



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Modelamiento hidrológico e hidráulico para el pre-diseño de la defensa ribereña en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón - distrito de Pangoa - departamento Junín

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Carrillo Jacay, Luis Enrique
ORCID: 0000-0002-7977-1806

Campos Grabel, Manuel
ORCID: 0000-0001-8686-0287

ASESOR

Estrada Mendoza, Miguel Luis
ORCID: 0000-0002-8646-3852

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Carrillo Jacay, Luis Enrique

DNI: 48424460

Campos Grabel, Manuel

DNI: 74134820

Datos de asesor

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

Datos del jurado

JURADO 1

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

JURADO 2

Sueldo Mesones, Jaime Pío

DNI: 43703437

ORCID: 0000-0003-3760-8370

JURADO 3

Fano Miranda, Gonzalo Ramcés

DNI: 09178719

ORCID: 0000-0002-4401-8654

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

Modelamiento hidrológico e hidráulico para el pre-diseño de la defensa ribereña en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón - distrito de Pangoa - departamento Junín

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	core.ac.uk Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	3%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
4	vsip.info Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	1%
7	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio.

Carrillo Jacay, Luis Enrique

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Campos Grabel, Manuel

AGRADECIMIENTO

A nuestra casa de estudio la Universidad Ricardo Palma y a nuestros maestros durante nuestra formación como ingenieros civiles; a nuestro asesor PhD. Miguel Luis Estrada Mendoza por su paciencia y apoyo constante durante la investigación y a nuestros familiares por creer en nosotros.

Carrillo, Luis y Campos, Manuel

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Formulación y delimitación del problema	1
1.1.1. Problema Principal	1
1.1.2. Problemas Específicos	2
1.2. Importancia y Justificación del Estudio.....	2
1.3. Objetivo General	3
1.4. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Sistemas de Información Geográfica	4
2.1.2. Modelamiento Hidrológico.....	4
2.1.3. Modelamiento Hidráulico.....	5
2.1.4. Áreas Inundables	5
2.2. Cuenca Hidrológica	6
2.2.1. Clasificación de Cuenca	6
b) En función a la elevación	6
2.2.2. Número de orden de cauce	8
2.2.3. Tiempo de concentración	8
2.2.4. Índice de compacidad o de Gravelius (Ic)	9
2.3. Estadística Hidrológica.....	9
2.3.1. Estimación de datos faltantes.....	9
2.3.2. Medidas de tendencia central	10
2.3.3. Prueba de datos dudosos	10
2.3.4. Análisis de distribución	11
2.3.5. Prueba de bondad de ajuste.....	12
2.3.6. Ajuste gráfico.....	12
2.4. Análisis de tormenta de diseño	12
2.4.1. Elementos del análisis de tormentas	12
2.5. Coeficientes regionales método (IILA-SENAMHI-UNI)	13
2.5.1. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (I-D-F).....	14

2.5.2. Hietograma de precipitación	14
2.5.3. Pérdidas iniciales y constantes (Initial and Constant)	15
2.5.4. Método del número de curva del SCS (SCS Curve Number)	15
2.5.5. Método del número de curva del SCS (SCS Curve Number)	18
2.5.6. Tipos de flujo	18
2.5.7. Según comportamiento del flujo	19
2.5.8. Según la dimensión del flujo.....	19
2.5.9. Componentes de un proyecto en HEC-RAS	20
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS	25
3.1. Antecedentes	25
3.1.1. Hipótesis principal	25
3.1.2. Hipótesis secundarias	25
3.2. Variables.....	25
3.2.1. Definición conceptual de las variables.....	25
3.2.2. Variables independientes	25
3.2.3. Variables dependientes	25
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
4.1. Tipo y método de investigación.....	26
4.2. Diseño de investigación.....	26
4.3. Población y muestra	26
4.3.1. Población de estudio	26
4.3.2. Diseño muestral.....	26
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	26
4.3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.	26
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	28
5.1. Resultados	28
5.2. Estudio topográfico	28
5.3. Estudio Geológico.....	31
5.4. Estudio Hidrológico	32
5.4.1. Geomorfología de la sub cuenca río San ramón	33
5.4.2. Cálculo de caudales máximos	33
5.4.3. Curvas IDF, Distribución de probabilidades pluviométricas.....	35
5.4.4. Hietogramas de precipitación de la estación de Satipo	45
5.5. Modelamiento HEC-RAS	58

5.6. Modelamiento ArcGIS Pro.....	63
5.7. Análisis de Resultados.....	71
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	79
Anexo 1 – Cronograma de actividades.....	79
Anexo 2 – Presupuesto.....	80
Anexo 3 – Matriz de consistencia de la investigación.....	81
Anexo 4 – Datos y resultados del procesamiento de las imágenes del Dron.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la pendiente en Cuenca.....	8
Tabla 2: Numero de Curva	16
Tabla 3: Clasificación hidrológica de los suelos	17
Tabla 4: Valores del coeficiente de Manning para diferentes condiciones de canal	21
Tabla 5: Valores del coeficiente de contracción y expansión	23
Tabla 6: Parámetros geomorfológicos de cuenca.....	33
Tabla 7: Valores de los coeficientes de contracción y expansión	33
Tabla 8: Distribución de probabilidades pluviométricas método de Gumbel	35
Tabla 9: Precipitaciones Diarias Máximas Probables	36
Tabla 10: Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas	36
Tabla 11: Precipitaciones máximas (Pd) para diferentes tiempos de duración de lluvias	36
Tabla 12: Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma	37
Tabla 13: Representación IDF t = 2 años	37
Tabla 14: Representación IDF t = 5 años	38
Tabla 15: Representación IDF t = 10 años	39
Tabla 16: Representación IDF t = 25 años	40
Tabla 17: Representación IDF t = 50 años	41
Tabla 18: Representación IDF t = 100 años	42
Tabla 19: Representación IDF t = 150 años	43
Tabla 20: Resumen regresión potencial.....	44
Tabla 21: Regresión potencial	44
Tabla 22: Tabla de intensidades	45
Tabla 23: Valores de intensidad de precipitación según duración de la misma y frecuencia de repetición	46
Tabla 24: Hietograma para periodo retorno 2 años	47
Tabla 25: Hietograma para periodo retorno 2 años	47
Tabla 26: Hietograma para periodo retorno 5 años	48
Tabla 27: Hietograma para periodo retorno 5 años	48
Tabla 28: Hietograma para periodo retorno 10 años	49

Tabla 29: Hietograma para periodo retorno 10 años	49
Tabla 30: Hietograma para periodo retorno 25 años	50
Tabla 31: Hietograma para periodo retorno 25 años	50
Tabla 32: Hietograma para periodo retorno 50 años	51
Tabla 33: Hietograma para periodo retorno 50 años	51
Tabla 34: Hietograma para periodo retorno 100 años	52
Tabla 35: Hietograma para periodo retorno 100 años	52
Tabla 36: Hietograma para periodo retorno 500 años	53
Tabla 37: Hietograma para periodo retorno 500 años	53
Tabla 38: Valores máximos de caudales para diferentes periodos de retorno.....	57
Tabla 39: Resultados del Hec-Ras a T=500años	71
Tabla 40: Tabla de actividades de investigación	79
Tabla 41: Presupuesto.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Precipitación total a Precipitación efectiva.....	15
Figura 2: Precipitación neta a escorrentía.....	18
Figura 3: Orto mosaico y el modelo digital de la superficie (DSM)	29
Figura 4: Archivo DSM procesada en el ArcGIS.....	29
Figura 5: Curvas de nivel cada 0.5 m	30
Figura 6: Curvas de nivel de sub cuenca río San Ramón	30
Figura 7: Características Geológicas	31
Figura 8: Distribución de microcuencas sub cuenca río San Ramón	32
Figura 9: Curva IDF intensidad vs duración t=2años.....	38
Figura 10: Curva IDF intensidad vs duración t=5años.....	39
Figura 11: Curva IDF intensidad vs duración t=10años.....	40
Figura 12: Curva IDF intensidad vs duración t=25años.....	41
Figura 13: Curva IDF intensidad vs duración t=50años.....	42
Figura 14: Curva IDF intensidad vs duración t=100años.....	43
Figura 15: Curva IDF intensidad vs duración t=150años.....	44
Figura 16: Curva IDF cuenca	45
Figura 17: Hietograma precipitación t=2años	54
Figura 18: Hietograma precipitación t=5años	54
Figura 19: Hietograma precipitación t=10años	55
Figura 20: Hietograma precipitación t=25años	55
Figura 21: Hietograma precipitación t=50años	56
Figura 22: Hietograma precipitación t=100años	56
Figura 23: Hietograma precipitación t=500años	57
Figura 24: Hidrograma para diferentes tiempos de retorno.....	58
Figura 25: Río San Ramón área, área urbana	58
Figura 26: Río San Ramón área, área urbana progresiva 6760m.....	59
Figura 27: Río San Ramón área, área urbana progresiva 3380m.....	60
Figura 28: Río San Ramón área, área urbana progresiva 2560m.....	61
Figura 29: Río San Ramón área, vista en planta.....	62
Figura 30: Río San Ramón área, vista en planta.....	63
Figura 31: Superficie de Sub cuenca río San Ramón	64
Figura 32: Intercepción de DEM en una sola capa.....	64

Figura 33: Dirección de esorrentía de sub cuenca San Ramón	65
Figura 34: Delimitación de Sub cuenca río San Ramón.....	65
Figura 35: Demarcación de flujo del agua.....	66
Figura 36: Demarcación de sub cuenca vista en planta.....	66
Figura 37: Áreas inundables caudal máximo para T=500años	67
Figura 38: Río San Ramón área, vista de la defensa ribereña con el catastro	68
Figura 39: Río San Ramón vista de lotes afectadas por inundación	69
Figura 40: Vista del Río San Ramón en 3D con gaviones de altura de 5m.....	70
Figura 41: Vista del Río San Ramón en 3D con sus gaviones de altura de 5m	70

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico para el pre diseño de la defensa ribereña en el tramo Playa de Oro-Puente San Ramón-Distrito de San Ramón departamento Junín. En este sentido, se propone realizar la investigación titulada "Modelamiento hidrológico e hidráulico para el pre-diseño de la defensa ribereña en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón – distrito de Pangoa - departamento Junín". Para la presente investigación se utilizaron diferentes herramientas y métodos de cálculos iniciando un estudio topográfico realizado con el vuelo de dron, y el estudio geológico se usaron boletines de estudio realizados por el INGEMET. Se realizó el estudio hidrológico del tramo Playa de Oro - puente San Ramón para lo cual se determinó los parámetros morfológicos con el software ArcGIS Pro. Para la obtención de los caudales máximos se recopilaron los datos históricos de las precipitaciones máximas en 24 horas de la Estación Meteorológica de Satipo – SENAMHI. Además, se utilizó la herramienta HEC RAS v6.3.1 para calcular los tirantes máximos en el tramo de estudio. Los principales resultados del levantamiento Aero fotogramétrico, realizado por aeronaves Pilotadas a distancia (RPA) en una longitud de 6.95 km y un ancho de 400 m, cubriendo los sectores de la población urbana del río San Ramón. Además, se propone un esquema de diseño de defensa ribereña por lo que se propone el diseño de una defensa ribereña tipo enrocado.

ABSTRACT

The objective of the research is to carry out the hydrological and hydraulic modeling for the pre-design of the river defense in the section Playa de Oro-Puente San Ramón-District of San Ramón, department of Junín. In this sense, it is proposed to carry out the investigation entitled "Hydrological and hydraulic modeling for the pre-design of the river defense in the stretch of Playa de Oro - San Ramón bridge - Pangoa district - Junin department". For the present investigation, different tools and calculation methods were used, starting a topographic study carried out with a drone flight, Civil 3D v2017, Google Earth Pro 2020 and the geological study, study bulletins carried out by INGEMET were used. The hydrological study of the Playa de Oro - San Ramón bridge section was carried out, for which the morphological parameters were determined with the ArcGIS v10.5 software. While to obtain the maximum flows, the historical data of the maximum rainfall in 24 hours from the Satipo Meteorological Station - SENAMHI were collected. In addition, the HEC RAS v4.10 tool was used to calculate the maximum depths in the study section. The main results of the aerial photogrammetric survey, carried out by Remotely Piloted Aircraft (RPA), fixed wing and multicopter (Phantom 4 pro) in a length of 6,950 m and a width of 400 m, covering the sectors of the urban population of the San Ramón. In addition, a design of the most appropriate river defense is proposed, for which the most optimal design was made, the design of a rock-cast type river defense.

INTRODUCCIÓN

El término desastre natural hace referencia a las enormes pérdidas materiales y de vidas humanas generadas por eventos o fenómenos naturales, como es el caso de las inundaciones, ocasionadas por el estancamiento de agua de las lluvias intensas sobre áreas planas, desbordamiento de corrientes naturales, ciénagas, sedimentación, deslizamientos, y obstáculos al flujo por construcción de obras civiles como: puentes, obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos para la explotación de material aluvial.

Las inundaciones son fenómenos naturales que suelen presentarse con frecuencia año tras año en la selva central del Perú, el distrito de San Martín de Pangoa no es ajeno a esta realidad, siendo el río San Ramón un generador de pérdidas económicas y humanas, Registrados en el año 1996. El gobierno local no cuenta con un plan de desarrollo urbano acorde a la mitigación de desastres y la conservación ambiental, ya que permiten que las personas habiten y construyan sus viviendas en las riberas del río.

Los softwares libres HEC-HMS (Hydrology Engineering Center – Hydrology Modeling System) y HEC-RAS (Hydrology Engineering Center - River Analysis System) ambos de origen estadounidense desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), determinan los caudales máximos y los perfiles de la lámina de agua por ende las áreas inundables por desbordamiento del río.

En el capítulo I se menciona el problema general y problema específicos, los objetivos generales y específicos, además, las limitaciones y justificaciones de la investigación.

En el capítulo II se realizó el marco teórico, antecedentes del estudio en el margen internacional y nacional, estructura teórica y científica las cuales sirven como base para la discusión y planteamiento de la hipótesis. Finalmente se redactó el sistema de hipótesis, la relación de variables dependientes e independientes.

En el capítulo III se planteó la hipótesis generales y específicas.

En el capítulo IV se menciona el tipo y método de investigación, la población y muestra de estudio, técnicas y procedimientos de recolección de datos.

En el capítulo V se realizó la resultados y análisis de resultados, detallando la información preliminar como la topografía, geología e hidrología necesarios para el modelamiento en el software HEC RAS y posteriormente el desarrollo de una propuesta de defensa ribereña según la zona de inundación indicadas en el HEC RAS.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación y delimitación del problema

En los últimos años en el mundo se ha sentido el cambio climático transformando toda la morfología de la tierra. El Perú no ha sido indiferente a estos cambios, es por eso que el ser humano se ha visto en la necesidad de proteger las zonas de interés donde desarrolla su economía. En la provincia de Satipo y sus distritos las lluvias intensas de noviembre a marzo provocan catástrofes constantemente. Las constantes variaciones del caudal del río San Ramón, debido a las intensas lluvias que suceden en la zona, en estos meses, han ocasionado la erosión de la ribera y esta compromete el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón. En las cuencas desprotegidas, esto se ha traducido en un acelerado proceso erosivo de su cauce, así como el posible riesgo de pérdida de vidas humanas y la de bienes materiales que se encuentran ubicados en la margen derecha del río. La situación se describe como crítica debido a que el río (por la margen derecha) ha sufrido en los últimos años, erosión en los taludes del cauce con la pérdida de terrenos urbanos e inundaciones continuas, afectando seriamente las áreas marginales. Normalmente, en las márgenes de los ríos se implantan áreas agrícolas y centros poblados con obras civiles. Usualmente se adaptan los proyectos, según su funcionalidad en otras zonas con similares características y no parten de información real del tramo, como estudios hidrológicos, sedimentológicos etc. Esto conlleva a un replanteo total de los sistemas de análisis, diseño y construcción empleados hasta ahora. Es así que una propuesta de defensa ribereña que incluye todos los procedimientos necesarios para un adecuado estudio, puede ser la respuesta para controlar los impactos de caudales máximos que ocurren frecuentemente.

1.1.1. Problema Principal

¿En qué medida, a través del procesamiento de imágenes satelitales topográficas e imágenes de dron se puede determinar las áreas de inundación para diferentes caudales del río San Ramón en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón?

1.1.2. Problemas Específicos

- a) ¿En qué medida los diferentes tiempos de retorno determinan los caudales máximos en el río San Ramón en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón?
- b) ¿En qué medida la integración de los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron determinan las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón?
- c) ¿En qué medida las alturas máximas de inundación permiten elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón?

1.2. Importancia y Justificación del Estudio

Basado en el plano de riesgos naturales elaborado por el instituto nacional de Defensa civil –INDECI, el riesgo primordial que afecta al distrito de San Martín de Pangoa en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón son el peligro de inundación y erosión (deslizamiento), la cual afecta a 160 viviendas, tres centros educativos, 900 m. de longitud de la vía vecinal San Ramón – Pangoa, cuatro puentes, agua y desagüe. Ocasionando una gran dificultad para los pobladores que están en las zonas limítrofes al río San Ramón y río Mazamari. Una inundación y erosión (deslizamiento) evita el desarrollo económico, social, asimismo genera pérdidas en la agricultura y ganadería, siendo estos el origen de los ingresos del distrito de San Martín de Pangoa. El proceso de la actual tesis se enfocará en plantear mapas temáticos para un mejor desarrollo del análisis hidráulico en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón y realizar mapas de riesgos de inundaciones y de esta manera diseñar defensas ribereñas que eviten el desbordamiento y que se zonifique las zonas con riesgo de inundación. Salvaguardar con defensas ribereñas evitaría el desbordamiento y posibles impactos ambientales negativos.

El estado desempeña un papel muy significativo mediante el INDECI quien ofrece sostén a las comunidades, afectadas por estos fenómenos naturales, transportando alimentos de primera necesidad, frazadas, carpas entre otros.

1.3. Objetivo General

Determinar las áreas de inundación para diferentes caudales del río San Ramón en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón a través del procesamiento de imágenes satelitales topográficas e imágenes de dron.

1.4. Objetivos Específicos

- a) Determinar los caudales máximos en el río San Ramón para los diferentes tiempos de retorno en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón.
- b) Integrar los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron para la determinación de las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón.
- c) Elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón basadas en las alturas máximas de inundación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los desbordamientos son desastres naturales que se producen con frecuencia y generan un gran costo en pérdidas humanas y económicas, se requiere de un panorama rápido y en tiempo real de la amplitud del desastre. La tecnología del método del medio de nota geográfica (SIG) es un método que, a través de imágenes procesadas y antecedentes geográficos, apoyado en una base de datos, del memorial en el cual existimos, que nos brinda información para interpretar los fenómenos naturales que habitualmente enfrentamos. El SIG, con la ayuda de distintos softwares es utilizado para determinar espacios potenciales de desborde y delinear las posibles avenidas, obteniendo modelos hidrológicos y a su vez imágenes aéreas en una diversidad de gráficos satelitales.

2.1.1. Sistemas de Información Geográfica

Quispe & Sullca, (2015) en su investigación de tesis “Aplicación del modelo matemático HEC-RAS para el cálculo del perfil hidráulico del río Ramis” nos explica que las inundaciones son desastres que se generan con frecuencia y tienen un alto valor en cuanto a pérdidas humanas y económicas se refiere. En la actualidad existen variedad de métodos para predecir inundaciones como los sistemas de información geográfica que son usados para diagnosticar sitios de posibles desbordes y planificar acciones para mitigar la ocurrencia de inundaciones, integrando modelos hidráulicos e hidrológicos, así como fotografías aéreas e imágenes por satélite.

2.1.2. Modelamiento Hidrológico

Velásquez, (2015) se empleó el software HEC-HMS para llevar a cabo el modelamiento hidrológico, mediante el hidrograma sintético de la SCS (Servicio de Conservación de Suelos) convirtió la precipitación neta en escurrimiento superficial, resultando de esta acción un caudal pico de 674 m³/s, para un periodo de retorno de 200 años.

Hurtado, (2017) en su investigación de tesis “Modelamiento hidráulico bidimensional del río Rímac en el sector Huachipa, tramo Km 27+450 al KM 28+525”, efectuó el modelamiento de máximas avenidas mediante el método del Número de Curva (SCS) para la obtención del hidrograma de escurrimiento directo, se empleó el software HEC-HMS en conjunto con las

herramientas SIG. Los resultados obtenidos para un periodo de retorno de 100 años muestran un caudal pico de $670.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.1.3. Modelamiento Hidráulico

Velásquez, (2015) en su investigación de tesis elaboró el modelamiento hidráulico haciendo uso del software HEC-RAS, alcanzando resultados de los tirantes normales máximos los cuales se presentan en las secciones con progresivas 0+680 Km, 1+520 Km, 1+580 Km, para un periodo de retorno de 200 años, resultando 6.29 m, 7.16 m, 6.06 m respectivamente.

Hurtado, (2017) desarrolló el análisis de la modelación hidráulica unidimensional y bidimensional con el software HEC-RAS para un periodo de retorno de 100 años, teniendo en cuenta el intervalo de tiempo de simulación, el mallado computacional y el análisis del uso de suelos. Concluyendo para el caso del río Pativilca el modelo 2D representa mejor el proceso físico de avenidas en el cauce y las llanuras de inundación a diferencia del modelo 1D que no logra representar los flujos laterales en las llanuras de inundación.

2.1.4. Áreas Inundables

Velásquez, (2015) en su investigación realizó la simulación para un periodo de retorno de 200 años y una máxima avenida de $674 \text{ m}^3/\text{s}$, obteniendo mapas de inundación del asentamiento humano Las Flores, concluyendo que se vería ampliamente afectado por una inundación generada por el caudal pico mencionado, ocasionando que el río Santa se incremente en 10 metros dentro del área de estudio y las zonas pobladas aledañas en promedio, generándose daños materiales y la posibilidad de presentarse pérdidas humanas si no se cumple con una alerta temprana para la evacuación de la zona.

Hurtado, (2017) determinó en su investigación para un caudal circulante extraordinario asociado a un periodo de retorno de 100 años el área de afectación es de 93.84 ha. que en su mayoría son predios agrícolas que ocupan el lecho inundable en ambas márgenes del río Pativilca, en el tramo de estudio existe afectación urbana parcial cercanas al centro poblado Simón Bolívar (margen derecha) y el asentamiento humano Nueva Esperanza (margen izquierda), sin embargo, en ambos casos los valores del tirante y velocidades no sobrepasan las condiciones hidráulicas para considerarlas como zonas de peligro.

Gutiérrez, (2018) en su investigación de tesis “Comparación de los modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales en el análisis de inundaciones en el río Virú”, determinó 5 puntos críticos a tener en cuenta de darse una inundación. Resultando 13 ha en el modelo HEC-RAS y 17 ha en el modelo IBER, a lo largo de los 10 Km del tramo del río para un periodo de retorno de 200 años. Asimismo, llevo a cabo un estudio de pérdidas ocasionadas por la inundación, el cual tomó como parámetros el área inundada, el rendimiento de cosecha por ha. y el volumen de la producción y costo del terreno.

2.2. Cuenca Hidrológica

La cuenca es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

2.2.1. Clasificación de Cuenca

a) En relación al tamaño.

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuencas grandes y pequeñas.

- Cuenca Grande

Es aquella cuenca donde su área es mayor a 250 km², predominan las características fisiográficas.

- Cuenca Pequeña

Es aquella cuenca donde su área es menor a 250 km², la forma y la cantidad de escurrimiento está influenciado por las características físicas. La cuenca pequeña responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración.

b) En función a la elevación

Una cuenca se puede por la elevación, en cuencas altas, medio y baja.

- Cuenca Alta

Llamado como cuenca cabecera o de recepción de la cuenca; por su posición, capta y almacena en los nevados y glaciares de sus cumbres, y en las lagunas y represamientos de las altiplanicies, la mayor parte de los aportes de la precipitación; además, tiene una cobertura vegetal típica de pastos o bosques y una menor presión demográfica.

- Cuenca Media

De mayor pendiente relativa, con un caudal caracterizado por torrentes turbulentos, también se denomina zona de transporte de sedimentos o de escurrimiento.

- Cuenca Baja

Cuenca de menor pendiente relativa, con un caudal de flujo continuo, cauce definido y amplia planicie de inundación, suele llamarse como de deyección o zona de depósito.

c) Parámetros Geomorfológicos de Cuenca

La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que a través de ecuaciones matemáticas sirven de referencia para la clasificación.

- Área (A)

Es el área plana en proyección horizontal, de forma muy irregular, obtenida después de delimitar la cuenca; se reporta en kilómetros cuadrados, excepto las cuencas pequeñas que se expresan en hectáreas. En la actualidad existen diversos y variedad de software que nos permiten determinar con mayor precisión longitudes y superficies de las cuencas. Entre los paquetes computacionales. SIG y CAD. (Cahuana & Yugar, 2009).

- Perímetro (P)

Borde de contorno proyectada en un plano horizontal, de forma irregular y se obtiene después de delimitar la cuenca. (Villón, 2011).

- Longitud de Cuenca (lc)

La longitud de la cuenca, es la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta. (Cahuana & Yugar, 2009).

- Longitud de Cauce (Lc)

Es el máximo recorrido de la escorrentía de la cuenca o como la distancia entre la fuente más lejana y el nudo. (Cahuana & Yugar, 2009).

