

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CAPLINA- PUENTE
HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS
INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS,
TACNA”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
Bach. LUZ ELVIRA COAQUIRA SARDÓN**

**TACNA – PERÚ
2021**

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CAPLINA- PUENTE
HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS
INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA”**

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 01 DE ABRIL DEL 2021, estando el
jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:


Mtro. **SANTOS GOMEZ CHOQUEJAHUA**

SECRETARIO:


Ing. **CÉSAR JULIO CRUZ ESPINOZA**

VOCAL:


Ing. **CESAR ARMANDO URTEAGA ORTIZ**

ASESOR:


MSc. **ALEXANDER NICOLAS VILCANQUI ALARCÓN**

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo; Luz Elvira Coaquira Sardón, en calidad de Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna identificada con DNI N°71226005.

Declaro bajo juramento que:

Ser autor de la tesis titulada: "MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA" la misma que presento para optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

1. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
2. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y

sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, Febrero del 2021


Bach. Luz Elvira Coaquira Sardón
DNI. 71226005



Dedicatoria

Dedicado a mis padres, quien con su apoyo y dedicación desde pequeña me inculcaron la disciplina de estudiar y cumplir mis objetivos e hicieron posible la elaboración de este trabajo de investigación en tiempos difíciles de pandemia.

Para mi estrella que está en el cielo quien es mi guía y fortaleza.

Agradecimiento

Le agradezco a Dios, a mis docentes y formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Gracias a todas las personas que hicieron posible para la culminación de esta tesis.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Descripción del problema.	2
1.2 Formulación del problema.	4
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Objetivos de la investigación.	5
1.5 Hipótesis.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes del estudio.	7
2.2 Bases teóricas.	9
2.2.1.1 Inundacion.....	9
2.2.1.2 Tipos de inundaciones.....	10
2.1.2.3 Parámetros de evaluación.....	11
2.1.2.4 Zonas inundables o llanuras de inundación.....	11
2.1.2.5 Parámetros y descriptores ponderados para la caracterización del fenómeno de inundaciones.....	12
2.1.2.6 Frecuencia para tiempo de inundación.....	12
2.3 Definición de terminos.	33
CAPÍTULO III	36
MARCO METODOLÓGICO	36
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	36
3.2 Población y/o muestra de estudio.....	36
3.3 Operacionalización de variables.....	37
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	37
3.4.1 Aspectos generales.....	37
3.4.2 Técnicas e instrumentos.....	38
3.5 Procesamiento y análisis de datos.....	39
3.5.1 Modelamiento hidrológico.....	39
3.5.2 Modelamiento hidráulico.....	41

CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS	42
4.1 Modelamiento hidrológico.....	42
4.2 Generación de precipitaciones en el punto de interes.....	54
4.3 Hidroesta 2, software para cálculos hidráulicos.....	54
4.3.1 Verificación de distribución con hidroesta2.....	54
4.3.2 Resumen de distribuciones.....	58
4.3.3 Pruebas de ajuste.....	58
4.4 Determinación de precipitaciones de diseño.....	61
4.4.1 Determinación de precipitaciones de diseño.....	63
4.5 Generación de hietogramas en las subcuencas.....	65
4.6 Descargas de diseño.....	76
4.7 Generación de maximas avenidas.....	78
4.8 Modelo numerico en hec-ras.....	85
4.9 Determinación de la profundidad de socavación.....	87
CAPÍTULO V	88
DISCUSIÓN	88
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Parámetros de evaluación de inundaciones	11
Figura 2 Llanura de Inundacion afectada por actividades humanas	11
Figura 3 Divisoria de aguas	14
Figura 4 Elementos de una cuenca	15
Figura 5 Elementos de una cuenca	16
Figura 6 Perímetro de una cuenca	16
Figura 7 Ventana para generar Distribuciones estadísticas	40
Figura 8 Ventana para estimar el Caudal Máximo	40
Figura 9 Delimitación de la cuenca Caplina	42
Figura 10 Áreas Hipsométricas	45
Figura 11 Curva Hipsométrica	46
Figura 12 Polígono de Frecuencia de la Cuenca Caplina	47
Figura 13 Pendiente de la superficie de la cuenca	48
Figura 14 Orden de ríos de la cuenca	49
Figura 15 Acumulado de Flujo total de la cuenca	50
Figura 16 Estaciones meteorológicas de la Región de Tacna	52
Figura 17 Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)	53
Figura 18 Distribución Normal	54
Figura 19 Distribución Log Normal 2 Parámetros	55
Figura 20 Distribución Log Normal 3 Parámetros	55
Figura 21 Distribución Gamma 2 Parámetros	56
Figura 22 Distribución Gamma 3 Parámetros	56
Figura 23 Distribución Log Pearson Tipo III	57
Figura 24 Distribución Gumbel	57
Figura 25 Distribución Log-Gumbel	58
Figura 26 Curva IDF de la Estación Jorge Basadre	65
Figura 27 Precipitación máxima para $Tr=2$ años	66
Figura 28 Precipitación máxima para $Tr=5$ años	66
Figura 29 Precipitación máxima para $Tr=10$ años	66
Figura 30 Precipitación máxima para $Tr=20$ años	67

Figura 31 Precipitación máxima para $Tr=50$ años	67
Figura 32 Precipitación máxima para $Tr=100$ años	67
Figura 33 Precipitación máxima para $Tr=200$ años	68
Figura 34 Precipitación máxima para $Tr=500$ años	68
Figura 35 Hietograma	69
Figura 36 Tormenta Tipo II	69
Figura 37 Hietograma $Tr= 10$ años	70
Figura 38 Hietograma $Tr=25$ años	71
Figura 39 Hietograma $Tr=50$ años	72
Figura 40 Hietograma $Tr=100$ años	73
Figura 41 Hietograma $Tr=200$ años	74
Figura 42 Hietograma $Tr=500$ años	75
Figura 43 Cálculo del tiempo de retorno	76
Figura 44 Regímenes Tropicales y Tropicales de transición	84
Figura 45 Quebrada 2- $Tr 200$ años Sección longitudinal.....	86
Figura 46 Quebrada 2 $Tr 200$ años Sección Transversal 0+85	86
Figura 47 Fluidez del agua del Rio Caplina	95
Figura 48 Puente Hospicio Ruta TA-644	95
Figura 49 Puente Hospicio-La Yarada Los Palos	96
Figura 50 Cauce del Rio-La Yarada Los Palos.....	96
Figura 51 Rio Caplina en tiempo de estiaje	97
Figura 52 Acumulación de Ramas y arenas -La Yarada Los Palos.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Precipitaciones anómalas positivas	12
Tabla 2 Cercanía a una fuente de agua	12
Tabla 3 Intensidad media en una hora (mm/h)	12
Tabla 4 Periodo de retorno de la Inundacion	13
Tabla 5 Clasificación de cuenca por el índice de compacidad.....	17
Tabla 6 Tipo de cuenca según el factor forma.....	18
Tabla 7 Operacionalización de variables	37
Tabla 8 Delimitación de la Cuenca Caplina	42
Tabla 9 Cotas y Áreas	46
Tabla 10 Altitud media, más frecuente, frecuencia 1/2"	47
Tabla 11 Pendiente Media de la cuenca Principal	49
Tabla 12 Valor de N según tipo de superficie	50
Tabla 13 Tiempo de concentración.....	51
Tabla 14 Resumen de distribuciones.....	58
Tabla 15 Prueba Smirnov Kolmogorov D_{\square}	59
Tabla 16 $P_{\text{máx}} 24\text{hr}$ en diferentes Tr	61
Tabla 17 $P_{\text{máx}} 24\text{hrs}$ en diferentes Tr 60min y $Tr=10$ años	62
Tabla 18 $PM_{\text{máx}}24$ en diferentes Tr	62
Tabla 19 Intensidad de Precipitaciones para diferentes Tr	62
Tabla 20 Parámetros para IDF para diferentes Tr	63
Tabla 21 Intensidad de Precipitaciones para diferentes Tr	65
Tabla 22 Resumen de Distribución Log Pearson Tipo III.....	68
Tabla 23 Resumen de precipitaciones.....	68
Tabla 24 Hietograma de Precipitación Total $Tr=10$ años.....	70
Tabla 25 Hietograma de precipitación total $Tr=25$ años	71
Tabla 26 Hietograma de precipitación total $Tr=50$ años	72
Tabla 27 Hietograma de Precipitación total $Tr=100$ años	73
Tabla 28 Hietograma de precipitación total $Tr=200$ años	74
Tabla 29 Hietograma de Precipitación total $Tr=500$ años	75
Tabla 30 Vida Útil de la Obra.....	77
Tabla 31 Resumen de Selección del periodo de retorno	78

Tabla 32 Datos de la Micro cuenca	78
Tabla 33 P _{máx24hr} para cada Tr	79
Tabla 34 Datos para cálculo de caudal máximo en un TR=5años.....	79
Tabla 35 Valor de N según tipo de superficie	80
Tabla 36 Cálculo de tiempo de concentración	80
Tabla 37 Fórmula Racional Modificada	81
Tabla 38 Envolvente de descargas máximas de Creager.....	81
Tabla 39 Método de HU Triangular.....	81
Tabla 40 Cálculo de lámina de lluvia neta y de intensidad de lluvia	82
Tabla 41 Cálculo de caudal Pico	82
Tabla 42 Coeficiente de reducción de la cuenca	83
Tabla 43 Coeficiente que considera la forma de la curva de caudal.....	83
Tabla 44 Resumen de Caudales Máximos Para TR=5años	85
Tabla 45 Caudal de diseño	85

RESUMEN

La zona de estudio para el presente trabajo de investigación presenta vulnerabilidad frente a los riesgos de inundación, según las evaluaciones realizadas por la Autoridad Nacional del Agua considerándolo como puntos críticos según el registro de la Estación Map-Jorge Basadre MET, que registra datos desde 1998 a 2020 con precipitaciones máximas de 21 mm y 23.8mm en los últimos años ocasionando inundación de áreas agrícolas, colmatación en el río, obras de encauzamiento, cuyo reporte y evaluación de daños se encuentran enmarcado en la gestión del riego.

El propósito de este trabajo es desarrollar un modelamiento Hidráulico del río Caplina- Puente hospicio ruta TA-644, con fines de prevenir las inundaciones del distrito la Yarada los Palos, Tacna, el estudio Hidrológico e Hidráulico se basará en el análisis de los aspectos vinculados a la climatología del área del Proyecto tales como la precipitación y otros parámetros hidro- meteorológicos, así mismo de los aspectos vinculados a los caudales de máximas avenidas para el estudio del proyecto así mismo de los parámetros hidráulicos, niveles de agua, socavación generalizada y otras variables relacionados con las planicies de inundación. Se estima que los resultados obtenidos son confiables para los fines del estudio, aún más si en las diversas fases del análisis se aplicaron criterios conservadores.

Se ha recurrido a toda información existente tanto primaria y secundaria en la cartografía nacional, mapas digitales y software de visualización de modelos digitales de terreno como Google Earth, ArcGIS, AutoCAD y otros para la contrastación y procesamiento de la información referida al proyecto. Así mismo se ha utilizado softwares de cálculo numérico como Excel, para la programación de las fórmulas y ecuaciones gobernantes de los Fenómenos físicos involucrados en la formulación de este proyecto. Finalmente se utiliza también programas comerciales como el Hidroesta, Hec Ras y otro del campo de la hidrología e hidráulica.

Palabras Claves: Modelo hidráulico, Modelo hídrico, cuenca, delimitación, precipitación y caudal

ABSTRACT

The study area for this research work presents vulnerability to flood risks, according to the evaluations carried out by the National Water Authority, considering it as critical points according to the Map-Jorge Basadre MET Station registry, which records data since 1998 to 2020 with maximum rainfall of 21 mm and 23.8mm in recent years causing flooding of agricultural areas, clogging of the river, works for channeling, whose report and evaluation of damage are framed in the management of irrigation.

The purpose of this work is to develop a Hydraulic modeling of the Caplina river - Hospice Bridge route TA-644, in order to control the floods of the Yarada los Palos district, Tacna, the Hydrological and Hydraulic study will be based on the analysis of the related aspects to the climatology of the Project area such as precipitation and other hydrometeorological parameters, as well as aspects related to the flow of maximum avenues for the study of the project, as well as the hydraulic parameters, water levels, generalized scour and other variables related to floodplains. The results obtained are estimated to be reliable for the purposes of the study, even more so if conservative criteria were applied in the various phases of the analysis.

All existing information, both primary and secondary, in national cartography, digital maps and visualization software for digital terrain models such as Google Earth, ArcGIS, AutoCAD and others have been used for the contrasting and processing of information related to the project. Likewise, numerical calculation software such as Excel has been used to program the formulas and governing equations of the physical phenomena involved in the formulation of this project. Finally, commercial programs such as Hidroesta are also used, and another in the field of hydrology and hydraulics.

Keywords: Hydraulic model, Water model, basin, delimitation, precipitation and flow

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico ha traído como consecuencia la contaminación ambiental que ha afectado a la naturaleza, por lo cual los fenómenos naturales han ido cambiando en su comportamiento, frecuencia, intensidad y su periodo de retorno. Es así, que, en el Perú, en los últimos años se ha venido presentado fenómenos hidrológicos en los meses de verano, que han alterado el comportamiento de las cuencas, generando lluvias intensas, inundaciones y huaycos.

Tacna como ciudad propiamente dicha, no ha sido ajena a estos fenómenos los cuales se han presentado en el año 2019 y 2020 afectando a la ciudad, en donde se han presentado las más elevadas precipitaciones de la historia de 21 y 23.8 mm/día (SENAMHI, 2020) en donde el distrito de La Yarada - Los Palos, el cual ha sido afectado aguas arriba y aguas abajo del Puente Hospicio.

Un desastre natural como es el caso de inundaciones debido al incremento de caudales del río, genera pérdidas económicas, ambientales y sociales. Estas pérdidas ocasionadas por las inundaciones constituyen un impacto negativo en el desarrollo de toda población.

Es así, que por medio del análisis de las precipitaciones y caudales mensuales del Río Caplina se podrá pronosticar a través de un modelamiento hidráulico las avenidas y los caudales futuros que se pudieran presentar en el distrito La Yarada – Los Palos, lo que permitirá tomar decisiones de mejora a través de medidas estructurales, prevenir inundaciones y evitar así pérdidas de vidas humanas y económicas.

CAPITULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el siglo XXI el calentamiento global ha ocasionado un aumento en la temperatura promedio de la superficie de la tierra, las cuales han causado la fusión de porciones de hielo polar, originado que el nivel del mar presente un alza de 4-8 pulgadas. Cuando llega el verano al hemisferio sur en los meses de diciembre a marzo, las mayores temperaturas permiten deshielos en las cumbres, así como un incremento considerable en sus precipitaciones, todo lo cual incide en un incremento del caudal de los ríos.

El Perú no es ajeno a esto, es más, se acentúa por la presencia de la Cordillera de los Andes, que le da características muy importantes en la geomorfología, geología e hidrología que físicamente. Estas características hacen que se el Perú se divida en tres vertientes hidrológicas, que a su vez son muy diferentes y además presentan riesgos si no son debidamente controladas. La Vertiente del Pacífico se encuentra ubicada en la zona más árida del territorio peruano, contiene casi el 2% del agua dulce y más del 60% de la población peruana, por eso cuando existe variaciones en su comportamiento ya sea por fenómenos naturales o por fenómenos antrópicos, son difíciles de predecir generando pérdidas de vidas humanas y económicas. Esta vertiente ubicada en la Costa, ha formado cuencas y micro cuencas donde sus ríos son de corto recorrido, cauces estrechos, pendientes considerables.

Según los registros de la Autoridad Nacional de Agua – ANA, durante los años 2001, 2007, 2011, 2012, 2015, 2018 y 2019 se ha observado un incremento considerable de las precipitaciones, lo que ha originado el desborde de los ríos. Solamente, las lluvias causadas por este Fenómeno del Niño, han afectado a más de 158.000 personas las cuales se encuentran en condición de damnificados, asimismo, más de 280.000 tienen un acceso limitado a servicios de salud y 12 departamentos peruanos se encuentran en

estado de emergencia sanitaria por 90 días. (Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones Fluviales, 2015).

Las lluvias intensas en el sur del país provocan cada cierto tiempo catástrofes en las cuencas hidrológica desprotegidas, causando la erosión e inundación de los suelos debido a las características topográficas del terreno, esta ha ocasionado pérdidas de vidas humanas, áreas de cultivos, vías de comunicación, estructuras (puentes, pontones, canales de riego, bocatomas entre otros). En algunos casos irre recuperables, introduciendo un impacto negativo en la vida del ser humano. El impacto de las lluvias es nacional, impacta no solo a una comunidad específica sino impacta la agricultura, el turismo, el movimiento y desplazamiento de la comunidad

En la Región de Tacna, es común que se presenten lluvias en los meses de verano que tiene su origen en la zona alto andina llegando hasta la parte baja de las cuencas. Para el año 2020 estas lluvias alcanzaron un valor de 23.8 mm/día, un récord histórico para esa zona costera. La directora zonal del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi ,2019), Eudalda Medina, reportó que la ciudad de Tacna registró 9.9 litros de lluvia por metro cuadrado (l/m²). Esta cifra es histórica y no se registraba desde 1997. En enero del 2012 cayeron lluvias de 4.5 l/m² y desde aquel año, la cifra había bajado hasta 2.4 l/m², la cifra histórica alcanzada este último 21 de febrero del 2019 se debe a un fenómeno de El Niño atípico. La estación meteorológica Jorge Basadre, ubicada en Tacna, alcanzó valores de 23.8 mm/día (acumulado de lluvia entre las 7 a.m. y 7 p.m.). Esta lluvia, junto con otros factores locales, habría resultado en la activación de la quebrada que ha afectado la ciudad. La lluvia en la región costera habría estado apoyada por el flujo húmedo del norte en baja atmósfera (superficie hasta los 2000 m.s.n.m.) y condiciones de baja presión alejada de la costa, así como la humedad en las zonas altas de la cordillera.

La falta de gestión de riesgos que actualmente se tiene debido a la expansión urbana por crecimiento poblacional y crecimiento económico, ha obligado a la población a ubicarse en zonas críticas colindantes a las riberas del río Caplina exponiéndose a sufrir riesgos de inundaciones ante las

máximas avenidas que superan la capacidad del cauce del río, en distrito de La Yarada Los Palos generando pérdidas, por lo cual es necesario solucionar estos problemas de inundación.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida el modelamiento hidráulico permite prevenir las inundaciones en el Río Caplina Puente Hospicio Ruta TA-644 en el Distrito La Yarada Los Palos?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿Cómo caracterizar la precipitación y los caudales promedios mensuales del Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante el modelo Hidrológico
- b) ¿Cuáles son los pronósticos sobre las avenidas y los caudales en el Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante el modelamiento Hidráulico?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a los desastres causados por las precipitaciones pluviales producidos en los meses de enero y febrero del 2019 y 2020, a nivel de los daños sociales, económicos y ambientales, los cuales han ocasionado pérdidas humanas y materiales, afectando a la infraestructura agraria, destrucción de viviendas, perdidas de áreas de cultivos; destrucción de bienes y servicios públicos etc., estas pérdidas ocasionadas por las inundaciones constituyen un impacto negativo en el desarrollo de toda población

1.3.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Mediante esta investigación se propone diseñar un modelamiento hidráulico, ya que es una herramienta muy importante para el estudio de avenidas, las cuales se han extendido y presentado a lo largo del tiempo. Para lo cual con esta investigación se podría realizar el

análisis, prevención de inundaciones para tomar las medidas correctivas necesarias. Además, con este estudio se podrá tomar decisiones que generen confianza para generar criterios reales para el diseño de obras, las cuales serán capaces de tener una respuesta óptima durante una emergencia o un desastre.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Se sabe que en esta zona existe población que se encuentra asentada en ambos lados de los márgenes del Río Caplina, siendo difícil su reubicación, por lo cual se requiere realizar aportes en la zona que hagan acciones de prevención ante inundaciones que beneficiará a los habitantes y establecer protocolos ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias y proteger sectores vulnerables del Distrito La Yarada Los Palos.

1.3.3 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Mediante esta investigación, se busca mejorar el plan de desarrollo urbano y proteger las zonas de cultivo colindantes al río Caplina en el Distrito La Yarada Los Palos. Asimismo, la investigación puede probar que la modelación hidráulica es una herramienta actual y necesaria para poder realizar análisis del comportamiento hidráulico del río y así ayude a la toma de decisiones para la implementación de criterios para la construcción de obras hidráulicas y de ordenamiento territorial.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar la modelación Hidráulica del río Caplina Puente Hospicio TA-644 con fines de prevención de inundaciones en el distrito La Yarada Los Palos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analizar las precipitaciones y los caudales promedios mensuales del Rio Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante un modelo Hidrológico.
- b) Pronosticar las avenidas y caudales del Rio Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante un modelo Hidráulico.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

La modelación hidráulica es un método valido que permite controlar las inundaciones en el rio Caplina Puente Hospicio TA-644 en la prevención de inundaciones.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) Existen diferencias significativas entre los pronósticos de la modelación hidráulica y las observaciones de las estaciones Hidrométricas de los caudales promedios mensuales del Rio Caplina Puente Hospicio TA-644.
- b) El tiempo real que existe en crecidas, avenidas fluviales y regulares pronostica el aumento del caudal del Rio Caplina Puente Hospicio TA-644 del distrito La Yarada Los Palos

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Choque y Mamani,(2020) El modelamiento hidráulico del río Caplina realizado con el software Hec Ras vs5.0.7 en un tramo de investigación de 1.5 Km, cuya referencia inicia del puente de la trocha carrozable del distrito de Pachía y culmina en aguas arriba del puente de la carretera TA - 615 del distrito de Calana; se ha representado en la mapa de inundaciones obtenidas a través del Sistema de Información Geográfica (GIS), identificándose los puntos críticos del río Caplina, vulnerables a que se originen áreas de inundación para diferentes tiempos de retorno ya sea 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, y 500 años, afectando sobre todo áreas de cultivo, canales de riego y reservorios de agua que se encuentran colindantes en ambas márgenes del Río Caplina.

Santos y Coaquira, (2020). Se determinó a través del modelo hidráulico según el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de las Fajas Marginales y con la Resolución Jefatural N° 332 - 2016 - ANA. de acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua se consideró los criterios para la delimitación de la faja marginal del río Caplina sector del Río Seco, el tramo que se analizó está ubicado a lado de las Asociación de Vivienda La Rinconada Baja I Etapa, La Rinconada Baja II Etapa, Los Valientes de Tacna, El Puentecito y el Cerro Arunta para el cual se determinó el ancho de la faja marginal con 30.00 m del lado derecho del cauce aguas abajo, y lado izquierdo con 10.00 m aguas abajo tales criterios se asumen de tal forma que la población que se establece entorno a las riberas, respeten el espacio de la faja marginal.

López, (2018). Propone determinar los límites de las fajas marginales del río Piura un tramo de 9.5 kilómetro, basado en el modelamiento hidráulico de dicho tramo, se obtendrá análisis y procesamiento de información hidrométrica y data topográfica y modelamiento hidráulico, el cual permitirán delimitar las fajas marginales. Usando los métodos estadísticos Gumbel y Pearson tipo III. Se determinó el ancho de la faja marginal según el ancho variable en el que se consideró características geológicas, vegetación, presencia de defensas ribereñas que están en los márgenes del río, además señala que el ancho varía de 10 a 50 metros.

Mayta y Mamani, (2018). Desarrolla una simulación hidráulica y establece, con los caudales máximos de avenidas, los tramos críticos del cauce que serían propensos a desbordes e inundaciones, tal como se puede ver en las secciones hidráulicas del modelo. Los resultados indican que, con un caudal de 51 m³/s, la sección del puente Calana-Pachía trabaja a su máxima capacidad. Con un caudal de 94 m³/s, para un periodo de retorno de 100 años, se ha obtenido que los tirantes de agua sobrepasan la capacidad de la defensa de Calana, generando inundaciones en las zonas aledañas.

Vilcanqui, (2016). Desarrollo una tesis sobre cómo realizar un modelamiento hidráulico para gestionar las riberas de la cuenca Caplina, en donde comparo los datos históricos de caudales de la bocatoma calientes y las estaciones hidrométricas con la finalidad de analizar que caudales son los más próximos a la realidad para realizar un buen modelamiento hidráulico.

Frisancho, (2015). Se resume de las tres sub cuencas: Caplina, Palca y Vilavilani Yungane. Al analizar y realizar el modelamiento hidrodinámico y obteniéndose como resultado que los pobladores asentados a lo largo del río Seco sufrirían desborde e inundaciones por ser altamente vulnerables calculó la ocurrencia de un evento extremo para $T_r = 100$ años de magnitud 117,00 m³/s, lo que permite presagiar procesos de inundación y desborde en la denominada zona urbana de Tacna. El río Seco presenta alta variabilidad interanual, con caudales máximos entre diciembre y marzo.

Llue, (2015). Analizó la capacidad de procesamiento del HEC RAS versión 5.0 para procesar modelos 1D y 2D, dando a conocer tanto sus ventajas como sus limitaciones al momento de realizar una simulación hidráulica.

Mayta y Mamani, (2015). En síntesis, a través del modelamiento hidráulico realizado con el software HEC RAS para periodos de retorno entre 25 y 200 años con caudales desde 39 247 m³/determino la alta vulnerabilidad causada por el estrechamiento de la sección de la defensa de Calana para identificar la zona crítica lo que ha permitido un planeamiento de trabajo en el mantenimiento y mejoramiento del mismo.

Pino, (2013). El río Caplina tiene orígenes en la cordillera el Barroso ubicado en la zona alto andina de Tacna y menciona que sus características de los ríos propias de la región costara específicamente de la zona, siendo una característica la hidrogeomorfológica y su comportamiento hidrológico, finalmente en la tesis se analiza las interrelaciones entre la geomorfología e hidrología fluvial del río Caplina.

