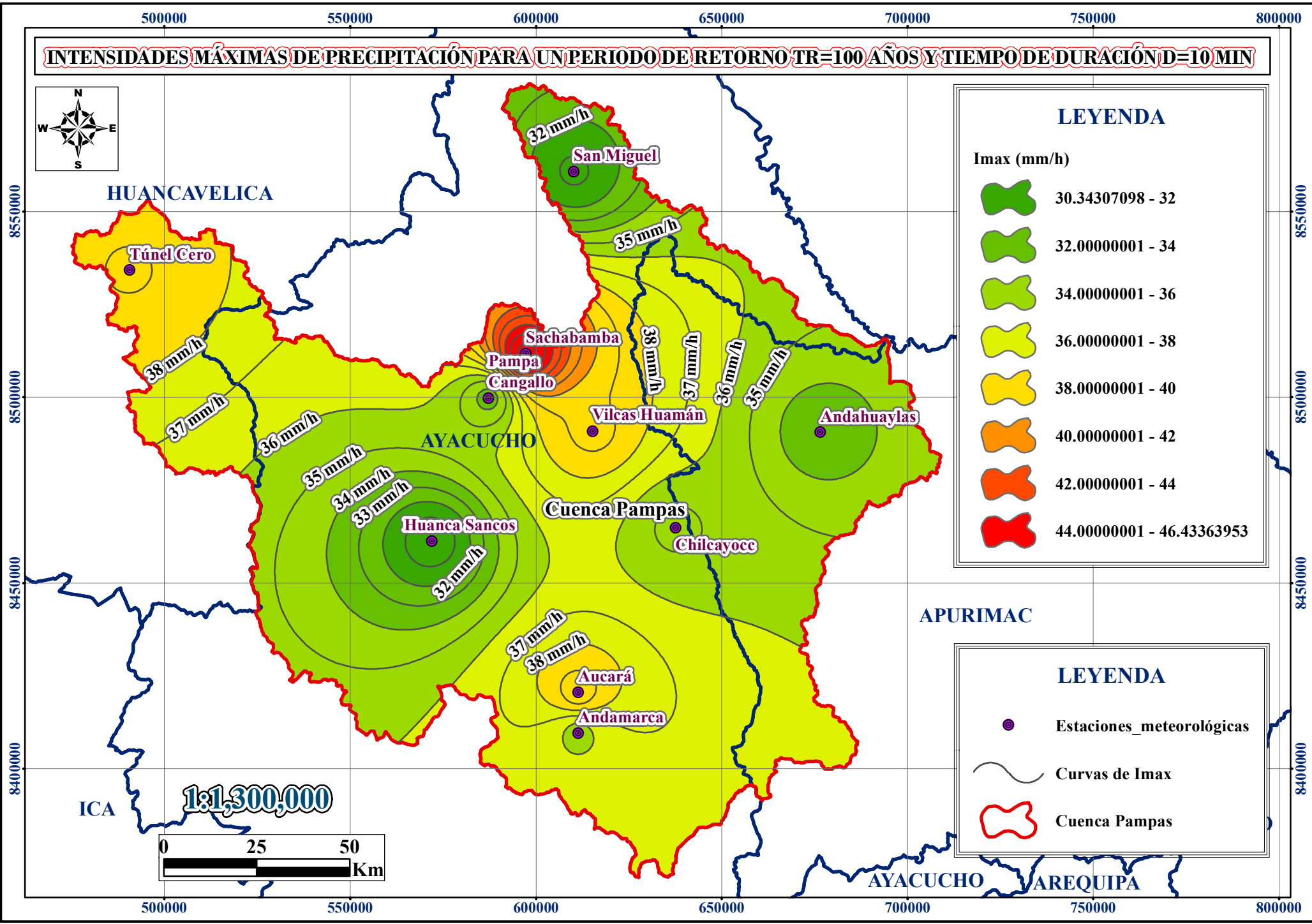
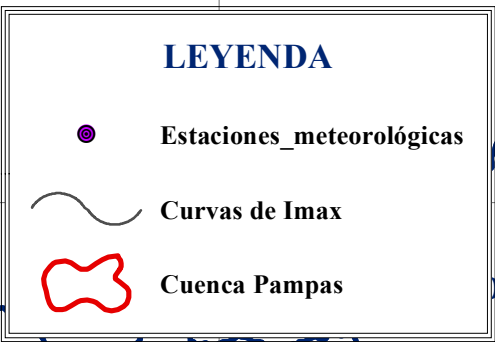
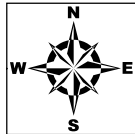
INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=30 MIN



