

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



**TESIS**

**“DISEÑO DE UN DIQUE Y MITIGACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE  
MODELACIÓN HIDRÁULICA EN LA QUEBRADA DEL  
DIABLO, TACNA 2022”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ALEXANDRA LUCIANA GARCIA IQUISE**

**Bach. ANDRÉ MIGUEL PINEDO AGUILAR**

**TACNA - PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**TESIS**  
**“DISEÑO DE UN DIQUE Y MITIGACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE**  
**MODELACIÓN HIDRÁULICA EN LA QUEBRADA DEL**  
**DIABLO, TACNA 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 18 de junio del 2022; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE: Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA**

**SECRETARIO: Mtra. ANA GABRIELA CRUZ BALTUANO**

**VOCAL: Mag. MARTÍN PAUCARA ROJAS**

**ASESOR: Ing. YVAN MANUEL AROSQUIPA NINA**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Alexandra Luciana Garcia Iquise, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 71062988.

Yo André Miguel Pinedo Aguilar, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 76932596.

Declaramos bajo juramento que:

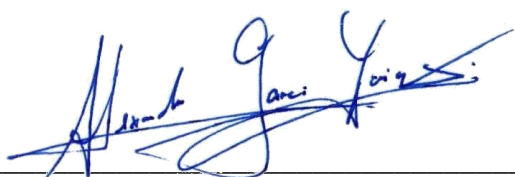
1. Somos autores de la tesis titulada: “*Diseño de un dique y mitigación de daños mediante modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo, Tacna 2022*” el mismo que se presenta para optar: el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. 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 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.

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

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

Tacna, 18 de junio de 2022.



---

Bach. ALEXANDRA LUCIANA GARCIA IQUISE  
DNI. 71062988



---

Bach. ANDRÉ MIGUEL PINEDO AGUILAR  
DNI. 76932596

## DEDICATORIA

*A mis padres Inés Iquise y Fidel Garcia por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes. Me formaron con reglas y motivándome constantemente para alcanzar mis anhelos y cumplir mis sueños.*

*A mis hermanos, Fabiola y Antonio que nunca dejaron de creer en mí, que me mantuvieron a flote con su inmenso amor y apoyo incondicional.*

*Y, sobre todo a mi hijo Bruno que ha sido mi mayor motivo de superación ante cualquier adversidad, deseando que este logro sea una demostración que no hay excusas para lograr tus metas cariño.*

**Alexandra Luciana Garcia Iquise**

*A mis abuelos, Pedro Hugo Polanco Ortiz y Cruz Amelia Aguilar Castillejo por el apoyo constante ante las diferentes situaciones presentadas a lo largo de este viaje. A mi madre Milagros Amelia Pinedo Aguilar y mi tío Hugo Antonio Polanco Aguilar por los permanentes consejos y palabras motivadoras para poder lograr esta meta y a mis demás familiares por nunca darme la espalda ante las adversidades.*

*Y por último a Giomara Astrid Jaramillo Pari y Emilio André Pinedo Jaramillo, mi familia, por darme las fuerzas necesarias para no rendirme y cumplir este objetivo además de ser las personas con las cuales disfrutare este y demás futuros logros profesionales.*

**André Miguel Pinedo Aguilar**

## AGRADECIMIENTO

*Agradecer a Dios por darme la  
oportunidad de llegar a este punto de mi  
vida.*

*A mi familia, por ser mi gran soporte  
en especial a mi madre, que nunca dudó en  
brindarme su apoyo y amor incondicional*

*A mis jefes y amigos que me  
motivaron en la culminación de este  
proyecto.*

**Alexandra Luciana Garcia Iquise**

*Agradecer el constante esfuerzo a  
mis abuelos y a mi madre por darme el  
constante apoyo para así poder cumplir esta  
meta añorada.*

**André Miguel Pinedo Aguilar**

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	6
1.2.1. Problema general .....	6
1.2.2. Problemas específicos.....	6
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.3.1. Desde el punto de vista científico .....	6
1.3.2. Desde el punto de vista social .....	7
1.3.3. Desde el punto de vista económico .....	7
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	8
1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas .....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes del estudio.....	9
2.1.1. A nivel internacional.....	9



2.1.2.	A nivel nacional .....	10
2.1.3.	A nivel local .....	11
2.2.	Bases teóricas .....	12
2.2.1.	Tipo de inundaciones.....	12
2.2.2.	Hidrología .....	13
2.2.3.	Hidráulica .....	14
2.2.4.	Modelo Hidrológico .....	14
2.2.5.	Modelo Hidráulico .....	14
2.2.6.	Factores Geológicos e Hidrológicos que Repercuten en el Diseño Hidráulico.....	16
2.2.7.	Evaluación de la Información Hidrológica .....	16
2.2.8.	Selección del Período de Retorno .....	16
2.2.9.	Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia .....	18
2.2.10.	Precipitación Total y Efectiva.....	21
2.2.11.	Avenida de Diseño .....	21
2.2.12.	Fenómeno El Niño.....	21
2.2.13.	El Niño costero .....	22
2.2.14.	Transporte de sedimentos .....	22
2.2.15.	Sistema de información geográfica.....	24
2.2.16.	Tiempo de concentración.....	24
2.2.17.	Modelación de cuencas .....	25
2.2.18.	El proceso de modelación.....	26
2.2.19.	Análisis de datos dudosos .....	27
2.2.20.	Avenida de diseño y período de retorno .....	28
2.2.21.	Análisis de frecuencia de información hidrológica.....	28
2.3.	Definición de términos .....	29
2.3.1.	Caudal .....	29
2.3.2.	Clima .....	29