Tisnado,(2013). A través del modelo hidrodinámico del río Seco, permitió determinar las zonas consideradas como vulnerables del área en evaluación considerando el comportamiento del río a través de la simulación. En cuanto a la geodinámica externa el principal proceso erosivo para nuestra zona de estudio es la erosión fluvial. La evaluación de riesgos para la zona de estudio nos indica que 89,1% de la zona se encuentra bajo riesgo, las zonas susceptibles son: márgenes del río, zona urbana y el sector del puente de acceso principal a las canteras

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 ASPECTOS GENERALES

2.2.1.1 INUNDACION

Las inundaciones se originan cuando hay precipitaciones continuas, ocasionando que los valles que se encuentran aguas debajo de las cuencas se cubran de agua

Dentro de la clasificación de los peligros, la inundación es un fenómeno de origen natural generado por fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos. Las inundaciones constituyen el riesgo geológico más destructivo y que más víctimas producen, generalmente es consecuencia de la aportación inusual y repentina de agua superior a la que drenar el cauca del río. (INDECI, 2006)

Se considera que las inundaciones debido a sus características generan daño a las personas, sus bienes e infraestructura, afectando al medio ambiente y desestabiliza el suelo ubicado en los de los ríos. Al originarse las inundaciones pueden causar el fenómeno de la erosión, así como la sedimentación del agua. (INDECI, 2011)

2.2.1.2 TIPOS DE INUNDACIONES

Las inundaciones se pueden clasificar por su duración (dinámica o rápida y estática o lenta) y por su origen (pluvial o fluvial).

POR SU DURACION

A. INUNDACIONES DINÁMICAS O RÁPIDAS

Se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. (INDECI 2011:12)

B. INUNDACIONES ESTÁTICAS O LENTAS

Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de Inundación. (INDECI, 2011)

POR SU ORIGEN

A. INUNDACIONES PLUVIALES

Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable. (INDECI, 2011)

B. INUNDACIONES FLUVIALES

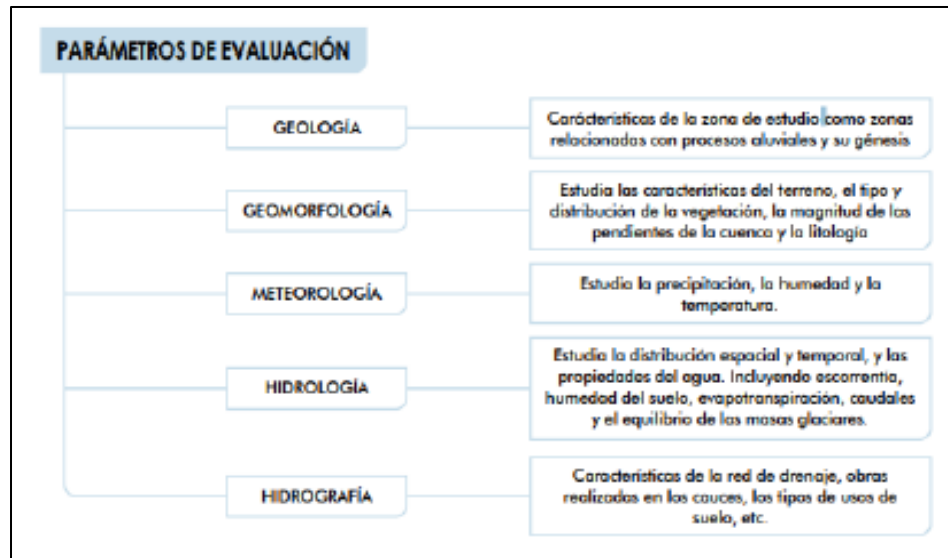
Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvias). (INDECI, 2011).

2.1.2.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Considerando el fenómeno de la inundación, se tiene parámetros que ayudan a identificarlo determinado sus características, número y complejidad de acuerdo al ámbito geográfico, en el cual se puede observar que:

Figura 1

Parámetros de evaluación de inundaciones



Fuente: Manual de Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales – 2018

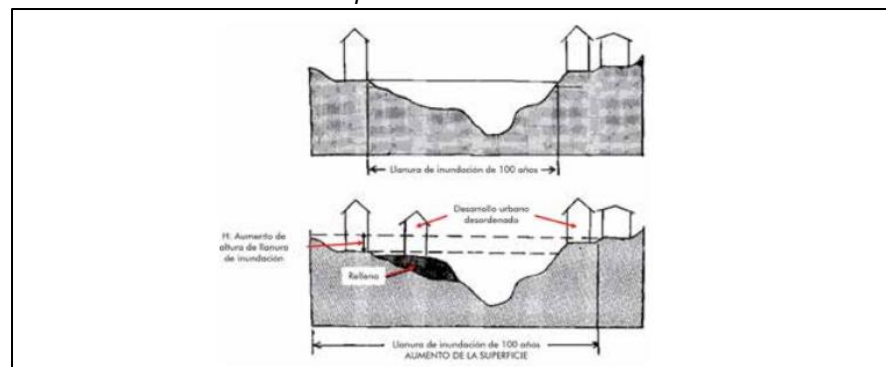
2.1.2.4 ZONAS INUNDABLES (O LLANURAS DE INUNDACIÓN)

Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et. al. 1984).

Al originarse fuertes lluvias se produce el efecto de inundación debido a la capacidad de absorción del suelo o específicamente la capacidad del río.

Figura 2

Llanura de Inundación afectada por actividades humanas



Fuente: OEA (1993)

2.1.2.5 PARÁMETROS Y DESCRIPTORES PONDERADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL FENÓMENO DE INUNDACIONES

Tabla 1

Precipitaciones anómalas positivas

PARAMETRO	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO	PESO PONDERADO:0.260		
DESCRIPTORES	PAP1	Anomalía de precipitación mayor a 300% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP1	0.503
	PAP2	Anomalía de precipitación de 100% a 300% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP2	0.260
	PAP3	Anomalía de precipitación 50% a 100% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP3	0.134
	PAP4	Anomalía de precipitación de 10 a 50% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP4	0.068
	PAP5	Anomalía de precipitación menor al 10% con respecto al promedio mensual multianual	PPAP5	0.035

Fuente: Manual de Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales - 2018

Tabla 2

Cercanía a una fuente de agua

PARAMETRO	CERCANIA A UNA FUENTE DE AGUA	PESO PONDERADO:0.106		
DESCRIPTORES	CA1	Menos a 20m	PCA1	0.503
	CA2	Entre 20 y 100m	PCA2	0.260
	CA3	Entre 100 y 500m	PCA3	0.134
	CA4	Entre 500 y 1000m	PCA4	0.068
	CA5	Mayor a 1000m	PCA5	0.035

Fuente: CENEPRED

Tabla 3

Intensidad media en una hora (mm/h)

PARAMETRO	INTENSIDAD MEDIA EN UNA HORA(mm/h)	PESO PONDERADO:0.106		
DESCRIPTORES	IM1	Torrenciales: Mayor a 60	PIM1	0.503
	IM2	Muy fuertes: Mayor a 30 y Menor o igual a 60	PIM2	0.260
	IM3	Fuertes: Mayor a 15 y Menor o igual a 30	PIM3	0.134
	IM4	Moderados: Mayor a 2 y menor o igual a 15	PIM4	0.068
	IM5	Debiles: Menor o igual a 2	PIM5	0.035

Fuente: SENAMHI-OMM

2.1.2.6 FRECUENCIA PARA TIEMPO DE INUNDACIÓN

La incidencia que tienen las precipitaciones torrenciales para determinar el tiempo de duración y frecuencia de ocurrencia de una inundación es muy importante ya que los periodos de retorno se darán de acuerdo a los registros históricos que se generen en las estaciones pluviométricas, según (INETER/COSUDE, 2005) establece tres periodos de retorno para inundaciones las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4*Periodo de retorno de la Inundación*

Frecuencia	Periodo de retorno en años (Tr)
Alta	Tr<=10años
Media	10<Tr<=50 años
Baja	50<Tr<=200 años

Fuente: INETER/COSUDE, 2005

2.2.2 HIDROLOGÍA

Según (Aparicio, 1992) la hidrología se define como una ciencia que analiza las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua y también menciona que estas cambian según el entorno en que circulan sobre la superficie terrestre, luego (Campos, 1998) menciona la hidrología es un estudio histórico de toda el agua de la faz de tierra.

2.2.2.1 CUENCA HIDROGRAFICA

Se entiende por cuenca hidrográfica el territorio en que las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único. La cuenca hidrográfica., como unidad de gestión de recurso, se considera indivisible.

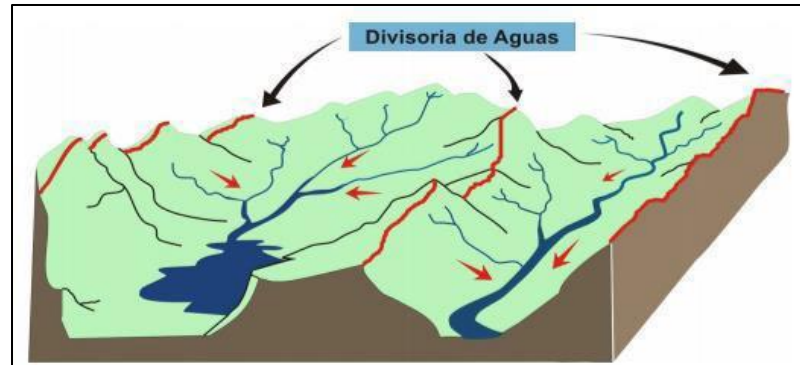
Se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve (Barreto, 2011).

2.2.2.2 ELEMENTOS DE UNA CUENCA

- Divisoria de aguas: Marca el límite entre cuencas hidrográficas vecinas.

Figura 3

Divisoria de aguas



Fuente: Elaboración propia

- El río principal: Es donde se une toda el flujo, siendo este el que tiene la mayor concentración del agua, con mayor longitud y ubicado en la zona de deyección.
- Los afluentes: Se considera a todos los ríos secundarios que se dirigen al río principal. Denominada como cuenca o subcuenca.
- El relieve de la cuenca: Es variado formado o debilitado por montañas, valles y mesetas.
- Obras humanas: Son las intervenciones realizadas por el hombre, ejecutados en una cuenca como las viviendas, obras de cultivo y en las rutas de comunicación. Siendo en algunos casos los causantes de desastres.

Se puede mostrar el nacimiento de una cuenca en la zona alta de un área natural, la cual se inicia con la presencia de lluvias que por su pendiente hace que discurra aguas abajo formando los ríos y afluentes. Algunos de los afluentes desembocan en el lago y otros en el mar en forma de delta. Durante el recorrido los cursos de agua forman meandros y algunos abandonan el cauce del río.

Figura 4

Elementos de una cuenca



Fuente: Ordoñez, 2011

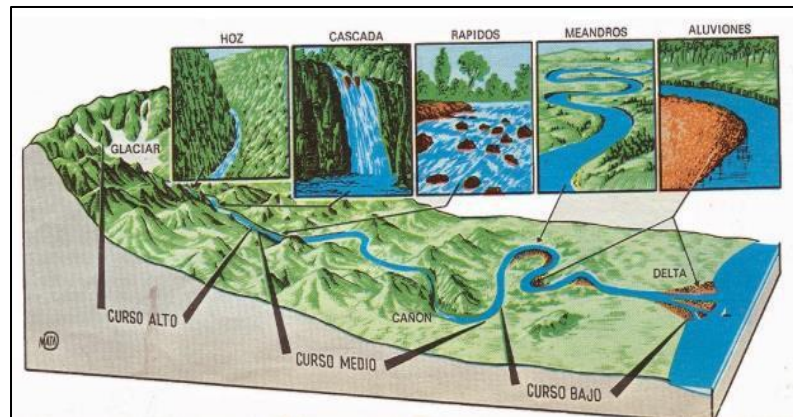
2.2.2.3 GEOMORFOLOGIA DE UNA CUENCA

A. PARAMETROS DE FORMA

Si la diferencia de altura varía de 0 a 2500 m.s.n.m. se diferencia tres partes, pero si la diferencia es de 0 a 1000 m.s.n.m. se diferenciarán solo dos partes y si la cuenca es casi plana no se puede establecer partes. (Hernández, 2016)

- Parte alta: Donde se inicial el río presenta una gran pendiente. Predomina el fenómeno de socavación, visiblemente se ven trazos de erosión.
- Parte media: El río adquiere mayor grosor y se bifurca no se presenta gran erosión ya que existe un equilibrio entre el material que es arrastrado y el material que sale.
- Parte baja: Es la parte de deyección donde se deposita el material arrastrado por el río.

Se aprecia las partes de una cuenca con respecto a su altitud: desde que nace en un glaciar (curso alto), el recorrido que realiza (curso medio) y desemboca en el mar en forma de delta (curso bajo). Se muestra también que durante su recorrido se forman quebradas, cañones, cascadas, meandros, todos originados por la topografía del lugar.

Figura 5*Elementos de una cuenca*

Fuente: Hernandez.2016

Área de una cuenca (A)

Es la proyección horizontal de toda la superficie de escurrimiento de un régimen de evacuación destinado directamente o indirectamente a un solo cauce, normalmente la medición está dada por km² (Breña & Jacobo, 2006).

Longitud en una cuenca (L)

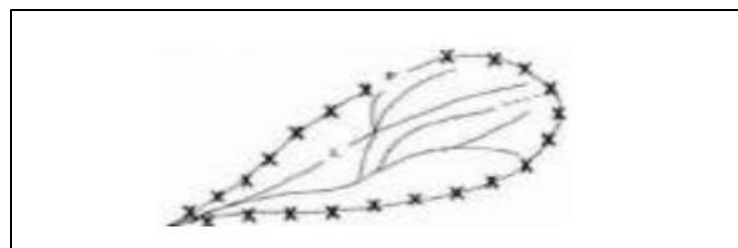
Se define como la distancia en un plano x-x (horizontal), que se mide desde el punto más bajo (aguas abajo) hasta el punto más alto (aguas arriba) de la cuenca también conocido como el inicio del río de orden 1 o principal (Breña & Jacobo, 2006).

Perímetro en una cuenca (P)

Se define como una longitud en el plano x-x, que pasa por la divisoria de aguas, normalmente la medición que se emplea es por km.

Índice de compacidad (CG).

Coefficiente entre el borde de la cuenca

Figura 6*Perímetro de una cuenca*

Fuente: Hernandez.2016

$$C_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Cc: Coeficiente de compacidad.

P: Perímetro de la cuenca, en Km.

A: Área de la cuenca, en km²

Coeficiente de compacidad ayuda a clasificar la cuenca por forma según el rango de la siguiente tabla:

Tabla 5

Clasificación de cuenca por el índice de compacidad

Rango	Forma
1.00-1.25	Tipo redonda a oval oblonga
1.25-1.50	Tipo Oval redonda a oba
1.50-1.75	Tipo oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Tipo casi rectangular

Fuente: Guevara, 2015

Factor de forma (Ff)

Según Mejía (2001) define como la expresión cuantitativa de la forma del contorno de una cuenca, como se expresa en la formula

$$F_t = \frac{B}{L} = \frac{A/L}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

Ff: Factor de forma

B: Ancho medio de la cuenca, en Km (B= A/L)

A: Área de la cuenca, en km²

L: Longitud axial de la cuenca, en km

Según Cahuana y Yugar (2009) se identifica que las cuencas no son similares en forma. Siendo la relación de A/L², la que disminuye según aumenta el área. Donde los hidrogramas varían según la forma de la cuenca.

Tabla 6

Tipo de cuenca según el factor forma

FACTOR DE FORMA	TIPO DE FORMA
1.00	Tipo cuadrado con salida central
0.79	Tipo circular o redonda
0.50	Tipo cuadrado con salida lateral
0.40 y 0.50	Tipo Oval
<0.30	Tipo rectangular alargada

Fuente: Guevara, 2015

B. PARAMETROS DE RELIEVE

Pendiente media de la cuenca

El parámetro de la pendiente media afecta al periodo de concentración que tienen las precipitaciones en un lugar determinado en su recorrido por el cauce, por ende, ocasiona que la velocidad y la profundidad de socavación sean variables pueden ser mayores o menores según el tipo de pendiente que se den. Para el cálculo de pendiente cuando no se tiene datos reales se estima mediante el método de Alvord y cuando se tiene datos reales se utiliza un software SIG (Villon, 2002).

Curva hipsométrica de la cuenca

Es la representación gráfica del área drenada Vs la altura de la cuenca, esta representación se determinó pasando al eje x-x los datos que se tienen en la zona drenada que se mide en km² o %, desde el punto más bajo hasta una altura establecida, para interpretar los resultados fijarse si la curva está mirando para arriba es una cuenca de valles grandes y montañas accidentadas]; si se tiene la curva mirando hacia abajo indica valles hondos y terrenos planos (Ibáñez, et al.2011).

Altitud media de la cuenca Según

(Ortiz, 1994), La altitud media es un parámetro importante para la identificación de la climatología en lugares muy altos, esta altura media se adquiere según de la curva hipsométrica, cuyo valor es igual a la cota que pertenece al 50% de la superficie de la cuenca que está en km².

C. PARÁMETROS DE DRENAJE

Orden de Rio

Este parámetro sirve para identificar el orden de los ríos según la ramificación que tengan mediante el método de Strahler, en donde se tiene las siguientes consideraciones los ríos de primer orden son los ríos principales y no son afluentes; los ríos de segundo orden se forman por al juntarse dos ríos de orden 1 y los ríos de tercer orden se forman al recolectar ríos afluentes y de orden 1, de esa manera se van ramificando en todo el territorio (Vásquez, et al. 2016).

Densidad de drenaje del rio

Para determinar la densidad de drenaje del rio.

$$Dd = Lt/A$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje en Km

Lt = \sum Longitudes de las corrientes de la cuenca en Km

A = Área de la cuenca en Km²

La densidad de drenaje del rio ayuda a visualizar la complejidad de un esquema de drenaje en una cuenca. Si se tiene una densidad alta significa una ramificación mayor y posiblemente con más probabilidades de erosión, cabe mencionar que la densidad es inversamente proporcional al área que tenga la cuenca (Ibáñez, et al. 2011).

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que se toma una gota de agua en trasladarse desde que cayó hasta su drenaje, también se deduce que si suceden precipitaciones suaves y continuas en un tiempo determinado es equivalente al tiempo de concentración de la cuenca (Ortiz, 1994). Mediante la siguiente fórmula empírica se determina el tiempo de concentración.

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{-0.385}}$$

Donde:

T_c=Tiempo de concentración (min)

L=Longitud del cauce principal (m)

S= Pendiente del cauce principal (m/m)

2.2.3 MODELO DE DISTRIBUCIÓN

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones: La distribución Normal, Gumbel, Gamma 3 parámetros, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Log Pearson tipo III, Log Gumbel y Pearson Tipo III.

- a) **Distribución normal:** Donde la densidad de probabilidad normal se define como:

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

Donde

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

X = Variable independiente

μ = Parametro de localizacion, igual a la media aritmetica de x

S = Parametro de escala, igual a la desviacion estandar de x

b) **Distribución Log Normal 2 Parámetros:** Siendo la distribución de probabilidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-\bar{X})^2}{2S^2}\right)} dx \quad (3)$$

Donde X y S y son los parámetros de la distribución.

Si la variable x de la ecuación (2) se reemplaza por una función $y = f(x)$, tal que $y = \log(x)$ la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log – normal, $N(Y, S_y)$. Los valores originales de la variable aleatoria x , deben ser transformados a $y = \log x$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n$$

Donde Y es la media de los datos de la muestra transformada.

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

Donde S_y es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada. Asimismo; se tiene las siguientes relaciones:

$$Cs = a / S^3 y$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3$$

Donde Cs es el coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada. (Monsalve, 1999)

c) **Distribución Log Normal 3 Parámetros:** Donde la densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y}\right)^2}$$

Para $X > x_0$

Donde:

X_0 : parámetro de posición

U_y : Parámetro de escala o media

S_y^2 : Parámetro de posición

d) **Distribución Gamma 2 parámetros:** La función de densidad de x es:

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

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < y < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde

y: parametro de forma

y: parametro de escala

e) **Distribución Gamma 3 Parámetros:** La función de densidad es:

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

Valido para:

$$X_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < X_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < y < \infty$$

Donde:

X_0 = origen de la variable x, parametro de posicion

y = parametro de forma

β = parametro de escala

- f) **Distribución Gumbel:** La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

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

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde

α : Parametro de concentración

β : Parametro de localización

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

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

x: Valor con una probabilidad dada

\bar{x} : Media de la serie

k: Factor de frecuencia

g) Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha}$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log Gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

h) **Distribución Pearson Tipo III:** Es también llamada distribución Gamma de dos o tres parámetros. La particularidad que presenta esta distribución se da porque en su sistema incluye como un tercer parámetro a su límite superior. Empleando los métodos de los momentos con el promedio, desviación estándar y coeficiente de asimetría se pueden transformar en tres parámetros λ , β y ϵ de la distribución de probabilidades (Pearson, 1895). Pearson incluye siete tipos, todos, soluciones para $f(x)$ en la siguiente ecuación:

$$\frac{d[f(x)]}{dx} = \frac{f(x)(x - d)}{c_0 + c_1x + c_2x^2}$$

Donde “d” es la media de la distribución, es decir, el valor de x para el cual $f(x)$ es un máximo, C_0 , C_1 y C_2 son coeficientes para ser calculados. (Foster, 1924), fue el primero que incursiono aplicando la distribución Pearson Tipo III a la rama de hidrología con la finalidad de dar a conocer la distribución de probabilidades de caudales instantáneos máximos anuales. Cuando los datos son muy asimétricos, comúnmente se utiliza la modificación logarítmica para disminuir dicha asimetría. (Guevara, 2004).

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta (x - \epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)} \quad x \geq \epsilon$$

$$\lambda = S_x$$

$$\beta = \frac{2}{c_s}$$

$$\epsilon = x' - S_x \sqrt{\beta}$$

2.2.4 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON EL SOFTWARE

HIDROESTA VS.2.0

El software HIDROESTA es un herramienta que simplifica los cálculos indispensables para un estudio hidrológico; calcula los parámetros estadísticos, regresión lineal ,no lineal , simple, entre otro tipo de regresiones, evalúa si un grupo de datos encajan a una serie de distribuciones, calcula a partir de la curva de variación estacional o curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia , realiza análisis de una tormenta y calcula intensidades máximas a partir de los datos de los pluviómetros o los caudales obtenidos por los correntómetros, el cálculo de caudales máximos mediante métodos empíricos, métodos estadísticos, cálculos de evapotranspiración y por último el cálculo de balance hídrico (Villon, 2014).

2.2.5 HIDRÁULICA

2.2.5.1 CLASIFICACIÓN DE FLUJO SEGÚN EL TIEMPO

El flujo se conceptualiza como la circulación de un cuerpo de agua, su clasificación se realiza según su permanencia y el número de Froude si es = 1, >1 o

Flujo permanente y no permanente

Si los parámetros como el tirante, velocidad, área, etc., no se alteran respecto al tiempo se le conoce como Flujo Permanente, caso contrario es Flujo no Permanente (Villon, 2007).

Matemáticamente se representa de esta manera.

Flujo Permanente

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Flujo no Permanente

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0$$

Flujo uniforme y variado y gradualmente variado

Si las características hidráulicas como la presión, velocidad, área, etc. Son las mismas en cualquier sección del recorrido de una tubería o cana, se considera que es un flujo uniforme (Rocha, 2007).

Si las características hidráulicas mencionadas líneas arriba cambian por completo en instantes o sea distancias muy pequeñas, se considera un flujo variado (Villon, 2007).

Se considera flujo Gradualmente Variado al intermedio de un flujo uniforme y variado, este se da cuando los parámetros varían en forma gradual a lo largo del recorrido del canal o tubería (Villon, 2007).

2.2.5.2 CLASIFICACIÓN DE FLUJO SEGÚN LA VELOCIDAD

a. Flujo unidimensional

Cuando el vector velocidad solo necesita de una variable espacial se le atribuye pertenecer a un flujo unidimensional, es decir, se menosprecian los cambios de la velocidad transversales en la dirección principal del flujo de escurrimiento. Este flujo puede darse en tuberías largas y rectas o canales (Serrano, s.f.)

b. Flujo bidimensional

Cuando el vector velocidad depende de dos variables espaciales se le atribuye pertenecer a un flujo bidimensional. En este tipo de flujo se cree que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo de trayectorias que resultan ser iguales si se contrastan los planos entre sí, por ende no hay cambio alguno en dirección perpendicular a los planos este tipo de flujo (Serrano, s.f.).

c. Flujo tridimensional

Cuando el vector velocidad depende de tres variables espaciales se le atribuye pertenecer a un flujo tridimensional, el caso más frecuente se da cuando los componentes de la velocidad en las tres direcciones son mutuamente perpendiculares a las coordenadas espaciales x , y , z , en un intervalo de tiempo t . Este flujo se cataloga como uno de los más complejos a la vista del matemático y solo se pueden expresar con facilidad los escurrimientos con formas geométricas sencillas (Serrano, s.f.).

2.2.5.3 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds es un parámetro adimensional y según su valor clasifica a los flujos en laminar o turbulento (Serrano, s.f.).

La expresión para el cálculo del número de Reynolds es el siguiente:

$$Re = VL\rho / \nu$$

Donde:

V: Velocidad promedio del flujo (m/s)

P: Densidad del fluido (Kg/m³)

ν : Viscosidad cinemática

L: Longitud característica

Flujo laminar y turbulento

El Flujo Laminar se da cuando las partículas siguen trayectorias separadas definidas, no es necesario que sean paralelas y el Flujo Turbulento es todo lo contrario cuando las partículas, se mueven sin tener un orden, con trayectorias erráticas. Ambos flujos están relacionados con la viscosidad del cuerpo de agua (Sotelo, 1997).

2.2.5.4 CLASIFICACIÓN DE FLUJOS SEGÚN EL NÚMERO DE FROUDE

El número de Froude en canales abiertos está vinculado con la gravedad y viscosidad relativa a las fuerzas de inercia del flujo. Este número es adimensional y está representado por el

cociente entre la velocidad media del flujo y el valor de la celeridad de la onda dinámica (Serrano, s.f.).

$$Fr = V / \sqrt{gy}$$

Donde:

Fr: Numero de Froude

V: Velocidad promedio del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

y: Profundidad del flujo (m)

Este número adimensional clasifica a los flujos en los siguientes:

Flujo crítico, subcrítico y supercrítico

La clasificación de estos Flujos está relacionada con el Número de Froude (F). Cuando $F=1$; $V = \sqrt{gD}$, este flujo está en estado crítico, $F>1$; $V = \sqrt{gD}$, este flujo está en estado subcrítico y F

2.2.5.5 CAUDAL MÁXIMO

El caudal máximo, se produce en una sección de control en un segmento de tiempo determinado, este debe tener un instrumento registrador, que se exprese en m³/s y automáticamente sea asociado la fecha de lo registrado. Sin embargo, no siempre se cuenta con los instrumentos de medición adecuados, entonces se debe hacer uso de fórmulas empíricas u otros métodos (MTC, 2012. Villon, 2002).

