

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de
Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y**

HEC-RAS

Tesis para optar el Título profesional en Ingeniería Civil

Autor

James Zosimo Chagua Cierito

Asesor

MSc. Ing. Richard Paul Pehovaz Álvarez

Lima, diciembre de 2018

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta este momento y haberme dado salud, fuerza y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su bendición.

A mis amados padres, por sus consejos, sus valores, por el valor mostrado para salir adelante, por su amor y por su sacrificio para convertirme en una persona de bien. Gracias por poner siempre como prioridad el desarrollo de nuestra familia

A mi hermana, por estar siempre conmigo y su apoyo incondicional.

A mi esposa por su amor y a mi hijo Andres, quien llena la casa de gozo y alegría

Agradecimiento

Un agradecimiento especial al ingeniero Richard Paúl Pehovaz Álvarez, por su valioso apoyo en la elaboración de la presente tesis a través de sus conocimientos y experiencias, y sobre todo por tener siempre la disposición de guiarme, enseñarme y aconsejarme.

Resumen

La tesis comprende el análisis hidrológico y el análisis hidráulico de la cuenca del río mala obteniendo como resultado un mapa de inundación en el distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima.

El desarrollo del mapa de inundación inicia con la delimitación de la cuenca en estudio, la delimitación de las subcuencas, generación de la red hídrica y de los parámetros geomorfológicos, todo ello a través del Sistema de Información Geográfica ARCGIS.

El análisis hidrológico comprende desde la recolección de datos de precipitación máxima en 24 horas, pasando por un proceso de corrección recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), análisis probabilístico de distribución normal, distribución de Gumbel y la distribución Pearson tipo III, la elaboración de hietograma de diseño por el método de bloques alternos y la simulación hidrológica a través del modelo matemático HEC-HMS obteniendo como resultado los caudales de diseño para los periodos de retorno de 100 y 500 años.

Por otro lado, el análisis hidráulico comprende desde el reconocimiento de campo, la generación de curvas de nivel a través del DEM proporcionado por la NASA, la generación de la trayectoria y de las secciones del río, las características del canal de río para los valores de coeficiente de rugosidad de Manning y por último la simulación hidráulica con los caudales de diseños obtenidos en el análisis hidrológico.

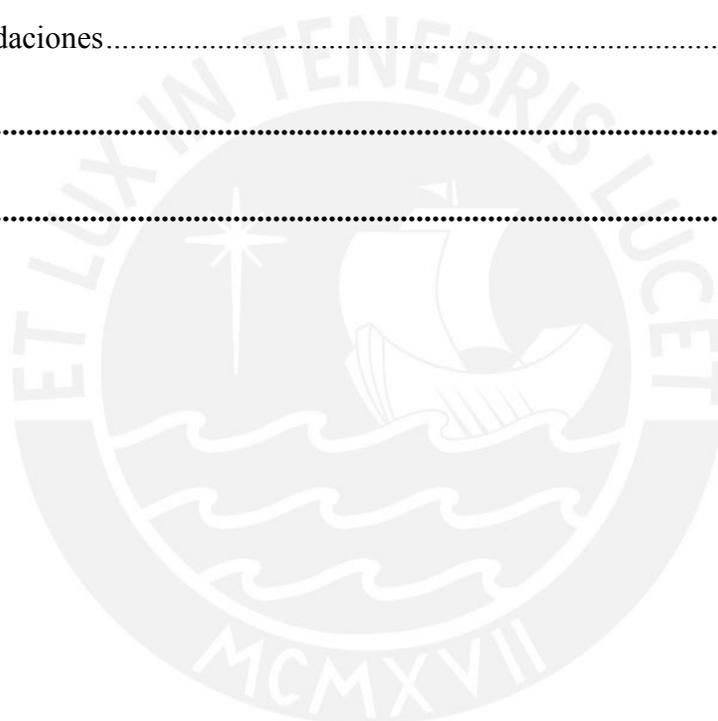
Finalmente, con el análisis hidráulico se obtuvo, a través del ARCGIS, las zonas de inundación. Para el periodo de retorno de 100 años el área de inundada por el río Mala es de 177,140 m² equivalente a 17.714 Ha., y para un periodo de retorno de 500 años el área de inundada es de 254,170 m² equivalente a 25.417 Ha.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	ii
Índice de Tablas.....	v
Índice de Figuras	vii
Lista de Anexos.....	x
Capítulo 1. Generalidades	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Justificación.....	2
1.1.2. Antecedentes	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Alcances	4
Capítulo 2. Marco Teórico	5
2.1. Hidrología	5
2.1.1. Cuenca hidrográfica.	5
2.1.2. Precipitación.....	8
2.1.3. Evaluación de la información hidrológica	10
2.1.4. Área del proyecto, estudio de las cuencas hidrográficas.....	10
2.1.5. Periodo de retorno	10
2.1.6. Análisis estadístico de datos hidrológicos.....	11
2.1.7. Estudio de una tormenta.....	14

2.1.5. Exceso de precipitación y escorrentía directa	21
2.1.6. Estimación de caudales	26
2.2. Hidráulica	30
2.2.1. Movilidad Fluvial.....	30
2.2.2. Conductos abiertos	32
2.2.3. Propiedades geométricas de la sección transversal	32
2.2.4. Selección del coeficiente de rugosidad de Manning	34
Capítulo 3. Metodología y datos	36
3.1. Metodología	36
3.2. Datos	41
3.2.1. Zona de estudio	41
3.2.2. Precipitación.....	44
3.2.3. Corrección de datos de precipitación máxima	44
Capítulo 4. Cálculos y resultados.....	47
4.1. Estudio Hidrológico	47
4.1.1. Delimitación de cuenca	47
4.1.2. Características de la cuenca del río Mala.....	50
4.1.3. Análisis de Precipitación	53
4.1.4. Curvas IDF	56
4.1.5. Hietograma de diseño.....	60
4.1.6. Modelamiento en HEC-HMS.....	64
4.1.7. Resultados de la modelación hidrológica.....	69

4.2. Estudio Hidráulico	71
4.2.1. Uso de la extensión HEC-GeoRAs	72
4.2.2. Uso del modelo HEC-RAS	73
4.3. Resultados de la modelación hidráulica	77
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	82
5.1. Conclusiones	82
5.2. Recomendaciones	84
Referencias	85
Anexos	87



Índice de Tablas

Tabla 1. Récord de fenómenos del Niño más intensos.	3
Tabla 2 Valores críticos d para la prueba de Kolmogórov-Smirnov	14
Tabla 3 Coeficiente de duración lluvias entre 48 horas y 1 hora	17
Tabla 4 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración	19
Tabla 5 Valores del coeficiente de rugosidad n	35
Tabla 6 Precipitación máxima en 24 horas	45
Tabla 7 Precipitación máxima en 24 horas	46
Tabla 8 Área de subcuencas	50
Tabla 9 Tabla de atributos	51
Tabla 10 Elevación media	52
Tabla 11 Resumen de caracterización	53
Tabla 12 Resultados de distribución de probabilidad de la estación Ayaviri	54
Tabla 13 Prueba de bondad de ajuste de la Estación Ayaviri.	55
Tabla 14 Precipitación máx. en 24 horas Vs Tiempo de retorno	56
Tabla 15 Coeficientes de duración	56
Tabla 16 Precipitación Máxima para la estación Ayaviri.	57
Tabla 17 Intensidad Máxima para la estación Ayaviri.....	58
Tabla 18 Intensidad vs Tiempo de duración de la estación Ayaviri.	59
Tabla 19 Ayaviri, intensidades de precipitación 100 años.....	61
Tabla 20 Intensidades de precipitación $T_r=500$ años para la estación Ayaviri.....	63
Tabla 21 Número de curva para las subcuencas	66
Tabla 22 Abstracción inicial de Subcuencas.....	66

Tabla 23 Tiempo de concentración de las subcuencas.....	67
Tabla 24 Tiempo de retardo de las subcuencas.....	68
Tabla 25 Caudales máximos observados	68
Tabla 26. Secciones de río Mala según progresiva correspondiente	74
Tabla 27 Área de planicies de inundación del río Mala, para TR 100 años	80
Tabla 28 Área de planicies de inundación del río Mala, para TR 500 años	81



Índice de Figuras

Figura 1. Descargas máximas anuales del río Mala	3
Figura 2. Delimitación de cuenca.....	5
Figura 3: Curva hipsométrica.....	7
Figura 4: Obtención del polígono de Thiessen	9
Figura 5: Curva intensidad-duración-frecuencia.....	16
Figura 6: Hietograma de diseño	21
Figura 7: Solución de las ecuaciones de escorrentía	24
Figura 8. Números de curvas de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub-urbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$	25
Figura 9: Hidrograma unitario triangular del SCS.....	28
Figura 10: Zona de trabajo del HEC-HMS	29
Figura 11: Leche rígido y lecho móvil.....	30
Figura 12: Canal natural de río.....	33
Figura 13: Parámetros de la sección transversal de un canal	33
Figura 14: Parámetros de la sección transversal de un canal	34
Figura 15. Procedimiento de calibración	40
Figura 16. Fotografías del río Mala.....	42
Figura 17. Fotos de la cuenca del río Mala	43
Figura 18: Ubicación cartográfica de la cuenca del río Mala	47
Figura 19: Delimitación de la cuenca del río Mala	48
Figura 20: Subcuencas del río Mala.....	49
Figura 21: Red hídrica de la cuenca del río Mala	49

Figura 22: Curva hipsométrica.....	51
Figura 23: Curvas IDF de la cuenca del río Mala	60
Figura 24: Hietograma de precipitación Tr=100 años para la estación Ayaviri	62
Figura 25: Hietograma de intensidad Tr=100 años para la estación Ayaviri.....	62
Figura 26: Hietograma de precipitación Tr=500 años en la estación Ayaviri	64
Figura 27: Hietograma de intensidad Tr=500 años en la estación Ayaviri.....	64
Figura 28: CN, de la cuenca del río Mala	65
Figura 29: Hidrograma de caudal para Tr = 100 años	69
Figura 30: Hidrograma de caudal para Tr 500 años.....	70
Figura 31. Curvas de nivel de la zona	71
Figura 32. Digitalización geométrica de un tramo del río Mala mediante la extensión Hec-GeoRas	72
Figura 33. Secciones transversales cada 75m del río Mala digitalizadas con la extensión Hec-GeoRas	73
Figura 34. Secciones del río Mala.....	75
Figura 35. Vista en 3D del río Mala para $Q=409.5\text{m}^3/\text{s}$ correspondientes aun Tr = 100 años.	76
Figura 36. Vista en 3D del río Mala para $Q=542.58\text{m}^3/\text{s}$ correspondiente a un Tr = 100 años	76
Figura 37. Mapa de inundación para caudal de Tr =100 años	77
Figura 38. Mapa de inundación para caudal de Tr 500 años.....	78
Figura 39. Fotografía de la zona de estudio.	79

Lista de Anexos

Anexo 1. Desarrollo del modelamiento hidrológico con el software HEC-HMS para la cuenca del río Mala.....	88
Anexo 2 Tablas de datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones en estudio	95
Anexo 3 Tablas de distribución de probabilidades de las estaciones en estudio.....	102
Anexo 4 Pruebas de bondad de ajuste de las estaciones en estudio.....	108
Anexo 5 Tablas de precipitación máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno.....	114
Anexo 6 Tablas de intensidad máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno.....	117
Anexo 7 Tablas de valores y curvas IDF de las estaciones en estudio.....	120
Anexo 8. Hietograma de diseño de precipitación por método de bloques alternos de las estaciones en estudio	126
Anexo 9. Secciones del río Mala.....	144
Anexo 10. Imágenes de la zona de estudio en la cuenca del río Mala	150
Anexo 11. Valores de tirantes en los mapas de inundación.....	152

Capítulo 1. Generalidades

1.1. Introducción

El proceso del cambio climático, es uno de los problemas ambientales más graves al que nos enfrentamos en la actualidad. Diversos centros de investigación se están enfocando exclusivamente a como desacelerar el cambio climático y a la vez proponiendo soluciones para afrontar los desastres que trae como consecuencia.

En el Perú, los desastres más incidentes a causa del cambio climático son las inundaciones, huaycos, deslizamiento de suelo, friaje, sequias, entre otros. Sin embargo, en estos últimos años, las inundaciones han sido el principal desastre que ha traído daños materiales y pérdidas humanas. La inundación más reciente en nuestro país se presentó en el verano del 2017, lo cual se caracterizó por ser uno de los más críticos de la historia en la región costera, afectando económicamente y la calidad de vida de los habitantes. (Koechlin, 2017)

Si bien es cierto no podemos evitar que los fenómenos naturales ocurran, es posible actuar sobre estos eventos que hacen vulnerable a la sociedad.

La recurrencia de estas inundaciones, ponen en riesgo los recursos naturales, la seguridad alimentaria y la salud humana, mayormente de la población de menores recursos económicos, retrasando el desarrollo local y regional.

En tal sentido ante este problema alarmante, en las diferentes regiones del mundo se han planteado metodologías para determinar la magnitud de los desbordamientos de los ríos.

En el caso de Perú, tenemos un déficit en información y herramientas que faciliten la determinación hidrológica e hidráulica de una zona en riesgo de inundación. Para ello se plantea una metodología cuantitativa de estimación de áreas de inundación para determinar posibles soluciones ante estos fenómenos recurrentes.

1.1.1. Justificación

En el distrito de Calango la principal actividad socioeconómica es la agricultura, siendo la manzana Delicia y la uva Quebranta su principal producción. Posee una extensión de 530.89 km² con una población actual de 2200 habitantes. Sus viviendas, en la gran mayoría son de un solo nivel y están construidas de forma artesanal siendo el adobe, el principal material de construcción.

Las zonas de cultivo y vivienda del distrito de Calango, se encuentran ubicados exactamente a orillas del Río Mala siendo este un problema constante de año tras año por los desbordes de crecidas de río.

Ante la problemática e incertidumbre de conocer las áreas de incidencia de inundación, se realiza un análisis hidrológico e hidráulico para generar un mapa de inundación, siendo esta una alternativa para plasmar las zonas afectadas ante un evento extraordinario de precipitación.

1.1.2. Antecedentes

La provincia de Cañete ha sido afectada a lo largo del tiempo por muchos fenómenos del Niño. En 1972 se produjo el fenómeno del Niño, el cual fue considerado por expertos como un Niño fuerte, que llegó a inundar terrenos agrícolas del distrito de Mala y centros poblados cercanos a la ribera del río (distrito de Calango); y los Niños entre moderados y débiles, ocasionaron cambios severos especialmente en el clima y el caudal del río superó los 300 m³/s. (Zerga Ocaña, 2003, pág. 83)

En el periodo 98-99, también considerado como Niño fuerte, la temperatura del aire alcanzó valores máximos. Las fuertes lluvias incrementaron los caudales de los ríos que conforman la cuenca del río Mala alcanzando este su máxima descarga de todos los tiempos superando los 400 m³/s, que ocasionó inundaciones en el área agrícola y algunas poblaciones ubicadas cerca de la ribera del río. Fenómeno que afectó considerablemente en la economía y la infraestructura

productiva del distrito y causo pérdidas considerables en el sector agrario. (Zerga Ocaña, 2003, pág. 84).

La tabla 1 muestra récord de fenómenos del niño más intensos y la figura 1 muestra las descargas máximas anuales del río Mala.

Tabla 1.
Récord de fenómenos del Niño más intensos.

Año	Descripción
1728	Niño muy fuerte
1790	Niño catastrófico
1864	Ancash-Lima-Ica. Segundo nivel de catástrofe
1925	Llegó hasta Arequipa y Tacna. Tercer nivel de catástrofe
1969-1970	Niño débil
1972-1973	Niño Fuerte
1982-1983	Niño hasta Trujillo. Segundo nivel de catástrofe
1986-1987	Niño moderado
1998-1999	Niño fuerte

Nota. Datos obtenidos por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

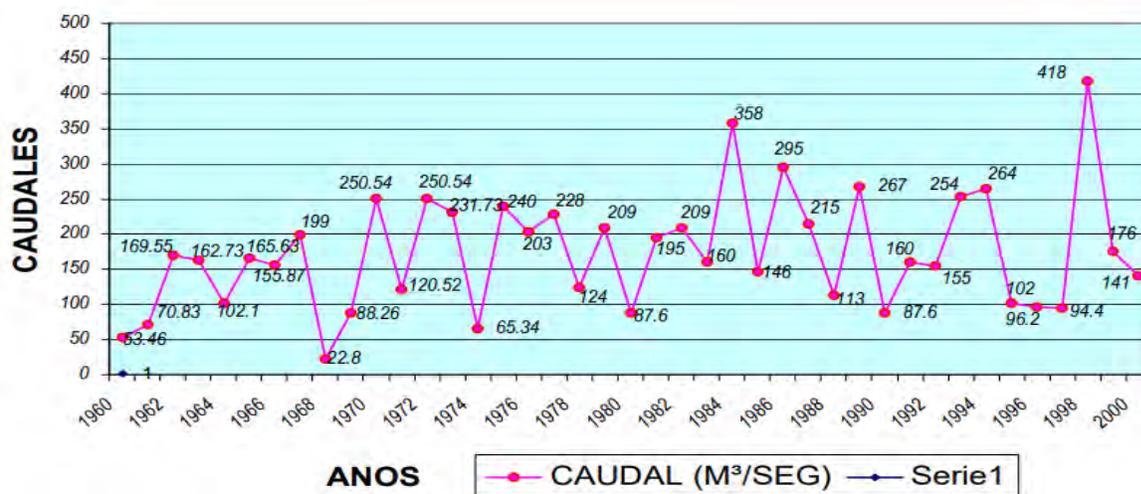


Figura 1. Descargas máximas anuales del río Mala.

Tomado de "Mapa de peligro, plan de prevención de desastres", Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) 2003

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar un análisis hidrológico e hidráulico para obtener mapas de inundación usando los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS, y el Sistema de Información Geográfica ARCGIS.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Mala.
2. Obtener caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años a través de un análisis hidrológico en la cuenca del río Mala con el uso del HEC-HMS.
3. Realizar un modelamiento hidráulico del río Mala mediante el uso del HEC-RAS para tiempos de retorno 100 y 500 años.
4. Elaborar el mapa de inundación del distrito de Calango, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS.

1.3. Alcances

Los alcances de esta tesis son:

- Procesamiento de datos de precipitación máxima diaria en 24 horas
- Caracterización de la cuenca
- Generación de caudal máximo para periodos de retorno de 100 y 500 años
- Estudio hidráulico de los ríos que conforman la cuenca
- Generación de secciones del río de la cuenca del río Mala
- Modelación hidráulica de la cuenca
- Generación de mapa de inundación
- Propuestas de solución para las inundaciones

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Hidrología

La hidrología tiene como objetivos adquirir los conocimientos teóricos básicos de los fenómenos hidrológicos, conocer la cantidad, la frecuencia y naturaleza de ocurrencia del proceso lluvia-escorrentía sobre la superficie terrestre, determinar eventos de diseño, a partir de los datos hidrológicos de los diferentes fenómenos hidrológicos que son registrados en las redes de medición. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006, pág. 10)

2.1.1. Cuenca hidrográfica.

La cuenca hidrográfica, según Aparicio (1994) es un área de superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por un curso de agua o un sistema conectado a cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple. (p.19).

Delimitación de una cuenca

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano de curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum o líneas de altas cumbres. En la figura 2 se presenta la delimitación de la cuenca del río “x” correspondiente al punto de aforo P. (Chereque, 1989, pág. 28)

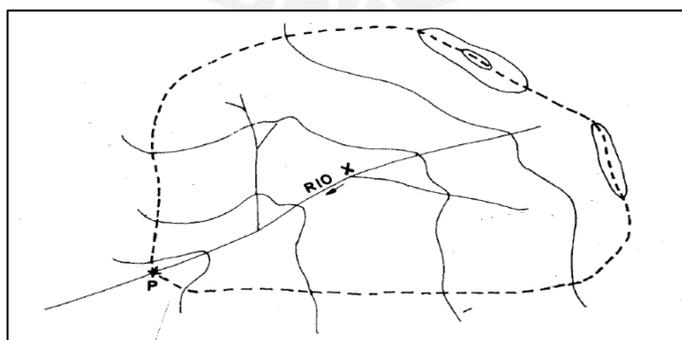


Figura 2. Delimitación de cuenca

Tomado de “Hidrología para estudiantes de ingeniería civil”, por Wendor Chereque Morán (Perú) 1989.

Superficie de la cuenca

Se define como superficie de la cuenca hidrográfica, el área obtenida de la cuenca proyectada en un plano horizontal, siendo esta proyección de geometría irregular.

“Debido a la forma muy irregular de una cuenca hidrográfica, el cálculo del área de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas. Sin embargo, existen métodos de cálculo como la balanza analítica y el planímetro”. (Villon Béjar, 2002, pág. 24)

Perímetro de la cuenca (P)

El perímetro de una cuenca hidrográfica, según Villón (2002) es el borde de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca. (p.32).

Debido a que la forma de la cuenca es muy irregular, el cálculo del perímetro de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas. Sin embargo, existen herramientas que nos facilitan el cálculo tales como el uso de un mecate y un curvímetro. (Villon Béjar, Hidrología, 2002, pág. 32).

Longitud de cuenca

Es la longitud definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, desde el punto de aforo y el límite definido para la cuenca (aguas arriba).

Longitud del cauce principal

Es la longitud que viene definida por la longitud del cauce principal, siendo la distancia que recorre el río entre el punto de aforo (aguas abajo) y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

Longitud máxima o recorrido principal de la cuenca

Es la distancia entre el punto de aforo y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje.

Topografía

La topografía se describe a través de dos gráficos característicos, primero la curva hipsométrica que representa la relación entre la altitud en m.s.n.m. y la superficie que queda por encima de dicha altitud, y segundo el polígono de frecuencias de altitudes que representa la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes escalones altitudinales. (Chereque, 1989, pág. 28)

En la figura 3 se muestran las curvas características de una cuenca a una altura máxima de 4,000 m.s.n.m.

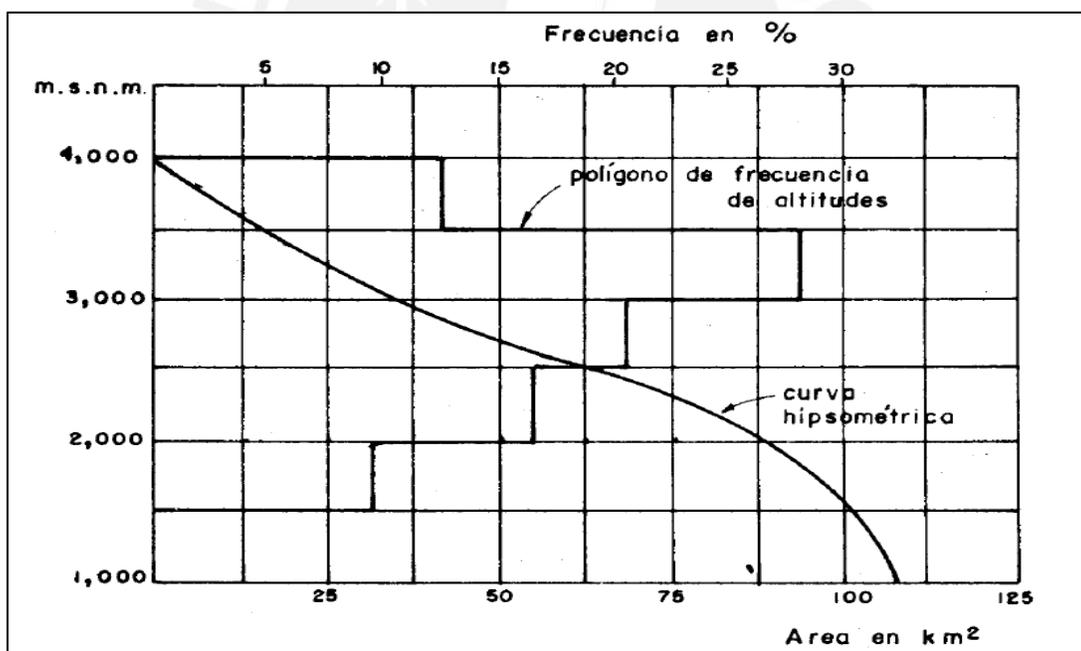


Figura 3: Curva hipsométrica

Tomado de "Hidrología para estudiantes de ingeniería civil", por Wendor Chereque Morán (Perú) 1989

2.1.2. Precipitación

“La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo en forma de lluvia, granizadas, garúas y nevadas”. (Villon Béjar, 2002, pág. 69)

2.1.2.1. Cálculo de la precipitación media.

En general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Un ejemplo de esta afirmación es el registro de lluvia puntual de un pluviómetro, es decir la que se produce en el punto en la que está instalada el aparato. Para muchos problemas hidrológicos, se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual. (Villon Béjar, 2002, pág. 77).

En la cuenca de estudio de la presente tesis cuenta con solo 7 estaciones meteorológicas, y por ello se optó por tomar el método del polígono de Thiessen como mejor aproximación al cálculo de precipitación media de la cuenca.

Polígonos de Thiessen.

Este método, según Monsalve (1999) se puede utilizar para una distribución no uniforme de aparatos. Provee resultados más correctos con un área de la cuenca aproximadamente plana. El método de Thiessen consiste en atribuir un factor r de peso a los totales de precipitación en cada aparato, proporcionales al área de influencia de cada uno. Sin embargo, no considera influencias orográficas. Las áreas de influencia se determinan en mapas de la cuenca que contengan la localización de las estaciones, uniendo dichos puntos de localización por medio de líneas rectas, y en seguida trazando las mediatrices de estas rectas, formando polígonos (figura 4). Los lados de

los polígonos son el límite de las áreas de influencia de cada estación. (p.107). Las ecuaciones 2.1 y 2.2 indican los cálculos para obtener la precipitación media.

$$P_m = \frac{S_1P_1 + S_2P_2 + \dots + S_nP_n}{S_{total}} \quad (2.1)$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad (2.2)$$

Donde:

P_{med} : Precipitación media

A_t : área total de la cuenca

A_i : área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i .

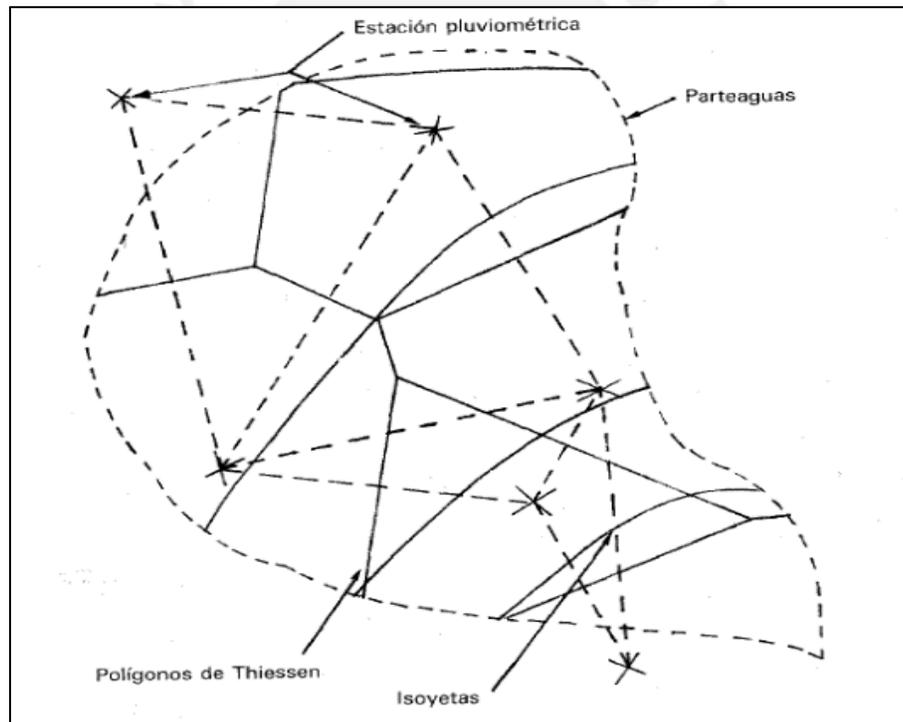


Figura 4: Obtención del polígono de Thiessen

Tomado de "Fundamentos de hidrología de superficie", por Aparicio (Mexico), 1994

En nuestro país la operatividad de las estaciones pluviométricas es intermitente y su distribución a lo largo del ámbito nacional no se cubren en su totalidad.

2.1.3. Evaluación de la información hidrológica

El Perú tiene limitaciones en la disponibilidad de datos tanto hidrométricos como pluviométricos y la mayor parte de las cuencas hidrográficas no se encuentran adecuadamente instrumentadas. Por ello se utilizan métodos indirectos para la estimación de caudales de diseño.

Según la información disponible para los estudios, se elegirá el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 14)

2.1.4. Área del proyecto, estudio de las cuencas hidrográficas.

El estudio de las cuencas en el Perú, está orientado a determinar sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas ayudará a tomar decisiones acertadas ante los diferentes proyectos. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 15)

2.1.5. Periodo de retorno

El manual del hidrología, hidráulica y drenajes desarrollado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008) define como periodo de retorno al tiempo promedio en años en el cual el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años. (p.16).

Para adoptar el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra , es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros. (p.16).

2.1.6. Análisis estadístico de datos hidrológicos

2.1.6.1. Modelos de distribución

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 18)

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; el manual del hidrología, hidráulica y drenajes desarrollado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008) recomienda utilizar las siguientes funciones:

Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se muestra en la ecuación 2.3

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad (2.3)$$

Donde:

$f(x)$ = 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

Distribución Log Normal

La función de distribución de probabilidad se muestra en la ecuación 2.4

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-X)^2}{2s^2}\right)} dx \quad (2.4)$$

Donde:

X y S son los parámetros de la distribución

Distribución Log Pearson tipo III

La función de distribución de probabilidad se muestra en la ecuación 2.5

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{y-1} \cdot e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^y y!} \quad (2.5)$$

Válido para:

$$X_0 \leq x < \infty, -\infty < x < \infty, 0 < \beta < \infty, 0 < y < \infty$$

Donde: X_0 : parámetro de posición

Y: parámetro de forma

β : parámetro de escala

Distribución de probabilidad de Gumbel

La distribución de valores Tipo 1 conocida como distribución de Gumbel o doble exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la ecuación (2.6)

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (2.6)$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las ecuaciones 2.7 y 2.8.

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (2.7)$$

$$\beta = u - 0.45\sigma \quad (2.8)$$

Donde:

α : parámetro de concentración

β : parámetro de localización

Distribución de probabilidad Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define en la ecuación 2.9

$$y = \frac{\ln x - u}{\alpha} \quad (2.9)$$

La ecuación 2.10 muestra la función acumulada reducida log Gumbel.

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (2.10)$$

2.1.6.2. Pruebas de bondad de ajuste

Son pruebas de hipótesis que se utilizan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la X^2 y la Kolmogórov-Smirnov. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 23)

Kolmogorov – Smirnov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia (D) entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(xm)$ y la estimada $F(xm)$. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 25)

La ecuación 2.11 muestra el cálculo del valor de D

$$D = \text{máx}|F_o(xm) - F(xm)| \quad (2.11)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado de la tabla 1. Si D es menor a d , se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de X^2 de que compara los datos con el método estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula con la ecuación 2.12. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 25)

$$F_o(xm) = 1 - m/(n + 1) \quad (2.12)$$

Donde:

m es el número de orden de dato xm en una lista de mayor a menor

n es el número total de datos

La tabla 2 muestran los valores para “d” con parámetros dependientes al tamaño de la muestra y el nivel de significancia. (α)

Tabla 2
Valores críticos d para la prueba de Kolmogórov-Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Nota. Tomado de “Fundamentos de la hidrología de superficie”, por Aparicio,1994.

2.1.7. Estudio de una tormenta

“Tormenta es un conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación atmosférica violenta acompañado de viento fuerte, entre otros elementos y, de características bien definidas”. (Villon Béjar, Hidrología, 2002, pág. 86)

El análisis de las tormentas, está íntimamente relacionado con los cálculos o estudios previos, al diseño de obras de ingeniería hidráulica como estudio de drenaje, determinación de la luz de un puente, conservación de suelos, cálculo del diámetro de alcantarillas, otros. (Villon Béjar, Hidrología, 2002, pág. 86)

2.1.7.1. Determinación de la tormenta de diseño

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los

caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 26)

2.1.7.2. Curvas de intensidad, duración y frecuencia

“Las curvas IDF son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno”. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 27)

Chow, Saldarriaga, & Zuluaga (1994) señala que uno de los primeros pasos que debe seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como el diseño de un drenaje urbano, es la determinación del evento o los eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o periodos de retorno apropiados para la obra y el sitio.(p.465).

Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas más lluviosas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año del

registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y duración (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 27)

Cada serie se somete a un análisis de frecuencia, asociando modelos probabilísticos. Así se consigue una asignación de probabilidad para la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, la cual se representa en un gráfico único de intensidad vs duración, teniendo como parámetro el periodo de retorno, tal como se muestra en la figura 5. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 28)

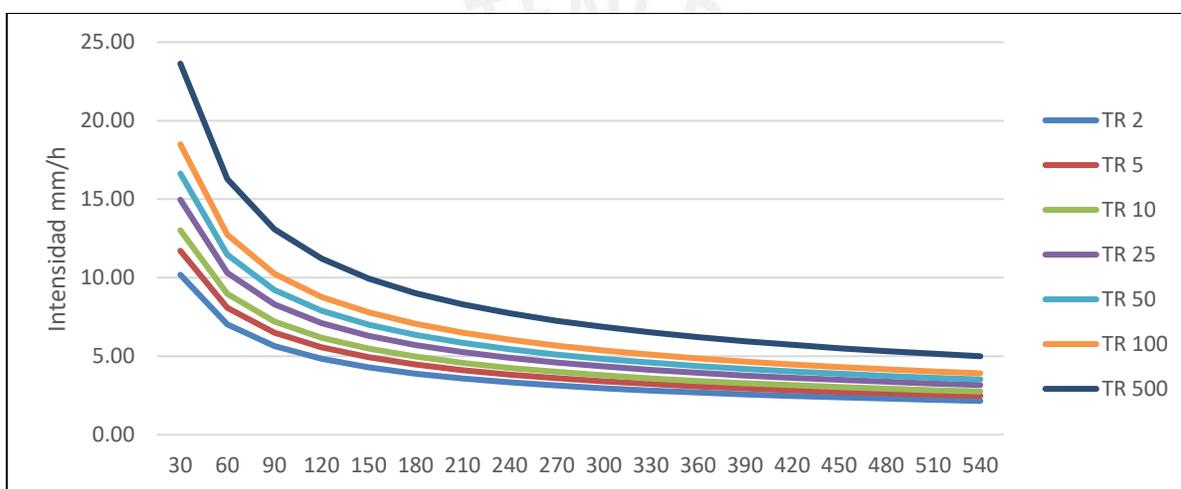


Figura 5: Curva intensidad-duración-frecuencia

Elaboración propia

Las curvas IDF también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es la ecuación 2.13.

$$I = \frac{a}{(D+b)^m} \quad (2.13)$$

Donde:

I: es la intensidad de lluvia de diseño

D: es la duración

a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno

En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas. Ordinariamente solo se cuenta con lluvias máximas en 24 horas, por lo que el valor de la intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración. En la tabla 3 se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela para el cálculo de la intensidad, cuando no se disponga de mejor información. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 29).

Tabla 3
Coefficiente de duración lluvias entre 48horas y 1 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

Nota. Tomado de “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”, por MTC,2008.

Las curvas de duración de intensidad-duración-frecuencia, se calcularon indirectamente, mediante la ecuación 2.14 (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 31)

$$I = \frac{K.T^m}{t^n} \quad (2.14)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = periodo de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

El cálculo de los valores de los factores característicos de la zona de estudio, es obtenido a partir de una regresión lineal de las intensidades para tiempos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

2.1.7.3. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, según Monsalve (1999) es el tiempo que la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca toma para llegar a una sección determinada de dicha corriente. El tiempo de concentración mide el tiempo que se necesita para que toda la cuenca contribuya con escorrentía superficial en una sección considerada.(p.180)

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial se calcula por la ecuación 2.15.

$$tc = to + tf \quad (2.15)$$

Donde:

to = tiempo de duración, hasta alguna alcantarilla

tf = tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés

Para la estimación del tiempo de concentración existen diferentes métodos, las cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Método	Fórmula para t_c	Observaciones
Método de Kirpich	$T_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$ Donde: L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m S = pendiente promedio de la cuenca, m/m	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3% a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2
Método California Culverts Practice	$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ Donde: L = Longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y salida, m.	Desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Método Izzard	$t_c = \frac{525(0.0000276i+c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ Donde: i = intensidad de lluvia, mm/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, m S = pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.	Desarrollado experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de céspedes, los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto
Método de ecuación de retardo SCS	$t_c = \frac{0.0136L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ Donde: L = longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m. CN = Número de curva SCS S = pendiente promedio de la cuenca m/m.	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobrestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilizantes de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67$ por retardo de la cuenca.
Método de Témez	$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$ t_c = tiempo de concentración en horas L = longitud del cauce principal en km S = diferencia de cotas sobre L en porcentaje	Este método fue desarrollado para cuencas rurales, con un grado de urbanización no superior al 4% del área de la cuenca

Nota. Tomado de "Manual de hidrología, hidráulica y drenaje", por MTC,2008.

2.1.7.4. Hietograma de diseño

En los métodos de diseño en hidrología desarrollados hace muchos años, tal como el método racional, sólo se utilizaba el caudal pico. No existía consideración alguna sobre el tiempo de distribución del caudal (el hidrograma del caudal) o sobre la distribución temporal de la precipitación (el hietograma de precipitación). Sin embargo, los métodos de diseño desarrollados más recientemente, los cuales utilizan el análisis de flujo no permanente, requieren de predicciones confiables del hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño. (Chow, 1994, pág. 477).

Método del Bloque Alterno.

El método del bloque alternativo es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n \Delta t$. Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2 \Delta t$, $3 \Delta t$ - ..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendiente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño. (Chow, 1994, pág. 477).

En la figura 6 se muestra un ejemplo de hietograma de diseño por el método de bloques alternos.

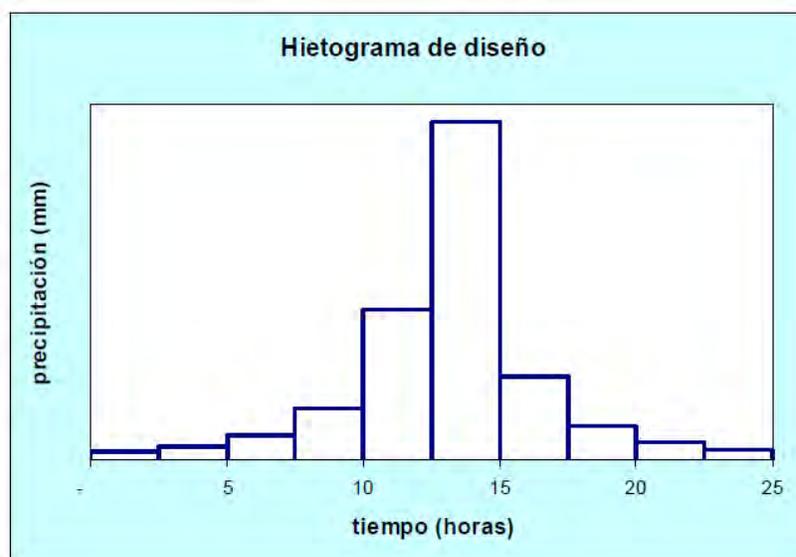


Figura 6: Hietograma de diseño

Tomado de "Manual de hidrología, hidráulica y drenaje", por MTC (Perú), 2008.

Debido a que no se dispone de información suficiente de la intensidad y su variabilidad en el tiempo de una tormenta, se optó por usar el método de bloques alternos. Su desarrollo a través de una curva IDF lo hace de manera directa y rápida.

2.1.5. Exceso de precipitación y escorrentía directa

El exceso de precipitación, o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación contra el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total que se observa y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracción o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por infiltración con algo de interceptación y almacenamiento superficial. (Chow, 1994, pág. 138)

Los parámetros de las ecuaciones de infiltración pueden calcularse utilizando técnicas de optimización tales como programación no lineal. Sin embargo, existe un método alternativo más simple, llamado el índice ϕ . El índice ϕ es la tasa constante de abstracciones que produciría un hietograma de exceso de precipitación con una profundidad total igual a la profundidad de la escorrentía directa r_d sobre la cuenca. El valor de ϕ se calcula seleccionando un intervalo de tiempo de longitud Δt , juzgando el número de intervalos M lluvia que realmente contribuyen a la escorrentía directa, restando $\phi \Delta t$ de la precipitación que se observa en cada intervalo, y ajustando los valores de ϕ y M tantas veces como sea necesario para que las profundidades de escorrentía directa y de exceso de precipitación sean iguales (Chow, 1994, pág. 139).

La ecuación 2.16 muestra la ecuación del cálculo de la escorrentía directa

$$r_d = \sum_{m=1}^M (R_m - \phi \Delta t) \quad (2.16)$$

donde R_m es la precipitación que se observa (pulg) en el intervalo de tiempo m .

2.1.5.1. Coeficiente de escorrentía

Las pérdidas también pueden utilizarse por medio de los coeficientes de escorrentía. La definición más común de un coeficiente de escorrentía es que éste es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Debido a la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es difícil de determinar utilizando información observada. Un coeficiente de escorrentía también puede definirse como la relación entre la escorrentía y la precipitación sobre un periodo de tiempo dado. Estos coeficientes se aplican comúnmente a precipitación y escorrentía de una tormenta, pero también pueden utilizarse para información de precipitación y caudales mensuales o anuales. Si $\sum_{m=1}^M R_m$ es la precipitación total y r_d la correspondiente profundidad de escorrentía, entonces el coeficiente de escorrentía puede definirse como la ecuación 2.17. (Chow, 1994, pág. 142)

$$C = \frac{rd}{\sum_{m=1}^M Rm} \quad (2.17)$$

2.1.5.2. Método SCS para pérdidas

El Soil Conservation Service desarrolló un método para calcular las pérdidas de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa Pe es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P , de manera similar, después que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca Fa es menor o igual a alguna retención potencial máxima S (figura 4.12). Existe una cierta cantidad de precipitación Ia para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P-Ia$. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 35)

La hipótesis del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales como se muestra en la ecuación 2.18

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P-Ia} \quad (2.18)$$

Del principio de continuidad en la ecuación 2.19

$$P = Pe + Ia + Fa \quad (2.19)$$

Combinando ambas ecuaciones y resolviendo para Pe se encuentra la ecuación 2.20.