2.3.3.	Curva Intensidad – Duración – Frecuencia .....	29
2.3.4.	Fenómeno el niño (fen).....	29
2.3.5.	Hec-Hms .....	30
2.3.6.	Hec- Ras .....	30
2.3.7.	Hidrograma.....	30
2.3.8.	Intensidad.....	30
2.3.9.	Periodo de Retorno.....	30
2.3.10.	Precipitación.....	31
2.3.11.	Riesgo .....	31
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....		32
3.1.	Tipo y nivel de la investigación .....	32
3.2.	Acciones y Actividades .....	32
3.2.1.	Topografía .....	33
3.2.2.	Hidrología.....	33
3.2.3.	Hidráulica Fluvial .....	33
3.2.4.	Tránsito de avenida .....	33
3.3.	Población y/o muestra de estudio .....	34
3.4.	Operacionalización de variables .....	34
3.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	34
3.6.	Procesamiento y análisis de datos.....	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....		36
4.1.	Características del ámbito de aplicación.....	36
4.1.1.	Área de estudio .....	36
4.1.2.	Accesibilidad.....	38
4.2.	Estudios geológicos.....	39
4.3.	Estudios topográficos .....	41
4.3.1.	Modelamiento de elevaciones digitales.....	41
4.2.2.	Procesamiento de información .....	44

4.2.3.	Curva Hipsométrica .....	47
4.3.	Modelación hidrológica .....	53
4.3.1.	Análisis de frecuencia de precipitaciones .....	53
4.3.2.	Análisis estadísticos de datos hidrológicos .....	57
4.3.3.	Prueba de Datos Dudosos.....	60
4.3.4.	Modelo de Precipitación .....	61
4.3.5.	Módulo de control .....	63
4.3.6.	Determinación de caudales por software .....	64
4.4.	Modelamiento hidráulico .....	66
3.4.1.	Parámetros para modelamiento.....	70
3.4.2.	Modelamiento hidráulico sin dique.....	75
3.4.3.	Parámetros para el diseño de dique .....	77
3.4.4.	Modelamiento hidráulico con dique.....	79
4.5.	Análisis comparativo .....	81
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		82
CONCLUSIONES .....		84
RECOMENDACIONES.....		85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		86
ANEXOS.....		88

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Valores de Período de Retorno T (Años) .....	18
Tabla 2. Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora.....	20
Tabla 3. Valores de Kn para la Prueba de datos dudosos .....	28
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	34
Tabla 5. Distancia al punto de estudio .....	39
Tabla 6. Clasificación de los tipos de terreno en función de la pendiente.....	47
Tabla 7. Parámetros Morfométricos .....	48
Tabla 7. (continuación) Parámetros Morfométricos .....	49
Tabla 8. Parámetros Morfométricos - Quebrada del Diablo.....	50
Tabla 8. (continuación) Parámetros Morfométricos - Quebrada del Diablo .....	51
Tabla 9. Precipitaciones máximas en 24 hrs(mm).....	55
Tabla 10. Precipitaciones máximas 24 hrs por cada año registrado.....	58
Tabla 11. Parámetros estadísticos.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Cartografía de peligros geológicos en la Quebrada del Diablo .....	3
Figura 2. Vista aérea de la Quebrada del Diablo.....	4
Figura 3. Evaluación de daños actualizado al 09/03/2020 .....	5
Figura 4. Zona afectada por huaicos en el 2020 .....	5
Figura 5. Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida .....	17
Figura 6. Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima ...	19
Figura 7. Diferentes formas de transporte de sedimentos.....	23
Figura 8. Clasificación de los diferentes transportes de sedimentos y métodos para cuantificarlos .....	24
Figura 9. Esquema de un sistema hidrológico, mostrando entradas y salidas.....	25
Figura 10. Esquema de un sistema hidrológico, mostrando entradas y salidas.....	26
Figura 11. Actividades a desarrollar.....	32
Figura 12. Isoyetas de precipitación para el período lluvioso setiembre-mayo .....	37
Figura 13. Ubicación de la cuenca Quebrada del Diablo.....	38
Figura 15. Unidades geológicas en la microcuenca de la Quebrada del Diablo .....	39
Figura 16. Página de la Nasa para registro.....	42
Figura 17. Ingreso de coordenadas mediante filtrado del SRC .....	42
Figura 18. Complemento SRTM-Downloader.....	43
Figura 19. SRTM - Download.....	43
Figura 20. DEM descargado mediante SRTM.....	44
Figura 21. Máscara subbasin donde se definen las sub-cuencas .....	44
Figura 22. Modelo de exportación de la Quebrada del Diablo para HEC-HMS y parámetros de las subcuencas .....	45
Figura 23. Datos de las subcuencas .....	45
Figura 24. DEM resultante .....	46
Figura 25. DEM modificado con las curvas de nivel.....	46
Figura 26. Curva Hipsométrica .....	52
Figura 27. Polígono de frecuencia de altitudes .....	52
Figura 28. Ingreso a Senamhi para descargar información histórica.....	53
Figura 29. Datos Hidrometeorológicos en Tacna – Estación de Calana.....	54
Figura 30. Histograma de Precipitaciones Máximas por meses en la estación de Calana .....	57