El caudal máximo es directamente proporcional con el tiempo de retorno que se le asigne y también depende del riesgo de falla y vida útil de la obra (MTC, 2012).

2.2.5.6 COEFICIENTE RUGOSIDAD DE MANNIG

Este parámetro indica la resistencia que posee el flujo a una superficie determinada. El coeficiente de rugosidad de Manning "n" depende de diferentes factores para su cálculo como: rugosidad superficial, vegetación, irregularidades del cauce, alineación del cauce, erosión y sedimentación, obstrucciones,

tamaño y forma del cauce, nivel y caudal, cambio temporal, temperatura, material en suspensión y carga de fondo. La mayor dificultad reside en estimar correctamente los coeficientes de rugosidad, ya que no existe un método exacto para la selección de “n”. (Chow, 2004).

Las irregularidades de la capa portante de la nueva calzada y de la calzada existente puede deberse a la falta de políticas de mantenimiento o errores en el proceso de construcción de la carretera, no se han tomado las medidas de control correspondientes, lo que ha provocado deformaciones.

2.2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Este sistema se comprende por un grupo de herramientas que permite la organización, procesamiento, análisis y modelamiento de grandes cantidades de datos procedentes de la topografía real y tiene que ser georreferenciada, para que los cálculos sean reales (Vásquez, et al. 2016). El sistema SIG asocia la tecnología informática y la información geográfica con la finalidad de analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Olaya, 2014). ArcMap 10.5 Este software es uno de los más populares en el sistema GIS, donde se recopila información geográfica para ser analizada y organizada para posteriormente ser distribuida en varias plataformas donde son visualizados por usuarios que utilizan dicha información para realizar mapas, planos, modelamientos, estadísticas y análisis espacial, cabe resaltar que todos los puntos topográficos que son ingresados a este software están geo referenciados y pueden ser utilizados a nivel mundial. El ArcMap tiene dos herramientas para el análisis y modelamiento de cuerpos de agua y cuyas extensiones son GeoRas y Hec HMS (Puerta, et al. 2011).

2.2.7 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC RAS V 5.0.7

Es una extensión del ArcMap y está en constante desarrollo con la finalidad de contribuir en el ámbito de la ingeniería hidráulica y fluvial, actualmente ha mostrado una aprobación muy buena en el sector administrativo público. Este software permite realizar modelamientos unidimensionales 1D y bidimensionales 2D para flujos de régimen permanentes, flujos de régimen no permanentes y flujos mixtos también nos permite modelar el transporte de sedimentos y la calidad de las aguas; se caracteriza por facilitar el ingreso de los datos hídricos y parámetros hidráulicos como la pendiente, la rugosidad y el tipo de flujo, entre otros. Su principal objetivo es simular flujos en cauces ya sean naturales o artificiales y determinar los tirantes de agua máximos para caudales determinados en un Tiempo de retorno para posteriormente determinar zonas vulnerables ante desastres naturales como las inundaciones, Tener en cuenta que el análisis que realiza este software es en base a elementos finitos (Blade, et al. 2009).

Ventajas del modelo unidimensional HEC - RAS

El modelo Hec-Ras Vs. 5.0.7 tiene las siguientes ventajas: Es un modelo unidimensional de energías y permite ingresar datos de estudios de gran magnitud, de manera que el modelamiento de un río de varios Km sea rápida y en segundos puedes obtener los resultados para poder realizar las repeticiones y correcciones que uno crea conveniente (U.S, ACE. 1997).

Utiliza las ecuaciones de energía para el balance entre secciones, obteniendo más próximos a la realidad para resolver problemas fluviales de gran escala. La capacidad de ejecutar modelos combinados, permite al usuario trabajar en amplios sistemas de ríos, así, por ejemplo, se puede usar el modelo 1D sobre el cauce de un río y el modelo 2D sobre las zonas adyacentes al mismo, en donde se requiere mayor detalle los resultados hidráulicos (U.S, ACE. 1997).

HEC-RAS 5.0 fue diseñado para trabajar con mallas no estructuradas, pero también puede trabajar con mallas estructuradas. Las celdas computacionales de una determinada malla pueden ser triángulos, cuadrados, rectángulos o polígonos de hasta 8 lados como máximo. A través de su herramienta RAS Mapper, ofrece la posibilidad de visualizar mapas de zonas inundadas, así como la animación del flujo de agua cuando acontece la inundación. Dicho proceso se basa en función del terreno subyacente y no en el tamaño de celda computacional de la malla generada.

Un modelo unidimensional permite realizar cálculos en áreas muy extensas, de modo que los cálculos en las simulaciones de kilómetros de ríos se realizan con gran velocidad (orden de segundos). Esto hace que el HEC RAS v. 5.0.7 tenga una capacidad corrección y repetición de cálculo muy alta (Quispe & Sullca, 2015).

Simplicidad de creación, modificación y edición de geometrías, admite el ingreso de datos de rugosidad y estructuras, obras de paso, etc. el HEC RAS v 5.0.7, tiene una interface que permite la presentación de resultados y edición de figuras de una manera muy cómoda (Quispe & Sullca, 2015).

Requisitos básicos de datos en HEC – RAS

El software necesita los siguientes datos: el tipo del régimen de flujo, los coeficientes de pérdida, las características geométricas de la sección transversal, la longitud de cauce, la elevación inicial, caudal, el Hec Ras v 5.0.7 tiene capacidades para calcular áreas de inundación, determina perdidas de energía, perdidas por fricción, cálculo de tirante crítico, solución directa del coeficiente de rugosidad Manning, insertar automáticamente secciones transversales generadas por el software, especificar áreas de flujo no efectivas, y opciones de flujo efectivo que pueden simular el depósito de sedimentos, cubicar terraplenes y plataformas de puentes (Mamani, 2014).

2.2.8 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HIDROESTA 2.0

El modelamiento hidrológico aplicado para la cuenca Caplina se realizó con el fin de representar los procesos hidrológicos de forma simplificada, almacenamientos y flujos del agua en varias direcciones para realizar predicciones cuantitativamente y cualitativamente. Para el presente trabajo de investigación para realizar el modelamiento hidrológico se ha aplicado el Software HIDROESTA 2.0. Es una herramienta que permite realizar cálculos, simulaciones rápidas, y determinar los caudales o precipitaciones de diseño que se ha utilizado para los cálculos hidrológicos y estadísticos aplicados a la Hidrología.

2.2.9 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía es un parámetro que representa la relación del volumen de agua escurrido y el área de la cuenca según la naturaleza física de la cobertura vegetal y el uso del suelo, luego que parte de la porción de lluvia ha infiltrado. (Chow, 1988).

2.2.10 PERIODO DE RETORNO

También llamado período de recurrencia, el período de retorno es un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. Suele calcularse mediante distribuciones de variables extremas, sobre la base de series de valores extremos registrados dentro de periodos iguales y consecutivos; por ejemplo, en hidrología, se realiza el estudio a partir de tablas con la precipitación máxima recogida en 24 horas en un año, durante una serie de años consecutivos. Este es un parámetro de los más significativos al instante en que es dimensionada la obra hidráulica, cuyo destino es el soporte de avenidas, como pueden ser el vertedero de una presa; o para una obra en la que vaya a cruzarse un río o arroyo, como puede ser un puente. (Molina, 1991)

2.2.11 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

El análisis de máximas avenidas depende de la existencia de información de caudales máximos, de la precipitación, de características de la cuenca y de precipitación de cuencas vecinas, de comportamiento hidrológico similar. (Mejía, 1991)

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS

- **Avenida:**

Se entiende por avenida a un caudal muy grande de escorrentía superficial que sobrepasa la capacidad de transporte del canal generado desbordamiento en las tierras aledañas. (ANA, 2010)

- **Cauce:** Área de terreno que contiene un cuerpo de agua, pudiendo ser este de régimen permanente o temporal. El límite superior del cauce o álveo está constituido por el nivel Promedio de Máximas Avenidas o crecientes Ordinarias. (ANA, 2010)

- **Cuenca hidrográfica:**

La cuenca hidrográfica o de drenaje de un cauce está delimitada por el contorno en cuyo interior el agua es recogida y concentrada en la entrega al dren mayor (Reyes, 1992) Es una superficie que se forma cuando las precipitaciones se transfieren o drenan a partes topográficas bajas, concentrándose habitualmente en un receptor común donde se drena el flujo a las cuencas más próximas o simplemente al océano (Breña & Jacobo, ,2006)

- **Curva Hipsométrica:**

Es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca, por medio de una curva tal, que a cada altura le corresponde un respectivo porcentaje del área ubicada por encima de esa altura

- **Escorrentía superficial:**

Es la precipitación en la superficie terrestre que es transportada a la parte inferior de la cuenca.

- **Inundación:**

Es la invasión de agua en forma lenta o súbita en zonas que no hay agua.

- **Hidrología:**

Se define como una ciencia que analiza las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua y también menciona que estas cambian según el entorno en que circulan sobre la superficie terrestre (Aparicio, 1992)
- **Fenómeno natural:**

Es todo lo que se produce por origen de la naturaleza. Se clasifican en: fenómenos generados por procesos dinámicos en el interior de la tierra; fenómenos generados por procesos dinámicos en la superficie de la tierra; fenómenos meteorológicos o hidrológicos; fenómenos de origen biológico. (INDECI, 2006)
- **Márgenes:** Zonas laterales de los terrenos que lindan inmediatamente con los cauces, estas son margen izquierda y margen derecha. (ANA, 2010)
- **Morfometría de cuenca:** Es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos.
- **Orden de los cauces:** El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca.
- **Pendiente de cauce:**

Es la diferencia de nivel que existe en el cauce de un río. Para lo cual se tiene en cuenta las alturas del punto más alto, el punto más bajo y la longitud ente estos.
- **Periodo de retorno:**

Son los años en los cuales el fenómeno se presenta, que sirve para definir su comportamiento.
- **Precipitación:**

La precipitación y la evaporación son los procesos meteorológicos más importantes en hidrología, los cuales actúan muy relacionados con el agua superficial. La precipitación es toda forma de agua cuyo origen está en las nubes y cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo, garúa o nieve. (Vásquez, 2000)

- **Riberas:**

Se entiende un área de terreno comprendido entre el nivel mínimo de las aguas y el Nivel Promedio de Avenidas o crecientes Ordinarios. Esta área está comprendida dentro del cauce o álveo. En el caso de cauces temporales o estacionales, la ribera constituye la totalidad del cauce. (ANA, 2010)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es descriptiva - porque implica describir y observar situación actual del río Caplina. Se ha realizado un modelamiento hidráulico con el software HEC-RAS v 5.0.7 y con el software HIDROESTA 2.0 con el único objetivo de ampliar el conocimiento, y prevenir inundaciones debido al incremento de máximas avenidas.

3.2 POBLACIÓN Y/O MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1 POBLACIÓN

Son los registros de los datos hidrométricos de los últimos 23 años de la Estación Map-Jorge Basadre MET, reportados y registrados por la oficina Zonal 7 del Perú – SENAMHI. La muestra de estudio se tomó la estimación de caudales máximos instantáneos a partir del procesamiento computacional del Software HEC-RAS v 5.0.7 e HIDROESTA v. 2.0 para la cuenca Caplina.

3.2.2 MUESTRA

La muestra de estudio tiene como referencia los datos hidrométricos de la estación Jorge Basadre para la Cuenca del Caplina, identificado para el puente Hospicio que forma parte de la red Vial vecinal o rural ruta TA-644 Distrito La Yarada Los Palos.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Modelación Hidráulica	Para conocer los valores máximos y mínimos del caudal.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Curvas de nivel ▪ Caudal de diseño ▪ Pendiente
Prevención de las inundaciones	Para determinar las velocidades máximas y mínimas que ayudan a controlar las inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Condiciones hidrológicas ▪ Velocidad mínima y máxima

Fuente: Elaboración propia

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 ASPECTOS GENERALES

Para realizar los trabajos de recolección de datos, ha sido necesario realizar hacer visitas en campo y entrevistas, para luego ser analizadas en gabinete.

Se requirió de los siguientes datos:

- Carta Nacional 1:100000 del Instituto Geográfico Nacional.
- Carta Nacional 1: 25000 del Instituto Geográfico Nacional.
- Mapas temáticos digitales cuencas de la Autoridad Nacional del Agua.
- Base Gráfica en GIS
- Modelo de Elevación Digital del Terreno.
- Software para análisis estadísticos de datos hidrológicos (en Gabinete)
- Modelamiento hidrológico obtenidos (en Gabinete)
- Modelamiento hidráulico obtenidos (en Gabinete)
- Control de las zonas de inundación (en Gabinete)

3.4.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.4.2.1. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE CUENCA CAPLINA

El modelo hidrológico requiere para su procesamiento los siguientes requerimientos básicos para obtener un resultado óptimo:

- Empalmes de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional.
- Software ArcGis 10.3.1.
- Software Hidroesta2
- Computadora Asus coreI7.

3.4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE DATOS HIDROLÓGICOS

Para el procedimiento del análisis estadístico, se recomienda utilizar las funciones de un modelo de distribución como:

- HidroEsta 2, Software para cálculos Hidrológicos.
- Computadora Asus coreI7.

3.4.2.3. MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN HEC RAS

Para desarrollar el modelo hidráulico en HEC RAS requiere para su procesamiento los siguientes requerimientos básicos para obtener un resultado óptimo:

- Software HEC HMS vs. 4.3 e HIDROESTA 2.0
- Computadora Asus coreI7.
- Análisis Estadísticos de datos Hidrológicos.

3.4.2.4. INFORMACIÓN PARA EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO

- La pendiente: Este dato se obtuvo del levantamiento topográfico realizado y de los trabajos de gabinete con el software CIVIL 3D.
- La rugosidad: Este dato se obtuvo en campo según las inspecciones oculares realizadas.

- Caudal instantáneo: Este dato se obtuvo del modelamiento hidrológico con el software HEC-RAS v 5.0.7 e HIDROESTA 2.0

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Para iniciar con el modelamiento hidrológico se ha ingresado los datos del Registro histórico de caudales tomados de la Estación Jorge Basadre. Las precipitaciones máximas en 24 horas que han sido utilizados para el presente proyecto se obtuvieron de los registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Dirección Regional Zonal 7 del Perú – SENAMHI. se tienen los datos de la Estación Map-Jorge Basadre MET., que registra datos desde 1998 a 2020.

El objeto del presente ítem es la estimación de la precipitación en puntos específicos de interés y determinar las tormentas de diseño para la cuenca o en el centroide de la cuenca considerando el periodo de retorno y finalmente calcular las máximas avenidas con la cual se hará la simulación hidráulica

Posteriormente se ha realizado las distribuciones estadísticas para poder determinar si los datos hidrométricos obtenidos de la estación Jorge Basadre del Rio Caplina y los datos hidrométricos generados empíricamente se ajustan a uno de las siguientes distribuciones estadísticas.

Figura 7

Ventana para generar Distribuciones estadísticas



Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionado la distribución estadística que más se ajusta a la serie de datos hidrométricos se procede a estimar los caudales de diseño cuya probabilidad de ocurrencia se ajusta a un determinado periodo de tiempo de retorno.

Permite el cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash).

Figura 8

Ventana para estimar el Caudal Máximo

The screenshot shows a window titled 'Cálculo de caudal de diseño utilizando la distribución Gumbel'. It contains the following elements:

- Ingreso de datos:** A text input field for 'Año de inicio:'.
- Nota:** 'Una vez que digite el dato, presionar ENTER'.
- Table:** A table with two columns: 'N°' and 'X'. The first row contains '[?]' and 'X'. Below it is a large grey rectangular area.
- Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T):** A text input field followed by 'años'.
- Resultados:** A table with the following columns: 'N° años disponibles', 'Qm', 'SQ', 'YN', 'SN', 'Qmáx', 'DeltaQ', 'IntervaloQ', and 'Qdiseño'.
- Archivos y resultados:** A section with icons for file operations and a calculator.
- System tray:** Shows the time '19:53' and the date '01/02/2021'.

The background of the window features a landscape image of a river with a bird in flight and the text 'Qmax' overlaid.

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 MODELAMIENTO HIDRÁULICO

Para ingresar datos al software HEC RAS V. 5.0.7, se ha insertado datos de caudales máximos instantáneos, habiéndose aplicado pruebas de bondad de ajuste con modelos estadísticos al registro histórico de caudales obtenidos de la estación Jorge Basadre, siendo llevado los registros por el SENAMHI.

Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso podemos incluir en el modelo la existencia de obras hidráulicas como puentes, conducciones, presas, etc., por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

El programa permite simular diferentes caudales y obras hidráulicas y permite obtener una gran variedad de resultados (resultados por secciones, resultados en forma de tablas, en forma de gráficos, visualización sobre imágenes geo referenciadas, etc.).

El modelamiento del programa HEC RAS realiza el cálculo hidráulico simulando el caudal para distintos periodos de retorno obteniendo resultados como inundaciones y riesgos en la zona de estudio.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1 MODELAMIENTO HIDROLOGICO

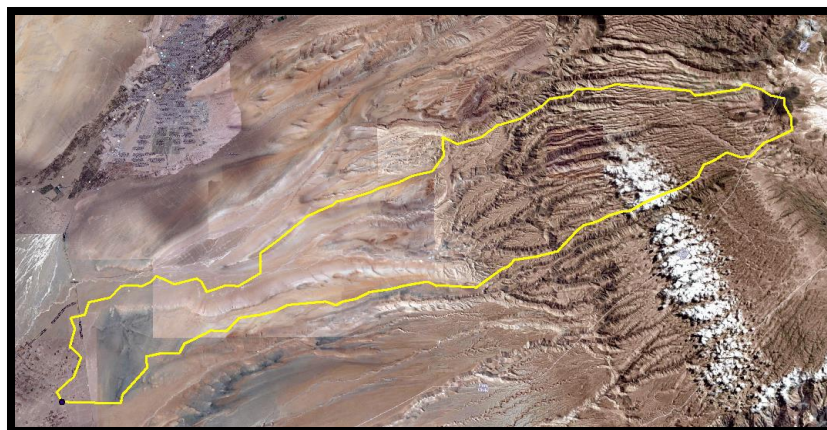
El modelamiento con el programa permitió establecer los parámetros morfométricos de la cuenca Caplina, los cuales han sido necesarios para determinar el proceso y secuencia para los cálculos posteriores. De igual modo nos da a conocer características físicas de la cuenca, un modelo meteorológico y específicamente de control, que son muy importantes para el proceso de simulación de eventos.

Para delimitar las cuencas se ha utilizado la cartografía base publicada en la Web del Ministerio de Educación, que consta de la información espacial o topográfica de todo el Perú, Según formato de la carta nacional en escala 1:100000.

La cuenca en estudio en su mayor extensión es zona rural, Las características de la cuenca analizada se muestran a continuación.

Figura 9

Delimitación de la cuenca Caplina



Fuente: Google Earth

Tabla 8

Delimitación de la Cuenca Caplina

Coordenadas UTM (WGS84)	
Norte:	7,980,810.00 m S
Este:	352,640.00 m E
Variación Altitudinal:	71.66–4300 m.s.n.m.
Zona:	19L

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1 PARÁMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA CUENCA

La morfología 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 y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros:

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros de red hidrográfica.

4.1.1.1 PARÁMETROS DE FORMA DE LA CUENCA

a) Área de la cuenca (A)

Es considera las áreas entre los límites de la cuenca, considerando la diferencia de cotas y curvas de nivel.,

b) Coeficiente de Compacidad o de Gravelius (Kc)

Permite evaluar la uniformidad o irregularidad del contorno de la cuenca con respecto a un círculo, y se define como el cociente entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área.

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \geq 1$$

Donde:

P=Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (Km²)

Para un círculo, Ff = 0.79; para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados, Ff = 1, y con la salida en una esquina, Ff = 0.5 (Mintegui et al, 1993).

c) Factor de Forma (Ff)

Definido como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima, medida desde la salida hasta el límite de la cuenca, cerca de la cabecera del cauce principal, a lo largo de una línea recta.

$$Pf = \frac{A}{Lm^2}$$

Donde:

A = Área de la cuenca (Km²),

Lm = Longitud de cauce principal de la cuenca (Km.)

d) Radio de circularidad (Rc)

Relaciona el área de la cuenca y la del círculo que posee una circunferencia de longitud igual al perímetro de la cuenca. Su valor es 1 para una cuenca circular y 0.785, para una cuenca cuadrada.

$$Rc = \frac{4\pi A}{p^2}$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (Km.),

A = Área de la cuenca (Km²)

e) Rectángulo Equivalente (Re)

Asimila la superficie y el perímetro de la cuenca a un rectángulo equivalente. En el caso de dos cuencas con rectángulos equivalentes similares, se admite que poseen un comportamiento hidrológico análogo siempre que posean igual clima y que el tipo y la distribución de sus suelos, de su vegetación y de su red de drenaje sean comparables (Martínez et al, 1996).

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right) \quad l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{kc}\right)^2} \right)$$

4.1.1.2 PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

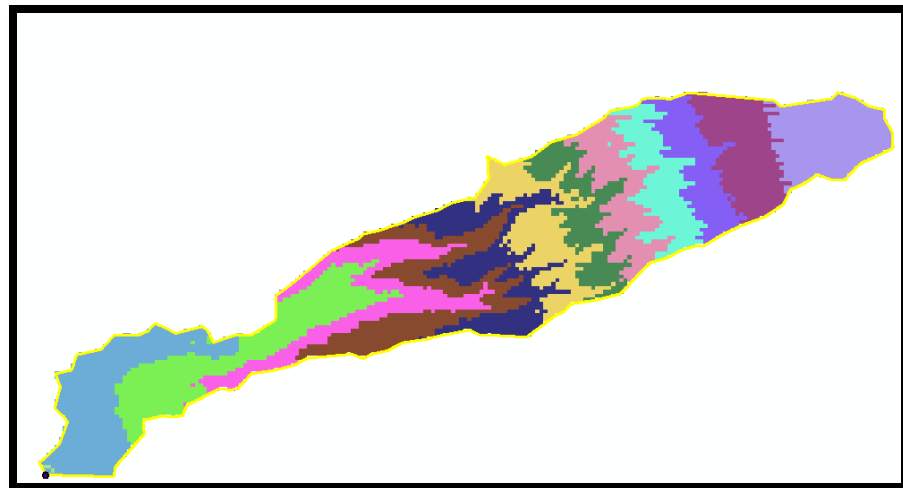
Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal.

a. Curva Hipsométrica

Es utilizada para representar gráficamente cotas de terreno en función de las superficies que encierran. Para su trazado se debe tener en cuenta que sobre la sección de control (altitud mínima de la cuenca), se tiene el cien por ciento de su superficie. Si se ubica en el punto más alto de la cuenca y se calcula a partir de cada curva de nivel, las áreas acumuladas por encima de ellas, se puede construir la curva hipsométrica. En general, tanto las alturas como las superficies son definidas en términos porcentuales.

Figura 10

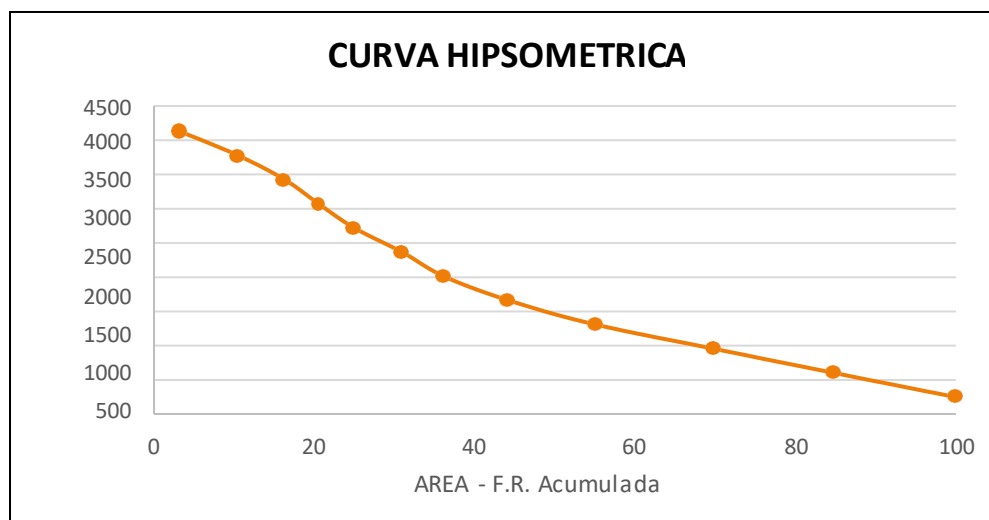
Áreas Hipsométricas



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Curva Hipsométrica



Fuente: Elaboración propia

b. Polígono de Frecuencias

Se denomina así a la representación gráfica de la relación existente entre altitud y la relación porcentual del área a esa altitud con respecto al área total. En el polígono de frecuencias existen valores representativos como: la altitud más frecuente, que es el polígono de mayor porcentaje o frecuencia.