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \quad (2.20)$$

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica $Ia = 0.2S$

Reemplazando la ecuación anterior tenemos la ecuación 2.21.

$$Pe = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (2.21)$$

Al presentar en gráficas la información de P y Pe para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestran en la figura 7. Para estandarizar estas curvas, se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua CN=100; par superficies naturales CN<100. (Curve, 2009, pág. 8)

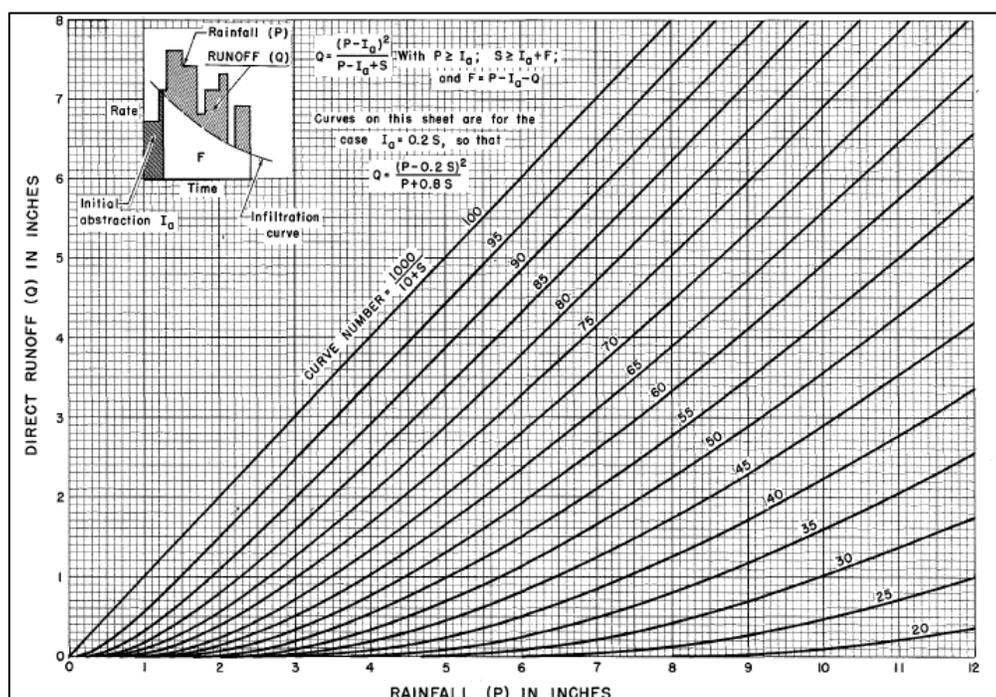


Figura 7: Solución de las ecuaciones de escorrentía

Tomado de “Curve number hydrology : state of the practice”, por Curve, (2009).

“La conceptualización del número de curva CN como una medida de la hidrología de respuesta de cuencas en base a los suelos, la cubierta y el uso de la tierra fue un paso importante adicional. También requirió una explicación de la variabilidad de la escorrentía observada en los datos”. (Curve, 2009, pág. 9)

“Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen en cuatro grupos de suelo”. (Chow, 1994, pág. 153)

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en la figura 8.

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Figura 8. Números de curvas de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub-urbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$)

Tomado de “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”, por MTC (Perú), 2008.

2.1.6. Estimación de caudales

Cuando existen datos de aforo en cantidad suficiente, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneo anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los periodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son los valores estándar) usando la distribución Log normal, Log Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), etc. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 40).

En la presente tesis se desarrolló el método del hidrograma unitario para la estimación de caudales.

2.1.6.1. Método del hidrograma unitario.

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica, siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 45).

Hidrogramas sintéticos

La mayor parte de las cuencas, no cuentan con una estación hidrométrica o bien con los registros pluviográficos necesarios. Por ello es conveniente contar con métodos con los que se puedan obtener hidrogramas unitarios usando únicamente datos de características generales de la cuenca. Los hidrogramas así obtenidos se denominan sintéticos. (Villon Béjar, 2002, pág. 224)

La finalidad de un hidrograma sintético es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar. Debido a su importancia, se ha desarrollado una gran cantidad de hidrogramas unitarios sintéticos; siendo la más relevante el hidrograma unitario triangular. (Villon Béjar, 2002, pág. 224)

Hidrograma sintético unitario triangular

Mockus, desarrolló un hidrograma unitario sintético de forma triangular, lo que usa el Soil Conservation Service (SCS), la cual a pesar de su simplicidad proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: tiempo de recesión (hr), tiempo de retardo (hr) tiempo de concentración (hr) y el caudal en $m^3/s.cm$ (Villon Béjar, 2002, pág. 224)

El volumen generado por las separaciones de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario.

El tiempo de recesión se aproxima con la ecuación 2.22

$$tr = 1.67 T \quad (2.22)$$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escorrentía de 1cm se llega a la ecuación 2.23

$$qr = \frac{2.08A}{Tp} \quad (2.23)$$

Donde:

A = área de drenaje en km^2

Tp = tiempo de ocurrencia del pico en horas

Además, aproximadamente se ha demostrado t_p en la ecuación 2.24

$$tp = 0.6Tc \quad (2.24)$$

Donde:

tp = tiempo de retardo (entre el centroide del hietograma y el pico de caudal) (h)

Tc = tiempo de concentración de la cuenca

El tiempo de ocurrencia del pico, Tp puede expresarse como la ecuación 2.25

$$Tp = 0.5 * D + tp \quad (2.25)$$

Donde:

D = Duración de la lluvia

En la figura 9 se muestra el hidrograma unitario del SCS

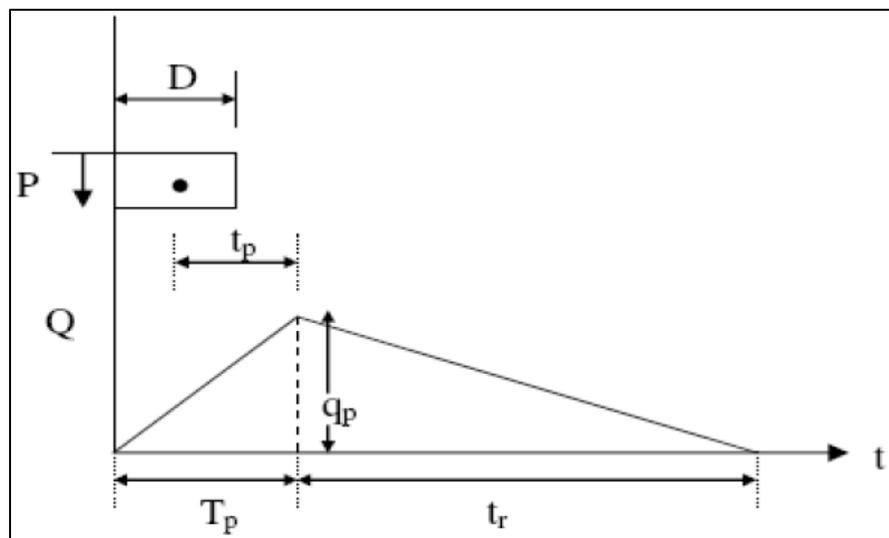


Figura 9: Hidrograma unitario triangular del SCS

Tomado de “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”, por MTC (Perú), 2008.

2.1.6.2. Sistema de modelamiento hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)

El sistema de modelo hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como la infiltración de eventos, los hidrogramas unitarios y el enrutamiento hidrológico.

(<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>)

Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su enrutamiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos.

Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca comúnmente referida como una subcuenca. Un componente puede representar una identidad de escurrimiento superficial, un canal de flujo o embalse.

La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el

proceso físico. El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río. (Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, 2008, pág. 50).

Para poder utilizar este modelo hidrológico HEC-HMS se debe disponer de la precipitación, la intensidad, características de la cuenca (área, forma, longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de prácticas de pastoreo, etc.).

Los datos que se requieren para la cuenca, además del área (en Km^2) son tres, la función de infiltración, función del hidrograma unitario y la función de recesión de las avenidas.

Para los tránsitos de avenida el programa HEC-HMS contiene los métodos de Muskingum, SCS y Muskingum-Cunge

La figura 10 muestra la ventana de trabajo del programa HEC-HMS

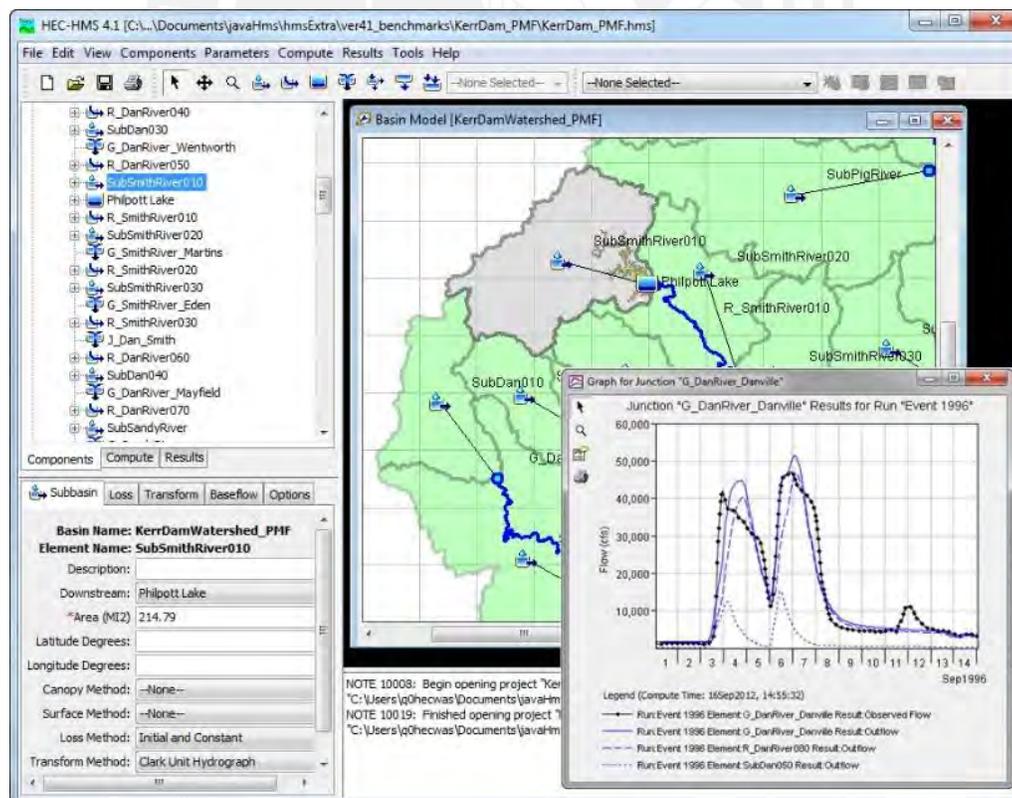


Figura 10: Zona de trabajo del HEC-HMS

Tomado de <http://www.hec.usace.army.mil/software/heh-hms/>

2.2. Hidráulica

2.2.1. Movilidad Fluvial

Hidráulicamente, un río es un canal. Sin embargo, el comportamiento de un río es bastante diferente del que corresponde a la simplificación o esquematización que generalmente hacemos al estudiar el flujo en canales. En un río prácticamente no existe movimiento permanente, porque el caudal está en constante cambio (a veces, lentamente, otras, rápidamente). El movimiento permanente, es decir, invariable con respecto al tiempo, puede darse en un canal hecho y operado por el hombre, en el que el caudal sea constante, lo que se logra manejando convenientemente la fuente de alimentación. (Rocha Felices, 1998, pág. 48).

Pero en un río tampoco hay movimiento uniforme, pues la sección transversal es muy cambiante a lo largo de su recorrido. La sección transversal de un río no es prismática. Para fines prácticos se hace como si existiese, un movimiento quasi-uniforme y también podría hablarse, por cierto, de un movimiento quasi-permanente. (Rocha Felices, 1998, pág. 48).

En un canal hecho por el hombre, el contorno suele ser rígido e invariable. Pero, en un río de lecho móvil el contorno está cambiando constantemente.

La figura 11 muestra las secciones de un canal realizado por el hombre y un canal natural respectivamente.

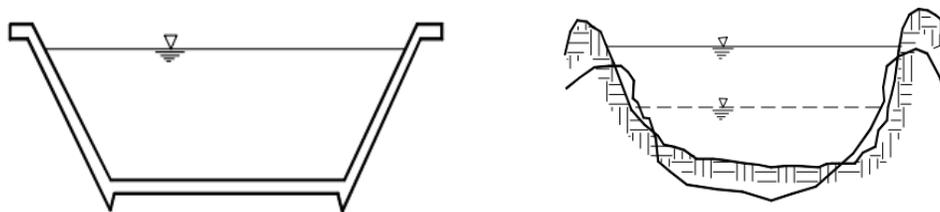


Figura 11: Lecho rígido y lecho móvil

Tomado de “Introducción a la hidráulica fluvial”, por Rocha (Perú), 1998.

En los ríos el coeficiente de resistencia, al que generalmente se llama rugosidad, resulta mucho más incierto. El fondo está cambiando en función del caudal. El río puede profundizar o sedimentar. En el fondo se presentan formas características que dan una resistencia adicional y variable. (Rocha Felices, 1998, pág. 50)

Para determinar la forma y apariencia de los ríos tenemos las siguientes características:

Variabilidad temporal de las descargas

Muchos ríos presentan gran variabilidad en sus descargas, es decir, que estas son totalmente diferentes a lo largo del año y de un año a otro. En consecuencia, hay variaciones estacionales y anuales. Tal es el caso de la mayor parte de los torrentes de la costa peruana. (Rocha Felices, 1998, pág. 50)

Las grandes descargas fluviales suelen introducir importantes cambios en el recorrido fluvial. Para estos eventos nos interesan las máximas avenidas, pero los datos históricos son muy cortos para registrar la ocurrencia de grandes eventos. (Rocha Felices, 1998, pág. 54)

Características del transporte sólido

“El transporte sólido depende fundamentalmente de las posibilidades de erosión que puedan desarrollarse en la cuenca. La intensidad de transporte sólido, y su desarrollo en el tiempo, es un factor muy importante en la configuración fluvial”. (Rocha Felices, 1998, pág. 54)

Presencia de vegetación

La presencia de vegetación es la que contribuye a la fijación del curso del río.

“La dinámica fluvial requiere el estudio de factores geológicos, factores hidrológicos, características geométricas del álveo, y características hidráulicas (tirantes, pendientes, velocidades)”. (Rocha Felices, 1998, pág. 55)

2.2.2. Conductos abiertos

Los conductos hidráulicos abiertos se caracterizan por tener una superficie libre, en contacto con la atmósfera. El flujo se produce como consecuencia del peso del fluido. En tal sentido, y desde el punto de vista hidráulico, un canal se comporta como si fuese un río.

Generalmente suponemos que el escurrimiento es permanente y uniforme. En el canal se puede lograr un cierto grado de permanencia manteniendo constante el caudal. En un río sólo excepcionalmente se podría lograr la permanencia (por ejemplo, en el flujo regulado aguas debajo de un embalse). (Rocha Felices, 1998, pág. 69)

En un río la sección transversal es muy variable y, en consecuencia, el movimiento no es uniforme. Por lo tanto, las ecuaciones de descarga que se usan en conductos abiertos, como la ecuación de Chezy o la de Manning, corresponden a simplificaciones, a esquematizaciones, del escurrimiento real. (Rocha Felices, 1998, pág. 70)

“Sin embargo, y a pesar de las limitaciones anteriores, en Hidráulica fluvial tenemos que hacer uso de las fórmulas y conceptos deducidos para el flujo en canales”. (Rocha Felices, 1998, pág. 70)

2.2.3. Propiedades geométricas de la sección transversal

Canal hidráulico

Se denomina canal al contorno en el que el escurrimiento tiene una superficie libre en contacto con la atmósfera que pueden ser de tipo natural o artificial.

“Los canales naturales son los ríos, torrentes, arroyos, etc. Tienen sección transversal irregular y variable (figura 12). El fondo está constituido por partículas sólidas en movimiento (arenas, limo, piedras, etc), y se le denomina lecho móvil”. (Rocha Felices, 2007, pág. 9)

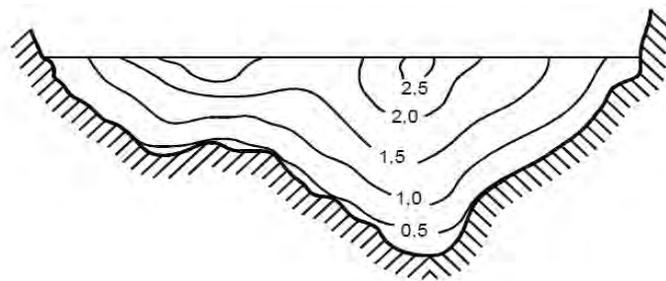


Figura 12: Canal natural de río

Tomado de “Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (Perú), 2007.

Radio hidráulico (R)

Es la relación entre el área transversal y el perímetro mojado de un conducto hidráulico. La ecuación 2.26 muestra el cálculo del radio hidráulico.

$$R = \frac{A}{P} \quad (2.26)$$

La figura 13 muestran los parámetros de la sección transversal de un canal.

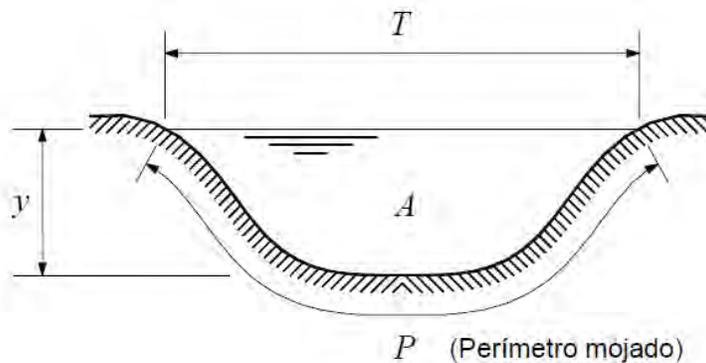


Figura 13: Parámetros de la sección transversal de un canal

Tomado de “Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (Perú), 2007.

Tirante hidráulico (d)

Es la relación que existe en un canal entre el área de la sección A y el ancho superficial T.

La ecuación 2.27 muestra el cálculo del tirante hidráulico

$$d = \frac{A}{T} \quad (2.27)$$

Tirante (y)

Es la distancia vertical del punto más bajo del fondo del canal hasta la superficie libre.

Radio hidráulico en un canal muy ancho

“Cuando el ancho b de un canal o río es muy ancho mayor que el tirante (figura 14), se dice que es un canal muy ancho. Ello permite hacer un cálculo más rápido y fácil del radio hidráulico.”

(Rocha Felices, 2007, pág. 10)

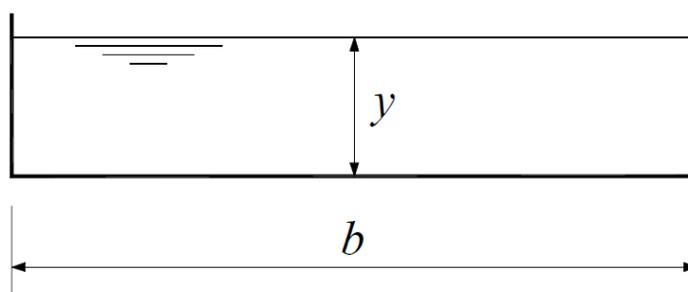


Figura 14: Parámetros de la sección transversal de un canal

Tomado de “Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (Perú), 2007.

La ecuación 2.28 muestra el cálculo del radio hidráulico para ríos

$$A = by$$

$$P = b + 2y$$

$$R = \frac{by}{b+2y} = \frac{y}{1+2\frac{y}{b}} \quad (2.28)$$

En un canal muy ancho y/b es muy pequeño y se puede considerar $R = y$, es decir, que en un canal muy ancho el radio hidráulico es igual al tirante.

2.2.4. Selección del coeficiente de rugosidad de Manning

Tabla de coeficiente de rugosidad de Manning

Chow, Saldarriaga, & Zuluaga (1994) muestra una lista de valores de n para canales de diferentes clases. Para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo, normal y máximo de n .

En la tabla 5 se muestra un extracto de la tabla general de coeficiente de rugosidad de Manning.

Tabla 5
Valores del coeficiente de rugosidad n

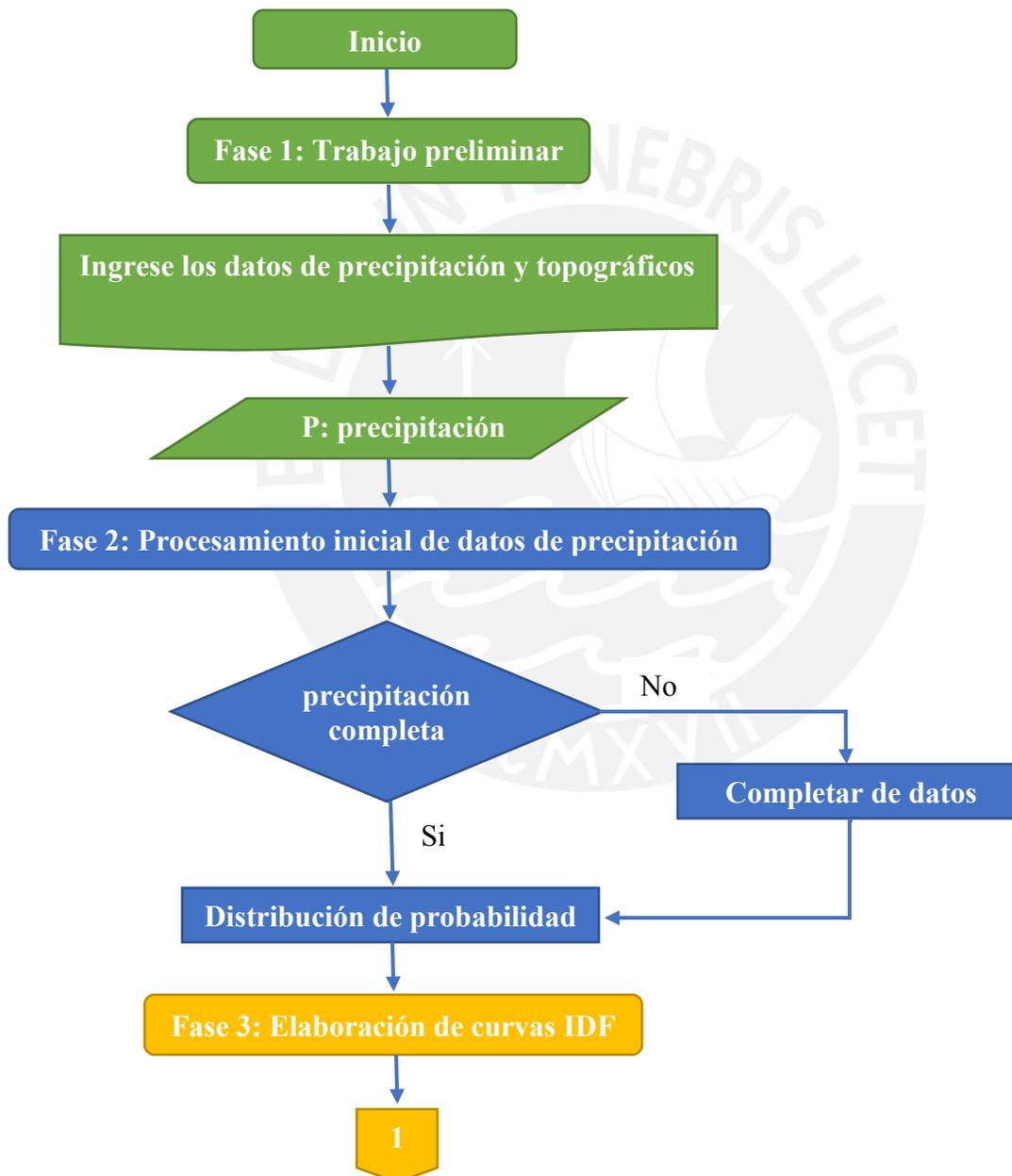
Tipo de canal y descripción	Mínimo	normal	Máximo
Planicies de inundación			
Pastizales, sin matorrales			
Pasto corto	0.025	0.030	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160

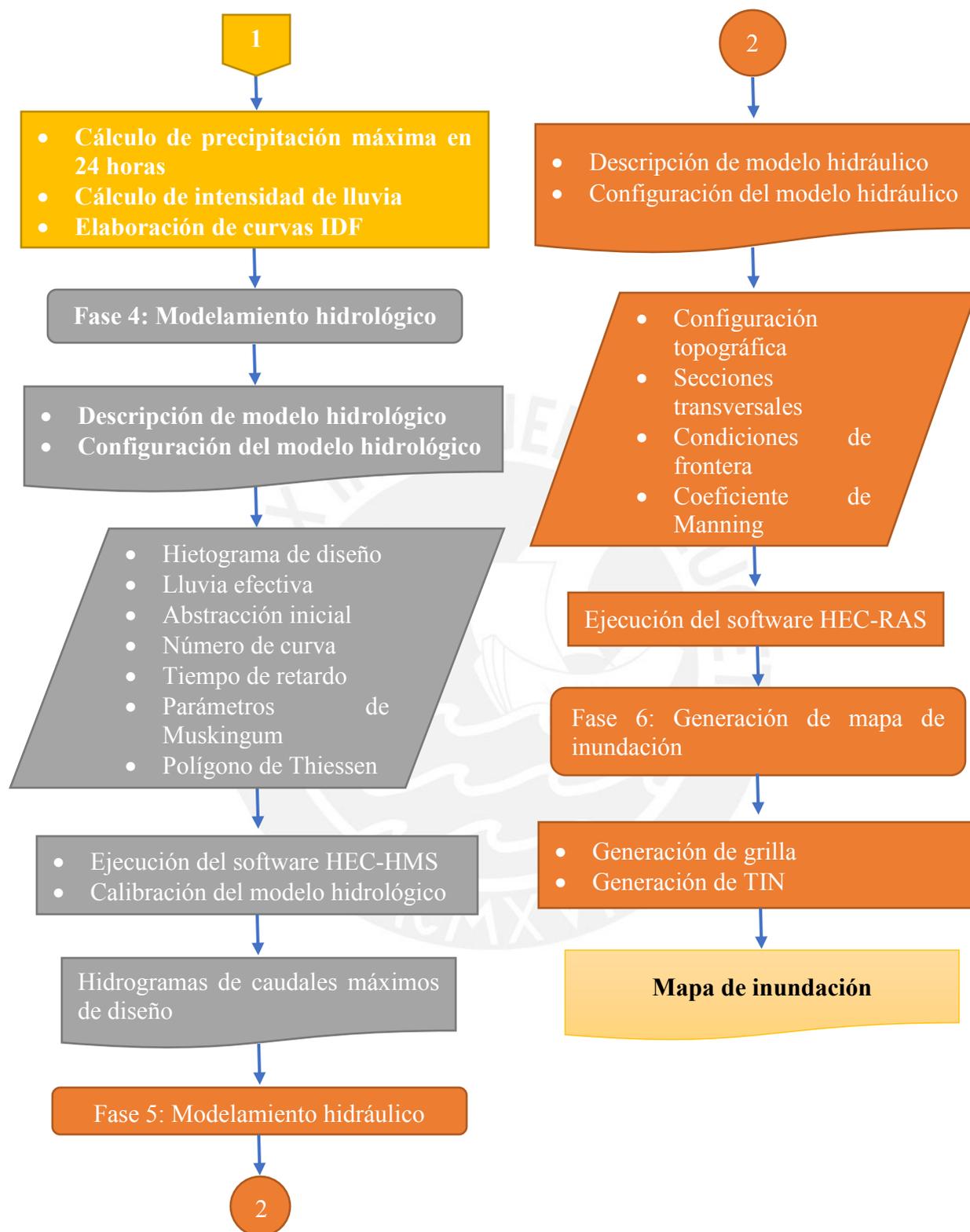
Nota. Tomado de "Hidráulica de canales abiertos", por, Chow, Saldarriaga, & Zuluaga 1994

Capítulo 3. Metodología y datos

3.1. Metodología

La metodología aplicada a la presente tesis, ha sido agrupada en 6 fases con la finalidad de detallar cada uno de los pasos para desarrollar los objetivos de la tesis. A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la metodología.





Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procede a detallar las fases indicadas en el diagrama de flujo.

Fase 1: Trabajo preliminar

- Recopilación de información básica necesaria de estudios anteriores realizados a la cuenca del río Mala o en cuencas vecinas
- Recopilación de información básica de la cuenca del río Mala: datos topográficos, batimétricos, hidrológicos y meteorológicos.
- Reconocimiento de la cuenca en campo y arquitectura de la población

Fase 2: Procesamiento inicial de datos de precipitación

- Completamiento de datos faltantes de precipitación máxima en 24 horas de la zona de estudio.
- Análisis de datos de precipitación a través de las distribuciones estadísticas de probabilidad de Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson
- Cálculo de la prueba de bondad de ajuste con el método de Kolmogórov-Smirnov

Etapas 3: Elaboración de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

- Cálculo de precipitación máxima para tiempos de duración 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 y 24 horas, afectados por los coeficientes de duración definidos por manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Cálculo de la intensidad de lluvia para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años
- Obtención de los coeficientes de la ecuación de intensidad aplicando regresión lineal.
- Tabulación de los valores de intensidad para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100 y años para una duración total de 540 minutos (ver pág. 53).
- Presentación de gráficas IDF a partir de los valores obtenidos en la tabulación.

Etapa 4: Modelamiento hidrológico

- Descripción del modelo hidrológico
- Configuración del modelo hidrológico
 - o Creación de elementos hidrológicos: subcuenca, unión de cauces, de tránsito de avenida y un sumidero o punto de aforo.
 - o Input de datos: descripción de subcuenca, área, lluvia neta o efectiva (loss method), método de escorrentía directa (transform method), abstracción inicial (Ia), número de curva (CN), impermeabilidad y tiempo de retardo (lag time).
 - o Input de datos de tránsito de avenidas por el método de Muskingum y precipitación de cada estación pluviométrica.
 - o Modelación meteorológica asociado a los registros de estaciones pluviométricas con la subcuenca que corresponda.
 - o Input de WEIGHTS, obtenido por el método del Polígono de Thiessen y las especificaciones de control
 - o Ejecución del software HEC-HMS con todos los parámetros ingresados (para la ejecución del HEC-HMS con los datos de cuenca para la presente tesis, ver **anexo 1**).
- Calibración del modelo hidrológico
 - o Usar los máximos valores del número de curva.
 - o Input de caudal máximo para periodos de retorno 100 y 500 años
 - o Ejecución por segunda vez del software HEC-HMS y obtención de los caudales picos de hidrogramas
 - o Comparación de caudales máximos observados

La figura 15 muestra el proceso de calibración el cual es indicado por Hydrologic Modeling System HEC HMS Technical Reference Manual 2000.

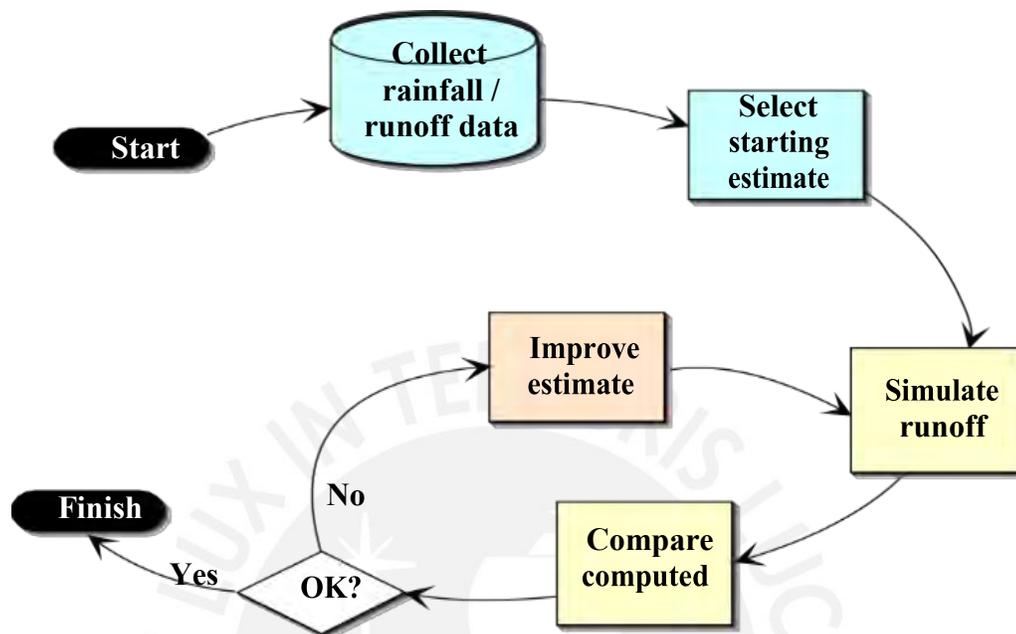


Figura 15. Procedimiento de calibración

Tomado de "Hydrologic Modeling System HEC HMS Technical Reference Manual 2000

- Optimización de los parámetros del modelo a través de la función propia del modelo del HEC-HMS. (Error porcentual de caudales pico)

La ecuación a utilizar es la ecuación 3.6.

$$Z = 100 \left| \frac{q_s(\text{peak}) - q_o(\text{peak})}{q_o(\text{peak})} \right| \quad (3.1)$$

Donde:

q_s = Caudal simulado

q_o = Caudal observado

Etapa 5: Modelamiento hidráulico:

- Descripción del modelo hidráulico
- Configuración del modelo hidráulico

- Configuración topográfica de la zona de estudio
- Digitalización geométrica de tramos del río Mala mediante la extensión Hec-GeoRas
- Creación de secciones transversales del río cada 75m a través de la extensión del Hec-GeoRas.
- Importación de la geometría creada desde la extensión del ArcGis (Hec-GeoRas)
- Input del coeficiente de rugosidad de Manning:
- Elaboración del modelamiento hidráulico del río de la cuenca Mala.

Etapas 6: Generación de mapa de inundación

- Importación de archivo generado por el SIG ARCGIS
- Generación de grilla a través de la función de Ras Mapping-LayerSetup
- Generación del TIN de la zona de inundación
- Obtención del mapa de inundación a través de la función RAS Mapping – Inundation Mapping – Floodplain Delineation Using Rasters

3.2. Datos

3.2.1. Zona de estudio

Ubicación geográfica

La cuenca del río Mala, se encuentra ubicada en la parte central del territorio peruano siendo su ubicación geográfica la siguiente.

Cood. UTM Norte: 8'597,623m – 8'686,650m.

Cood. UTM Este: 319,650m – 397,695m.

Latitud Sur: 11°53'36" – 12°41'03"

Latitud Oeste: 75°56'32" – 76°39'21"

En las figuras 16 y 27, se muestran fotografías del distrito de Calango.



Figura 16. Fotografías del río Mala

Elaboración propia

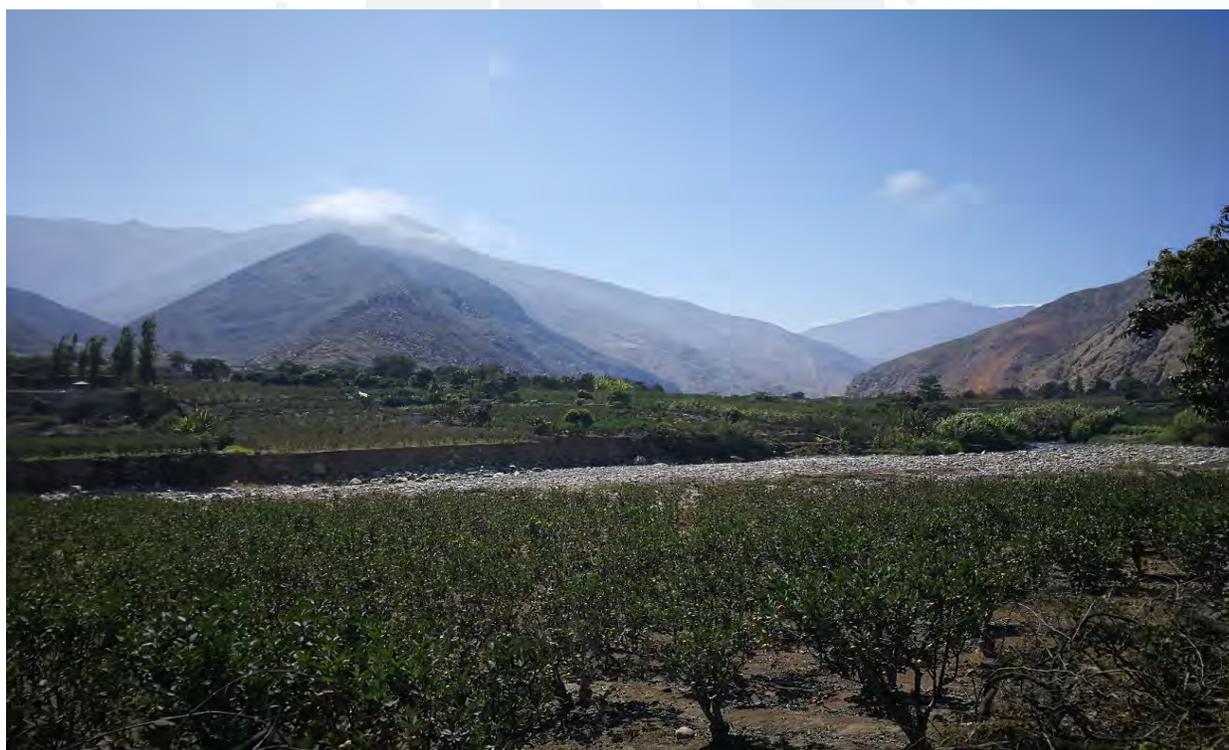


Figura 17. Fotos de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

3.2.2. Precipitación

La precipitación en el Perú, se producen mayormente en la parte central y oriente teniendo como meses de noviembre a marzo de mayor precipitación en el año.

La cuenca del río Mala cuenta con las estaciones pluviométricas de Ayaviri, Huancata, Huañec, Huarochirí, Capilla, San Lázaro y San Pedro de Pilas, siendo estas estaciones administradas en su totalidad por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Los datos obtenidos de estas estaciones son de precipitación máxima en 24 horas entre el periodo 1996 a 2015, las cuales se encuentran en el anexo 2.

3.2.3. Corrección de datos de precipitación máxima

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13. Para el caso de nuestras mediciones de precipitación se realizaron las correcciones respectivas ya que, según fuentes del SENAMHI, las mediciones se realizan al finalizar el día lo cual es considerado como una medición al día.

La tabla 6 y 7 muestran el orden de precipitación corregida en forma descendente para las 7 estaciones de estudio hidrológico de la cuenca del río Mala, para luego calcular las distribuciones de probabilidad mencionados en el punto 3.2.4. análisis de precipitación.

Tabla 6
Precipitación máxima en 24 horas

Orden	Ayaviri		Huancata		Huañec		Huarochirí	
	Año	P. Máx.	Año	P. Máx.	Año	P. Máx.	Año	P. Máx.
1	1997	58.99	2008	56.60	2007	29.58	2015	33.44
2	2012	51.33	1997	46.35	2011	28.34	2014	25.36
3	2000	45.20	2012	37.22	2012	28.34	2013	24.36
4	2007	43.67	1998	35.54	2014	27.72	2007	23.12
5	1998	41.37	2006	35.11	2013	27.47	2011	23.12
6	2008	38.82	2009	33.71	2015	26.85	1996	22.90
7	2004	37.29	1996	28.51	2008	25.85	2012	21.63
8	2002	36.65	2002	28.23	1998	25.23	2008	20.01
9	2009	34.86	2001	27.53	2009	25.11	2005	19.39
10	2006	33.84	2005	27.11	1996	23.99	2004	18.15
11	2013	33.45	2004	26.97	2010	23.99	2002	18.02
12	2010	32.56	2003	25.84	1999	22.62	2010	16.53
13	2014	32.56	1999	24.86	2006	21.75	2003	16.41
14	2015	32.05	2014	24.30	2005	20.39	2009	15.91
15	1996	31.41	2007	23.88	1997	19.39	1998	15.26
16	2001	30.65	2010	23.88	2003	18.89	1999	14.29
17	1999	29.50	2015	23.32	2004	17.77	2001	13.80
18	2005	26.81	2000	22.89	2002	16.53	2000	12.68
19	2011	25.54	2013	19.66	2001	11.68	1997	12.36
20	2003	23.24	2011	17.14	2000	7.30	2006	11.44

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla 7
Precipitación máxima en 24 horas

Orden	Capilla		San Pedro de Pilas		San Lázaro	
	Año	P. Máx.	Año	P. Máx.	Año	P. Máx.
1	2015	2.24	2010	52.45	2006	91.98
2	2009	1.74	2012	50.34	2014	54.44
3	1998	1.52	2006	39.90	1997	53.45
4	2000	1.37	1998	37.41	2005	43.38
5	2002	0.75	2008	34.43	2001	43.01
6	2007	0.75	2009	32.44	2010	40.15
7	1996	0.72	1999	30.70	2013	37.79
8	1999	0.62	2002	29.21	2012	34.56
9	2011	0.62	2013	29.21	2004	34.18
10	2005	0.50	2014	27.72	1996	32.32
11	2003	0.37	2015	26.35	2002	31.70
12	2008	0.37	2007	19.52	2003	31.32
13	2014	0.37	2001	19.02	2007	27.35
14	2012	0.25	1997	18.89	2008	26.72
15	1997	0.00	2003	16.28	2009	26.72
16	2001	0.00	1996	15.91	2015	26.23
17	2004	0.00	2000	13.92	1999	20.51
18	2006	0.00	2011	12.43	2011	16.41
19	2010	0.00	2005	12.06	1998	14.92
20	2013	0.00	2004	10.81	2000	14.67

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Capítulo 4. Cálculos y resultados

4.1. Estudio Hidrológico

4.1.1. Delimitación de cuenca

Para la delimitación de la cuenca se tomó de referencia el distrito de Mala como punto de salida. Asimismo, se usó la información digital (DEM) proporcionada por la página web de la NASA mediante el satélite ASTER (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>)

Se usó el Sistema de Información Geográfica ArcGIS como herramienta de apoyo para lograr la delimitación de la cuenca del río Mala.