Figura 31. Histograma de Precipitaciones Máximas por años en la estación de Calana .....	57
Figura 32. Outlier estación de Calana .....	60
Figura 33. Creación de componentes .....	61
Figura 34. Ingreso de datos meteorológicos .....	62
Figura 35. Ingreso de precipitaciones e histograma .....	62
Figura 36. Módulo de control .....	63
Figura 37. Hidrograma .....	64
Figura 38. Caudales para tiempo de retorno 25 años .....	64
Figura 39. Caudales para tiempo de retorno 50 años .....	65
Figura 40. Caudales para tiempo de retorno 100 años .....	65
Figura 41. Llenado del software Hec-RAS .....	66
Figura 42. Subida de archivo de georeferencia .....	67
Figura 43. Exportación del DEM modificado .....	68
Figura 44. DEM exportado .....	68
Figura 45. Superposición del DEM exportado en el archivo georreferenciado .....	69
Figura 46. Perímetro del área de trabajo .....	69
Figura 47. Definición a detalle de las cuencas a analizar .....	70
Figura 48. Rango de enmallado general .....	70
Figura 49. Perfilación del enmallado .....	71
Figura 50. Visualización a detalle del enmallado de la zona .....	71
Figura 51. Enmallado de la zona a analizar .....	72
Figura 52. Enmallado en la desembocadura de la Quebrada del Diablo .....	72
Figura 53. Datos generados por el Hidrograma .....	73
Figura 54. Profundidad normal aguas abajo .....	74
Figura 55. Representación de condiciones iniciales aguas arriba y aguas abajo .....	74
Figura 56. Modelamiento hidráulico sin el dique .....	75
Figura 57. Alcance producido por los tirantes del modelamiento .....	76
Figura 58. Velocidades de los caudales en m <sup>3</sup> /s .....	76
Figura 59. Ubicación de los diques propuestos .....	77
Figura 60. Diseño del dique 1 .....	78
Figura 61. Diseño del dique 2 .....	78
Figura 62. Modelamiento de corte de secciones para los diques .....	79
Figura 63. Representación gráfica de los fluidos contenidos .....	80
Figura 64. Control de las velocidades de los caudales .....	80

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	89
Anexo 2. Hietograma de precipitaciones - 2 años .....	90
Anexo 3. Hietograma de precipitaciones - 5 años .....	92
Anexo 4. Hietograma de precipitaciones - 10 años .....	94
Anexo 5. Hietograma de precipitaciones - 25 años .....	96
Anexo 6. Hietograma de precipitaciones - 50 años .....	98
Anexo 7. Hietograma de precipitaciones - 100 años .....	100

## RESUMEN

En el presente informe se buscó generar un dique el cual tenga la función reducir en gran cantidad los fluidos que transcurre a través de la Quebrada del Diablo posterior a las diferentes precipitaciones producidas en ciertas épocas del año. Misma quebrada por la cual se generó el huaico producido en febrero del 2020 y la cual trajo diferentes tipos de daños a la población. Se optó por la obtención de datos topográficos a través de data obtenida de la NASA la cual fue agrupada y filtrada en el software Q-GIS el cual posee diferentes tipos de complementos el cual dio con la obtención un Modelo Digital de Elevación el cual nos permitió el reconocimiento de las áreas del lecho en la Quebrada del Diablo, así como las curvas de nivel. Posteriormente gracias a las gráficas topográficas obtenidas a través de Q-GIS se procedió a la definición de las cuencas y subcuencas de la Quebrada del Diablo a mediante el software HEC-HMS el cual además de definir la cuenca a trabajar también se obtuvo datos como el área de la cuenca, perímetro, distancias máximas entre las mismas y datos afines. Además, que dicho programa, con la ayuda de la data de precipitaciones obtenidas a través de SENAHMI genera los caudales máximos.

**Palabras Claves:** Dique, Modelamiento Hidráulico, Zonas de Inundación



## ABSTRACT

In this report, we sought to generate a dam which has the function of greatly reducing the fluids that flow through the Quebrada del Diablo after the different precipitations produced at certain times of the year. Same creek through which the landslide produced in February 2020 will end and which presented different types of damage to the population. It was decided to obtain topographic data through the data obtained from NASA, which was grouped and filtered in the Q-GIS software, which has different types of complements, which gave us the obtaining of a Digital Elevation Model which we allowed the recognition of the bed areas in the Quebrada del Diablo, as well as the contour lines. Subsequently, thanks to the topographical graphs obtained through Q-GIS, the definition of the basins and sub-basins of the Quebrada del Diablo was carried out through the HEC-HMS software, which, in addition to defining the basin to work, data such as the basin area, perimeter, maximum distances between them and related data. In addition, that said program, with the help of the precipitation data obtained through SENAHMI, generates the maximum flows.

**Keywords:** Dam, Hydraulic Modeling, Flood Zones

## INTRODUCCIÓN

En la presente tesis, tras los problemas presentados a raíz del huaico que se generó en la Quebrada del Diablo en febrero del año 2020, se busca dar una solución para este tipo de acontecimientos hidrológicos los cuales generaron grandes pérdidas económicas y sociales a la ciudad de Tacna.

Es por ese motivo que en base a las diferentes fuentes teóricas buscamos dar solución a una problemática la cual, a pesar de no ser constante daño de gran manera a la ciudad de Tacna.

Esta situación en especial tuvo grandes pérdidas debido a que no se tenían registro de eventos cercanos o parecidos que pudieran prevenir a la sociedad y tomar acciones.

Es por eso que con el fin de evitar que nuevamente se produzca un daño tan fuerte a la ciudad de Tacna se propone trabajar en un modelo hidráulico el cual permita simular la situación ya producida y tomar acciones para mitigar los posibles daños.

Mediante la recopilación de datos tanto topográficos e hidrológicos a través de programas como Q-Gis y HEC-HMS, respectivamente, intentaremos generar un modelo hidráulico el cual permita recrear el evento producido en dicha fecha ya mencionada con el fin de obtener la información y así poder decidir donde se diseñará un dique el cual permitirá mitigar los diferentes tipos de daños por dicho evento.