- Pendiente de Cauce

Es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones. Resulta del coeficiente entre la diferencia de alturas (m) y su longitud de cauce principal. (Lc) (Villón, 2011).

- Pendiente de la Cuenca

Tiene una relación importante y compleja con la infiltración del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tienen una importancia directa en relación a las crecidas. (Villón, 2011).

Tabla 1
Clasificación de la pendiente en Cuenca

Pendiente (%)	Tipo de Terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Fuente: Fuente: (Cahuana & Yugar, 2009)

2.2.2. Número de orden de cauce

Es el número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. Existen diversos criterios para el ordenamiento de los cauces de la red de drenaje en una cuenca hidrográfica. El sistema de Strahler, todos los cauces serán tributarios, el río en este sistema no mantiene el mismo orden en toda su extensión y el orden de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal. (Cahuana & Yugar, 2009).

2.2.3. Tiempo de concentración

Es el tiempo necesario para que todo el sistema (cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. Comúnmente el tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta la salida del desagüe.

(Cahuana & Yugar, 2009). Formula de Kirpich (1942) desarrollada a partir de la información SCS para pequeñas cuencas.

Ecuación 1: Tiempo de concentración

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L_c^3}{\sqrt{A}} \right)^{0.385}$$

Dónde:

Lc: Longitud de cauce

A: Área delimitada de la cuenca

2.2.4. Índice de compacidad o de Gravelius (Ic)

Es el coeficiente entre el perímetro de la cuenca en (km) respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca (km²). (Cahuana & Yugar, 2009).

Ecuación 2: Índice de compacidad

$$I_c = 0.282 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Dónde:

P: Perímetro de cuenca

A: Área delimitada de la cuenca

Si $I_c = 1$ la cuenca es de forma regular y circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma de hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

Si I_c es diferente a 1 la cuenca es irregular (I_c grande es menos susceptible a inundaciones) (Cahuana & Yugar, 2009).

2.3. Estadística Hidrológica

La información pluviométrica o pluviográfica antes de ser estudiada en su comportamiento debe ser revisada y analizada en tres aspectos importante: si los datos de la estación son *completos*, si es *consistente* y si es de *extensión suficiente*. (Cahuana & Yugar, 2009).

2.3.1. Estimación de datos faltantes

Muchas veces las estaciones pueden dejar de registrar información en algunos periodos de tiempo, debido a fallas en los instrumentos o por ausencia del observador. Esta información dejada de registrar puede ser indispensable para

el análisis de fenómenos que involucren la precipitación, por tanto, existen métodos sencillos para la estimación de la información pluviométrica faltante. (Cahuana & Yugar, 2009).

2.3.2. Medidas de tendencia central

Se define como un índice de localización central, empleado en la descripción de las distribuciones de frecuencia. (Villón, 2011).

- Media aritmética

Dada la muestra compuesta de n datos, la media se define como la suma algebraica de ellas, dividida entre el número de datos. (Villón, 2011).

- Mediana

Es un valor único de un conjunto de datos que mide al elemento central en los datos. Este único elemento de datos ordenados, es el más cercano a la mitad. (Villón, 2011).

- Medidas de dispersión

Permiten observar cómo se reparten o dispersan los datos a uno y otro lado del centro. Si la dispersión es poca, indica gran uniformidad de los datos en la distribución. Por el contrario, gran dispersión indica poca uniformidad. (Villón, 2011).

- Varianza

La varianza muestral (S^2), se obtiene dividiendo la suma de cuadrados de las observaciones de los datos con respecto a la media, entre el número total de datos menos uno. (Villón, 2011).

- Desviación estándar

La desviación estándar (S), se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza. (Villón, 2011).

2.3.3. Prueba de datos dudosos

Método planteado por Water Resource Council, quien recomienda la prueba de datos dudosos que vienen a ser puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente de muestras pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos

requieren un criterio que involucra consideraciones matemáticas e hidrológicas. (Chow, Mays, & Maidment, 1994).

Según la siguiente ecuación podemos detectar datos dudosos.

Ecuación 3: Umbral de dato dudoso total

$$Xh = \bar{x} + Kn * s$$

Dónde:

\bar{x} : Media aritmética

Kn : Valores de registro histórico de la precipitación máxima en 24 horas.

Ecuación 4: Umbral de dato dudoso bajo

$$Xl = \bar{x} + Kn * s$$

Dónde:

\bar{x} : Media aritmética

Kn : Valores de registro histórico de la precipitación máxima en 24 horas.

2.3.4. Análisis de distribución

Desde la posición de Villón Béjar (2006d), considera que el hidrólogo generalmente tendrá disponible un registro de datos hidrometeorológicos (precipitación, caudales, evapotranspiración, temperaturas, etc.). Mediante su conocimiento del problema físico, escogerá un modelo probabilístico que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable. Para utilizar estos modelos probabilísticos se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste. Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias, además, se podrá predecir con determinada probabilidad la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológicos. (p. 193).

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal
- Distribución Pearson tipo III
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel

2.3.5. Prueba de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste, consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados con base en los valores neutrales. (Villón, 2011).

2.3.6. Ajuste gráfico

Comparar gráficamente la función acumulada de la serie de datos, con la función acumulada teórica seleccionada, dibujada en papel milimétrico, y decidir visualmente si hay o no ajuste. (Villón, 2011).

2.4. Análisis de tormenta de diseño

Una tormenta es un conjunto de lluvias de características bien definidas que pueden durar desde pocos minutos hasta varias horas y ocupar extensiones de terrenos desde pequeñas zonas hasta varias regiones. Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Las tormentas de diseño pueden fundamentarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes. Su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación en el método racional para determinar los caudales, hasta el uso de hietogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia - escorrentía.

2.4.1. Elementos del análisis de tormentas

- Intensidad

La cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado, ella es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo.

- Duración

El tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Es preferible definir el periodo de duración, ya que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas.

- Frecuencia

Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración determinada en un periodo de tiempo más o menos largo, normalmente en años.

- Periodo de retorno

Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia.

2.5. Coeficientes regionales método (IILA-SENAMHI-UNI)

Son escasas las estaciones que ofrecen información automatizada de registros pluviales, por lo que existe bastante dispersión en los datos. Con el método IILA, la intensidad de lluvia que tiene una duración t en horas, para un periodo de retorno T en años.

- Precipitación

Ecuación 5 Precipitación por intervalos

Para $t < 3$ horas

$$\frac{p_t}{p_{24H}} = \left(\frac{t + b}{24} \right)^n$$

Para un $3 < t < 24$ horas

$$\frac{p_t}{p_{24H}} = \left(\frac{t}{24} \right)^n$$

Donde:

t = tiempo duración (*min*)

b = parámetro de duración por región (*hr*)

n = parámetro de duración

- Intensidad

Ecuación 6: Precipitación por intervalos

Para $t < 3$ horas

$$\frac{I_t}{I_{24H}} = \left(\frac{t + b}{24} \right)^{n-1}$$

Para un $3 < t < 24$ horas

$$\frac{I_t}{I_{24H}} = \left(\frac{t}{24} \right)^{n-1}$$

Donde:

t = tiempo duración (*min*)

b = parámetro de duración por región (*hr*)

n = parámetro de duración

2.5.1. Curva Intensidad - Duración - Frecuencia (I-D-F)

Las curvas IDF representan una formulación matemática que relaciona la intensidad de precipitación, la duración, y el periodo de retorno (Koutsoyiannis et al., 1998). Normalmente, existe dos formas de analizar extremos. El primer enfoque es por bloque máximo, ej., máximo de un mes o un año frecuentemente utilizados en hidrología, y utilizando la distribución general de extremos (GEV) para ajustar las intensidades máximas. El segundo enfoque es usar datos de lluvia sobre cierto umbral (POT por sus siglas en ingles). Para este segundo enfoque, normalmente se utiliza la distribución de Pareto en el ajuste de los máximos.

Ecuación 7: Intensidad de precipitación

$$I_{\max} = \frac{P_{\max}}{t}$$

Donde:

I_{\max} = intensidad máxima (*mm/hr*)

P_{\max} = precipitación o lámina de agua (*mm*)

t = tiempo (*hr*)

2.5.2. Hietograma de precipitación

Gráfico de barras que expresa precipitación en función del tiempo en intervalos regulares de tiempo. El intervalo de tiempo se aplica en función del tamaño de la cuenca, para cuencas pequeñas se utiliza intervalos de minutos

a horas, y para cuencas grandes los intervalos son normalmente en horas. Los hietogramas son frecuentemente utilizados en el diseño de tormenta, para el estudio de caudales máximos, y se deriva de la curva de masa. El área bajo el histograma representa la precipitación total recibida en ese periodo. Modelo Hidrológico en HEC-HMS calcula que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa, el cual es el resultado de descontar de la precipitación, el agua captada por la vegetación, infiltrada en el suelo almacenada en la superficie del mismo, evaporada desde diferentes superficies o transpirada a través de las plantas. Para esto HEC-HMS usa modelos tales como: pérdidas iniciales - constantes y el modelo del número de curva del SCS, este último el más utilizado. (Villón, 2010).

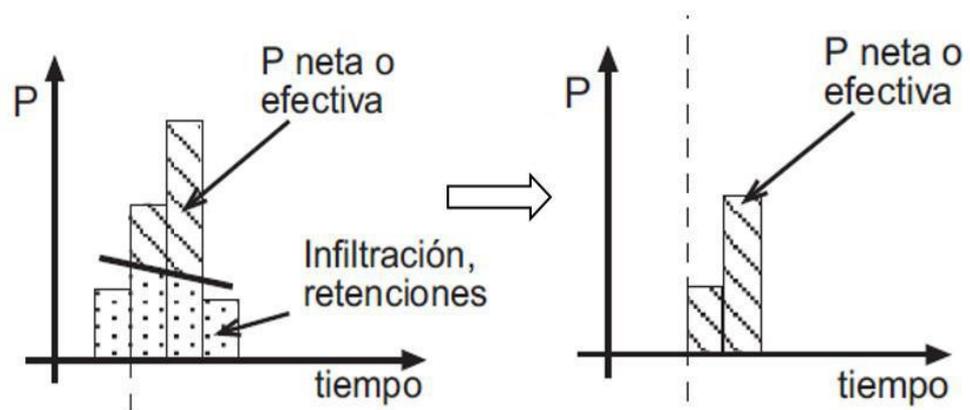


Figura 1: Precipitación total a Precipitación efectiva
Fuente: HEC-HMS ejemplos (Villón, 2010)

2.5.3. Pérdidas iniciales y constantes (Initial and Constant)

Este modelo asume un umbral de precipitación, por debajo del cual no hay exceso de precipitación (precipitación neta). Después que las pérdidas iniciales son satisfechas, se asume una tasa constante de pérdidas, por encima del citado umbral, durante el resto de la tormenta.

2.5.4. Método del número de curva del SCS (SCS Curve Number)

Este modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, el cual es un es un parámetro empírico estimado de la combinación del tipo de suelo, cobertura vegetal y la condición de humedad antecedente del suelo (AMC) El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar infiltración potencial

(S) a partir del número de curva (CN), y las abstracciones iniciales o pérdidas iniciales (I_a). (Villón, 2010).

Ecuación 8: Abstracciones iniciales

$$I_a = 0.2S$$

Donde:

S = infiltración potencial máxima (mm)

Ecuación 9 Infiltración máxima

$$I_a = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

CN = Curva número

Ecuación 10 Infiltración máxima

$$I_a = \frac{5080}{CN} - 50.8$$

Donde:

CN = Curva número

Tabla 2
Numero de Curva

Uso de la Tierra	Tratamiento o Práctica	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivo	Surcos Rectos	----	77	86	91	94
	Surcos Rectos	pobre	72	81	88	91
	Surcos Rectos	buena	67	78	85	89
	Curva de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curva de nivel	buena	65	75	82	86
Cultivos	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos Rectos	pobre	65	76	84	88
	Surcos Rectos	buena	63	75	83	87
	Curva de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curva de nivel	buena	61	73	81	84

	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
	Surcos Rectos	pobre	66	77	85	89
	Surcos Rectos	buena	58	72	81	85
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Curva de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curva de nivel	buena	55	29	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		pobre	68	79	86	89
		regular	49	69	79	84
		buena	39	61	74	80
	Curva de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curva de nivel	regular	25	69	75	83
Pradera	Curva de nivel	buena	6	35	70	79
		buena	30	58	71	78
Bosques		pobre	45	66	77	83
		regular	36	60	73	79
Pacios		buena	25	55	70	77
		---	59	74	82	86
Caminos, incluyendo derecho de vía	Cieno	---	72	82	87	89
	Superficie firme	---	74	84	90	92

Fuente: Hidrología (Villon,2011)

Tabla 3
Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de Suelos	Descripción
A Infiltración entre 7.62 – 11.43 mm/hr	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento), aun cuando están enteramente mojados y constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B Infiltración entre 3.81 – 7.62 mm/hr	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas, cuando están cuidadosamente mojados y constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.

C
Infiltración entre 1.27
– 3.81 mm/hr

D
Infiltración entre 0 –
1.27 mm/hr

Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente, por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que van de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua. Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: Hidrología (Villon,2011)

2.5.5. Método del número de curva del SCS (SCS Curve Number)

La parte más importante del modelo de simulación del HEC-HMS, lo constituyen los modelos para calcular la escorrentía directa producida por la precipitación neta, para esto HEC-HMS usa modelos como el Hidrograma unitario sintético del SCS (SCS Unit Hydrograph) y el Hidrograma sintético de Snyder (Snyder Unit Hydrograph). Siendo el primero el más utilizado (Villón, 2010).

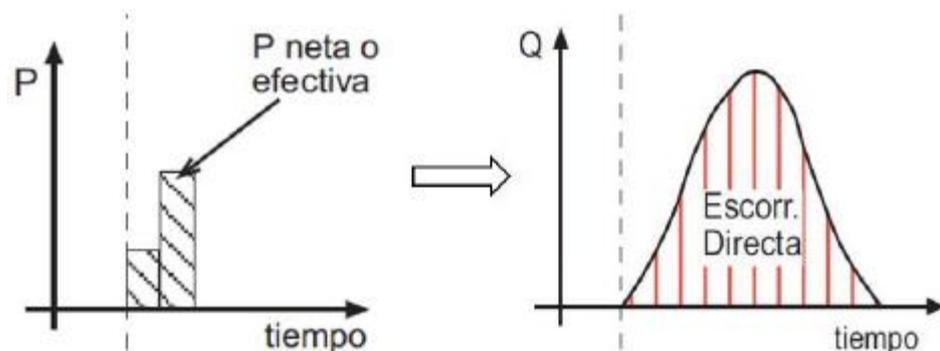


Figura 2: Precipitación neta a escorrentía
Fuente: HEC-HMS ejemplos (Villón, 2010)

2.5.6. Tipos de flujo

La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio de profundidad del flujo con respecto al tiempo y espacio. (Chow, 1994).

- Flujo permanente

El flujo en un canal abierto es permanente cuando en una sección del canal permanecen constantes con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad media, tirante, etc.) (Hurtado, 2017).

- Flujo no permanente

Un flujo en un canal abierto es no permanente o no estacionario en una sección del canal no permanecen constantes con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (caudal, velocidad, tirante, etc.) (Hurtado, 2017).

2.5.7. Según comportamiento del flujo

El comportamiento de un flujo está definido básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo. El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad, dicha relación se conoce como el número de Froude. (Chow, 1994).

- Flujo supercrítico

Si el número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), se suele dar en pendiente pronunciadas.

- Flujo subcrítico

Si el número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), se suele dar en pendiente suaves.

- Flujo crítico

Si el número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$).

2.5.8. Según la dimensión del flujo

Un flujo se clasifica como una, dos, o tres dimensiones dependiendo del número de coordenadas espaciales necesarias para especificar el campo de velocidades, pero se hace simplificaciones de acuerdo al grado de uniformidad que tiene el fluido. (Chow, 1994).

- Flujo unidimensional

Es un flujo en el que el vector de velocidad solo depende de una variable especial, es decir que se deprecian los cambios de velocidad transversales a

la dirección principal del escurrimiento. Dichos flujos se dan en tuberías largas y rectas o entre placas paralelas. (Ayala, 2014).

- Flujo bidimensional

Es un flujo en el que el vector de velocidad solo depende de dos variables espaciales, en este tipo de flujo se supone que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo de trayectorias que resultan idénticas si se comparan los planos entres sí, no existiendo, por tanto, cambio alguno en dirección perpendicular a los planos. (Ayala, 2014).

2.5.9. Componentes de un proyecto en HEC-RAS

- Datos geométricos (Geometric Data)

El sistema numérico para cada sección debe ser consistente, el programa asume que los valores altos, son los correspondientes a las secciones aguas arriba y los números más bajos son los de las secciones aguas abajo. Los datos geométricos fundamentales, son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados, dichas secciones se introducen mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo. Otros datos que se requieren para cada sección transversal, es la longitud de los tramos hacia aguas abajo, los coeficientes de rugosidad y los coeficientes de contracción y expansión. (Villón, 2011).

- Coeficiente de rugosidad (Manning n Values)

En la sección transversal compuesta e irregular el coeficiente de Manning no es constante, debido a que las márgenes laterales de inundación, la cobertura vegetal presenta características muy diferentes. (Villón, 2011) A partir del reconocimiento de varios factores primordiales que afectan el coeficiente de rugosidad. Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n. Mediante este procedimiento, el valor de n puede calcularse. (Ven Te Chow, 1994).

$$n = n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)M_5$$

Tabla 4
Valores del coeficiente de Manning para diferentes condiciones de canal

Condiciones de Canal		Valores
Material involucrado	tierra	0.0200
	corte en roca	0.0250
	grava fina	0.0240
	grava gruesa	0.0280
Grado de irregularidad	suave	0.0000
	menor	0.0050
	moderado	0.0100
Variaciones de la sección transversal	severo	0.0200
	Ocasionalmente	0.0000
	alternante	0.0050
	Frecuentemente	0.0100
Efecto relativo de las obstrucciones	alternante	0.0200
	insignificante	0.0000
	menor	0.010-0.015
	apreciable	0.020-0.030
Vegetación	severo	0.040-0.060
	baja	0.005-0.010
	media	0.010-0.025
Grado de los efectos por meandros	alta	0.025-0.050
	muy alta	0.050-0.100
	menor	1.000
	apreciable	1.150
	severo	1.300

Fuente: Hidráulica de canales abiertos (Chow, 1994)

- Grado de irregularidad (n1)

Se considera que el grado de irregularidad es suave para superficies comparables con la mejor obtenible en los materiales involucrados; menor para canales artificiales bien dragados, con taludes laterales ligeramente erosionados o socavados en canales artificiales o canales de drenaje; moderado para canales mediana o pobremente dragados, taludes laterales moderadamente derrumbados; severo para bancas muy derrumbadas de cauces naturales o con taludes laterales muy erosionados. (Chow, 1994)

- Variaciones de la sección transversal (n2)

Se considera que el carácter de las variaciones en tamaño y forma de la sección transversal es gradual cuando el cambio en el tamaño o forma ocurre de manera gradual, ocasionalmente alternante cuando las secciones grandes

y pequeñas se alternan ocasionalmente o cuando los cambios en la forma causan el cambio de la corriente principal de un lado a otro y frecuentemente alternante cuando las secciones grandes y pequeñas se alternan con frecuencia o cuando los cambios en la forma causan frecuentes cambios de la corriente principal de un lado a otro. (Chow, 1994).

- Efecto relativo de las obstrucciones (n3)

Consideran la presencia y las características de obstrucciones como depósitos de basura, palos raíces expuestas, cantos rodados, y troncos caídos y atascados. Objetos puntiagudos o angulares inducen mayor turbulencia que objetos curvos o con superficies lisas. (Chow, 1994).

- Vegetación (n4)

Bajo, para condiciones comparables a lo siguiente: a) crecimientos densos de pastos o malezas flexibles, donde la profundidad promedio del flujo es de dos a tres veces la altura de la vegetación. b) varas flexibles de plantas jóvenes, como sauce, matas de algodón o cedro salado, donde la profundidad promedio de flujo es tres a cuatro veces la altura de la vegetación. (Chow, 1994) Medio, para condiciones comparables a lo siguiente: a) césped cuando la profundidad promedio del flujo es una o dos veces la altura de la vegetación, b) pastos con tallo, malezas o plantas jóvenes con cubierta moderada cuando la profundidad promedio de flujo es dos o tres veces la altura de la vegetación, c) crecimientos de matorrales, moderadamente densos, similares a sauces de uno a dos años. (Chow, 1994) Alto, para condiciones comparables a lo siguiente: a) prados de césped cuando la profundidad promedio es más o menos igual a la altura de vegetación, b) sauces o plantas de algodón de ocho a diez años de edad durante la estación invernal, con crecimiento intermedio de malezas y matorrales, sin vegetación en el follaje, cuando el radio hidráulico es mayor que 2 pies, c) matorrales de sauce de aproximadamente un año de edad durante la estación de crecimiento, con intercalaciones de algunas malezas con follaje a lo largo de los taludes laterales sin vegetación, cuando el radio hidráulico es mayor que 2 pies. (Chow, 1994) Muy alto, para condiciones comparables a lo siguiente: a) pastos cuando la profundidad promedio del flujo es menor que la mitad de la altura de la vegetación b) matorrales de sauce de más o menos un año de edad durante la estación de crecimiento, crecimiento intercalados con malezas de follaje completo a lo largo de los

taludes laterales o crecimientos densos de plantas de hojas anchas en el fondo del canal con cualquier valor del radio hidráulico hasta 10 ó 15 pies., c) árboles en la estación de crecimiento con intercalaciones de malezas y matorrales, todos con follaje completo, con cualquier valor del radio hidráulico hasta 10 ó 15 pies. (Chow, 1994).

- Grado de los efectos por meandro (m5)

Depende de la relación entre la longitud con meandros y la longitud recta del tramo del canal. Los meandros se consideran menores para relaciones de 1 a 1.2, apreciable para relaciones de 1.3 a 1.5, y severos para relaciones de 1.5 a mayores. (Chow, 1994).

- Coeficiente de contracción - expansión (Con/Exp Coefficient)

El programa utiliza los coeficientes de contracción y expansión para determinar las pérdidas de energía entre dos secciones contiguas, por defecto 0.1 para coeficiente de contracción y 0.3 para el de expansión, los cuales corresponden a una transición gradual. Estos valores son de interés, para el caso de puentes, donde se producen contracciones y expansiones en casos donde no hay transiciones sus valores son ceros. (Villón, 2011).

Tabla 5
Valores del coeficiente de contracción y expansión

Descripción de transición	Coeficiente de Contracción	Coeficiente de Expansión
Perdidas sin transición	0	0
Transición gradual	0.1	0.1
Expansión típica en puentes	0.3	0.3
Transición abrupta (alcantarillas)	0.6	0.6

Fuente: Manual de Referencia Analysis System.(US Army Corps of Engineers, 2016)

- Condiciones de contorno (Steady Flow Boundary Conditions)

HEC-RAS necesita la información de las condiciones de contorno en cada tramo, para establecer el nivel de agua inicial en ambos extremos del tramo del río: aguas arriba (*Upstream*) y/o aguas abajo (*Downstream*). (Villón, 2011) Por lo general si la pendiente es suave, el flujo es subcrítico, si la pendiente es fuerte, el flujo es supercrítico, si hay tramos con pendiente suave y fuerte, el flujo es mixto. En el régimen subcrítico, las condiciones de contorno solo se necesitan en el extremo de aguas abajo; en el régimen

supercrítico las condiciones de contorno solo son necesarias en el extremo de aguas arriba, y si se va calcular en un régimen mixto, se necesitan en ambos extremos del tramo. (Villón, 2011) Las condiciones de contorno que se admiten son:

- Nivel de agua conocido (Known W.S.)

Se utiliza al existir un nivel de agua en alguna sección transversal. Es importante destacar que Hec-Ras exige *nivel*, por lo que se debe introducir el tirante y la cota más baja de la sección.

- Tirante crítico (Critical Depth)

Se utiliza al existir alguna sección de control. Para esta opción no se exige ningún dato adicional. El programa calcula la profundidad crítica para cada uno de los perfiles y la utiliza como condición de contorno.

- Tirante normal (Normal Depth)

Se utiliza al existir situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme. Se introduce la pendiente del tramo en decimales.

- Curva de caudal (Rating Curve)

Se utiliza al existir alguna sección de control con una relación entre el tirante y el caudal.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

3.1. Antecedentes

3.1.1. Hipótesis principal

El Modelamiento hidrológico e hidráulico integrado con las imágenes satelitales topográficas y de dron permiten la determinación de las áreas de inundación para diferentes caudales en el tramo Playa de Oro- Puente San Ramón- Distrito de San Ramón, departamento de Junín.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- a) Los diferentes tiempos de retorno determinan los caudales máximos en el río San Ramón en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón.
- b) La integración de los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron determinan las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón.
- c) Las alturas máximas de inundación permiten elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón.

3.2. Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

Estudio hidráulico e hidrológico: Se refiere a determinar el comportamiento hidráulico e hidrológico de los cauces del río que se encuentra en estudio.

Defensa ribereña: Sistema de obra civil que sirve para la protección contra desastres naturales causados por las avenidas máximas de un río.

3.2.2. Variables independientes

- Tiempos de retorno.
- Caudales máximos.
- Topografía.