La figura 18 muestra la ubicación cartográfica de la cuenca del río Mala, y en la figura 19 se muestra la delimitación de la cuenca del río Mala

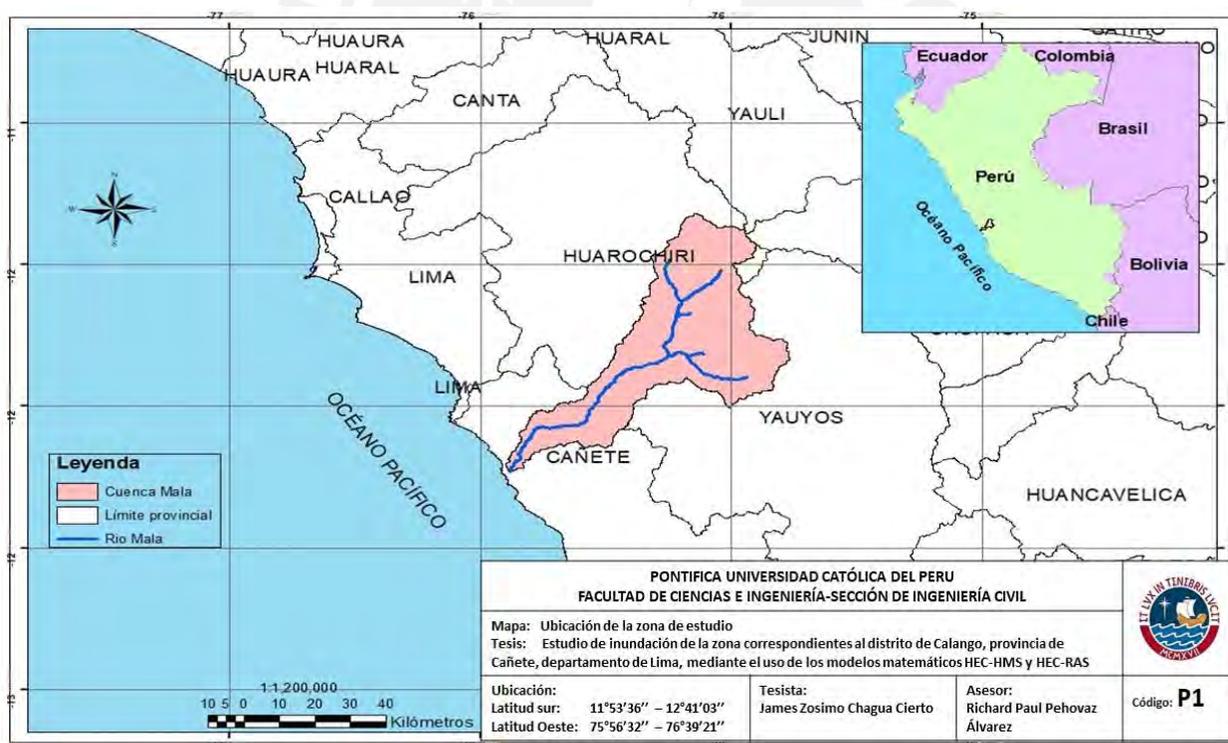


Figura 18: Ubicación cartográfica de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

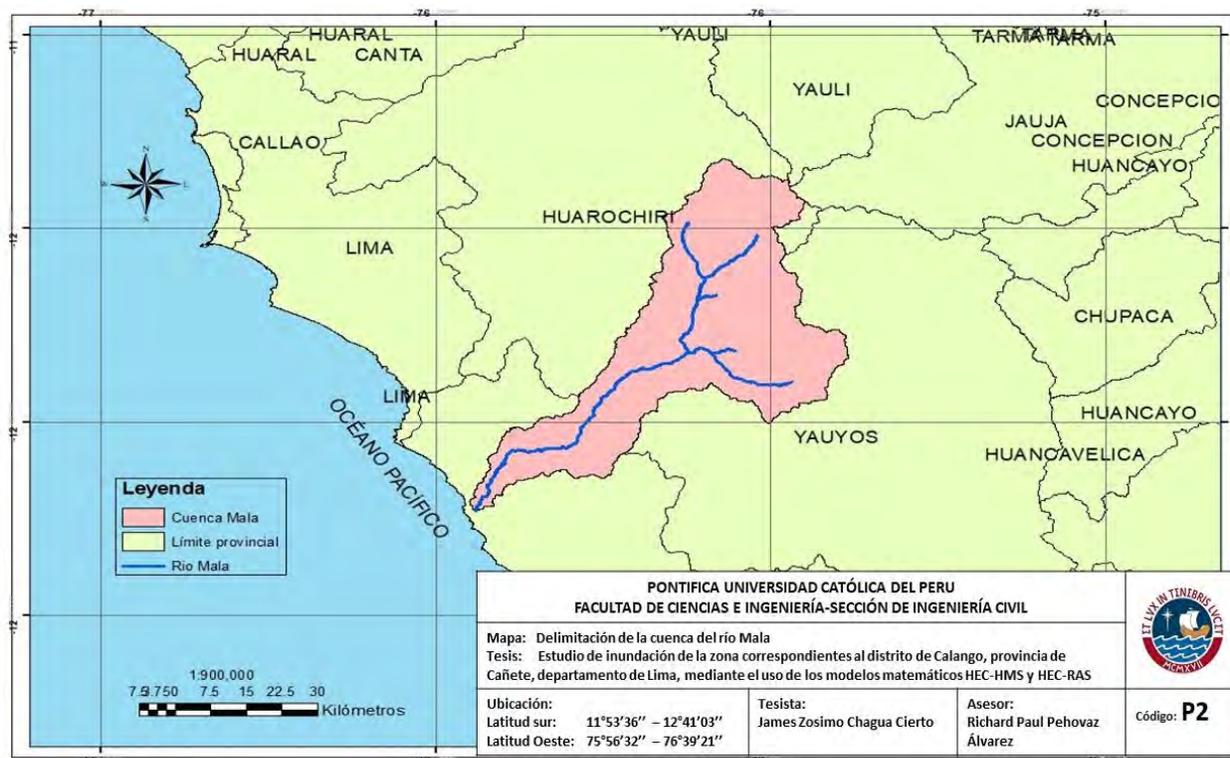


Figura 19: Delimitación de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

Subcuencas:

La cuenca del río Mala cuenta con nueve subcuencas bien definidas: río alto Mala, Río Acacache, Medio Alto Mala, Río Tantara, Medio Bajo Mala, San Joaquín Cochás, Yauyos, Río Bajo Mala y Río Quinchés los cuales se muestran en la figura 20.

Las subcuencas del río Mala pertenecen a diferentes provincias entre ellas se encuentran la provincia de Yauyos, Lima, Cañete y Huarochirí siendo por tal una zona de climas variables, desde el sol intenso a lluvias y friajes.

En la figura 21 se muestra las subcuencas con la red hídrica correspondiente a cada subcuenca y su respectivo número de orden. La subcuenca de río bajo Mala, posee parte del río principal el cual tiene un número de orden el seis siendo el máximo de la cuenca.

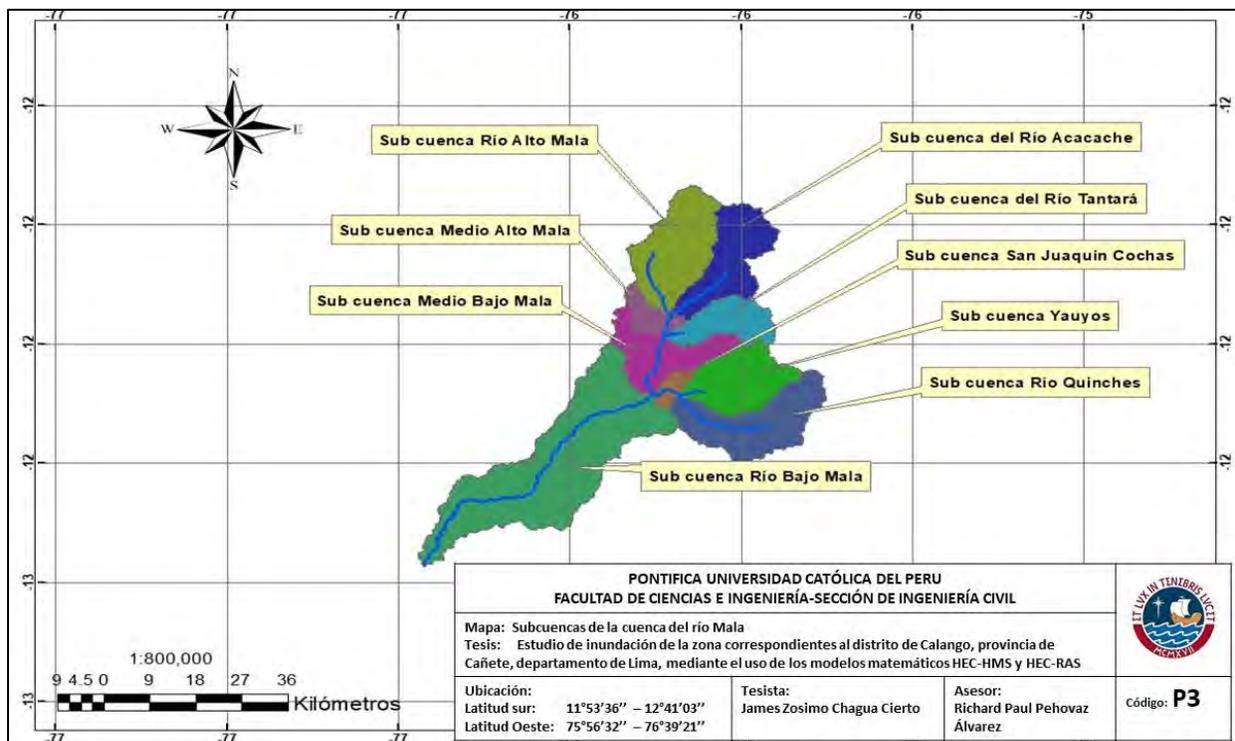


Figura 20: Subcuencas del río Mala

Elaboración propia

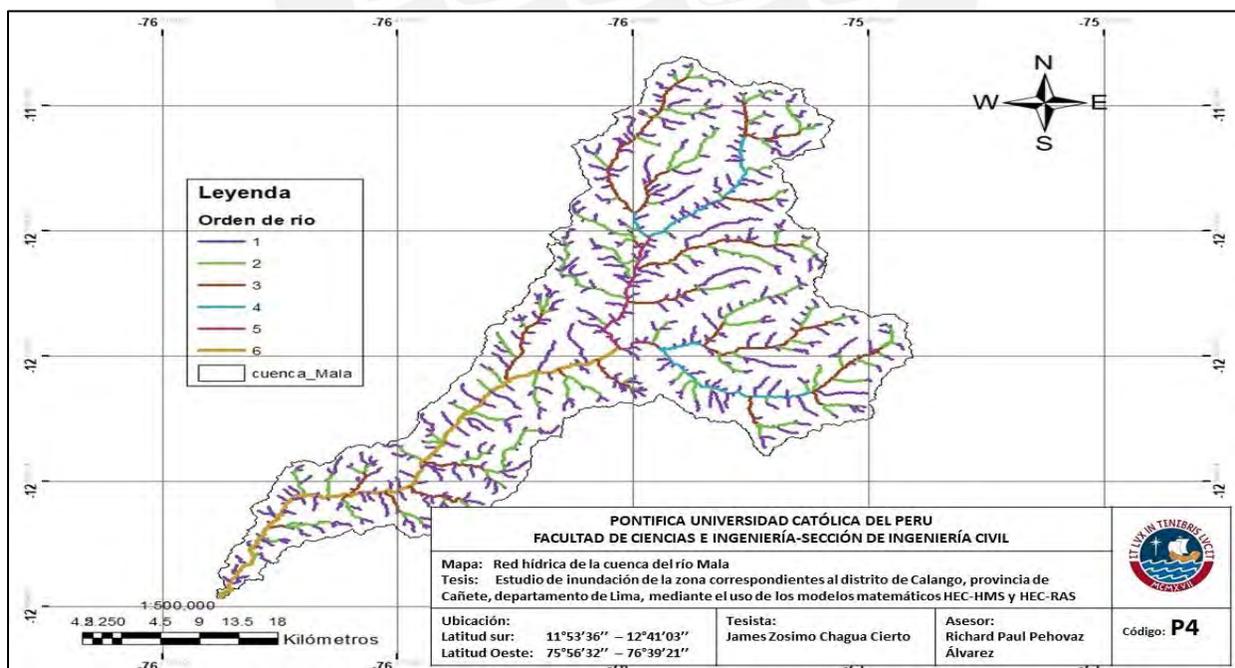


Figura 21: Red hídrica de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

4.1.2. Características de la cuenca del río Mala

Área

La cuenca del río Mala posee un área de 2335.09 km² con un perímetro territorial de 456.04 km. En la tabla 8 se muestran las subcuencas identificadas con sus respectivas características de longitud y pendiente media de cauce principal.

Tabla 8
Área de subcuencas

Subcuenca	Área (km²)	Long. de cauce principal (km)	Pendiente media de cauce principal(m/m)
Río alto Mala	301.57	17.37	0.077
Río Acache	244.11	17.73	0.071
Medio Alto Mala	63.32	6.44	0.058
Río Tantara	149.45	4.68	0.148
Medio Bajo Mala	202.44	16.43	0.043
San Joaquín Cochas	35.42	6.45	0.068
Yauyos	231.18	6.08	0.086
Río bajo Mala	805.24	82.00	0.019
Río Quinchas	302.35	23.17	0.072

Nota. Elaboración propia

Para la construcción de la curva hipsométrica se usarán los datos de la tabla 9, los cuales fueron obtenidos a partir del DEM proporcionado por el satélite de la NASA y analizado por el SIG ARCGIS.

La curva hipsométrica se contruyó a partir de los datos de cota promedio vs el porcentaje acumulado del área comprendida entre las cotas de las curvas de nivel. La figura 22 muestra la curva hipsométrica de la cuenca en estudio.

Tabla 9
Tabla de atributos

N°	Cotas		Áreas (Km ²)			
	Min	Máx	Promedio	Área entre curvas	Área acum	% Acum
1	47.15	129.20	88.17	24.93	2356.53	100%
2	135.82	212.06	173.94	16.03	2331.60	99%
3	224.93	300.00	262.46	17.81	2315.57	98%
4	556.22	640.57	598.40	14.69	2246.56	95%
5	1069.02	1150.00	1109.51	21.37	2131.25	90%
6	1574.83	1658.37	1616.60	33.84	1993.68	85%
7	1913.93	1996.60	1955.27	36.06	1877.03	80%
8	2168.32	2252.79	2210.56	28.49	1776.86	75%
9	2593.59	2676.61	2635.10	33.84	1637.95	70%
10	3186.62	3271.07	3228.84	35.17	1407.33	60%
11	3441.86	3523.99	3482.93	40.51	1303.59	55%
12	3696.59	3779.14	3737.86	38.73	1186.50	50%
13	3953.06	4034.71	3993.88	49.42	1050.26	45%
14	4120.02	4204.40	4162.21	68.56	938.07	40%
15	4374.41	4459.09	4416.75	101.06	727.93	31%
16	4713.71	4797.89	4755.80	95.72	233.29	10%
17	4883.47	4966.75	4925.11	36.06	77.02	3%
18	5054.49	5137.88	5096.19	9.79	9.79	0%

Nota. Elaboración propia

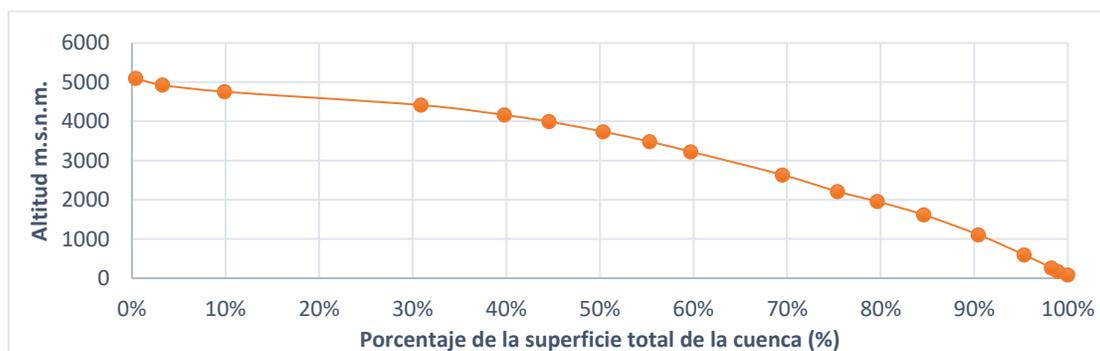


Figura 22: Curva hipsométrica

Elaboración propia

Con el SIG ARCGIS se obtuvieron parámetros característicos de la cuenca tales como pendiente media del cauce principal, índice de forma, índice de Gravelius y densidad de drenaje. (ver tabla 11)

Elevación media

Para el cálculo de la elevación media, se usó la ecuación 4.1

$$H_{med} = \frac{\sum(H_i \times A_i)}{A} \quad (4.1)$$

La tabla 10 muestra los resultados de elevación media para cada cota promedio.

Tabla 10
Elevación media

Cota promedio(km)	Área(km)	Cota promedio x Área	Cota promedio(km)	Área (km)	Cota promedio x Área
88.17	24.93	2198.0781	3228.84	35.17	113558.303
173.94	16.03	2788.2582	3482.93	40.51	141093.494
262.46	17.81	4674.4126	3737.86	38.73	144767.318
598.40	14.69	8790.496	3993.88	49.42	197377.55
1109.51	21.37	23710.2287	4162.21	68.56	285361.118
1616.60	33.84	54705.744	4416.75	101.06	446356.755
1955.27	36.06	70507.0362	4755.80	95.72	455225.176
2210.56	28.49	62978.8544	4925.11	36.06	177599.467
2635.10	33.84	89171.784	5096.19	9.79	49891.7001

Nota. Elaboración propia

$$H_{med} = 2'330,755.77/702.08 = 3,319.79 \text{ m.s.n.m.}$$

En la tabla 11 se muestra el resumen de la caracterización de la cuenca tales como: Área, perímetro, longitud de cuenca, longitud de cauce principal, longitud total de cauces, elevación media, pendiente media del cauce principal, pendiente media de la cuenca, índice de forma, índice de Gravelius, densidad de drenaje y orden de cuenca.

Tabla 11
Resumen de caracterización

Caracterización de la cuenca	Valor
Área (km ²)	2355.43
Perímetro (km)	456.04
Longitud de cuenca (km)	104.208
Longitud de cauce principal (km)	125.388
Longitud total de cauces (km)	1714.502
Elevación media (km)	3,319.79 msnm
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0.041
Pendiente media de la cuenca	3.77%
Índice de forma	0.22
Índice de Gravelius	1.54 (mayor que 1 indica que la cuenca tiene tendencia a producirse creciente de avenidas)
Densidad de drenaje	0.73
Orden de cuenca	6

Nota. Elaboración propia

Con los resultados de longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal y la elevación media, se calculó el tiempo de concentración con los métodos de Kirpich, California y Temez (métodos usados por las características que presenta la cuenca, pág. 18.). Siendo el valor de tiempo de concentración obtenido de 540 minutos.

4.1.3. Análisis de Precipitación

Para el análisis y tratamiento de precipitación se inició con la recolección de los datos pluviométrico por un periodo de 20 años, para luego realizar un completamiento de datos faltantes.

Luego se procedió al uso de las distribuciones de probabilidad de Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Pearson y Log Pearson, y finalmente se realizó la prueba de bondad de ajuste con el método de Kolmogórov-Smirnov.

En la tabla 12, se muestran los resultados de diferentes distribuciones de probabilidad de los datos de precipitación máxima en 24 horas para la estación Ayaviri, y en la tabla 13 se muestra la prueba de bondad de ajuste de los resultados obtenidos.

Tabla 12

Resultados de distribución de probabilidad de la estación Ayaviri

m	P _{máx. 24h}	Tr=(N+1)/m	Distribuciones de probabilidad					
			GUM	LGUM	NOR	LNOR	PEAR	LPEAR
1	58.99	21.00	56.49	60.07	50.55	51.40	53.07	53.86
2	51.33	10.50	50.59	51.45	47.41	47.34	47.75	47.95
3	45.20	7.00	47.04	46.88	45.30	44.79	43.98	43.94
4	43.67	5.25	44.45	43.80	43.63	42.87	41.92	41.89
5	41.37	4.20	42.38	41.48	42.20	41.29	39.48	39.32
6	38.82	3.50	40.63	39.62	40.92	39.92	37.59	37.42
7	37.29	3.00	39.10	38.06	39.74	38.71	36.25	36.12
8	36.65	2.63	37.72	36.71	38.63	37.59	35.24	35.18
9	34.86	2.33	36.46	35.51	37.56	36.55	34.45	34.46
10	33.84	2.10	35.27	34.42	36.51	35.56	33.82	33.90
11	33.45	1.91	34.14	33.42	35.47	34.60	32.90	32.73
12	32.56	1.75	33.05	32.47	34.42	33.66	31.75	31.15
13	32.56	1.62	31.98	31.58	33.35	32.73	30.78	29.88
14	32.05	1.50	30.92	30.71	32.24	31.79	29.95	28.83
15	31.41	1.40	29.84	29.85	31.06	30.82	29.23	27.95
16	30.65	1.31	28.73	28.99	29.78	29.80	28.59	27.21
17	29.50	1.24	27.54	28.10	28.35	28.70	28.04	26.57
18	26.81	1.17	26.23	27.15	26.68	27.47	27.54	26.01
19	25.54	1.11	24.67	26.06	24.57	25.99	27.10	25.52
20	23.24	1.05	22.55	24.65	21.43	23.94	26.70	25.08

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13
Prueba de bondad de ajuste de la Estación Ayaviri.

Distribución de probabilidad																					
Pmáx24h	Fo	Gumbel		Log-Gum		Normal		Log-nor		Pearon III		Log-PearIII									
		F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F								
58.99	0.9524	0.9494	0.0030	0.9649	0.0125	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9787	0.0264								
51.33	0.9048	0.9006	0.0042	0.9068	0.0020	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9453	0.0406								
45.20	0.8571	0.8526	0.0046	0.8462	0.0109	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8883	0.0311								
43.67	0.8095	0.8050	0.0045	0.7872	0.0224	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8511	0.0416								
41.37	0.7619	0.7578	0.0041	0.7307	0.0312	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7823	0.0203								
38.82	0.7143	0.7108	0.0034	0.6770	0.0373	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7379	0.0236								
37.29	0.6667	0.6641	0.0026	0.6262	0.0405	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6954	0.0287								
36.65	0.6190	0.6175	0.0016	0.5779	0.0411	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6546	0.0356								
34.86	0.5714	0.5710	0.0004	0.5321	0.0393	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.6156	0.0442								
33.84	0.5238	0.5246	0.0008	0.4884	0.0354	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5782	0.0543								
33.45	0.4762	0.4782	0.0020	0.4467	0.0295	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4942	0.0180								
32.56	0.4286	0.4319	0.0033	0.4066	0.0219	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4574	0.0288								
32.56	0.3810	0.3855	0.0046	0.3681	0.0129	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4234	0.0425								
32.05	0.3333	0.3391	0.0058	0.3308	0.0026	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3921	0.0588								
31.41	0.2857	0.2925	0.0068	0.2944	0.0087	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3631	0.0774								
30.65	0.2381	0.2458	0.0077	0.2586	0.0205	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3361	0.0980								
29.50	0.1905	0.1988	0.0083	0.2230	0.0325	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3111	0.1206								
26.81	0.1429	0.1514	0.0085	0.1869	0.0440	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.2877	0.1448								
25.54	0.0952	0.1033	0.0080	0.1490	0.0537	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.2658	0.1706								
23.24	0.0476	0.0539	0.0063	0.1059	0.0582	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.2454	0.1978								
D = máx F(xm)-Fo(xm)			0.009				0.058				0.028				0.046			0.194			0.198

Nota. Elaboración propia

Se observa que en la estación Ayaviri el máximo valor de D es de la distribución Log Pearson con un valor de 0.198 y el mínimo valor de D pertenece a la distribución de Gumbel con un valor de 0.009, eligiendo este último como la distribución óptima debido por ser el de menor valor. Para las demás estaciones en estudio, la distribución de probabilidad se encuentra en el anexo 3 y la prueba de bondad se muestra en el anexo 4.

En la tabla 14 se muestra la precipitación máxima en 24 horas para cada uno de los periodos de retorno considerados, para las siete estaciones de estudio, según la distribución de Gumbel.

Tabla 14
Precipitación máx. en 24 horas Vs Tiempo de retorno

Estación	Tiempo de retorno (años)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Ayaviri	34.70	44.00	50.17	57.95	63.72	69.46	75.17	82.70
Huancata	28.06	37.97	44.52	52.81	58.96	65.06	71.14	79.16
Huañec	21.70	27.70	31.68	36.70	40.42	44.12	47.81	52.67
Huarochirí	18.10	23.91	27.75	32.61	36.21	39.79	43.35	48.06
Capilla	0.51	1.20	1.66	2.23	2.66	3.08	3.51	4.06
San Pedro	24.64	37.73	46.39	57.35	65.47	73.53	81.57	92.17
San Lázaro	32.50	51.16	63.50	79.11	90.68	102.17	113.62	128.72

Nota. Elaboración propia

4.1.4. Curvas IDF

Para la construcción de las curvas IDF se usaron los coeficientes de duración (tabla 15) indicado en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC (2008).

Tabla 15
Coefficientes de duración

DURACIÓN EN HORAS									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.79	0.90	1.00

Nota. Tomado de "Manual de hidrología, hidráulica y drenaje", por MTC,2008.

Se procedió a calcular la precipitación máxima para tiempos de duración 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 y 24 horas con sus respectivos coeficientes. Los resultados para la estación Ayaviri se muestra en la tabla 16.

Tabla 16
Precipitación Máxima para la estación Ayaviri.

Tiempo de duración	Coeficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
		2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	34.70	44.00	50.17	57.95	63.72	69.46	75.17	82.70
18h	90%	31.23	39.60	45.15	52.15	57.35	62.51	67.65	74.43
12h	79%	27.41	34.76	39.63	45.78	50.34	54.87	59.38	65.34
8h	64%	22.21	28.16	32.11	37.09	40.78	44.45	48.11	52.93
6h	56%	19.43	24.64	28.09	32.45	35.69	38.90	42.09	46.31
5h	50%	17.35	22.00	25.08	28.97	31.86	34.73	37.58	41.35
4h	44%	15.27	19.36	22.07	25.50	28.04	30.56	33.07	36.39
3h	38%	13.19	16.72	19.06	22.02	24.22	26.39	28.56	31.43
2h	31%	10.76	13.64	15.55	17.96	19.75	21.53	23.30	25.64
1h	25%	8.67	11.00	12.54	14.49	15.93	17.36	18.79	20.68

Nota. Elaboración propia

Para las demás estaciones, consideradas en el análisis hidrológico de la cuenca del río Mala, se muestran en el anexo 5.

Luego, se procedió a calcular la intensidad de lluvia según el periodo de retorno con la ecuación 4.2.

$$I = P/T \quad (4.2)$$

Donde:

I = Intensidad mm/hr

P= Precipitación mm

T = Tiempo hr

En la tabla 17 se muestran los valores de intensidad de lluvia obtenidos a partir de la ecuación 4.2 basado en los resultados de la tabla 16.

Tabla 17
Intensidad Máxima para la estación Ayaviri.

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)								
	Hora	2	5	10	25	50	100	200	500
24	1.45	1.83	2.09	2.41	2.66	2.89	3.13	3.45	
18	1.73	2.20	2.51	2.90	3.19	3.47	3.76	4.14	
12	2.28	2.90	3.30	3.82	4.20	4.57	4.95	5.44	
8	2.78	3.52	4.01	4.64	5.10	5.56	6.01	6.62	
6	3.24	4.11	4.68	5.41	5.95	6.48	7.02	7.72	
5	3.47	4.40	5.02	5.79	6.37	6.95	7.52	8.27	
4	3.82	4.84	5.52	6.37	7.01	7.64	8.27	9.10	
3	4.40	5.57	6.35	7.34	8.07	8.80	9.52	10.48	
2	5.38	6.82	7.78	8.98	9.88	10.77	11.65	12.82	
1	8.67	11.00	12.54	14.49	15.93	17.36	18.79	20.68	

Nota. Elaboración propia

En el anexo 6 se presentan los resultados para las demás estaciones consideradas en el presente estudio.

Obtención de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

Como últimos pasos, se procedió a calcular el tiempo de duración de la tormenta y la ecuación de intensidad aplicando regresión lineal para los coeficientes de K, m y n (coeficientes que pertenecen a la expresión explicada en el marco teórico). Para la estación Ayaviri se tiene la ecuación 4.3 para el cálculo de intensidad de lluvia.

$$I = \frac{72.8127 * T^{0.152444}}{t^{0.53752}} \quad (4.3)$$

Según Villón, el tiempo que tarda en concentrarse (tiempo de concentración) el máximo caudal en el cauce principal, es similar al tiempo de duración de la tormenta que los origina. (pág. 139). Por lo tanto, el tiempo de duración de la tormenta para la cuenca del río Mala es de 540 minutos los mismos que fueron calculados en la página 53.

En la tabla 18 se observan los valores de intensidad, y la figura 23 muestran las curvas IDF.

Tabla 18
Intensidad vs Tiempo de duración de la estación Ayaviri.

Duración (minutos)	Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia						
	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	13.01	14.95	16.62	19.11	21.24	23.61	30.18
60	8.96	10.30	11.45	13.17	14.64	16.27	20.79
90	7.21	8.29	9.21	10.59	11.77	13.08	16.72
120	6.17	7.10	7.89	9.07	10.08	11.21	14.32
150	5.48	6.30	7.00	8.05	8.94	9.94	12.70
180	4.96	5.71	6.34	7.30	8.11	9.01	11.52
210	4.57	5.25	5.84	6.72	7.46	8.30	10.60
240	4.25	4.89	5.44	6.25	6.95	7.72	9.87
270	3.99	4.59	5.10	5.87	6.52	7.25	9.26
300	3.77	4.34	4.82	5.54	6.16	6.85	8.75
330	3.58	4.12	4.58	5.27	5.85	6.51	8.32
360	3.42	3.93	4.37	5.03	5.59	6.21	7.94
390	3.28	3.77	4.19	4.81	5.35	5.95	7.60
420	3.15	3.62	4.02	4.63	5.14	5.72	7.30
450	3.03	3.49	3.88	4.46	4.96	5.51	7.04
480	2.93	3.37	3.74	4.31	4.79	5.32	6.80
510	2.84	3.26	3.62	4.17	4.63	5.15	6.58
540	2.75	3.16	3.52	4.04	4.49	4.99	6.38

Nota. Elaboración propia

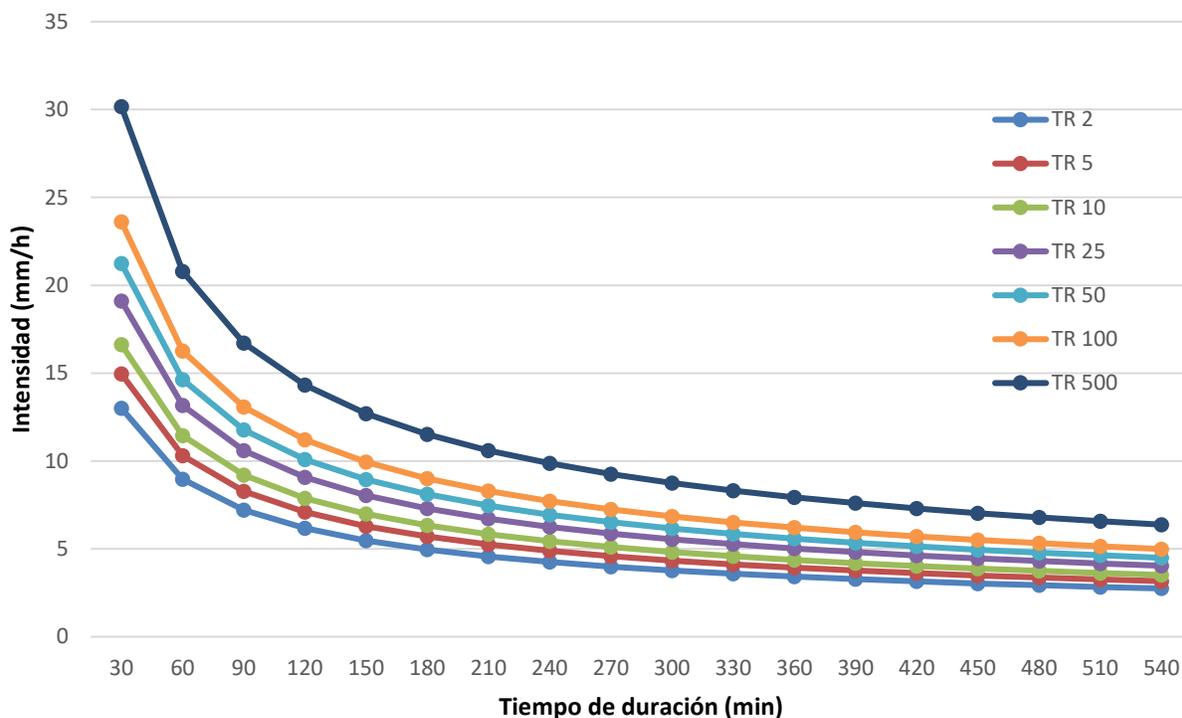


Figura 23: Curvas IDF de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

En el anexo 7 se presentan las tablas de resultados de intensidad y curvas IDF de las demás estaciones de la cuenca del río Mala consideradas en el presente estudio.

4.1.5. Hietograma de diseño

Para obtener el hietograma de diseño a partir de curvas IDF, se usó el método de bloques alternos (ver pág.20), con una duración de tormenta de 540 min. calculado en la página 53.

Para una duración de tormenta de 9 horas, intensidad de lluvia 4.99mm/h y precipitación máxima en 24 horas de 44.94mm, se construyó la tabla 19 de intensidades de lluvia en intervalos de 30min para la estación Ayaviri para tiempo de retorno $Tr=100$ años.

Tabla 19
Ayaviri, intensidades de precipitación 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	23.61	11.81	11.81	23.61	1.21	2.42
60	16.27	16.27	4.46	8.92	1.30	2.59
90	13.08	19.62	3.36	6.71	1.40	2.81
120	11.21	22.41	2.79	5.58	1.54	3.09
150	9.94	24.85	2.44	4.87	1.73	3.46
180	9.01	27.04	2.19	4.37	2.00	4.00
210	8.30	29.04	2.00	4.00	2.44	4.87
240	7.72	30.88	1.85	3.70	3.36	6.71
270	7.25	32.61	1.73	3.46	11.81	23.61
300	6.85	34.24	1.63	3.26	4.46	8.92
330	6.51	35.79	1.54	3.09	2.79	5.58
360	6.21	37.25	1.47	2.94	2.19	4.37
390	5.95	38.66	1.40	2.81	1.85	3.70
420	5.72	40.01	1.35	2.70	1.63	3.26
450	5.51	41.30	1.30	2.59	1.47	2.94
480	5.32	42.56	1.25	2.50	1.35	2.70
510	5.15	43.77	1.21	2.42	1.25	2.50
540	4.99	44.94	1.17	2.34	1.17	2.34

Nota. Elaboración propia

Con los resultados de la columna de precipitación alternada e intensidad parcial alternada de la tabla 19, se procedió a construir el hietograma mostrado en la figura 24 y figura 25. respectivamente.

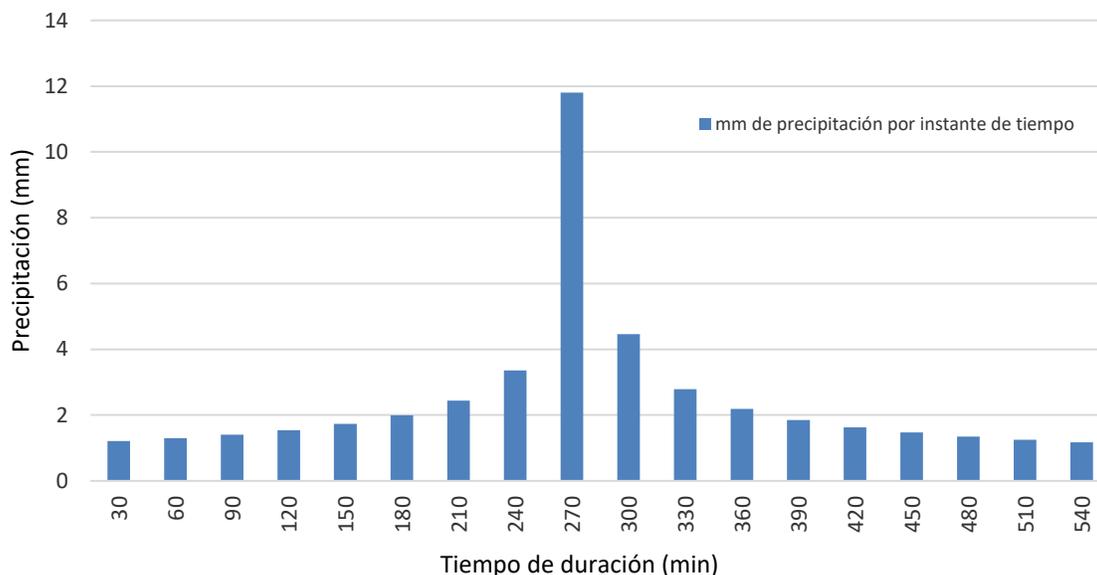


Figura 24: Hietograma de precipitación $Tr=100$ años para la estación Ayaviri

Elaboración propia

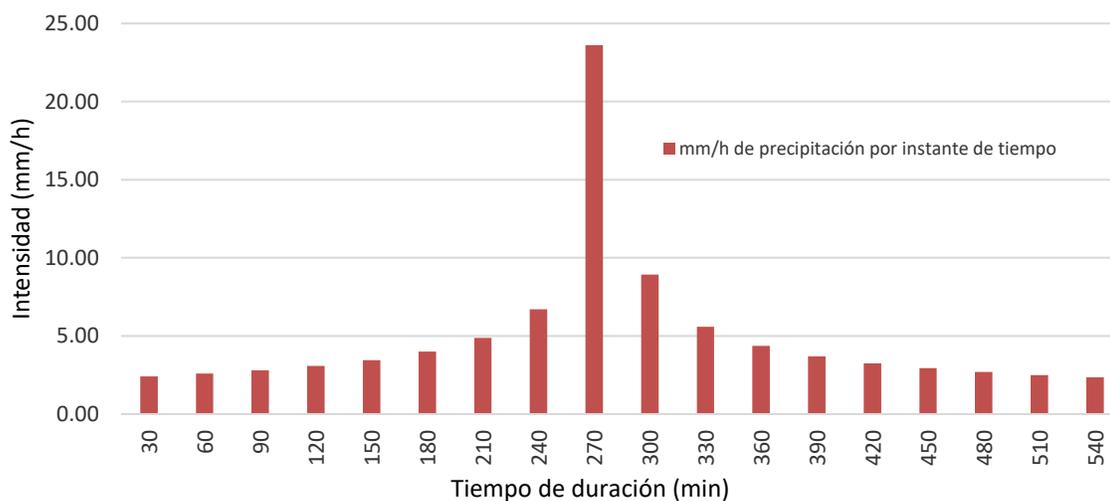


Figura 25: Hietograma de intensidad $Tr=100$ años para la estación Ayaviri

Nota. Elaboración propia

Asimismo, para una duración de tormenta de 9 horas, intensidad de lluvia 6.38mm/h y precipitación máxima en 24 horas de 57.43mm, se construyó la tabla 20 de intensidades de lluvia en intervalos de 30min para la estación Ayaviri para periodo de retorno $Tr=500$ años.

Tabla 20
Intensidades de precipitación $Tr=500$ años para la estación Ayaviri.

Hietograma para periodo de retorno 500 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	30.18	15.09	15.09	30.18	1.55	3.09
60	20.79	20.79	5.70	11.40	1.66	3.32
90	16.72	25.08	4.29	8.58	1.80	3.59
120	14.32	28.65	3.57	7.14	1.97	3.94
150	12.70	31.76	3.11	6.23	2.21	4.42
180	11.52	34.56	2.79	5.59	2.55	5.11
210	10.60	37.11	2.55	5.11	3.11	6.23
240	9.87	39.47	2.36	4.73	4.29	8.58
270	9.26	41.68	2.21	4.42	15.09	30.18
300	8.75	43.76	2.08	4.16	5.70	11.40
330	8.32	45.74	1.97	3.94	3.57	7.14
360	7.94	47.61	1.88	3.76	2.79	5.59
390	7.60	49.41	1.80	3.59	2.36	4.73
420	7.30	51.13	1.72	3.45	2.08	4.16
450	7.04	52.79	1.66	3.32	1.88	3.76
480	6.80	54.39	1.60	3.20	1.72	3.45
510	6.58	55.94	1.55	3.09	1.60	3.20
540	6.38	57.43	1.50	3.00	1.50	3.00

Nota. Elaboración propia

Con los resultados de la columna de precipitación alternada e intensidad parcial alternada de la tabla 20, se procedió a construir el hietograma mostrado en la figura 26 y figura 27 respectivamente.

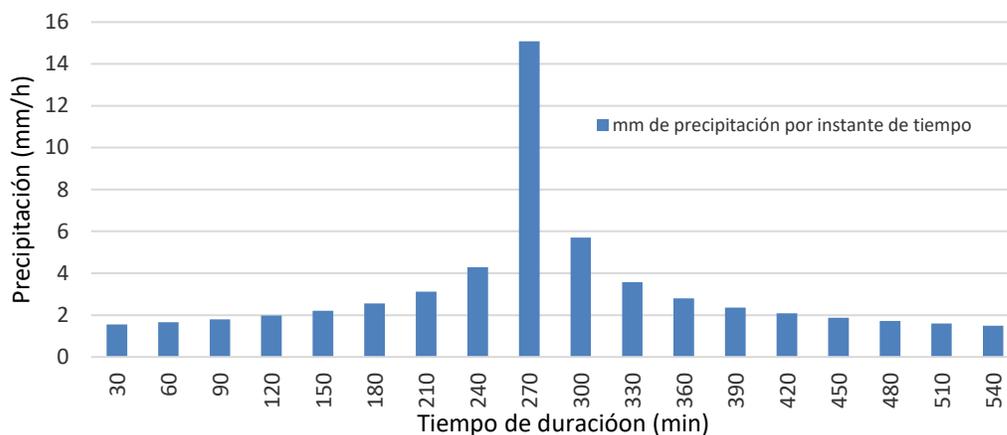


Figura 26: Hietograma de precipitación $T_r=500$ años en la estación Ayaviri

Nota. Elaboración propia

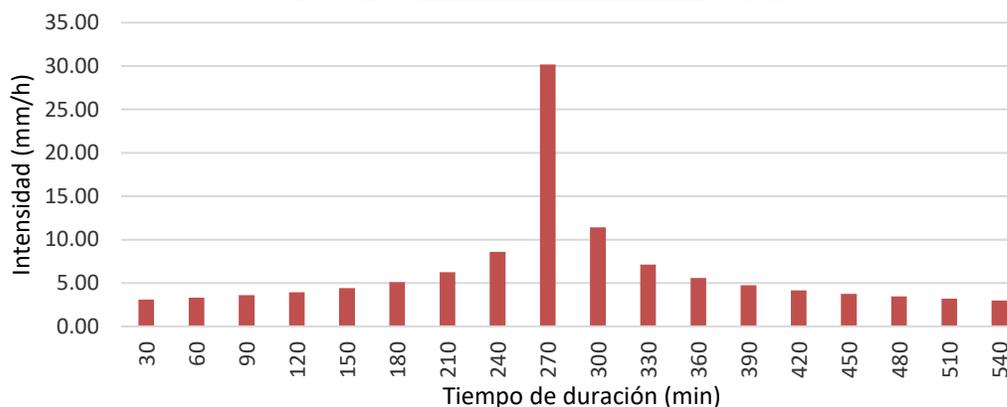


Figura 27: Hietograma de intensidad $T_r=500$ años en la estación Ayaviri

Nota. Elaboración propia

En el anexo 9 se muestran tablas de los resultados de precipitación, intensidad y hietogramas para las estaciones consideradas en este estudio.