Todo esto a través de imágenes producidas por el software HEC-RAS el cual servirá para analizar los diferentes comportamientos que ocurrirían en las múltiples causas de la quebrada y así mismo poder decidir cuál sería la ubicación ideal para el dique.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

La Quebrada del Diablo se activa con lluvias excepcionales al igual que en la quebrada de Caramolle, sus cauces no se encuentran definidos debido a la ocupación de viviendas y vías de acceso. Los peligros geológicos determinados en el área investigada se rigen por la naturaleza rocosa de la zona y de la pendiente de las laderas de los cerros. Entre los más importantes se encuentra el desprendimiento de rocas frecuentes, deslizamientos de tierra, seguidos de erosión de taludes (canales) y flujos de lodo, siendo estos últimos los más afectados. Como lo ocurrido en febrero del 2020, luego de una fuerte lluvia.

El pasado 21 de febrero del año 2020, en la ciudad de Tacna en el distrito Alto de la Alianza la población se vio afectada por un flujo de lodo que descendió por la Quebrada del Diablo, siendo las zonas más golpeadas como La Florida, Aragüéz y La Rotonda, así como el terminal de transporte terrestre interprovincial y esparciéndose por demás calles de la ciudad. Como se aprecia en la Figura 1 las zonas afectadas distinguidas por el tipo de peligro muestran que este acontecimiento dejó las casas destruidas y la mayor parte de la infraestructura está ubicada en las vías fluviales del cañón.

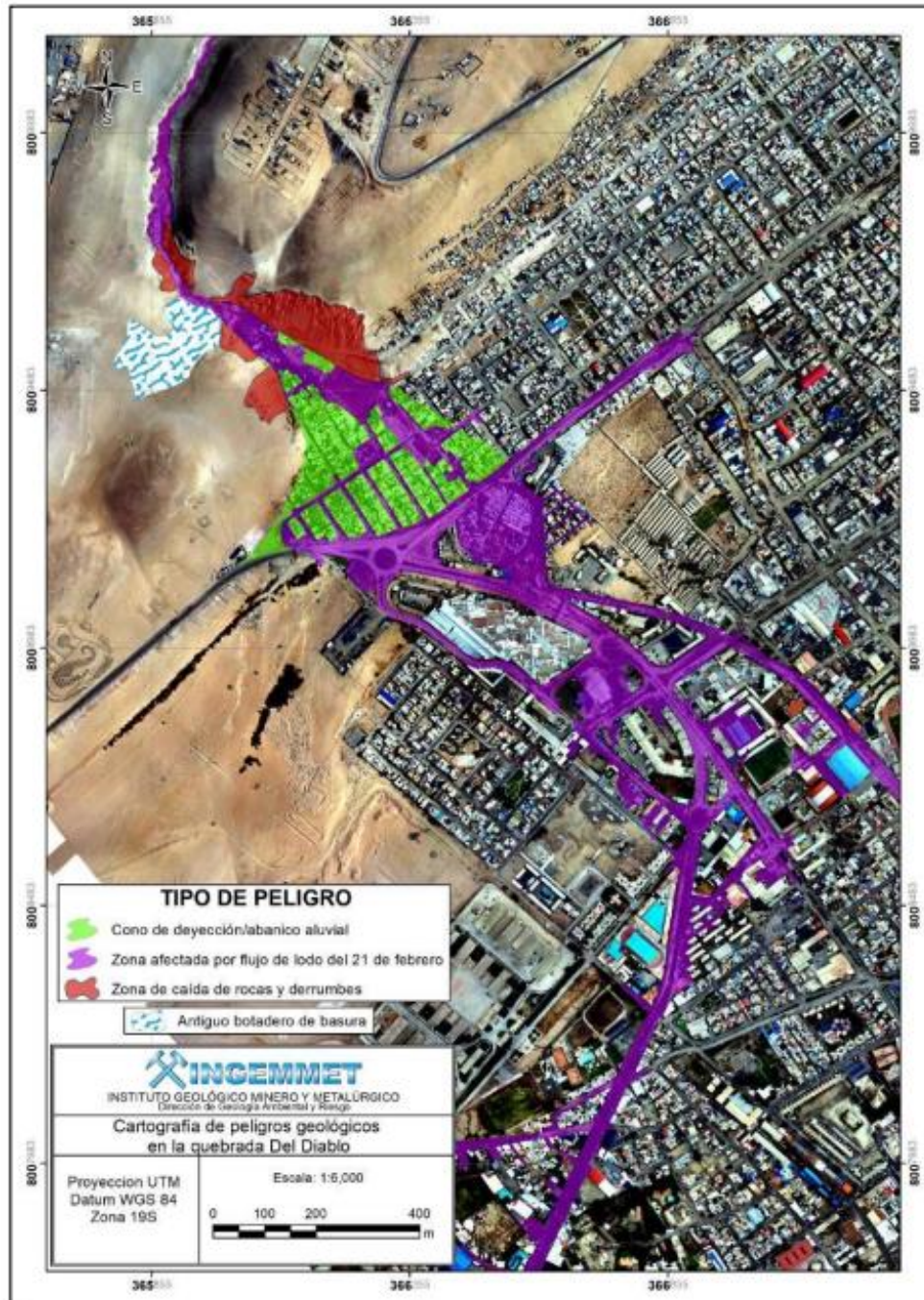
Estos acontecimientos ocurrieron aproximadamente a 21:00 hrs, provocados por fuertes lluvias en la parte alta de Tacna. Según los datos de la estación meteorológica del SENAMHI en Tacna, registraron que el día 21 de febrero llovió un total de 21.1 mm. Sin embargo, es importante recordar lo indicado por los pobladores, que los días previos al 21 de febrero en Tacna había llovido, y posiblemente inundado el terreno en la parte central de la Quebrada del Diablo.