3.2.3. Variables dependientes

- Áreas de inundación.
- Defensa ribereña.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y método de investigación

La investigación es del tipo cuantitativo. Es cuantitativo, ya que, mediante un sistema de recolección y procesamiento de datos secuencial, se puede obtener las áreas vulnerables en el tramo a evaluar. Además, se llevará a cabo el método descriptivo y comparativo, ya que se realiza la descripción y comparación de las áreas inundables en los diferentes periodos de retorno.

4.2. Diseño de investigación

La investigación corresponde a un diseño no experimental, porque no se manipuló ninguna variable de estudio, es de corte transversal porque las recolecciones de datos se tomaron en un solo momento.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población de estudio

La población a evaluar está conformada por el río San Ramón, de sus orígenes hasta su co-fluencia con el río Sonomoro.

4.3.2. Diseño muestral

El tramo del río San Ramón de longitud 6.87 km en los tramos en los cuales se encuentra la población urbana de San Martín de Pangoa.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Se buscó información relacionado con el tema a tratar en la tesis, como son revistas, libros especializados del tema, artículos, tesis de investigación, que nos ayudaran a realizar el diseño de defensa ribereña tipo enrocado, dentro de ellos tenemos Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2011) y las normas a NTP 339.128, NTP 339.131, ASTM D 2216. Se utiliza los programas siguientes:

- Software Microsoft Office 2017
- AutoCAD Civil 3D v2017
- HEC RAS v6.3.1
- Google Earth Pro 2020
- ArcGIS Pro.

4.3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Se ha realizado el levantamiento topográfico con vuelo dron realizado en el tramo de estudio de la zona urbana del distrito de San Martín de Pangoa,

provincia de Satipo, se procedió a usar el software ArcGis Pro y obtener las curvas de nivel para luego realizar los cortes longitudinales, transversales y planimétrica del tramo de estudio. Para completar la información planimétrica faltante de la zona se recurrió al Google Earth Pro 2020 con lo que se podrá ubicar las zonas de cultivo, vías principales, y cauce del río. Se ha elaborado secciones transversales del tramo de estudio con una variación de 100 m entre progresivas. Para el estudio geológico se utilizaron las cartas nacionales del INGEMMET y además de estudios realizados por la misma institución, a partir de esta información recolectada se pudo obtener las características geológicas y litológicas de la sub cuenca río San Ramón y del tramo de estudio. Luego a través de las instituciones SEHNAMI y ANA se obtuvo información de las estaciones hidrométricas para obtener los caudales de las estaciones que se encuentran dentro de la sub cuenca río San Ramón. Se ha exportado las secciones transversales del tramo de estudio al HEC RAS v6.3.1 para poder obtener los márgenes del río. Se ha calculado el número de Manning y delimitando con ayuda del programa Google Earth Pro 2020. Luego se modelará del tramo de estudio mediante el software HEC-RAS v6.3.1 para un periodo de 2 a 500 años y así obtener las secciones del tramo de estudio y observar donde los sectores de desbordamiento del río, asimismo conocer cuáles serían los lugares adecuados para proponer las defensas ribereñas. Finalmente se realizará una propuesta de diseño de defensa ribereña de un enrocado para el tramo de estudio.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Resultados

El desarrollo de esta tesis conforma realizar el estudio para el pre-diseño de la defensa ribereña, lo cual requiere el uso de la Norma Peruana Hidráulica e hidrológica del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú para el cumplimiento mínimo del pre-diseño y poder obtener resultados óptimos. Por estos motivos se propuso realizar el estudio topográfico, geológico e hidrológico de la subcuenca del río San Ramón.

5.2. Estudio topográfico

Para realizar el estudio topográfico de la subcuenca del río San Ramón se buscó importar archivos DEM y DSM al programa ArcGIS pro y se hicieron dos propuestas para la obtención de las curvas de nivel. La primera fue a partir de la página Web Open Topography y esta cuenta con las grillas cada 30 m, entonces se propuso obtener la información de otras bases de datos geográficas con la finalidad de disminuir el error, por ese motivo se eligió la base de datos geográfica ASF (Data Search Vertex), esta segunda propuesta tiene las grillas cada 12.5m. Se consideró esta última base de datos como base de la topografía general con la finalidad de generar la cuenca y subcuenca hidrológica. Por último, para mejorar la resolución del estudio se realizó un levantamiento con dron, ya que el levantamiento topográfico generado por el dron nos brinda una información con mayor precisión. Asimismo, de este último se pudo realizar las curvas de nivel cada 0.5 m a partir del DSM y poder obtener las secciones transversales, longitudinales y perfiles de la subcuenca del río San Ramón.

Finalmente, se presenta la figura N°3, en la cual se aprecia el plano en planta del distrito de San Martín de Pangoa, delimitado por el área de estudio y para su elaboración se delimitó la poligonal de estudio, luego se realizó el *by mask*, la cual nos permitirá realizar el corte entre la poligonal y el DSM obtenido del procesamiento de los datos del dron. Finalmente se hizo el geo procesamiento en contornos cada 0.5m como se observa en el Figura N°5. Obteniendo las cotas aguas arriba de 810 m.s.n.m y aguas abajo 735 m.s.n.m con un área delimitada de 5.2km².



Figura 3: Orto mosaico y el modelo digital de la superficie (DSM)
 Fuente: Elaboración Propia



Figura 4: Archivo DSM procesada en el ArcGIS
 Fuente: Elaboración Propia



Figura 5: Curvas de nivel cada 0.5 m
Fuente: Elaboración Propia

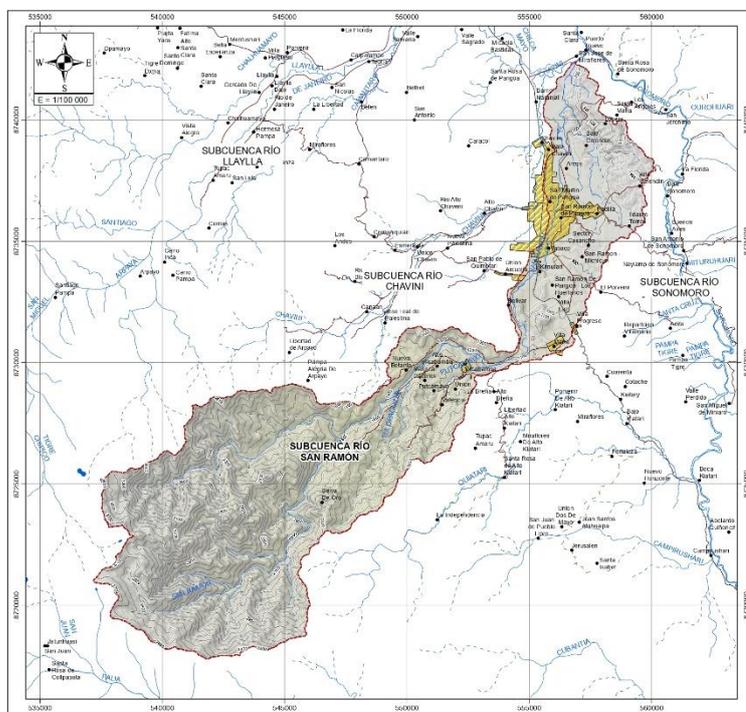


Figura 6: Curvas de nivel de sub cuenca río San Ramón
Fuente: Elaboración Propia

5.3. Estudio Geológico

El área de estudio Geológico del área de estudio por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), en la cual muestra nuestro tramo de estudio en el cuadrángulo 23ñ-3 se menciona que las condiciones geológicas son abruptas y singulares con características especiales que interactúan de forma variada con las aguas subterráneas. Las características del suelo como la de su formación Sarayaquillo y capas rojas como se muestra en la figura N°7. También su susceptibilidad en masa y su inundación fluvial.

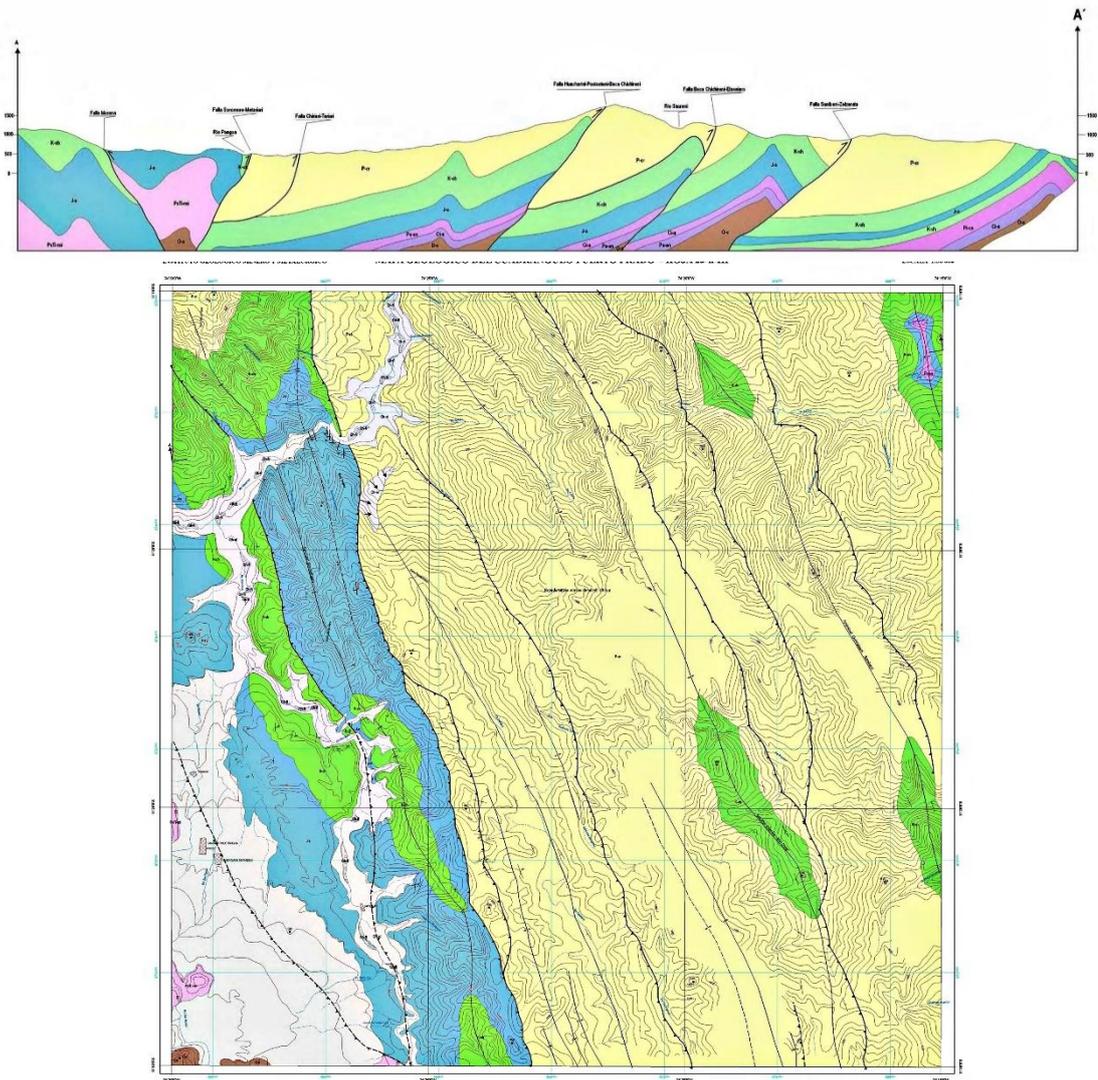


Figura 7: Características Geológicas
Fuente: INGEMM

5.4. Estudio Hidrológico

La sub cuenca del río San Ramón se ubica en la zona de la selva, al centro del Perú. Se encuentra dividida en 5 microcuencas figura N°5 denominadas (A, B, C, D y E) siendo los de la parte alta la zona A y B los cuales son terrenos que se ubican en laderas y montañas. La parte media o zona C es la zona de terrenos montañosos a ondulados y finalmente la parte baja la zona D y E constituida por terrenos ondulados y zonas de llanura.

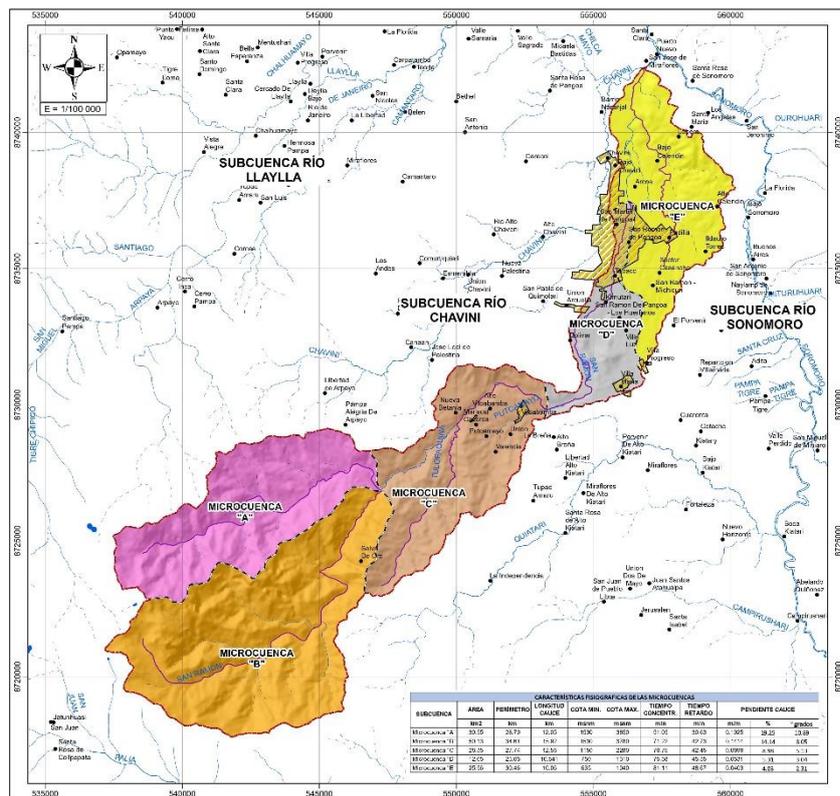


Figura 8: Distribución de microcuencas sub cuenca río San Ramón
Fuente: Elaboración Propia

5.4.1. Geomorfología de la sub cuenca río San ramón

Tabla 6
Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Parámetros geomorfológicos de la cuenca					
Parámetros	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Descripción
Área	ha	14664.65	Km ²	146.65	Pequeña
Perímetro	m	91330.74	Km	91.33	
Longitud de cuenca	m	29789.77	Km	29.79	
Longitud de cauce principal	m	41155.90	Km	41.16	
Ancho de cuenca	m	4922.71	Km	4.92	
Cota mínima	msnm	635			
Cota máxima	msnm	3850			
Desnivel	m	3215	Km	3.22	
Pendiente del cauce	%	7.81	° grados	4.47	Suave
Orden de drenaje - Strahler		3			
Tiempo de concentración - Hirpich	min	185.97	hr	3.10	
Índice de compacidad (Ic)		2.13			Irregular

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2. Cálculo de caudales máximos

Para el cálculo del caudal de diseño se ha recabado información de los datos mensuales de precipitaciones máximas en 24 hr de los últimos 45 años.

Tabla 7
Valores de los coeficientes de contracción y expansión

DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA			
Estación: Satipo	Coordenadas UTM Huso 31 (m)	X = 541846.2	Cota = 660 m.s.n.m
Denominación: DRE-11		Y = 8760036.2	

Datos mensuales de precipitación máxima en 24 hrs. (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1964	19.80	32.00	24.00	23.00	15.00	5.10	31.00	19.00	28.00	29.00	23.50	45.00	45.00 DICIEMBRE
1965	45.00	119.00	80.00	28.00	23.00	40.00	18.00	0.00	50.00	43.00	50.00	48.00	119.00 FEBRERO
1966	72.00	25.00	45.00	26.00	85.00	0.00	70.00	41.00	60.00	32.00	32.00	60.00	85.00 MAYO
1967	33.00	60.00	68.00	57.00	S/D	12.00	28.00	19.00	45.00	45.00	32.00	24.00	68.00 MARZO
1968	48.00	51.00	33.00	58.00	26.10	31.00	17.00	0.00	26.00	40.00	S/D	S/D	58.00 ABRIL
1970	40.00	46.00	56.00	64.00	19.00	38.00	11.00	20.20	40.20	30.80	26.40	47.00	64.00 ABRIL
1971	25.90	27.10	28.60	19.40	16.60	19.90	5.30	44.50	8.20	74.40	37.00	45.60	74.40 OCTUBRE
1972	58.70	57.20	39.00	26.00	79.50	17.10	9.70	55.80	28.10	36.60	41.00	25.20	79.50 MAYO
1973	42.20	45.00	62.70	66.60	104.60	19.00	18.60	27.50	20.80	63.00	35.50	55.60	104.60 MAYO
1974	35.20	22.80	39.40	28.80	28.20	7.20	41.00	34.20	7.20	23.60	27.20	24.20	41.00 JULIO
1975	35.60	49.00	33.60	32.80	31.80	40.80	4.80	45.20	77.40	60.00	59.00	27.80	77.40 SEPTIEMBRE
1976	40.20	33.40	70.20	26.20	26.80	82.20	10.80	21.20	75.20	42.80	22.80	35.80	82.20 JUNIO

1977	28.20	56.80	51.40	48.20	62.80	16.20	35.80	15.40	31.80	27.80	45.80	35.40	62.80	MAYO
1978	55.20	88.60	54.20	31.20	50.00	13.80	3.40	11.40	29.40	36.20	62.40	74.60	88.60	FEBRERO
1979	49.60	71.40	42.20	48.40	35.40	28.40	26.20	37.40	29.20	31.40	56.40	32.40	71.40	FEBRERO
1980	70.40	65.80	50.00	52.40	16.20	41.20	10.20	15.80	58.20	35.40	12.80	29.00	70.40	ENERO
1989	144.00	65.40	57.60	42.80	41.80	21.40	15.40	32.20	75.40	88.60	104.60	48.80	144.00	ENERO
1990	106.80	65.40	38.60	21.40	92.00	64.40	26.40	87.80	54.80	40.60	38.40	35.80	106.80	ENERO
1991	49.00	55.60	37.60	62.20	15.20	25.80	16.00	8.80	12.20	48.80	21.60	24.80	62.20	ABRIL
1992	23.00	33.80	50.40	25.80	25.20	31.00	36.60	55.00	31.40	28.00	42.40	36.60	55.00	AGOSTO
1993	42.80	64.80	54.00	45.00	51.00	42.40	21.60	47.40	35.20	28.60	27.90	53.40	64.80	FEBRERO
1994	59.00	74.00	74.60	41.20	38.80	9.20	8.20	22.00	26.00	72.60	42.60	36.60	74.60	MARZO
1995	74.40	54.40	58.00	43.00	22.60	30.00	18.60	21.40	25.20	25.40	34.80	25.80	74.40	ENERO
1996	149.00	142.40	197.80	64.60	36.10	60.10	48.80	50.20	5.40	24.40	20.80	15.70	197.80	MARZO
1997	26.80	11.10	17.20	7.10	12.20	10.90	30.50	38.90	39.00	45.50	36.00	51.80	51.80	DICIEMBRE
1998	37.50	48.40	49.80	56.00	8.40	20.10	5.00	20.60	53.00	60.30	36.00	34.80	60.30	OCTUBRE
1999	36.10	81.20	38.20	24.60	10.50	11.80	17.00	38.50	45.30	36.20	37.50	98.50	98.50	DICIEMBRE
2000	38.70	34.80	45.70	36.90	40.00	10.70	11.10	25.30	30.90	20.50	35.60	28.70	45.70	MARZO
2001	20.70	59.00	53.80	51.90	14.20	8.40	53.40	30.90	41.60	89.70	57.00	60.60	89.70	OCTUBRE
2002	48.70	48.10	32.10	20.80	28.60	2.10	63.80	41.30	40.40	54.60	41.50	36.90	63.80	JULIO
2003	71.90	23.40	62.30	19.00	43.70	71.60	34.00	18.50	57.10	27.80	38.00	28.20	71.90	ENERO
2004	81.50	55.50	25.60	63.70	45.50	15.50	49.50	40.00	24.40	27.70	55.50	43.90	81.50	ENERO
2005	19.40	63.20	41.00	53.70	5.80	9.00	28.80	34.40	13.20	59.60	82.80	46.50	82.80	NOVIEMBRE
2006	61.20	40.40	22.60	21.70	17.50	52.30	10.50	32.60	22.60	68.70	27.20	55.90	68.70	OCTUBRE
2007	59.70	22.80	47.00	17.60	21.80	34.40	36.30	37.70	32.00	52.20	28.00	83.40	83.40	DICIEMBRE
2008	37.50	69.80	38.70	61.50	24.10	12.40	26.30	18.50	40.00	36.00	34.40	53.70	69.80	FEBRERO
2009	35.30	63.70	34.40	40.40	47.40	25.50	35.00	7.00	61.50	100.90	36.10	57.20	100.90	OCTUBRE
2010	54.00	88.00	49.00	35.70	21.20	57.60	26.20	21.00	11.20	35.70	33.90	56.40	88.00	FEBRERO
2011	109.40	36.90	19.80	69.40	36.40	24.70	35.60	37.70	36.30	83.90	58.00	39.50	109.40	ENERO
2012	55.30	67.90	88.10	38.60	15.90	29.00	8.60	13.70	16.20	42.50	29.40	65.10	88.10	MARZO
2013	25.90	80.50	69.30	20.10	13.40	46.20	8.30	83.90	30.50	44.60	38.90	47.80	83.90	AGOSTO
2014	47.40	29.30	35.70	33.60	29.00	48.10	24.40	22.10	49.20	38.90	82.20	56.00	82.20	NOVIEMBRE
2015	72.70	29.80	53.50	75.00	34.20	8.10	18.90	19.80	24.00	41.10	78.50	27.50	78.50	NOVIEMBRE
2016	33.00	37.30	35.80	25.70	1.90	16.70	23.30	60.50	27.60	55.00	31.00	53.50	60.50	AGOSTO
2017	48.40	46.40	55.00	61.30	75.10	38.40	18.20	40.30	42.90	58.20	71.50	66.00	75.10	MAYO
MAX	149.00	142.40	197.80	75.00	104.60	82.20	70.00	87.80	77.40	100.90	104.60	98.50	197.80	

Fuente: Expediente técnico “Riego presurizado del sistema de irrigación Pangoa – PEPP”.