4.1.6. Modelamiento en HEC-HMS.

4.1.6.1. Cálculos previos para el HEC-HMS

Cálculo del CN

La obtención del número de curva CN para la cuenca del río Mala, se obtuvo a partir del catálogo de metadatos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El mapa de número de curva (CN) se obtuvo a partir cuatro datos de entrada, el Modelo Digital de Elevación (MDE), uso de suelo, suelo hidrológico y los valores de grupos hidrológicos. Luego fueron geo-procesadas obteniendo como resultado el mapa de número de curva para condiciones secas (AMC I), condiciones normales (AMC II) y para condiciones húmedas (AMC III). (Portuguez Maurtua & Verano Zelada, 2016, pág. 91)

La figura 28 muestra los rangos de CN por zonas identificadas ANA

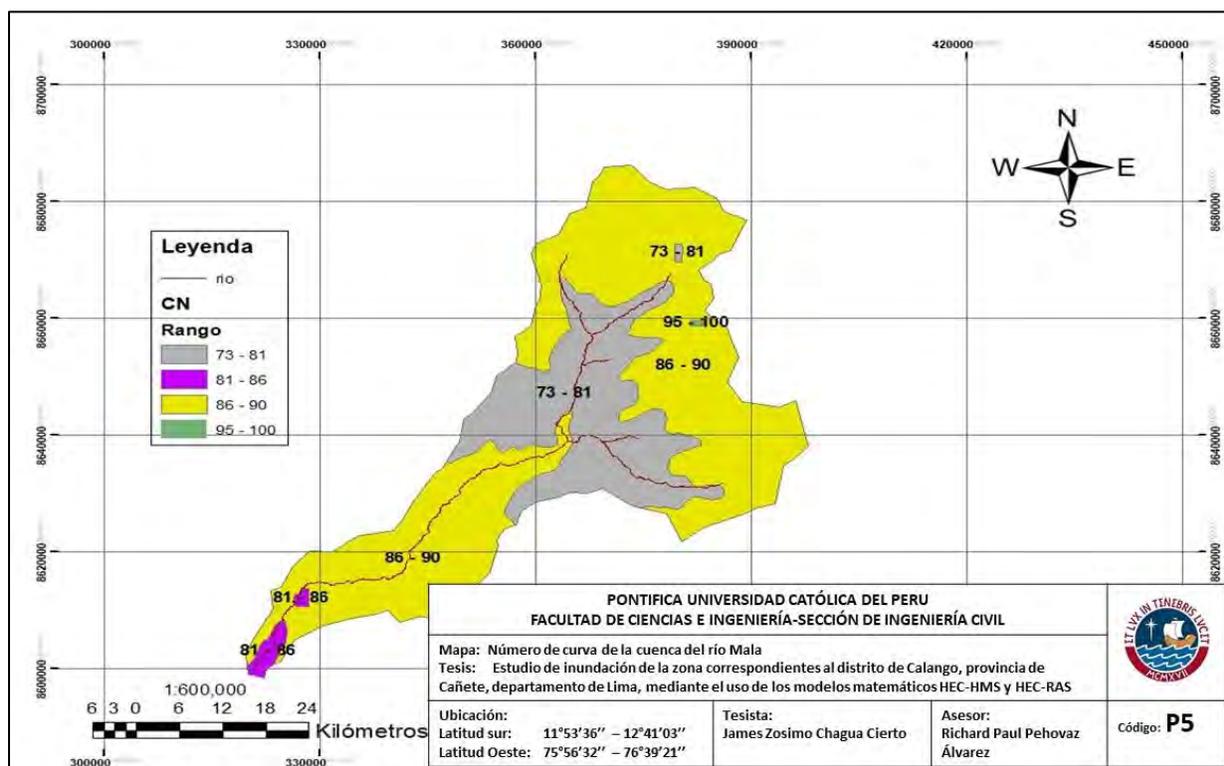


Figura 28: CN, de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

Es así que para la obtención del Numero de Curva se usaron los valores medios de cada rango (ver figura 28) para luego realizar el promedio ponderado de los mismos.

En la tabla 21 se muestra el número de curva de las subcuencas en estudio, así como las áreas correspondientes a cada uno de ellos.

Tabla 21
Número de curva para las subcuencas

Cuenca	Sub- cuenca	Área (Km ²)	CN
Mala	Río Alto Mala	301.57	89
	Río Acacache	244.11	88
	Medio Alto Mala	63.32	85
	Río Tantara	149.45	88
	Medio Bajo Mala	202.44	84
	San Juaquin de Cochas	35.42	81
	Yauyos	231.18	87
	Río Bajo Mala	805.24	86
	Río Quinches	302.35	86

Nota. Elaboración propia

Cálculo de la abstracción inicial (Ia)

Para el cálculo de abstracción inicial, se utilizó la ecuación 4.4 (Villón Béjar, 2016, pág. 46)

$$Ia=5080/CN -50.8 \text{ (mm)} \quad (4.4)$$

Reemplazando los valores de CN (ver tabla 21), se obtuvieron los valores de Ia (ver tabla 22.)

Tabla 22
Abstracción inicial de Subcuencas

ID	Sub-Cuenca	Ia
1	Río alto mala	6.33
2	Río Acacache	6.84
3	Medio alto mala	8.86
4	Río Tantara	7.06
5	Medio bajo Mala	9.69
6	San Joaquín Cochas	11.61
7	Yauyos	7.39
8	Río bajo Mala	8.00
9	Río Quinches	7.72

Nota. Elaboración propia

Con las características fisiográficas de cada una de las subcuencas (área, longitud de cauce y pendiente del cauce) se procedió a calcular el tiempo de concentración para cada subcuenca.

Cálculo de tiempo de concentración

El tiempo de concentración se calculó mediante diversas fórmulas (indicadas en el acápite 2.1.4.3.). Para la presente tesis se utilizaron las metodologías de Temez, Kirpich y California por las características que presenta la cuenca en estudio tales como cuenca rurales y grado de urbanización menor del 4% del área de la cuenca.

La tabla 23 muestra los valores de tiempo de concentración obtenidos, a partir de los tres métodos de cálculo seleccionados para este estudio.

Tabla 23
Tiempo de concentración de las subcuencas

Sub-cuenca	Área (km²)	Long. de cauce (km)	S(m/m)	Kirpich (min)	Temez (min)	California (min)
Río Alto Mala	301.57	17.37	0.077	96.25	104.4	96.00
Río Acacache	244.11	17.73	0.071	100.88	107.4	100.34
Medio Alto Mala	63.32	6.44	0.058	49.98	52.20	49.73
Río Tantara	149.45	4.68	0.148	27.29	34.20	27.12
Medio Bajo Mala	202.44	16.43	0.043	115.92	112.2	114.78
San Juaquin de Cocha	35.42	6.45	0.068	47.11	51.00	46.83
Yauyos	231.18	6.08	0.086	41.13	46.20	40.88
Río Bajo Mala	805.24	82	0.019	548.32	436.2	542.02
Río Quinches	302.35	23.17	0.072	124.31	130.8	122.64

Nota. Elaboración propia

Cálculo del tiempo de retardo (Lag time)

Para transformar la precipitación neta a escorrentía directa, se eligió el método del SCS lo cual indica que el tiempo de retardo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Lag time} = 0.6T_c$$

En la tabla 24 se muestra el tiempo de concentración promedio y los resultados del cálculo de Lag Time para cada subcuenca de la cuenca del río Mala

Tabla 24
Tiempo de retardo de las subcuencas

Sub-Cuenca	Tc promedio	Lag Time
Río Alto Mala	101.68	61.01
Río Acacache	105.23	63.14
Medio Alto Mala	51.46	30.88
Río Tantara	31.90	19.14
Medio Bajo Mala	113.44	68.06
San Joaquín Cochas	49.70	29.82
Yauyos	44.51	26.71
Río bajo Mala	473.57	284.14
Río Quinches	128.64	77.18

Nota. Elaboración propia

En el cuadro 25 se muestran los caudales observados para los distintos tiempos de retorno ajustados a la distribución de probabilidad de Gumbel tomado de la Evaluación de los recursos hidrológicos de cuenca del río Mala a través del Ministerio de agricultura .

Tabla 25
Caudales máximos observados

Item	Tr	Distribución Gumbel (m³/s)
1	2	148.8
2	5	222.5
3	25	333.0
4	50	378.7
5	100	424.1
6	500	529.1

Tomado de “Evaluación de los recursos hidrológicos de cuenca del ríoMala”, por Ministerio de agricultura (2007)

4.1.7. Resultados de la modelación hidrológica

Luego de realizar el modelamiento hidrológico, se obtuvo como respuesta un caudal de diseño de $409.5 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 100 años y un caudal de diseño de $542.58 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 500 años. Para la confiabilidad del correcto análisis, a estos resultados de caudales se les realizó un proceso de calibración con respecto a los caudales máximos presentados en la tabla 25. La figura 29 y figura 30 se muestran los hidrogramas de diseños obtenidos con su respectivo caudal máximo observado.

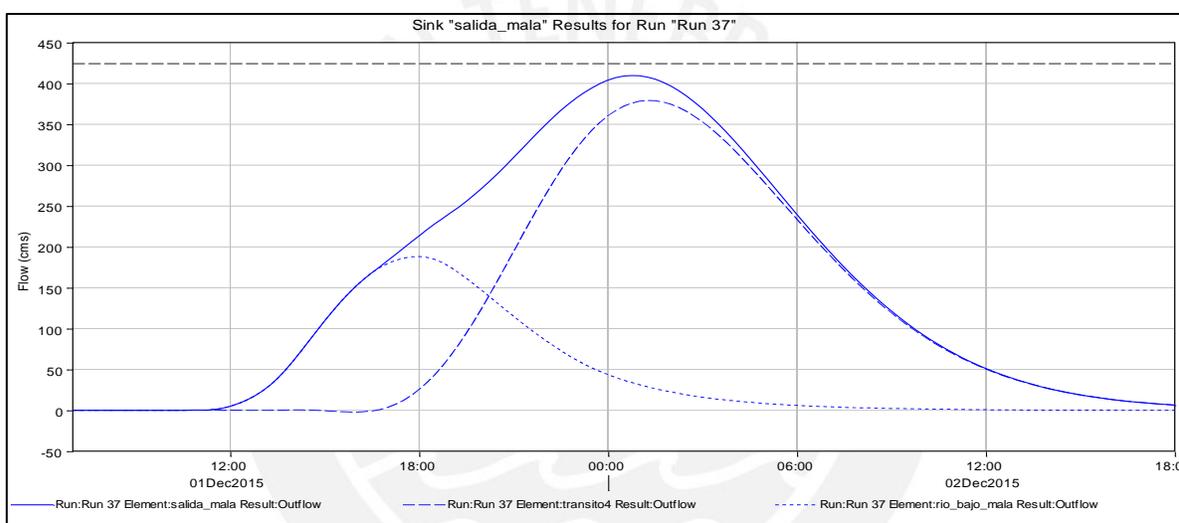


Figura 29: Hidrograma de caudal para $Tr = 100$ años

Elaboración propia

A partir del hidrograma de diseño (figura 29), se obtuvo el valor de caudal de diseño:

— Caudal de diseño: $Q = 409.5 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla 25, se tomó el valor del caudal máximo observado para periodo de retorno $Tr = 100$ años siendo igual a $Q_{\text{obs}} = 424.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Reemplazando en la ecuación 3.1 (pág. 40) tenemos:

$$Z = 100 \left| \frac{409.5 - 424.1}{424.1} \right| = 3.44\%$$

Como resultado de la calibración, se obtuvo un valor de 3.44% de error porcentual de caudal pico, lo cual se pudo determinar al caudal simulado como aceptable.

Para valores de Z mayor a 5% son considerados como un alto grado de error, lo cual llevaría a una nueva iteración ya mencionada. (HEC-HMS, 2016, pág. 94)

Para el periodo de retorno $Tr = 500$ años, los resultados se muestran en la figura 30

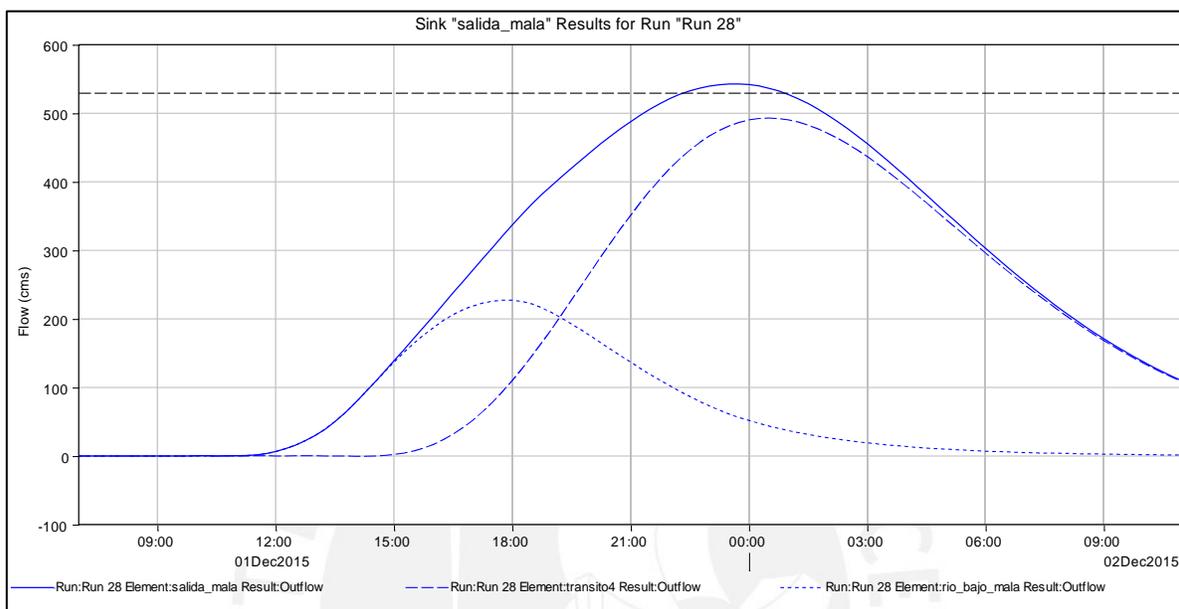


Figura 30: Hidrograma de caudal para Tr 500 años

Elaboración propia

De igual manera, para el tiempo de retorno de 500 años, se obtuvo el valor de caudal de diseño:

— Caudal de diseño: $Q = 542.58 \text{ m}^3/\text{s}$

De la tabla 25, se tomó el valor del caudal máximo observado para periodo de retorno $Tr = 500$ años siendo igual a $Q_{\text{obs}} = 529.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Reemplazando en la ecuación 3.1 (pág. 40) tenemos:

$$Z = 100 \left| \frac{542.58 - 529.1}{529.1} \right| = 2.55\%$$

En este caso se obtuvo un valor de 2.55% de error porcentual de caudal pico, lo cual se pudo determinar al caudal simulado como aceptable.

4.2. Estudio Hidráulico

A través del SIG ARCGIS se procesó la información geográfica para definir el TIN del río Mala, lo cual representará el Modelo de Elevación del Terreno (MDT).

Con el DEM proporcionado por el satélite de la NASA, se obtuvo información de curvas de nivel con aproximación espacial de 3m siendo este su máxima aproximación, debido a que para menores valores a 3m de aproximación espacial, las curvas de nivel se distorsionan. Toda la información obtenida del DEM se proyectó en un sistema UTM-WGS 1984- Zona 18 sur.

En la figura 31 se observa las curvas de nivel desde el entorno ARCGIS,

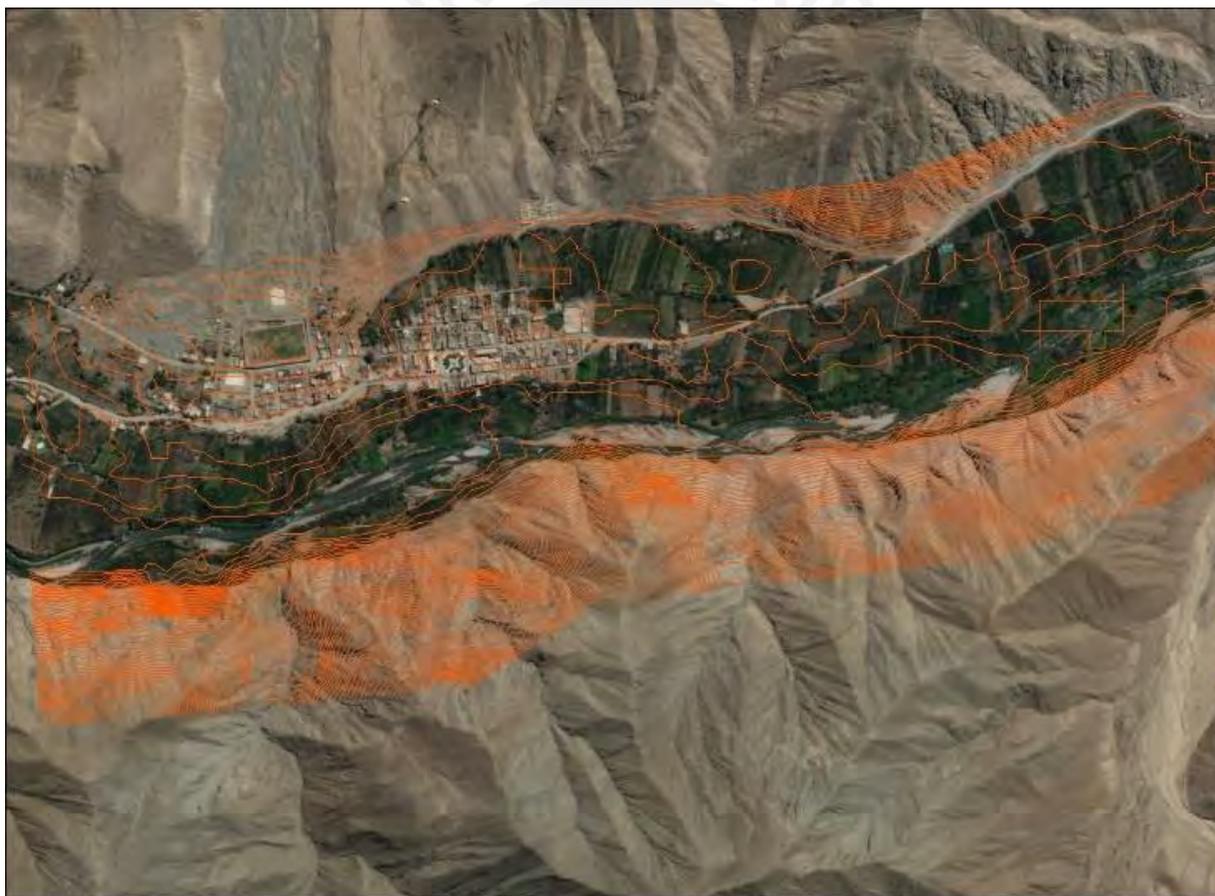


Figura 31. Curvas de nivel de la zona

Elaboración propia

4.2.1. Uso de la extensión HEC-GeoRAS

Con la herramienta de extensión del SIG ARCGIS llamado Hec-GeoRas, se procesaron las cotas de terreno, así como los datos geométricos del MDT definiendo las condiciones de contorno diferenciando así el cauce principal de las orillas o márgenes del río.

Como primera fase se procedió a dibujar el trayecto del río creando límites del cauce del río con el comando RAS Geometry Ras Layers-Bank Lines, delimitando la llegada del flujo con el comando *RAS Geometry-Create RAS Layers-Flow Path Centerlines* y asignando los atributos de los flowpaths, derecho e izquierdo. La figura 32 muestra el resultado de la primera fase del modelamiento hidráulico.



Figura 32. Digitalización geométrica de un tramo del río Mala mediante la extensión Hec-GeoRas

Elaboración propia

Como segunda fase, se crearon las secciones transversales del río utilizando el comando *RAS Geometry-Create RAS Layers-Xs Cut Line*, luego se construyeron las secciones transversales

interceptando al eje del río para poder asignar los atributos utilizando los comandos *RAS Geometry-Stream Centerline Attributes-All*.

Las secciones transversales consistieron en dividir el cauce del río en tramos de 75 m. debido a que, en tramos de menor longitud, no se presenta variación significativa de secciones transversales.

La figura 33 muestra el resultado de la segunda fase del modelamiento hidráulico.



Figura 33. Secciones transversales cada 75m del río Mala digitalizadas con la extensión Hec-GeoRas

Elaboración propia

4.2.2. Uso del modelo HEC-RAS

Para la modelación del río Mala, se importó la geometría creada desde la extensión del SIG ARCGIS (Hec-GeoRas) y se realizaron las verificaciones, configuraciones y modificaciones de la geometría del terreno.

Para el coeficiente de rugosidad de Manning, el software HEC-RAS por defecto considera tres sectores bien definidos en cada sección transversal: canal principal, planicie de inundación derecha y planicie de inundación izquierda, estando bien definidos por los bancos laterales al canal principal del río Mala.

Para los valores de coeficiente de rugosidad se usó la tabla 5 presentada en la página 35 y a través de ello se procedió a caracterizar el cauce del río.

En la planicie de inundación izquierda y derecha se observó presencia de pasto alto, áreas de cultivo en línea maduros y campos de cultivo maduros, lo cual se decidió optar por un coeficiente de rugosidad 0.035 (para n_1 y n_3), y para el canal principal se observó área sin cultivo, pasto corto tomando como valor de coeficiente de rugosidad de 0.03 (n_2)

Luego de introducir todas las consideraciones mencionadas anteriormente en el modelo HEC-RAS, se obtuvieron las secciones trasversales del río Mala (figura 34 y anexo 9).

Las secciones mostradas en la figura 34 corresponden a las progresivas mostradas en la tabla 26

*Tabla 26.
Secciones de río Mala según progresiva correspondiente*

Sección Transversal	Progresiva
Sección 1	2+325 – 2+400
Sección 2	1+800 – 1+875
Sección 3	2+100 – 2+175
Sección 4	0+140 – 0+225
Sección 5	0+825 – 0+900
Sección 6	1+650 – 1+1725

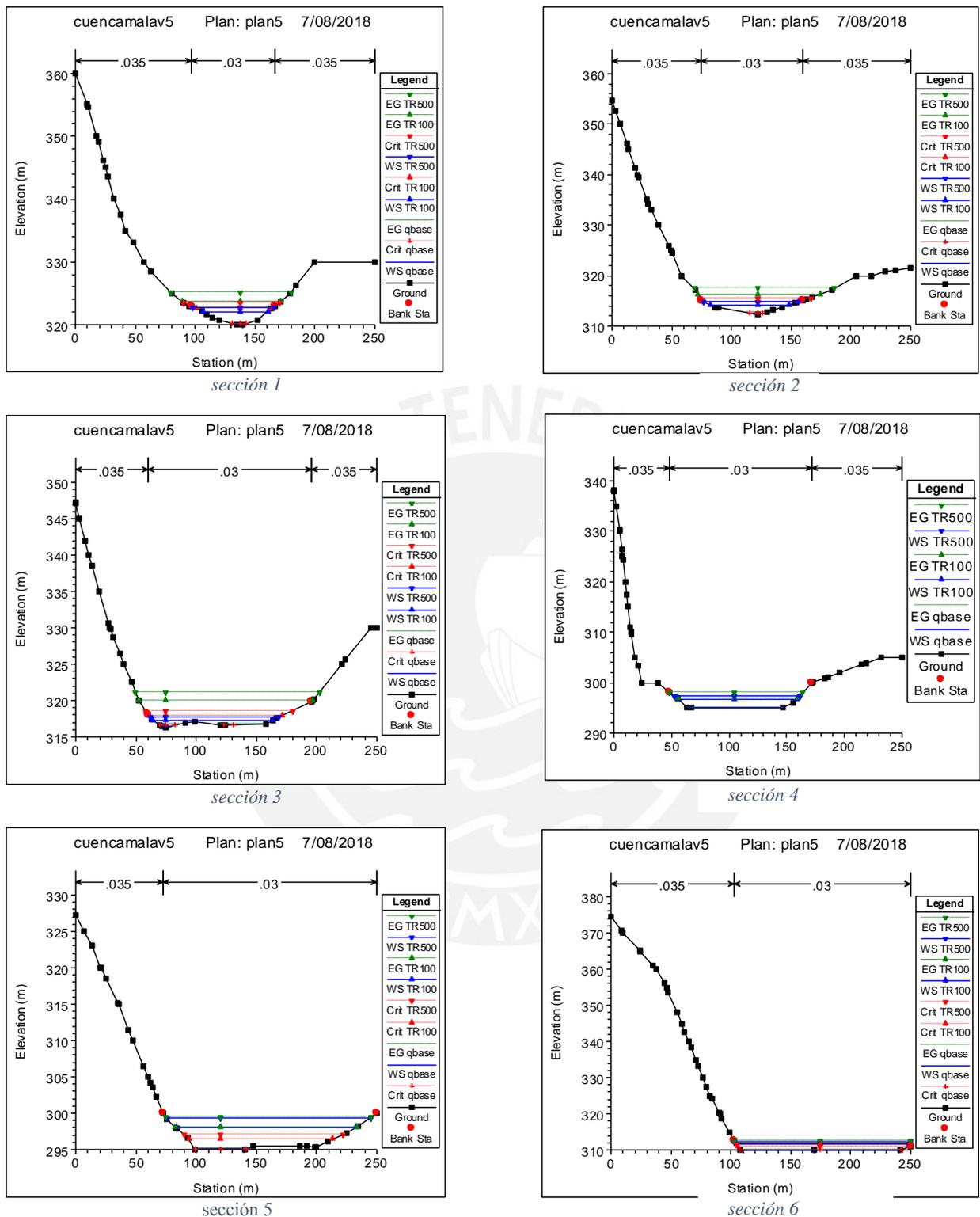


Figura 34. Secciones del río Mala

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 35 y 36 se muestran el modelo del río en 3D para los caudales de periodos de retorno $Tr = 100$ años y $Tr = 500$ años respectivamente.

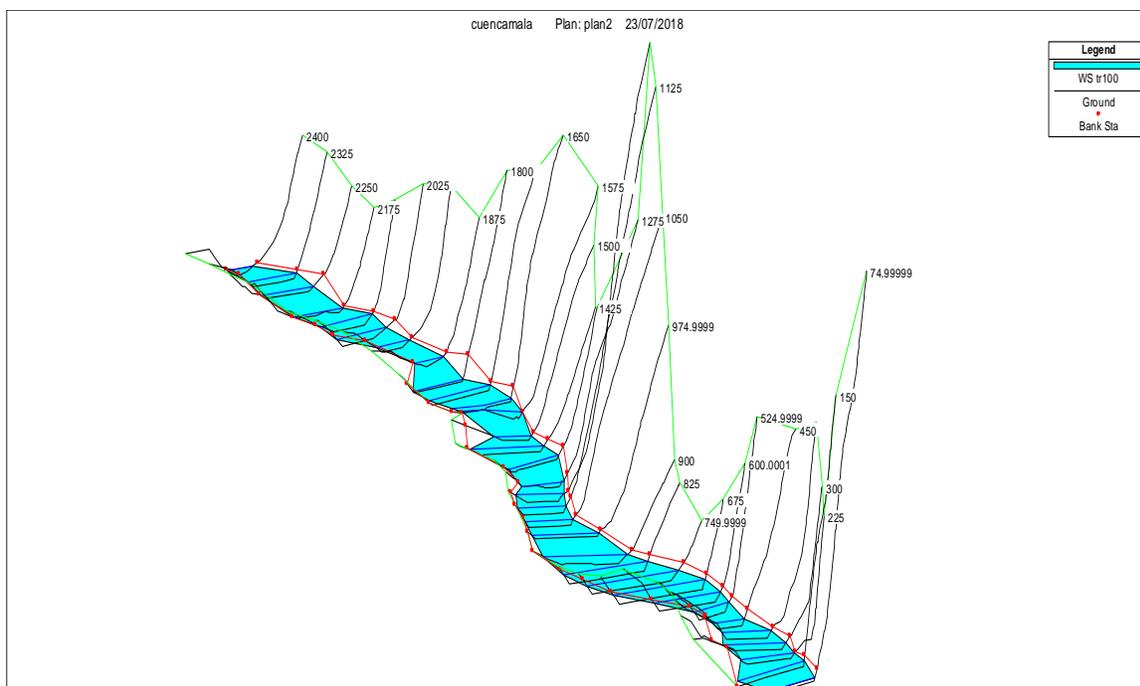


Figura 35. Vista en 3D del río Mala para $Q=409.5\text{m}^3/\text{s}$ correspondientes aun $Tr = 100$ años.

Elaboración propia

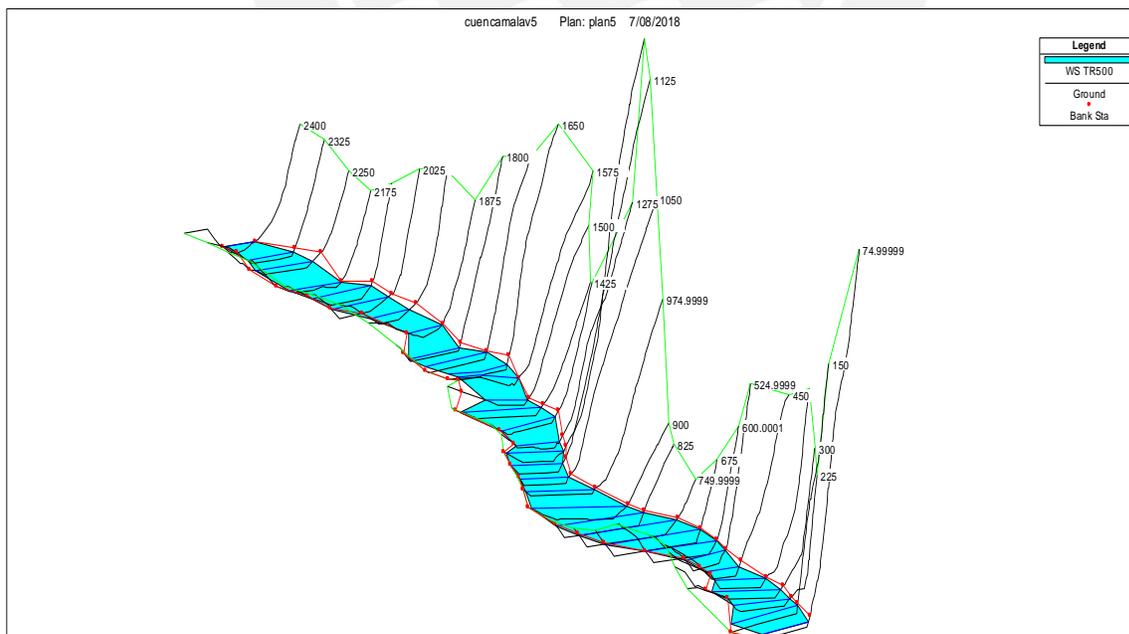


Figura 36. Vista en 3D del río Mala para $Q=542.58\text{m}^3/\text{s}$ correspondiente a un $Tr = 100$ años

Elaboración propia

4.3. Resultados de la modelación hidráulica

De acuerdo a los resultados de la simulación hidráulica desarrollados por el SIG ARCGIS y HEC RAS, se obtuvieron áreas que representan las láminas de inundación para los caudales correspondientes a los periodos de retorno 100 y 500 años.

En la figura 37 se muestran las áreas de inundación para el periodo de retorno de 100 años en el distrito de Calango, perteneciente a la parte baja de la cuenca del río Mala.



Figura 37. Mapa de inundación para caudal de $T_r = 100$ años

Elaboración propia

En la figura 38 se muestran las áreas de inundación para el periodo de retorno de 500 años en el distrito de Calango, perteneciente a la parte baja de la cuenca del río Mala.



Figura 38. Mapa de inundación para caudal de Tr 500 años

Elaboración propia

Con las secciones mostradas en la página 75 y los mapas de inundación (figura 37 y 38), se observa que las láminas de inundación son extensas tanto para el periodo de retorno de 100 años y 500 años. Una descarga de esta magnitud es suficiente para grandes pérdidas de cultivo, ganadería y pérdidas de vidas humanas. En el anexo 11 se muestran los mapas de inundación con sus respectivos tirantes para los periodos de retorno de 100 y 500 años. Los tirantes de “inundación” para periodo de retorno de 100 años se obtuvo valores alrededor de 3.88m, y para periodo de retorno 500 años se obtuvo valores alrededor de 4.62m.

El método que se usó para cuantificar las áreas de inundación consistió en dividir el cauce del río en tramos de 75 m. debido a que, en tramos menores, no se presenta variación significativa en las secciones transversales del río Mala.

Como resultado final del modelamiento hidrológico del río Mala en el distrito de Calango, se obtuvo áreas de inundación total, a lo cual se procedió calcular el área de inundación fuera del cauce como la diferencia entre el área total de la macha en la sección correspondiente y el cauce del río. La tabla 27 muestra un total de área inundada de 177,140 m² para el periodo de retorno de 100 años, y la tabla 28 muestra un total de área inundada de 254,170 m² para un periodo de retorno de 500 años.

Las áreas alcanzadas ante una posible inundación, son en su mayoría zonas de cultivo de manzana Delicia y la uva Quebranta (figura 39), lo cual es un inminente peligro para la principal actividad económica del distrito de Calango.



Figura 39. Fotografía de la zona de estudio.

Elaboración propia

Tabla 27

Área de planicies de inundación del río Mala, para TR 100 años

Progresiva (km)	Área total de Inundación para Tr=100 años (Ha)	Área del Río (Ha)	Área total de inundación fuera del cauce para un Tr= 100 años (Ha)
0+000 - 0+075	0.540	0.130	0.410
0+075 - 0+140	0.564	0.133	0.431
0+140 - 0+225	0.537	0.139	0.398
0+225 - 0+300	0.590	0.141	0.449
0+300 - 0+375	0.722	0.148	0.574
0+375 - 0+450	0.457	0.143	0.314
0+450 - 0+525	0.483	0.125	0.358
0+525 - 0+600	0.544	0.098	0.446
0+600 - 0+675	0.856	0.138	0.718
0+675 - 0+750	0.799	0.097	0.702
0+750 - 0+825	0.247	0.053	0.194
0+825 - 0+900	0.736	0.123	0.613
0+900 - 0+975	0.626	0.113	0.513
0+975 - 1+050	0.873	0.144	0.729
1+050 - 1+125	0.501	0.172	0.329
1+125 - 1+200	0.592	0.105	0.487
1+200 - 1+275	0.789	0.132	0.657
1+275 - 1+350	0.727	0.137	0.590
1+350 - 1+425	0.745	0.120	0.625
1+425 - 1+500	0.900	0.115	0.785
1+500 - 1+575	0.996	0.121	0.875
1+575 - 1+650	0.998	0.173	0.825
1+650 - 1+725	1.144	0.255	0.889
1+725 - 1+800	0.945	0.235	0.710
1+800 - 1+875	0.692	0.154	0.538
1+875 - 1+950	0.439	0.115	0.324
1+950 - 2+025	0.486	0.148	0.338
2+025 - 2+100	0.665	0.19	0.475
2+100 - 2+175	0.574	0.12	0.454
2+025 - 2+250	0.598	0.127	0.471
2+250 - 2+325	0.792	0.127	0.665
2+325 - 2+400	0.948	0.120	0.828
Total	22.105	4.391	17.714

Nota. Elaboración Propia

Tabla 28
 Área de planicies de inundación del río Mala, para TR 500 años

Progresiva (km)	Área total de Inundación (Ha)	Área del Río (Ha)	Área total de inundación fuera del cauce (Ha)
0+000 - 0+075	0.720	0.130	0.590
0+075 - 0+140	0.755	0.133	0.622
0+140 - 0+225	0.843	0.139	0.704
0+225 - 0+300	0.850	0.141	0.709
0+300 - 0+375	1.080	0.148	0.932
0+375 - 0+450	0.832	0.143	0.689
0+450 - 0+525	0.613	0.125	0.488
0+525 - 0+600	0.704	0.098	0.606
0+600 - 0+675	1.069	0.138	0.931
0+675 - 0+750	0.901	0.097	0.804
0+750 - 0+825	0.257	0.053	0.204
0+825 - 0+900	0.887	0.123	0.764
0+900 - 0+975	0.800	0.113	0.687
0+975 - 1+050	1.420	0.144	1.276
1+050 - 1+125	0.731	0.172	0.559
1+125 - 1+200	0.686	0.105	0.581
1+200 - 1+275	1.019	0.132	0.887
1+275 - 1+350	1.024	0.137	0.887
1+350 - 1+425	1.032	0.120	0.912
1+425 - 1+500	1.127	0.115	1.012
1+500 - 1+575	1.493	0.121	1.372
1+575 - 1+650	1.412	0.173	1.239
1+650 - 1+725	1.467	0.255	1.212
1+725 - 1+800	1.279	0.235	1.044
1+800 - 1+875	0.920	0.154	0.766
1+875 - 1+950	0.582	0.115	0.467
1+950 - 2+025	0.578	0.148	0.430
2+025 - 2+100	0.871	0.190	0.681
2+100 - 2+175	0.812	0.120	0.692
2+025 - 2+250	0.798	0.127	0.671
2+250 - 2+325	1.130	0.127	1.003
2+325 - 2+400	1.116	0.120	0.996
Total	29.808	4.391	25.417

Elaboración propia

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El objetivo de la presente tesis fue realizar un análisis hidrológico e hidráulico para obtener mapas de inundación usando los modelos matemáticos ARCGIS, HEC-HMS y HEC-RAS, para ello se realizó una serie de procesos lo cual conlleva a las siguientes conclusiones:

1. Los parámetros geomorfológicos obtenidos para la cuenca del río mala, como principal caracterización fue la delimitación de la cuenca en mención. Esta delimitación se obtuvo a partir de la DEM proporcionado por el satélite de la NASA, obteniendo un área de cuenca igual a 2355.43 clasificándose de esta manera como cuenca grande.

Dentro de los resultados de los parámetros geomorfológicos se obtuvo un índice de Gravelius igual a 1.54, siendo este valor mayor a la unidad. Por lo tanto, la cuenca del río Mala tiene tendencia a producirse crecientes de avenidas demostrando de esta manera lo que sucede en la realidad.

2. Para el modelamiento hidrológico se ingresó los parámetros hidrológicos solicitados por el software HEC-HMS y aplicando el modelo del SCS se obtuvo hidrogramas de diseño que para un periodo de retorno de 100 años los caudales se encuentran en el orden de los 409.5m³/s y para tiempo de retorno de 500 años, los caudales se encuentran en el orden de los 542.58m³/s.

La característica de este modelamiento hidrológico ha sido que al ingresar los valores de coeficientes de número de curva que tienen un rango (ver pág. 66), se optó por asumir el valor más conservador siendo este “el límite mayor” generando de esta manera inundación en su mayor alcance. Además, otra variable importante que ha sido una característica que ha podido variar este modelo hidrológico, es el valor del tiempo de concentración a lo cual

se optó por usar el método de Temez por tener características mas favorables para la cuenca en estudio.

3. Para realizar el modelamiento hidráulico, al no contar con una batimetría del río en estudio, se optó como una alternativa las curvas de nivel a partir del DEM, proporcionado por la NASA. Esta alternativa no es de todo exacta, debido a la baja resolución del DEM, sin embargo, las secciones del río se asemejan mucho a la realidad como lo podemos observar en las fotografías de visita a campo mostrados en el anexo 10. Estas curvas de nivel tienen la peculiaridad de tener una aproximación máxima de 3 metros, lo cual se considera aceptable para fines de la presente tesis.

Otro parámetro de mucha importancia fue la elección de los coeficientes de rugosidad. Para la presente tesis se optó, a partir de la tabla de valores de coeficiente de Manning (ver pág. 36) como valores de coeficientes de rugosidad de 0.03 para el canal principal y 0.035 para las planicies de inundación izquierda y derecha. Siendo estos valores conservadores para fines de la presente tesis.

4. Para lograr el mapa de inundación, el análisis hidrológico e hidráulico fueron importantes para este fin. Mientras que en el análisis hidrológico se obtuvo los caudales de diseño para los periodos de retorno de 100 y 500 años, en el análisis hidráulico se obtuvo el modelamiento del río Mala identificando las zonas de riesgo de inundación con áreas que van desde los 177,140m² hasta 254,170m² como máximo. Siendo zonas en su mayoría de cultivos.

Finalmente se concluye que la elaboración de un mapa de inundación en zonas aledañas a ríos, es determinante para la toma de decisiones a forma de evitar futuros desastres como inundación de zonas urbanas, zonas agrícolas, zonas ganaderas, zonas mineras, entre otros.

5.2. Recomendaciones

1. Para el estudio hidrológico e hidráulico de una cuenca, se recomienda realizar un levantamiento previo de campo para obtener datos como la población, costumbres, actividad económica, nivel de riesgo, accesibilidad y clima.
2. Obtener datos de precipitación de estaciones vecinas a la cuenca en estudio y analizar su influencia en los resultados del hidrograma de diseño.
3. Para datos de curva de nivel, se recomienda utilizar un DEM de mayor resolución tomados a partir de un levantamiento topográfico por dron y/o en su defecto realizar una batimetría del río.
4. Para optimizar los caudales de diseño, se recomienda obtener datos históricos de caudales observados, para realizar la calibración y validación de los modelos.
5. Difusión de la metodología de elaboración de mapas de inundación a nivel nacional como método preventivo de zonas de alcance ante crecidas de los ríos.
6. Se recomienda a partir de los mapas de inundación el diseño de estructuras hidráulicas de encauzamiento, defensas ribereñas, descolmatación de ríos para el control de las máximas avenidas, siendo los más usados los muros de contención, gaviones y enrocado.

Referencias

- Aparicio, F. J. (1994). *Fundamentos de la hidrología de superficie*. México: Noriega.
- ArcGIS. (2018). Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (01 de Enero de 2006). Principios y fundamentos de la hidrología superficial. Tlapan, D.F. Mexico.
- Chereque, W. M. (01 de enero de 1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil.
- Chow, V. T. (01 de Enero de 1994). Hidrología aplicada.
- Chow, V. T., Saldarriaga, J. G., & Zuluaga, A. Á. (1994). *Hidráulica de los canales abiertos*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill.
- Curve, N. (2009). *Curve number hydrology : state of the practice*. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com>
- Fattorelli, S., & Fernandez, P. C. (01 de enero de 2011). Diseño hidrológico. (segunda edición).
- French, R. H. (1988). *Hidráulica de canales abiertos*. Mexico: Editorial McGraw-Hill.
- HEC-HMS, H. M. (2016). *User's Manual*. USA: US Army Corps of engineers.
- HE-HMS, H. m. (2000). *Technical reference manul*. Lima: Ate.
- Koechlin, J. G. (22 de 03 de 2017). *El comercio*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/peru/impactantes-imagenes-lluvias-e-inundaciones-peru-407507>
- Linsley, R. k., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Naucalpan de Juárez: McGraw-Hill.
- Ministerio de transporte y comunicaciones MTC. (2008). *Manual de hidrolía, hidráulicay drenaje*. Lima.