Por otro lado, esta no es la primera ni el último acontecimiento provocado por fuertes lluvias, la gente que habita estas zonas está en un latente peligro al no ser reubicadas. Sin embargo, la ciudad de Tacna es una ciudad emergente poblacionalmente que, influenciada por el comercio con los vecinos países, ha experimentado un importante desarrollo económico en los últimos años. A consecuencia de este progreso, se provocó un gran crecimiento demográfico, caótico y no planificado, dando como resultado que la ciudad de Tacna cuente con alrededor de 346 mil

habitantes en la actualidad, según el portal del Instituto Nacional de Estadística e Informático (INEI).

**Figura 1**

*Mapa de Cartografía de peligros geológicos en la Quebrada del Diablo*



*Nota.* Extraído de la revista Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico Informe técnico N°A7042 (2020).

Es decir, es natural la necesidad de edificar una vivienda por cada familia constituida en la ciudad, provocando que los ciudadanos tomen la errónea decisión de edificar sus casas en zonas de peligro como es la zona de la desembocadura de la Quebrada del Diablo, podemos visualizar en la figura 2 la zona crítica mencionada

**Figura 2**  
*Vista aérea de la Quebrada del Diablo*



*Nota.* La figura nos muestra que el crecimiento población se da de manera caótica y no planificada por parte de la población.

El 09 de marzo de 2020, se emitió un reporte complementario N°1230 por parte del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) donde registra el suceso ocurrido el 20 de febrero del 2020, el acontecimiento de fuertes lluvias que provocaron la activación de la Quebrada del Diablo y Caramolle, lo cual originó un desastre natural que ocasionó grandes pérdidas económicas y pérdida de vidas según podemos visualizar en la tabla de evaluación de daños elaborado por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) en la figura 3 a continuación.

**Figura 3**  
Evaluación de daños actualizado al 09/03/2020

UBICACIÓN	VIDA Y SALUD				VIVIENDAS Y LOCALES PÚBLICOS				
	FAMILIAS AFECTADAS	FAMILIAS DAMNIFICADAS	PERSONAS HERIDAS	PERSONAS FALLECIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	VIVIENDAS INHABITABLES	VIVIENDA DESTRUIDA	LOCALES PÚBLICOS AFECTADOS (*)	COMISARÍAS AFECTADAS
DPTO. TACNA	2,077	163	24	3	2,077	163	1	3	8
PROV. TACNA	2,077	163	24	3	2,077	163	1	3	8
DIST. TACNA	269	99	24	1	269	99		3	5
DIST. ALTO DE LA ALIANZA	349	57		2	349	57			1
DIST. CIUDAD NUEVA	25				25				1
DIST. CALANA	135	6			135	6			
DIST. SAMA	3				3				
DIST. PACHIA	450				450				
DIST. POCOLLAY	800				800				1
DIST. GREGORIO ALBARRACÍN	46	1			46	1	1		

*Nota.* Extraído del (Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, 2020)

Dejándonos como lección, que aún no estamos preparados para asumir tales eventos naturales que se pueden repetir en un futuro. En la figura 4 se puede visualizar la zona afectada a más detalle.

**Figura 4**  
Zona afectada por huaicos en el 2020



*Nota.* Extraído del diario "La República" (2020)

Entonces, a raíz de estos acontecimientos se debe dar una solución para evitar futuros acontecimientos parecidas o de mayor magnitud, con la presente investigación se espera dar una solución mediante el diseño de un dique utilizando como medio el modelamiento hidráulico basándonos en los datos reales que proporciona el Servicio

Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI), asimismo junto con la información topográfica, de suelos, cobertura vegetal e hidrometeorológica, para así poder mitigar los daños ocasionados por los huaicos tras la posible re-activación de la Quebrada del Diablo

Se muestra la matriz de consistencia la cual sirve de base para la realización de este proyecto de investigación desarrollado en el Anexo 01.

## **1.2. Formulación del problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿De qué forma se puede mitigar los daños mediante el diseño de dique aplicando modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna?

### ***1.2.2. Problemas específicos***

- a. ¿Cómo determinar el caudal de máximas avenidas mediante métodos hidrológicos y el periodo de retorno en la Quebrada del Diablo?
- b. ¿Qué factor es más sensible en el modelamiento hidráulico para el diseño de un dique en la Quebrada del Diablo?
- c. ¿Es posible analizar la mitigación de daños mediante la generación de mapas de inundación en el modelamiento hidráulico?

## **1.3. Justificación e importancia**

### ***1.3.1. Desde el punto de vista científico***

Es de vital importancia conocer el impacto de la influencia de un dique en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna, ya que los estudios al respecto son muy limitados.

### **1.3.2. Desde el punto de vista social**

En Tacna, la Quebrada del Diablo es una zona que por normativa no debería ser habitable por los ciudadanos, sin embargo, la realidad de esta zona es muy distinta y los efectos negativos de ocurrir un huaico como se tuvo en el año 2020, son irreparables como las vidas perdidas en aquella contingencia. Es por esto que es necesario el diseño de un dique para la desviación adecuada de máximas avenidas que podrían darse en los próximos años.

### **1.3.3. Desde el punto de vista económico**

Demostrada ya la importancia del diseño de un dique, este nuevo proyecto permitiría mejorar las condiciones ante un posible desastre futuro, además de producir empleo en la construcción del dique lo que se traduciría en mayores ingresos económicos en las familias tacneñas.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Mitigar los daños mediante el diseño de dique aplicando modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar el caudal de máximas avenidas en la Quebrada del Diablo, mediante métodos hidrológicos y el periodo de retorno.
- b. Determinar el factor más sensible en el modelamiento hidráulico para el diseño de un dique en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna.
- c. Generar mapas de inundación para diferentes periodos de retorno en el sector de estudio, mediante el programa Hec-Ras v4.1 para analizar la mitigación de daños.



## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

El diseño de un dique mediante modelación hidráulica mitiga significativamente los daños generados por huaicos en la Quebrada del Diablo.