5.4.3. Curvas IDF, Distribución de probabilidades pluviométricas.

Tabla 8
Distribución de probabilidades pluviométricas método de Gumbel

N°	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1964	DICIEMBRE	45.00	1233.4144
2	1965	FEBRERO	119.00	1511.6544
3	1966	MAYO	85.00	23.8144
4	1967	MARZO	68.00	146.8944
5	1968	ABRIL	58.00	489.2944
6	1970	ABRIL	64.00	259.8544
7	1971	OCTUBRE	74.40	32.7184
8	1972	MAYO	79.50	0.3844
9	1973	MAYO	104.60	599.2704
10	1974	JULIO	41.00	1530.3744
11	1975	SEPTIEMBRE	77.40	7.3984
12	1976	JUNIO	82.20	4.3264
13	1977	MAYO	62.80	299.9824
14	1978	FEBRERO	88.60	71.9104
15	1979	FEBRERO	71.40	76.0384
16	1980	ENERO	70.40	94.4784
17	1989	ENERO	144.00	4080.6544
18	1990	ENERO	106.80	711.8224
19	1991	ABRIL	62.20	321.1264
20	1992	AGOSTO	55.00	631.0144
21	1993	FEBRERO	64.80	234.7024
22	1994	MARZO	74.60	30.4704
23	1995	ENERO	74.40	32.7184
24	1996	MARZO	197.80	13848.5824
25	1997	DICIEMBRE	51.80	802.0224
26	1998	OCTUBRE	60.30	392.8324
27	1999	DICIEMBRE	98.50	337.8244
28	2000	MARZO	45.70	1184.7364
29	2001	OCTUBRE	89.70	91.7764
30	2002	JULIO	63.80	266.3424
31	2003	ENERO	71.90	67.5684
32	2004	ENERO	81.50	1.9044
33	2005	NOVIEMBRE	82.80	7.1824
34	2006	OCTUBRE	68.70	130.4164
35	2007	DICIEMBRE	83.40	10.7584
36	2008	FEBRERO	69.80	106.5024
37	2009	OCTUBRE	100.90	431.8084
38	2010	FEBRERO	88.00	62.0944
39	2011	ENERO	109.40	857.3184
40	2012	MARZO	88.10	63.6804
41	2013	AGOSTO	83.90	14.2884
42	2014	NOVIEMBRE	82.20	4.3264
43	2015	NOVIEMBRE	78.50	2.6244
44	2016	AGOSTO	60.50	384.9444
45	2017	MAYO	75.10	25.2004
45	-	Suma	3605.4	31519.1

Fuente: Elaboración Propia

a) Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

Tabla 9
Precipitaciones Diarias Máximas Probables

<i>Periodo</i>	<i>Variable</i>	<i>Precip.</i>	<i>Prob. de</i>	<i>Corrección</i>
<i>Retorno</i>	<i>Reducida</i>	<i>(mm)</i>	<i>ocurrencia</i>	<i>intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0.3665	75.7233	0.5000	85.5674
5	1.4999	99.3760	0.8000	112.2948
10	2.2504	115.0361	0.9000	129.9908
25	3.1985	134.8227	0.9600	152.3496
50	3.9019	149.5015	0.9800	168.9367
100	4.6001	164.0719	0.9900	185.4012
500	6.2136	197.7419	0.9980	223.4484

Fuente: Elaboración Propia

b) Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tabla 10
Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: Fuente: D. F. Campos A., 1978

Tabla 11
Precipitaciones máximas (Pd) para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	85.5674	112.2948	129.9908	152.3496	168.9367	185.4012	223.4484
18 hr	X18 = 91%	77.8663	102.1883	118.2916	138.6381	153.7324	168.7151	203.3380
12 hr	X12 = 80%	68.4539	89.8359	103.9926	121.8797	135.1493	148.3210	178.7587
8 hr	X8 = 68%	58.1858	76.3605	88.3937	103.5977	114.8769	126.0728	151.9449
6 hr	X6 = 61%	52.1961	68.4999	79.2944	92.9333	103.0514	113.0948	136.3035
5 hr	X5 = 57%	48.7734	64.0081	74.0947	86.8393	96.2939	105.6787	127.3656
4 hr	X4 = 52%	44.4950	58.3933	67.5952	79.2218	87.8471	96.4086	116.1932
3 hr	X3 = 46%	39.3610	51.6556	59.7957	70.0808	77.7109	85.2846	102.7863
2 hr	X2 = 39%	33.3713	43.7950	50.6964	59.4163	65.8853	72.3065	87.1449
1 hr	X1 = 30%	25.6702	33.6885	38.9972	45.7049	50.6810	55.6204	67.0345

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12
Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	3.5653	4.6790	5.4163	6.3479	7.0390	7.7251	9.3103
18 hr	1080	4.3259	5.6771	6.5718	7.7021	8.5407	9.3731	11.2966
12 hr	720	5.7045	7.4863	8.6661	10.1566	11.2624	12.3601	14.8966
8 hr	480	7.2732	9.5451	11.0492	12.9497	14.3596	15.7591	18.9931
6 hr	360	8.6993	11.4166	13.2157	15.4889	17.1752	18.8491	22.7173
5 hr	300	9.7547	12.8016	14.8189	17.3679	19.2588	21.1357	25.4731
4 hr	240	11.1238	14.5983	16.8988	19.8054	21.9618	24.1022	29.0483
3 hr	180	13.1203	17.2185	19.9319	23.3603	25.9036	28.4282	34.2621
2 hr	120	16.6856	21.8975	25.3482	29.7082	32.9426	36.1532	43.5724
1 hr	60	25.6702	33.6885	38.9972	45.7049	50.6810	55.6204	67.0345

Fuente: Elaboración Propia

c) Representación de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno

- Representación curva IDF t = 2 años

Tabla 13
Representación IDF t = 2 años

<i>Periodo de retorno para T = 2 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	3.5653	7.2724	1.2713	9.2450	52.8878
2	1080	4.3259	6.9847	1.4646	10.2300	48.7863
3	720	5.7045	6.5793	1.7413	11.4561	43.2865
4	480	7.2732	6.1738	1.9842	12.2500	38.1156
5	360	8.6993	5.8861	2.1632	12.7331	34.6462
6	300	9.7547	5.7038	2.2777	12.9918	32.5331
7	240	11.1238	5.4806	2.4091	13.2033	30.0374
8	180	13.1203	5.1930	2.5742	13.3675	26.9668
9	120	16.6856	4.7875	2.8145	13.4746	22.9201
10	60	25.6702	4.0943	3.2453	13.2875	16.7637
10	4980	105.9229	58.1555	21.9454	122.2390	346.9435
$Ln(d) =$	5.7792		$d =$	323.4896	$n =$	-0.6164

Fuente: Elaboración Propia

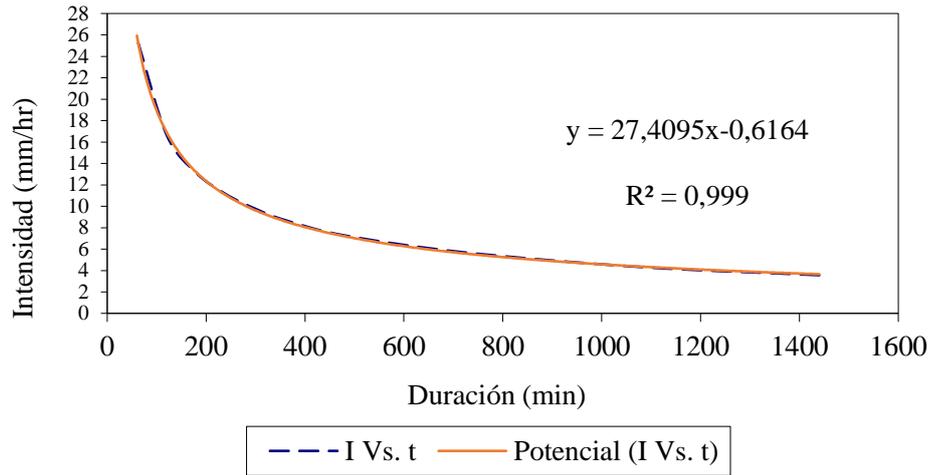


Figura 9: Curva IDF intensidad vs duración t=2años
Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 5 años

Tabla 14
Representación IDF t = 5 años

<i>Periodo de retorno para T = 5 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	4.6790	7.2724	1.5431	11.2218	52.8878
2	1080	5.6771	6.9847	1.7364	12.1286	48.7863
3	720	7.4863	6.5793	2.0131	13.2445	43.2865
4	480	9.5451	6.1738	2.2560	13.9282	38.1156
5	360	11.4166	5.8861	2.4351	14.3331	34.6462
6	300	12.8016	5.7038	2.5496	14.5422	32.5331
7	240	14.5983	5.4806	2.6809	14.6931	30.0374
8	180	17.2185	5.1930	2.8460	14.7791	26.9668
9	120	21.8975	4.7875	3.0864	14.7760	22.9201
10	60	33.6885	4.0943	3.5172	14.4004	16.7637
10	4980	139.0085	58.1555	24.6637	138.0471	346.9435
<i>Ln (d) =</i>	6.0510	<i>d =</i>	424.5335	<i>n =</i>	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

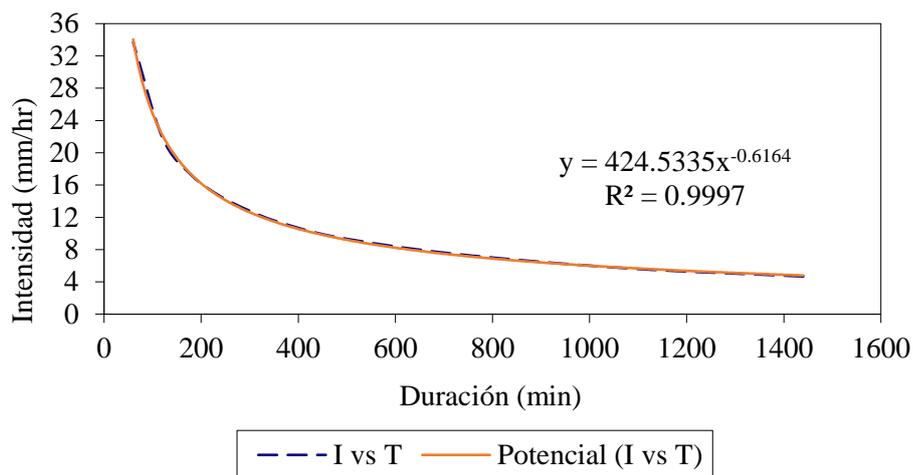


Figura 10: Curva IDF intensidad vs duración t=5años
 Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 10 años

Tabla 15
 Representación IDF t = 10 años

<i>Periodo de retorno para T = 10 años</i>							
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2	
1	1440	5.4163	7.2724	1.6894	12.2861	52.8878	
2	1080	6.5718	6.9847	1.8828	13.1507	48.7863	
3	720	8.6661	6.5793	2.1594	14.2073	43.2865	
4	480	11.0492	6.1738	2.4024	14.8317	38.1156	
5	360	13.2157	5.8861	2.5814	15.1944	34.6462	
6	300	14.8189	5.7038	2.6959	15.3769	32.5331	
7	240	16.8988	5.4806	2.8272	15.4951	30.0374	
8	180	19.9319	5.1930	2.9923	15.5390	26.9668	
9	120	25.3482	4.7875	3.2327	15.4766	22.9201	
10	60	38.9972	4.0943	3.6635	14.9996	16.7637	
10	4980	160.9141	58.1555	26.1270	146.5573	346.9435	
<i>Ln (d) =</i>	6.1973		<i>d =</i>	491.4333		<i>n =</i>	-0.6164

Fuente: Elaboración Propia

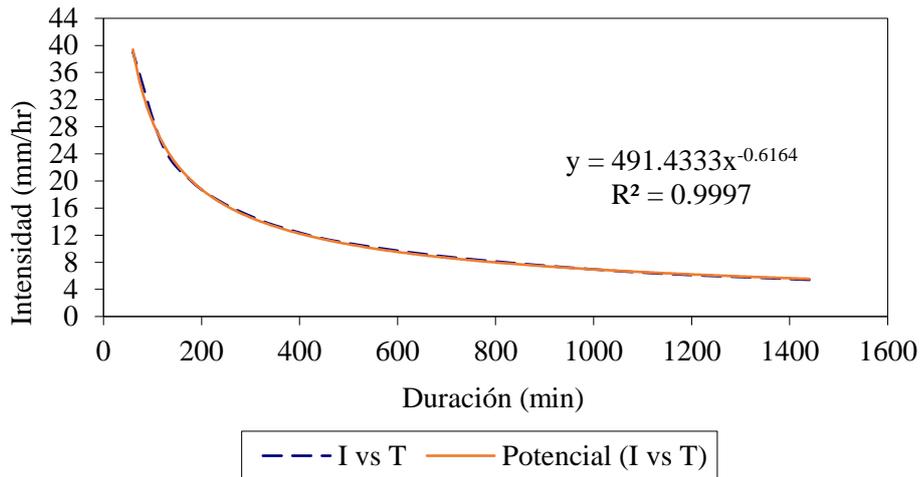


Figura 11: Curva IDF intensidad vs duración t=10años
 Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 25 años

Tabla 16
 Representación IDF t = 25 años

<i>Periodo de retorno para T = 25 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.3479	7.2724	1.8481	13.4403	52.8878
2	1080	7.7021	6.9847	2.0415	14.2593	48.7863
3	720	10.1566	6.5793	2.3181	15.2515	43.2865
4	480	12.9497	6.1738	2.5611	15.8115	38.1156
5	360	15.4889	5.8861	2.7401	16.1286	34.6462
6	300	17.3679	5.7038	2.8546	16.2821	32.5331
7	240	19.8054	5.4806	2.9860	16.3650	30.0374
8	180	23.3603	5.1930	3.1510	16.3632	26.9668
9	120	29.7082	4.7875	3.3914	16.2364	22.9201
10	60	45.7049	4.0943	3.8222	15.6494	16.7637
10	4980	188.5919	58.1555	27.7142	155.7874	346.9435
<i>Ln (d) =</i>		6.3560	<i>d =</i>	575.9615	<i>n =</i>	-0.6164

Fuente: Elaboración Propia

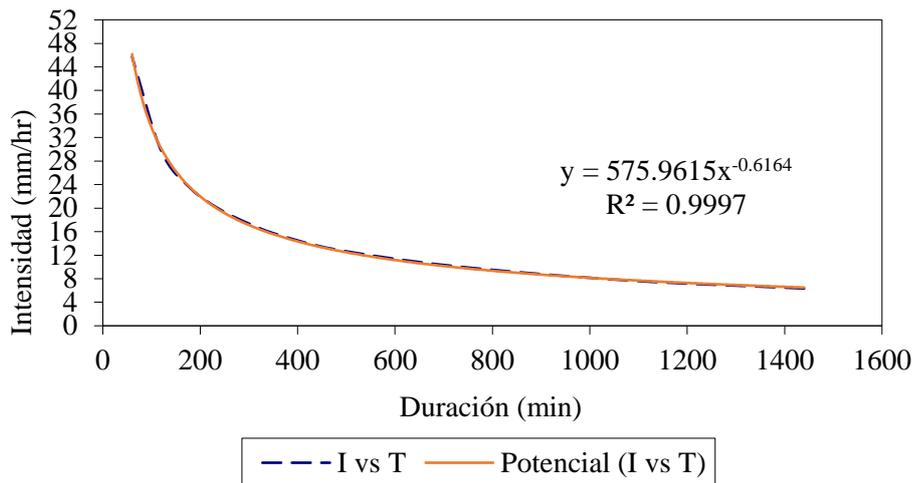


Figura 12: Curva IDF intensidad vs duración t=25 años
Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 50 años

Tabla 17
Representación IDF t = 50 años

<i>Periodo de retorno para T = 50 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7.0390	7.2724	1.9515	14.1919	52.8878
2	1080	8.5407	6.9847	2.1448	14.9811	48.7863
3	720	11.2624	6.5793	2.4215	15.9315	43.2865
4	480	14.3596	6.1738	2.6644	16.4496	38.1156
5	360	17.1752	5.8861	2.8435	16.7369	34.6462
6	300	19.2588	5.7038	2.9580	16.8716	32.5331
7	240	21.9618	5.4806	3.0893	16.9314	30.0374
8	180	25.9036	5.1930	3.2544	16.8999	26.9668
9	120	32.9426	4.7875	3.4948	16.7312	22.9201
10	60	50.6810	4.0943	3.9256	16.0726	16.7637
10	4980	209.1248	58.1555	28.7476	161.7975	346.9435
<i>Ln (d) =</i>	6.4594	<i>d =</i>	638.6693	<i>n =</i>	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

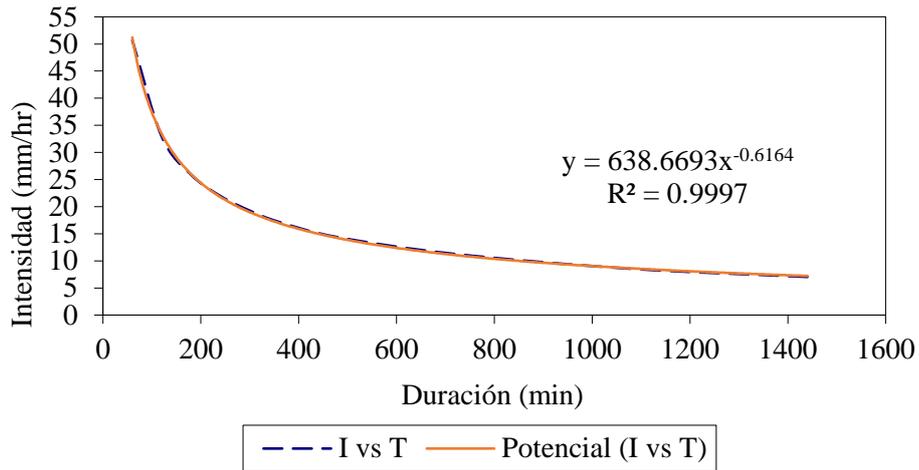


Figura 13: Curva IDF intensidad vs duración t=50años
Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 100 años

Tabla 18
Representación IDF t = 100 años

<i>Periodo de retorno para T = 100 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7.7251	7.2724	2.0445	14.8682	52.8878
2	1080	9.3731	6.9847	2.2378	15.6307	48.7863
3	720	12.3601	6.5793	2.5145	16.5433	43.2865
4	480	15.7591	6.1738	2.7574	17.0237	38.1156
5	360	18.8491	5.8861	2.9365	17.2843	34.6462
6	300	21.1357	5.7038	3.0510	17.4020	32.5331
7	240	24.1022	5.4806	3.1823	17.4410	30.0374
8	180	28.4282	5.1930	3.3474	17.3828	26.9668
9	120	36.1532	4.7875	3.5878	17.1764	22.9201
10	60	55.6204	4.0943	4.0185	16.4533	16.7637
10	4980	229.5061	58.1555	29.6776	167.2059	346.9435
<i>Ln (d) =</i>	6.5524	<i>d =</i>	700.9141	<i>n =</i>	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

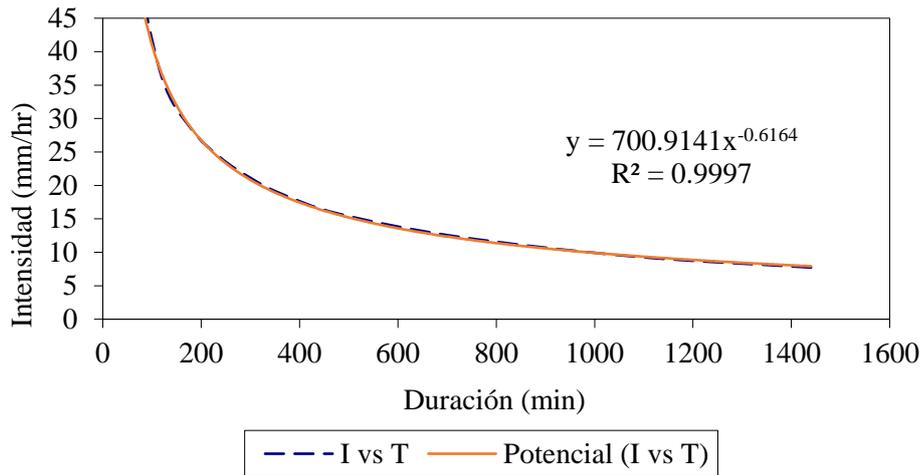


Figura 14: Curva IDF intensidad vs duración t=100años
Fuente: Elaboración Propia

- Representación curva IDF t = 500 años

Tabla 19
Representación IDF t = 150 años

<i>Periodo de retorno para T = 500 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	9.3103	7.2724	2.2311	16.2256	52.8878
2	1080	11.2966	6.9847	2.4245	16.9344	48.7863
3	720	14.8966	6.5793	2.7011	17.7714	43.2865
4	480	18.9931	6.1738	2.9441	18.1761	38.1156
5	360	22.7173	5.8861	3.1231	18.3830	34.6462
6	300	25.4731	5.7038	3.2376	18.4667	32.5331
7	240	29.0483	5.4806	3.3690	18.4641	30.0374
8	180	34.2621	5.1930	3.5340	18.3521	26.9668
9	120	43.5724	4.7875	3.7744	18.0700	22.9201
10	60	67.0345	4.0943	4.2052	17.2176	16.7637
10	4980	276.6043	58.1555	31.5442	178.0611	346.9435
<i>Ln (d) =</i>	6.7390	<i>d =</i>	844.7523	<i>n =</i>	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

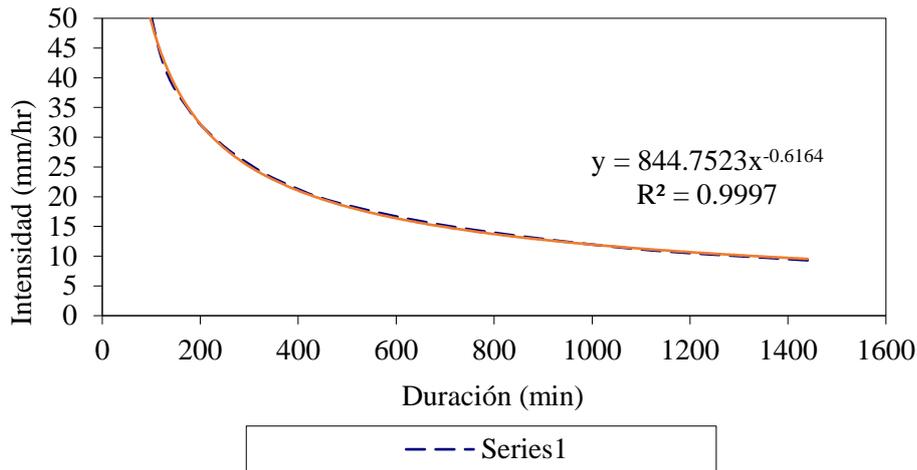


Figura 15: Curva IDF intensidad vs duración t=150años
Fuente: Elaboración Propia

- Cálculo de regresión

Tabla 20

Resumen regresión potencial

<i>Resumen de aplicación de regresión potencial</i>		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	323.48957314029	-0.61638608809
5	424.53348487839	-0.61638608809
10	491.43334656990	-0.61638608809
25	575.96149916519	-0.61638608809
50	638.66931149479	-0.61638608809
100	700.91409918145	-0.61638608809
500	844.75230137381	-0.61638608809
Promedio =	571.39337368626	-0.61638608809

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21

Regresión potencial

<i>Regresión potencial</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	323.4896	0.6931	5.7792	4.0058	0.4805
2	5	424.5335	1.6094	6.0510	9.7387	2.5903
3	10	491.4333	2.3026	6.1973	14.2699	5.3019
4	25	575.9615	3.2189	6.3560	20.4593	10.3612
5	50	638.6693	3.9120	6.4594	25.2693	15.3039
6	100	700.9141	4.6052	6.5524	30.1748	21.2076
7	500	844.7523	6.2146	6.7390	41.8805	38.6214
7	692	3999.7536	22.5558	44.1343	145.7983	93.8667
Ln (K) = 5.7595		K = 317.1952		m = 0.1693		

Fuente: Elaboración Propia

- Intensidades válidas para la cuenca

Tabla 22
Tabla de intensidades

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	132.26	86.28	67.20	56.28	49.05	43.83	39.86	36.71	34.14	31.99	30.17	28.59
5	154.45	100.75	78.47	65.72	57.27	51.19	46.55	42.87	39.87	37.36	35.23	33.39
10	173.68	113.29	88.24	73.90	64.40	57.56	52.34	48.21	44.83	42.01	39.61	37.55
25	202.82	132.30	103.04	86.30	75.21	67.21	61.12	56.29	52.35	49.06	46.26	43.84
50	228.06	148.77	115.87	97.04	84.57	75.58	68.73	63.30	58.87	55.17	52.02	49.30
100	256.45	167.28	130.29	109.12	95.10	84.99	77.29	71.18	66.19	62.03	58.49	55.44
500	336.75	219.66	171.09	143.29	124.87	111.60	101.49	93.47	86.92	81.46	76.81	72.80

Fuente: Elaboración Propia

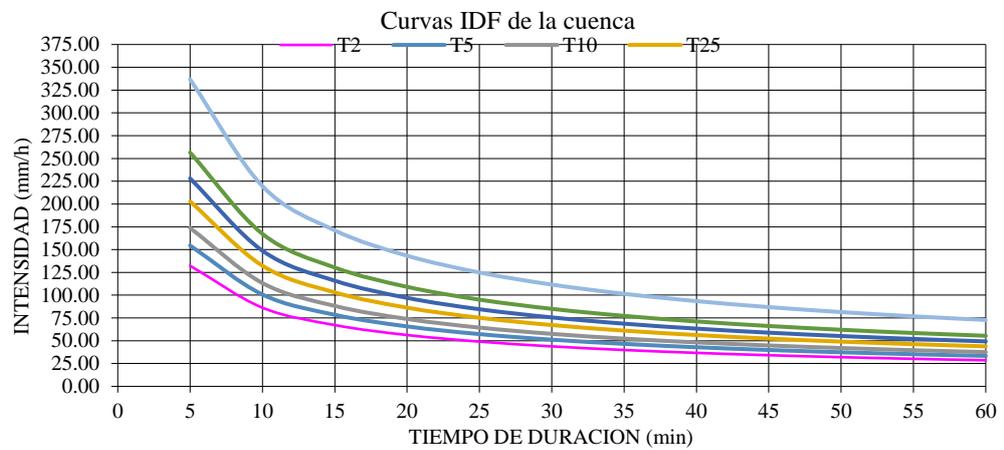


Figura 16: Curva IDF cuenca
Fuente: Elaboración Propia

5.4.4. Hietogramas de precipitación de la estación de Satipo

A partir de las curvas IDF calculadas anteriormente se realizará el desarrollo de hietogramas para los datos obtenidos de la estación Satipo.