- Monsalve, S. G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Santa Fé de Bogotá: Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ochoa Z., M., Moreno H., J., Medina A., L., Rodriguez M., R., Fabián Q., C., Nuñez J., S., . . . Sosa S., N. (2017). Evaluación geológica de las zonas afectadas por el niño costero 2017 en las regiones Lima-Ica. *INGEMMET*, 8,9.
- Portuguez Maurtua, M., & Verano Zelada, C. (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 91-99. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/323792544>
- Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rocha Felices, A. (01 de Enero de 2007). Hidráulica de tuberías y canales.
- Témez, J. R. (1991). Extended and improved Rational Method. *XXIV Congress*, (págs. 33-40). Madrid.
- Villodas, R. (2008). *Hidrología*. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Villon Béjar, M. (2002). *Hidrología* (segunda ed.). Cártago: Editorial Villón.
- Villón Béjar, M. (2016). *HEC-HMS ejemplos* (sexta ed.). Cártago: Centro de desarrollo de material bibliográfico.
- Villon Béjar, M. (2016). *HEC-RAS ejemplos* (segunda ed.). Cártago: Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Zerga Ocaña, A. (2003). *Plan de prevención ante desastres: Usos del suelo y medidas de mitigación*. Mala: INDECI.



Anexos

Anexo 1. Desarrollo del modelamiento hidrológico con el software HEC-HMS para la cuenca del río Mala.

1.1. Desarrollo del HEC-HMS:

Creación de elementos hidrológicos.

Para la presente tesis se crearon nueve elementos de subcuenca, cuatro elementos de unión de cauces, cuatro elementos de tránsito de avenida y un elemento de sumidero o punto de aforo.

Descripción de los elementos hidrológicos de la cuenca.

La subcuenca río Alto Mala y Acacache se unen en la UNION 4, la subcuenca Yauyos y la Quinches se unen en la UNION 1, la subcuenca medio Alto Mala, Tantara y el tránsito 1 se unen en la UNION 3, la subcuenca Bajo Mala, Juakin Cochas, tránsito 2 y tránsito 3 se unen en la UNION 2. En la figura A1 se observan los elementos hidrológicos de la cuenca del río Mala

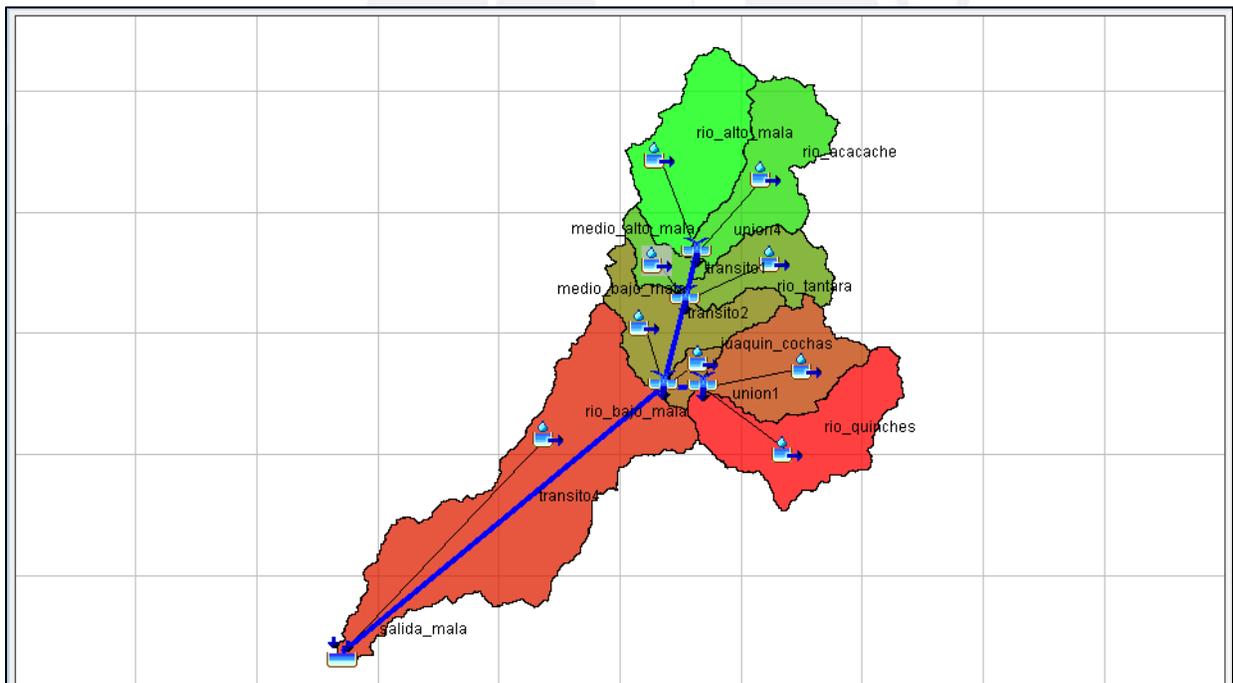


Figura A1: Elementos hidrológicos en la cuenca modelado en Hec-Hms

Elaboración propia

Introducción de datos para el modelo de la cuenca.

Se inició ingresando los datos correspondiente de cada subcuenca tales como descripción de subcuenca, área, método de separar de la lluvia total la lluvia neta o efectiva (loss method), método para transformar la precipitación neta a escorrentía directa (transform method), abstracción inicial (Ia), número de curva (CN), impermeabilidad y tiempo de retardo (lag time)

En la figura A2 se puede observar el ingreso de datos para la subcuenca del Río Quinches.

The figure displays three screenshots of a software interface for data entry of a sub-basin. The interface has tabs for 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options'. The first screenshot shows the 'Subbasin' tab with fields for Basin Name (mala), Element Name (rio_quinches), Description (subcuenca 1), Downstream (union1), Area (302.35), and various geographic coordinates. The second screenshot shows the 'Loss' tab with fields for Initial Abstraction (9.60), Curve Number (84.11), and Impervious (%). The third screenshot shows the 'Transform' tab with fields for Graph Type (Standard (PRF 484)) and Lag Time (77.18).

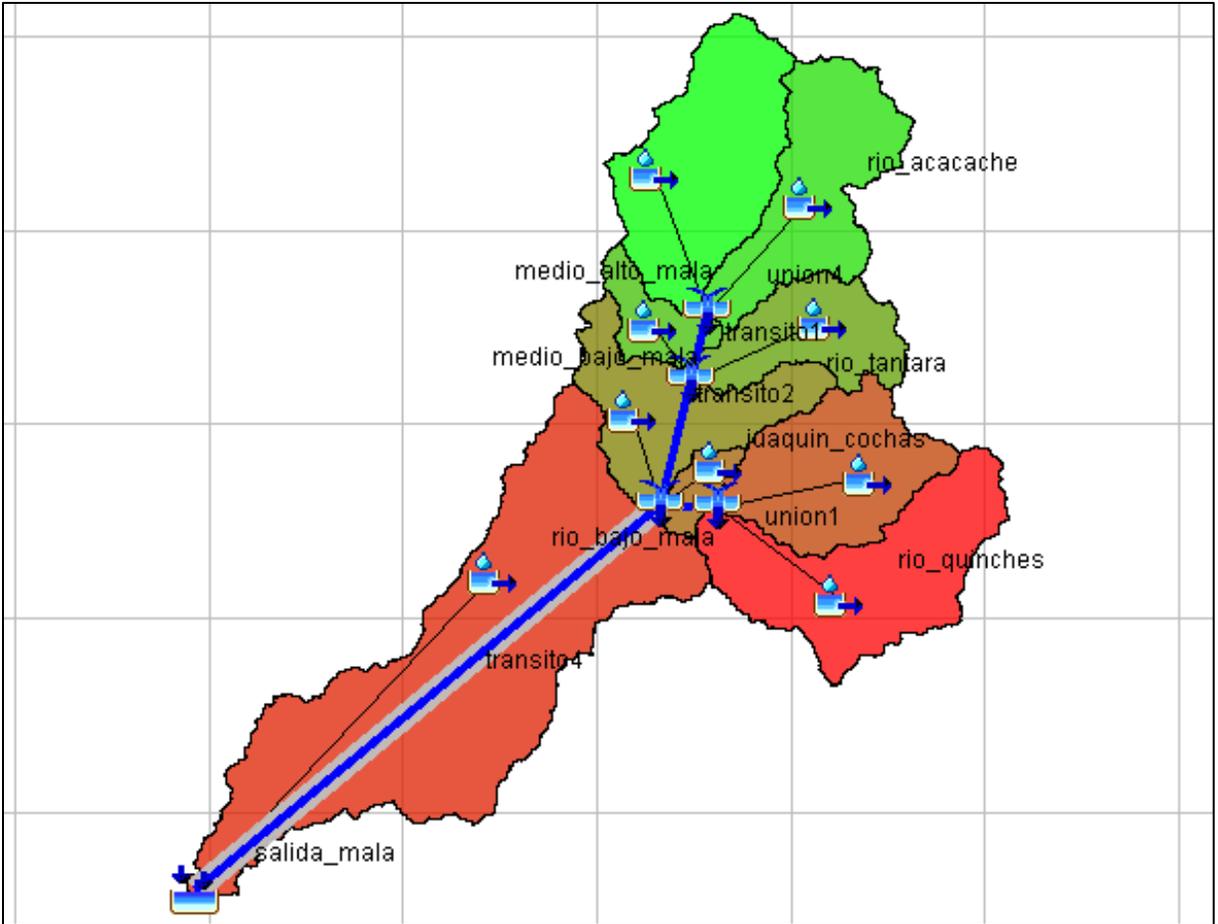
Figura A2: Subcuenca Quinches, ingreso de datos

Elaboración propia

Como segunda fase se ingresó los datos para realizar el transito de avenidas,. En la presente tesis se utilizó el método de Muskingum por su sencillez y su gran difusión en estudios hidrológicos.

En el análisis hidrológico de la presente tesis no se cuenta datos de hidrogramas de entrada y salida, Por lo tanto los valores de parámetros K y X se obtuvieron de forma empírica (Villón Béjar, 2016, pág. 67), siendo los valores a considerar $K= 10.88$ y $X= 0.20$

La cuenca del río Mala a traves de su cauce principal, presenta 4 transitos de avenidas. En la figura A3 se puede observar los datos ingresados para el tramo 4 (transito 4)



Reach	Routing	Options
Basin Name: mala		
Element Name: transito4		
Description:		
Downstream:	salida_mala	
Routing Method:	Muskingum	
Loss/Gain Method:	--None--	

Reach	Routing	Options
Basin Name: mala		
Element Name: transito4		
*Muskingum K (HR):	10.88	
*Muskingum X:	0.20	
Subreaches:	5	

Figura A3. Tránsito de avenida tramo 4

Elaboración propia

Como tercera fase, se procedió a ingresar los datos de precipitación de cada estación pluviométrica. La figura A4 muestra los datos de precipitación ingresados para la estación Ayaviri, y la figura A5 muestra el hietograma ingresado en el Hec-Hms de la estación Ayaviri

Time-Series Gage

Gage Name: ayaviri

Description:

Data Source:

Units:

Time Interval:

Time-Series Gage | Time Window | Table | Graph

Gage Name: ayaviri

*Start Date (ddMMYYYY)

*Start Time (HH:mm)

*End Date (ddMMYYYY)

*End Time (HH:mm)

Figura A4: Creación e ingreso de datos de precipitación para Tr 100 años para la estación Ayaviri.

Fuente: Elaboración propia

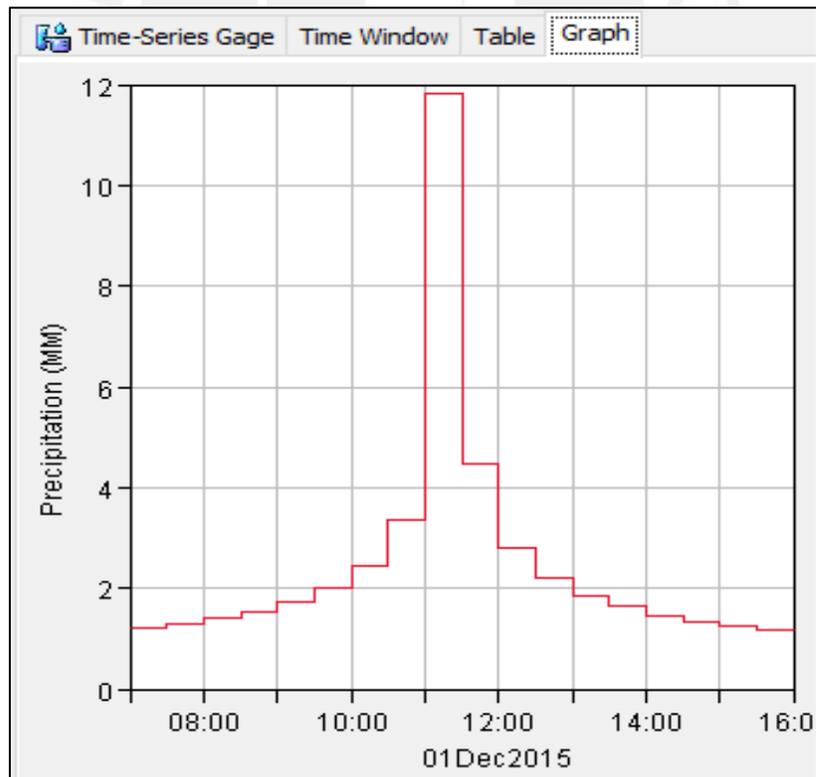


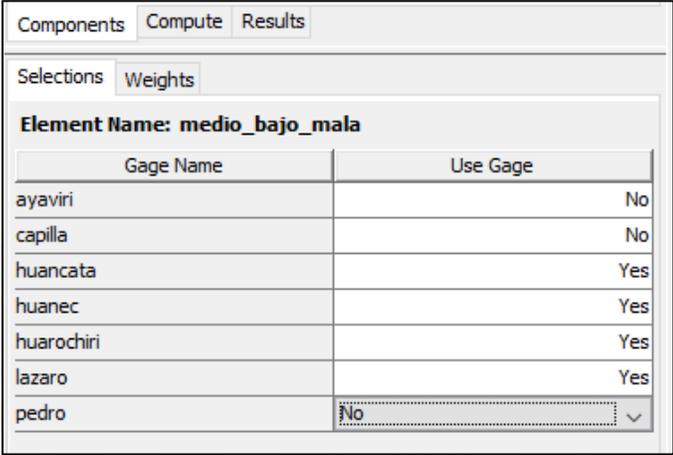
Figura A5: Hietograma ingresado al Hec-Hms para la estación Ayaviri

Elaboración propia

Analogamente se hace lo mismo para las demás estaciones de la cuenca del río Mala.

Como cuarta fase, se realizó el modelo metereologio asociando los registros de las estaciones pluviométricas con la subcuenca que le corresponda.

En la figura A6 se puede observar las consideraciones a tomar para el modelo meteorológico de la subcuenca medio bajo Mala. Las estaciones que influyen en la subcuenca mencionada son Huancata, Huañec, Huarochiri y Lázaro



Gage Name	Use Gage
ayaviri	No
capilla	No
huancata	Yes
huanec	Yes
huarochiri	Yes
lazarro	Yes
pedro	No

Figura A6: Subcuenca medio bajo Mala, desarrollo de modelo meteorológico

Elaboración propia

Para la opción de WEIGHTS, se usó el método del Polígono de Thiessen (método explicado en la página 9). Se obtuvo, a través del SIG ARCGIS, la influencia en porcentaje de cada estación sobre las subcuencas del río Mala.

En la figura A7 se muestra el metodo desarrollado Polígono de Thiessen y en la figura A8 se muestran los valores de “weights” obtenidos por el método.

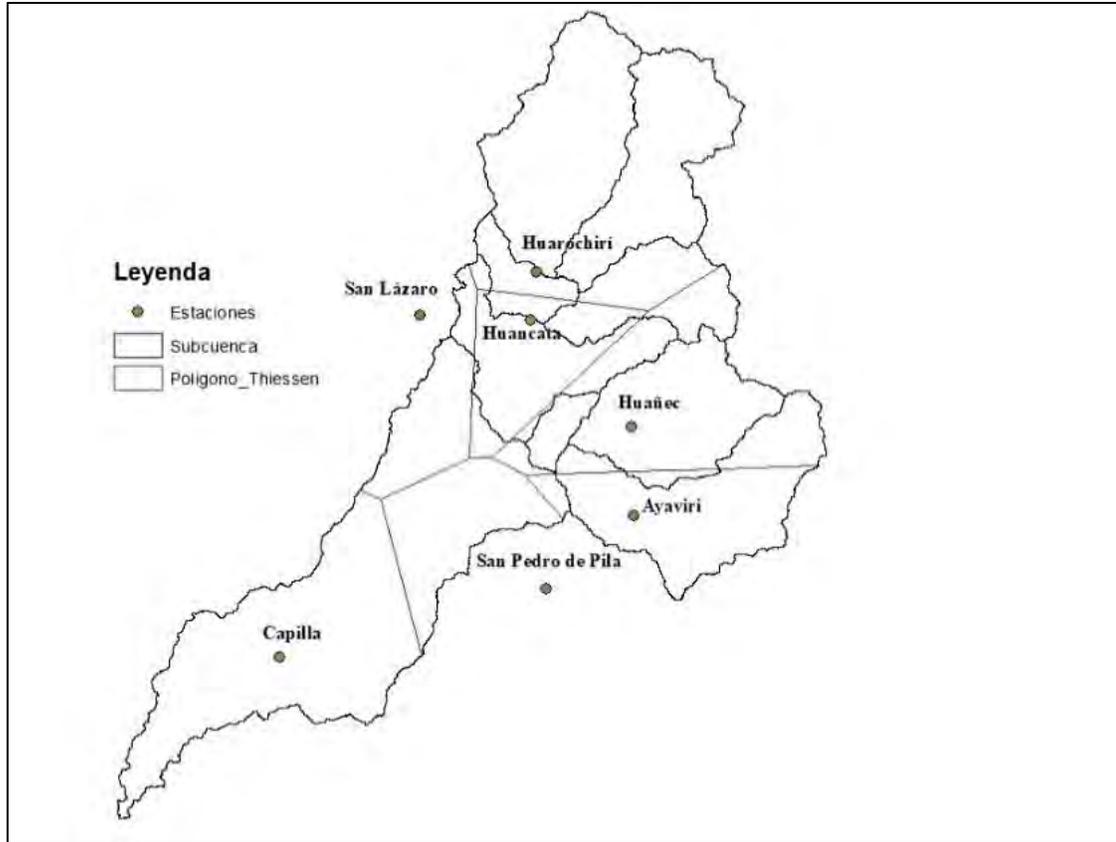


Figura A7. Polígono de Thiessen de la cuenca del río Mala

Elaboración propia

Element Name: medio_bajo_mala		
Gage Name	Depth Weight	Time Weight
huacata	64.14	100
huanec	23.71	100
huarochiri	3.13	100
lazarro	9.02	100

Figura A8: Porcentaje de incidencia de las estaciones sobre la subcuenca

Elaboración propia

Finalmente como último paso, se procedió a realizar las especificaciones de control. Para la presente tesis se tomó en cuenta el inicio de tormenta a las 7:00am del 01/12/15 y 11:00am del 02/12/15 como fin de la tormenta (ver figura A9)

Name: control_mala	
Description:	control cuenca mala
*Start Date (ddMMYYYY)	01dic2015
*Start Time (HH:mm)	07:00
*End Date (ddMMYYYY)	02dic2015
*End Time (HH:mm)	11:00
Time Interval:	15 Minutes

Figura A9. Especificaciones de control

Elaboración propia

Todos los pasos realizados anteriormente, se desarrollaron análogamente para todas las subcuencas. Asimismo todos los pasos fueron realizados para los tiempos de retorno de 100 y 500 años.



Anexo 2 Tablas de datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones en estudio

Tabla de la estación Ayaviri-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	27.8	26.4	22.7	21.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.7	5.1	0.0	6.7
1997	19.5	28.7	18.9	1.0	0.3	0.0	0.0	2.5	2.6	0.0	10.4	52.2
1998	36.0	29.5	36.6	14.1	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.2	23.1
1999	15.9	26.1	21.5	16.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	22.3	2.6	17.1
2000	22.5	40.0	29.2	12.2	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	2.8	35.1
2001	25.7	18.4	27.1	10.5	0.8	0.0	0.0	0.0	3.1	3.5	17.6	0.7
2002	16.8	19.8	32.4	14.5	3.8	0.0	0.0	0.0	14.7	9.3	7.2	17.4
2003	13.1	20.6	19.3	2.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	5.4	18.3
2004	12.0	23.1	33.0	23.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	7.3	17.9
2005	22.0	17.5	23.7	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	16.7
2006	29.9	15.0	22.0	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	2.3	5.4	15.6
2007	38.6	19.8	28.1	29.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	3.6	13.3
2008	19.5	28.8	34.4	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	8.2	9.8
2009	14.4	30.8	11.9	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	8.0	14.1
2010	19.0	11.3	28.8	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	14.4
2011	20.6	13.1	15.9	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	9.9
2012	9.6	45.4	27.7	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	17.0	7.6	9.9
2013	15.6	27.5	29.6	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	6.9
2014	28.8	20.8	18.9	17.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	5.8	10.1
2015	27.5	28.4	19.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2	13.7	10.8

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de la estación Huancata-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	20.3	13.0	18.1	3.5	3.5	0.0	0.0	0.4	1.0	4.7	4.5	3.0
1997	20.6	10.8	2.8	1.5	2.5	0.0	0.0	0.3	0.5	2.5	6.4	33.0
1998	18.7	25.3	16.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	12.0
1999	12.3	17.7	12.3	4.2	2.7	1.7	0.0	0.0	3.0	2.5	4.5	8.5
2000	9.6	16.3	14.5	10.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	5.5	2.0	12.5
2001	19.6	18.5	15.4	7.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.5	2.1	6.5	0.5
2002	1.2	12.0	16.9	11.9	6.0	0.8	0.0	0.0	0.0	20.1	11.1	13.5
2003	12.1	18.4	11.0	1.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	1.0	16.0
2004	2.9	12.2	10.4	10.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.2	0.6	0.2	19.2
2005	15.5	19.3	12.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
2006	13.0	20.8	25.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	12.5
2007	13.3	15.5	10.8	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	1.5	5.2
2008	40.3	24.0	10.7	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.5	2.0
2009	14.0	24.0	16.2	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	6.7	4.0
2010	10.5	17.0	12.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	14.0
2011	12.0	9.8	12.2	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	10.5
2012	7.0	26.5	19.6	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	7.8	6.4
2013	14.0	10.8	9.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	2.7	12.0
2014	15.5	11.5	10.3	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	4.4	17.3
2015	16.5	12.8	13.1	7.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	5.5	16.6

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de estación Huañec-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	11.2	19.3	15.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.5
1997	4.8	11.2	4.2	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	15.6
1998	18.3	20.3	20.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
1999	13.1	18.2	8.2	5.8	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
2000	6.7	7.3	5.9	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	3.5	3.5
2001	9.4	7.4	5.7	3.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0
2002	4.5	6.5	13.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.3	2.8	2.4
2003	3.4	15.2	10.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2
2004	7.5	14.3	11.1	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	8.0	6.2
2005	5.7	9.6	16.4	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2
2006	10.5	10.1	17.5	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	15.0
2007	9.3	23.8	19.3	10.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	3.1	2.8
2008	14.0	20.8	13.8	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	3.5
2009	11.7	20.2	14.9	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	4.7
2010	11.0	10.2	10.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3
2011	11.3	8.5	22.8	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	11.7
2012	11.1	22.0	22.8	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	6.2	8.5	6.3
2013	8.4	12.5	22.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	6.3	9.2
2014	10.9	11.2	22.3	12.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	2.2	4.4	11.2
2015	11.2	21.6	20.1	10.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	5.0	14.6

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de estación Huarochirí-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	11.4	20.3	13.0	4.8	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	2.0	3.3	7.2
1997	10.1	10.9	6.0	4.0	0.1	0.0	0.0	1.2	1.2	1.9	2.8	7.8
1998	7.4	11.5	13.5	6.4	0.0	1.4	0.5	0.0	6.7	7.7	3.6	7.6
1999	8.1	12.7	9.8	7.2	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	6.6	3.1	8.8
2000	7.6	11.2	10.3	5.3	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	3.1	3.2	5.4
2001	10.8	12.0	12.2	5.4	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	7.2	5.0	8.0
2002	12.3	16.0	11.4	7.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	4.3	2.0	8.9
2003	9.2	14.5	8.4	8.7	0.0	0.1	0.0	1.2	0.9	3.0	4.2	7.6
2004	16.1	12.9	10.9	9.7	0.0	0.1	0.0	0.9	0.0	3.7	4.5	8.1
2005	12.4	17.2	7.9	9.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	5.7	3.9	10.5
2006	10.1	9.7	7.6	6.7	1.1	0.0	0.1	1.3	0.0	4.4	4.1	8.0
2007	9.8	13.3	20.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	4.3	4.6	13.6
2008	12.9	15.5	17.7	8.6	1.2	0.1	0.1	0.0	1.0	3.1	2.0	7.4
2009	14.1	13.1	12.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	2.0	5.4	10.6
2010	14.6	11.1	13.2	5.4	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	2.3	3.6	7.6
2011	15.5	17.9	20.5	4.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	3.3	6.2	5.3
2012	9.2	14.0	19.1	10.5	0.3	0.0	0.0	1.1	0.1	2.1	6.7	6.1
2013	17.2	18.9	21.6	6.3	0.1	0.0	1.3	1.4	0.0	4.7	2.5	7.8
2014	18.3	15.6	22.4	8.6	0.4	0.0	0.0	1.2	0.0	2.8	6.8	19.1
2015	14.3	15.0	29.6	10.6	1.3	0.0	0.0	3.9	1.0	3.9	5.3	9.4

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de estación Capilla-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998	1.3	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	1.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	0.2	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de estación San Lázaro-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	16.5	28.6	14.3	7.7	1.7	0.0	0.0	1.1	0.1	6.7	11.2	15.4
1997	38.5	47.3	12.1	4.4	1.1	0.0	0.0	0.1	5.5	5.5	6.6	17.6
1998	12.9	12.1	13.2	10.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.7	2.3	5.7	11.0
1999	7.8	18.2	17.6	8.7	11.2	0.0	0.9	7.5	9.4	6.3	8.1	8.9
2000	8.8	11.2	8.4	5.4	3.1	0.0	0.0	0.3	5.2	8.4	6.8	13.0
2001	14.6	34.0	38.1	10.6	0.3	0.0	0.0	0.0	1.2	3.6	13.1	0.0
2002	15.4	28.1	18.2	17.6	3.3	0.0	1.4	0.3	7.7	10.7	27.2	5.7
2003	14.5	9.9	17.1	7.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	3.3	27.7
2004	5.5	20.6	30.3	14.7	0.0	1.1	0.0	0.0	4.7	1.4	2.4	11.3
2005	11.3	23.5	27.0	38.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	33.8
2006	81.4	71.8	17.2	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	6.9	24.0
2007	24.2	6.8	24.0	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	3.3	3.9
2008	8.8	16.0	23.7	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	4.8	4.2
2009	16.4	13.8	18.3	23.7	2.2	0.0	0.0	0.8	0.0	13.5	4.8	5.0
2010	11.7	35.5	21.5	11.7	0.7	0.0	0.0	0.0	13.6	1.7	3.9	13.4
2011	14.5	7.8	13.6	13.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.7	3.5	9.7	9.2
2012	13.2	23.8	30.6	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	18.2	5.9	18.0
2013	11.1	33.4	27.9	14.9	3.9	0.0	0.0	0.8	0.0	13.6	5.9	14.3
2014	48.2	24.6	21.8	13.8	2.3	0.0	0.0	0.4	0.0	12.3	4.0	15.4
2015	19.1	23.2	19.4	14.9	2.1	0.0	0.0	0.1	0.0	11.2	5.0	13.0

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla de estación San Pedro de Pilas-Registro histórico PM 24h

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	12.2	12.0	14.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
1997	14.6	5.5	4.6	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	16.7
1998	25.6	33.1	27.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	10.9
1999	11.4	12.5	27.2	2.9	3.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.9	2.5	10.7
2000	12.3	12.3	5.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	7.2
2001	10.3	12.7	16.8	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0
2002	7.0	20.5	24.2	25.9	2.2	0.0	0.0	0.0	7.7	5.0	3.3	2.5
2003	6.9	6.9	14.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	11.3
2004	3.0	7.9	6.8	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	9.6
2005	8.9	10.7	6.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6
2006	35.3	14.3	13.4	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	4.6	10.2
2007	17.3	5.3	13.4	2.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	3.9	4.3
2008	14.0	30.5	15.4	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.9	4.4
2009	8.5	28.7	18.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	4.3	5.3
2010	15.6	25.1	46.4	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	12.0
2011	11.0	6.4	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	5.5
2012	8.9	44.6	13.3	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.4	0.2	4.2
2013	6.4	25.9	13.9	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	8.0	4.4
2014	10.9	12.0	24.5	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	7.0	6.6
2015	11.6	13.6	23.3	5.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	5.9	5.4

Nota. Datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI)

Anexo 3 Tablas de distribución de probabilidades de las estaciones en estudio

Tabla de resultados de distribución de probabilidades de estación Huancata

m	PM24MAX (mm)	Tr=(N+1)/m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			GUM	LGUM	NOR	LNOR	PEAR	LPEAR
1	56.6	21.00	51.25	54.77	44.93	45.22	47.62	47.90
2	46.4	10.50	44.97	45.28	41.59	40.87	41.96	41.52
3	37.2	7.00	41.20	40.39	39.35	38.18	37.94	37.29
4	35.5	5.25	38.44	37.15	37.57	36.18	35.75	35.16
5	35.1	4.20	36.24	34.75	36.05	34.55	33.14	32.53
6	33.7	3.50	34.38	32.84	34.68	33.15	31.14	30.61
7	28.5	3.00	32.75	31.26	33.43	31.91	29.71	29.31
8	28.2	2.63	31.28	29.90	32.24	30.79	28.63	28.38
9	27.5	2.33	29.93	28.70	31.10	29.74	27.80	27.67
10	27.1	2.10	28.67	27.63	29.98	28.75	27.13	27.11
11	27.0	1.91	27.47	26.64	28.88	27.80	26.14	25.96
12	25.8	1.75	26.31	25.72	27.77	26.88	24.92	24.44
13	24.9	1.62	25.17	24.85	26.62	25.97	23.89	23.22
14	24.3	1.50	24.04	24.01	25.44	25.05	23.00	22.22
15	23.9	1.40	22.89	23.19	24.18	24.11	22.23	21.39
16	23.9	1.31	21.70	22.37	22.82	23.14	21.56	20.69
17	23.3	1.24	20.44	21.53	21.30	22.10	20.97	20.09
18	22.9	1.17	19.04	20.63	19.52	20.94	20.44	19.57
19	19.7	1.11	17.39	19.62	17.27	19.56	19.97	19.12
20	17.1	1.05	15.13	18.33	13.94	17.68	19.55	18.72

Elaboración propia

Estación Huañec

m	PM24MAX (mm)	Tr=(N+1)/m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			DP (GUM)	DP (LGUM)	DP (NOR)	DP (LNOR)	DP (PEAR)	DP (LPEAR)
1	29.6	21.00	35.75	44.57	31.92	36.17	33.55	38.51
2	28.3	10.50	31.95	36.22	29.90	32.39	30.12	32.95
3	28.3	7.00	29.66	31.97	28.54	30.08	27.68	29.31
4	27.7	5.25	27.99	29.19	27.46	28.36	26.36	27.49
5	27.5	4.20	26.65	27.14	26.54	26.97	24.78	25.26
6	26.8	3.50	25.53	25.52	25.71	25.78	23.56	23.64
7	25.9	3.00	24.54	24.18	24.95	24.73	22.69	22.55
8	25.2	2.63	23.65	23.04	24.23	23.78	22.04	21.76
9	25.1	2.33	22.83	22.04	23.54	22.90	21.54	21.17
10	24.0	2.10	22.07	21.13	22.86	22.07	21.13	20.71
11	24.0	1.91	21.34	20.31	22.19	21.28	20.53	19.75
12	22.6	1.75	20.63	19.55	21.52	20.51	19.79	18.49
13	21.8	1.62	19.94	18.83	20.83	19.76	19.17	17.49
14	20.4	1.50	19.26	18.14	20.11	19.00	18.63	16.67
15	19.4	1.40	18.56	17.46	19.35	18.22	18.17	15.99
16	18.9	1.31	17.84	16.79	18.52	17.42	17.76	15.42
17	17.8	1.24	17.08	16.10	17.60	16.57	17.40	14.94
18	16.5	1.17	16.23	15.38	16.52	15.62	17.08	14.52
19	11.7	1.11	15.23	14.56	15.16	14.50	16.79	14.15
20	9.1	1.05	13.86	13.51	13.14	12.99	16.54	13.83

Elaboración propia

Estación Huarochirí

m	PM24MAX (mm)	Tr=(N+1)/m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			DP (GUM)	DP (LGUM)	DP (NOR)	DP (LNOR)	DP (PEAR)	DP (LPEAR)
1	33.4	21.00	31.70	35.05	27.99	29.00	29.57	30.70
2	25.4	10.50	28.02	29.03	26.04	26.23	26.25	26.65
3	24.4	7.00	25.80	25.93	24.72	24.52	23.89	23.96
4	23.1	5.25	24.19	23.87	23.68	23.25	22.61	22.60
5	23.1	4.20	22.90	22.34	22.78	22.21	21.08	20.93
6	22.9	3.50	21.81	21.13	21.99	21.32	19.91	19.71
7	21.6	3.00	20.85	20.12	21.25	20.53	19.07	18.88
8	20.0	2.63	19.99	19.25	20.55	19.82	18.44	18.28
9	19.4	2.33	19.20	18.49	19.89	19.15	17.95	17.83
10	18.1	2.10	18.46	17.80	19.23	18.52	17.56	17.47
11	18.0	1.91	17.76	17.17	18.59	17.92	16.98	16.74
12	16.5	1.75	17.08	16.58	17.93	17.33	16.26	15.77
13	16.4	1.62	16.41	16.03	17.26	16.74	15.66	14.99
14	15.9	1.50	15.74	15.49	16.57	16.16	15.14	14.35
15	15.3	1.40	15.07	14.97	15.83	15.56	14.69	13.82
16	14.3	1.31	14.38	14.44	15.03	14.94	14.29	13.37
17	13.8	1.24	13.64	13.91	14.14	14.27	13.95	12.99
18	12.7	1.17	12.82	13.33	13.10	13.53	13.64	12.66
19	12.4	1.11	11.85	12.69	11.78	12.65	13.36	12.37
20	11.4	1.05	10.52	11.86	9.82	11.44	13.11	12.11

Fuente: Elaboración propia

Estación Capilla

m	PM24MA X (mm)	Tr=(N+1) /m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			DP (GUM)	DP (LGUM)	DP (NOR)	DP (LNOR)	DP (PEAR)	DP (LPEAR)
1	2.2	21.00	2.13	-	1.69	-	1.87	-
2	1.7	10.50	1.69	-	1.45	-	1.48	-
3	1.5	7.00	1.43	-	1.30	-	1.20	-
4	1.4	5.25	1.24	-	1.17	-	1.05	-
5	0.7	4.20	1.08	-	1.07	-	0.87	-
6	0.7	3.50	0.95	-	0.97	-	0.73	-
7	0.7	3.00	0.84	-	0.89	-	0.63	-
8	0.6	2.63	0.74	-	0.80	-	0.55	-
9	0.6	2.33	0.64	-	0.72	-	0.50	-
10	0.5	2.10	0.56	-	0.65	-	0.45	-
11	0.4	1.91	0.47	-	0.57	-	0.38	-
12	0.4	1.75	0.39	-	0.49	-	0.30	-
13	0.4	1.62	0.31	-	0.41	-	0.22	-
14	0.2	1.50	0.23	-	0.33	-	0.16	-
15	-	1.40	0.15	-	0.24	-	0.11	-
16	-	1.31	0.07	-	0.15	-	0.06	-
17	-	1.24	-0.02	-	0.04	-	0.02	-
18	-	1.17	-0.11	-	-0.08	-	-0.02	-
19	-	1.11	-0.23	-	-0.24	-	-0.05	-
20	-	1.05	-0.39	-	-0.47	-	-0.08	-

Elaboración propia

Estación San Pedro de Pilas

m	PM24MA X (mm)	Tr=(N+1) /m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			DP (GUM)	DP (LGUM)	DP (NOR)	DP (LNOR)	DP (PEAR)	DP (LPEAR)
1	52.5	21.00	55.29	72.97	46.93	52.75	50.48	58.15
2	50.3	10.50	46.99	52.87	42.52	44.45	43.00	45.65
3	39.9	7.00	42.00	43.56	39.55	39.61	37.69	38.06
4	37.4	5.25	38.36	37.82	37.20	36.16	34.80	34.46
5	34.4	4.20	35.44	33.77	35.19	33.44	31.36	30.20
6	32.4	3.50	32.98	30.70	33.39	31.18	28.70	27.25
7	30.7	3.00	30.83	28.23	31.73	29.24	26.81	25.32
8	29.2	2.63	28.89	26.19	30.16	27.51	25.39	23.96
9	29.2	2.33	27.11	24.43	28.65	25.95	24.29	22.96
10	27.7	2.10	25.44	22.90	27.18	24.50	23.40	22.18
11	26.4	1.91	23.85	21.53	25.72	23.15	22.10	20.62
12	19.5	1.75	22.32	20.29	24.25	21.87	20.49	18.61
13	19.0	1.62	20.81	19.14	22.74	20.62	19.12	17.06
14	18.9	1.50	19.32	18.06	21.17	19.40	17.95	15.84
15	16.3	1.40	17.80	17.02	19.51	18.19	16.93	14.85
16	15.9	1.31	16.23	16.02	17.71	16.96	16.05	14.04
17	13.9	1.24	14.56	15.01	15.70	15.69	15.26	13.36
18	12.4	1.17	12.71	13.97	13.35	14.32	14.57	12.78
19	12.1	1.11	10.53	12.84	10.38	12.76	13.94	12.28
20	10.8	1.05	7.55	11.43	5.97	10.75	13.38	11.85

Elaboración propia

Estación San Lázaro

m	PM24MAX (mm)	Tr=(N+1) /m	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD					
			DP (GUM)	DP (LGUM)	DP (NOR)	DP (LNOR)	DP (PEAR)	DP (LPEAR)
1	92.0	21.00	76.17	91.95	64.27	67.57	69.33	74.11
2	54.4	10.50	64.35	67.71	57.99	57.43	58.67	58.90
3	53.4	7.00	57.24	56.33	53.76	51.47	51.10	49.55
4	43.4	5.25	52.05	49.25	50.41	47.20	46.98	45.09
5	43.0	4.20	47.90	44.23	47.54	43.82	42.08	39.78
6	40.1	3.50	44.40	40.40	44.98	41.01	38.30	36.08
7	37.8	3.00	41.33	37.31	42.61	38.57	35.60	33.65
8	34.6	2.63	38.57	34.74	40.38	36.41	33.58	31.93
9	34.2	2.33	36.03	32.53	38.23	34.44	32.01	30.66
10	32.3	2.10	33.65	30.59	36.13	32.61	30.75	29.68
11	31.7	1.91	31.39	28.85	34.05	30.91	28.89	27.68
12	31.3	1.75	29.20	27.26	31.95	29.27	26.59	25.11
13	27.3	1.62	27.06	25.79	29.80	27.69	24.65	23.13
14	26.7	1.50	24.93	24.40	27.57	26.13	22.98	21.55
15	26.7	1.40	22.77	23.08	25.20	24.58	21.53	20.27
16	26.2	1.31	20.53	21.78	22.64	23.00	20.27	19.22
17	20.5	1.24	18.15	20.48	19.77	21.36	19.15	18.33
18	16.4	1.17	15.52	19.13	16.42	19.58	18.16	17.57
19	14.9	1.11	12.40	17.65	12.19	17.55	17.27	16.93
20	14.7	1.05	8.15	15.81	5.91	14.92	16.47	16.36

Elaboración propia

Anexo 4 Pruebas de bondad de ajuste de las estaciones en estudio

Estación Huancata

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD													
PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG- GUMBEL		NORMAL		LOG- NORMAL		PEARSON III		LOG- PEARSON III	
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)
56.60	0.9524	0.9494	0.0030	0.9677	0.0153	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9802	0.0278
46.35	0.9048	0.9006	0.0042	0.9074	0.0026	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9462	0.0415
37.22	0.8571	0.8526	0.0046	0.8436	0.0136	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8871	0.0299
35.54	0.8095	0.8050	0.0045	0.7817	0.0278	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8473	0.0378
35.11	0.7619	0.7578	0.0041	0.7231	0.0388	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7782	0.0163
33.71	0.7143	0.7108	0.0034	0.6683	0.0460	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7316	0.0173
28.51	0.6667	0.6641	0.0026	0.6169	0.0498	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6870	0.0203
28.23	0.6190	0.6175	0.0016	0.5687	0.0503	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6443	0.0253
27.53	0.5714	0.5710	0.0004	0.5235	0.0479	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.6035	0.0321
27.11	0.5238	0.5246	0.0008	0.4809	0.0429	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5644	0.0406
26.97	0.4762	0.4782	0.0020	0.4405	0.0356	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4908	0.0146
25.84	0.4286	0.4319	0.0033	0.4022	0.0263	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4549	0.0263
24.86	0.3810	0.3855	0.0046	0.3656	0.0153	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4223	0.0413
24.30	0.3333	0.3391	0.0058	0.3304	0.0029	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3926	0.0592
23.88	0.2857	0.2925	0.0068	0.2963	0.0106	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3654	0.0797
23.88	0.2381	0.2458	0.0077	0.2629	0.0248	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3405	0.1024
23.32	0.1905	0.1988	0.0083	0.2298	0.0393	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3176	0.1271
22.89	0.1429	0.1514	0.0085	0.1962	0.0533	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.2965	0.1537
19.66	0.0952	0.1033	0.0080	0.1607	0.0655	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.2770	0.1817
17.14	0.0476	0.0539	0.0063	0.1200	0.0723	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.2589	0.2113
D = máx F(xm)-Fo(xm)		0.009		0.072		0.028		0.046		0.194		0.211	