### ***1.5.2. Hipótesis específicas***

a. El modelamiento hidráulico con un dique en la Quebrada del Diablo nos permite determinar el caudal de máximas avenidas.

b. La relación precipitación - escorrentía es el factor que más influye en el diseño de un dique en la Quebrada del Diablo.

c. El modelamiento hidráulico nos permite generar mapas de inundación para analizar la mitigación de daños.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio

#### 2.1.1. A nivel internacional

Duque Sarango et al. (2019), en su artículo titulado “*Evaluación del sistema de modelamiento hidrológico Hec-Hms para la simulación hidrológica de una microcuenca andina tropical*”

Su propósito principal fue tasar el sistema de modelamiento hidrológico Hec-Hms, para analizar la conducta de la microcuenca Chaquilcay, se basaron en el uso de la metodología experimental con el tipo orientativo para su investigación, en la obtención de información utilizaron los modelos digitales de elevación (DEM) y para analizar los datos mencionados se hizo el uso del software SIG ArcMap, a su vez ejecutaron el modelo Hec-Hms; en la tesis trabajaron con una muestra y población de Microcuenca Chaquilcay en la Comunidad de Gualaceo y obtuvieron los siguientes resultados: Se consiguió un caudal máximo de desagüe de 1,7 m<sup>3</sup>/s - 1,8 m<sup>3</sup>/s – 1,9 m<sup>3</sup>/s, estos resultados lo obtuvieron gracias a la ejecución del software Hec-Hms para los tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Así pues, se determinó que del total del agua precipitada en la cuenca el 25% presentaba escorrentía de forma directa y el 75% restante es gracias a las plantas que corresponden al 60,17% de bosque oriundo y arbustos, asimismo gracias a las captaciones de agua, evaporación, evapotranspiración, etc.

Cadena Rivera & Villegas Zuleta (2016), en su tesis de grado titulada “*Análisis de riesgo por desbordamiento del río chiquito en la zona urbana del municipio de Sogamoso, Boyaca*”

El fin de la tesis era establecer el peligro por inundación del área urbana del municipio de Sogamoso-Boyacá, enlazado con el desbordamiento del río Chiquito. Pudiendo ser identificados los peligros por inundación del Río Chiquito en la zona urbana del Municipio de Sogamoso Boyacá. De igual forma se alcanzó determinar que toda el área de estudio representa un riesgo medio y alto, gracias a que los pobladores de la zona no cuentan con la información y herramientas necesarias para poder actuar ante

una amenaza o emergencia. También añadir que, se puede llegar a la conclusión que la vulnerabilidad tendrá a incrementar con el pasar de los años.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Aguilar Cabezas & Mamani Olivares (2019), en la tesis titulada *“Modelamiento hidráulico de la quebrada San Antonio de pedregal para estimar zonas de inundación ante huaicos, Lurigancho Lima 2019”*:

En la mencionada tesis de pregrado, se tuvo como objetivo determinar a través del modelo hidráulico en GEO HECRAS 2D en la Quebrada San Antonio de Pedregal las zonas de inundación, así como el efecto del diseño del dique y muro de contención en este para minimizar el área de inundación. Asimismo, se dio lugar a la obtención del caudal máximo, la máxima profundidad, el área de inundación, el número de población y de viviendas afectadas.

Con el modelo hidráulico determinaron los caudales máximos por un método racional obteniéndose 63,05 m<sup>3</sup>/s, 75,60 m<sup>3</sup>/s, 85,99 m<sup>3</sup>/s, 103,10 m<sup>3</sup>/s, 117,26 m<sup>3</sup>/s, 129.09 m<sup>3</sup>/s para diferentes periodos de retorno como: 50, 75, 100, 150, 200 y 500 años, además de obtener zonas de inundación de 101 680,57 m<sup>2</sup>, 5 392,00 m<sup>2</sup> con la influencia del dique y 4 392.00 m<sup>2</sup> con el muro de contención.

*“Modelamiento hidrológico e hidráulico para el prediseño de diques de encauzamiento en un tramo de seis km. del río Rímac ubicado entre el puente Ñaña y Puente Carapongo en el distrito de Lurigancho – Chosica, provincia y departamento de Lima”*

Según Llanos Ramírez & Ticona Huanca (2021), en su tesis de pregrado buscaron analizar en qué dimensión el modelamiento hidrológico puede influir con el prediseño de diques en un tramo de seis km del río Rímac que se encuentra ubicado entre el Puente Ñaña y el Puente Carapongo además de analizar en qué medida el levantamiento topográfico por software podría marcar la diferencia para el pre-diseño.

Se buscó realizar además el modelamiento hidráulico mediante el software HEC-HMS y el HEC-RAC para el prediseño del mismo. Dándose cuenta que los datos topográficos obtenidos a través de Google Earth y trabajados en el software ARCGIS para las secciones transversales y perfiles longitudes fueron de gran importancia para la simulación hidráulica además que con los software como HECRAS y HECHMS fue posible realizar el modelamiento de manera satisfactoria obteniendo datos de periodo

de retorno de 500, 165, y 50 años , cuyos resultado fueron de 318.7 m<sup>3</sup>/s, 203,6 m<sup>3</sup>/s, 165,7 m<sup>3</sup>/s y 125 m<sup>3</sup>/s por lo que se concluye que la altura de cada dique por tramo es 2,15 m, 2,15 m, 2,15 m y 2,10 m.