Tabla 9

Cotas y Áreas

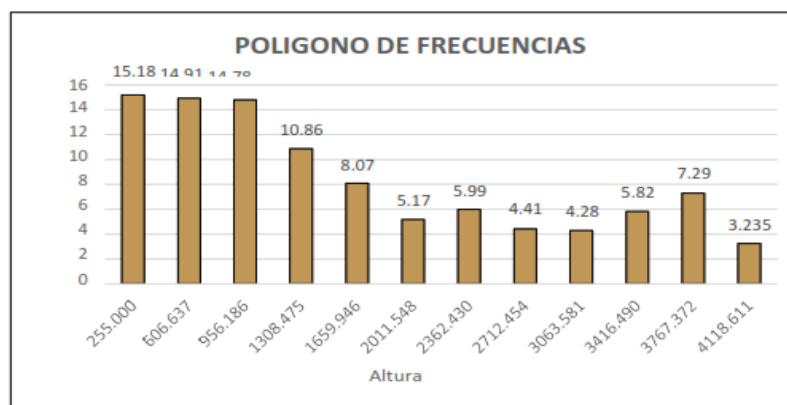
Nº	COTAS (msnm)			ÁREA			
	Minina	Máxima	Promedio	F.A. (Km2)	F.A.Acum. (Km2)	F.R. (%)	F.R. Acum (%)
1	80.000	430.000	255.000	77.2288	509	15.18	100.0
2	431.353	781.922	606.637	75.8569	432	14.91	84.8
3	782.372	1130.000	956.186	75.2113	356	14.78	69.9
4	1133.511	1483.438	1308.475	55.2787	281	10.86	55.1
5	1485.000	1834.893	1659.946	41.0757	225	8.07	44.3
6	1836.509	2186.586	2011.548	26.3078	184	5.17	36.2
7	2187.032	2537.828	2362.430	30.5042	158	5.99	31.0
8	2538.381	2886.528	2712.454	22.4343	127	4.41	25.0
9	2890.306	3236.855	3063.581	21.7887	105	4.28	20.6
10	3241.364	3591.617	3416.490	29.6165	83	5.82	16.3
11	3592.099	3942.645	3767.372	37.1215	54	7.29	10.5
12	3943.209	4294.013	4118.611	16.4626	16	3.235	3.2
TOTAL				508.887			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10*Altitud media, más frecuente, frecuencia 1/2"*

Altitud media	1963.000
Altitud más frecuente	255.000
Altitud de frecuencia ½"	1840.550

Fuente: Elaboración Propia

Figura 12*Polígono de Frecuencia de la Cuenca Caplina*

Fuente: Elaboración propia

c. Altitud Media de la Cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca.

d. Altitud de Frecuencia Media

Corresponden a las abscisas medias de las curvas hipsométricas de la cuenca de los ríos.

e. Altitud más Frecuente

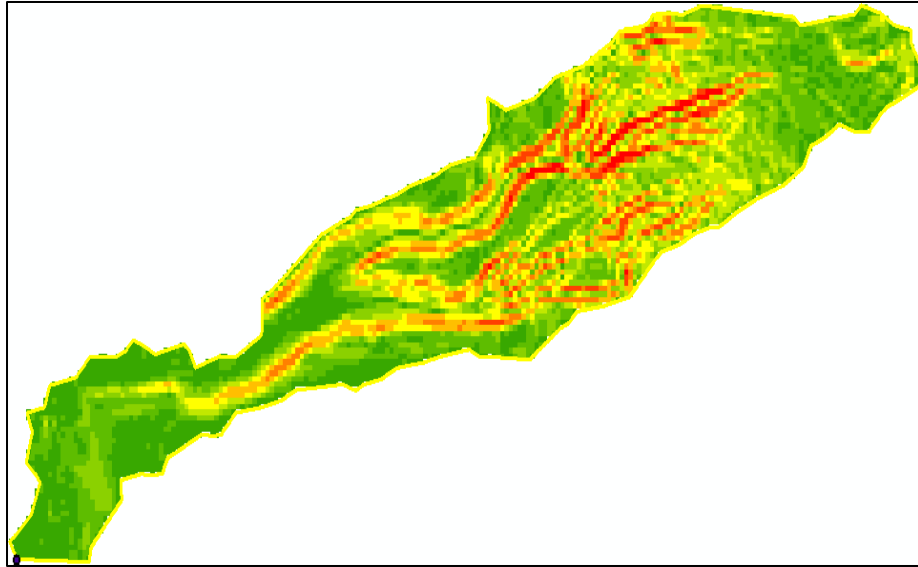
Son los límites de altitud donde se tiene el mayor porcentaje de área de la cuenca en estudio y estos pueden variar dentro del rango de las cotas máximas y mínimas de cada cuenca.

f. Pendiente Media de la Cuenca

Este parámetro de relieve es importante debido a su relación con el comportamiento hidráulico de drenaje de la cuenca.

Figura 13

Pendiente de la superficie de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 PARÁMETROS DE RELIEVE DE LA CUENCA PARÁMETRO

La red hidrográfica corresponde al drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca. La red de drenaje es, probablemente, uno de los factores más importantes a la hora de definir un territorio. De ella se puede obtener información en lo que concierne a la roca madre y a los materiales del suelo, a la morfología y a la cantidad de agua que circula, entre otros.

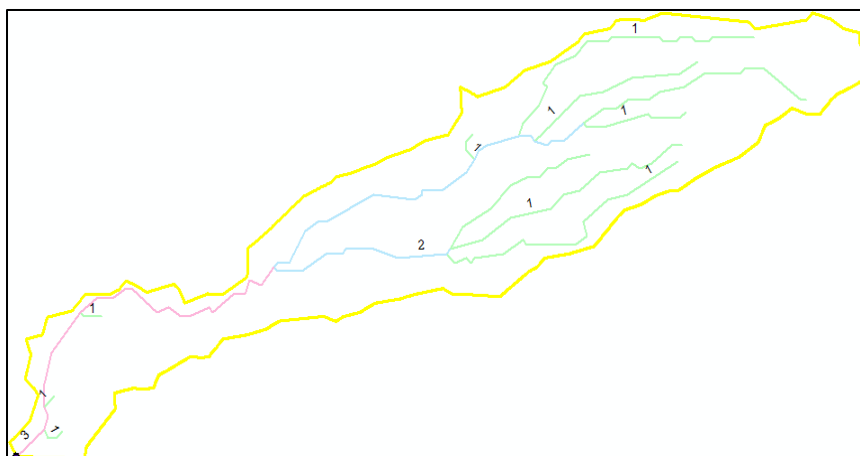
Diversos autores coinciden en afirmar que mientras mayor sea el grado de bifurcación del sistema de drenaje de una cuenca, es decir, entre más corrientes tributarias presente, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo. En efecto, al presentar una densa red de drenaje, una gota de lluvia deberá recorrer una longitud de ladera pequeña, realizando la mayor parte del recorrido a lo largo de los cauces, donde la velocidad del escurrimiento es mayor.

a. Número de orden de los ríos

La clasificación (orden) de la cuenca hidrográfica es función del número de orden o medida de la ramificación del cauce principal

Figura 14

Orden de ríos de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

b. Pendiente Media de la cuenca Principal

El valor de la pendiente longitudinal se ha efectuado con el método de áreas compensadas para el cauce principal de la cuenca.

Tabla 11

Pendiente Media de la cuenca Principal

Orden de la red Hídrica	Número de Veces (1)	Pendiente promedio (%) (2)	(1)x(2)
1	489	3.39059	1658
2	153	2.06536	316
3	121	1.12397	136
Total	763		2110
Pendiente promedio.		2.765%	

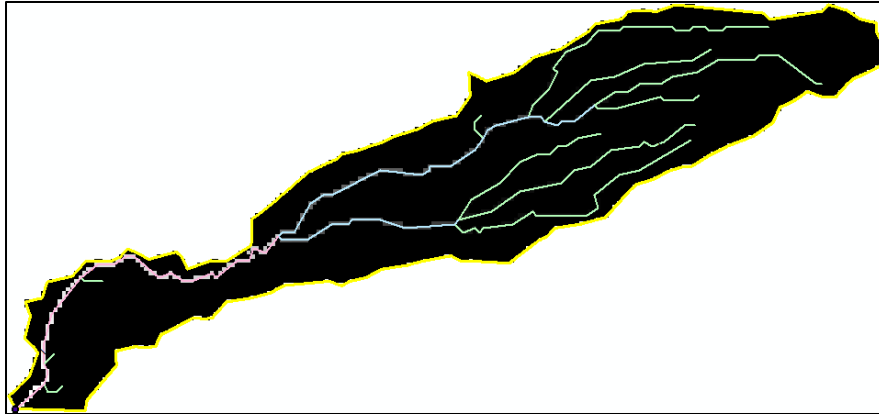
Fuente: Elaboración Propia

c. Tiempo de concentración (Tc)

Definido como el tiempo necesario para que una gota de lluvia caída se movilice desde el punto más alejado de la cuenca hasta su lugar de salida. Para el cálculo del tiempo de concentración se ha utilizado la formulas del manual de Hidrología del MTC, cuya ecuación es la siguiente:

Figura 15

Acumulado de Flujo total de la cuenca



Fuente: Elaboración propia

- Formula de Kirpich

$$T_c = 0.06628 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

También se le conoce como la fórmula de California Highway and Public Works

- Formula de Temez

$$T_c = 0.3L^{0.76}S^{-0.19}$$

- Formula de Ven te Chow

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

- Formula de Hathway

$$T_c = 0.606 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

T_c=Tiempo de concentración, en horas

L=Longitud del cauce principal, en km

Tabla 12

Valor de N según tipo de superficie

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR DE N
Suelo liso impermeable	0.02
Suelo desnudo	0.10
Pastos pobres, cultivos en hilera o suelo desnudo algo rugoso	0.20
Pastizales	0.40
Bosques frondosas	0.60

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 PROPIEDADES MORFOMETRICAS CUENCA

Tabla 13

Tiempo de concentración

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Área	Km ²	26.124
Perímetro	Km	23.382
Cotas		
Cota Máxima	m.s.n.m.	1269.444824
Cota mínima	m.s.n.m.	893.297119
Centroide Wgs84-UTM-18S		
X centroide	m	305586.727
Y centroide	m	8065297.5
Z centroide	m.s.n.m.	1103.000
Altitud		
Altitud media	m.s.n.m.	1103.000
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	1097.153
Altitud de frecuencia media	m.s.n.m.	1092.313
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	9.337
DE LA RED HIDRICA		
Longitud del curso principal	Km	10.535
Orden de la red hídrica	UND	6
Longitud de la red hídrica	Km	73.947
Pendiente promedio	%	1.280
PARAMETROS GENERADOS		
Factor de forma		0.048
Densidad de drenaje	Km/km ²	2.831
Tiempo de concentración	Horas	1.47
Pendiente del cauce principal	m/km	35.705

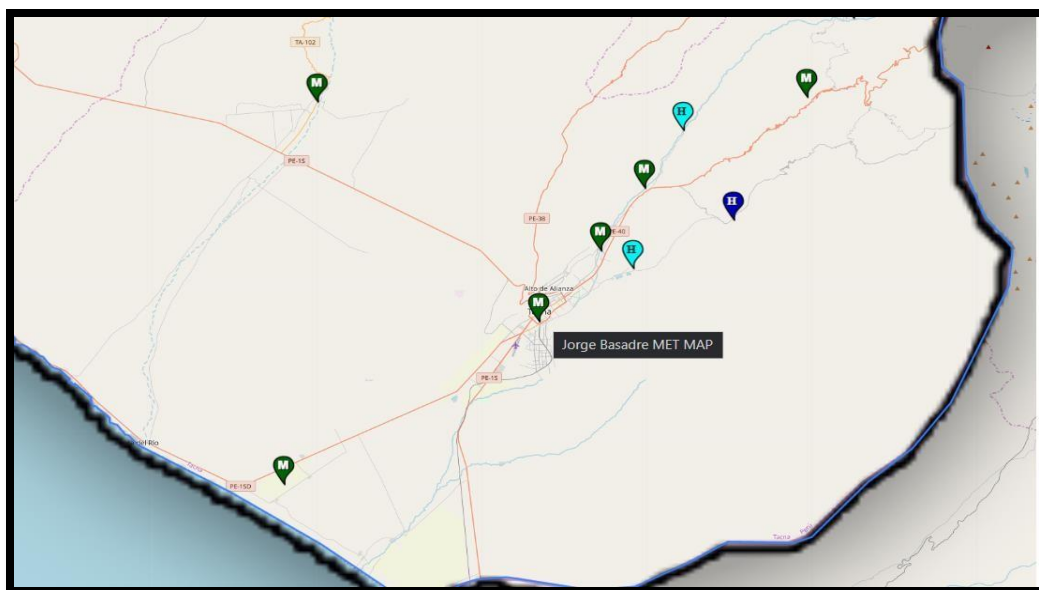
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 PRECIPITACIÓN

Las precipitaciones máximas en 24 horas que han sido utilizados para el presente proyecto se obtuvieron de los registros históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Dirección Regional Zonal 7 del Perú – SENAMHI.

Figura 16

Estaciones meteorológicas de la Región de Tacna



Fuente: SENAMHI

En el área de interés y aledañas se han clasificado 01 estación pluviométrica, teniendo en consideración que el área de trabajo no cuenta con más estaciones, se tienen los datos de la Estación Map-Jorge Basadre MET., que registra datos desde 1998 a 2020.

Figura 17*Precipitación Máxima en 24 Horas (mm)*

PRECIPITACION MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)																
ESTACIÓN	: MAP-JORGE BASADRE G DEPARTAMENTO: TACNA										LATITUD	: 18°01'36 "S"				
CÓDIGO	: 110901					PROVINCIA	: TACNA					LONGITUD	: 70°15'2,4" W"			
						DISTRITO	: TACNA					ALTITUD	: 560 msnm			
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	PP MAX.	TOTAL		
1998	4.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	3.1	0.7	0.4	0.0	0.4	4.6	10.4		
1999	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.2	0.9	0.6	3.0	3.0	7.4		
2000	3.4	0.2	0.6	0.1	0.0	1.3	4.2	4.0	0.8	2.2	0.0	0.0	4.2	16.8		
2001	1.9	5.8	4.2	0.5	0.0	1.2	0.4	1.1	1.0	0.3	0.0	1.2	5.8	17.6		
2002	0.0	0.5	2.3	0.8	0.0	0.1	6.9	1.3	0.5	0.9	0.0	0.0	6.9	13.3		
2003	2.5	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	1.8	0.9	2.9	0.0	0.3	0.0	2.9	8.8		
2004	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.1	0.5	0.4	0.0	0.0	1.2	3.6		
2005	0.3	0.1	0.0	0.5	0.5	0.0	0.2	1.3	0.9	0.0	0.0	0.4	1.3	4.2		
2006	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.7	1.7	0.8	0.0	0.0	0.0	1.7	5.1		
2007	0.0	0.6	0.0	0.0	0.3	0.6	0.4	1.7	1.8	0.4	0.8	0.0	1.8	6.6		
2008	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	1.1	0.2	1.1	1.6	0.6	0.3	0.7	1.6	8.0		
2009	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.7	1.0	0.8	1.9	2.5	2.5	10.3		
2010	0.1	0.0	0.0	0.9	1.1	1.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0	0.1	1.1	4.4		
2011	0.8	4.0	0.0	0.0	0.4	1.5	1.4	1.6	1.2	0.1	0.5	0.6	4.0	12.1		
2012	4.5	0.6	0.5	0.2	0.0	0.4	0.6	1.6	1.8	0.6	0.0	0.0	4.5	10.8		
2013	0.0	0.2	0.8	0.0	0.2	0.2	0.9	0.5	0.4	0.1	0.2	0.0	0.9	3.5		
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	1.2	0.5	2.3	0.5	0.9	0.8	2.3	7.6		
2015	0.4	0.5	1.3	0.0	1.6	0.0	2.5	3.8	1.4	2.3	1.2	0.9	3.8	15.9		
2016	0.3	1.7	0.0	0.1	0.0	0.1	1.8	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	1.8	5.4		
2017	0.1	1.6	0.0	0.0	0.2	1.8	2.8	1.4	2.5	0.8	5.1	0.0	5.1	16.3		
2018	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	1.3	1.1	0.5	0.1	1.6	0.3	0.0	1.6	5.4		
2019	9.8	3.1	0.0	0.2	0.3	0.6	1.8	0.3	1.1	1.5	0.5	0.0	9.8	19.2		
2020	16.4	23.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	23.8	40.2		
MEDIA	2.1	1.9	0.5	0.2	0.2	0.6	1.5	1.4	1.2	0.7	0.6	0.5	4.2			
DESV. EST.	3.89	4.99	1.02	0.27	0.40	0.62	1.56	1.06	0.72	0.68	1.12	0.82	4.79			
MAXIMO	16.4	23.8	4.2	0.9	1.6	1.8	6.9	4.0	2.9	2.3	5.1	3.0	23.8			
MÍNIMO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.90			
N° DATOS	23.00	23.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	23.00			

Fuente: Excel Elaboración Propia

4.2 GENERACIÓN DE PRECIPITACIONES EN EL PUNTO DE INTERES

4.2.1 ANALISIS ESTADISTICOS DE LOS DATOS

Para la estimación de caudales puede ser efectuado un Análisis de Frecuencias de Eventos Hidrológicos Máximos, aplicables a caudales de avenida y precipitación máxima. En caso de no contar con registros de aforo en el área del proyecto, se puede considerar el siguiente procedimiento:

- Uso de registros de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones.
- Procesamiento de las distribuciones de frecuencia más usuales y obtención de la distribución de mejor ajuste a los registros históricos.
- Análisis estadístico de precipitaciones máximas para períodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años.
- Aplicación del modelo precipitación – escorrentía

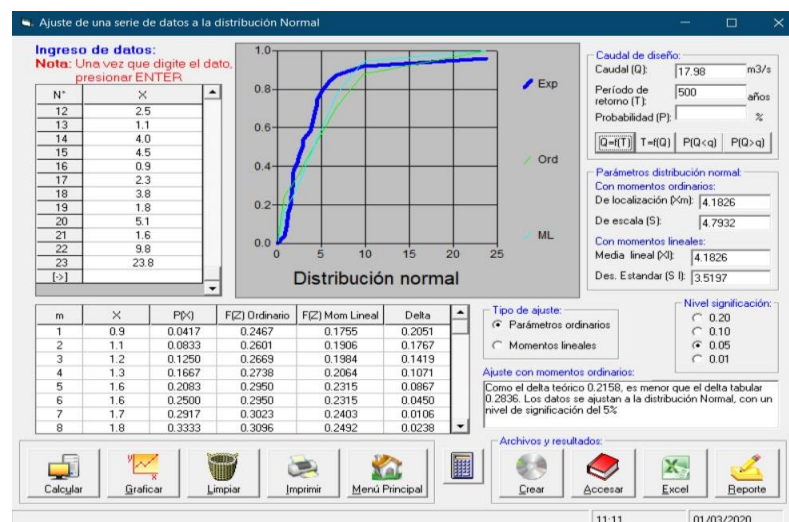
4.3 HIDROESTA2, SOFTWARE PARA CÁLCULOS HIDRÁULICOS

4.3.1 VERIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN CON HIDROESTA2

a. Distribución log Normal: Estación Jorge Basadre

Como el delta teórico 0.2158, es mejor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Figura 18
Distribución Normal

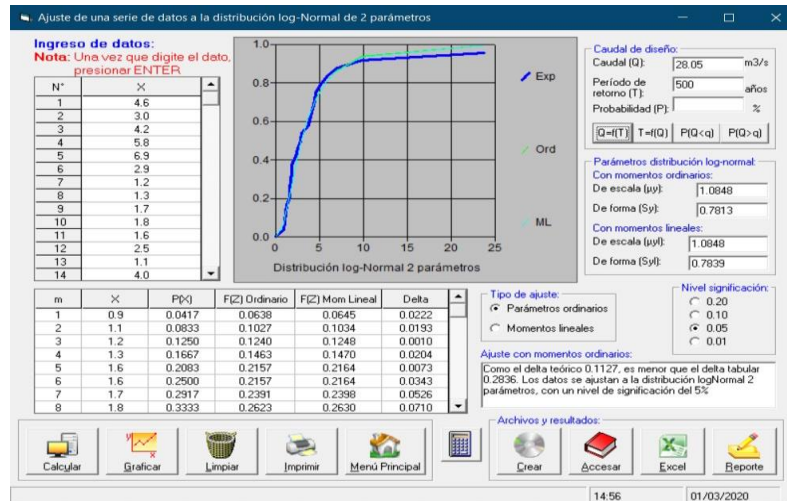


Fuente: Elaboración Propia

- b. **Distribución log Normal 2 parámetros: Estación Jorge Basadre**
Como el delta teórico 0.1127, es mejor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal 2, con un nivel de significación del 5%

Figura 19

Distribución Log Normal 2 Parámetros

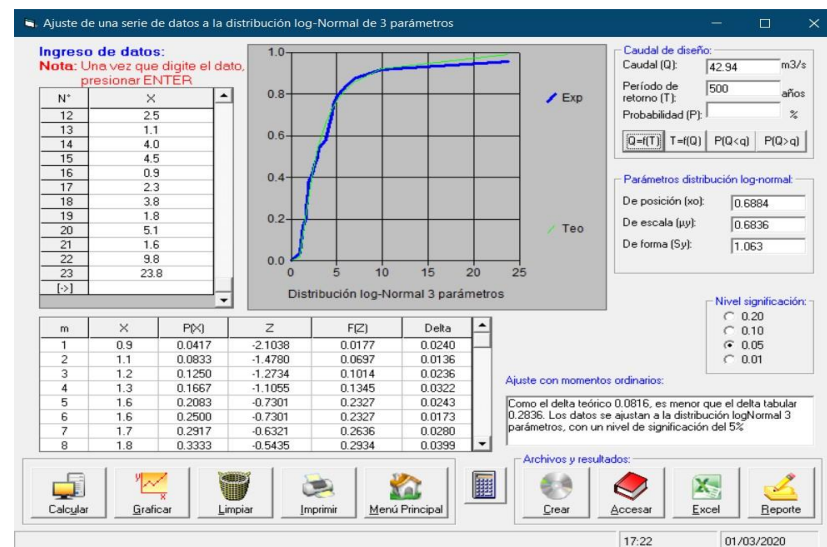


Fuente: Elaboración Propia

- c. **Distribución log Normal 3 parámetros: Estación Jorge Basadre**
Como el delta teórico 0.0816, es mejor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Figura 20

Distribución Log Normal 3 Parámetros



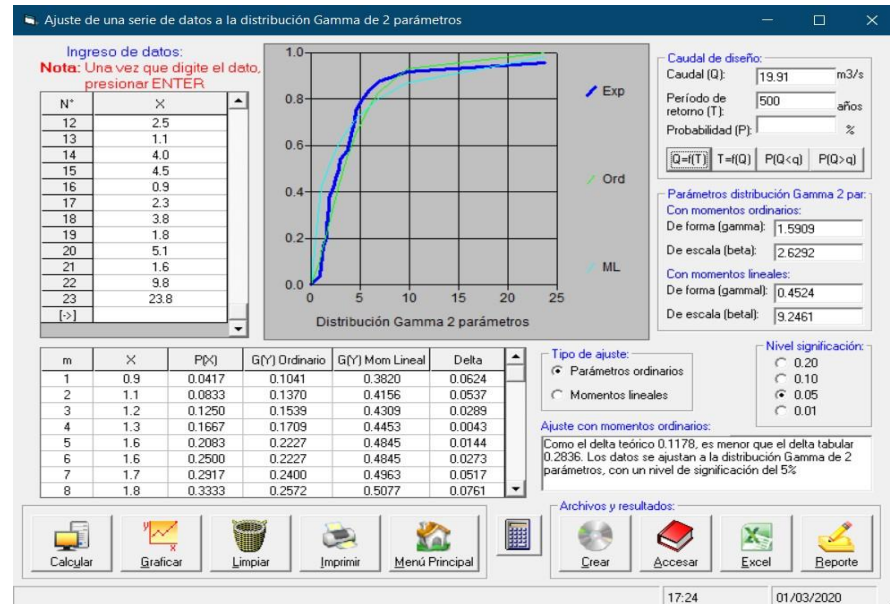
Fuente: Elaboración Propia

d. Distribución Gamma 2 parámetros: Estación Jorge Basadre

Como el delta teórico 0.1178, es mejor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Figura 21

Distribución Gamma 2 Parámetros



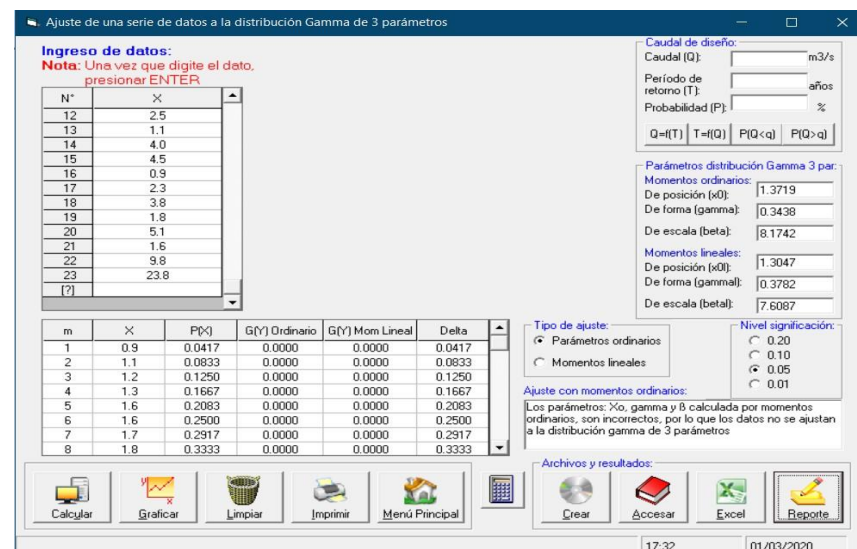
Fuente: Elaboración propia

e. Distribución log Normal 3 parámetros: Estación Jorge Basadre

Los parámetros X_0 , Gamma Y 8 calculada por momentos ordinarios, son incorrectos por lo que los datos no se ajustan a la distribución gamma 3 parámetros.