- a) Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición

Tabla 23

Valores de intensidad de precipitación según duración de la misma y frecuencia de repetición

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición							
Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	132.26	154.45	173.68	202.81	228.06	256.45	336.75
10	86.28	100.75	113.29	132.30	148.76	167.28	219.66
15	67.20	78.47	88.24	103.04	115.87	130.29	171.09
20	56.28	65.72	73.90	86.30	97.04	109.12	143.29
25	49.05	57.27	64.40	75.21	84.57	95.10	124.87
30	43.83	51.19	57.56	67.21	75.58	84.99	111.60
35	39.86	46.55	52.34	61.12	68.73	77.28	101.48
40	36.71	42.87	48.20	56.29	63.30	71.18	93.47
45	34.14	39.87	44.83	52.35	58.87	66.19	86.92
50	31.99	37.36	42.01	49.06	55.16	62.03	81.45
55	30.17	35.23	39.61	46.26	52.02	58.49	76.81
60	28.59	33.39	37.54	43.84	49.30	55.44	72.80
65	27.22	31.78	35.74	41.73	46.93	52.77	69.29
70	26.00	30.36	34.14	39.87	44.83	50.41	66.20
75	24.92	29.10	32.72	38.21	42.97	48.31	63.44
80	23.95	27.96	31.44	36.72	41.29	46.43	60.97
85	23.07	26.94	30.29	35.37	39.78	44.73	58.73
90	22.27	26.00	29.24	34.15	38.40	43.18	56.70
95	21.54	25.15	28.28	33.03	37.14	41.76	54.84
100	20.87	24.37	27.40	32.00	35.98	40.46	53.13
105	20.25	23.65	26.59	31.05	34.92	39.26	51.56
110	19.68	22.98	25.84	30.17	33.93	38.15	50.10
115	19.15	22.36	25.14	29.36	33.01	37.12	48.75
120	18.65	21.78	24.49	28.60	32.16	36.16	47.49
125	18.19	21.24	23.88	27.89	31.36	35.26	46.31
130	17.75	20.73	23.31	27.22	30.61	34.42	45.20
135	17.34	20.25	22.78	26.60	29.91	33.63	44.16
140	16.96	19.81	22.27	26.01	29.24	32.88	43.18
145	16.60	19.38	21.79	25.45	28.62	32.18	42.26
150	16.25	18.98	21.34	24.92	28.03	31.52	41.38
155	15.93	18.60	20.92	24.43	27.47	30.88	40.56
160	15.62	18.24	20.51	23.95	26.93	30.29	39.77
165	15.33	17.90	20.13	23.50	26.43	29.72	39.02
170	15.05	17.57	19.76	23.07	25.95	29.18	38.31
175	14.78	17.26	19.41	22.66	25.49	28.66	37.63
180	14.53	16.96	19.07	22.27	25.05	28.17	36.98

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 2$ años

Tabla 24

Hietograma para periodo retorno 2 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 2 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	14.53
Precipitación en 24 horas (mm)	43.58
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25

Hietograma para periodo retorno 2 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	132.26	11.02	11.02	132.26	0.48	5.72
10	86.28	14.38	3.36	40.29	0.49	5.94
15	67.20	16.80	2.42	29.04	0.51	6.17
20	56.28	18.76	1.96	23.52	0.54	6.44
25	49.05	20.44	1.68	20.12	0.56	6.73
30	43.83	21.92	1.48	17.77	0.59	7.06
35	39.86	23.25	1.34	16.02	0.62	7.45
40	36.71	24.47	1.22	14.66	0.66	7.89
45	34.14	25.60	1.13	13.57	0.70	8.40
50	31.99	26.66	1.06	12.67	0.75	9.01
55	30.17	27.65	0.99	11.91	0.81	9.76
60	28.59	28.59	0.94	11.26	0.89	10.70
65	27.22	29.48	0.89	10.70	0.99	11.91
70	26.00	30.33	0.85	10.20	1.13	13.57
75	24.92	31.15	0.81	9.76	1.34	16.02
80	23.95	31.93	0.78	9.37	1.68	20.12
85	23.07	32.68	0.75	9.01	2.42	29.04
90	22.27	33.40	0.72	8.69	11.02	132.26
95	21.54	34.10	0.70	8.40	3.36	40.29
100	20.87	34.78	0.68	8.13	1.96	23.52
105	20.25	35.44	0.66	7.89	1.48	17.77
110	19.68	36.08	0.64	7.66	1.22	14.66
115	19.15	36.70	0.62	7.45	1.06	12.67
120	18.65	37.30	0.60	7.25	0.94	11.26
125	18.19	37.89	0.59	7.06	0.85	10.20
130	17.75	38.46	0.57	6.89	0.78	9.37
135	17.34	39.03	0.56	6.73	0.72	8.69
140	16.96	39.57	0.55	6.58	0.68	8.13
145	16.60	40.11	0.54	6.44	0.64	7.66
150	16.25	40.63	0.53	6.30	0.60	7.25
155	15.93	41.15	0.51	6.17	0.57	6.89
160	15.62	41.65	0.50	6.05	0.55	6.58
165	15.33	42.15	0.49	5.94	0.53	6.30
170	15.05	42.63	0.49	5.83	0.50	6.05
175	14.78	43.11	0.48	5.72	0.49	5.83
180	14.53	43.58	0.47	5.62	0.47	5.62

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 5$ años

Tabla 26

Hietograma para periodo retorno 5 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 5 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	16.96
Precipitación en 24 horas (mm)	50.89
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27

Hietograma para periodo retorno 5 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	154.45	12.87	12.87	154.45	0.56	6.68
10	100.75	16.79	3.92	47.05	0.58	6.93
15	78.47	19.62	2.83	33.91	0.60	7.21
20	65.72	21.91	2.29	27.47	0.63	7.52
25	57.27	23.86	1.96	23.49	0.66	7.86
30	51.19	25.59	1.73	20.75	0.69	8.25
35	46.55	27.15	1.56	18.71	0.72	8.69
40	42.87	28.58	1.43	17.12	0.77	9.21
45	39.87	29.90	1.32	15.85	0.82	9.81
50	37.36	31.13	1.23	14.80	0.88	10.53
55	35.23	32.29	1.16	13.91	0.95	11.40
60	33.39	33.39	1.10	13.15	1.04	12.49
65	31.78	34.43	1.04	12.49	1.16	13.91
70	30.36	35.42	0.99	11.91	1.32	15.85
75	29.10	36.37	0.95	11.40	1.56	18.71
80	27.96	37.28	0.91	10.94	1.96	23.49
85	26.94	38.16	0.88	10.53	2.83	33.91
90	26.00	39.01	0.85	10.15	12.87	154.45
95	25.15	39.82	0.82	9.81	3.92	47.05
100	24.37	40.62	0.79	9.50	2.29	27.47
105	23.65	41.38	0.77	9.21	1.73	20.75
110	22.98	42.13	0.75	8.94	1.43	17.12
115	22.36	42.85	0.72	8.69	1.23	14.80
120	21.78	43.56	0.71	8.46	1.10	13.15
125	21.24	44.25	0.69	8.25	0.99	11.91
130	20.73	44.92	0.67	8.05	0.91	10.94
135	20.25	45.57	0.66	7.86	0.85	10.15
140	19.81	46.21	0.64	7.68	0.79	9.50
145	19.38	46.84	0.63	7.52	0.75	8.94
150	18.98	47.45	0.61	7.36	0.71	8.46
155	18.60	48.05	0.60	7.21	0.67	8.05
160	18.24	48.64	0.59	7.07	0.64	7.68
165	17.90	49.22	0.58	6.93	0.61	7.36
170	17.57	49.79	0.57	6.80	0.59	7.07
175	17.26	50.34	0.56	6.68	0.57	6.80
180	16.96	50.89	0.55	6.56	0.55	6.56

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 10$ años

Tabla 28

Hietograma para periodo retorno 10 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 10 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	19.07
Precipitación en 24 horas (mm)	57.22
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29

Hietograma para periodo retorno 10 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	173.68	14.47	14.47	173.68	0.63	7.51
10	113.29	18.88	4.41	52.90	0.65	7.79
15	88.24	22.06	3.18	38.13	0.68	8.10
20	73.90	24.63	2.57	30.89	0.70	8.45
25	64.40	26.83	2.20	26.42	0.74	8.84
30	57.56	28.78	1.94	23.33	0.77	9.28
35	52.34	30.53	1.75	21.04	0.81	9.78
40	48.20	32.14	1.60	19.26	0.86	10.35
45	44.83	33.62	1.49	17.82	0.92	11.03
50	42.01	35.01	1.39	16.64	0.99	11.84
55	39.61	36.31	1.30	15.64	1.07	12.82
60	37.54	37.54	1.23	14.79	1.17	14.05
65	35.74	38.72	1.17	14.05	1.30	15.64
70	34.14	39.83	1.12	13.40	1.49	17.82
75	32.72	40.90	1.07	12.82	1.75	21.04
80	31.44	41.93	1.03	12.30	2.20	26.42
85	30.29	42.91	0.99	11.84	3.18	38.13
90	29.24	43.86	0.95	11.42	14.47	173.68
95	28.28	44.78	0.92	11.03	4.41	52.90
100	27.40	45.67	0.89	10.68	2.57	30.89
105	26.59	46.54	0.86	10.35	1.94	23.33
110	25.84	47.37	0.84	10.05	1.60	19.26
115	25.14	48.19	0.81	9.78	1.39	16.64
120	24.49	48.98	0.79	9.52	1.23	14.79
125	23.88	49.75	0.77	9.28	1.12	13.40
130	23.31	50.51	0.75	9.05	1.03	12.30
135	22.78	51.24	0.74	8.84	0.95	11.42
140	22.27	51.96	0.72	8.64	0.89	10.68
145	21.79	52.67	0.70	8.45	0.84	10.05
150	21.34	53.36	0.69	8.27	0.79	9.52
155	20.92	54.03	0.68	8.10	0.75	9.05
160	20.51	54.70	0.66	7.95	0.72	8.64
165	20.13	55.35	0.65	7.79	0.69	8.27
170	19.76	55.98	0.64	7.65	0.66	7.95
175	19.41	56.61	0.63	7.51	0.64	7.65
180	19.07	57.22	0.62	7.38	0.62	7.38

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 25$ años

Tabla 30

Hietograma para periodo retorno 25 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 25 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	22.27
Precipitación en 24 horas (mm)	66.82
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Hietograma para periodo retorno 25 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	202.81	16.90	16.90	202.81	0.73	8.77
10	132.30	22.05	5.15	61.78	0.76	9.10
15	103.04	25.76	3.71	44.53	0.79	9.46
20	86.30	28.77	3.01	36.07	0.82	9.87
25	75.21	31.34	2.57	30.85	0.86	10.32
30	67.21	33.61	2.27	27.24	0.90	10.83
35	61.12	35.65	2.05	24.57	0.95	11.42
40	56.29	37.53	1.87	22.49	1.01	12.09
45	52.35	39.26	1.73	20.81	1.07	12.88
50	49.06	40.88	1.62	19.43	1.15	13.82
55	46.26	42.40	1.52	18.27	1.25	14.97
60	43.84	43.84	1.44	17.27	1.37	16.41
65	41.73	45.21	1.37	16.41	1.52	18.27
70	39.87	46.51	1.30	15.64	1.73	20.81
75	38.21	47.76	1.25	14.97	2.05	24.57
80	36.72	48.96	1.20	14.37	2.57	30.85
85	35.37	50.11	1.15	13.82	3.71	44.53
90	34.15	51.22	1.11	13.33	16.90	202.81
95	33.03	52.29	1.07	12.88	5.15	61.78
100	32.00	53.33	1.04	12.47	3.01	36.07
105	31.05	54.34	1.01	12.09	2.27	27.24
110	30.17	55.32	0.98	11.74	1.87	22.49
115	29.36	56.27	0.95	11.42	1.62	19.43
120	28.60	57.20	0.93	11.11	1.44	17.27
125	27.89	58.10	0.90	10.83	1.30	15.64
130	27.22	58.98	0.88	10.57	1.20	14.37
135	26.60	59.84	0.86	10.32	1.11	13.33
140	26.01	60.68	0.84	10.09	1.04	12.47
145	25.45	61.50	0.82	9.87	0.98	11.74
150	24.92	62.31	0.81	9.66	0.93	11.11
155	24.43	63.10	0.79	9.46	0.88	10.57
160	23.95	63.87	0.77	9.28	0.84	10.09
165	23.50	64.63	0.76	9.10	0.81	9.66
170	23.07	65.37	0.74	8.93	0.77	9.28
175	22.66	66.11	0.73	8.77	0.74	8.93
180	22.27	66.82	0.72	8.62	0.72	8.62

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 50$ años

Tabla 32

Hietograma para periodo retorno 50 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	25.05
Precipitación en 24 horas (mm)	75.14
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33

Hietograma para periodo retorno 50 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	228.06	19.01	19.01	228.06	0.82	9.86
10	148.76	24.79	5.79	69.47	0.85	10.23
15	115.87	28.97	4.17	50.07	0.89	10.64
20	97.04	32.35	3.38	40.56	0.92	11.10
25	84.57	35.24	2.89	34.69	0.97	11.61
30	75.58	37.79	2.55	30.63	1.02	12.18
35	68.73	40.09	2.30	27.62	1.07	12.84
40	63.30	42.20	2.11	25.29	1.13	13.60
45	58.87	44.15	1.95	23.40	1.21	14.49
50	55.16	45.97	1.82	21.85	1.30	15.54
55	52.02	47.68	1.71	20.54	1.40	16.83
60	49.30	49.30	1.62	19.42	1.54	18.45
65	46.93	50.84	1.54	18.45	1.71	20.54
70	44.83	52.30	1.47	17.59	1.95	23.40
75	42.97	53.71	1.40	16.83	2.30	27.62
80	41.29	55.05	1.35	16.15	2.89	34.69
85	39.78	56.35	1.30	15.54	4.17	50.07
90	38.40	57.60	1.25	14.99	19.01	228.06
95	37.14	58.80	1.21	14.49	5.79	69.47
100	35.98	59.97	1.17	14.02	3.38	40.56
105	34.92	61.11	1.13	13.60	2.55	30.63
110	33.93	62.21	1.10	13.20	2.11	25.29
115	33.01	63.28	1.07	12.84	1.82	21.85
120	32.16	64.32	1.04	12.50	1.62	19.42
125	31.36	65.33	1.02	12.18	1.47	17.59
130	30.61	66.32	0.99	11.88	1.35	16.15
135	29.91	67.29	0.97	11.61	1.25	14.99
140	29.24	68.24	0.95	11.34	1.17	14.02
145	28.62	69.16	0.92	11.10	1.10	13.20
150	28.03	70.07	0.91	10.86	1.04	12.50
155	27.47	70.95	0.89	10.64	0.99	11.88
160	26.93	71.82	0.87	10.43	0.95	11.34
165	26.43	72.68	0.85	10.23	0.91	10.86
170	25.95	73.51	0.84	10.04	0.87	10.43
175	25.49	74.33	0.82	9.86	0.84	10.04
180	25.05	75.14	0.81	9.69	0.81	9.69

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 100$ años

Tabla 34

Hietograma para periodo retorno 100 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	28.17
Precipitación en 24 horas (mm)	84.50
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35

Hietograma para periodo retorno 100 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	256.45	21.37	21.37	256.45	0.92	11.09
10	167.28	27.88	6.51	78.11	0.96	11.51
15	130.29	32.57	4.69	56.30	1.00	11.97
20	109.12	36.37	3.80	45.61	1.04	12.48
25	95.10	39.62	3.25	39.01	1.09	13.05
30	84.99	42.49	2.87	34.45	1.14	13.70
35	77.28	45.08	2.59	31.06	1.20	14.44
40	71.18	47.45	2.37	28.43	1.27	15.29
45	66.19	49.65	2.19	26.32	1.36	16.29
50	62.03	51.69	2.05	24.57	1.46	17.48
55	58.49	53.62	1.92	23.10	1.58	18.93
60	55.44	55.44	1.82	21.84	1.73	20.74
65	52.77	57.17	1.73	20.74	1.92	23.10
70	50.41	58.81	1.65	19.78	2.19	26.32
75	48.31	60.39	1.58	18.93	2.59	31.06
80	46.43	61.91	1.51	18.17	3.25	39.01
85	44.73	63.36	1.46	17.48	4.69	56.30
90	43.18	64.77	1.40	16.86	21.37	256.45
95	41.76	66.12	1.36	16.29	6.51	78.11
100	40.46	67.44	1.31	15.77	3.80	45.61
105	39.26	68.71	1.27	15.29	2.87	34.45
110	38.15	69.95	1.24	14.85	2.37	28.43
115	37.12	71.15	1.20	14.44	2.05	24.57
120	36.16	72.32	1.17	14.05	1.82	21.84
125	35.26	73.47	1.14	13.70	1.65	19.78
130	34.42	74.58	1.11	13.36	1.51	18.17
135	33.63	75.67	1.09	13.05	1.40	16.86
140	32.88	76.73	1.06	12.76	1.31	15.77
145	32.18	77.77	1.04	12.48	1.24	14.85
150	31.52	78.79	1.02	12.22	1.17	14.05
155	30.88	79.78	1.00	11.97	1.11	13.36
160	30.29	80.76	0.98	11.73	1.06	12.76
165	29.72	81.72	0.96	11.51	1.02	12.22
170	29.18	82.66	0.94	11.29	0.98	11.73
175	28.66	83.59	0.92	11.09	0.94	11.29
180	28.17	84.50	0.91	10.90	0.91	10.90

Fuente: Elaboración Propia

- Hietograma de precipitación para un periodo de retorno $T = 500$ años

Tabla 36

Hietograma para periodo retorno 500 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 500 AÑOS	
Duración de la tormenta (h)	3
Intensidad de lluvia (mm/h)	36.98
Precipitación en 24 horas (mm)	110.95
Intervalos de tiempo (min)	5

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37

Hietograma para periodo retorno 500 años

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	336.75	28.06	28.06	336.75	1.21	14.57
10	219.66	36.61	8.55	102.57	1.26	15.11
15	171.09	42.77	6.16	73.93	1.31	15.71
20	143.29	47.76	4.99	59.89	1.37	16.39
25	124.87	52.03	4.27	51.22	1.43	17.14
30	111.60	55.80	3.77	45.23	1.50	17.99
35	101.48	59.20	3.40	40.79	1.58	18.96
40	93.47	62.31	3.11	37.34	1.67	20.08
45	86.92	65.19	2.88	34.56	1.78	21.39
50	81.45	67.88	2.69	32.27	1.91	22.95
55	76.81	70.41	2.53	30.33	2.07	24.86
60	72.80	72.80	2.39	28.68	2.27	27.24
65	69.29	75.07	2.27	27.24	2.53	30.33
70	66.20	77.23	2.16	25.98	2.88	34.56
75	63.44	79.30	2.07	24.86	3.40	40.79
80	60.97	81.29	1.99	23.85	4.27	51.22
85	58.73	83.20	1.91	22.95	6.16	73.93
90	56.70	85.05	1.84	22.13	28.06	336.75
95	54.84	86.83	1.78	21.39	8.55	102.57
100	53.13	88.55	1.73	20.71	4.99	59.89
105	51.56	90.23	1.67	20.08	3.77	45.23
110	50.10	91.85	1.62	19.50	3.11	37.34
115	48.75	93.43	1.58	18.96	2.69	32.27
120	47.49	94.97	1.54	18.46	2.39	28.68
125	46.31	96.47	1.50	17.99	2.16	25.98
130	45.20	97.93	1.46	17.55	1.99	23.85
135	44.16	99.36	1.43	17.14	1.84	22.13
140	43.18	100.76	1.40	16.75	1.73	20.71
145	42.26	102.12	1.37	16.39	1.62	19.50
150	41.38	103.46	1.34	16.04	1.54	18.46
155	40.56	104.77	1.31	15.71	1.46	17.55
160	39.77	106.05	1.28	15.41	1.40	16.75
165	39.02	107.31	1.26	15.11	1.34	16.04
170	38.31	108.55	1.24	14.83	1.28	15.41
175	37.63	109.76	1.21	14.57	1.24	14.83
180	36.98	110.95	1.19	14.31	1.19	14.31

Fuente: Elaboración Propia

- Gráfica de hietogramas T= 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500.