### **2.1.3. A nivel local**

*“Modelamiento hidrológico usando HEC – HMS para proyectar defensas contra avenidas en la localidad de Borogueña – Tacna”:*

Según Parillo Cahui (2014), en su tesis presentada investigó los efectos producidos por inundaciones y erosiones generados por los eventos de lluvias torrenciales que ocurren en las microcuencas sobre las que se asienta el centro poblado de Borogueña. Este problema se puede solucionar previniendo inundaciones e implementando medidas de control. Para el caudal del proyecto se tomaron en cuenta los siguientes factores: Datos de precipitación obtenidos de la estación pluviométrica de Toquepala, debido a similitudes en aspectos físicos, climáticos e hidrológicos.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el método de retorno, en el que la intensidad de la precipitación para cada escorrentía se determinó utilizando modelos matemáticos. El software HECHMS se utiliza para determinar la hidrología de inundaciones. Su objetivo principal fue obtener un modelo hidrológico para determinar el caudal del proyecto y diseñar las estructuras de protección contra inundaciones y esto permitió el control de deslizamientos en quebradas de la ciudad de Borogueña.

Como resultado se obtuvieron los gráficos de hidrogramas para las siete quebradas que fueron analizadas a partir de hietogramas de diseño que fueron originados mediante el método de los bloques alternos aplicados sobre las curvas I-D-F obtenidos para la zona de estudio además usando el modelo hidrológico para cada quebrada y también usando procesos de simulación hidrológico se obtuvieron caudales de diseño tomando como base diferente información base para cada modelo hidrológico y como resultado se obtuvo Huancarani 1,69 m<sup>3</sup>/s, Llustacahua 1,56 m<sup>3</sup>/s, Alta Misa 0,78m<sup>3</sup>/s, Uyara 0,39 m<sup>3</sup>/s, San Bartolomé 0,78 m<sup>3</sup>/s, Limache 0,18 m<sup>3</sup>/s, y Tampuni 0,52 m<sup>3</sup>/s.

*“Identificación de zonas críticas por flujo de detritos en la quebrada del diablo para determinar los costos de reconstrucción de obras civiles”:*

Mollinedo Huayta & Condori Mancilla (2021) presentaron la tesis en la cual observaron diferentes aspectos como son el clima, los fenómenos naturales, su

frecuencia y la duración han tenido diferentes tipos de cambio y todo esto debido a la contaminación del medio ambiente realizada por el hombre. En los últimos dos años en la ciudad de Tacna se viene presentando un evento llamado “flujo de escombros” que viene a ser la remoción de rocas, sedimentos y agua provocada por las lluvias torrenciales de la parte prominente de la región de Tacna que ingresa a la ciudad cerca al río Quebrada del Diablo. Para ello fue necesario poder determinar los peligros y amenazas, así como determinar el nivel de riesgo en las zonas más importantes de la ciudad para así poder determinar los daños a la infraestructura básica, servicios básicos, vías de comunicación y de esta manera lograr hallar a través de una evaluación de los presupuestos de inversión para el proceso de reconstrucción. Dando como resultado que al analizar el peligro y la vulnerabilidad de la zona donde se realizó el estudio se pudo observar que un aproximado de 70% de las viviendas tienen un nivel de riesgo alto que podría afectar a aproximadamente 276 viviendas y un 30% posee un riesgo medio el cual podría reflejarse afectando a 55 viviendas aproximadamente. Con las informaciones obtenidas se pudo obtener un mapa de riesgo dado como resultado un nivel de riesgo entre alto y medio, gracias a esto se pudo identificar el monto de reconstrucción de las obras civiles con monto de S/. 3'647'000,68 soles aproximadamente.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Tipo de inundaciones**

Según IEACH & ANLAP (2010) las inundaciones se dividen en 6 tipos:

- Las inundaciones predecibles, regulares las cuales poseen una duración de 3 meses y producen ciertos impactos característicos como el bloqueo de acceso, daños y desplazamientos de la población relativamente reducidos dependiendo de los niveles de protección.
- Las inundaciones que son regulares de gran tamaño las cuales poseen una duración de hasta 6 meses y producen ciertos impactos característicos como el bloqueo de acceso de la mayoría de las áreas de la zona afectada, con una gran probabilidad de deteriorar las infraestructuras, impactar en medio de sustento y ocasionar las movilizaciones de la población masiva.

- Las inundaciones que se dan de manera repentina, las cuales poseen una duración de pocos días a semanas y producen ciertos impactos característicos como que alcanzan prontamente su máximo, y reiteradas veces sin previo aviso alguno, el flujo de las inundaciones a máximas velocidades puede deteriorar la infraestructura además de generar el desplazamiento de personas a menudo se produce a nivel local.
- Las inundaciones urbanas las cuales poseen una duración de pocos días además de que pueden ser de comienzo rápido y muchas veces producen ciertos impactos e inundaciones repentinas en ríos urbanos o la saturación o bloque de sistema de drenaje urbano, además de tener una posibilidad de daños infraestructuras afectando carreteras más amplias.
- Las inundaciones costeras las cuales poseen una duración de pocos días a semanas producen ciertos impactos característicos debido a la mezcla con daños por fuertes vientos de tormentas, daños y desplazamiento a lo largo de la línea costera cuya extensión depende de la magnitud de la tormenta presente.
- Las inundaciones que tienen un comienzo lento por presentación de lluvias continuas las cuales tienen una duración de 3 a 6 meses y producen bloqueos de acceso. Según el acceso los daños en los cultivos pueden ser importantes y además se presenta el desplazamiento de la población limitado y puede depender de la seguridad alimentaria.

### **2.2.2. Hidrología**

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2021) la hidrología es una ciencia geográfica que se encarga de los diferentes estudios como son la distribución espacial-temporal y las diferentes propiedades del agua que están presentes en la atmosfera y en la corteza terrestre. Además, esto incluye diferentes factores como evapotranspiración, escorrentía y el equilibrio de las masas glaciares y la humedad del suelo.

Los estudios hidrológicos sirven fundamentalmente para:

- Los diseños de obras hidráulicas que se utilizan para los diferentes modelos que representan los estudios de cualquier tipo de cuenca.