Figura 22

Distribución Gamma 3 Parámetros



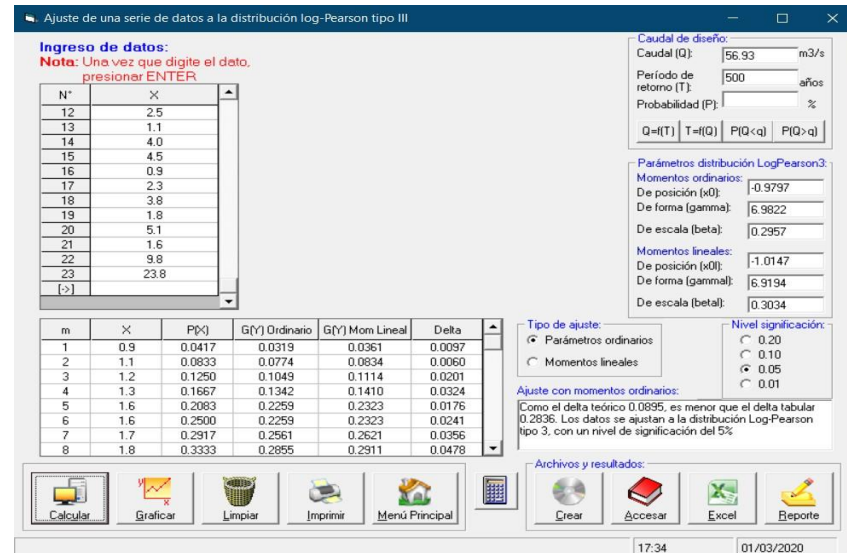
Fuente: Elaboración propia

f. Distribución Log Pearson tipo III: Estación Jorge Basadre

Como el delta teórico 0.0895, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Log Pearson tipo3, con un nivel de significación del 5%

Figura 23

Distribución Log Pearson Tipo III



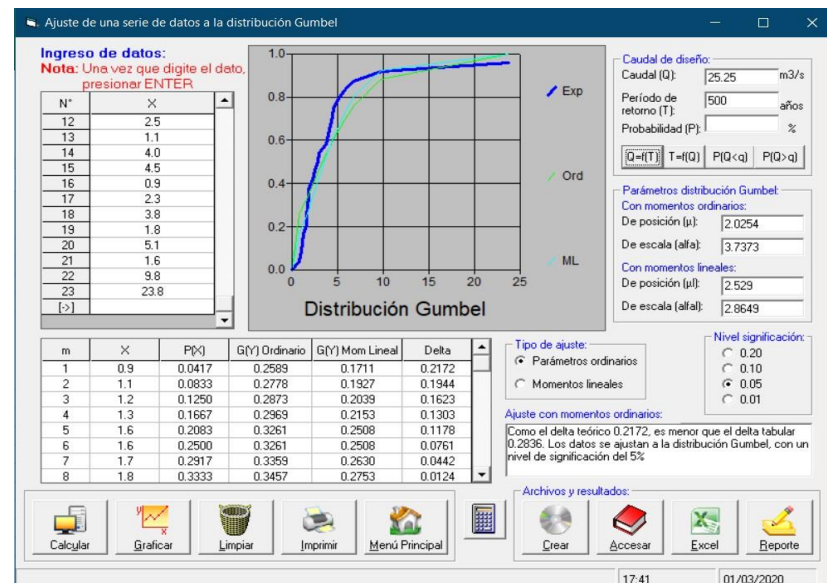
Fuente: Elaboración propia

g. Distribución Gumbel: Estación Jorge Basadre

Como el delta teórico 0.2172, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación de 5%

Figura 24

Distribución Gumbel

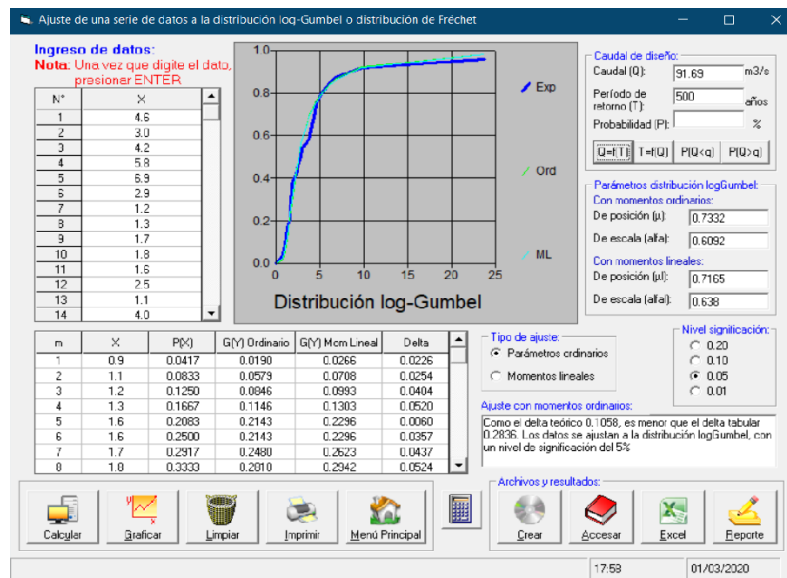


Fuente: Elaboración propia

h. Distribución Log Gumbel: Estación Jorge Basadre

Como el delta teórico 0.1058, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Log Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Figura 25
Distribución Log-Gumbel



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 RESUMEN DE DISTRIBUCIONES

Tabla 14
Resumen de distribuciones

Tiempo de retorno	Normal	Log Normal 2 Parámetros	Log Normal 3 Parámetros	Gamma 2 Parámetros	Gamma 3 Parámetros	Log Pearson Tipo III	Gumbel	Log Gumbel	Diseño
2	4.18	2.96	2.67	3.35	No ajusta	2.68	3.4	2.6	2.68
5	8.22	5.71	5.53	6.43	No ajusta	5.46	7.63	5.19	5.46
10	10.33	8.05	8.43	8.59	No ajusta	8.39	10.44	8.2	8.39
20	12.07	10.7	12.08	10.68	No ajusta	12.36	13.13	12.71	12.36
25	12.58	11.62	13.43	11.34	No ajusta	13.91	13.98	14.61	13.91
50	14.03	14.73	18.28	13.38	No ajusta	19.78	16.61	22.43	19.78
100	15.34	18.22	24.19	15.38	No ajusta	27.63	19.22	34.31	27.63
200	16.53	22.15	21.33	17.35	No ajusta	38.03	21.82	52.42	38.03
500	17.98	28.05	42.94	19.91	No ajusta	56.93	25.25	91.69	56.93
Delta Teórico	0.2158	0.1249	0.0816	0.1178	No ajusta	0.0895	0.2172	0.1058	

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 PRUEBAS DE AJUSTE

Para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adapta mejor a la información histórica se puede utilizar, de entre otras pruebas de ajuste, el método de Smirnov Kolmogorov.

Prueba Smirnov Kolmogorov

El estadístico Smirnov Kolmogorov D_n considera la desviación de la función de distribución de probabilidades de la muestra $P(x)$ de la función de probabilidades teórica, escogida $P_0(x)$ tal que:

$$D_n = \text{Max} (P(x) - P_0(x))$$

La prueba requiere que el valor D_n calculado con la expresión anterior sea menor que el valor tabulado D_n para un nivel de probabilidad requerido. Esta prueba es fácil de realizar y comprende las siguientes etapas:

- El estadístico D_n es la máxima diferencia entre la función de distribución acumulada de la muestra y la función de distribución acumulada teórica escogida.
- Se fija el nivel de probabilidad α , valores de 0.05 y 0.01 son los más usuales.
- El valor crítico D_α de la prueba debe ser obtenido de la tabla siguiente en función del nivel de significancia α y el tamaño de la muestra n .
- Si el valor calculado D_n es mayor que el D_α , la distribución escogida se debe rechazar

Tabla 15

Prueba Smirnov Kolmogorov

TAMAÑO MUESTRA (N)	NIVEL DE SIGNIFICANCIA				
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.689	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.477	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.410	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.295	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352

25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290
40	0.165	0.189	0.210	0.235	0.252
n Grande	0.07n	1.22n	1.36n	1.52n	1.66n

Fuente: Máximo Villon

Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Pearson tipo III
Serie de datos X

m	X
1	4.6
2	3.0
3	4.2
4	5.8
5	6.9
6	2.9
7	1.2
8	1.3
9	1.7
10	1.8
11	1.6
12	2.5
13	1.1
14	4.0
15	4.5
16	0.9
17	2.3
18	3.8
19	1.8
20	5.1
21	1.6
22	9.8
23	23.8

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	0.9	0.0417	0.0319	0.0361	0.0097
2	1.1	0.0833	0.0774	0.0834	0.0060
3	1.2	0.1250	0.1049	0.1114	0.0201
4	1.3	0.1667	0.1342	0.1410	0.0324
5	1.6	0.2083	0.2259	0.2323	0.0176
6	1.6	0.2500	0.2259	0.2323	0.0241
7	1.7	0.2917	0.2561	0.2621	0.0356
8	1.8	0.3333	0.2855	0.2911	0.0478
9	1.8	0.3750	0.2855	0.2911	0.0895
10	2.3	0.4167	0.4174	0.4204	0.0007
11	2.5	0.4583	0.4624	0.4645	0.0041
12	2.9	0.5000	0.5402	0.5406	0.0402
13	3.0	0.5417	0.5573	0.5574	0.0156
14	3.8	0.5833	0.6677	0.6656	0.0843
15	4.0	0.6250	0.6892	0.6868	0.0642
16	4.2	0.6667	0.7089	0.7061	0.0422
17	4.5	0.7083	0.7352	0.7321	0.0269

18	4.6	0.7500	0.7432	0.7400	0.0068
19	5.1	0.7917	0.7786	0.7750	0.0130
20	5.8	0.8333	0.8175	0.8135	0.0158
21	6.9	0.8750	0.8613	0.8572	0.0137
22	9.8	0.9167	0.9236	0.9201	0.0070
23	23.8	0.9583	0.9863	0.9849	0.0279

-----+-----
 Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0895, es menor que el delta tabular 0.2836. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

 Los 3 parámetros de la distribución Log-Pearson tipo 3:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización (Xo)= -0.9797

Parámetro de forma (gamma)= 6.9822

Parámetro de escala (beta)= 0.2957

Con momentos lineales:

Parámetro de localización (Xol)= -1.0147

Parámetro de forma (gamma)= 6.9194

Parámetro de escala (beta)= 0.3034

 Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 56.93

4.4 DETERMINACIÓN DE PRECIPITACIONES DE DISEÑO

Luego del ajuste de los datos mediante la prueba de Smirnov – Kolmogorov, las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno, convierta estas precipitaciones para diferentes duraciones de acuerdo a los modelos de Bell y Yance Tueros, seguidamente construya las curvas IDF de acuerdo al modelo utilizado en USA.

Tenemos los siguientes resultados para la estación MAP – JORGE BASADRE.

Tabla 16

P máx. 24hr en diferentes Tr

T(años)	5	10	25	50	100	200	500
P Max							
24h	5.46	8.39	13.91	19.78	27.63	38.03	56.93

Fuente: Elaboración Propia

Obtenemos las precipitaciones de tiempo de duración de 60 minutos y tiempo de retorno de 10 años, mediante la ecuación.

$$I = 0.4602 P_{24}^{0.876}$$

Siendo la intensidad en un tiempo de duración de 1 hora la precipitación de 60 minutos de duración y tiempo de retorno de 10 años tendrán el mismo valor de las intensidades halladas con la ecuación anterior, reemplazando valores obtenemos el siguiente cuadro:

Tabla 17

P máx. 24hrs en diferentes Tr 60min y Tr=10 años

T	P Max 24	P10-60
5	5.46	2.036
10	8.39	2.966
25	13.91	4.619
50	19.78	6.287
100	27.63	8.426
200	38.03	11.146
500	56.93	15.872

Fuente: Elaboración Propia

Luego hallamos las precipitaciones para distintos tiempos de duración

$$P_t^T = (0.21 \ln(T) + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.5)P_{10}^{60}$$

Los resultados lo mostramos en el siguiente cuadro de precipitaciones:

Tabla 18

P Max24 en diferentes Tr

T	DURACIÓN (MIN)							
	P MAX	P 10-60	5	10	15	20	30	60
5	5.46	2.036	0.537	0.804	0.983	1.121	1.334	1.752
10	8.39	2.966	0.915	1.370	1.675	1.911	2.273	2.985
25	13.91	4.619	1.698	2.542	3.108	3.546	4.219	5.540
50	19.78	6.287	2.593	3.882	4.746	5.414	6.442	8.459
100	27.63	8.426	3.853	5.767	7.051	8.043	9.570	12.566
200	38.03	11.146	5.596	8.376	10.240	11.683	13.900	18.251
500	56.93	15.872	8.907	13.333	16.300	18.596	22.125	29.051

Fuente: Elaboración Propia

Hallamos las intensidades:

Tabla 19

Intensidad de Precipitaciones para diferentes Tr

T	INTENSIDAD (mm/hr)							
	P Max	P 10-60	5	10	15	20	30	60
5	5.46	2.036	6.445	4.824	3.931	3.364	2.668	1.752
10	8.39	2.966	10.983	8.220	6.700	5.732	4.547	2.985
25	13.91	4.619	20.381	15.254	12.433	10.638	8.438	5.540
50	19.78	6.287	31.121	23.292	18.984	16.243	12.884	8.459
100	27.63	8.426	46.232	34.602	28.202	24.130	19.140	12.566
200	38.03	11.146	67.149	50.257	40.962	35.048	27.799	18.251
500	56.93	15.872	106.884	79.996	65.201	55.787	44.249	29.051

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1 DETERMINACIÓN DE PRECIPITACIONES DE DISEÑO

Estación MAP – JORGE BASADRE

Tabla 20

Parámetros para IDF para diferentes Tr

T	P Max	DURACIÓN (MIN)								
		P 10-60	5	10	15	20	30	60		
5	5	6.445	0.6990	0.6990	0.8092	0.4886	0.4886	0.4886	0.5656	0.5656
5	10	4.824	0.6990	1.0000	0.6834	0.4886	1.0000	0.6990	0.4777	0.6834
5	15	3.931	0.6990	1.1761	0.5946	0.4886	1.3832	0.8221	0.4156	0.6992
5	20	3.364	0.6990	1.3010	0.5268	0.4886	1.6927	0.9094	0.3682	0.6854
5	30	2.668	0.6990	1.4771	0.4262	0.4886	2.1819	1.0325	0.2979	0.6296
5	60	1.752	0.6990	1.7782	0.2435	0.4886	3.1618	1.2429	0.1702	0.4329
10	5	10.983	1.0000	0.6990	1.0407	1.0000	0.4886	0.6990	1.0407	0.7274
10	10	8.220	1.0000	1.0000	0.9149	1.0000	1.0000	1.0000	0.9149	0.9149
10	20	5.732	1.0000	1.3010	0.7583	1.0000	1.6927	1.3010	0.7583	0.9866
10	30	4.547	1.0000	1.4771	0.6577	1.0000	2.1819	1.4771	0.6577	0.9715
10	60	2.985	1.0000	1.7782	0.4750	1.0000	3.1618	1.7782	0.4750	0.8445
25	5	20.381	1.3979	0.6990	1.3092	1.9542	0.4886	0.9771	1.8302	0.9151
25	10	15.254	1.3979	1.0000	1.1834	1.9542	1.0000	1.3979	1.6543	1.1834
25	15	12.433	1.3979	1.1761	1.0946	1.9542	1.3832	1.6441	1.5301	1.2873
25	20	10.638	1.3979	1.3010	1.0268	1.9542	1.6927	1.8188	1.4355	1.3360
25	30	8.438	1.3979	1.4771	0.9262	1.9542	2.1819	2.0649	1.2948	1.3681
25	60	5.540	1.3979	1.7782	0.7435	1.9542	3.1618	2.4857	1.0393	1.3220
50	5	31.121	1.6990	0.6990	1.4930	2.8865	0.4886	1.1875	2.5366	1.0436
50	10	23.292	1.6990	1.0000	1.3672	2.8865	1.0000	1.6990	2.3228	1.3672
50	15	18.984	1.6990	1.1761	1.2784	2.8865	1.3832	1.9981	2.1719	1.5035
50	20	16.243	1.6990	1.3010	1.2107	2.8865	1.6927	2.2104	2.0569	1.5751
50	30	12.884	1.6990	1.4771	1.1100	2.8865	2.1819	2.5096	1.8859	1.6397
50	60	8.459	1.6990	1.7782	0.9273	2.8865	3.1618	3.0210	1.5755	1.6489
100	5	46.232	2.0000	0.6990	1.6649	4.0000	0.4886	1.3979	3.3299	1.1637
100	10	34.602	2.0000	1.0000	1.5391	4.0000	1.0000	2.0000	3.0782	1.5391
100	15	28.202	2.0000	1.1761	1.4503	4.0000	1.3832	2.3522	2.9006	1.7057
100	20	24.130	2.0000	1.3010	1.3826	4.0000	1.6927	2.6021	2.7651	1.7988
100	30	19.140	2.0000	1.4771	1.2819	4.0000	2.1819	2.9542	2.5639	1.8936
100	60	12.566	2.0000	1.7782	1.0992	4.0000	3.1618	3.5563	2.1984	1.9545
200	5	67.149	2.3010	0.6990	1.8270	5.2947	0.4886	1.6084	4.2041	1.2770
200	15	40.962	2.3010	1.1761	1.6124	5.2947	1.3832	2.7062	3.7101	1.8963
200	20	35.048	2.3010	1.3010	1.5447	5.2947	1.6927	2.9937	3.5543	2.0096
200	30	27.799	2.3010	1.4771	1.4440	5.2947	2.1819	3.3989	3.3228	2.1330
200	60	18.251	2.3010	1.7782	1.2613	5.2947	3.1618	4.0916	2.9023	2.2428
500	5	106.884	2.6990	0.6990	2.0289	7.2844	0.4886	1.8865	5.4760	1.4182
500	10	79.996	2.6990	1.0000	1.9031	7.2844	1.0000	2.6990	5.1363	1.9031
500	15	65.201	2.6990	1.1761	1.8143	7.2844	1.3832	3.1742	4.8966	2.1337
500	20	55.787	2.6990	1.3010	1.7465	7.2844	1.6927	3.5114	4.7138	2.2723
500	30	44.249	2.6990	1.4771	1.6459	7.2844	2.1819	3.9867	4.4423	2.4312
500	60	29.051	2.6990	1.7782	1.4632	7.2844	3.1618	4.7992	3.9490	2.6017
		Σ =	70.78	52.02	50.04	137.45	69.36	87.66	95.39	59.36
			X1	X2	Y	X²1	X²2	X1*X2	X1*Y	X2*Y

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior obtenemos los valores de las sumatorias

$\Sigma X_1 = 70.78$	$\Sigma X_1^2 = 137.45$	$\Sigma X_1 * Y = 95.36$	$\Sigma X_1 * X_2 = 87.66$
$\Sigma X_2 = 52.02$	$\Sigma X_2^2 = 69.36$	$\Sigma X_2 * Y = 59.38$	$\Sigma Y = 50.04$

Con los datos obtenidos de las sumatorias del cuadro procedemos a calcular los coeficientes de las ecuaciones mediante el sistema de ecuaciones siguiente.

$$\begin{Bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i}x_{2i} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{1i}x_{2i} & \sum x_{2i}^2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i}y_i \\ \sum x_{2i}y_i \end{Bmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 42 & 70.78 & 52.02 \\ 70.78 & 137.45 & 87.66 \\ 52.02 & 87.66 & 69.36 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 50.04 \\ 95.36 \\ 59.38 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.821 \\ 0.607 \\ -0.527 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} K \\ a \\ b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 6.619 \\ 0.607 \\ 0.527 \end{vmatrix}$$

Reemplazamos los valores en la ecuación inicial

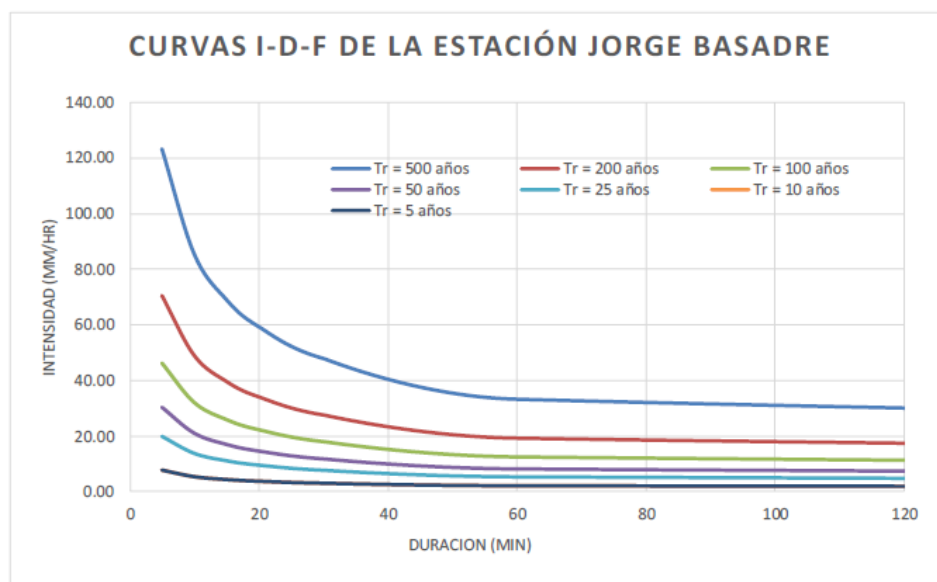
$$I = \frac{6.619 T^{0.607}}{D^{0.527}}$$

Obtenemos las intensidades para distintos tiempos de retorno y duración de las precipitaciones

Tabla 21*Intensidad de Precipitaciones para diferentes Tr*

Núm.	PERIODO DE RETORNO (T)	DURACIONES (min)						
		5	10	15	20	30	60	651
Orden	(T)							
1	500	123.36	85.62	69.15	59.43	48.00	33.31	9.49
2	200	70.72	49.09	39.65	34.07	27.52	19.10	5.44
3	100	46.43	32.23	26.03	22.37	18.07	12.54	3.57
4	50	30.48	21.16	17.09	14.68	11.86	8.23	2.34
5	25	20.01	13.89	11.22	9.64	7.79	5.40	1.54
6	10	11.47	7.96	6.43	5.53	4.46	3.10	0.88
7	5	7.53	5.23	4.22	3.63	2.93	2.03	0.58

Fuente: Elaboración propia

Figura 26*Curva IDF de la Estación Jorge Basadre*

Fuente: Elaboración propia

4.5 GENERACIÓN DE HIETOGRAMAS EN LAS SUBCUENCAS

Con estos datos se llevó a cabo el análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas de 24 horas, para cada una de las cuencas en estudio. En este análisis se aplicó los ajustes a distribuciones Log-Pearson Tipo III para la estación.

Los tiempos de retorno utilizados en el proyecto, se encuentran entre 50 a 500 años, para el cual el modelo probabilístico de Log-Pearson Tipo III cumplió satisfactoriamente, donde el delta teórico resultó ser menor que el delta tabular y por lo tanto se afirma que se ajusta a esta distribución, considerando el nivel de significación de 5%.

A continuación, presentamos en el siguiente cuadro el resumen de las precipitaciones máximas estimadas, cuyos resultados fueron obtenidos de los cálculos realizados para diferentes períodos de retorno T_r (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500)

Figura 27

Precipitación máxima para $T_r=2$ años

Caudal de diseño:	
Caudal (Q):	2.68 m ³ /s
Período de retorno (T):	2 años
Probabilidad (P):	%
<input checked="" type="checkbox"/> Q=f(T)	<input type="checkbox"/> T=f(Q) <input type="checkbox"/> P(Q<q) <input type="checkbox"/> P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 28

Precipitación máxima para $T_r=5$ años

Caudal de diseño:	
Caudal (Q):	5.46 m ³ /s
Período de retorno (T):	5 años
Probabilidad (P):	%
<input checked="" type="checkbox"/> Q=f(T)	<input type="checkbox"/> T=f(Q) <input type="checkbox"/> P(Q<q) <input type="checkbox"/> P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29

Precipitación máxima para $T_r=10$ años

Caudal de diseño:	
Caudal (Q):	8.39 m ³ /s
Período de retorno (T):	10 años
Probabilidad (P):	%
<input checked="" type="checkbox"/> Q=f(T)	<input type="checkbox"/> T=f(Q) <input type="checkbox"/> P(Q<q) <input type="checkbox"/> P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 30

Precipitación máxima para $T_r=20$ años

Caudal de diseño:

Caudal (Q): m³/s

Período de retorno (T): años

Probabilidad (P): %

Q=f(T)
 T=f(Q)
 P(Q<q)
 P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 31

Precipitación máxima para $T_r=50$ años

Caudal de diseño:

Caudal (Q): m³/s

Período de retorno (T): años

Probabilidad (P): %

Q=f(T)
 T=f(Q)
 P(Q<q)
 P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 32

Precipitación máxima para $T_r=100$ años

Caudal de diseño:

Caudal (Q): m³/s

Período de retorno (T): años

Probabilidad (P): %

Q=f(T)
 T=f(Q)
 P(Q<q)
 P(Q>q)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 33

Precipitación máxima para $T_r=200$ años

Caudal de diseño:

Caudal (Q): m³/s

Período de retorno (T): años

Probabilidad (P): %

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34

Precipitación máxima para $T_r=500$ años

Caudal de diseño:

Caudal (Q): m³/s

Período de retorno (T): años

Probabilidad (P): %

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22

Resumen de Distribución Log Pearson Tipo III

TR (años)	P	W	Z	Log Pp	Pp (mm)
2	0.5000	1.17741	0.000	0.47112581	2.96
5	0.2000	1.79412	0.841	0.75664982	5.71
10	0.1000	2.14597	1.282	0.90604339	8.05
20	0.0500	2.44775	1.645	1.02938071	10.70
25	0.0400	2.53727	1.751	1.06530297	11.62
50	0.0200	2.79715	2.054	1.16815527	14.73
100	0.0100	3.03485	2.327	1.26065308	18.22
200	0.0050	3.25525	2.576	1.34529697	22.15
500	0.0020	3.52551	2.879	1.44786355	28.05

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23

Resumen de precipitaciones

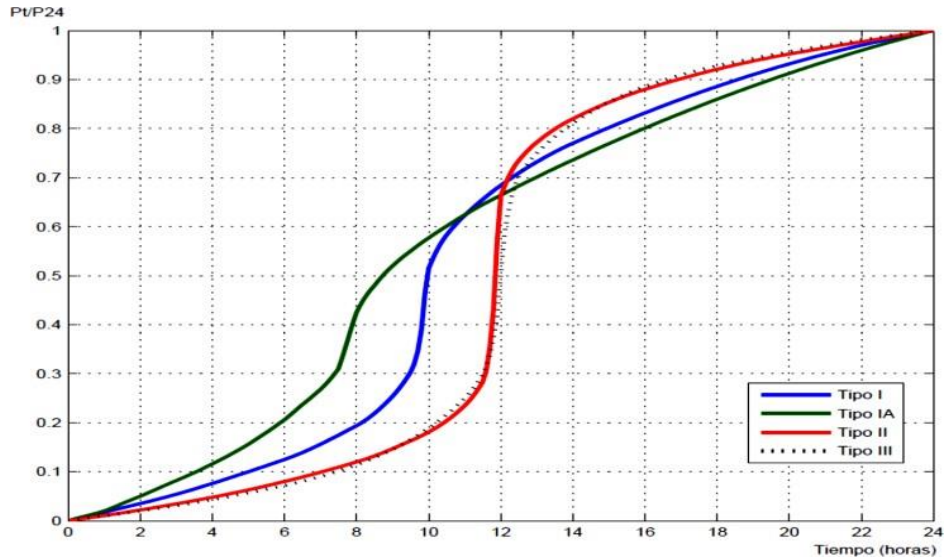
DESCRIPCIÓN	
ESTACION:	MAP-Jorge Basadre
ALTITUD	560 m.s.n.m
LATITUD	18°01'36 "S
LONGITUD	70°15'2.4 "W"

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener las respectivas tormentas de diseño, se utilizó el Hietograma Tipo II, indicado por la SCS del Departamento de Agricultura de los US. Fuente Hidrología Aplicada, Ven Te Chow. Obtenemos los Hietograma con la Distribución Tipo II