Elaboración propia

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		PEARSON III		LOG-PEARSON III	
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)
29.58	0.9524	0.9494	0.0030	0.9690	0.0166	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9809	0.0285
28.34	0.9048	0.9006	0.0042	0.9076	0.0028	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9466	0.0418
28.34	0.8571	0.8526	0.0046	0.8421	0.0150	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8864	0.0292
27.72	0.8095	0.8050	0.0045	0.7789	0.0307	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8452	0.0357
27.47	0.7619	0.7578	0.0041	0.7194	0.0425	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7761	0.0142
26.85	0.7143	0.7108	0.0034	0.6639	0.0504	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7284	0.0141
25.85	0.6667	0.6641	0.0026	0.6123	0.0543	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6828	0.0161
25.23	0.6190	0.6175	0.0016	0.5643	0.0547	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6391	0.0201
25.11	0.5714	0.5710	0.0004	0.5194	0.0520	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.5974	0.0260
23.99	0.5238	0.5246	0.0008	0.4774	0.0464	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5575	0.0337
23.99	0.4762	0.4782	0.0020	0.4378	0.0384	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4893	0.0131
22.62	0.4286	0.4319	0.0033	0.4003	0.0283	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4538	0.0252
21.75	0.3810	0.3855	0.0046	0.3646	0.0163	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4218	0.0408
20.39	0.3333	0.3391	0.0058	0.3304	0.0029	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3929	0.0595
19.39	0.2857	0.2925	0.0068	0.2974	0.0117	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3666	0.0809
18.89	0.2381	0.2458	0.0077	0.2651	0.0271	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3427	0.1046
17.77	0.1905	0.1988	0.0083	0.2332	0.0427	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3208	0.1303
16.53	0.1429	0.1514	0.0085	0.2008	0.0579	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.3007	0.1579
11.68	0.0952	0.1033	0.0080	0.1665	0.0713	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.2822	0.1870
9.07	0.0476	0.0539	0.0063	0.1270	0.0793	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.2652	0.2176
D = máx F(xm)-Fo(xm)			0.009		0.079		0.028		0.046		0.194		0.218

Elaboración propia

Estación Huarochirí

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD													
PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG- GUMBEL		NORMAL		LOG- NORMAL		PEARSON III		LOG- PEARSON III	
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)
33.44	0.9524	0.9494	0.0030	0.9676	0.0152	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9801	0.0278
25.36	0.9048	0.9006	0.0042	0.9074	0.0026	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9462	0.0414
24.36	0.8571	0.8526	0.0046	0.8437	0.0134	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8871	0.0300
23.12	0.8095	0.8050	0.0045	0.7820	0.0275	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8475	0.0380
23.12	0.7619	0.7578	0.0041	0.7236	0.0383	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7784	0.0165
22.90	0.7143	0.7108	0.0034	0.6687	0.0456	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7319	0.0176
21.63	0.6667	0.6641	0.0026	0.6174	0.0493	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6874	0.0208
20.01	0.6190	0.6175	0.0016	0.5692	0.0498	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6449	0.0258
19.39	0.5714	0.5710	0.0004	0.5239	0.0475	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.6041	0.0327
18.15	0.5238	0.5246	0.0008	0.4813	0.0425	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5651	0.0413
18.02	0.4762	0.4782	0.0020	0.4409	0.0353	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4910	0.0148
16.53	0.4286	0.4319	0.0033	0.4024	0.0261	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4550	0.0265
16.41	0.3810	0.3855	0.0046	0.3657	0.0152	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4223	0.0414
15.91	0.3333	0.3391	0.0058	0.3304	0.0029	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3925	0.0592
15.26	0.2857	0.2925	0.0068	0.2962	0.0105	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3653	0.0796
14.29	0.2381	0.2458	0.0077	0.2627	0.0246	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3403	0.1022
13.80	0.1905	0.1988	0.0083	0.2294	0.0389	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3173	0.1268
12.68	0.1429	0.1514	0.0085	0.1957	0.0528	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.2960	0.1532
12.36	0.0952	0.1033	0.0080	0.1601	0.0648	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.2764	0.1812
11.44	0.0476	0.0539	0.0063	0.1192	0.0716	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.2582	0.2106
D = máx F(xm)-Fo(xm)		0.009		0.072		0.028		0.046		0.194		0.211	

Elaboración propia

Estación Capilla

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD													
PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG- GUMBEL		NORMAL		LOG- NORMAL		PEARSON III		LOG- PEARSON III	
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)
2.24	0.9524	0.9494	0.0030	-	-	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	-	-
1.74	0.9048	0.9006	0.0042	-	-	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	-	-
1.52	0.8571	0.8526	0.0046	-	-	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	-	-
1.37	0.8095	0.8050	0.0045	-	-	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	-	-
0.75	0.7619	0.7578	0.0041	-	-	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	-	-
0.75	0.7143	0.7108	0.0034	-	-	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	-	-
0.72	0.6667	0.6641	0.0026	-	-	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	-	-
0.62	0.6190	0.6175	0.0016	-	-	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	-	-
0.62	0.5714	0.5710	0.0004	-	-	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	-	-
0.50	0.5238	0.5246	0.0008	-	-	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	-	-
0.37	0.4762	0.4782	0.0020	-	-	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	-	-
0.37	0.4286	0.4319	0.0033	-	-	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	-	-
0.37	0.3810	0.3855	0.0046	-	-	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	-	-
0.25	0.3333	0.3391	0.0058	-	-	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	-	-
0.00	0.2857	0.2925	0.0068	-	-	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	-	-
0.00	0.2381	0.2458	0.0077	-	-	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	-	-
0.00	0.1905	0.1988	0.0083	-	-	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	-	-
0.00	0.1429	0.1514	0.0085	-	-	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	-	-
0.00	0.0952	0.1033	0.0080	-	-	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	-	-
0.00	0.0476	0.0539	0.0063	-	-	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	-	-
D = máx F(xm)-Fo(xm)		0.009	-	-	-	0.028	-	0.046	-	0.194	-	-	-

Elaboración propia

Estación San Pedro de Pilas

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD													
PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG- GUMBEL		NORMAL		LOG- NORMAL		PEARSON III		LOG- PEARSON III	
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)
52.45	0.9524	0.9494	0.0030	0.9760	0.0237	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9842	0.0318
50.34	0.9048	0.9006	0.0042	0.9068	0.0020	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9481	0.0433
39.90	0.8571	0.8526	0.0046	0.8296	0.0275	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8801	0.0230
37.41	0.8095	0.8050	0.0045	0.7570	0.0525	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8275	0.0180
34.43	0.7619	0.7578	0.0041	0.6917	0.0702	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7602	0.0017
32.44	0.7143	0.7108	0.0034	0.6336	0.0807	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7046	0.0097
30.70	0.6667	0.6641	0.0026	0.5819	0.0847	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6518	0.0149
29.21	0.6190	0.6175	0.0016	0.5357	0.0833	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6017	0.0173
29.21	0.5714	0.5710	0.0004	0.4942	0.0772	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.5543	0.0171
27.72	0.5238	0.5246	0.0008	0.4566	0.0672	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5093	0.0145
26.35	0.4762	0.4782	0.0020	0.4222	0.0539	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4795	0.0033
19.52	0.4286	0.4319	0.0033	0.3906	0.0379	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4476	0.0190
19.02	0.3810	0.3855	0.0046	0.3613	0.0197	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4202	0.0392
18.89	0.3333	0.3391	0.0058	0.3337	0.0004	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3965	0.0632
16.28	0.2857	0.2925	0.0068	0.3076	0.0219	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3760	0.0902
15.91	0.2381	0.2458	0.0077	0.2824	0.0443	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3579	0.1198
13.92	0.1905	0.1988	0.0083	0.2578	0.0673	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3420	0.1515
12.43	0.1429	0.1514	0.0085	0.2329	0.0900	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.3279	0.1850
12.06	0.0952	0.1033	0.0080	0.2066	0.1114	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.3153	0.2200
10.81	0.0476	0.0539	0.0063	0.178	0.1282	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.3039	0.2563
D = máx F(xm)-Fo(xm)		0.009		0.128		0.028		0.046		0.194		0.256	

Elaboración propia

Estación San Lázaro

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

PM 24 MAX	Fo (xm)	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		PEARSON III		LOG-PEARSON III						
		F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)	F(xm)	Fo(xm)- F(xm)					
91.98	0.9524	0.9494	0.0030	0.9752	0.0228	0.9690	0.0166	0.9835	0.0311	0.9784	0.0260	0.9838	0.0314					
54.44	0.9048	0.9006	0.0042	0.9071	0.0023	0.9290	0.0242	0.9420	0.0372	0.9473	0.0425	0.9479	0.0432					
53.45	0.8571	0.8526	0.0046	0.8317	0.0255	0.8850	0.0279	0.8890	0.0319	0.8922	0.0350	0.8812	0.0241					
43.38	0.8095	0.8050	0.0045	0.7604	0.0491	0.8350	0.0255	0.8350	0.0255	0.8552	0.0457	0.8305	0.0210					
43.01	0.7619	0.7578	0.0041	0.6958	0.0661	0.7880	0.0261	0.7720	0.0101	0.7848	0.0229	0.7626	0.0007					
40.15	0.7143	0.7108	0.0034	0.6380	0.0763	0.7350	0.0207	0.7180	0.0037	0.7376	0.0233	0.7082	0.0061					
37.79	0.6667	0.6641	0.0026	0.5862	0.0805	0.6830	0.0163	0.6560	0.0107	0.6887	0.0221	0.6564	0.0102					
34.56	0.6190	0.6175	0.0016	0.5396	0.0794	0.6330	0.0140	0.6000	0.0190	0.6383	0.0192	0.6073	0.0118					
34.18	0.5714	0.5710	0.0004	0.4975	0.0739	0.5800	0.0086	0.5400	0.0314	0.5861	0.0147	0.5606	0.0108					
32.32	0.5238	0.5246	0.0008	0.4592	0.0646	0.5300	0.0062	0.4900	0.0338	0.5321	0.0083	0.5163	0.0075					
31.70	0.4762	0.4782	0.0020	0.4241	0.0521	0.4700	0.0062	0.4350	0.0412	0.4841	0.0079	0.4808	0.0046					
31.32	0.4286	0.4319	0.0033	0.3916	0.0369	0.4200	0.0086	0.3850	0.0436	0.4517	0.0231	0.4483	0.0197					
27.35	0.3810	0.3855	0.0046	0.3614	0.0196	0.3650	0.0160	0.3350	0.0460	0.4209	0.0399	0.4203	0.0393					
26.72	0.3333	0.3391	0.0058	0.3330	0.0004	0.3170	0.0163	0.2920	0.0413	0.3916	0.0582	0.3959	0.0625					
26.72	0.2857	0.2925	0.0068	0.3059	0.0202	0.2670	0.0187	0.2500	0.0357	0.3637	0.0779	0.3745	0.0888					
26.23	0.2381	0.2458	0.0077	0.2798	0.0417	0.2140	0.0241	0.2050	0.0331	0.3370	0.0990	0.3557	0.1176					
20.51	0.1905	0.1988	0.0083	0.2541	0.0637	0.1650	0.0255	0.1650	0.0255	0.3116	0.1212	0.3390	0.1486					
16.41	0.1429	0.1514	0.0085	0.2283	0.0854	0.1160	0.0269	0.1280	0.0149	0.2874	0.1445	0.3242	0.1813					
14.92	0.0952	0.1033	0.0080	0.2009	0.1057	0.0710	0.0242	0.0900	0.0052	0.2642	0.1689	0.3109	0.2156					
14.67	0.0476	0.0539	0.0063	0.1688	0.1212	0.0310	0.0166	0.0520	0.0044	0.2420	0.1943	0.2988	0.2512					
D = máx F(xm)-Fo(xm)			0.009			0.121			0.028			0.046			0.194			0.251

Elaboración propia

Anexo 5 Tablas de precipitación máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno

Estación Huancata

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coefficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	28.06	37.97	44.52	52.81	58.96	65.06	71.14	79.16
18h	90%	25.25	34.17	40.07	47.53	53.06	58.55	64.02	71.24
12h	79%	22.17	29.99	35.17	41.72	46.58	51.40	56.20	62.54
8h	64%	17.96	24.30	28.50	33.80	37.73	41.64	45.53	50.66
6h	56%	15.71	21.26	24.93	29.57	33.02	36.43	39.84	44.33
5h	50%	14.03	18.98	22.26	26.40	29.48	32.53	35.57	39.58
4h	44%	12.35	16.70	19.59	23.24	25.94	28.63	31.30	34.83
3h	38%	10.66	14.43	16.92	20.07	22.40	24.72	27.03	30.08
2h	31%	8.70	11.77	13.80	16.37	18.28	20.17	22.05	24.54
1h	25%	7.02	9.49	11.13	13.20	14.74	16.26	17.78	19.79

Elaboración propia

Estación Huañec

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coefficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	21.70	27.70	31.68	36.70	40.42	44.12	47.81	52.67
18h	90%	19.53	24.93	28.51	33.03	36.38	39.71	43.03	47.40
12h	79%	17.14	21.88	25.02	28.99	31.93	34.86	37.77	41.61
8h	64%	13.89	17.73	20.27	23.49	25.87	28.24	30.60	33.71
6h	56%	12.15	15.51	17.74	20.55	22.64	24.71	26.77	29.49
5h	50%	10.85	13.85	15.84	18.35	20.21	22.06	23.90	26.33
4h	44%	9.55	12.19	13.94	16.15	17.79	19.41	21.03	23.17
3h	38%	8.24	10.53	12.04	13.95	15.36	16.77	18.17	20.01
2h	31%	6.73	8.59	9.82	11.38	12.53	13.68	14.82	16.33
1h	25%	5.42	6.93	7.92	9.17	10.11	11.03	11.95	13.17

Elaboración propia

Estación Huarochirí

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coefficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	18.10	23.91	27.75	32.61	36.21	39.79	43.35	48.06
18h	90%	16.29	21.52	24.98	29.35	32.59	35.81	39.02	43.25
12h	79%	14.30	18.89	21.93	25.76	28.61	31.43	34.25	37.96
8h	64%	11.59	15.30	17.76	20.87	23.18	25.47	27.75	30.76
6h	56%	10.14	13.39	15.54	18.26	20.28	22.28	24.28	26.91
5h	50%	9.05	11.95	13.88	16.31	18.11	19.90	21.68	24.03
4h	44%	7.97	10.52	12.21	14.35	15.93	17.51	19.08	21.14
3h	38%	6.88	9.09	10.55	12.39	13.76	15.12	16.47	18.26
2h	31%	5.61	7.41	8.60	10.11	11.23	12.34	13.44	14.90
1h	25%	4.53	5.98	6.94	8.15	9.05	9.95	10.84	12.01

Elaboración propia

Estación Capilla

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coefficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	0.51	1.20	1.66	2.23	2.66	3.08	3.51	4.06
18h	90%	0.46	1.08	1.49	2.01	2.39	2.78	3.16	3.66
12h	79%	0.41	0.95	1.31	1.76	2.10	2.44	2.77	3.21
8h	64%	0.33	0.77	1.06	1.43	1.70	1.97	2.24	2.60
6h	56%	0.29	0.67	0.93	1.25	1.49	1.73	1.96	2.28
5h	50%	0.26	0.60	0.83	1.12	1.33	1.54	1.75	2.03
4h	44%	0.23	0.53	0.73	0.98	1.17	1.36	1.54	1.79
3h	38%	0.20	0.46	0.63	0.85	1.01	1.17	1.33	1.54
2h	31%	0.16	0.37	0.51	0.69	0.82	0.96	1.09	1.26
1h	25%	0.13	0.30	0.41	0.56	0.67	0.77	0.88	1.02

Elaboración propia

Estación San Pedro

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	24.64	37.73	46.39	57.35	65.47	73.53	81.57	92.17
18h	90%	22.17	33.95	41.75	51.61	58.92	66.18	73.41	82.95
12h	79%	19.46	29.80	36.65	45.30	51.72	58.09	64.44	72.81
8h	64%	15.77	24.15	29.69	36.70	41.90	47.06	52.20	58.99
6h	56%	13.80	21.13	25.98	32.11	36.66	41.18	45.68	51.61
5h	50%	12.32	18.86	23.20	28.67	32.73	36.77	40.78	46.08
4h	44%	10.84	16.60	20.41	25.23	28.81	32.35	35.89	40.55
3h	38%	9.36	14.34	17.63	21.79	24.88	27.94	31.00	35.02
2h	31%	7.64	11.70	14.38	17.78	20.30	22.80	25.29	28.57
1h	25%	6.16	9.43	11.60	14.34	16.37	18.38	20.39	23.04

Elaboración propia

Estación San Lázaro

Precipitación máxima Pd(mm)									
Tiempo de duración	Coficiente	2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	32.50	51.16	63.50	79.11	90.68	102.17	113.62	128.72
18h	90%	29.25	46.04	57.15	71.20	81.61	91.95	102.26	115.85
12h	79%	25.68	40.41	50.17	62.49	71.64	80.72	89.76	101.69
8h	64%	20.80	32.74	40.64	50.63	58.04	65.39	72.72	82.38
6h	56%	18.20	28.65	35.56	44.30	50.78	57.22	63.63	72.08
5h	50%	16.25	25.58	31.75	39.55	45.34	51.09	56.81	64.36
4h	44%	14.30	22.51	27.94	34.81	39.90	44.96	49.99	56.64
3h	38%	12.35	19.44	24.13	30.06	34.46	38.82	43.17	48.91
2h	31%	10.08	15.86	19.69	24.52	28.11	31.67	35.22	39.90
1h	25%	8.13	12.79	15.88	19.78	22.67	25.54	28.40	32.18

Elaboración propia

Anexo 6 Tablas de intensidad máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno

Estación Huancata

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	1.17	1.58	1.86	2.20	2.46	2.71	2.96	3.30
18	1.40	1.90	2.23	2.64	2.95	3.25	3.56	3.96
12	1.85	2.50	2.93	3.48	3.88	4.28	4.68	5.21
8	2.24	3.04	3.56	4.22	4.72	5.20	5.69	6.33
6	2.62	3.54	4.16	4.93	5.50	6.07	6.64	7.39
5	2.81	3.80	4.45	5.28	5.90	6.51	7.11	7.92
4	3.09	4.18	4.90	5.81	6.49	7.16	7.83	8.71
3	3.55	4.81	5.64	6.69	7.47	8.24	9.01	10.03
2	4.35	5.88	6.90	8.19	9.14	10.08	11.03	12.27
1	7.02	9.49	11.13	13.20	14.74	16.26	17.78	19.79

Elaboración propia

Estación Huañec

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	0.90	1.15	1.32	1.53	1.68	1.84	1.99	2.19
18	1.08	1.39	1.58	1.83	2.02	2.21	2.39	2.63
12	1.43	1.82	2.09	2.42	2.66	2.90	3.15	3.47
8	1.74	2.22	2.53	2.94	3.23	3.53	3.82	4.21
6	2.03	2.59	2.96	3.43	3.77	4.12	4.46	4.92
5	2.17	2.77	3.17	3.67	4.04	4.41	4.78	5.27
4	2.39	3.05	3.48	4.04	4.45	4.85	5.26	5.79
3	2.75	3.51	4.01	4.65	5.12	5.59	6.06	6.67
2	3.36	4.29	4.91	5.69	6.27	6.84	7.41	8.16
1	5.42	6.93	7.92	9.17	10.11	11.03	11.95	13.17

Elaboración propia

Estación Huarochirí

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	0.75	1.00	1.16	1.36	1.51	1.66	1.81	2.00
18	0.91	1.20	1.39	1.63	1.81	1.99	2.17	2.40
12	1.19	1.57	1.83	2.15	2.38	2.62	2.85	3.16
8	1.45	1.91	2.22	2.61	2.90	3.18	3.47	3.84
6	1.69	2.23	2.59	3.04	3.38	3.71	4.05	4.49
5	1.81	2.39	2.78	3.26	3.62	3.98	4.34	4.81
4	1.99	2.63	3.05	3.59	3.98	4.38	4.77	5.29
3	2.29	3.03	3.52	4.13	4.59	5.04	5.49	6.09
2	2.81	3.71	4.30	5.05	5.61	6.17	6.72	7.45
1	4.53	5.98	6.94	8.15	9.05	9.95	10.84	12.01

Elaboración propia

Estación Capilla

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	0.02	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
18	0.03	0.06	0.08	0.11	0.13	0.15	0.18	0.20
12	0.03	0.08	0.11	0.15	0.18	0.20	0.23	0.27
8	0.04	0.10	0.13	0.18	0.21	0.25	0.28	0.33
6	0.05	0.11	0.15	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38
5	0.05	0.12	0.17	0.22	0.27	0.31	0.35	0.41
4	0.06	0.13	0.18	0.25	0.29	0.34	0.39	0.45
3	0.07	0.15	0.21	0.28	0.34	0.39	0.44	0.51
2	0.08	0.19	0.26	0.35	0.41	0.48	0.54	0.63
1	0.13	0.30	0.41	0.56	0.67	0.77	0.88	1.02

Elaboración propia

Estación San Pedro de Pilas

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
Hora	2	5	10	25	50	100	200	500
24	1.03	1.57	1.93	2.39	2.73	3.06	3.40	3.84
18	1.23	1.89	2.32	2.87	3.27	3.68	4.08	4.61
12	1.62	2.48	3.05	3.78	4.31	4.84	5.37	6.07
8	1.97	3.02	3.71	4.59	5.24	5.88	6.53	7.37
6	2.30	3.52	4.33	5.35	6.11	6.86	7.61	8.60
5	2.46	3.77	4.64	5.73	6.55	7.35	8.16	9.22
4	2.71	4.15	5.10	6.31	7.20	8.09	8.97	10.14
3	3.12	4.78	5.88	7.26	8.29	9.31	10.33	11.67
2	3.82	5.85	7.19	8.89	10.15	11.40	12.64	14.29
1	6.16	9.43	11.60	14.34	16.37	18.38	20.39	23.04

Elaboración propia

Estación San Lázaro

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
Hora	2	5	10	25	50	100	200	500
24	1.35	2.13	2.65	3.30	3.78	4.26	4.73	5.36
18	1.63	2.56	3.18	3.96	4.53	5.11	5.68	6.44
12	2.14	3.37	4.18	5.21	5.97	6.73	7.48	8.47
8	2.60	4.09	5.08	6.33	7.25	8.17	9.09	10.30
6	3.03	4.77	5.93	7.38	8.46	9.54	10.60	12.01
5	3.25	5.12	6.35	7.91	9.07	10.22	11.36	12.87
4	3.58	5.63	6.99	8.70	9.97	11.24	12.50	14.16
3	4.12	6.48	8.04	10.02	11.49	12.94	14.39	16.30
2	5.04	7.93	9.84	12.26	14.06	15.84	17.61	19.95
1	8.13	12.79	15.88	19.78	22.67	25.54	28.40	32.18

Elaboración propia

Anexo 7 Tablas de valores y curvas IDF de las estaciones en estudio

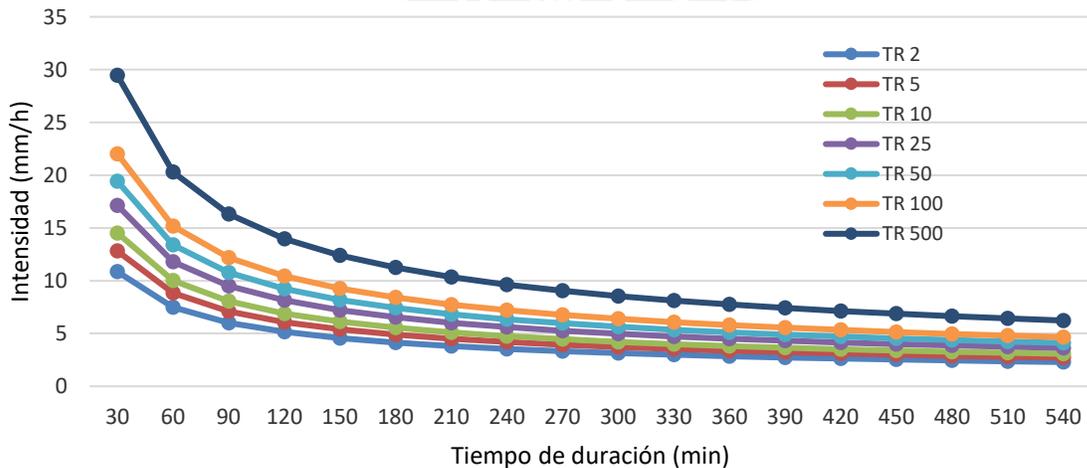
Estación Huancata

$$I = \frac{59.5890 * T^{0.180774}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	10.85	12.81	14.52	17.14	19.42	22.02	29.45
60	7.48	8.83	10.00	11.81	13.38	15.17	20.29
90	6.01	7.10	8.04	9.49	10.76	12.20	16.32
120	5.15	6.08	6.89	8.13	9.22	10.45	13.98
150	4.57	5.39	6.11	7.21	8.18	9.27	12.40
180	4.14	4.89	5.54	6.54	7.41	8.40	11.24
210	3.81	4.50	5.10	6.02	6.82	7.74	10.35
240	3.55	4.19	4.75	5.60	6.35	7.20	9.63
270	3.33	3.93	4.46	5.26	5.96	6.76	9.04
300	3.15	3.72	4.21	4.97	5.63	6.39	8.54
330	2.99	3.53	4.00	4.72	5.35	6.07	8.12
360	2.85	3.37	3.82	4.51	5.11	5.79	7.74
390	2.73	3.23	3.66	4.32	4.89	5.55	7.42
420	2.63	3.10	3.51	4.15	4.70	5.33	7.13
450	2.53	2.99	3.39	4.00	4.53	5.14	6.87
480	2.45	2.89	3.27	3.86	4.38	4.96	6.64
510	2.37	2.79	3.17	3.74	4.24	4.80	6.42
540	2.30	2.71	3.07	3.62	4.11	4.66	6.23

Elaboración propia



Elaboración propia

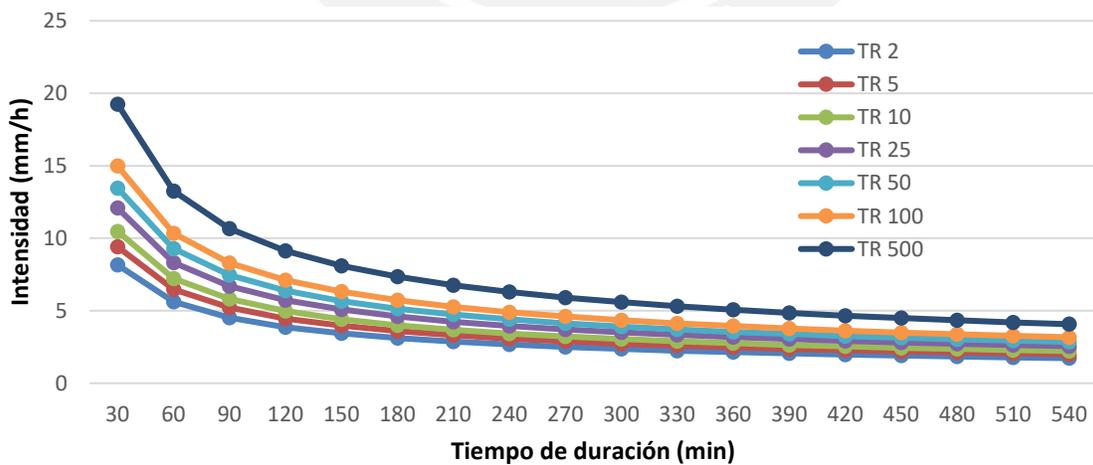
Estación Huañec

$$I = \frac{45.5757 * T^{0.155544}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	8.16	9.41	10.48	12.08	13.46	14.99	19.26
60	5.62	6.48	7.22	8.32	9.27	10.33	13.27
90	4.52	5.21	5.81	6.69	7.46	8.31	10.67
120	3.87	4.47	4.97	5.74	6.39	7.12	9.14
150	3.43	3.96	4.41	5.09	5.67	6.31	8.11
180	3.11	3.59	4.00	4.61	5.14	5.72	7.35
210	2.87	3.31	3.68	4.25	4.73	5.27	6.77
240	2.67	3.08	3.43	3.95	4.40	4.90	6.30
270	2.50	2.89	3.22	3.71	4.13	4.60	5.91
300	2.37	2.73	3.04	3.50	3.90	4.35	5.59
330	2.25	2.59	2.89	3.33	3.71	4.13	5.31
360	2.15	2.47	2.76	3.18	3.54	3.94	5.06
390	2.05	2.37	2.64	3.04	3.39	3.78	4.85
420	1.97	2.28	2.54	2.92	3.26	3.63	4.66
450	1.90	2.19	2.44	2.82	3.14	3.50	4.49
480	1.84	2.12	2.36	2.72	3.03	3.38	4.34
510	1.78	2.05	2.29	2.64	2.94	3.27	4.20
540	1.73	1.99	2.22	2.56	2.85	3.17	4.07

Elaboración propia



Elaboración propia

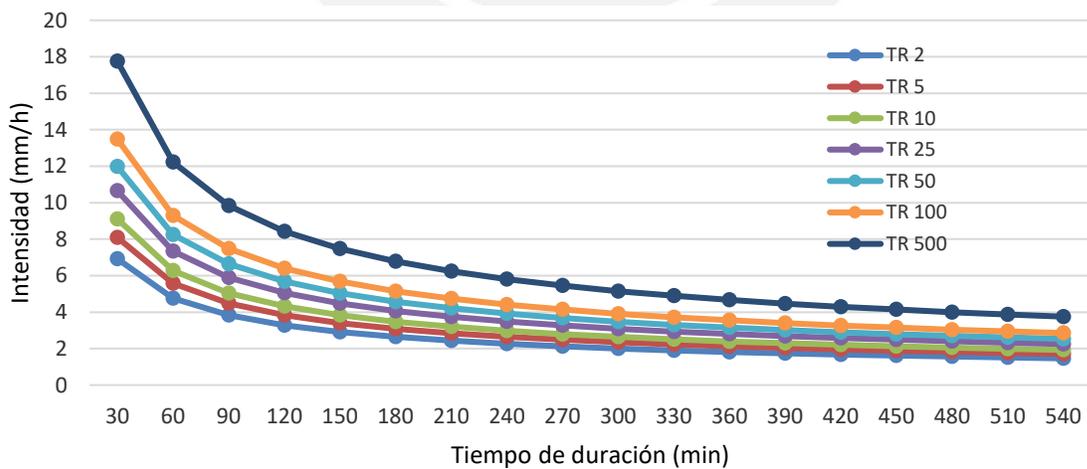
Estación Huarochiri

$$I = \frac{38.2552 * T^{0.170611}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	6.92	8.09	9.11	10.65	11.98	13.49	17.75
60	4.77	5.57	6.27	7.34	8.26	9.29	12.23
90	3.83	4.48	5.04	5.90	6.64	7.47	9.83
120	3.28	3.84	4.32	5.05	5.69	6.40	8.42
150	2.91	3.41	3.83	4.48	5.04	5.68	7.47
180	2.64	3.09	3.48	4.06	4.57	5.15	6.78
210	2.43	2.84	3.20	3.74	4.21	4.74	6.24
240	2.26	2.65	2.98	3.48	3.92	4.41	5.80
270	2.12	2.48	2.80	3.27	3.68	4.14	5.45
300	2.01	2.35	2.64	3.09	3.48	3.91	5.15
330	1.91	2.23	2.51	2.93	3.30	3.72	4.89
360	1.82	2.13	2.39	2.80	3.15	3.55	4.67
390	1.74	2.04	2.29	2.68	3.02	3.40	4.47
420	1.67	1.96	2.20	2.58	2.90	3.26	4.30
450	1.61	1.89	2.12	2.48	2.80	3.15	4.14
480	1.56	1.82	2.05	2.40	2.70	3.04	4.00
510	1.51	1.76	1.99	2.32	2.61	2.94	3.87
540	1.46	1.71	1.93	2.25	2.53	2.85	3.75

Elaboración propia



Elaboración propia

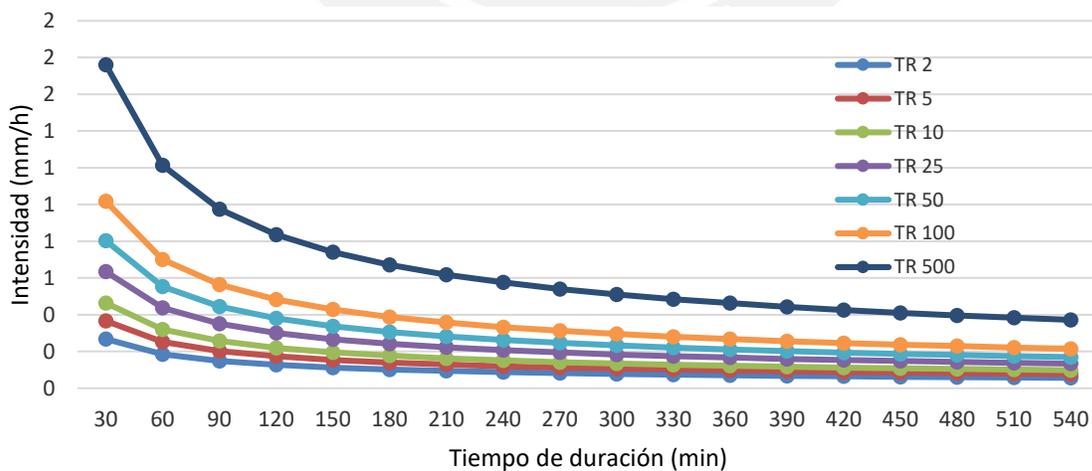
Estación Capilla

$$I = \frac{1.3183 * T^{0.340752}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	0.27	0.37	0.46	0.63	0.80	1.02	1.76
60	0.18	0.25	0.32	0.44	0.55	0.70	1.21
90	0.15	0.20	0.26	0.35	0.45	0.56	0.98
120	0.13	0.17	0.22	0.30	0.38	0.48	0.84
150	0.11	0.15	0.20	0.27	0.34	0.43	0.74
180	0.10	0.14	0.18	0.24	0.31	0.39	0.67
210	0.09	0.13	0.16	0.22	0.28	0.36	0.62
240	0.09	0.12	0.15	0.21	0.26	0.33	0.58
270	0.08	0.11	0.14	0.19	0.25	0.31	0.54
300	0.08	0.11	0.13	0.18	0.23	0.30	0.51
330	0.07	0.10	0.13	0.17	0.22	0.28	0.49
360	0.07	0.10	0.12	0.17	0.21	0.27	0.46
390	0.07	0.09	0.12	0.16	0.20	0.26	0.44
420	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.25	0.43
450	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.24	0.41
480	0.06	0.08	0.10	0.14	0.18	0.23	0.40
510	0.06	0.08	0.10	0.14	0.18	0.22	0.38
540	0.06	0.08	0.10	0.13	0.17	0.22	0.37

Elaboración propia



Elaboración propia

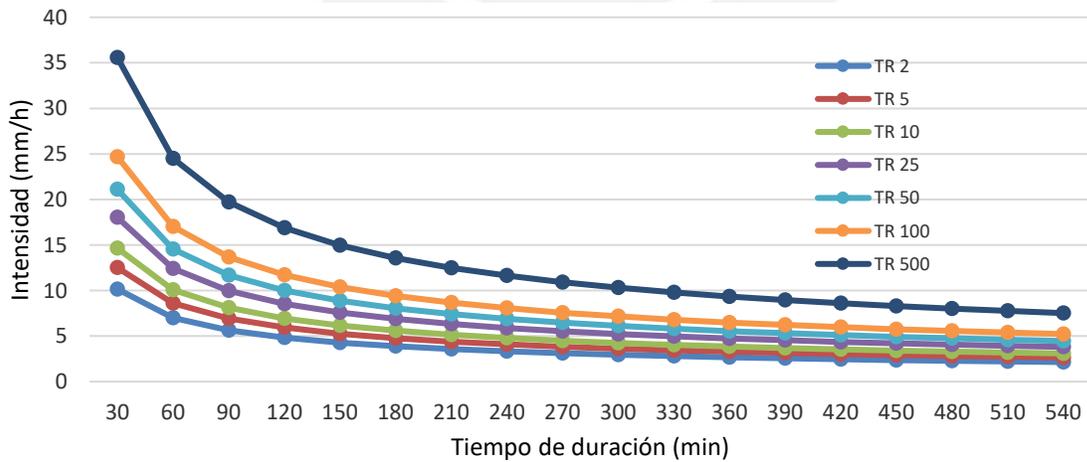
Estación San Pedro de Pilas

$$I = \frac{54.0414 * T^{0.226909}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	10.16	12.51	14.64	18.03	21.10	24.69	35.58
60	7.00	8.62	10.09	12.42	14.54	17.01	24.51
90	5.63	6.93	8.11	9.99	11.69	13.68	19.71
120	4.82	5.94	6.95	8.56	10.01	11.72	16.89
150	4.28	5.27	6.17	7.59	8.88	10.40	14.98
180	3.88	4.78	5.59	6.88	8.05	9.43	13.58
210	3.57	4.40	5.15	6.33	7.41	8.68	12.50
240	3.32	4.09	4.79	5.90	6.90	8.07	11.63
270	3.12	3.84	4.49	5.53	6.48	7.58	10.92
300	2.95	3.63	4.25	5.23	6.12	7.16	10.32
330	2.80	3.45	4.04	4.97	5.81	6.80	9.80
360	2.67	3.29	3.85	4.74	5.55	6.49	9.36
390	2.56	3.15	3.69	4.54	5.31	6.22	8.96
420	2.46	3.03	3.54	4.36	5.11	5.98	8.61
450	2.37	2.92	3.42	4.21	4.92	5.76	8.30
480	2.29	2.82	3.30	4.06	4.75	5.56	8.02
510	2.22	2.73	3.19	3.93	4.60	5.38	7.76
540	2.15	2.65	3.10	3.81	4.46	5.22	7.52

Elaboración propia



Elaboración propia

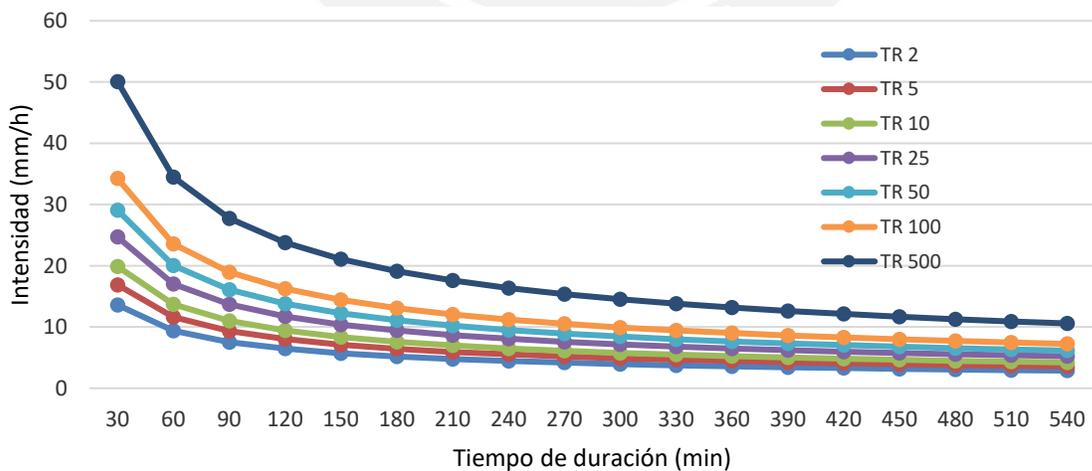
Estación San Lázaro

$$I = \frac{71.9008 * T^{0.235997}}{t^{0.53752}}$$

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
30	13.61	16.89	19.90	24.70	29.09	34.26	50.08
60	9.38	11.64	13.71	17.02	20.04	23.60	34.51
90	7.54	9.36	11.02	13.68	16.12	18.98	27.75
120	6.46	8.02	9.44	11.72	13.81	16.26	23.77
150	5.73	7.11	8.38	10.40	12.25	14.42	21.09
180	5.19	6.45	7.59	9.43	11.10	13.08	19.12
210	4.78	5.94	6.99	8.68	10.22	12.04	17.60
240	4.45	5.52	6.51	8.08	9.51	11.20	16.38
270	4.18	5.19	6.11	7.58	8.93	10.52	15.37
300	3.95	4.90	5.77	7.16	8.44	9.94	14.53
330	3.75	4.66	5.48	6.81	8.02	9.44	13.80
360	3.58	4.44	5.23	6.50	7.65	9.01	13.17
390	3.43	4.26	5.01	6.22	7.33	8.63	12.62
420	3.29	4.09	4.82	5.98	7.04	8.29	12.12
450	3.17	3.94	4.64	5.76	6.78	7.99	11.68
480	3.07	3.81	4.48	5.56	6.55	7.72	11.28
510	2.97	3.68	4.34	5.39	6.34	7.47	10.92
540	2.88	3.57	4.21	5.22	6.15	7.24	10.59

Elaboración propia



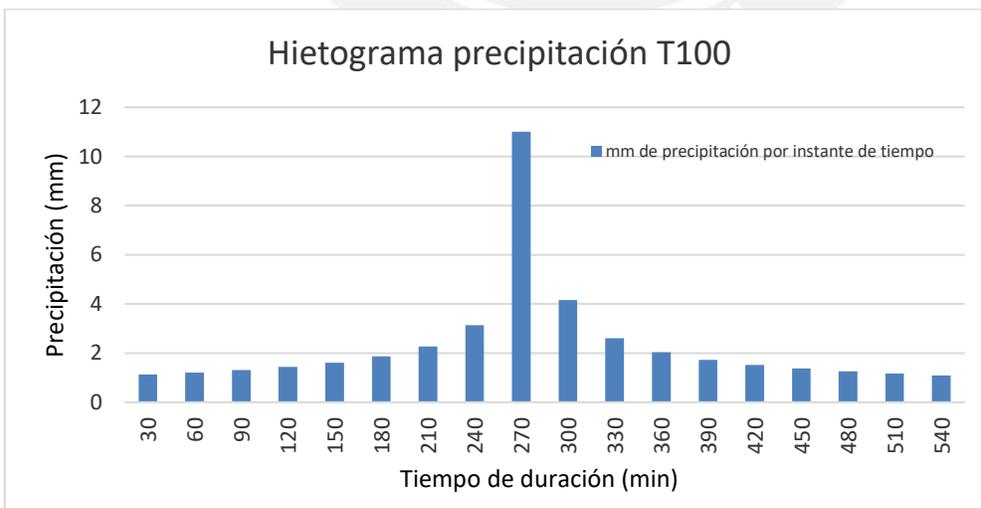
Elaboración propia

Anexo 8. Hietograma de diseño de precipitación por método de bloques alternos de las estaciones en estudio