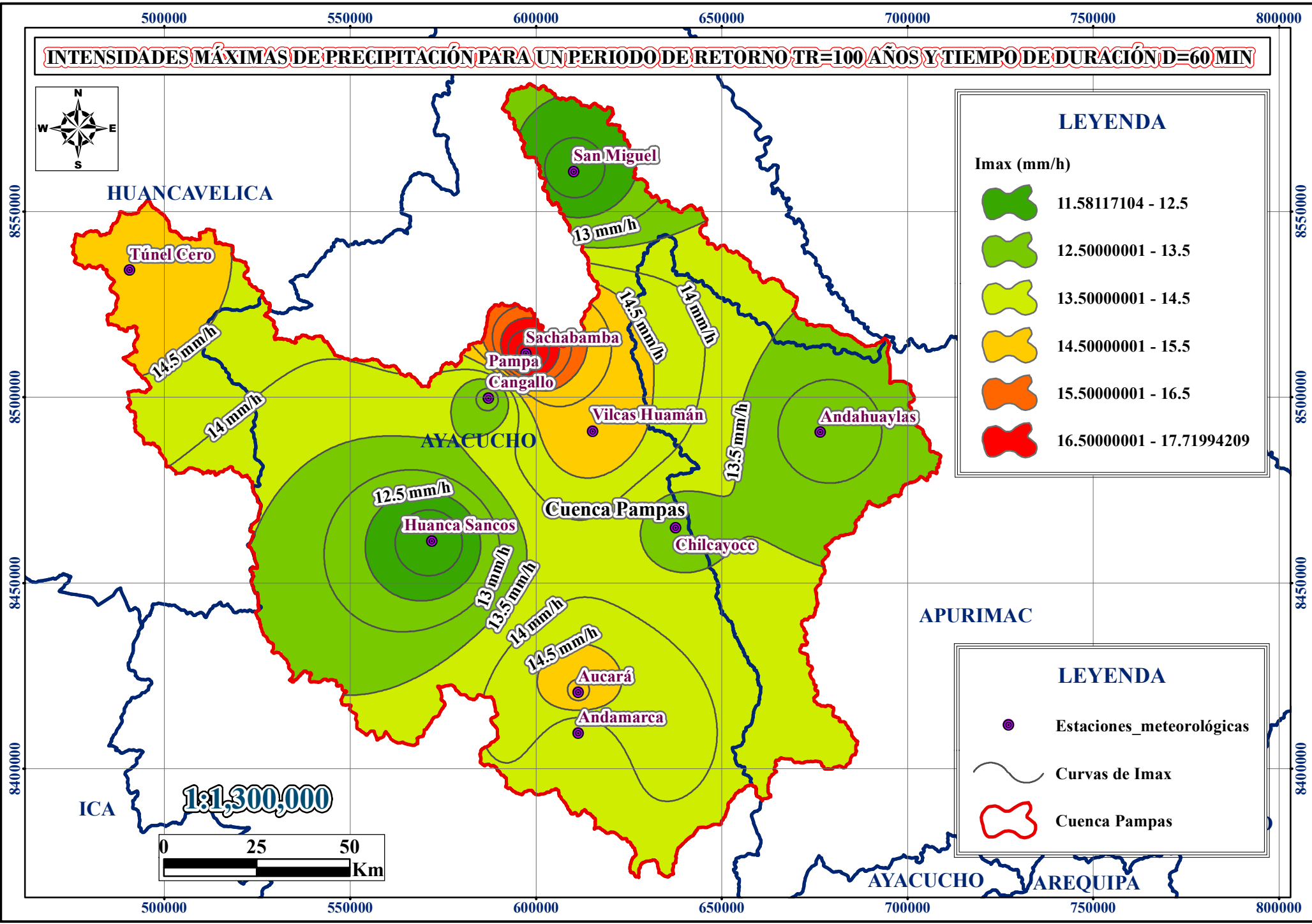
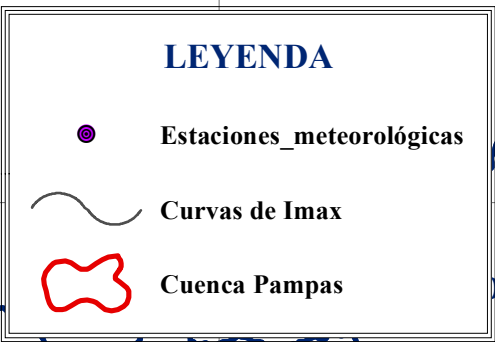
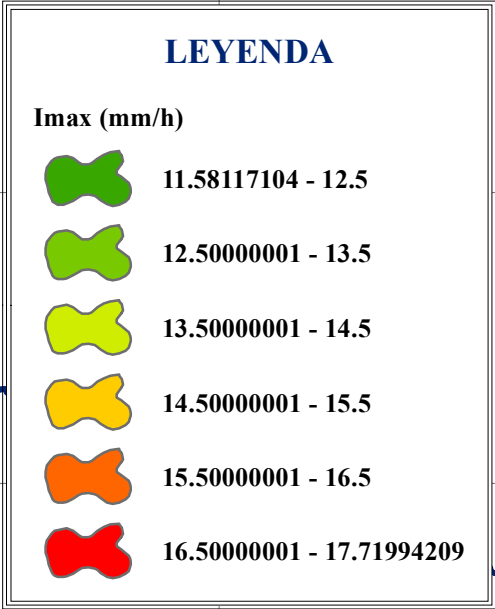
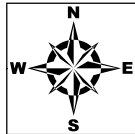
INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=30 MIN



INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=10 MIN



INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=100 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=60 MIN



INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO TR=200 AÑOS Y TIEMPO DE DURACIÓN D=10 MIN