Figura 35

Hietograma con la distribución Tipo II

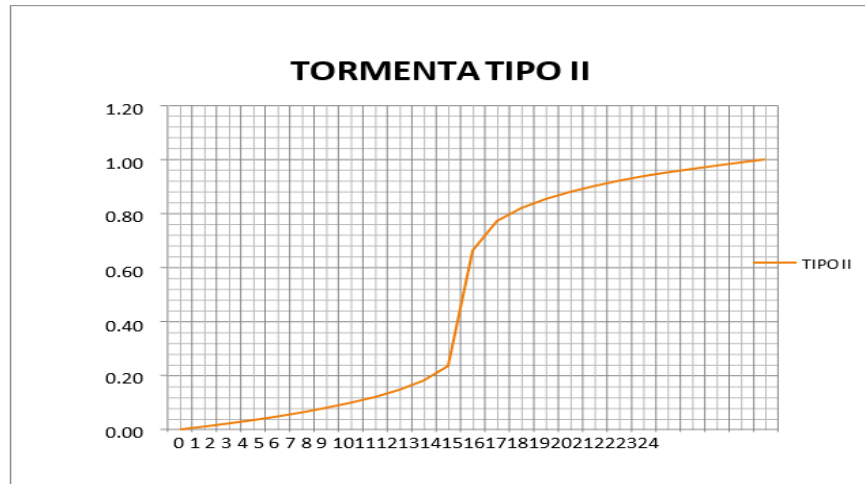


Fuente: Ven Te Chow

A continuación, se presenta los Hietogramas de diseño para la cuenca

Figura 36

Tormenta Tipo II



Fuente: Elaboración Propia

HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR=10 AÑOS P24=8.39

Tabla 24

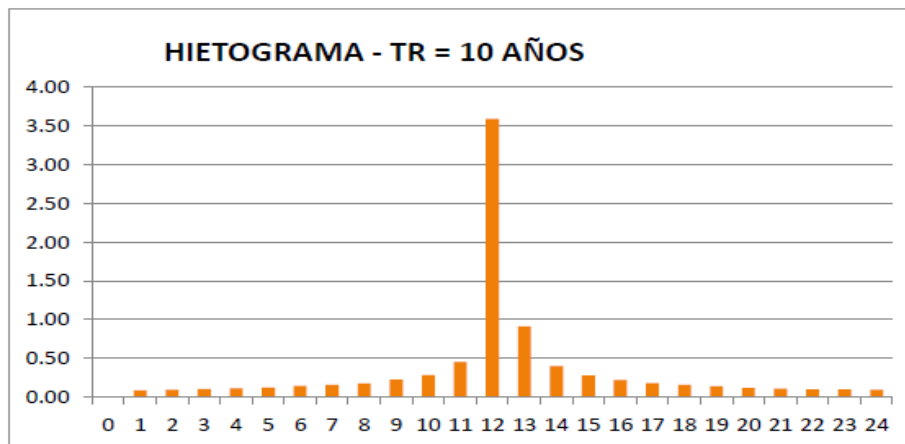
Hietograma de Precipitación Total Tr=10 años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.08810	0.08810
2	0.02200	0.18458	0.09649
3	0.03450	0.28946	0.10488
4	0.04800	0.40272	0.11327
5	0.06300	0.52857	0.12585
6	0.08000	0.67120	0.14263
7	0.09900	0.83061	0.15941
8	0.12000	1.00680	0.17619
9	0.14700	1.23333	0.22653
10	0.18100	1.51859	0.28526
11	0.23500	1.97165	0.45306
12	0.66300	5.56257	3.59092
13	0.77200	6.47708	0.91451
14	0.82000	6.87980	0.40272
15	0.85350	7.16087	0.28107
16	0.88000	7.38320	0.22233
17	0.90175	7.56568	0.18248
18	0.92100	7.72719	0.16151
19	0.93775	7.86772	0.14053
20	0.95200	7.98728	0.11956
21	0.96475	8.09425	0.10697
22	0.97700	8.19703	0.10278
23	0.98875	8.29561	0.09858
24	1.00000	8.39000	0.09439

Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Hietograma Tr= 10 años



Fuente: Elaboración propia

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR = 25 AÑOS P24horas=13.91

Tabla 25

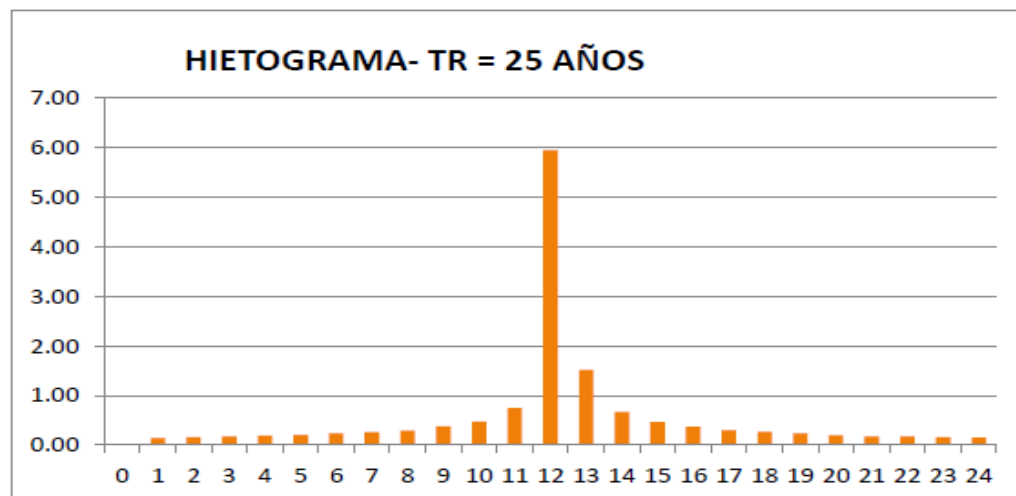
Hietograma de precipitación total Tr=25 años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.14606	0.14606
2	0.02200	0.30602	0.15997
3	0.03450	0.47990	0.17388
4	0.04800	0.66768	0.18779
5	0.06300	0.87633	0.20865
6	0.08000	1.11280	0.23647
7	0.09900	1.37709	0.26429
8	0.12000	1.66920	0.29211
9	0.14700	2.04477	0.37557
10	0.18100	2.51771	0.47294
11	0.23500	3.26885	0.75114
12	0.66300	9.22233	5.95348
13	0.77200	10.73852	1.51619
14	0.82000	11.40620	0.66768
15	0.85350	11.87219	0.46599
16	0.88000	12.24080	0.36862
17	0.90175	12.54334	0.30254
18	0.92100	12.81111	0.26777
19	0.93775	13.04410	0.23299
20	0.95200	13.24232	0.19822
21	0.96475	13.41967	0.17735
22	0.97700	13.59007	0.17040
23	0.98875	13.75351	0.16344
24	1.00000	13.91000	0.15649

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Hietograma Tr=25 años



Fuente: Elaboración propia

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR = 50 AÑOS P24 Horas=19.78

Tabla 26

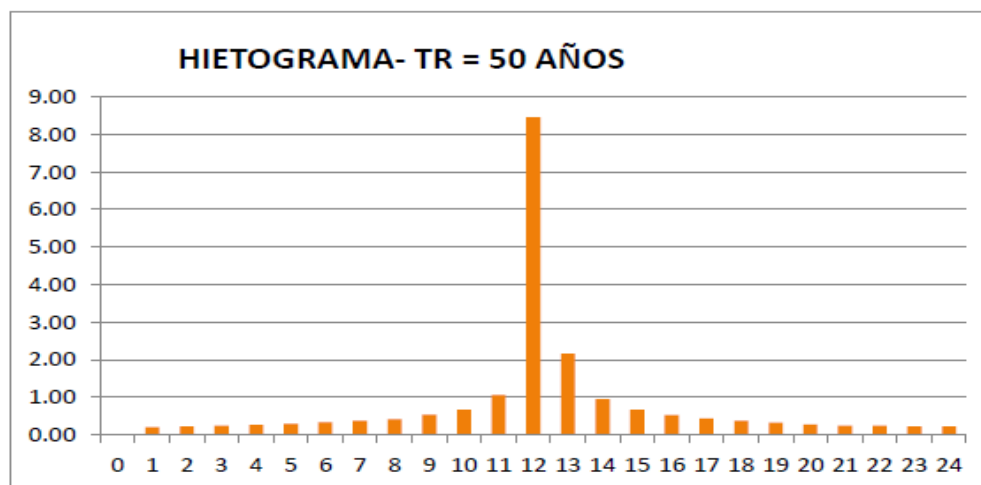
Hietograma de precipitación total Tr=50 años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.20769	0.20769
2	0.02200	0.43516	0.22747
3	0.03450	0.68241	0.24725
4	0.04800	0.94944	0.26703
5	0.06300	1.24614	0.29670
6	0.08000	1.58240	0.33626
7	0.09900	1.95822	0.37582
8	0.12000	2.37360	0.41538
9	0.14700	2.90766	0.53406
10	0.18100	3.58018	0.67252
11	0.23500	4.64830	1.06812
12	0.66300	13.11414	8.46584
13	0.77200	15.27016	2.15602
14	0.82000	16.21960	0.94944
15	0.85350	16.88223	0.66263
16	0.88000	17.40640	0.52417
17	0.90175	17.83662	0.43022
18	0.92100	18.21738	0.38077
19	0.93775	18.54870	0.33132
20	0.95200	18.83056	0.28187
21	0.96475	19.08276	0.25220
22	0.97700	19.32506	0.24230
23	0.98875	19.55748	0.23242
24	1.00000	19.78000	0.22253

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Hietograma Tr=50 años



Fuente: Elaboración propia

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR = 100 AÑOS P24=27.63

Tabla 27

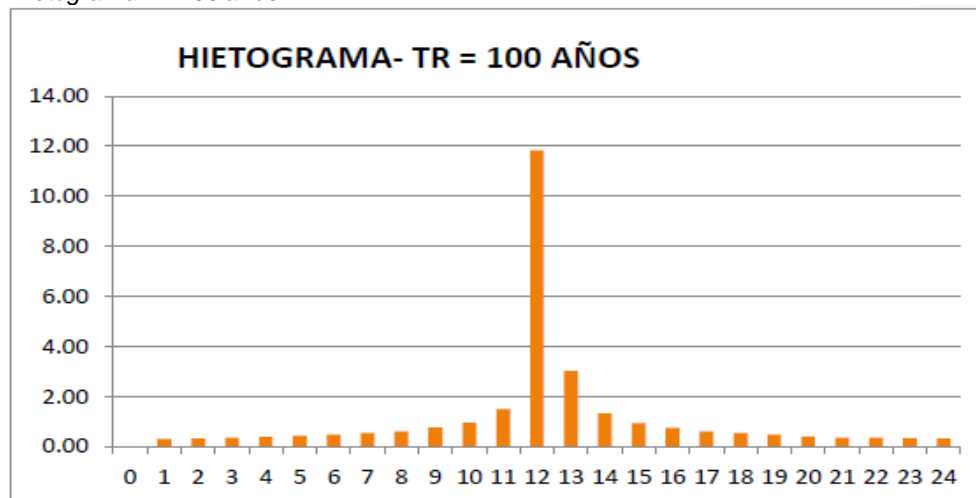
Hietograma de Precipitación total Tr=100 años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.29012	0.29012
2	0.02200	0.60786	0.31775
3	0.03450	0.95324	0.34538
4	0.04800	1.32624	0.37301
5	0.06300	1.74069	0.41445
6	0.08000	2.21040	0.46971
7	0.09900	2.73537	0.52497
8	0.12000	3.31560	0.58023
9	0.14700	4.06161	0.74601
10	0.18100	5.00103	0.93942
11	0.23500	6.49305	1.49202
12	0.66300	18.31869	11.82564
13	0.77200	21.33036	3.01167
14	0.82000	22.65660	1.32624
15	0.85350	23.58221	0.92561
16	0.88000	24.31440	0.73219
17	0.90175	24.91535	0.60095
18	0.92100	25.44723	0.53188
19	0.93775	25.91003	0.46280
20	0.95200	26.30376	0.39373
21	0.96475	26.65604	0.35228
22	0.97700	26.99451	0.33847
23	0.98875	27.31916	0.32465
24	1.00000	27.63000	0.31084

Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Hietograma Tr=100 años



Fuente: Elaboración propia

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR = 200 AÑOS P24=38.03

Tabla 28

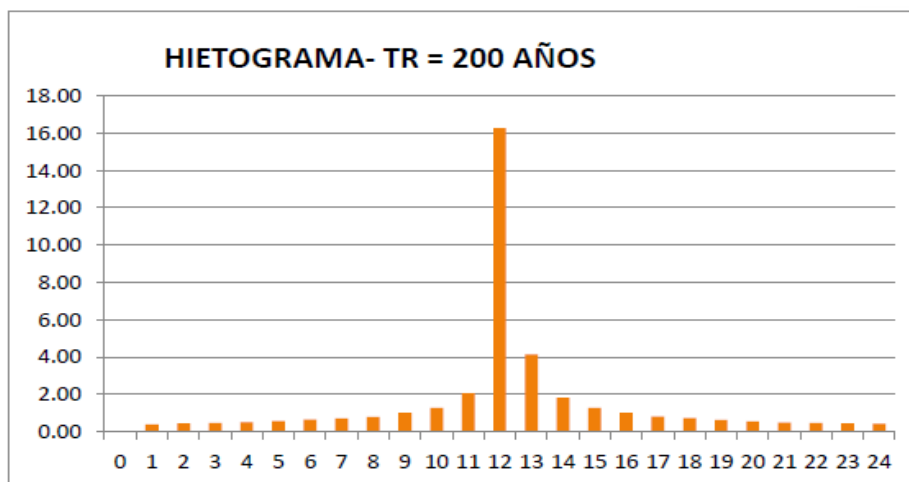
Hietograma de precipitación total Tr=200años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.39932	0.39932
2	0.02200	0.83666	0.43735
3	0.03450	1.31204	0.47538
4	0.04800	1.82544	0.51341
5	0.06300	2.39589	0.57045
6	0.08000	3.04240	0.64651
7	0.09900	3.76497	0.72257
8	0.12000	4.56360	0.79863
9	0.14700	5.59041	1.02681
10	0.18100	6.88343	1.29302
11	0.23500	8.93705	2.05362
12	0.66300	25.21389	16.27684
13	0.77200	29.35916	4.14527
14	0.82000	31.18460	1.82544
15	0.85350	32.45861	1.27401
16	0.88000	33.46640	1.00779
17	0.90175	34.29355	0.82715
18	0.92100	35.02563	0.73208
19	0.93775	35.66263	0.63700
20	0.95200	36.20456	0.54193
21	0.96475	36.68944	0.48488
22	0.97700	37.15531	0.46587
23	0.98875	37.60216	0.44685
24	1.00000	38.03000	0.42784

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Hietograma Tr=200 años



Fuente: Elaboración propia

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL TR = 500 AÑOS P24=56.93

Tabla 29

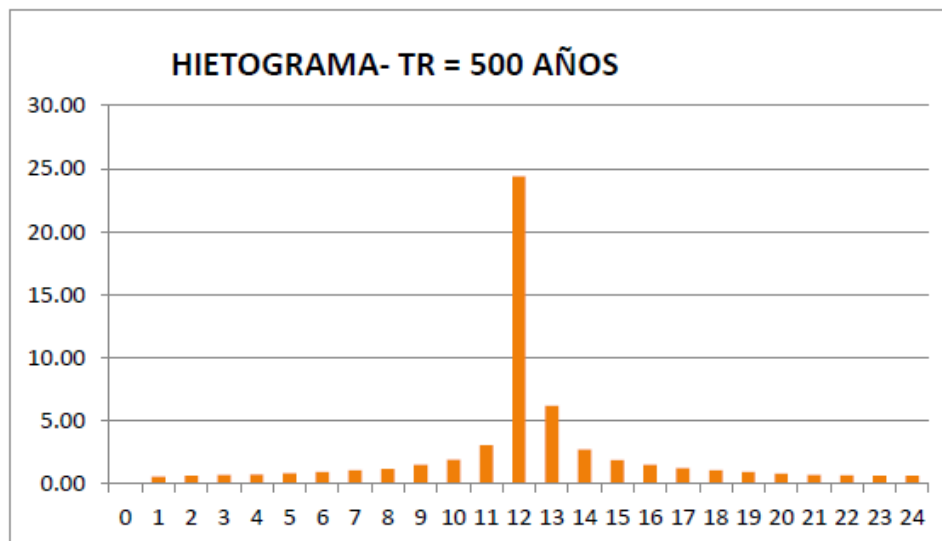
Hietograma de Precipitación total Tr=500 años

Duración (Horas)	Distribución TIPO II	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)
0	0.00000	0.00000	0.00000
1	0.01050	0.59777	0.59777
2	0.02200	1.25246	0.65470
3	0.03450	1.96409	0.71163
4	0.04800	2.73264	0.76856
5	0.06300	3.58659	0.85395
6	0.08000	4.55440	0.96781
7	0.09900	5.63607	1.08167
8	0.12000	6.83160	1.19553
9	0.14700	8.36871	1.53711
10	0.18100	10.30433	1.93562
11	0.23500	13.37855	3.07422
12	0.66300	37.74459	24.36604
13	0.77200	43.94996	6.20537
14	0.82000	46.68260	2.73264
15	0.85350	48.58976	1.90716
16	0.88000	50.09840	1.50864
17	0.90175	51.33663	1.23823
18	0.92100	52.43253	1.09590
19	0.93775	53.38611	0.95358
20	0.95200	54.19736	0.81125
21	0.96475	54.92322	0.72586
22	0.97700	55.62061	0.69739
23	0.98875	56.28954	0.66893
24	1.00000	56.93000	0.64046

Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Hietograma Tr=500años



Fuente: Elaboración propia

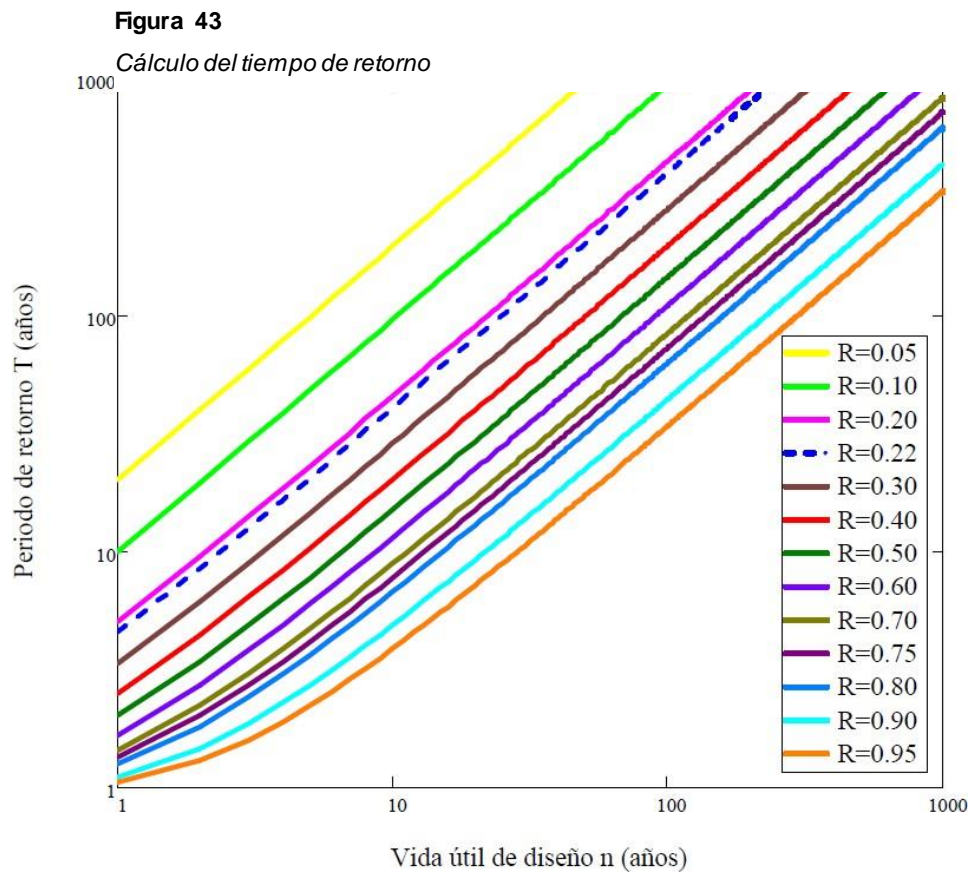
4.6 DESCARGAS DE DISEÑO

Se determinarán las descargas de diseño para la cuenca.

4.6.1 SELECCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno se ha seleccionado según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones- Perú. El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

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



En el Cuadro siguiente se presenta el valor T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra.

Tabla 30

Vida Útil de la Obra

RIESGO ADMISIBLE	Vida útil de las obras (n) años								
	R	1	10	25	50	75	100	124	150
0.05	20	195	488	975	1463	1950	2418	2925	
0.1	10	95	238	475	712	950	1177	1424	
0.2	5	45	113	225	337	449	556	673	
0.22	5	41	101	202	302	403	500	604	
0.3	3	29	71	141	211	281	348	421	
0.4	3	20	49	98	147	196	243	294	
0.5	2	15	37	73	109	145	179	217	
0.6	2	11	28	55	82	110	136	164	
0.7	1	9	21	42	63	84	103	125	
0.75	1	8	19	37	55	73	90	109	
0.8	1	7	16	32	47	63	78	94	
0.9	1	5	11	22	33	44	54	66	
0.95	1	4	9	17	26	34	42	51	

Fuente: Elaboración propia

Para puentes se recomienda como máximo, un valor de riesgo admisible de 22%, por lo tanto, para la obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias y el cálculo de socavación, de acuerdo al Cuadro anterior se recomienda un período de retorno $T=500$ años para una vida útil de la estructura de 124 años. De acuerdo al manual de hidrología procedemos a calcular el periodo de retorno para el proyecto:

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

Periodo de retorno para puentes y defensas Ribereñas

$$n = 40$$

$$T \text{ (asumido)} = 139.5 \text{ años}$$

$$R = 0.250$$

Periodo de retorno para alcantarillas importantes

$$n = 25$$

$$T \text{ (asumido)} = 70.5 \text{ años}$$

$$0.300$$

$$R =$$

Periodo de retorno para alcantarillas menores

$$n = 15$$

$$T \text{ (asumido)} = 35.3 \text{ años}$$

$$R = 0.350$$

Periodo de retorno para Drenaje de plataforma y Sub Drenes

$$n = 15$$

$$T \text{ (asumido)} = 29.9 \text{ años}$$

$$R = 0.400$$

Tabla 31

Resumen de Selección del periodo de retorno

DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE RETORNO
Puentes y defensas ribereñas	140
Alcantarillas Importantes	71
Alcantarillas Menores	36
Drenaje de Plataforma y Sub Drenes	30

Fuente: Elaboración propia

4.7 GENERACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS

4.7.1 MÉTODO HIDROLÓGICO

4.7.1.1 DATOS DEL PROYECTO

Tabla 32

Datos de la Micro cuenca

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
DE SUPERFICIE		
Área	Km ²	508.945
Perímetro	Km	151.884
Cotas		
Cota Máxima	m.s.n.m.	4300
Cota mínima	m.s.n.m.	71.66
Centroide Wgs84-UTM-18S		
X centroide	m	389044.496
Y centroide	m	7993411.171
Z centroide	m.s.n.m.	1963.000
Altitud		
Altitud media	m.s.n.m.	1963.000
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	255
Altitud de frecuencia media	m.s.n.m.	1840.550
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	16.912
DE LA RED HIDRICA		
Longitud del curso principal	Km	10.535
Orden de la red hídrica	UND	6
Longitud de la red hídrica	Km	182.280
Pendiente promedio	%	2.765
PARAMETROS GENERADOS		
Factor de forma		0.022
Densidad de drenaje	Km/km ²	0.358
Tiempo de concentración	Horas	14.69
Pendiente del cauce principal	m/km	401.361

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33*Pmax24hr para cada Tr*

T (años)	P Máx. 24h (mm)
2	2.68
5	5.46
10	8.39
20	12.36
50	19.78
100	27.63
200	38.03
500	56.93

*Fuente: Elaboración propia***SEGÚN DYCK Y PESCHKE**

$$Pd = P24 \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd=Precipitación total (mm)

D=duración en minutos

P24h=Precipitación máxima en 24 horas (mm)

**DETERMINACIÓN DE CAUDAL MÁXIMO PARA UN PERIODO DE RETORNO
T=5AÑOS****Tabla 34***Datos para cálculo de caudal máximo en un TR=5años*

Área Aportante	Longitud del Afluente(m)	Cota Max (m.s.n.m.)	Cota Min (m.s.n.m.)	Desnivel máximo(m)	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)	Área (km2)
Q s/n	80228.9	4300	71.66	4228.34	0.053	5.3	508

*Fuente: Elaboración propia***CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN**

- Fórmula de Kirpich

$$Tc = 0.06628 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

También se le conoce como la fórmula de California Highway and Public Works

- Fórmula de Temez

$$Tc = 0.3L^{0.76}S^{-0.19}$$

- Fórmula de Ven te Chow

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

- Fórmula de Hathway

$$T_c = 0.606 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

T_c=Tiempo de concentración, en horas

L=Longitud del cauce principal, en km

Tabla 35

Valor de N según tipo de superficie

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR DE N
Suelo liso impermeable	0.02
Suelo desnudo	0.10
Pastos pobres, cultivos en hilera o suelo desnudo algo rugoso	0.20
Pastizales	0.40
Bosques frondosas	0.60
Bosque de coníferas o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped	0.80

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Tabla 36

Cálculo de tiempo de concentración

FÓRMULA	TC (HR)
Kirpich	6.0229
Temez	14.6982
Ven Te Chow	11.5863
Hathway	7.3668
Promedio	14.6982

FÓRMULA	TC (HR)
California	6.0229
FAA	14.6982
SCS	11.5863

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, T_c= 14.6982 Horas o 881.89 minutos

FÓRMULARACIONAL MODIFICADA

Tabla 37

Fórmula Racional Modificada

T (años)	P Max 24h	C	I(mm/h)	A (km2)	K	Q(m3/s)
5	5.46	0.02	0.32	508	1.672738	1.494

Fuente: Elaboración propia

ENVOLVENTE DE DESCARGAS MÁXIMAS DE CREAGER

Tabla 38

Envolvente de descargas máximas de Creager

Región	5
C1	0.11
C2	0.26
m	1.24
n	0.04
A	508
A ⁿ	0.779
m*A ⁿ	0.966
A ^(m*Aⁿ)	412.220
T (AÑOS)	Q máx. (m3/s)
5	106.608

Fuente: Elaboración propia

MÉTODO DE HU TRIANGULAR

Tabla 39

Método de HU Triangular

T (AÑOS)	P máx. 24h
5	5.46

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la duración de la lluvia efectiva, considerando la cuenca como cuenca grande

$$De = 2 * \text{raíz}(Tc) = 7.668 \text{ Hrs}$$

Cálculo del tiempo para alcanzar el pico del hidrograma:

$$t_p = \frac{de}{2} + t_r$$

$$De/2 = 3.824 \text{ hr}$$

$$Tr = 0.6Tc = 8.819 \text{ hr}$$

$$Tp = 12.653 \text{ hr}$$

$$Tp = 759.163 \text{ min}$$

Cálculo de la lámina de lluvia neta y de la intensidad de lluvia

Se hace uso de la fórmula de Dyck y Pesche (1978)

$D = d_e = 7.668$ hrs

$D = 460.06$ min

Tabla 40

Cálculo de lámina de lluvia neta y de intensidad de lluvia

T (AÑOS)	P máx. 24h	P (Duración)	I (mm/h)
5	5.46	4.10	0.54

Fuente: Elaboración Propia

$$P = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25}$$

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P + 0.80 S} = \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S}$$

$$Q_{max} = 0.208 \frac{A \cdot Pe}{Tp}$$

Cálculo del caudal pico:

$A = 508$ Km²

PE: según SCS

CN=95

$S = 0.526$

Tabla 41

Cálculo de caudal Pico

T (AÑOS)	P máx. 24h	P (Duración)	P (Pulg)	PE (Pulg)	PE (mm)	Q Max (m ³ /s)
5	5.46	4.10	0.162	0.005	0.138	1.156

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de Q Max Según el método del sistema de DIPEO

El método al que se hace referencia es el desarrollado por el Instituto Orstom (Francia), el cual es recogido y propuesto por el convenio GTZ-Electro Peru, en el sistema DIPEO para la electrificación Rural del Peru (1990)

De acuerdo con este método, el caudal de avenidas extraordinarias en cuencas hidrográficas de 1 km² a 200 km² puede determinarse mediante la siguiente ecuación.

$$Q = P_{max}(24hr) * A * CR * \frac{CP}{R} * \frac{CF}{TC}$$

P máx. (24hr): precipitación máxima diaria (mm) correspondiente a un periodo de retorno seleccionado:

A: Área de la cuenca, que en este caso viene a ser 508 km²

CR: Coeficiente de reducción según el área de la cuenca

Tabla 42

Coeficiente de reducción de la cuenca

ÁREA DE LA CUENCA (KM2)	COEFICIENTE CR
0 < A ≤ 25	1.0
0 < A ≤ 25	0.95
0 < A ≤ 25	0.90
0 < A ≤ 25	0.85
0 < A ≤ 25	0.80

Fuente: Elaboración propia

Para áreas entre 25 y 50 km², CR=1.00

CP/R: Coeficiente de reducción según la permeabilidad, pendientes longitudinales y transversales de la cuenca.