Hietograma para Tr 100 años para la estación Huancata

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	22.02	11.01	11.01	22.02	1.13	2.26
60	15.17	15.17	4.16	8.32	1.21	2.42
90	12.20	18.30	3.13	6.26	1.31	2.62
120	10.45	20.90	2.60	5.21	1.44	2.88
150	9.27	23.17	2.27	4.54	1.61	3.22
180	8.40	25.21	2.04	4.08	1.86	3.73
210	7.74	27.07	1.86	3.73	2.27	4.54
240	7.20	28.80	1.72	3.45	3.13	6.26
270	6.76	30.41	1.61	3.22	11.01	22.02
300	6.39	31.93	1.52	3.04	4.16	8.32
330	6.07	33.37	1.44	2.88	2.60	5.21
360	5.79	34.74	1.37	2.74	2.04	4.08
390	5.55	36.05	1.31	2.62	1.72	3.45
420	5.33	37.30	1.26	2.51	1.52	3.04
450	5.14	38.51	1.21	2.42	1.37	2.74
480	4.96	39.68	1.17	2.33	1.26	2.51
510	4.80	40.81	1.13	2.26	1.17	2.33
540	4.66	41.90	1.09	2.19	1.09	2.19

Elaboración propia



Elaboración propia



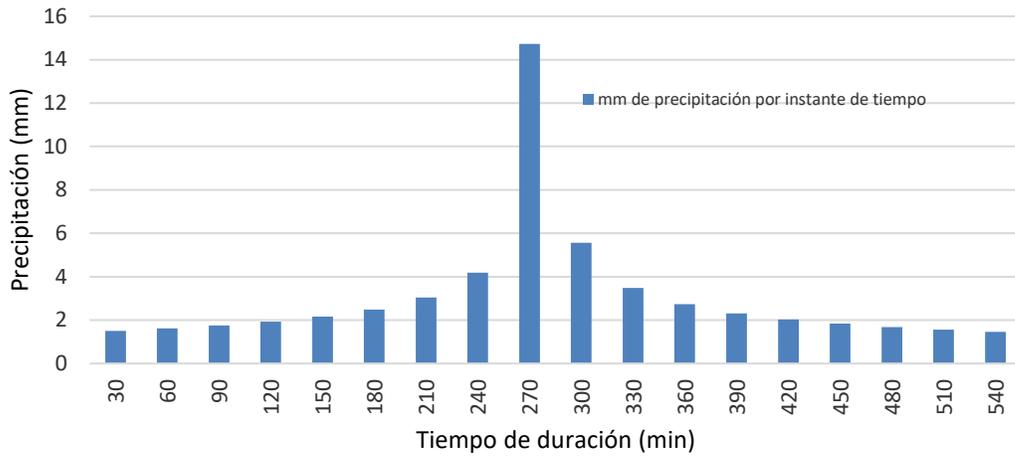
Elaboración propia

Huancata, hietograma para Tr 500 años

Hietograma para periodo de retorno 500 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	29.45	14.73	14.73	29.45	1.51	3.02
60	20.29	20.29	5.56	11.13	1.62	3.24
90	16.32	24.47	4.18	8.37	1.75	3.50
120	13.98	27.96	3.48	6.97	1.92	3.85
150	12.40	31.00	3.04	6.08	2.16	4.31
180	11.24	33.72	2.73	5.45	2.49	4.98
210	10.35	36.22	2.49	4.98	3.04	6.08
240	9.63	38.52	2.31	4.61	4.18	8.37
270	9.04	40.68	2.16	4.31	14.73	29.45
300	8.54	42.71	2.03	4.06	5.56	11.13
330	8.12	44.64	1.92	3.85	3.48	6.97
360	7.74	46.47	1.83	3.67	2.73	5.45
390	7.42	48.22	1.75	3.50	2.31	4.61
420	7.13	49.90	1.68	3.36	2.03	4.06
450	6.87	51.52	1.62	3.24	1.83	3.67
480	6.64	53.08	1.56	3.12	1.68	3.36
510	6.42	54.59	1.51	3.02	1.56	3.12
540	6.23	56.05	1.46	2.92	1.46	2.92

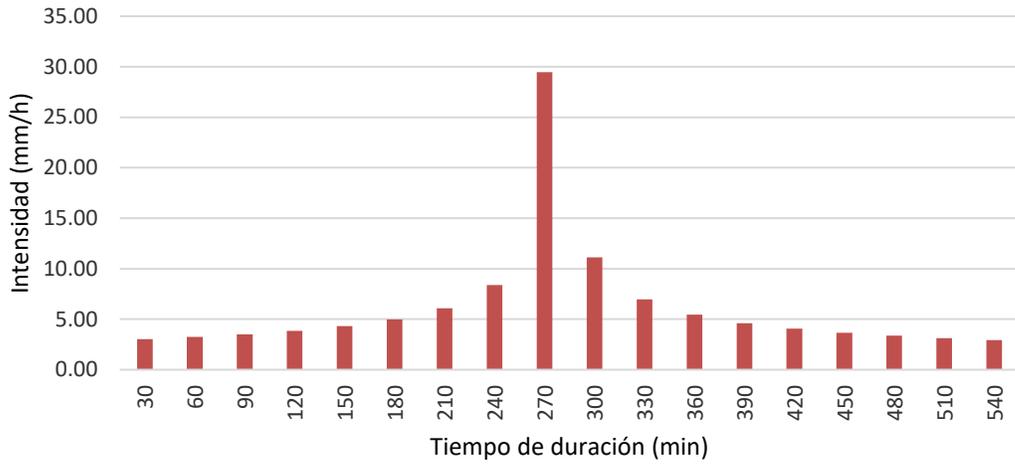
Fuente: Elaboración propia

Hietograma precipitación T500



Elaboración propia

Distribución intensidades precipitación T500

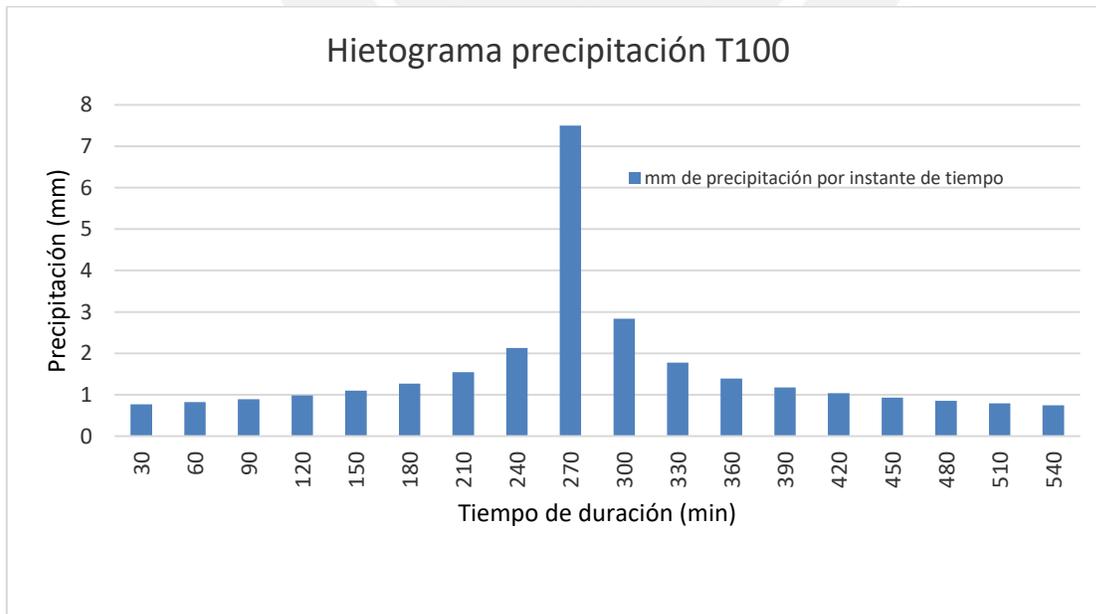


Elaboración propia

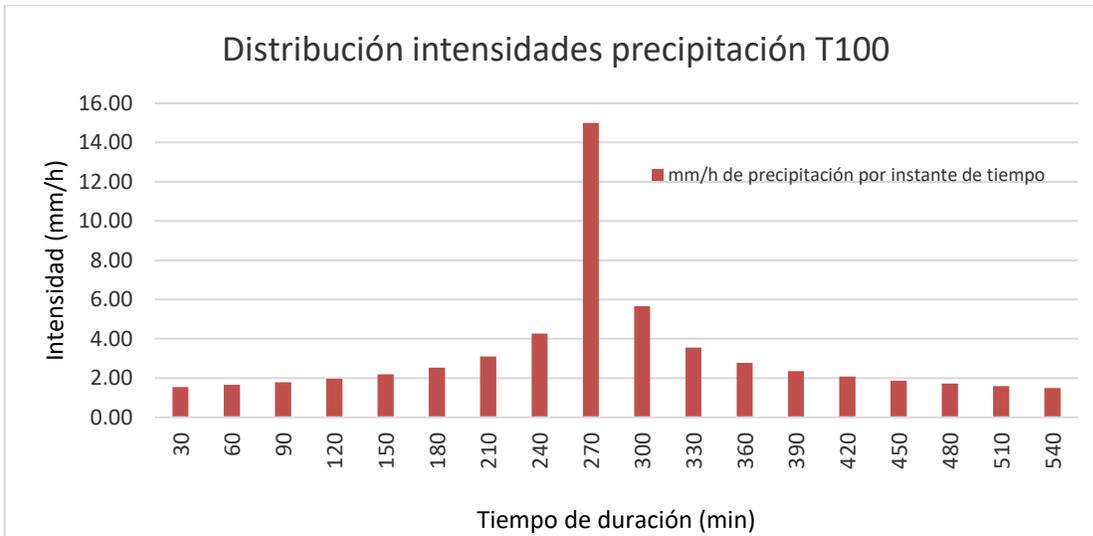
Huañec, hietograma para Tr 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	14.99	7.50	7.50	14.99	0.77	1.54
60	10.33	10.33	2.83	5.67	0.82	1.65
90	8.31	12.46	2.13	4.26	0.89	1.78
120	7.12	14.23	1.77	3.55	0.98	1.96
150	6.31	15.78	1.55	3.09	1.10	2.20
180	5.72	17.17	1.39	2.78	1.27	2.54
210	5.27	18.44	1.27	2.54	1.55	3.09
240	4.90	19.61	1.17	2.35	2.13	4.26
270	4.60	20.71	1.10	2.20	7.50	14.99
300	4.35	21.74	1.03	2.07	2.83	5.67
330	4.13	22.72	0.98	1.96	1.77	3.55
360	3.94	23.65	0.93	1.87	1.39	2.78
390	3.78	24.55	0.89	1.78	1.17	2.35
420	3.63	25.40	0.86	1.71	1.03	2.07
450	3.50	26.23	0.82	1.65	0.93	1.87
480	3.38	27.02	0.79	1.59	0.86	1.71
510	3.27	27.79	0.77	1.54	0.79	1.59
540	3.17	28.53	0.74	1.49	0.74	1.49

Elaboración propia



Elaboración propia



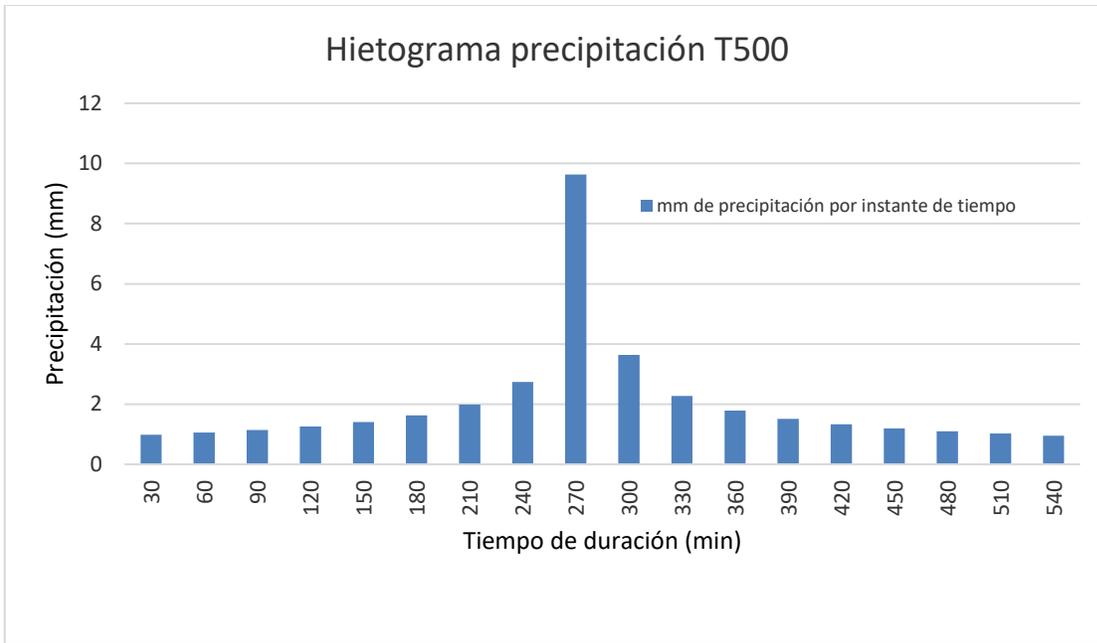
Elaboración propia

Huañec, hietograma para Tr 500 años

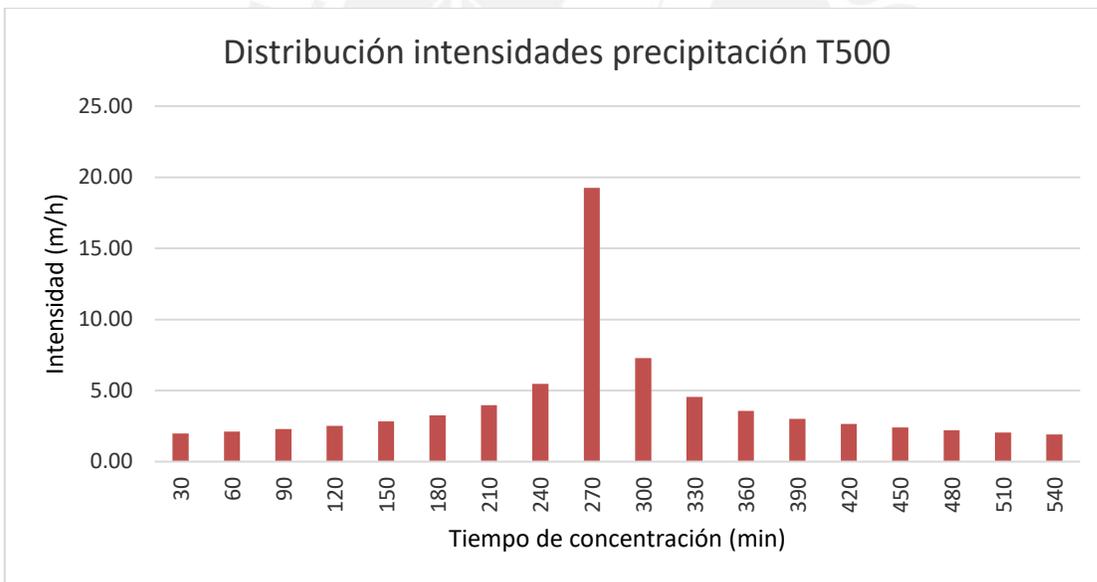
Hietograma para periodo de retorno 500 años

Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	19.26	9.63	9.63	19.26	0.99	1.97
60	13.27	13.27	3.64	7.28	1.06	2.12
90	10.67	16.00	2.74	5.47	1.15	2.29
120	9.14	18.28	2.28	4.55	1.26	2.52
150	8.11	20.27	1.99	3.97	1.41	2.82
180	7.35	22.05	1.78	3.57	1.63	3.26
210	6.77	23.68	1.63	3.26	1.99	3.97
240	6.30	25.19	1.51	3.02	2.74	5.47
270	5.91	26.60	1.41	2.82	9.63	19.26
300	5.59	27.93	1.33	2.66	3.64	7.28
330	5.31	29.18	1.26	2.52	2.28	4.55
360	5.06	30.38	1.20	2.40	1.78	3.57
390	4.85	31.53	1.15	2.29	1.51	3.02
420	4.66	32.63	1.10	2.20	1.33	2.66
450	4.49	33.69	1.06	2.12	1.20	2.40
480	4.34	34.71	1.02	2.04	1.10	2.20
510	4.20	35.69	0.99	1.97	1.02	2.04
540	4.07	36.65	0.96	1.91	0.96	1.91

Elaboración propia



Elaboración propia

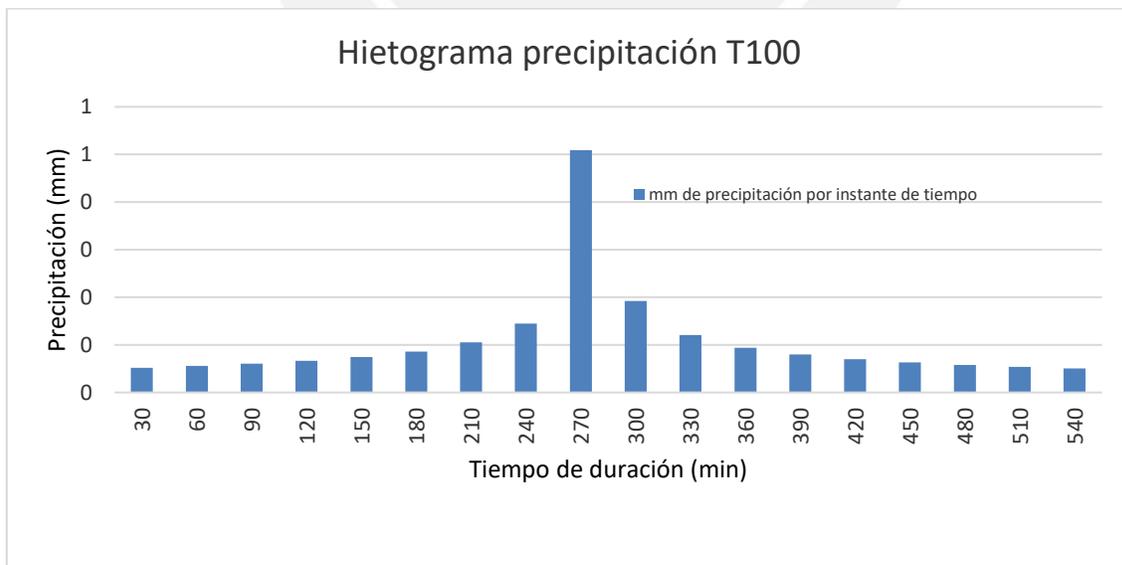


Elaboración propia

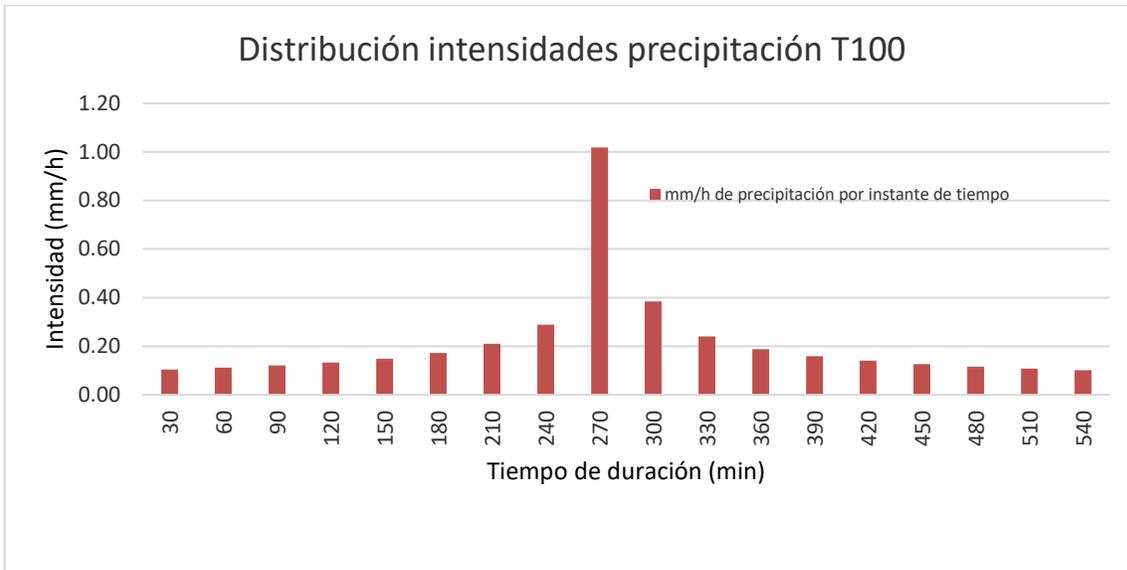
Capilla, hietograma para Tr 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	1.02	0.51	0.51	1.02	0.05	0.10
60	0.70	0.70	0.19	0.38	0.06	0.11
90	0.56	0.85	0.14	0.29	0.06	0.12
120	0.48	0.97	0.12	0.24	0.07	0.13
150	0.43	1.07	0.11	0.21	0.07	0.15
180	0.39	1.17	0.09	0.19	0.09	0.17
210	0.36	1.25	0.09	0.17	0.11	0.21
240	0.33	1.33	0.08	0.16	0.14	0.29
270	0.31	1.41	0.07	0.15	0.51	1.02
300	0.30	1.48	0.07	0.14	0.19	0.38
330	0.28	1.54	0.07	0.13	0.12	0.24
360	0.27	1.61	0.06	0.13	0.09	0.19
390	0.26	1.67	0.06	0.12	0.08	0.16
420	0.25	1.72	0.06	0.12	0.07	0.14
450	0.24	1.78	0.06	0.11	0.06	0.13
480	0.23	1.83	0.05	0.11	0.06	0.12
510	0.22	1.89	0.05	0.10	0.05	0.11
540	0.22	1.94	0.05	0.10	0.05	0.10

Elaboración propia



Elaboración propia



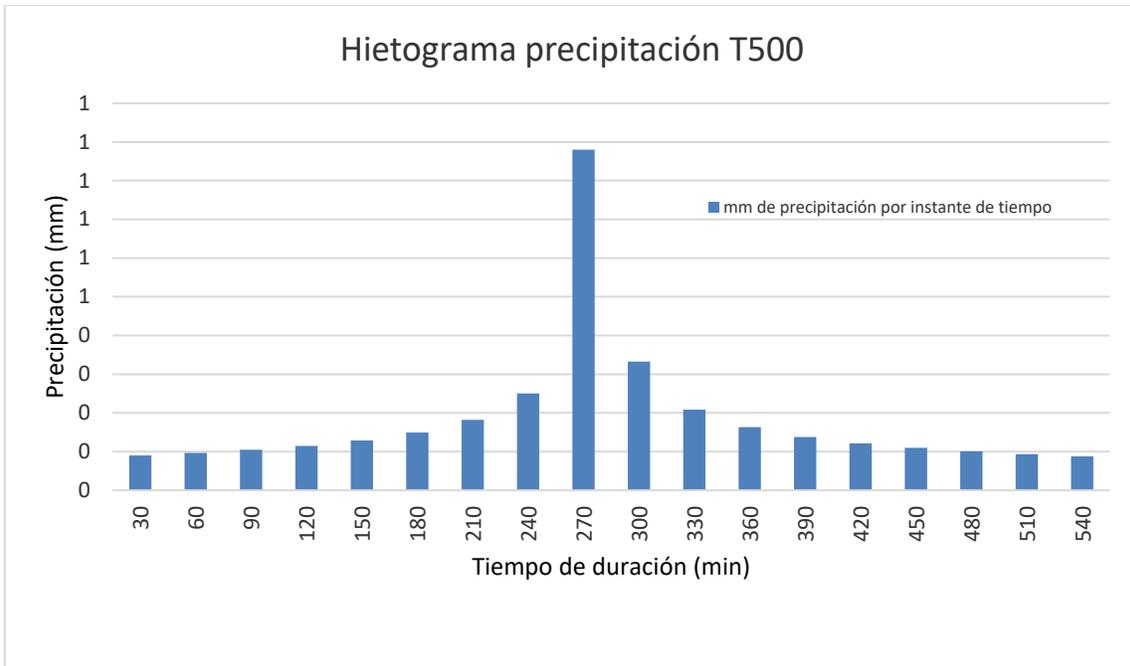
Elaboración propia

Capilla, hietograma para Tr 500 años

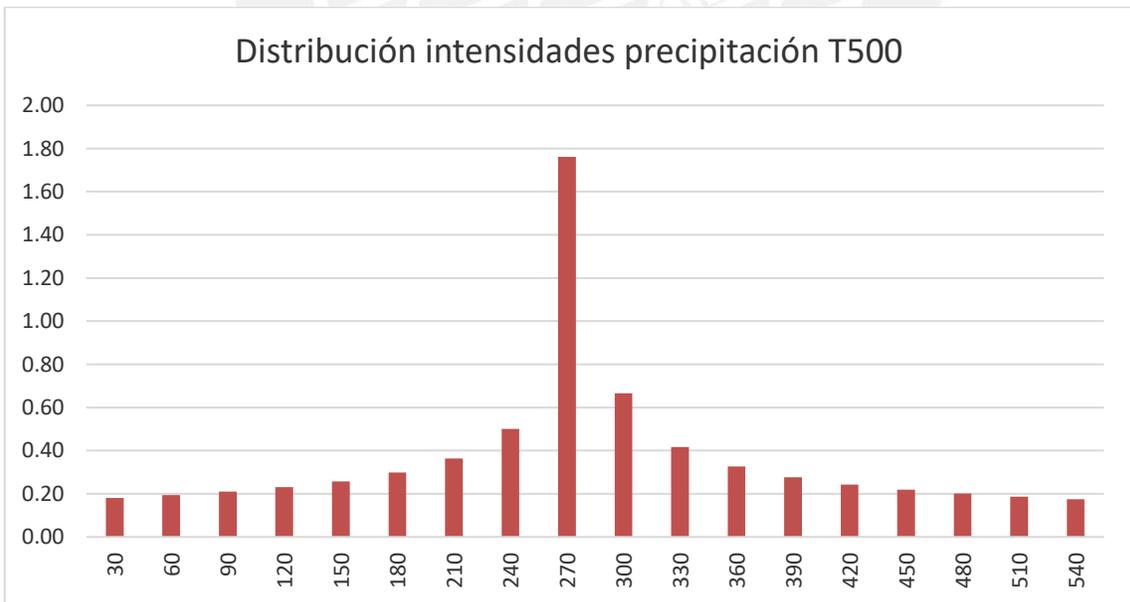
Hietograma para periodo de retorno 500 años

Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	1.76	0.88	0.88	1.76	0.09	0.18
60	1.21	1.21	0.33	0.67	0.10	0.19
90	0.98	1.46	0.25	0.50	0.10	0.21
120	0.84	1.67	0.21	0.42	0.12	0.23
150	0.74	1.85	0.18	0.36	0.13	0.26
180	0.67	2.02	0.16	0.33	0.15	0.30
210	0.62	2.17	0.15	0.30	0.18	0.36
240	0.58	2.30	0.14	0.28	0.25	0.50
270	0.54	2.43	0.13	0.26	0.88	1.76
300	0.51	2.55	0.12	0.24	0.33	0.67
330	0.49	2.67	0.12	0.23	0.21	0.42
360	0.46	2.78	0.11	0.22	0.16	0.33
390	0.44	2.88	0.10	0.21	0.14	0.28
420	0.43	2.98	0.10	0.20	0.12	0.24
450	0.41	3.08	0.10	0.19	0.11	0.22
480	0.40	3.17	0.09	0.19	0.10	0.20
510	0.38	3.26	0.09	0.18	0.09	0.19
540	0.37	3.35	0.09	0.17	0.09	0.17

Elaboración propia



Elaboración propia

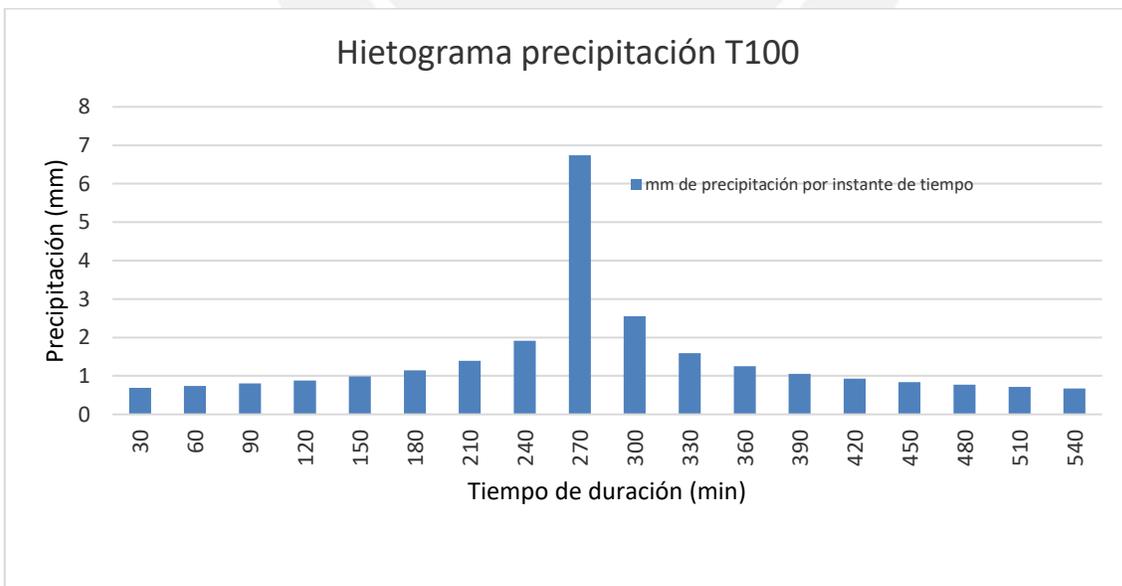


Elaboración propia

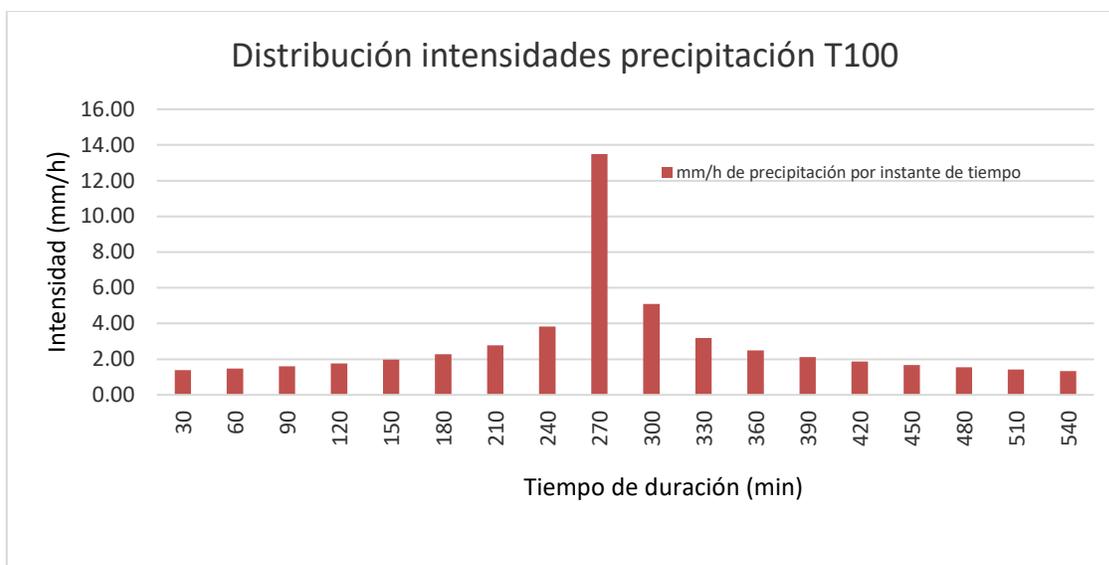
Huarocharí, hietograma para Tr 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	13.49	6.74	6.74	13.49	0.69	1.38
60	9.29	9.29	2.55	5.10	0.74	1.48
90	7.47	11.21	1.92	3.83	0.80	1.61
120	6.40	12.80	1.60	3.19	0.88	1.76
150	5.68	14.20	1.39	2.78	0.99	1.98
180	5.15	15.44	1.25	2.50	1.14	2.28
210	4.74	16.59	1.14	2.28	1.39	2.78
240	4.41	17.64	1.06	2.11	1.92	3.83
270	4.14	18.63	0.99	1.98	6.74	13.49
300	3.91	19.56	0.93	1.86	2.55	5.10
330	3.72	20.44	0.88	1.76	1.60	3.19
360	3.55	21.28	0.84	1.68	1.25	2.50
390	3.40	22.08	0.80	1.61	1.06	2.11
420	3.26	22.85	0.77	1.54	0.93	1.86
450	3.15	23.59	0.74	1.48	0.84	1.68
480	3.04	24.31	0.71	1.43	0.77	1.54
510	2.94	25.00	0.69	1.38	0.71	1.43
540	2.85	25.67	0.67	1.34	0.67	1.34

Elaboración propia



Elaboración propia

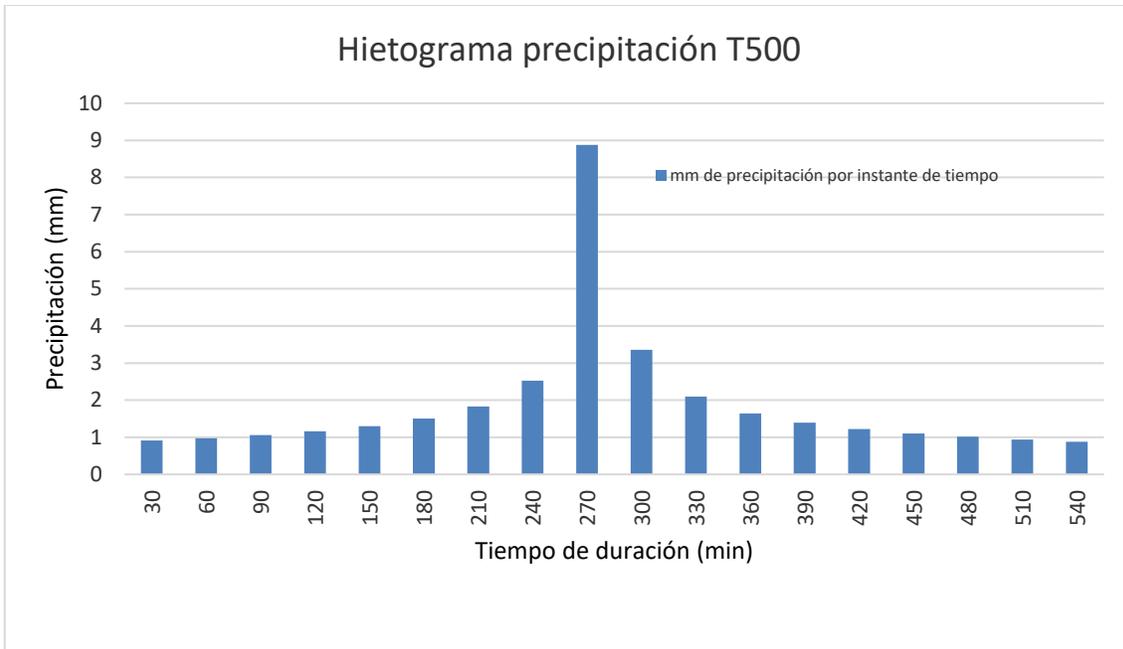


Elaboración propia

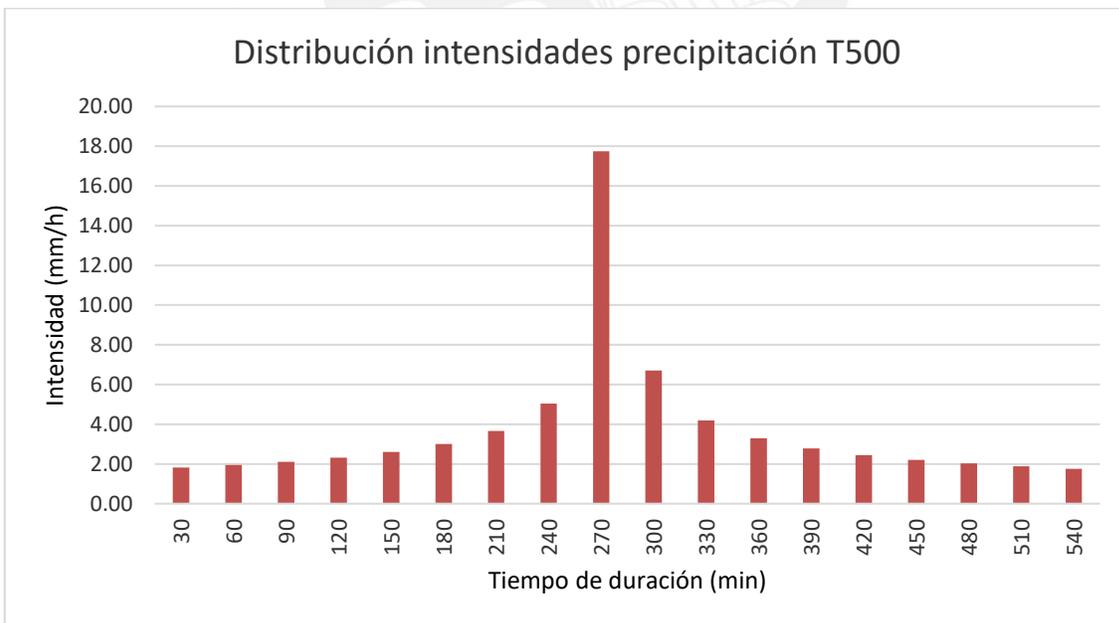
Huarochirí, hietograma para Tr 500 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	17.75	8.87	8.87	17.75	0.91	1.82
60	12.23	12.23	3.35	6.71	0.98	1.95
90	9.83	14.75	2.52	5.04	1.06	2.11
120	8.42	16.85	2.10	4.20	1.16	2.32
150	7.47	18.68	1.83	3.66	1.30	2.60
180	6.78	20.33	1.64	3.29	1.50	3.00
210	6.24	21.83	1.50	3.00	1.83	3.66
240	5.80	23.22	1.39	2.78	2.52	5.04
270	5.45	24.52	1.30	2.60	8.87	17.75
300	5.15	25.74	1.22	2.45	3.35	6.71
330	4.89	26.90	1.16	2.32	2.10	4.20
360	4.67	28.01	1.10	2.21	1.64	3.29
390	4.47	29.06	1.06	2.11	1.39	2.78
420	4.30	30.08	1.01	2.03	1.22	2.45
450	4.14	31.05	0.98	1.95	1.10	2.21
480	4.00	31.99	0.94	1.88	1.01	2.03
510	3.87	32.90	0.91	1.82	0.94	1.88
540	3.75	33.78	0.88	1.76	0.88	1.76

Elaboración propia



Elaboración propia

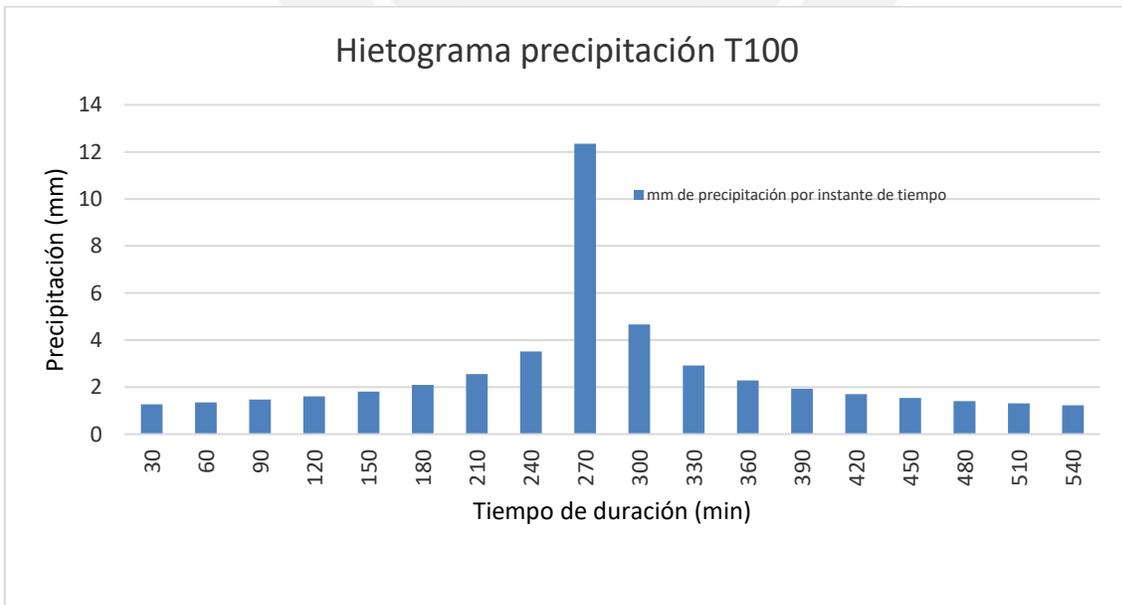


Elaboración propia

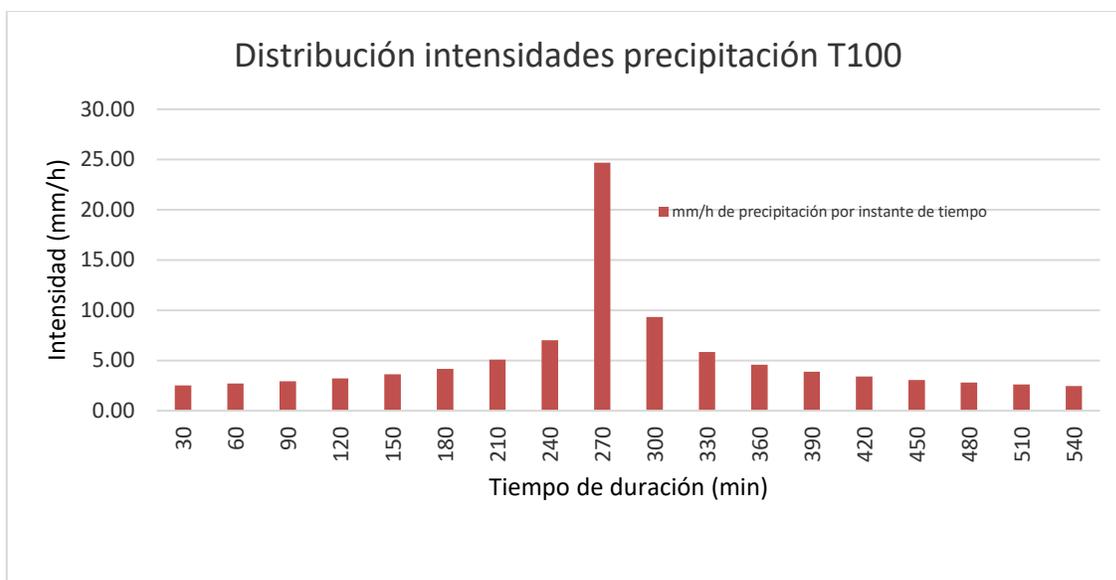
San Pedro de Pilas, hietograma para Tr 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	24.69	12.35	12.35	24.69	1.27	2.53
60	17.01	17.01	4.67	9.33	1.36	2.71
90	13.68	20.52	3.51	7.02	1.47	2.94
120	11.72	23.44	2.92	5.84	1.61	3.23
150	10.40	25.99	2.55	5.10	1.81	3.62
180	9.43	28.28	2.29	4.57	2.09	4.18
210	8.68	30.37	2.09	4.18	2.55	5.10
240	8.07	32.30	1.93	3.87	3.51	7.02
270	7.58	34.11	1.81	3.62	12.35	24.69
300	7.16	35.81	1.70	3.41	4.67	9.33
330	6.80	37.42	1.61	3.23	2.92	5.84
360	6.49	38.96	1.54	3.07	2.29	4.57
390	6.22	40.43	1.47	2.94	1.93	3.87
420	5.98	41.84	1.41	2.82	1.70	3.41
450	5.76	43.20	1.36	2.71	1.54	3.07
480	5.56	44.51	1.31	2.62	1.41	2.82
510	5.38	45.77	1.27	2.53	1.31	2.62
540	5.22	47.00	1.23	2.45	1.23	2.45