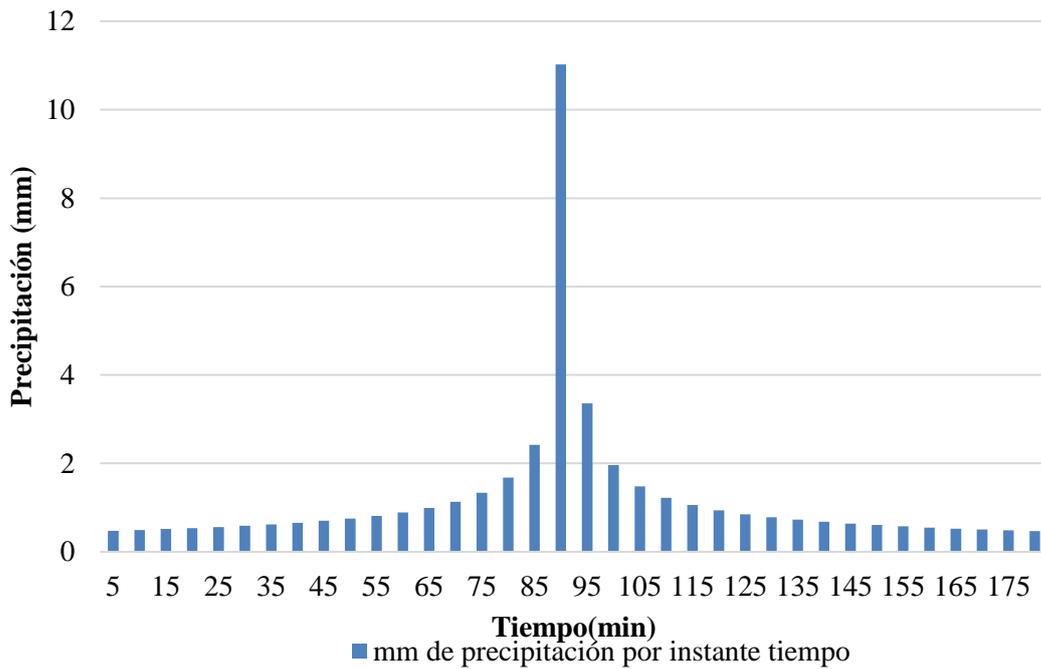


Figura 17: Hietograma precipitación t=2años
Fuente: Elaboración Propia

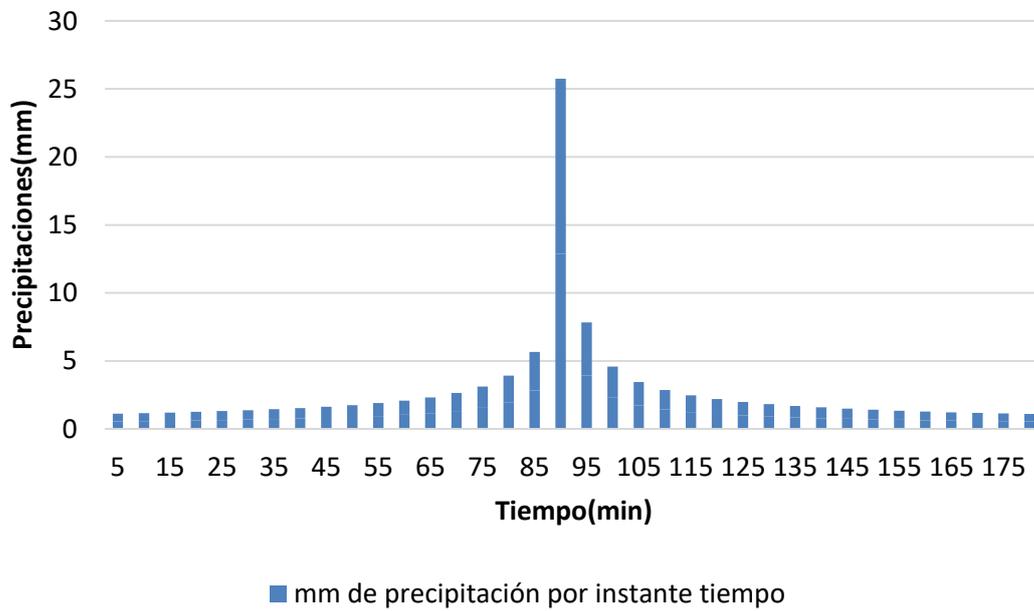


Figura 18: Hietograma precipitación t=5años
Fuente: Elaboración Propia

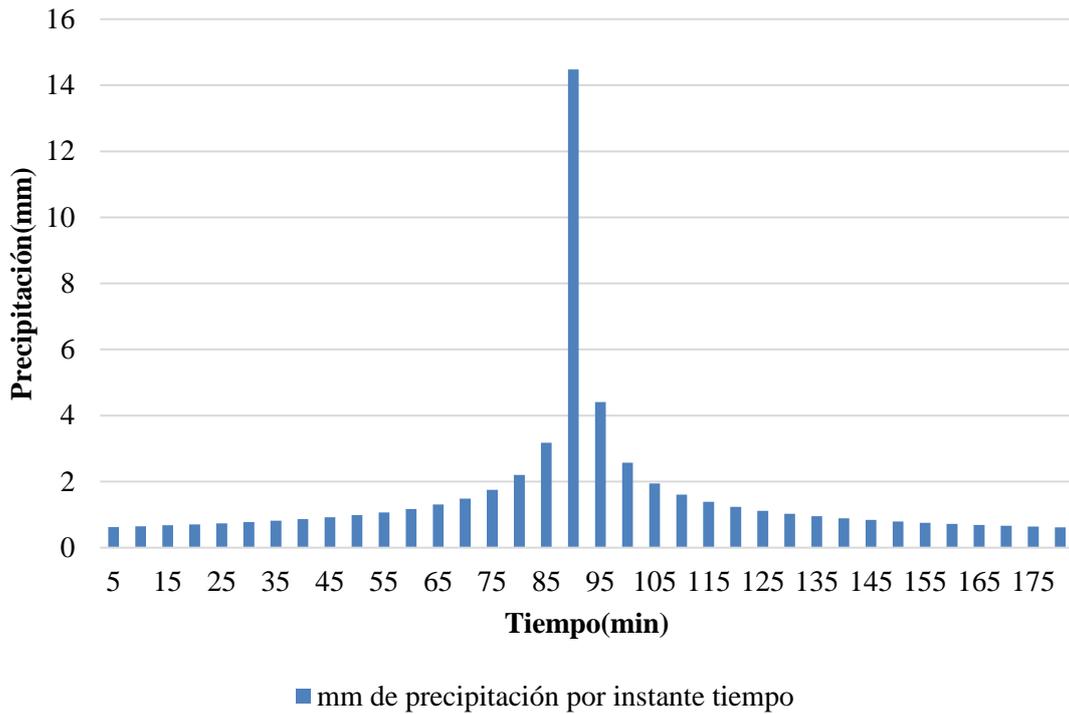


Figura 19: Hietograma precipitación t=10años
 Fuente: Elaboración Propia

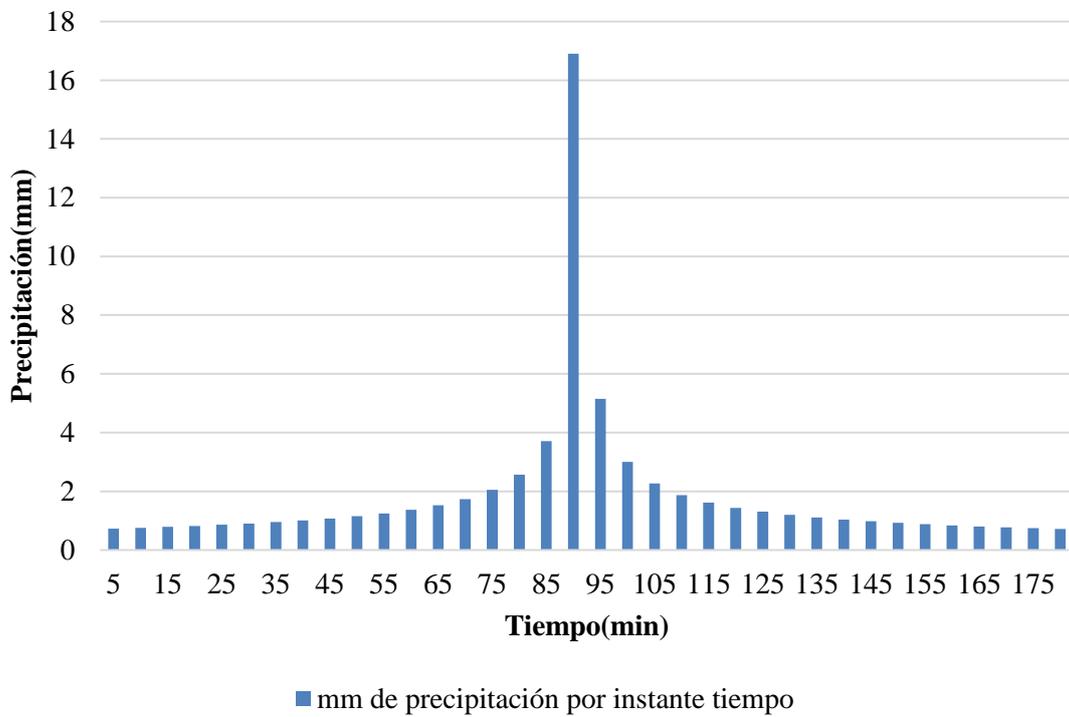


Figura 20: Hietograma precipitación t=25años
 Fuente: Elaboración Propia

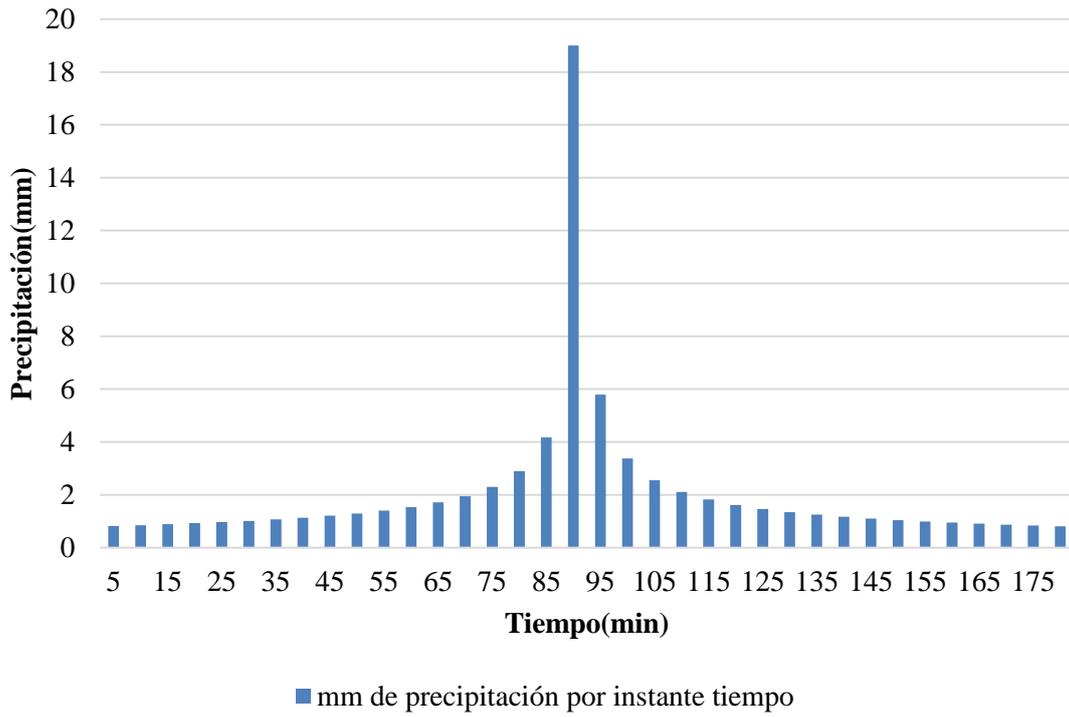


Figura 21: Hietograma precipitación t=50años
 Fuente: Elaboración Propia

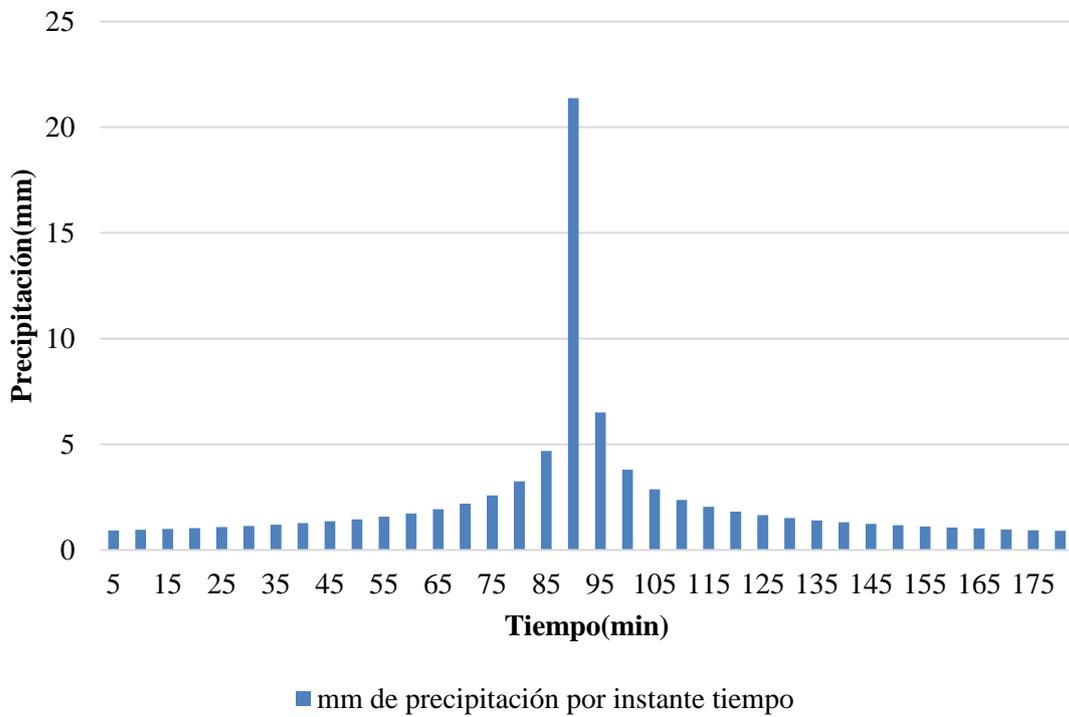


Figura 22: Hietograma precipitación t=100años
 Fuente: Elaboración Propia

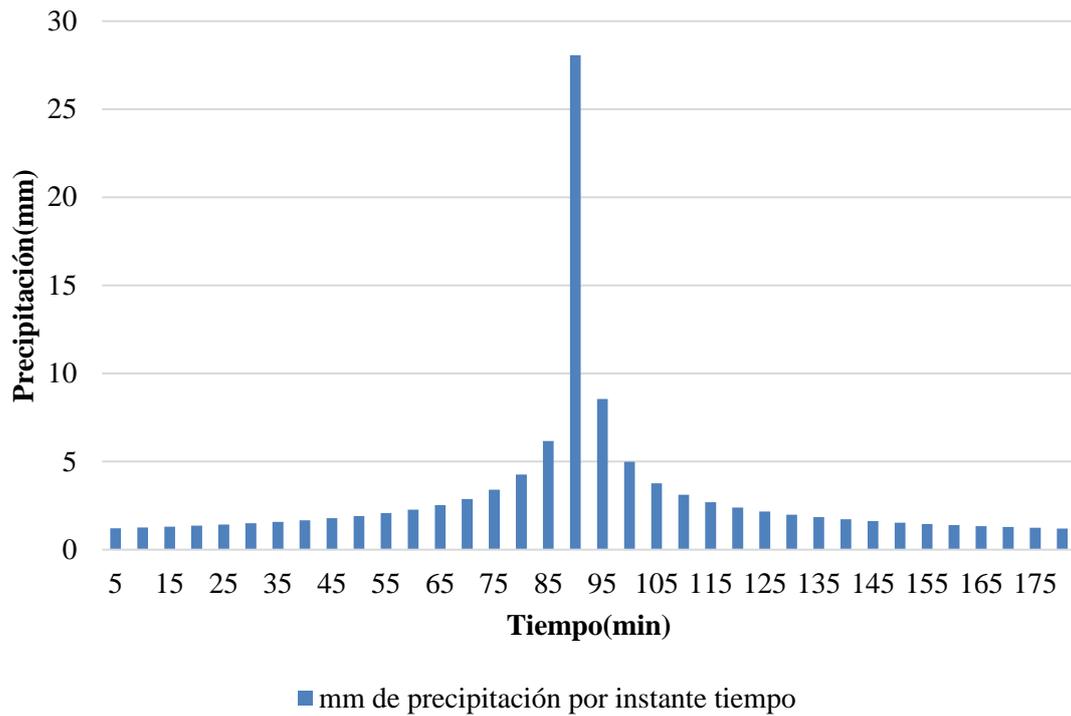


Figura 23: Hietograma precipitación t=500años

Fuente: Elaboración Propia

- Valores máximos de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Tabla 38

Valores máximos de caudales para diferentes periodos de retorno

T(años)	2	5	10	25	50	100	500
Q(m ³ /s)	197.3	282.4	356.9	486.5	605.8	745.3	802.4

T= Tiempo de retorno (años)

Q= Caudal máximo (m³/s)

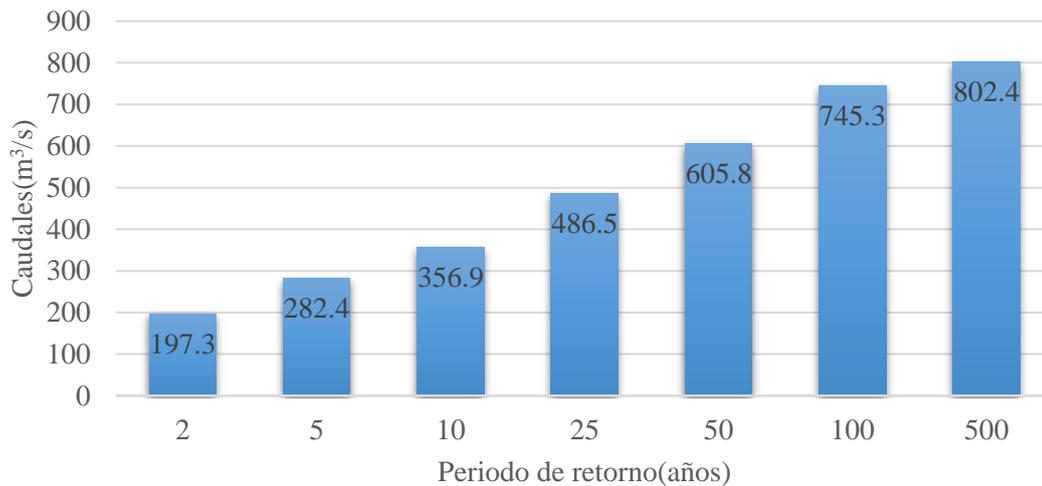


Figura 24: Hidrograma para diferentes tiempos de retorno
Fuente: Elaboración Propia

5.5. Modelamiento HEC-RAS

Los resultados de las precipitaciones máximas y caudales máximos son procesados en el programa Hec-Ras para su modelamiento hidráulico de la presente investigación, para periodos de retorno entre 2 y 500 años, se realizó con el fin de la ubicación de las defensas ribereñas para demostrar el área de inundación según la figura N° 25.

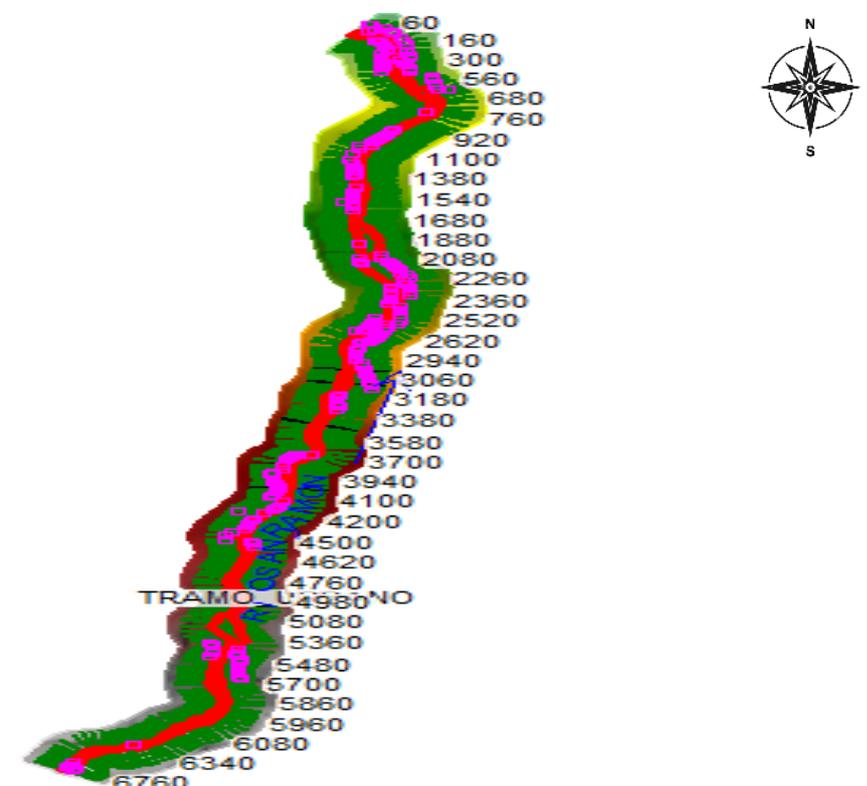


Figura 25: Río San Ramón área, área urbana
Fuente: Elaboración Propia

- Sección transversal de la sub-cuenca aguas arriba progresiva 6760m. En la figura N° 26 se observa los cortes de la sección del río a diferentes periodos de retorno (T=2 años - T=500 años) y se observa que los tirantes del flujo no sobrepasan el perfil de la sección del río, por tal motivo no existe áreas inundadas dentro de la urbanización del distrito de Pangoa.

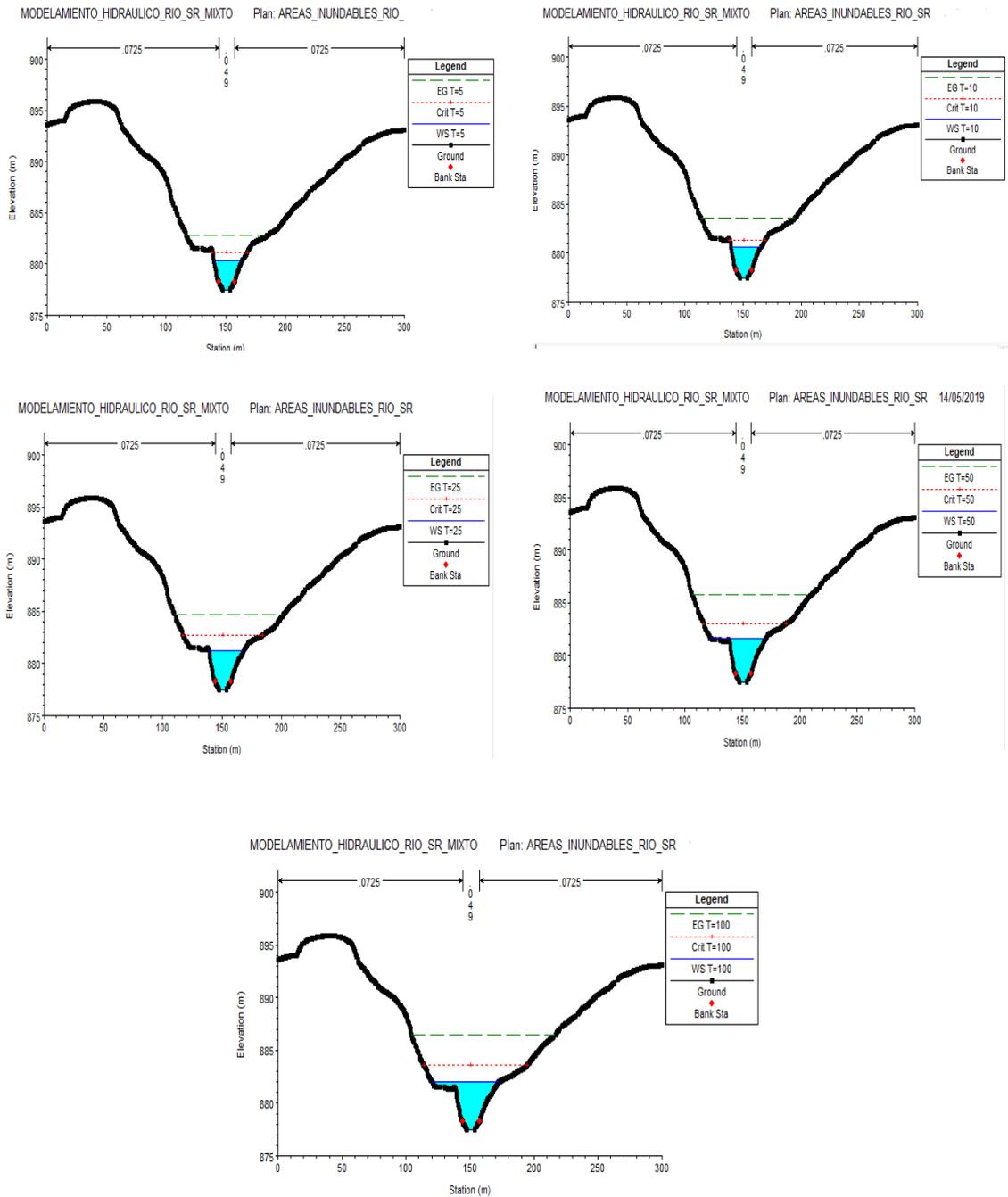


Figura 26: Río San Ramón área, área urbana progresiva 6760m
Fuente: Elaboración Propia

- La Sección transversal de la sub-cuenca aguas abajo progresiva 3380 m (área inundable). En esta figura N°27 observamos los cortes de la sección del río a diferentes periodos de retorno y se observa que los tirantes del flujo sobrepasan el perfil de la sección del río en una cierta porción, causando daños económicos a los pobladores.

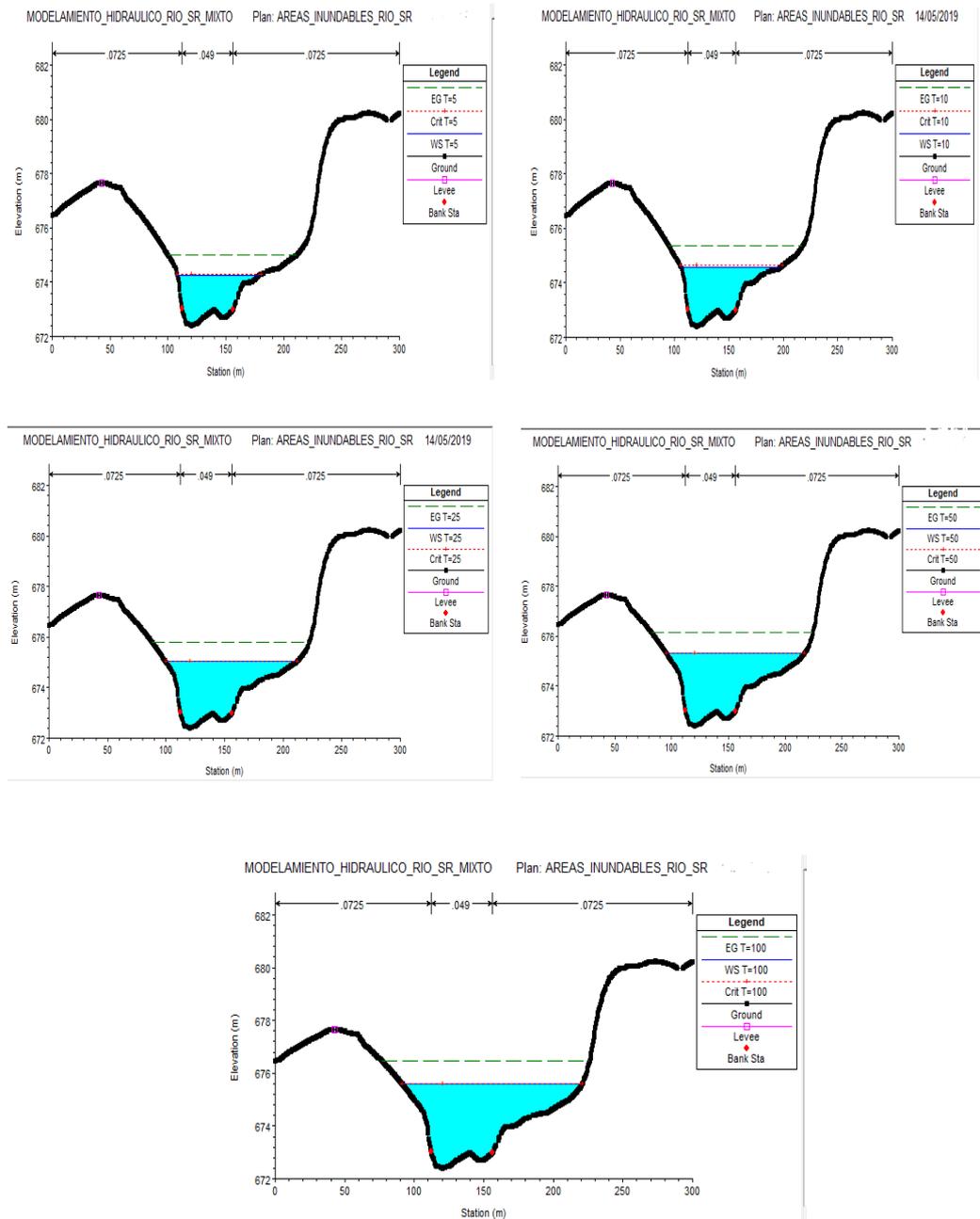


Figura 27: Río San Ramón área, área urbana progresiva 3380m
Fuente: Elaboración Propia

- Sección transversal de la sub-cuenca aguas abajo progresiva 2560 (área inundable). En la figura N°28 observamos los cortes de la sección del río a diferentes periodos de retorno y se observa que los tirantes del flujo sobrepasan el perfil de la sección del río en gran magnitud causando daños económicos a los pobladores e infraestructura construida cerca de las riberas del Río.