- **Condiciones climatológicas:**
 - Tropicales y tropicales de transición ó
 - Mediodesiertos y Sahara
- **Permeabilidad de la cuenca:**
 - P1: terreno totalmente impermeable, rocoso y/o arcilloso
 - P2: terreno casi impermeable, con muy reducidas zonas de permeabilidad
 - P3: terreno todavía impermeable, con pequeñas zonas de permeabilidad
 - P4: terreno bastante permeable; por ejemplo, zonas con granito y arena
 - P5: zonas totalmente permeables, con arena, rocas y profundas grietas.
- **Pendiente de la cuenca:**
 - R2: pendiente menor o igual a 0.5%
 - R3: pendiente entre 0.5% y 1.0%
 - R4: pendiente entre 1.0% y 2.0%
 - R5: pendiente mayor a 2%

Considerando; terreno bastante permeable, permeabilidad P4

Tomando en cuenta que la pendiente promedio de la cuenca es elevada, pendiente R5, del gráfico para regímenes tropicales y tropicales en transición:

CP/R=0.6 o 60%

CF: Coeficiente que considera la forma de la curva del caudal

Tabla 43

Coeficiente que considera la forma de la curva de caudal

PARA REGIONES CON ISOYETAS DE 150MM A 800MM	
Área de cuenca (km ²)	Coeficiente CR
De 1 a 25	2.60
De 25 a 50	De 2.60 a 2.50
De 50 a 100	De 2.50 a 3.00
De 100 a 200	3.10
Para regiones de isoyetas anuales mayores a 800mm	
De 1 a 25	3.00
De 25 a 50	De 3.00 a 4.50
De 50 a 100	De 4.50 a 4.00
De 100 a 200	4.00

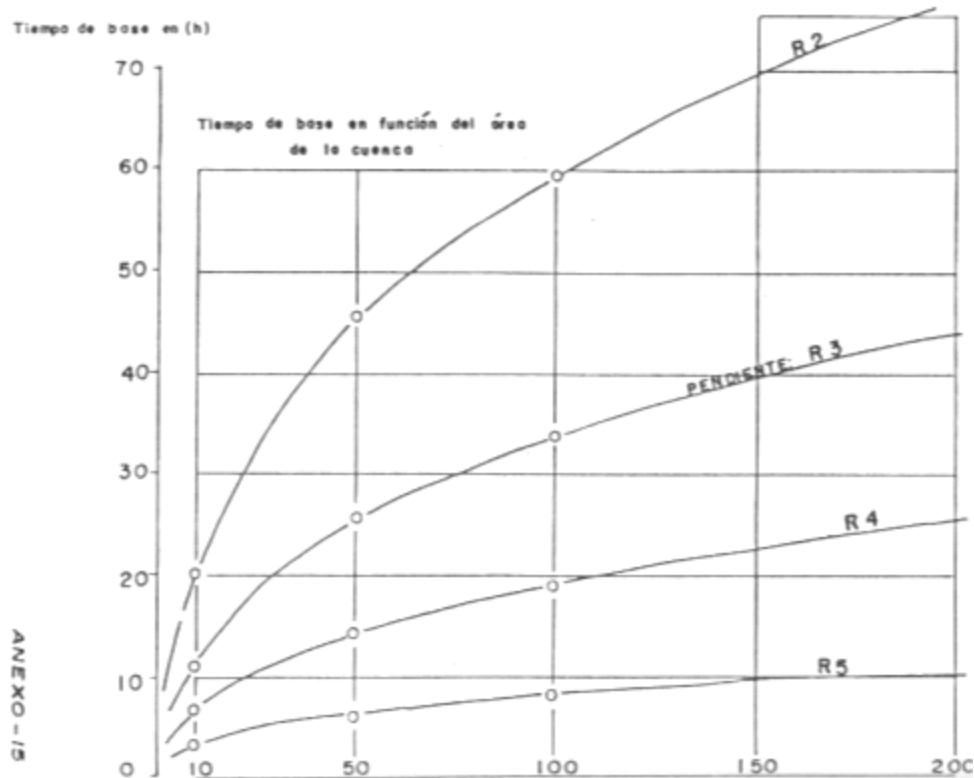
Fuente Elaboración propia

Para regiones con isoyetas anuales mayores a 800mm y áreas de la cuenca de 25 a 50 km² se tiene: CF=2.60

Tc: Tiempo de concentración (tiempo de base)

Figura 44

Regímenes Tropicales y Tropicales de transición



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico para regiones tropicales en transición, considerando un área de cuenca y una pendiente R5, se obtiene: TC=6.00 Horas

Considerando el Tc calculado: TC 14.70 Horas

Se adopta el menor de ellos: TC=6.00 Horas

T (AÑOS)	P máx. 24h	Q máx. (m ³ /s)
5	5.46	20.032

Resumen de resultados para diferentes valores de T (Q Máx., en m³/s)

Tabla 44

Resumen de Caudales Máximos Para TR=5años

MÉTODO	T=5 AÑOS
Racional	1.494
Creager	106.608
H. Triangular	1.156
EHP	N.A.
Sist.Dipeo	20.032
Promedio 3	7.561 m ³ /s
Q máx. diseño:	7.561 m³/s

Fuente: Elaboración propia

Cuadro resumen de cálculo de Caudales de diseño para diferentes tiempos de Retorno.

Tabla 45

Caudal de diseño

Descripción	Micro cuenca 01
Q Máx. diseño T = 500	237.775
Q Máx. diseño T = 200	128.628
Q Máx. diseño T = 100	77.154
Q Máx. diseño T = 50	44.072
Q Máx. diseño T = 25	26.254
Q Máx. diseño T = 10	13.188
Q Máx. diseño T = 5	7.561

Elaboración: Fuente propia

Del análisis de datos que se tuvo en este estudio hidrológico podemos ver que para el caso del método de análisis que se realizó, se calculó un caudal de diseño para las calles que influyen en el proyecto para diferentes periodos de retorno. A partir de estos datos de caudal se procederá con el análisis hidráulico.

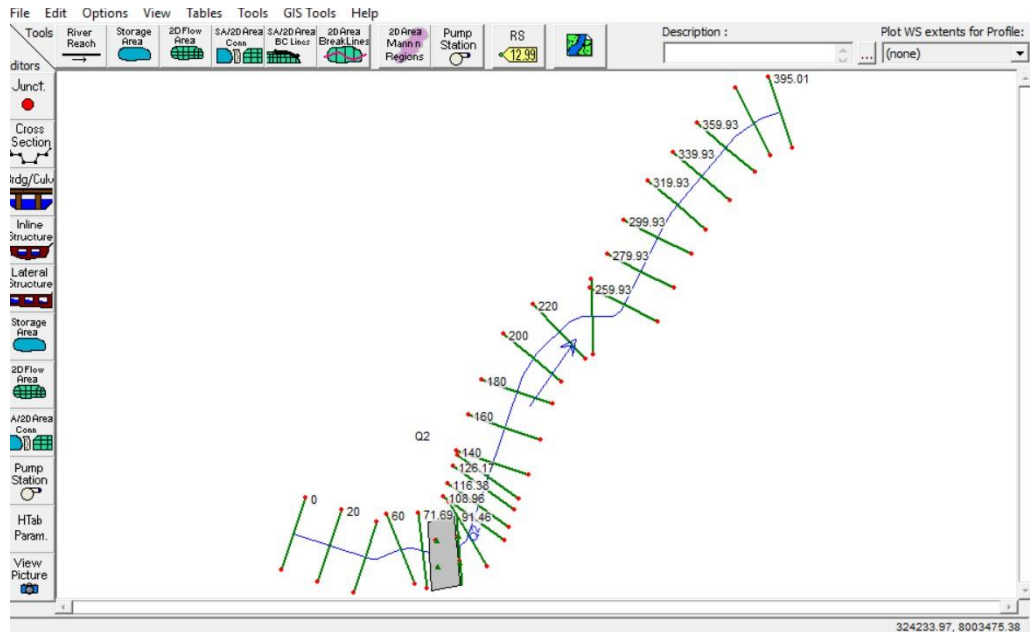
4.8 MODELO NUMÉRICO EN HEC-RAS

4.8.1 Metodología

La topografía proporcionada por la Entidad fue acondicionada y mejorada la superficie TIN para la exportación de las secciones transversales del software AutoCAD Civil 3D al HEC-RAS.

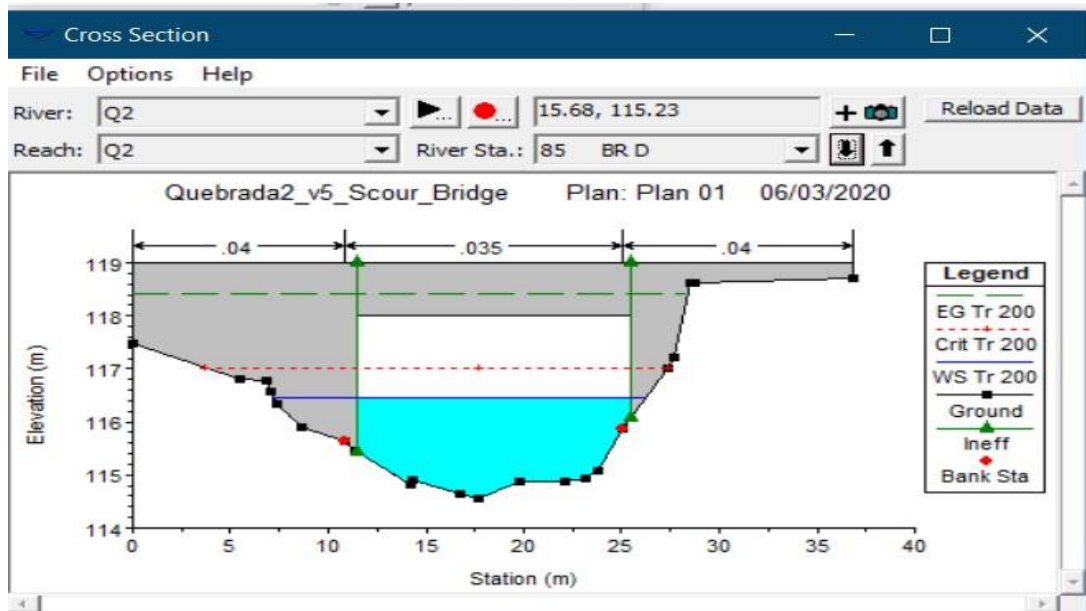
Se trazó un eje en cada quebrada siguiendo los puntos más bajos por donde fluye el agua, esto para generar el perfil longitudinal de cada quebrada y así poder la pendiente promedio del lecho del río.

Figura 45
Quebrada 2-Tr200años Sección Longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Figura 46
Quebrada 2 Tr 200años Sección Transversal 0+85



Fuente: Elaboración propia

4.9 DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN

El proceso de erosión de la corriente de agua en los ríos, provoca la socavación del lecho móvil de los mismos en función básicamente a las características hidráulicas del río y las características granulométricas del material que conforma el cauce. La socavación resulta más intensa a medida que se incrementa el caudal y las velocidades del flujo del agua superan la velocidad crítica de erosión del material del lecho del río. Siendo de interés la granulometría del cauce del río es que durante los trabajos de campo del estudio se ha efectuado toma de muestras representativas del lecho de los ríos

Con los resultados de la granulometría del lecho de los ríos se ha calculado el diámetro medio de las partículas tratándose de un material de estructura fluvio aluvional conformado la terraza

Para los efectos del cálculo de socavación sea general y local se ha utilizado varios métodos comúnmente usados en el dimensionamiento de puentes, asumiendo las características hidráulicas en función de las curvas de calibración de los ríos y las características granulométricas del material que la conforma.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

- En primera instancia para delimitar la cuenca se ha utilizado la cartografía base publicada en la Web del Ministerio de Educación, que consta de la información espacial o topográfica de todo el Perú, Según formato de la carta nacional en escala 1:100000. La información por cada hoja consta de las siguientes coberturas: Hidrografía, Hipsografía. Estas hojas pueden descargarse por N° de Hoja según formato de la carta nacional, o agrupadas por departamento, provincia o distrito para facilitar un grupo de descargas y están en Formato: Shape (*.shp), Sistema de coordenadas geográficas: GCS_WGS_1984.
- Luego utilizando el Software ArcGIS se procesaron varios conjuntos de datos que describen colectivamente los patrones de drenaje de una cuenca. Generación del TIN y Raster de la cuenca, sobre la cual se analizaron y calcularon la dirección de flujo, acumulación de flujo, definición de los cauces, segmentación de los cauces, cuencas de captación, cauces de drenaje, puntos de drenaje, delimitación global de cuencas hidrográficas y todos los parámetros de las cuencas.
- En la Tesis de Santos y Coaquira (2020) se delimito la cuenca Caplina trabajando con el modelo de elevación digital (MED), siendo mis resultados más precisos en cuanto a pendientes, áreas, y parámetros de la cuenca.
- El modelamiento hidráulico nos permite prevenir inundaciones e identificar las áreas vulnerables por Inundacion o desborde en el paso de avenidas extraordinarias para periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, y 500 años en zonas aledañas al cauce del rio Caplina en el distrito La Yarada Los Palos, lo que accederá determinar la magnitud de las avenidas y tiempos de retorno que provoquen desbordes o Inundacion.

- A partir del modelo hidrológico obtenemos el caudal de diseño 77.154 m³/s con periodo de retorno TR= 100 años de acuerdo al trabajo que se realizó en campo .Los resultados que obtuvieron los tesisistas anteriores como es el caso de Choque y Mamani (2020) obtuvieron un caudal máximo instantáneo de 47.01m³/s y Tisnado (2013) se obtuvo un caudal con periodo de retorno TR=100 años Q Máx. = 42.10 m³/s. a diferencia de mi caso se debe a que hubo mayor precipitación en los últimos años.

CONCLUSIONES

- Se diseñó una modelación hidráulica, siendo analizados según el modelo Log-Pearson Tipo III, porque es el modelo que mejor se ajusta a los datos en consecuencia las precipitaciones serán de 2.68mm, 5.46mm, 8.39mm, 12.36mm, 19.78mm, 27.63mm, 38.03mm, 56.93mm para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, y 500 años respectivamente.
- De acuerdo a los registros históricos de precipitaciones máximas 24 horas entre 1998-2020 por el SENAMHI, se pudo pronosticar las precipitaciones máximas 2.68mm para un periodo de retorno de TR=2años, 5.46mm para un periodo de retorno de TR=5 años, 8.39mm para un periodo de retorno de TR=10 años, 12.36mm para un periodo de retorno de TR=25 años, 19.78mm para un periodo de retorno de TR=50 años, 27.63mm para un periodo de retorno de TR=100 años, 38.03mm para un periodo de retorno de TR=200 años, y 56.93mm para un periodo de retorno de TR=500años.
- Se ha realizado un modelamiento hidrológico para el río Caplina a partir de los datos del registro histórico de precipitaciones obtenidos de la estación Jorge Basadre, registrado por el SENAMHI. Por lo tanto los caudales máximos estimados para el modelamiento hidráulico son 237.775 m³/s, 128.628 m³/s, 77.154 m³/s, 44.072m³/s, 26.254 m³/s, 13.188 m³/s, 7.561 m³/s, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, y 500 años respectivamente; usando métodos fórmula racional, método de la envolvente de descargas máximas de Creager, método de hidrogramas unitario triangular, método del sistema DIPEO con fines de prevención.
- Se determinó a través del modelamiento hidráulico la delimitación de la cuenca, mediante el Software ArcGis, obteniendo datos resaltantes de la cuenca Caplina con un área de 26.124m², pendiente promedio de la red hídrica 1.280%, longitud de la red hídrica 73.947km y tiempo de concentración 1.47 horas.
- Se ha calculado de altura de socavación total es de 1.9030 m en función del caudal para un periodo de retorno de 500 Años, El fondo de la cimentación deberá estar por debajo de la profundidad de socavación máxima calculada de 1.903 m para los estribos ahogados, ambas medidas serán consideradas desde el punto más bajo del lecho del río

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la Región de Tacna, cuente con mayor cantidad de estaciones de aforo para que se tenga registros de descargas máximas reales y los estudios puedan ser más exactos por zonas
- Se recomienda a la Autoridad Nacional del Agua implementar estaciones Hidrométricas en el cauce del Río Caplina, para obtener datos del registro histórico de caudales diarios, mensuales y anuales. Y también se recomienda al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología implementar estaciones pluviométricas en la cuenca Caplina, para obtener el registro histórico de precipitaciones máximas durante el año.
- Se recomienda a la Municipalidad Distrital de La Yarada Los Palos, elaborar planes de trabajo y gestione financiamiento a través del sistema nacional de Inversiones en coordinación con los gobiernos Regional de Tacna llevar a cabo actividades de mantenimiento, limpieza, encauzamiento o descolmatación
- Se recomienda realizar una delimitación de faja marginal para salvaguardar el recurso hídrico de la cuenca y su entorno porque al utilizar las áreas de una faja marginal se expone la seguridad, a su vez para salvaguardar a la población cuya finalidad busca mejorar la condición de vida de las familias vulnerables antes eventualidades de inundaciones por máximas avenidas.
- Se recomienda hacer los trabajos de encausamiento en el río , además efectuar un programa integral para la construcción de defensa ribereña en los puntos críticos con la finalidad de prevenir riesgos por inundación del río Caplina durante las épocas de máximas avenidas
- Se recomienda Implementar un sistema de Alerta Temprana centrada en la población del distrito La Yarada Los Palos, que permitan alertar a tiempo y en forma clara a la población expuesta, teniendo en cuenta las características demográficas, y el modo de vida, bajo un enfoque de gestión de riesgos, para reducir la probabilidad de pérdidas de vida y bienes ante la ocurrencia de un desastre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, (2016). *Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales*. ANA,Lima.
- Chow. (1988). *Hidráulica de los Canales Abiertos*. Mexico: Libro,Mexico .
- Santos & Coaquira. (2020). *Modelo Hidraulico para delimitacion de faja marginal Rio Caplina sector Rio Seco,distrito Gregorio Albarracin* Tesis,Tacna.
- Ministerio de transportes y Comunicaciones (2012). *Manual de diseño hidrologia, hidraulica y drenaje del MTC*. Manual,Lima.
- Frisancho. (2015). *Análisis de vulnerabilidad aplicando modelamiento hidrodinámico*. Tesis,Tacna .
- Hernández. (2012). *Modelamiento mediante HEC-RAS del funcionamiento hidráulico del sistema fluvial del estero Vuelta de Zorra (Chaihuín), caracterizado por la presencia de material leñoso*. Valdivia: Tesis,Universidad Austral de Chile.
- INDECI. (2011). *Manual básico de estimación de riesgos*. Tacna: Manual,Tacna.
- INETER/COSUDE. (2005). *Inundaciones Fluviales* . Managua: Nicaragua.
- Llueca. (2015). *Aplicación de la nueva herramienta HEC RAS V. 5.0.7 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos*. Barcelona Tesis,Barcelona.
- Llueca. (2015). *Aplicación de la nueva herramienta HEC RAS V. 5.0.7 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos*. . Barcelona: t.
- Choque & Mamani (2020). *Modelamiento Hidraulico con fines de delimitacion de fajas marginales del rio Caplina en los Distritos de Pachia-Calana* Tesis,Tacna .
- Mamani, M. &. (2015). *Modelación hidráulica de la defensa de calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante máximas avenidas*. Tesis,Tacna.
- Mamani, M. &. (2018). *Modelacion Hidraulica de la defensa de Calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante maximas avenidas*. Tesis,Tacna .
- Ministerio de Vivienda, c. y. (2009). *Reglamento Nacional de edificaciones OS.050 Redes de distribución de Agua para consumo humano*. RNE,Lima.
- Pino. (2013). *Representación de un estudio hidro geomorfológica de la cuenca Caplina*. Tesis,Tacna .
- Sotelo. (1997). *Hidráulica general volumen I*. Lima: Lima,Lima.

- Tisnado. (2013). *Modelamiento Hidrodinámico para Determinar Zonas Vulnerables en el Cauce del Río Seco Zona Urbana*. Tacna: Tesis, Tacna
- Vasquez, A. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima: Libro, 2016.
- Vilcanqui. (2016). *Modelación hidrológica con fines de gestión de riberas en la cuenca del río Caplina-Tacna*. Tesis, Tacna .
- Villon. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima: Libro, Peru.

ANEXOS

ANEXO 1.- PANEL FOTOGRÁFICO

Se requiere efectuar un programa integral para la construcción de defensa ribereña en los puntos críticos con la finalidad de prevenir riesgos por inundación del río Caplina durante las épocas de máximas avenidas

Figura 47

Fluidez del agua del Río Caplina



Fuente: Elaboración Propia

Realizar trabajos de protección de los laterales del “Río Caplina” (entrada y salida del puente), considerando que el material de la zona es arena de playa, que siendo lavada por el caudal es ensanchada su sección inicial al doble.

Figura 48

Puente Hospicio Ruta TA-644



Fuente: Elaboración Propia

Figura 49

Puente Hospicio-La Yarada Los Palos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 50

Cauce del Rio-La Yarada Los Palos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51

Río Caplina en tiempo de estiaje



Fuente: Elaboración Propia

Figura 52

Acumulación de Ramas y arenas -La Yarada Los Palos



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2.- DATOS DE PRECIPITACIONES - SENAMHI

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



“Año de la lucha contra la corrupción e impunidad”

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
DIRECCION REGIONAL ZONAL 7**

ESTACION : MAP-JORGE BASADRE G
CODIGO : 110901

LAT.: 18° 01' 36"
LONG.: 70° 15' 2,4"
ALT.: 560 msnm.