Elaboración propia



Elaboración propia



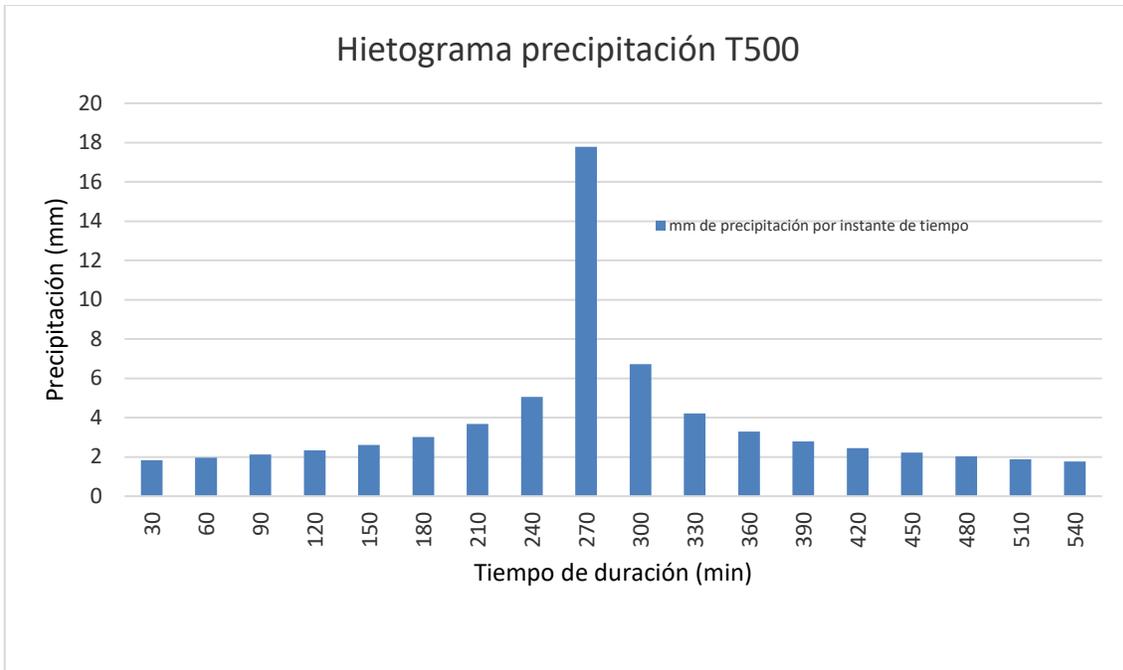
Elaboración propia

San Pedro de Pilas, hietograma para Tr 500 años

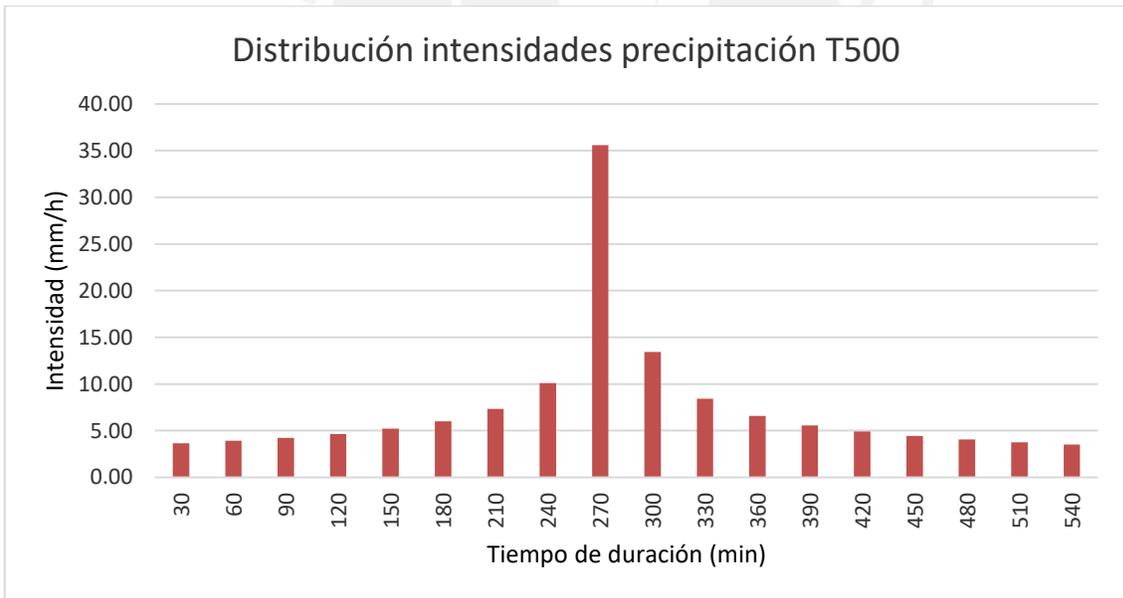
Hietograma para periodo de retorno 500 años

Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	35.58	17.79	17.79	35.58	1.82	3.65
60	24.51	24.51	6.72	13.44	1.95	3.91
90	19.71	29.57	5.06	10.11	2.12	4.23
120	16.89	33.77	4.21	8.41	2.33	4.65
150	14.98	37.45	3.67	7.34	2.61	5.21
180	13.58	40.74	3.29	6.59	3.01	6.02
210	12.50	43.75	3.01	6.02	3.67	7.34
240	11.63	46.54	2.79	5.57	5.06	10.11
270	10.92	49.14	2.61	5.21	17.79	35.58
300	10.32	51.60	2.45	4.91	6.72	13.44
330	9.80	53.92	2.33	4.65	4.21	8.41
360	9.36	56.14	2.21	4.43	3.29	6.59
390	8.96	58.25	2.12	4.23	2.79	5.57
420	8.61	60.28	2.03	4.06	2.45	4.91
450	8.30	62.24	1.95	3.91	2.21	4.43
480	8.02	64.12	1.89	3.77	2.03	4.06
510	7.76	65.95	1.82	3.65	1.89	3.77
540	7.52	67.71	1.77	3.53	1.77	3.53

Elaboración propia



Elaboración propia

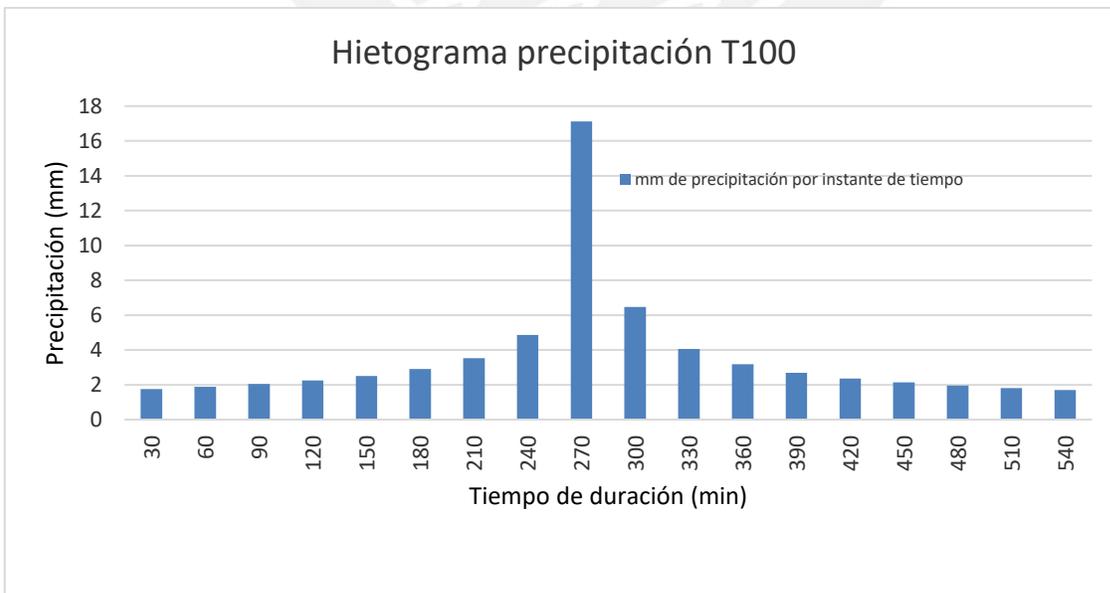


Elaboración propia

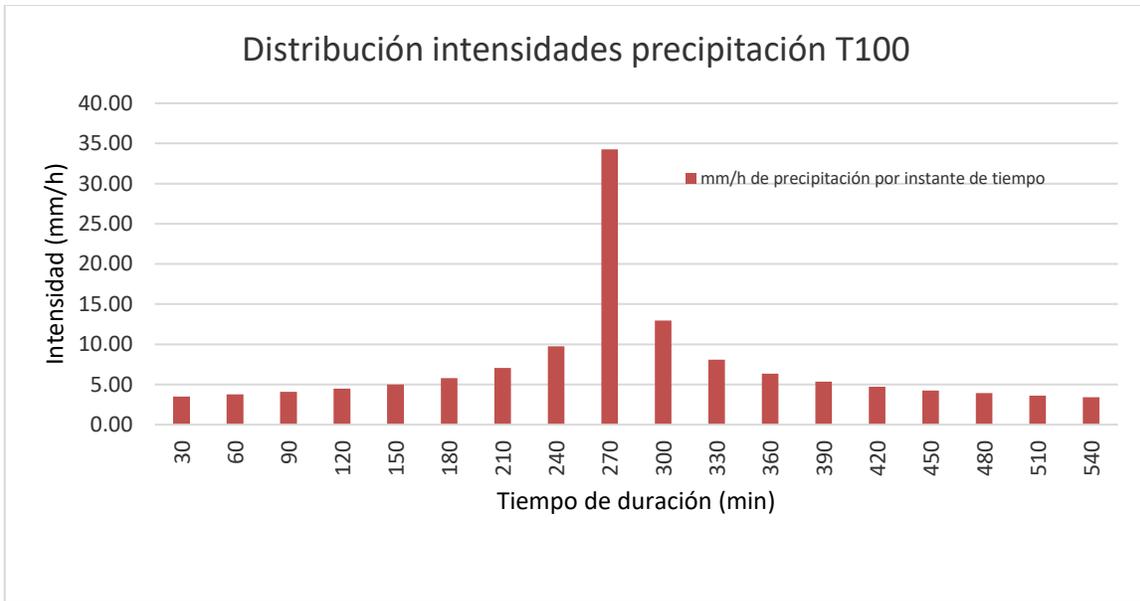
San Lázaro, hietograma para Tr 100 años

Hietograma para periodo de retorno 100 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	34.26	17.13	17.13	34.26	1.76	3.51
60	23.60	23.60	6.47	12.95	1.88	3.76
90	18.98	28.47	4.87	9.74	2.04	4.08
120	16.26	32.52	4.05	8.10	2.24	4.48
150	14.42	36.06	3.54	7.07	2.51	5.02
180	13.08	39.23	3.17	6.34	2.90	5.80
210	12.04	42.13	2.90	5.80	3.54	7.07
240	11.20	44.81	2.68	5.37	4.87	9.74
270	10.52	47.32	2.51	5.02	17.13	34.26
300	9.94	49.68	2.36	4.73	6.47	12.95
330	9.44	51.92	2.24	4.48	4.05	8.10
360	9.01	54.05	2.13	4.26	3.17	6.34
390	8.63	56.09	2.04	4.08	2.68	5.37
420	8.29	58.05	1.96	3.91	2.36	4.73
450	7.99	59.93	1.88	3.76	2.13	4.26
480	7.72	61.74	1.82	3.63	1.96	3.91
510	7.47	63.50	1.76	3.51	1.82	3.63
540	7.24	65.20	1.70	3.40	1.70	3.40

Fuente: Elaboración propia



Elaboración propia

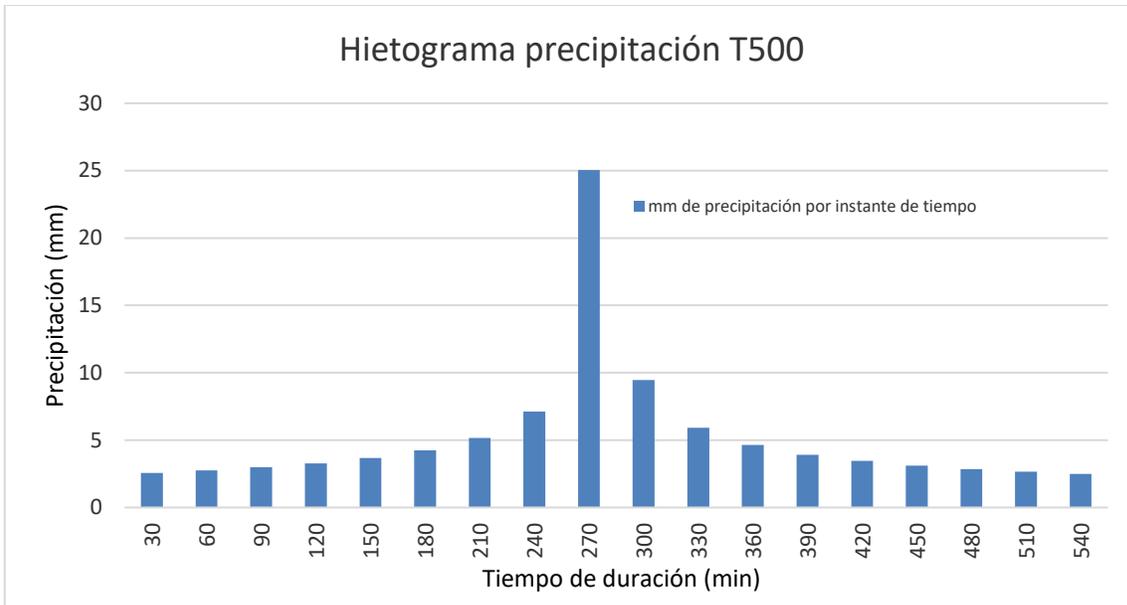


Fuente: Elaboración propia

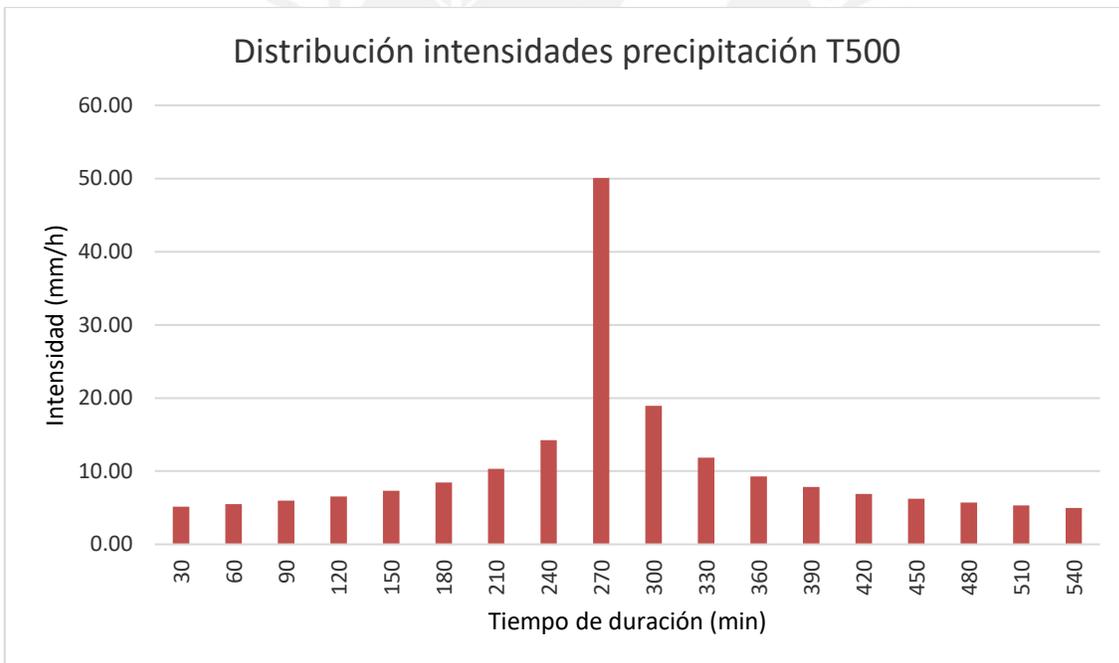
San Lázaro, hietograma para Tr 500 años

Hietograma para periodo de retorno 500 años						
Instante (min)	I.(mm/h)	P. acum (mm)	P.(mm)	I. parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	I. Parcial Alternada (mm)
30	50.08	25.04	25.04	50.08	2.57	5.13
60	34.51	34.51	9.46	18.93	2.75	5.50
90	27.75	41.62	7.12	14.23	2.98	5.96
120	23.77	47.55	5.92	11.85	3.27	6.55
150	21.09	52.71	5.17	10.34	3.67	7.34
180	19.12	57.35	4.64	9.28	4.24	8.48
210	17.60	61.59	4.24	8.48	5.17	10.34
240	16.38	65.51	3.92	7.85	7.12	14.23
270	15.37	69.18	3.67	7.34	25.04	50.08
300	14.53	72.64	3.45	6.91	9.46	18.93
330	13.80	75.91	3.27	6.55	5.92	11.85
360	13.17	79.03	3.12	6.23	4.64	9.28
390	12.62	82.01	2.98	5.96	3.92	7.85
420	12.12	84.87	2.86	5.72	3.45	6.91
450	11.68	87.62	2.75	5.50	3.12	6.23
480	11.28	90.27	2.65	5.31	2.86	5.72
510	10.92	92.84	2.57	5.13	2.65	5.31
540	10.59	95.33	2.49	4.97	2.49	4.97

Elaboración propia



Elaboración propia



Elaboración propia

Anexo 9. Secciones del río Mala

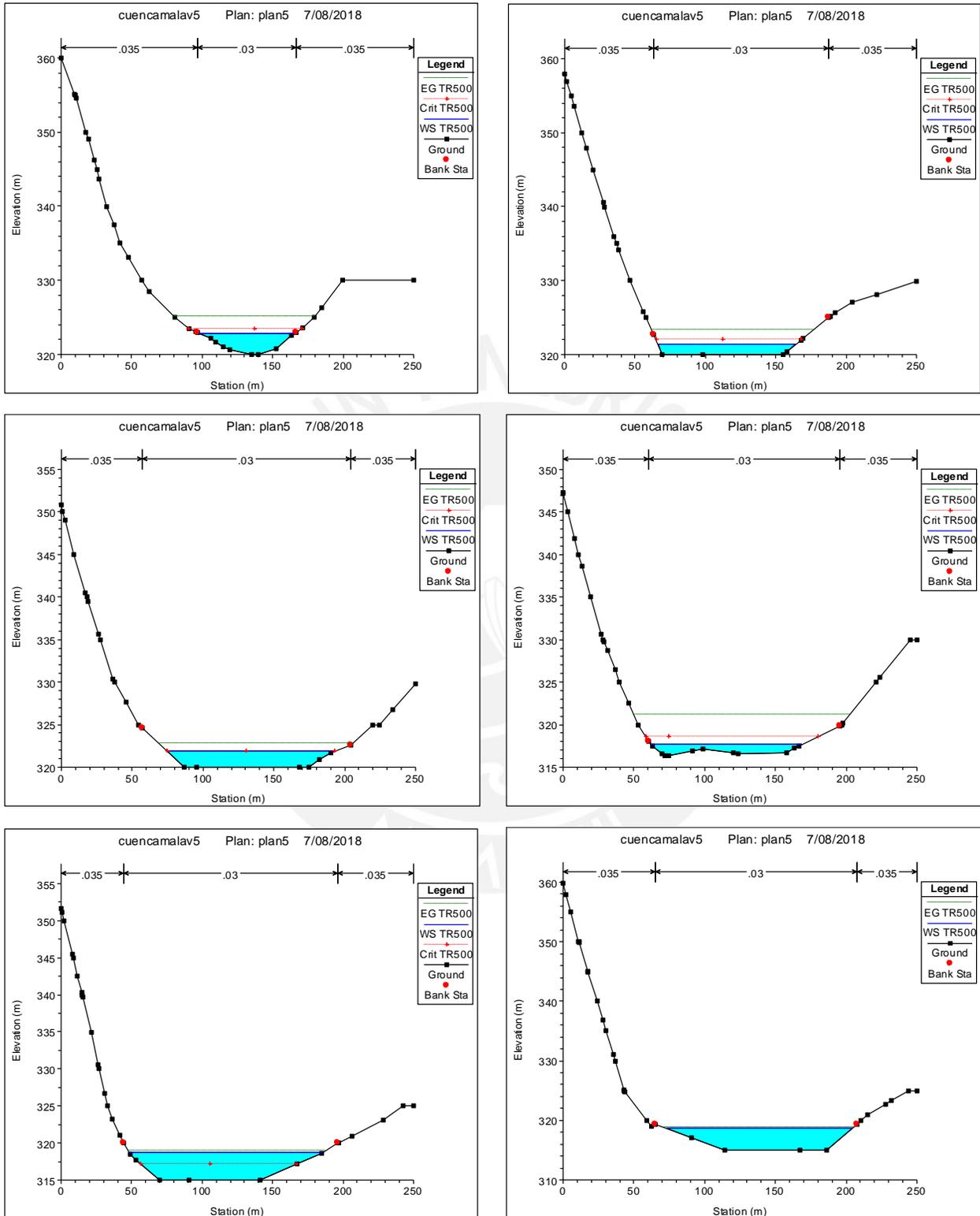


Figura A10. Secciones del río Mala progresiva: 1+950 – 2+400

Fuente: Elaboración propia

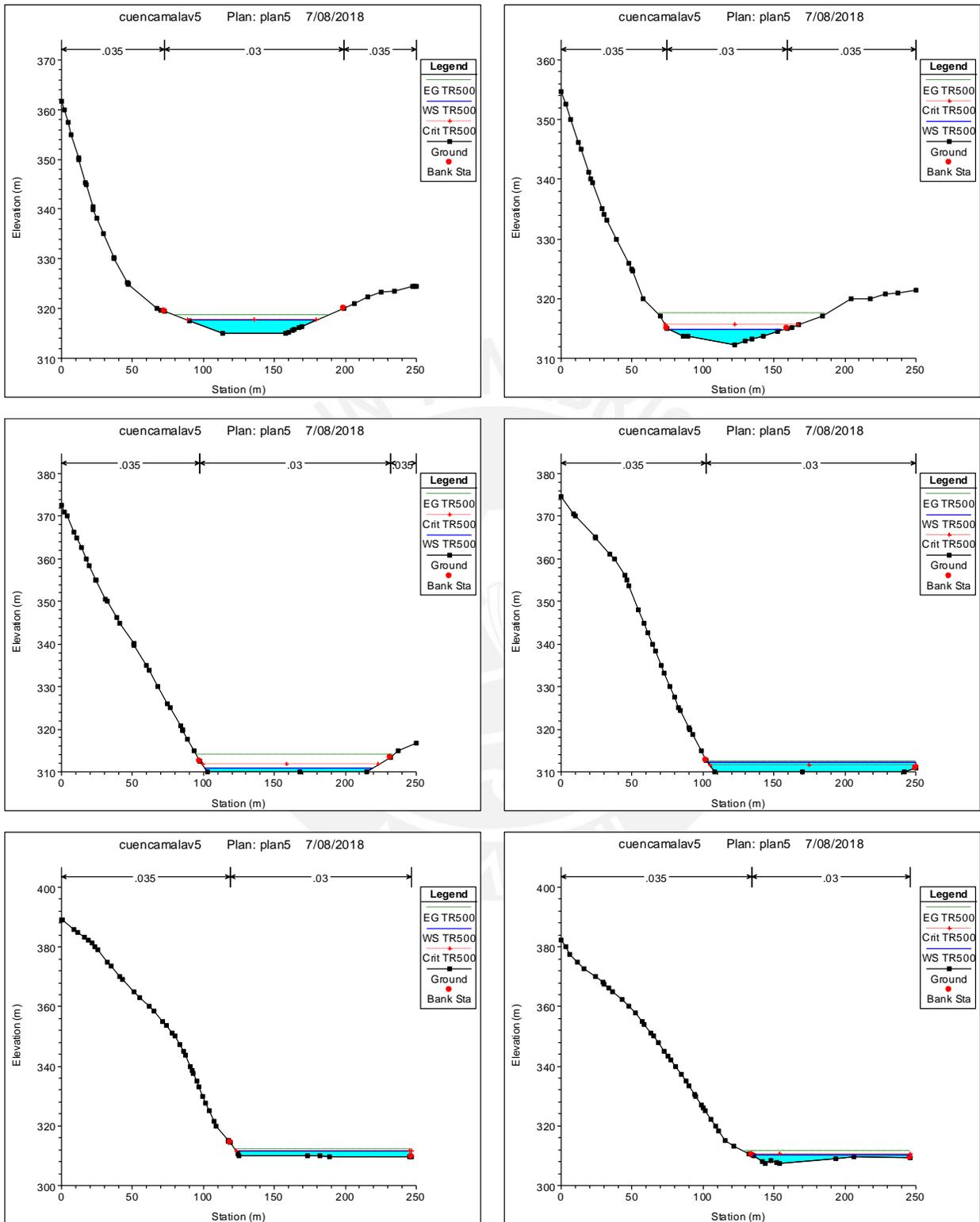


Figura A11. Secciones del río Mala progresiva: 1+500 – 1+950

Fuente: Elaboración propia

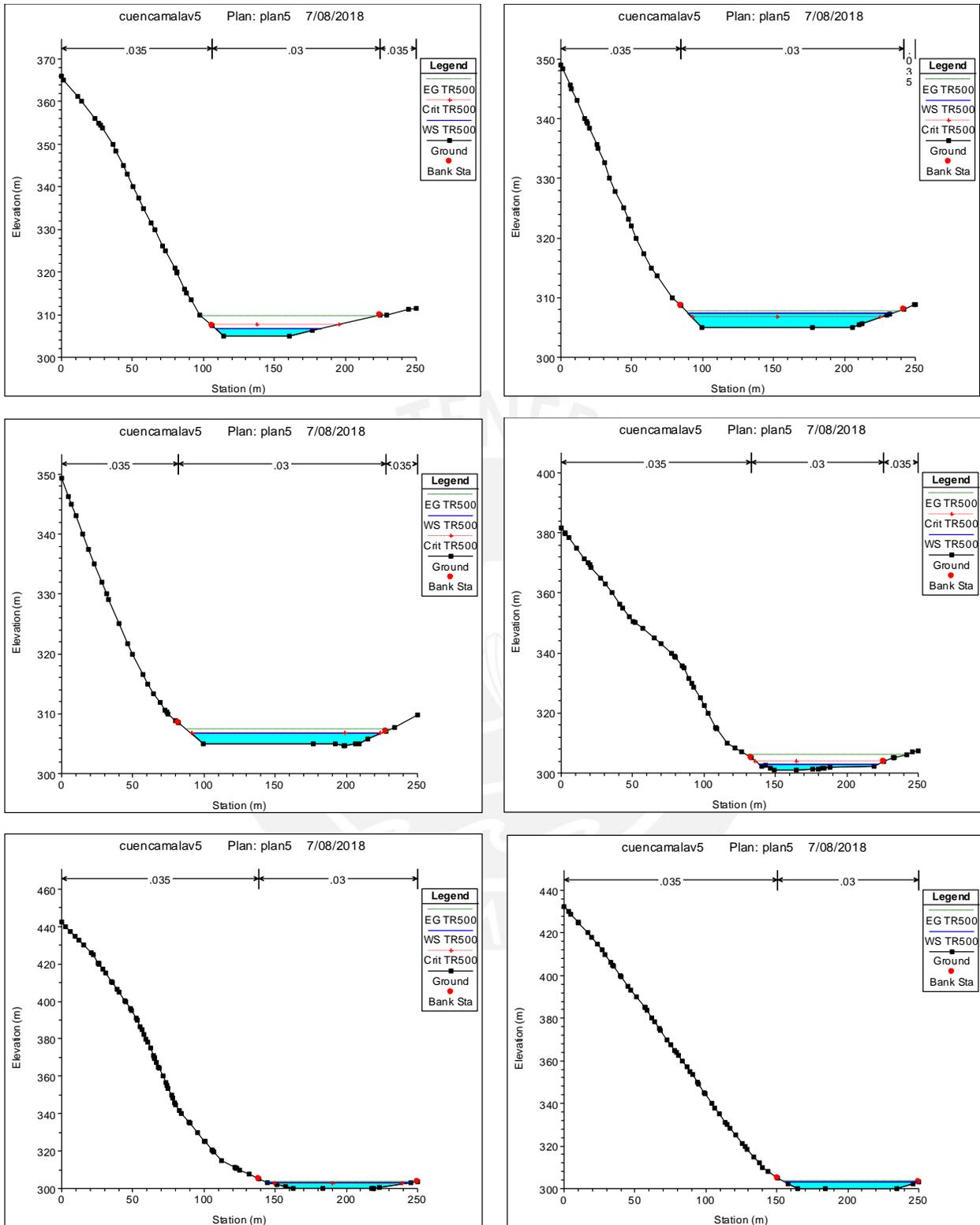


Figura A12. Secciones del río Mala progresiva: 1+050 – 1+500

Fuente: Elaboración propia

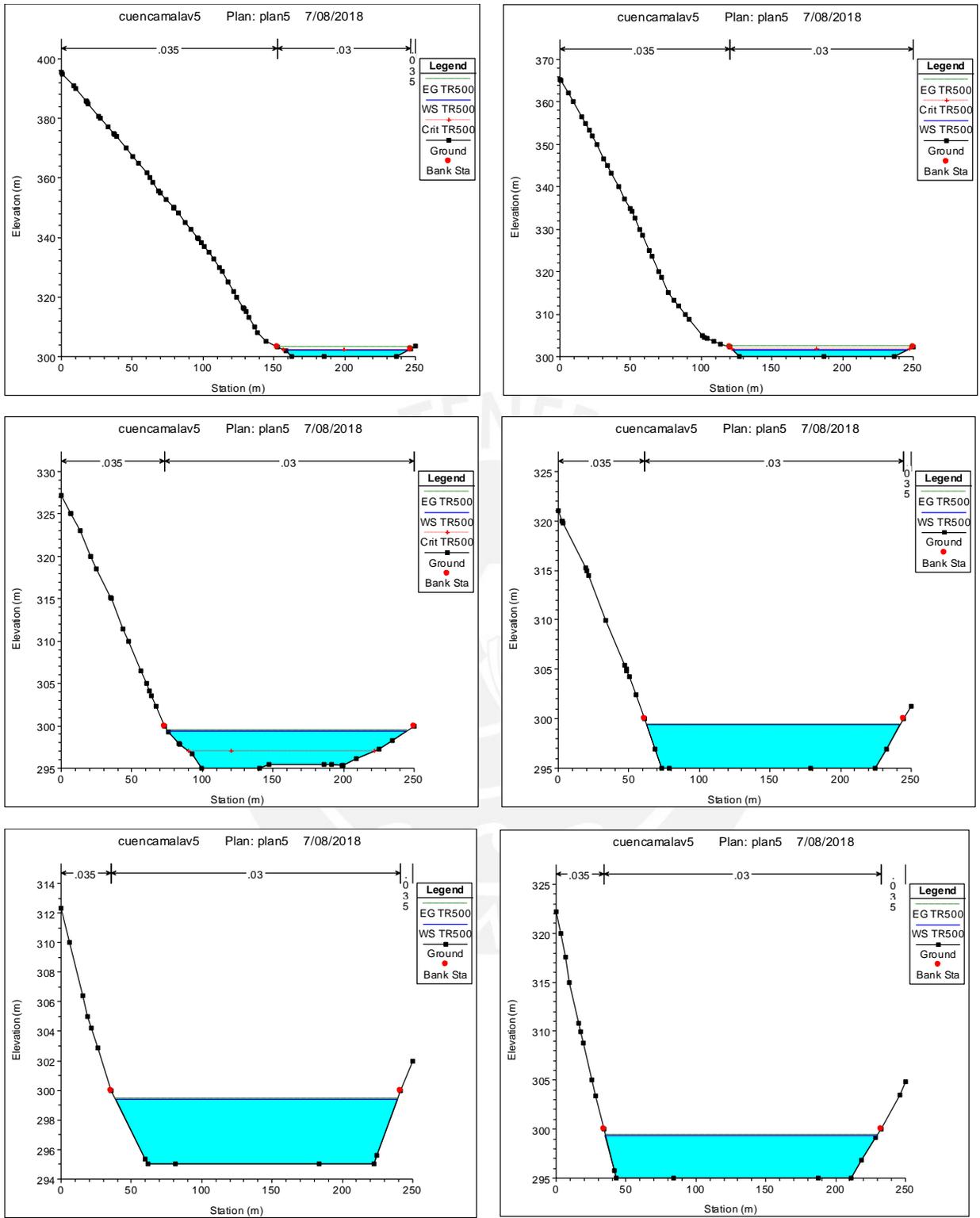


Figura A13. Secciones del río Mala progresiva: 0+600 – 1+050

Fuente: Elaboración propia

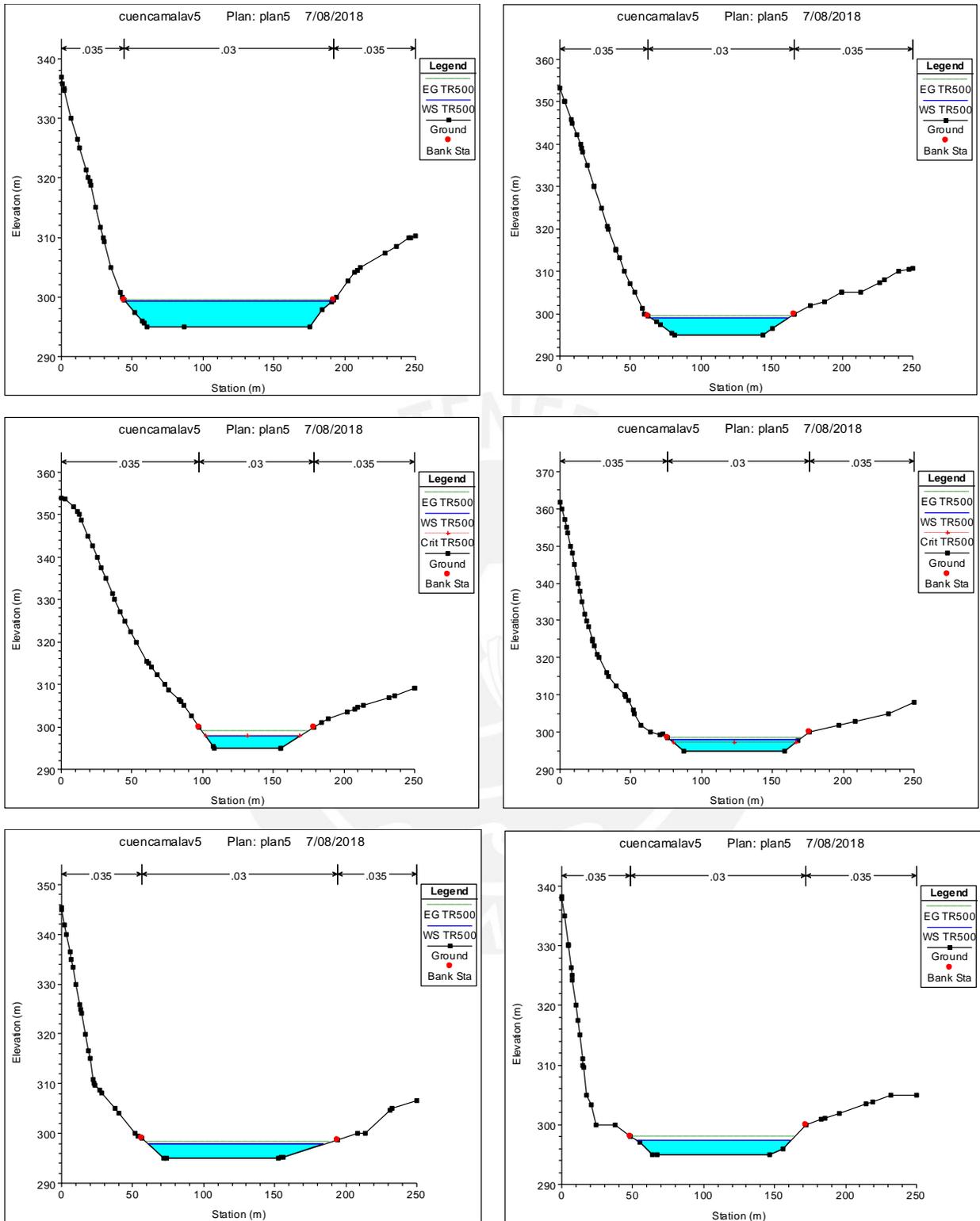


Figura A14. Secciones del río Mala progresiva: 0+140 – 0+600

Fuente: Elaboración propia

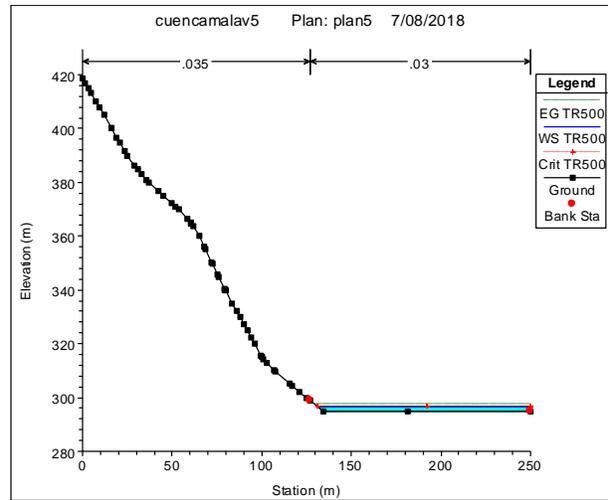
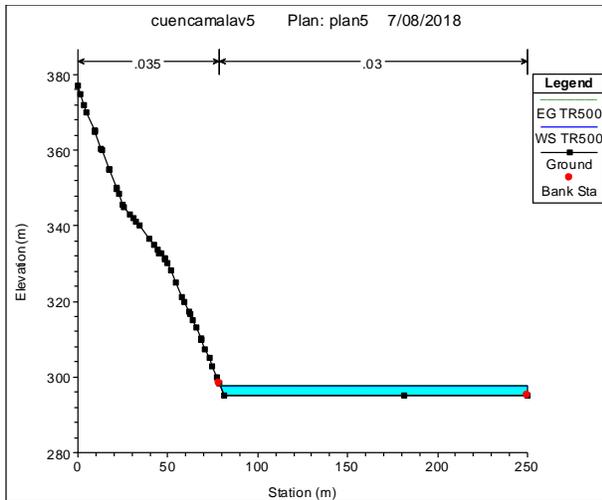


Figura A15. Secciones del río Mala progresiva: 0+000 – 0+140
 Fuente: Elaboración propia



Anexo 10. Imágenes de la zona de estudio en la cuenca del río Mala



Elaboración propia



Elaboración propia

Anexo 11. Valores de tirantes en los mapas de inundación



Figura A16. Mapa de inundación: tirantes para $Tr = 100$ años

Elaboración propia

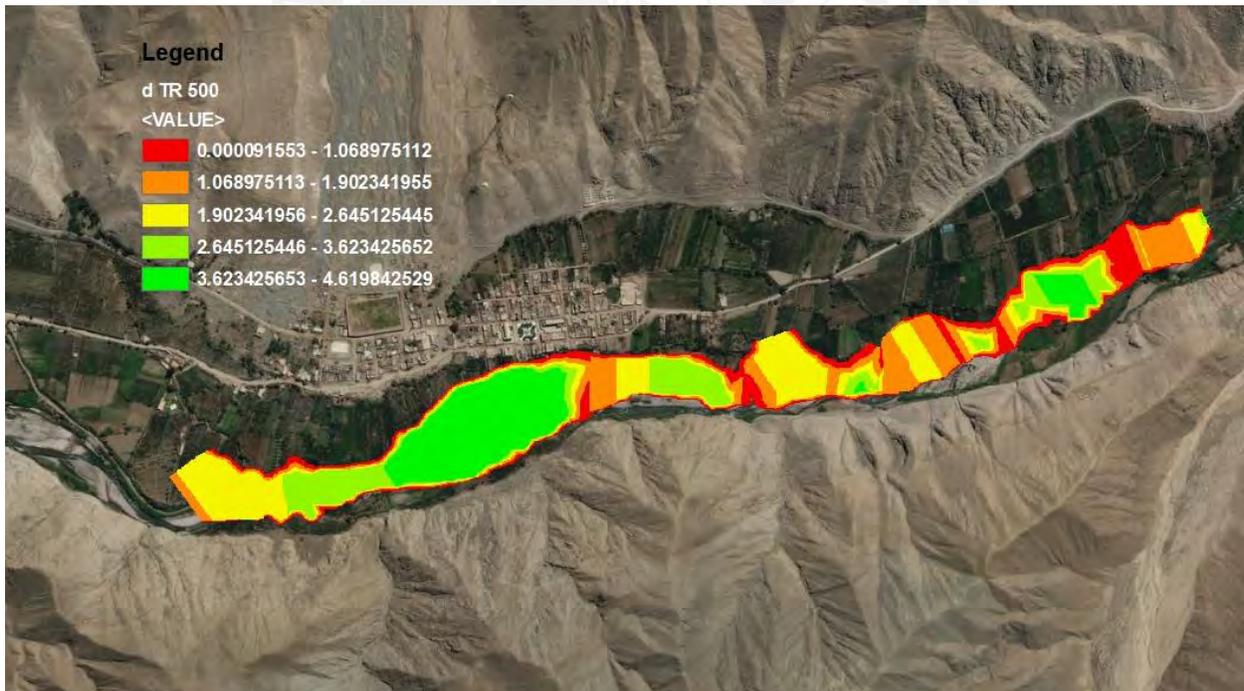


Figura A17. Mapa de inundación: tirantes para $Tr = 500$ años

Elaboración propia