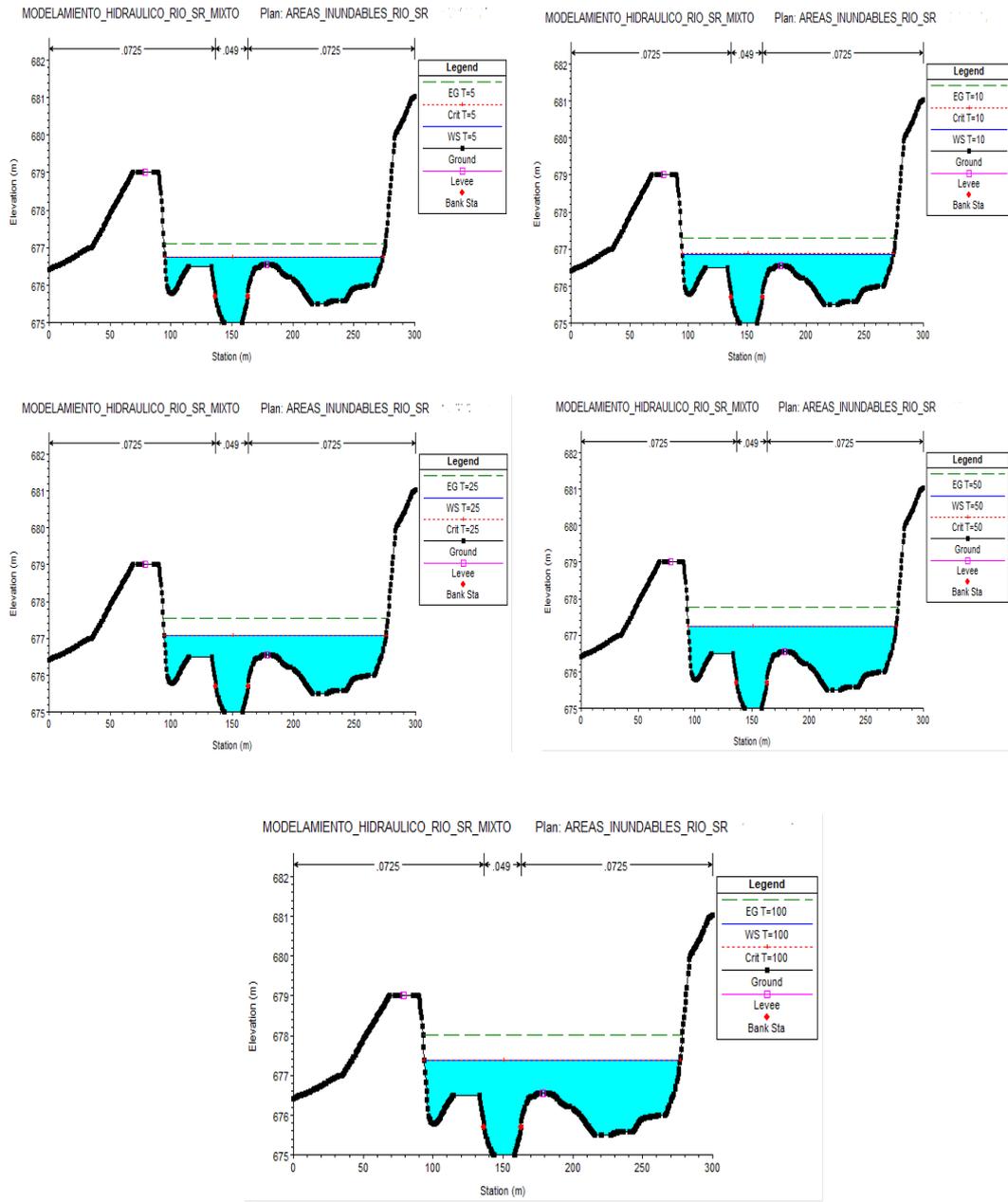


Figura 28: Río San Ramón área, área urbana progresiva 2560m
Fuente: Elaboración Propia

- Modelamiento Hec-Ras vista en planta a T=500. En esta figura N°29 se observa de color azul y celeste como es su trayectoria del río hasta salir de la zona urbana y se puede apreciar q sale de su trayectoria hacia el lado derecho e izquierdo causando inundaciones a las casas aledañas al río.

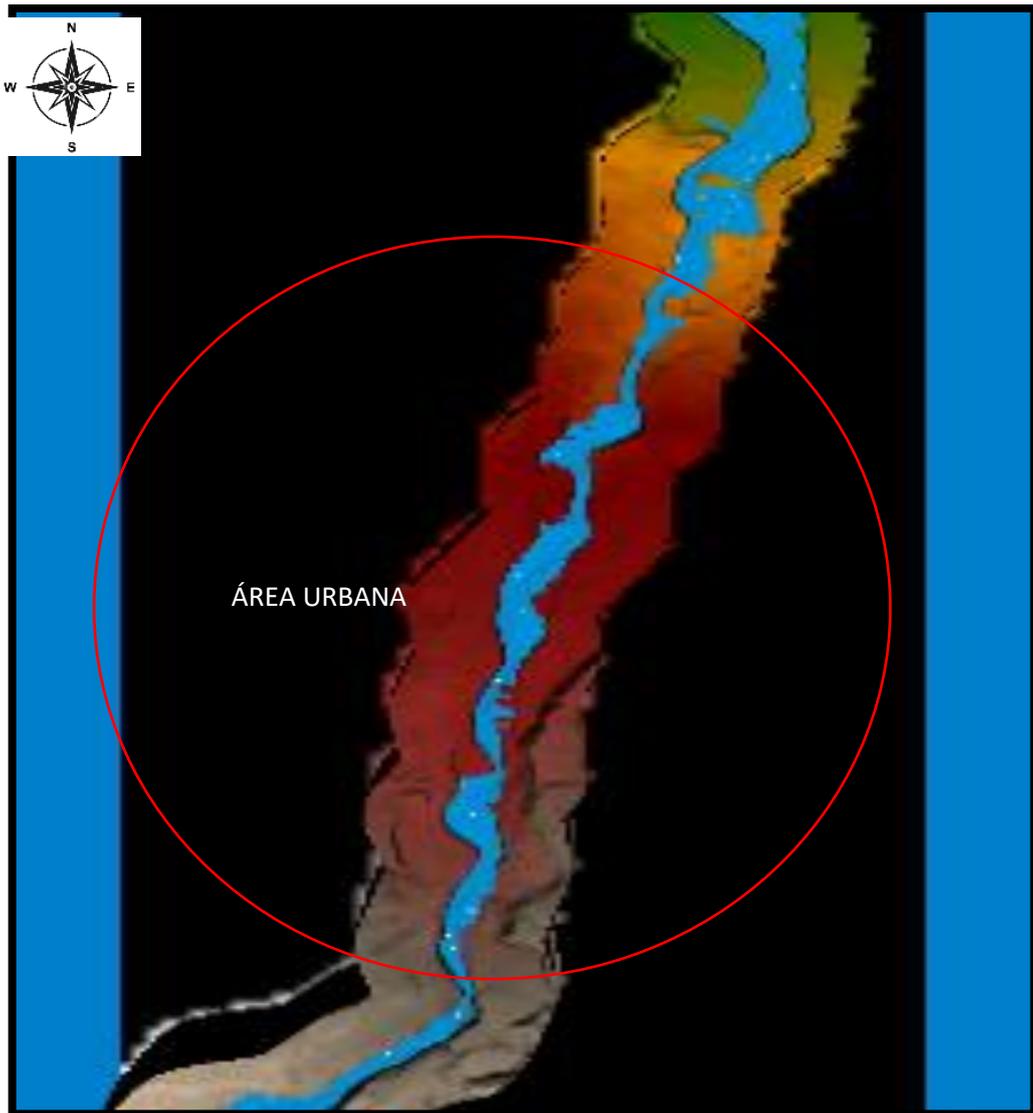


Figura 29: Río San Ramón área, vista en planta
Fuente: Elaboración Propia

- Modelamiento Hec-Ras vista en planta a T=500 con protección de defensa ribereña. Se observa en la figura N°30 como el Río mantiene su cauce en la misma trayectoria a pesar que en algunas curvas se ensancha su canal, pero ese tramo es parte del río así que no hay problema a la hora de la inundación, es por eso q no fue necesario colocar en esos tramos la defensa ribereña.

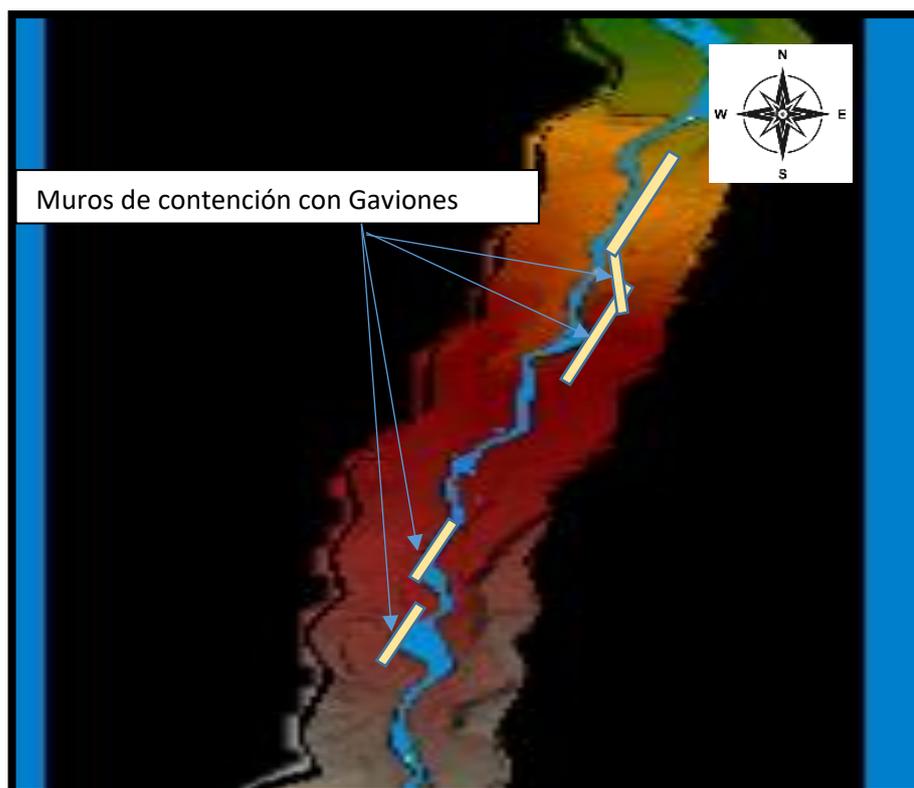


Figura 30: Río San Ramón área, vista en planta
Fuente: Elaboración Propia

5.6. Modelamiento ArcGIS Pro.

Se desarrollará el procedimiento de la modelación hidrológica a partir de mapas temáticos y fuentes satelitales, los cuales se evaluará estos mapas temáticos en el software Hec-Ras 6.3.1, después se interceptará con el catastro del distrito de San Martín de Pangoa y finalmente se obtendrá los resultados de las inundaciones en la zona urbana.

- Importación de archivos DEM con grillas de 12.5m. La importación de este archivo fueron cuatro cuadros porque la subcuenca del río San Ramón ocupa estos tramos

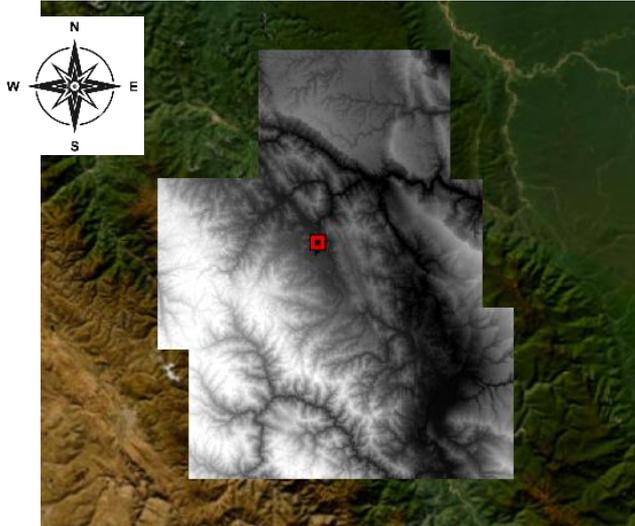


Figura 31: Superficie de Sub cuenca río San Ramón
Fuente: Elaboración Propia

- Unión de DEM a una sola capa. El procesamiento de los cuatro DEM se concateno y como resultado se obtiene un solo DEM para su desarrollo e insertar en el programa ArcGIS.

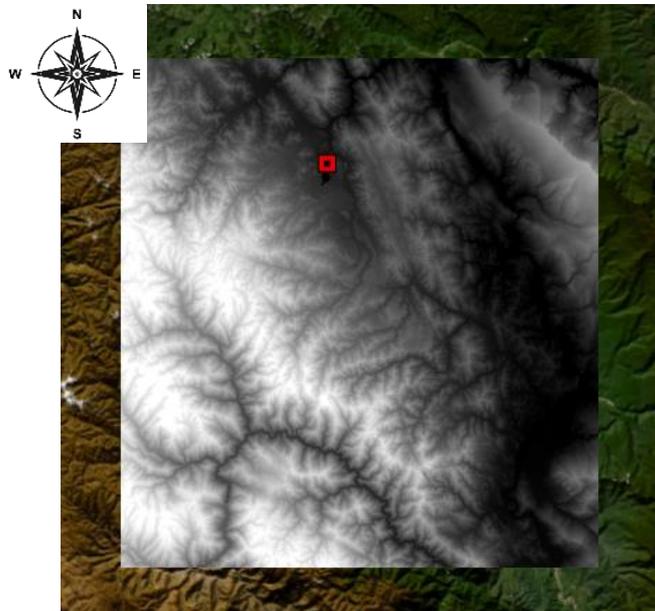


Figura 32: Intercepción de DEM en una sola capa
Fuente: Elaboración Propia

- El Flow direction de la cuenca. Esta configuración en el programa ArcGIS como resultado del procesamiento de la topografía, mediante esta función se genera la dirección del flujo hacia el punto de aforo.

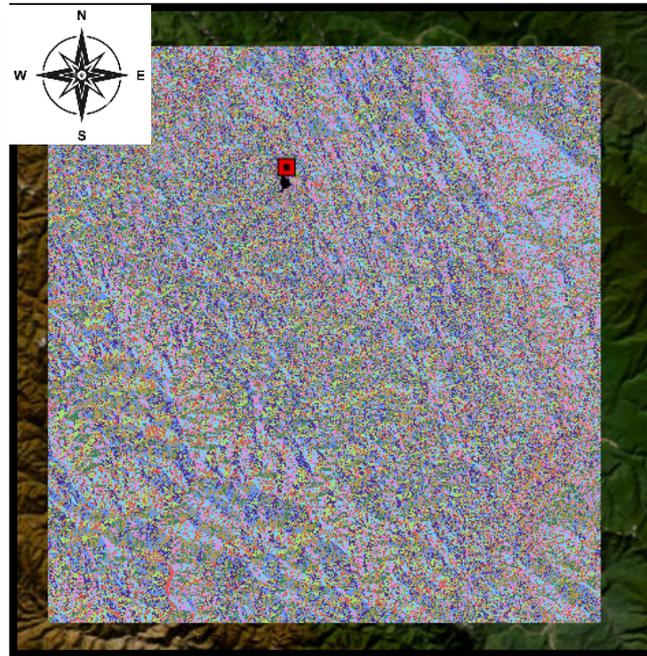


Figura 33: Dirección de escorrentía de sub cuenca San Ramón
Fuente: Elaboración Propia

- Demarcación de la subcuenca. El programa ArcGIS genera su propia subcuenca después de la configuración en la figura N°34.

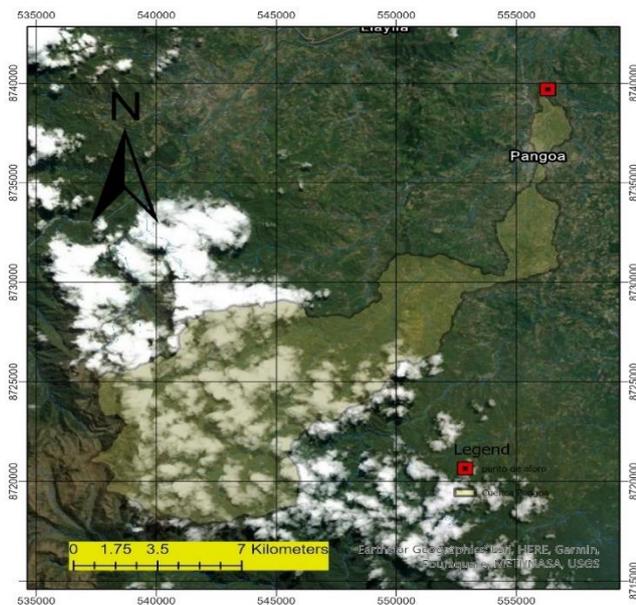


Figura 34: Delimitación de Sub cuenca río San Ramón
Fuente: Elaboración Propia

- Demarcación del flujo de agua en el cauce del río, mediante la fotogrametría elaborado por imágenes satelitales (ASF)

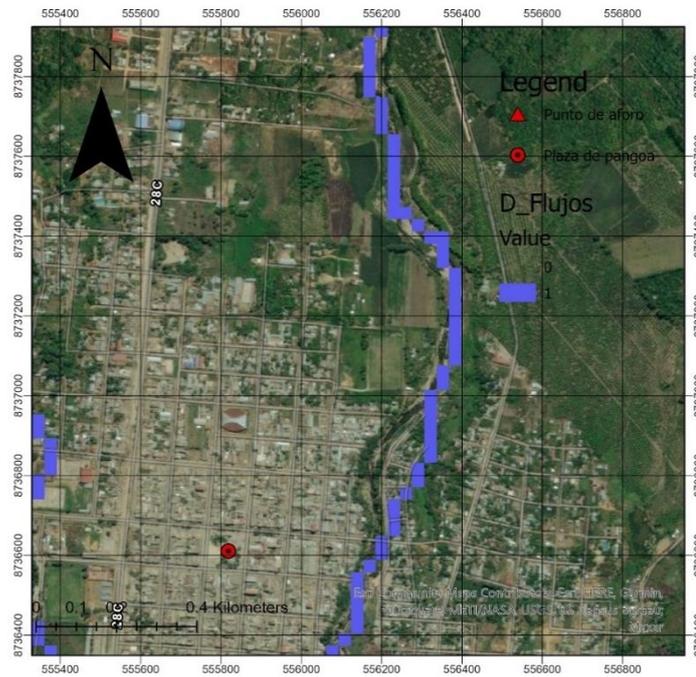


Figura 35: Demarcación de flujo del agua
Fuente: Elaboración Propia

- Cuenca demarcada con flujo de agua en dirección al norte

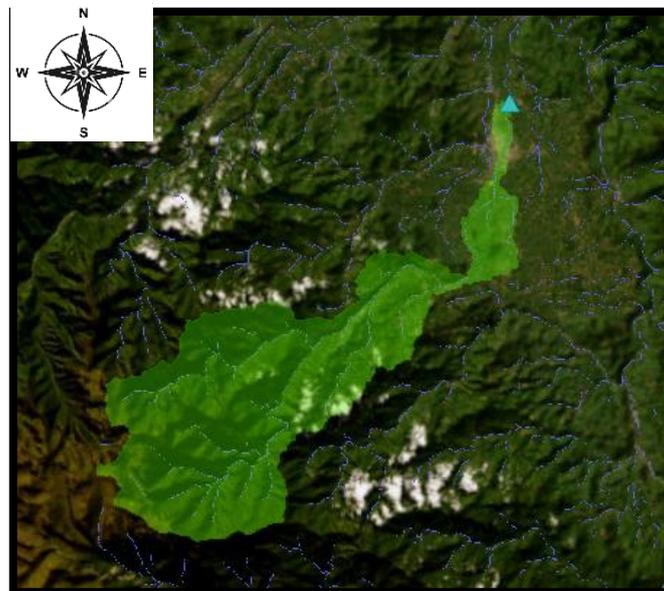


Figura 36: Demarcación de sub cuenca vista en planta
Fuente: Elaboración Propia

- Vista en planta de la inundación del río san Ramón zona urbana a T=500. La modelación en ArcGIS usa los colores para poder diferenciar la altura de inundación en la trayectoria del flujo.

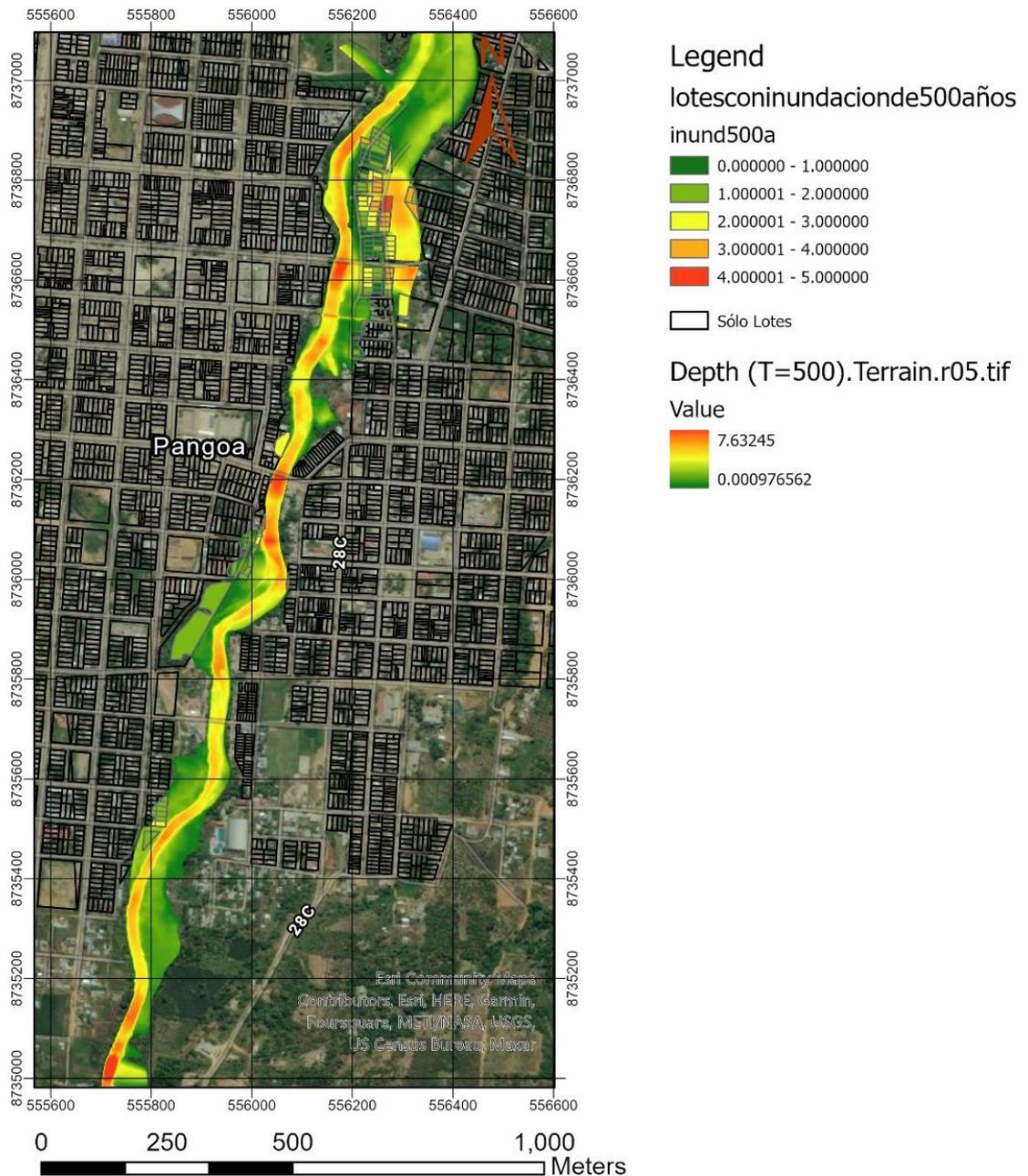


Figura 37: Áreas inundables caudal máximo para T=500años
Fuente: Elaboración Propia

- Vista en planta de la inundación del río San Ramón con defensa ribereña en la zona urbana a T=500 años. El esquema de ubicación de los gaviones usa el criterio de la simulación de inundación modelada en el ArcGIS.



Figura 38: Río San Ramón área, vista de la defensa ribereña con el catastro
Fuente: Elaboración Propia

- Selección de lotes afectados por la inundación a T=500 años. En el programa ArcGIS, la intersección del catastro con la máxima avenida del río, muestra como resultado la cantidad de lotes afectados, junto con la altura de inundación.

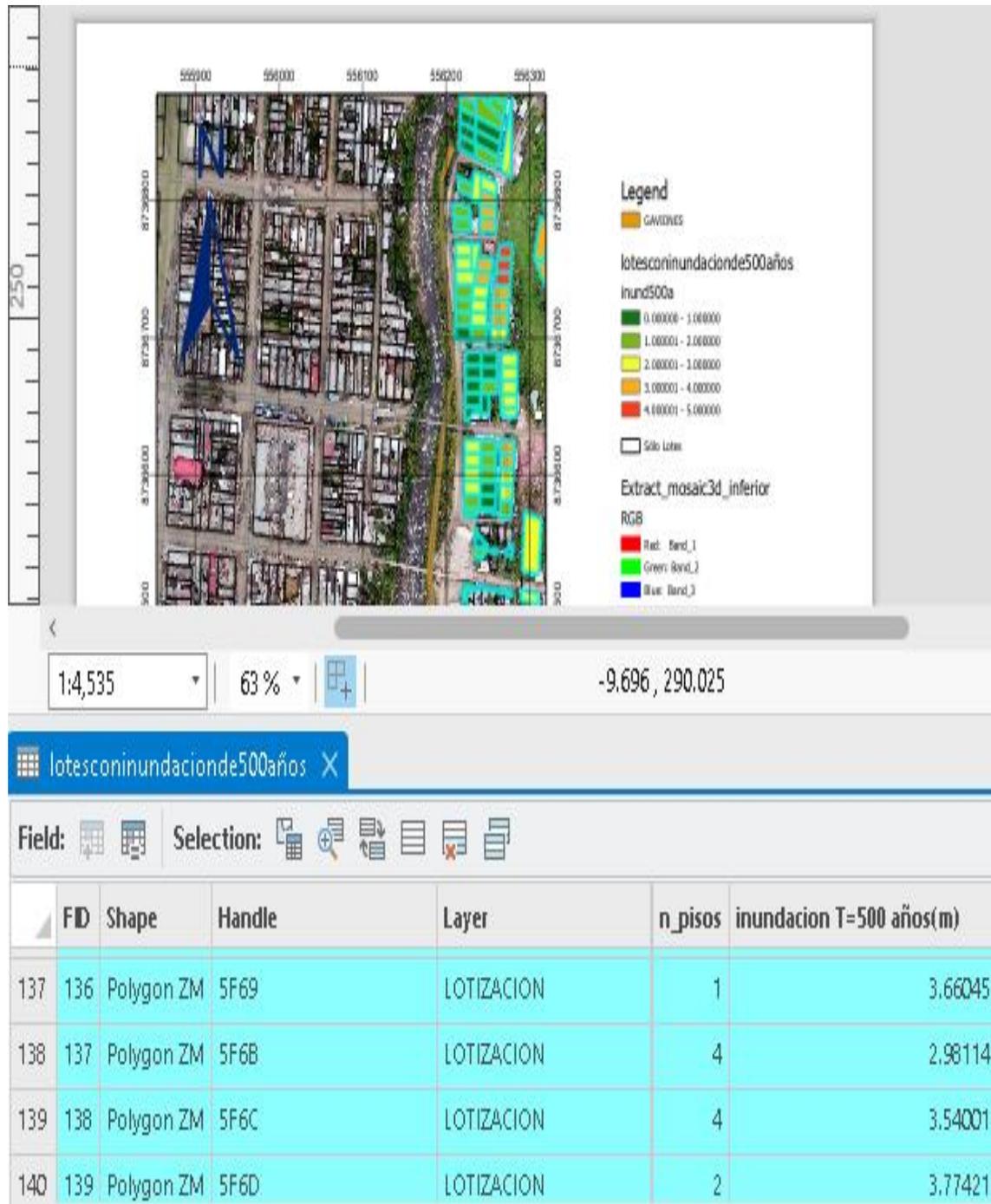


Figura 39: Río San Ramón vista de lotes afectadas por inundación
Fuente: Elaboración Propia

- Propuesta de defensa ribereña, mediante la modelación 3D en ArcGIS se muestra en las figuras N°40 Y N°41. Se observa propuesta de la defensa Ribereña, tipo Gaviones. La altura del Gavión es 5 m en toda su longitud.