DPTO.: TACNA
PROV.: TACNA
DIST.: TACNA

PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS(mm.)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1998	4.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	3.1	0.7	0.4	0.0	0.4
1999	0.4	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.2	0.9	0.6	3.0
2000	3.4	0.2	0.6	0.1	0.0	1.3	4.2	4.0	0.9	2.2	0.0	0.0
2001	1.9	5.8	4.2	0.5	0.0	1.2	0.4	1.1	1.0	0.3	0.0	1.2
2002	0.0	0.5	2.3	0.8	0.0	0.1	6.9	1.3	0.5	0.9	0.0	0.0
2003	2.5	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	1.8	0.9	2.9	0.0	0.3	0.0
2004	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.1	0.5	0.4	0.0	0.0
2005	0.3	0.1	0.0	0.5	0.5	0.0	0.2	1.3	0.9	0.0	0.0	0.4
2006	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.7	1.7	0.8	0.0	T	0.0
2007	0.0	0.6	0.0	0.0	0.3	0.6	0.4	1.7	1.8	0.4	0.8	0.0
2008	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	1.1	0.2	1.1	1.6	0.6	0.3	0.7
2009	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.7	1.0	0.8	1.9	2.5
2010	0.1	0.0	0.0	0.9	1.1	1.0	0.0	0.3	0.9	0.0	0.0	0.1
2011	0.8	4.0	0.0	0.0	0.4	1.5	1.4	1.6	1.2	0.1	0.5	0.6
2012	4.5	0.6	0.5	0.2	0.0	0.4	0.6	1.6	1.8	0.6	0.0	0.0
2013	0.0	0.2	0.8	0.0	0.2	0.2	0.9	0.5	0.4	0.1	0.2	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	1.2	0.5	2.3	0.5	0.9	0.8
2015	0.4	0.5	1.3	0.0	1.6	0.0	2.5	3.8	1.4	2.3	1.2	0.9
2016	0.3	1.7	0.0	0.1	0.0	0.1	1.8	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0
2017	0.1	1.6	0.0	0.0	0.2	1.8	2.8	1.4	2.5	0.8	5.1	0.0
2018	0.1	0.2	0.0	0.0	0.2	1.3	1.1	0.5	0.1	1.6	0.3	0.0

T = Trazas (-0.01)

Información preparada para GOBIERNO REGIONAL TACNA
BASE DE DATOS 02-7-MELR

S/D = Sin Datos

SEPTIEMBRE 2019

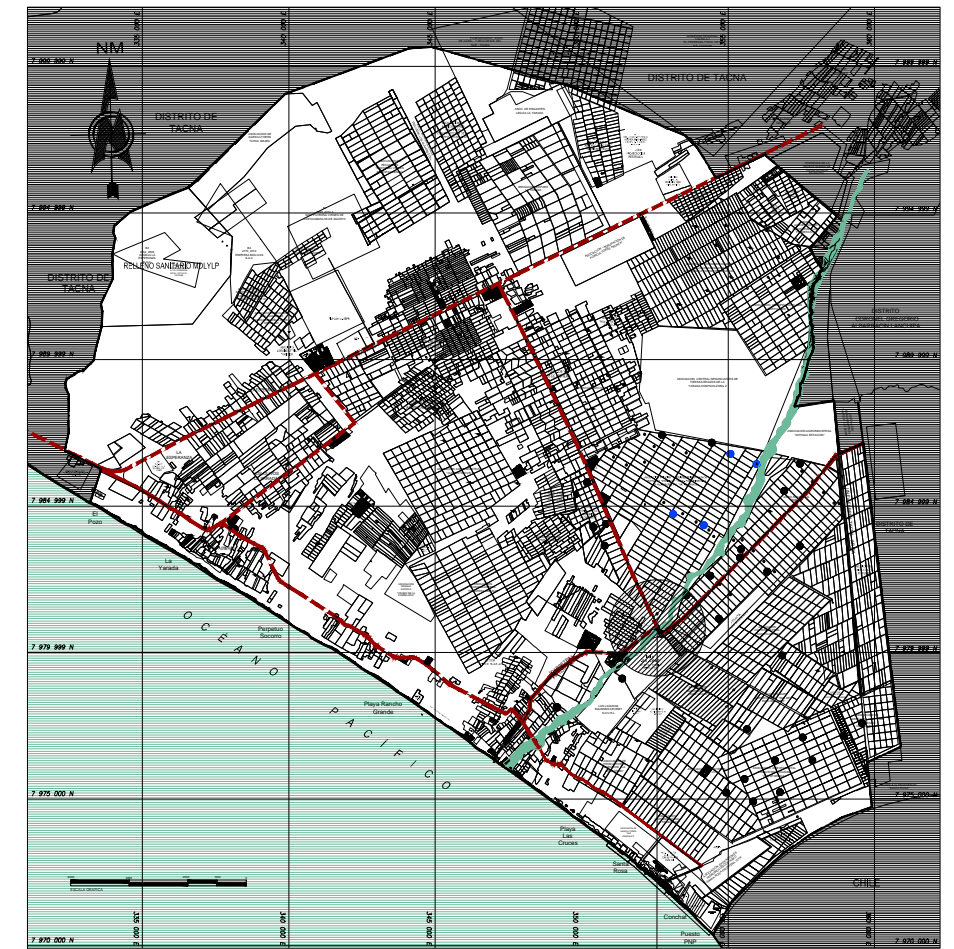
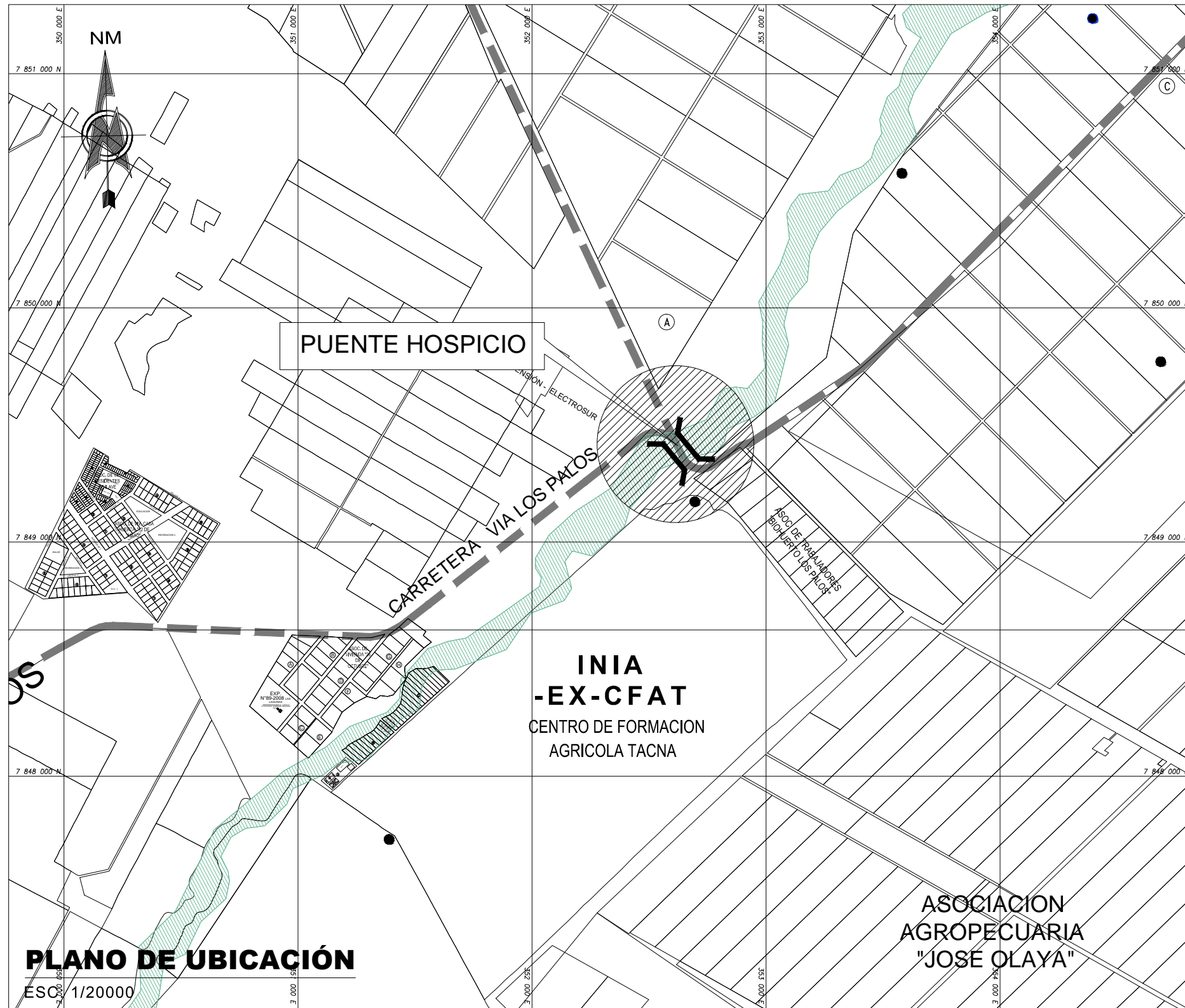


VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

ANEXO 2.- MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE TESIS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿En qué medida el modelamiento hidráulico permite prevenir las inundaciones en el Río Caplina Puente Hospicio Ruta TA-644 en el Distrito La Yarada Los Palos?</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo caracterizar la precipitación y los caudales promedios mensuales del Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante el modelo Hidrológico • ¿Cuáles son los pronósticos sobre las avenidas y los caudales en el Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante el modelamiento Hidráulico? 	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar la modelación Hidráulica del río Caplina Puente Hospicio TA-644 con fines de prevención de inundaciones en el distrito La Yarada Los Palos.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar las precipitaciones y los caudales promedios mensuales del Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante un modelo Hidrológico. • Pronosticar las avenidas y caudales del Río Caplina Puente Hospicio TA-644 mediante un modelo Hidráulico 	<p>HIPOTESIS GENERAL La modelación hidráulica es un método válido que permite controlar las inundaciones en el río Caplina Puente Hospicio TA-644 en la prevención de inundaciones</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen diferencias significativas entre los pronósticos de la modelación hidráulica y las observaciones de las estaciones Hidrométricas de los caudales promedios mensuales del Río Caplina Puente Hospicio TA-644. • El tiempo real que existe en crecidas, avenidas fluviales y regulares pronostica el aumento de caudal del Río Caplina Puente Hospicio TA-644 del distrito La Yarada Los Palos. 	<p>MODELACIÓN HIDRÁULICA Para conocer los valores máximos y mínimos del caudal.</p> <p>PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES Para determinarlas velocidades máximas y mínimas que ayudan a controlar las inundaciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Curvas de nivel ▪ Caudal de diseño ▪ Pendiente ▪ Condiciones hidrológicas ▪ Velocidad mínima y máxima 	<p>La investigación es descriptiva - porque implica describir y observar situación actual del río Caplina. Se ha realizado un modelamiento hidráulico con el software HEC-RAS v 5.0.7 y con el software HIDROESTA 2.0 con el único objetivo de ampliar el conocimiento, y prevenir inundaciones debido al incremento de máximas avenidas.</p>

TESIS: "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"



DEPARTAMENTO : TACNA
 PROVINCIA : TACNA
 DISTRITO : LA YARADA LOS PALOS

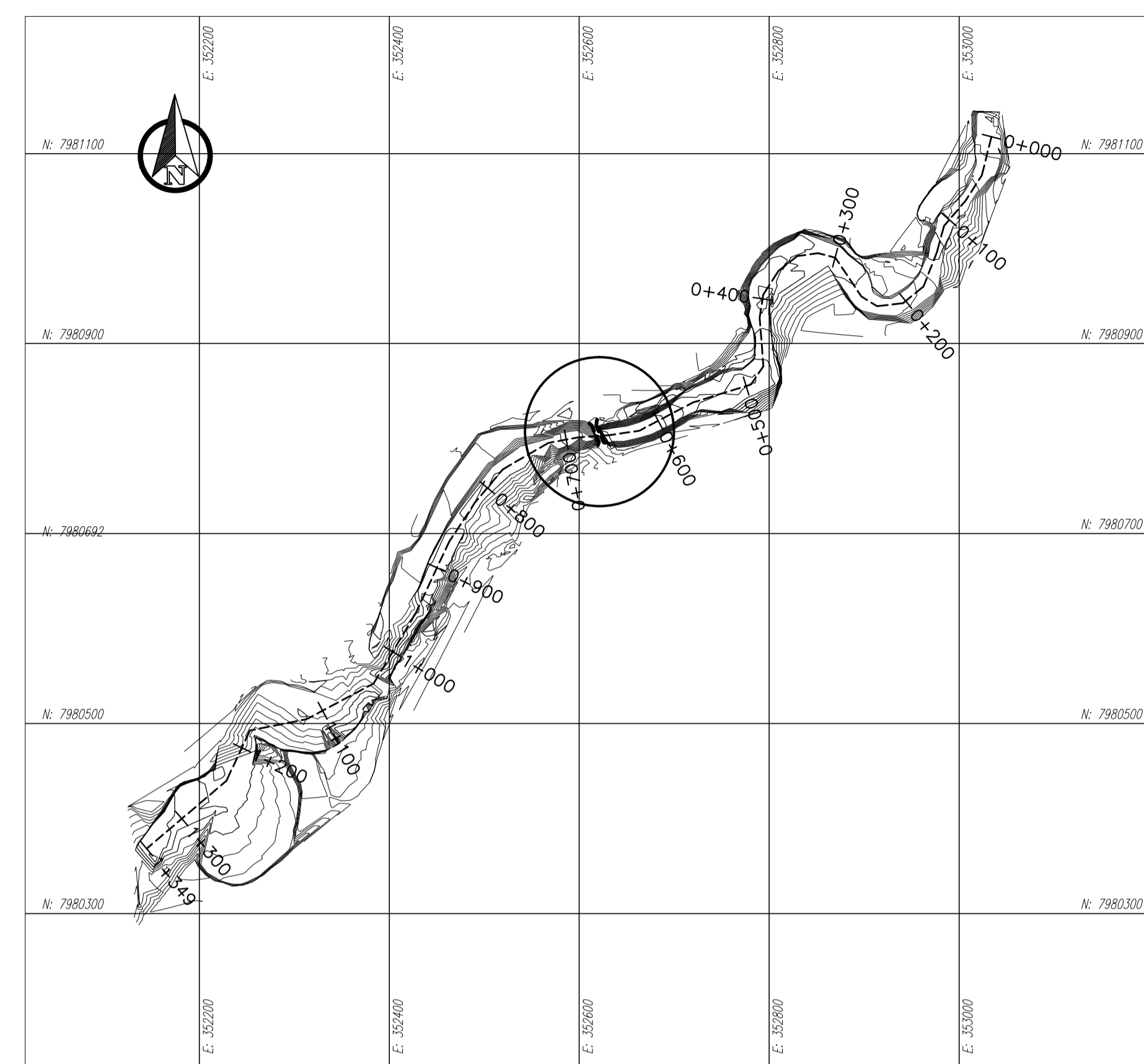
	UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA			
	TESIS: "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"			
	PLANO DE UBICACIÓN			
	UBICACIÓN: DISTRITO LA YARADA LOS PALOS			
ZONA:	DATUM:	ESC:	FECHA:	U-01
19S	WGS-84	INDICADA	FEBRERO 2021	

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL PUENTE HOSPICIO EN LA RUTA TA-644 ESTACIÓN LA YARADA DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, PROVINCIA DE TACNA, REGIÓN DE TACNA"



PLANIMETRIA

ESC: 1/200



PLANO DE UBICACIÓN

ESC: 1/5000

LEYENDA PLANTA	
SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
	EJE TROCHA CARROZABLE
	CURVA MAYOR @ 1 m
	CURVA MENOR @ 0.5 m



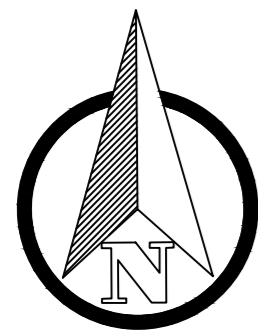
UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

TESIS: "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"

PLANO-PUENTE EXISTENTE

UBICACIÓN: DISTRITO LA YARADA LOS PALOS		LAMINA	
ZONA: 19S	DATUM: WGS-84	ESC: INDICADA	FECHA: FEBRERO 2021

U-01



SEÑALIZACION INFORMATICA
PUENTE A 50M.



SEÑALIZACION INFORMATICA
PUENTE A 50M.

REPOSICION DE CALZADA

DEFENSAS RIVEREÑAS

DEFENSAS RIVEREÑAS

DEFENSAS RIVEREÑAS

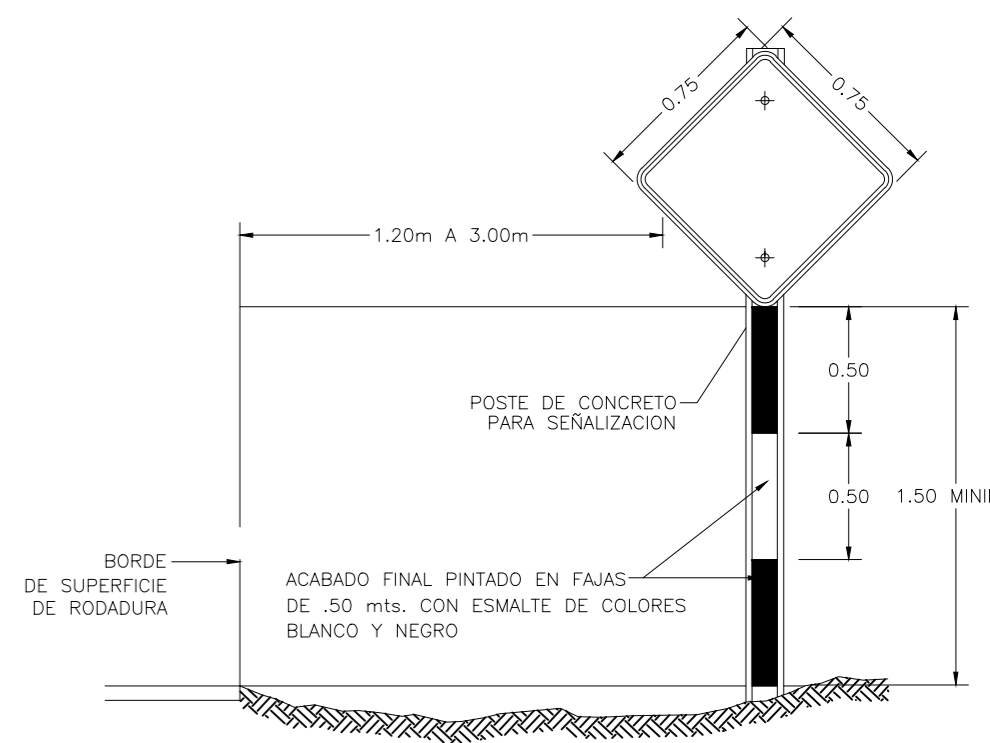
REPOSICION DE CALZADA



SEÑALIZACION INFORMATICA
PUENTE A 50M.

PLANIMETRIA




ESC: 1/300



**UBICACION DE SEÑALES VERTICALES
CON RELACION AL BORDE Y NIVEL DE LA VIA**

1:40

LEYENDA

-  REPOSICION DE CALZADA
-  DEFENSAS RIVEREÑAS L=20ML
-  CAUSE DEL RIO SECO



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

TITULO: "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCIÓN DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"

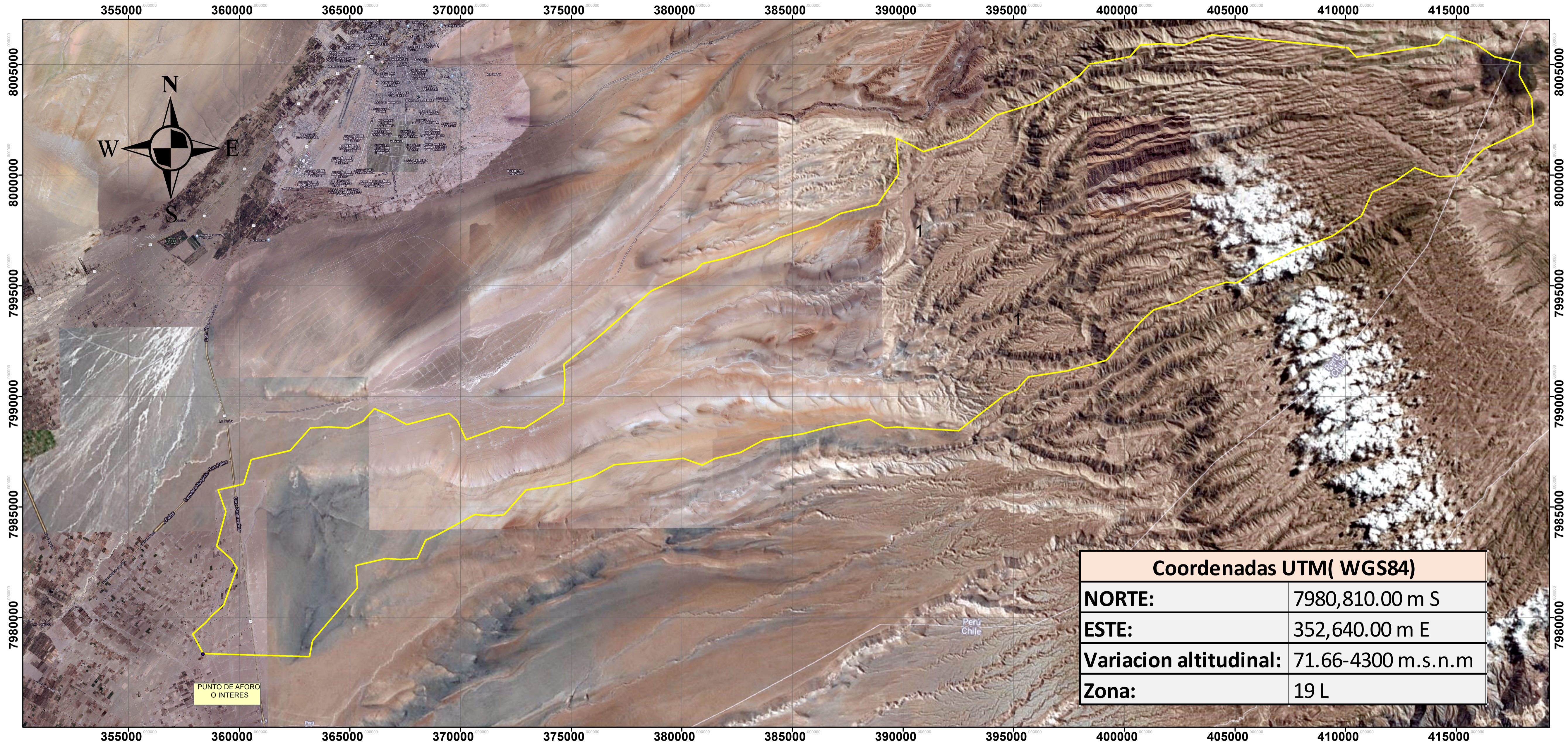
PLANO: PLANIMETRIA

UBICACION: DISTRITO LA YARADA LOS PALOS

ZONA: 19S DATUM: WGS-84 ESC: INDICADA FECHA: FEBRERO 2021

LAMINA
P-01

DELIMITACION DE LA CUENCA CAPLINA



Coordenadas UTM(WGS84)	
NORTE:	7980,810.00 m S
ESTE:	352,640.00 m E
Variacion altitudinal:	71.66-4300 m.s.n.m
Zona:	19 L



TESIS:
"MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCION DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"

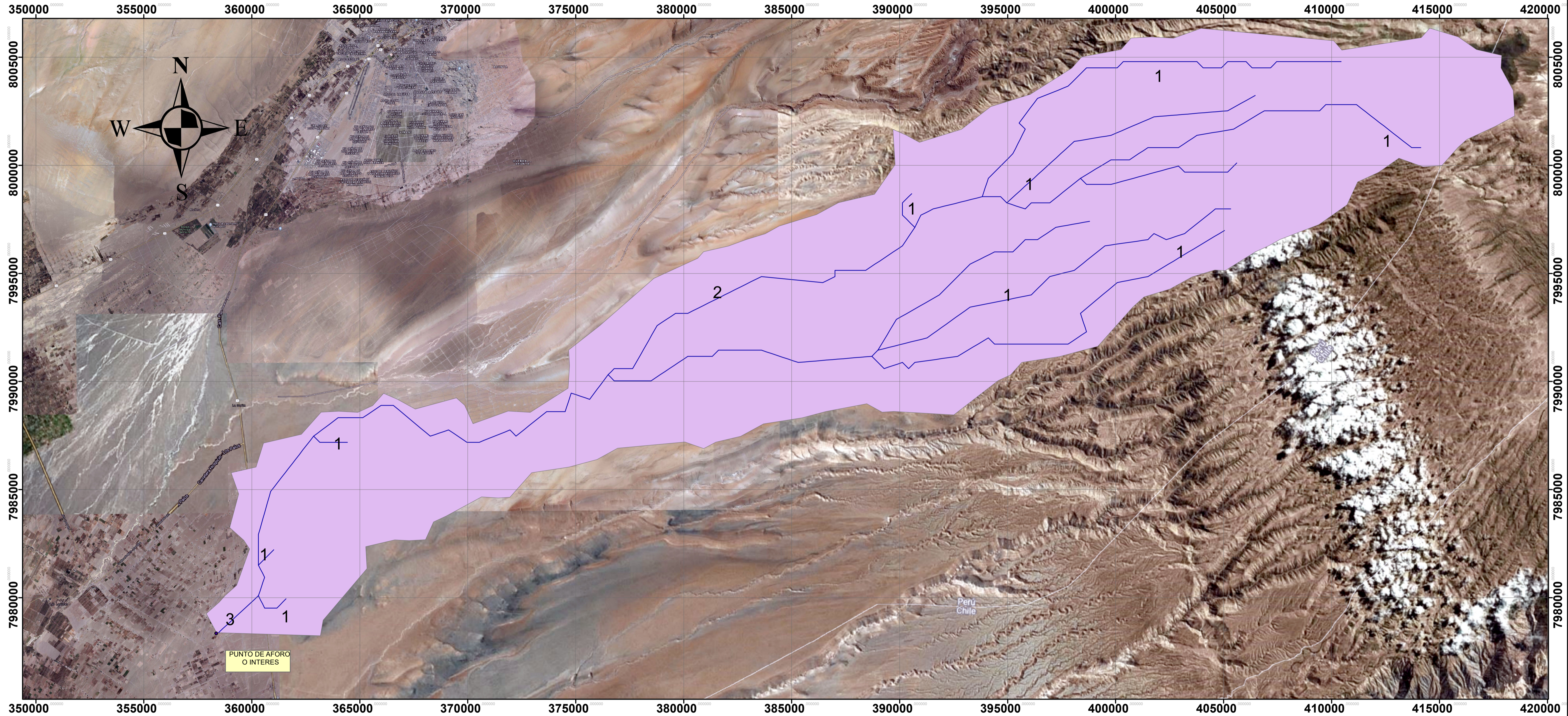
UBICACIÓN: Puente Hospicio Ruta TA-644
DISTRITO: La Yarada Los Palos
PROVINCIA: Tacna
REGIÓN: Tacna

TESISTA:
Bach. Luz Elvira Coaquira Sardon

PLANO:
DELIMITACION DE LA CUENCA

SISTEMA DE COORDENADA	ESCALA
PROYECCIÓN: UTM	INDICADA
ZONA: 18 Sur	FECHA:
COORDENADAS: UTM-84	FEBRERO-2021

ORDEN DE RIOS DE LA CUENCA CAPLINA



TESIS
 "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAPLINA- PUENTE HOSPICIO RUTA TA-644, CON FINES DE PREVENCION DE LAS INUNDACIONES DEL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"

UBICACIÓN: Puente Hospicio Ruta TA-644
DISTRITO: La Yarada Los Palos
PROVINCIA: Tacna
REGIÓN: Tacna

TESISTA
 Bach.Luz Elvira Coaquira Sardon

PLANO:
ORDEN DE RIOS DE LA CUENCA CAPLINA

SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
PROYECCIÓN: UTM	INDICADA
ZONA: 18 Sur	FECHA:
COORDENADAS: UTM-84	FEBRERO-2021