Figura 40: Vista del Río San Ramón en 3D con gaviones de altura de 5m
Fuente: Elaboración Propia



Figura 41: Vista del Río San Ramón en 3D con sus gaviones de altura de 5m
en toda su longitud
Fuente: Elaboración Propia

5.7. Análisis de Resultados.

Se observa la tabla N°39 se utilizó datos del catastro del distrito de Pangoa, y se hizo la recopilación de datos de las casas con el uso de mapas temáticos. A continuación, se observa la cantidad de número de pisos que se tiene por lote, el número de habitantes y la altura de inundación por lote en metros. Esta información recaudada después del análisis de inundación del río San Ramón se puede utilizar para el estudio del perfil a desarrollar un proyecto en el futuro para así evitar posibles daños económicos de los habitantes que habitan en estas áreas.

Tabla 39
Resultados del Hec-Ras a T=500años

FID	Shape *	Handle	Layer	n_pisos	Habitantes(n)	Altura de inundación T=500 años(m)
102	Polygon ZM	5F40	LOTIZACIÓN	4	3	0.000
1	Polygon ZM	3D1F	LOTIZACIÓN	1	4	0.045
49	Polygon ZM	5EF3	LOTIZACIÓN	1	3	0.048
40	Polygon ZM	5C98	LOTIZACIÓN	1	3	0.060
64	Polygon ZM	5F12	LOTIZACIÓN	4	3	0.065
41	Polygon ZM	5C99	LOTIZACIÓN	3	5	0.087
42	Polygon ZM	5C9A	LOTIZACIÓN	1	5	0.095
63	Polygon ZM	5F0F	LOTIZACIÓN	4	3	0.109
39	Polygon ZM	58C4	LOTIZACIÓN	2	4	0.112
32	Polygon ZM	5606	LOTIZACIÓN	3	5	0.119
18	Polygon ZM	455F	LOTIZACIÓN	2	1	0.121
48	Polygon ZM	5EEE	LOTIZACIÓN	1	5	0.155
62	Polygon ZM	5F0E	LOTIZACIÓN	1	3	0.166
53	Polygon ZM	5EFF	LOTIZACIÓN	3	1	0.213
74	Polygon ZM	5F20	LOTIZACIÓN	2	5	0.301
95	Polygon ZM	5F38	LOTIZACIÓN	3	1	0.312
96	Polygon ZM	5F39	LOTIZACIÓN	4	5	0.312
54	Polygon ZM	5F00	LOTIZACIÓN	1	3	0.331
38	Polygon ZM	564B	LOTIZACIÓN	2	5	0.367
20	Polygon ZM	458E	LOTIZACIÓN	4	3	0.405
118	Polygon ZM	5F55	LOTIZACIÓN	4	5	0.405
117	Polygon ZM	5F54	LOTIZACIÓN	2	4	0.406
94	Polygon ZM	5F37	LOTIZACIÓN	3	4	0.440
59	Polygon ZM	5F0A	LOTIZACIÓN	1	1	0.450
147	Polygon ZM	69D0	LOTIZACIÓN	4	2	0.467
67	Polygon ZM	5F17	LOTIZACIÓN	1	2	0.500
52	Polygon ZM	5EFB	LOTIZACIÓN	1	4	0.542
58	Polygon ZM	5F07	LOTIZACIÓN	2	3	0.557
47	Polygon ZM	5EED	LOTIZACIÓN	4	4	0.564

75	Polygon ZM	5F21	LOTIZACIÓN	2	2	0.585
97	Polygon ZM	5F3A	LOTIZACIÓN	1	3	0.602
93	Polygon ZM	5F36	LOTIZACIÓN	4	1	0.613
0	Polygon ZM	3BFF	LOTIZACIÓN	4	3	0.675
120	Polygon ZM	5F57	LOTIZACIÓN	4	4	0.678
61	Polygon ZM	5F0C	LOTIZACIÓN	2	5	0.689
4	Polygon ZM	42AA	LOTIZACIÓN	4	1	0.702
98	Polygon ZM	5F3B	LOTIZACIÓN	4	4	0.706
77	Polygon ZM	5F23	LOTIZACIÓN	2	5	0.706
60	Polygon ZM	5F0B	LOTIZACIÓN	1	2	0.712
57	Polygon ZM	5F05	LOTIZACIÓN	4	4	0.740
34	Polygon ZM	560C	LOTIZACIÓN	3	5	0.744
33	Polygon ZM	5607	LOTIZACIÓN	3	3	0.823
121	Polygon ZM	5F58	LOTIZACIÓN	3	4	0.834
51	Polygon ZM	5EFA	LOTIZACIÓN	1	3	0.908
14	Polygon ZM	42B4	LOTIZACIÓN	1	4	0.948
119	Polygon ZM	5F56	LOTIZACIÓN	4	4	0.955
66	Polygon ZM	5F16	LOTIZACIÓN	2	3	0.975
91	Polygon ZM	5F33	LOTIZACIÓN	1	1	0.986
90	Polygon ZM	5F32	LOTIZACIÓN	3	1	0.990
37	Polygon ZM	562F	LOTIZACIÓN	1	1	1.002
65	Polygon ZM	5F15	LOTIZACIÓN	4	1	1.006
126	Polygon ZM	5F5D	LOTIZACIÓN	1	3	1.037
36	Polygon ZM	5621	LOTIZACIÓN	2	5	1.057
5	Polygon ZM	42AB	LOTIZACIÓN	3	2	1.058
92	Polygon ZM	5F34	LOTIZACIÓN	4	5	1.078
31	Polygon ZM	461A	LOTIZACIÓN	2	4	1.096
21	Polygon ZM	4590	LOTIZACIÓN	4	3	1.097
130	Polygon ZM	5F61	LOTIZACIÓN	1	3	1.098
113	Polygon ZM	5F4D	LOTIZACIÓN	3	4	1.120
123	Polygon ZM	5F5A	LOTIZACIÓN	3	3	1.132
127	Polygon ZM	5F5E	LOTIZACIÓN	1	5	1.148
30	Polygon ZM	45A2	LOTIZACIÓN	2	2	1.150
56	Polygon ZM	5F03	LOTIZACIÓN	2	4	1.199
80	Polygon ZM	5F26	LOTIZACIÓN	3	3	1.260
82	Polygon ZM	5F28	LOTIZACIÓN	2	5	1.261
73	Polygon ZM	5F1F	LOTIZACIÓN	4	4	1.267
50	Polygon ZM	5EF9	LOTIZACIÓN	2	2	1.292
35	Polygon ZM	560D	LOTIZACIÓN	4	4	1.303
8	Polygon ZM	42AE	LOTIZACIÓN	2	3	1.331
116	Polygon ZM	5F53	LOTIZACIÓN	2	5	1.358
83	Polygon ZM	5F29	LOTIZACIÓN	2	5	1.361
22	Polygon ZM	4592	LOTIZACIÓN	4	3	1.402
103	Polygon ZM	5F41	LOTIZACIÓN	4	1	1.420
104	Polygon ZM	5F42	LOTIZACIÓN	1	1	1.439
3	Polygon ZM	42A9	LOTIZACIÓN	1	1	1.470

11	Polygon ZM	42B1	LOTIZACIÓN	1	4	1.483
107	Polygon ZM	5F45	LOTIZACIÓN	2	5	1.500
26	Polygon ZM	459A	LOTIZACIÓN	1	2	1.502
25	Polygon ZM	4598	LOTIZACIÓN	1	1	1.513
122	Polygon ZM	5F59	LOTIZACIÓN	3	2	1.517
29	Polygon ZM	45A0	LOTIZACIÓN	4	4	1.524
151	Polygon ZM	6.90E+07	LOTIZACIÓN	4	4	1.544
125	Polygon ZM	5F5C	LOTIZACIÓN	3	3	1.573
128	Polygon ZM	5F5F	LOTIZACIÓN	2	2	1.584
7	Polygon ZM	42AD	LOTIZACIÓN	4	4	1.598
99	Polygon ZM	5F3D	LOTIZACIÓN	1	4	1.614
6	Polygon ZM	42AC	LOTIZACIÓN	1	1	1.638
145	Polygon ZM	6993	LOTIZACIÓN	4	5	1.661
146	Polygon ZM	6997	LOTIZACIÓN	4	5	1.661
43	Polygon ZM	5E8B	LOTIZACIÓN	3	2	1.663
27	Polygon ZM	459C	LOTIZACIÓN	1	3	1.669
23	Polygon ZM	4594	LOTIZACIÓN	3	4	1.669
12	Polygon ZM	42B2	LOTIZACIÓN	2	5	1.683
55	Polygon ZM	5F01	LOTIZACIÓN	4	5	1.700
105	Polygon ZM	5F43	LOTIZACIÓN	1	3	1.754
68	Polygon ZM	5F19	LOTIZACIÓN	3	4	1.788
76	Polygon ZM	5F22	LOTIZACIÓN	2	2	1.790
148	Polygon ZM	69D3	LOTIZACIÓN	3	2	1.812
17	Polygon ZM	42BE	LOTIZACIÓN	4	2	1.873
129	Polygon ZM	5F60	LOTIZACIÓN	1	2	1.919
19	Polygon ZM	458A	LOTIZACIÓN	1	1	1.922
108	Polygon ZM	5F46	LOTIZACIÓN	1	2	1.924
114	Polygon ZM	5F4F	LOTIZACIÓN	2	5	2.030
24	Polygon ZM	4596	LOTIZACIÓN	2	5	2.080
84	Polygon ZM	5F2A	LOTIZACIÓN	3	2	2.148
132	Polygon ZM	5F65	LOTIZACIÓN	1	4	2.187
78	Polygon ZM	5F24	LOTIZACIÓN	1	1	2.198
134	Polygon ZM	5F67	LOTIZACIÓN	4	3	2.218
2	Polygon ZM	3D26	LOTIZACIÓN	4	4	2.231
100	Polygon ZM	5F3E	LOTIZACIÓN	1	2	2.309
131	Polygon ZM	5F64	LOTIZACIÓN	3	1	2.332
81	Polygon ZM	5F27	LOTIZACIÓN	3	1	2.341
79	Polygon ZM	5F25	LOTIZACIÓN	4	5	2.353
9	Polygon ZM	42AF	LOTIZACIÓN	2	2	2.361
10	Polygon ZM	42B0	LOTIZACIÓN	1	2	2.361
101	Polygon ZM	5F3F	LOTIZACIÓN	4	3	2.396
28	Polygon ZM	459E	LOTIZACIÓN	3	5	2.481
115	Polygon ZM	5F52	LOTIZACIÓN	2	1	2.563
44	Polygon ZM	5E8C	LOTIZACIÓN	2	2	2.621
144	Polygon ZM	5F79	LOTIZACIÓN	4	2	2.636
70	Polygon ZM	5F1B	LOTIZACIÓN	1	4	2.689

69	Polygon ZM	5F1A	LOTIZACIÓN	2	4	2.697
88	Polygon ZM	5F2F	LOTIZACIÓN	1	2	2.735
85	Polygon ZM	5F2C	LOTIZACIÓN	3	1	2.751
106	Polygon ZM	5F44	LOTIZACIÓN	3	2	2.773
87	Polygon ZM	5F2E	LOTIZACIÓN	3	2	2.778
45	Polygon ZM	5E8D	LOTIZACIÓN	3	1	2.782
46	Polygon ZM	5E8E	LOTIZACIÓN	1	4	2.799
86	Polygon ZM	5F2D	LOTIZACIÓN	3	2	2.827
89	Polygon ZM	5F30	LOTIZACIÓN	3	4	2.865
133	Polygon ZM	5F66	LOTIZACIÓN	4	1	2.960
137	Polygon ZM	5F6B	LOTIZACIÓN	4	1	2.981
112	Polygon ZM	5F4B	LOTIZACIÓN	1	4	2.989
13	Polygon ZM	42B3	LOTIZACIÓN	3	4	3.036
71	Polygon ZM	5F1C	LOTIZACIÓN	1	1	3.167
135	Polygon ZM	5F68	LOTIZACIÓN	1	3	3.314
111	Polygon ZM	5F4A	LOTIZACIÓN	1	3	3.351
110	Polygon ZM	5F49	LOTIZACIÓN	2	1	3.480
138	Polygon ZM	5F6C	LOTIZACIÓN	4	5	3.540
136	Polygon ZM	5F69	LOTIZACIÓN	1	2	3.660
109	Polygon ZM	5F48	LOTIZACIÓN	2	4	3.694
124	Polygon ZM	5F5B	LOTIZACIÓN	2	3	3.731
72	Polygon ZM	5F1D	LOTIZACIÓN	1	1	3.761
139	Polygon ZM	5F6D	LOTIZACIÓN	2	5	3.774
150	Polygon ZM	69D9	LOTIZACIÓN	3	2	3.851
140	Polygon ZM	5F6E	LOTIZACIÓN	4	5	3.919
16	Polygon ZM	42BD	LOTIZACIÓN	3	4	3.989
149	Polygon ZM	69D6	LOTIZACIÓN	3	2	3.991
15	Polygon ZM	42BC	LOTIZACIÓN	3	1	4.042
143	Polygon ZM	5F71	LOTIZACIÓN	4	3	4.117
141	Polygon ZM	5F6F	LOTIZACIÓN	1	3	4.330
142	Polygon ZM	5F70	LOTIZACIÓN	1	5	4.436
TOTAL DE LOTES						153
NUMERO DE HABITANTES						470

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. La topografía de la subcuenca del río San Ramón tiene una pendiente de 2% con un intervalo de 735 msnm a 810 msnm del área de estudio.
2. Los caudales máximos de la subcuenca del río San Ramón en el tramo de estudio para diferentes periodos de venida según datos de la estación meteorológica de Satipo son: T2= 197.3 m³/s T5= 282.4 m³/s, T10= 356.9 m³/s, T25= 486.5 m³/s, T50= 605.8 m³/s, T100= 745.3 m³/s, T500= 802.4 m³/s.
3. Los valores máximos de los hietogramas para diferentes periodos de retorno según la estación meteorológica de Satipo son T2= 11.02mm, T5=12.87mm, T10= 14.47mm, T25= 16.90mm, T50= 19.01mm, T100= 21.37mm, T500= 28.06mm.
4. Se está planteando como defensa Ribereña para las condiciones más críticas según los esquemas de inundación, resultado de la máxima inundación para T=500 desde la progresiva 2000+260 a la progresiva 2000+940 producto a la existencia de zonas vulnerables.
5. Se está proponiendo a este proyecto de tesis construir el muro de gaviones de 5m de altura como protector de las riberas del río San Ramón en la zona urbana, aprovechando la geología del río y el material existente que hay en las orillas del río.
6. La intersección del catastro de la zona urbana con la máxima inundación modelado en el HEC-RAS a T=500, el más crítico, se obtuvo un área afectada de las casas de 32700.00 m² y 153 lotes afectados con un total de 470 personas que necesitan el proyecto de la defensa ribereña y así evitar gastos económicos y pérdidas humanas a futuro.

RECOMENDACIONES

1. La limitante de los estudios hidrológicos fue la falta de presencia de estaciones Hidrometeorológicas en la sub cuenca estudiada, así mismo solo se cuenta con la estación Satipo, ya que las estaciones Toldo pampa y Mazamari no se encuentran en funcionamiento dichas estaciones serían de gran ayuda en próximas investigaciones.
2. Aumentar áreas para estudios geológicos de calicatas, asimismo poder obtener una mejor interpretación de la clasificación existente del suelo y una adecuada ubicación de las defensas ribereñas.
3. El distrito de San Martín de Pangoa no cuenta con un ordenamiento territorial, por medio del levantamiento topográfico en las riberas del río, se pueden apreciar campos de cultivos y aún más problemático son las edificaciones construidas en las orillas. Se recomienda la ejecución de obras de defensas ribereñas en el sector medio del área urbana.
4. Se debe profundizar el estudio de la defensa ribereña para el área de investigación desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTODESK. (21 de Octubre de 2020). AUTODESK Help Acerca de la topografía. Obtenido de AUTODESK Help: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/civil-3d?sort=score>.
- Borselli, L (2019). GEOTECNIA 1. Recuperado de https://www.lorenzoborselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_I.pdf.
- De Hidrologia, M. Hidraulica y Drenaje (2013). MTC. Lima-Peru. Obtenido De http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf.
- Cadena Rivera , J., & Villegas Zuleta, A. (2016). Análisis de riesgo por desbordamiento del río Chiquito en la zona urbana del municipio del Sogamoso, Boyacá. Universidad de la Salle, Bogotá – Colombia.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. Argentina.
- Huancas Huancas, C. (2019). Modelamiento Hidráulico con Hec-ras para la prevención de Inundaciones desde el km 44+100 al km 49+100 en el Río Reque. Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo.
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2009). Morfología de las Cuencas Hidrográfica.
- López Cadenas de Llano, F., & Mintegui Aguirre, J. (1987). Hidrología de superficie. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid: Salazar.
- Ministerio de Transportes y comunicaciones, .. (2008). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Peru.
- Ortiz Vera,, O. (1994). Hidrología de Superficie.
- Quiroz Alarco, G., & Robles Rebaza, C. (2021). Propuesta de diseño hidráulico de puente santa lucia y defensa ribereña del río Moche, desde el puente Santa Lucia hasta la bocatoma Santa Lucia, de la Provincia de Trujillo – La Libertad. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Soto Carrasco, J. (2017). Modelamiento hidráulico y diseño de defensas ribereñas del río amojú, localidad el parral – Jaén - Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

Stappung, C. (1999). Lluvias de diseño de sistemas de aguas lluvias en Chile. Santiago, Chile.

Villon, M. (2002). Hidrologia.

Anexo 2 – Presupuesto

Tabla 41
Presupuesto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C.U. (S/.)	TOTAL (S/.)
1.000	Asesoramiento				
1.010	Metodología	GLB	2	1500	S/ 3,000.00
1.020	Especialista	GLB	2	1500	S/ 3,000.00
2.000	Material bibliográfico	GLB	2	100	S/ 200.00
3.000	Viáticos				
3.010	Movilidad	GLB	2	100	S/ 200.00
3.020	Alimentación	GLB	2	80	S/ 160.00
4.000	Útiles de escritorio e internet				
4.010	Internet Mes	MES	14	75	S/ 1,050.00
4.020	Materiales varios	GLB	2	200	S/ 400.00
5.000	Copias e impresiones				
5.010	Copias e impresiones	UND	300	0.1	S/ 30.00
5.020	Impresiones	UND	50	0.5	S/ 25.00
6.000	Gastos varios	GLB	2	100	S/ 200.00
7.000	Visita Técnica	GLB	2	360	S/ 720.00
TOTAL					S/ 8,985.00

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3 – Matriz de consistencia de la investigación

MATRIZ DE CONCISTENCIA			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
<ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida, a través del procesamiento de imágenes satelitales topográficas e imágenes de dron se puede determinar las áreas de inundación para diferentes caudales del río San Ramón en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar las áreas de inundación para diferentes caudales del río San Ramón en el tramo Playa de Oro - Puente San Ramón a través del procesamiento de imágenes satelitales topográficas e imágenes de dron. 	<p>El Modelamiento hidrológico e hidráulico integrado con las imágenes satelitales topográficas y de dron permiten la determinación de las áreas de inundación para diferentes caudales en el tramo Playa de Oro- Puente San Ramón- Distrito de San Ramón, departamento de Junín.</p>	<p>Modelamiento hidrológico e hidraulico</p> <ul style="list-style-type: none"> Tiempos de retorno. Caudales máximos. Topografía
PROBLEMA ESPECÍFICO:	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPOTESIS ESPECÍFICA	VARIABLE DEPENDIENTE
<ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida los diferentes tiempos de retorno determinan los caudales máximos en el río San Ramón en el tramo Playa de Oro – puente San Ramón? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar los caudales máximos en el río San Ramón para los diferentes tiempos de retorno en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón. 	<ul style="list-style-type: none"> Los diferentes tiempos de retorno determinan los caudales máximos en el río San Ramón en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón. 	<p>Diseño de defensa ribereña</p>
<ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida la integración de los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron determinan las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – puente San Ramón? 	<ul style="list-style-type: none"> Integrar los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron para la determinación de las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón. 	<ul style="list-style-type: none"> La integración de los caudales máximos e imágenes satelitales y de dron determinan las áreas inundables en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón. 	<ul style="list-style-type: none"> Áreas de inundación. Defensa ribereña
<ul style="list-style-type: none"> ¿En qué medida las alturas máximas de inundación permiten elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – puente San Ramón? 	<ul style="list-style-type: none"> Elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón basadas en las alturas máximas de inundación. 	<ul style="list-style-type: none"> Las alturas máximas de inundación permiten elaborar las propuestas de protección de las zonas ribereñas en el tramo Playa de Oro – Puente San Ramón. 	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4 – Datos y resultados del procesamiento de las imágenes del Dron

Summary



Project	Pangoa
Processed	2022-09-08 05:45:28
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.97 cm / 2.35 in
Area Covered	4.826 km ² / 482.5751 ha / 1.86 sq. mi. / 1193.0863 acres
Time for Initial Processing (without report)	54m:42s

Quality Check



Images	median of 72092 keypoints per image	
Dataset	1154 out of 1154 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	0.02% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 14678 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, no 3D GCP	

Preview



Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

1

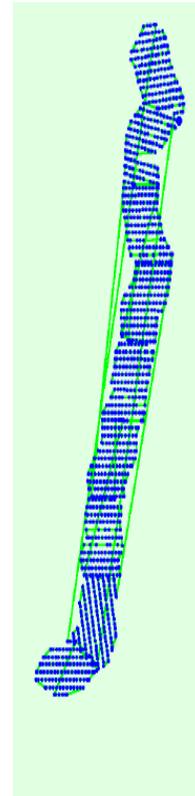


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

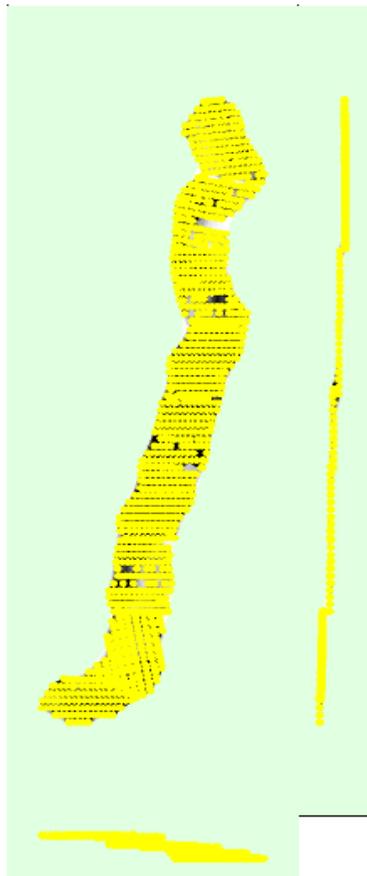


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: High Resolution Color Balancing: yes
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	15h:53m:40s
Time for Point Cloud Classification	02h:25m:54s
Time for 3D Textured Mesh Generation	04h:06m:17s

Results

Number of Processed Clusters	9
Number of Generated Tiles	18
Number of 3D Densified Points	604106637
Average Density(per m ³)	44.52

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (5.97 [cm/px])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Raster DTM	Generated: yes Merge Tiles: yes
DTM Resolution	5 x GSD (5.97 [cm/px])
Time for DSM Generation	06h:06m:28s
Time for Orthomosaic Generation	02h:43m:14s
Time for DTM Generation	01h:21m:53s

Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s