- Los correctos conocimientos sobre el comportamiento hidráulico sirven para definir las áreas que son vulnerables producidas por eventos hidrometeorológicos extremos.

La Hidrología se define como la ciencia que estudia las aguas, estas pueden ser aprovechables en manera superficial, además de como en forma subterránea, siempre que sea una profundidad económicamente aprovechable. (Mejia M., 2006)

### **2.2.3. Hidráulica**

La Hidráulica se enfoca en el estudio de las diferentes propiedades mecánicas de los fluidos puesto que todo depende de las fuerzas opuestas a esta como son la masa y el empuje a la misma. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.2.4. Modelo Hidrológico**

El objetivo principal del análisis de sistemas hidrológicos es estudiar las operaciones del sistema y poder así predecir su salida. Un modelo del sistema hidrológico busca semejar el sistema real, sus diferentes entradas, salidas y sus variables hidrológicas. Se clasifican en dos: Modelos Físicos y Modelos Matemáticos.

Los modelos físicos buscan representar el sistema en una escala menor, como son los modelos hidráulicos mientras que los modelos matemáticos buscan representar el sistema en base a una serie de funciones que relacionan diferentes tipos de variables de salida con variables de entrar, donde la gran mayoría cuenta con procesos hidrológicos aleatorios y con magnitudes que varían dependiendo el tiempo y el espacio. (Mejia M., 2006)

### **2.2.5. Modelo Hidráulico**

Según (Mejia M., 2006) se define modelo hidráulico a cualquier modelo físico para la simulación de un flujo, estado de flujo y diversos eventos que conciernen a problemas de Ingeniería Hidráulica. Dentro de los márgenes comunes los modelos

hidráulicos son demostraciones a una mínima escala del prototipo en laboratorio, que en muchos casos puede ser en escala 1:1. Se busca una parte representativa del prototipo y se construye en el laboratorio donde los diferentes procesos de flujo y sus diversos efectos pueden ser investigaciones con ciertas condiciones de frontera controlable.

Además, existen 3 mecanismos de similitud:

- Similitud Geométrica: Esta se da cuando las longitudes geométricas del prototipo ( $L_p$ ) mantiene una relación de manera constante con la longitud de modelo ( $L_m$ )
- Similitud Cinemática: Esta se da cuando los eventos tengan relación entre el tiempo del prototipo y el tiempo del modelo.
- Similitud Dinámica: Es fundamental comprobar la relación entre los esfuerzos en el prototipo y el modelo.

Leyes del Modelo

*Ley del Modelo de Euler*

El flujo ocurre por las fuerzas de presión y las fuerzas por inercia, en este caso la influencia de la viscosidad y gravedad son despreciables. Este modelo está caracterizada por tener el parámetro de Euler que es una función de la forma de las fronteras de flujo y es por eso que se considera como un modelo con representación geométrica y similar del prototipo. La magnitud que posee el modelo de Euler es independiente del valor absoluto. En este modelo no existe la escala de velocidad y el resultado podría ser transformado a otro tipo de velocidad arbitraria, dimensiones o diferente densidad de fluido.

*Ley del Modelo de Reynolds*

Este flujo es significativo con respecto al efecto de la viscosidad, esto define que es un modelo pequeño a escala de viscosidad, pero que debe ser mayor que el del prototipo.

*Ley del Modelo de Froude*

El tipo de flujo es directamente influenciado por la gravedad como en el tipo de flujo de canales abiertos, en este caso en especial se requiere tener la similitud de geometría y la similitud de igualdad del número de Froude tanto para el modelo como para el prototipo.



### **2.2.6. Factores Geológicos e Hidrológicos que Repercuten en el Diseño Hidráulico**

El primer factor que se debe considerar es la dimensión de la cuenca siendo definido como factor hidrológico, donde el caudal se comportara en función a las condiciones climáticas, fisiográficas, topográficas, tipo de cobertura digital, tipo de manejo de suelo y la capacidad de almacenamiento. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.2.7. Evaluación de la Información Hidrológica**

Puesto que Perú tienes ciertas limitaciones en lo que viene ser disponibilidad de datos ya sean por medio como hidrométricos como pluviométricos y gran cantidad de cuentas hidrográficas no se encuentras bien instrumentadas, es por este motivo que se usan diferentes métodos indirectos de estimación de caudal de diseño. Dependiendo de la información que esté disponible se elegirá el mejor método para la aproximación de la magnitud del caudal.

La calidad, consistencia de datos, extensión y representatividad son primordiales para el inicio del estudio hidrológico y es por eso que se recomienda considerar con un mínimo de 25 años de registro para que así permita a raíz de esta información histórica la adecuada predicción de eventos a futuro con el fin de que los resultados sean los más confiables, de la misma manera la información deberá contar con los años en los que se han registrado el evento meteorológico conocido como el fenómeno “El Niño”, pero como durante dicho evento la información no se puede medir se deben estimar valores extraordinarios con el fin de ser evaluada de la mejor manera para que así no se originen sobredimensionamientos en las obra. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.2.8. Selección del Período de Retorno**

Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2021) el tiempo aproximado en años en el cual el valor del caudal obtiene un pico de creciente el cual supera una vez cada “T” años se le denomina “Periodo de Retorno T”.

Para poder seleccionar el Periodo de Retorno que se debe utilizar se necesita considerar la relación que existe entre la probabilidad de excedencia en un evento, asimismo la vida útil que debe tener la estructura y también el riesgo de posible falla admisible y dependiendo de este ultimo los diferentes aspectos económicos, sociales y entre otros.

El criterio de riesgo es el aspecto de considerar que la estructura podría fallar durante su tiempo de vida útil en función a que sucediese un evento de mayor magnitud en relación a el diseño con respecto al primer año, segundo año y así sucesivamente.

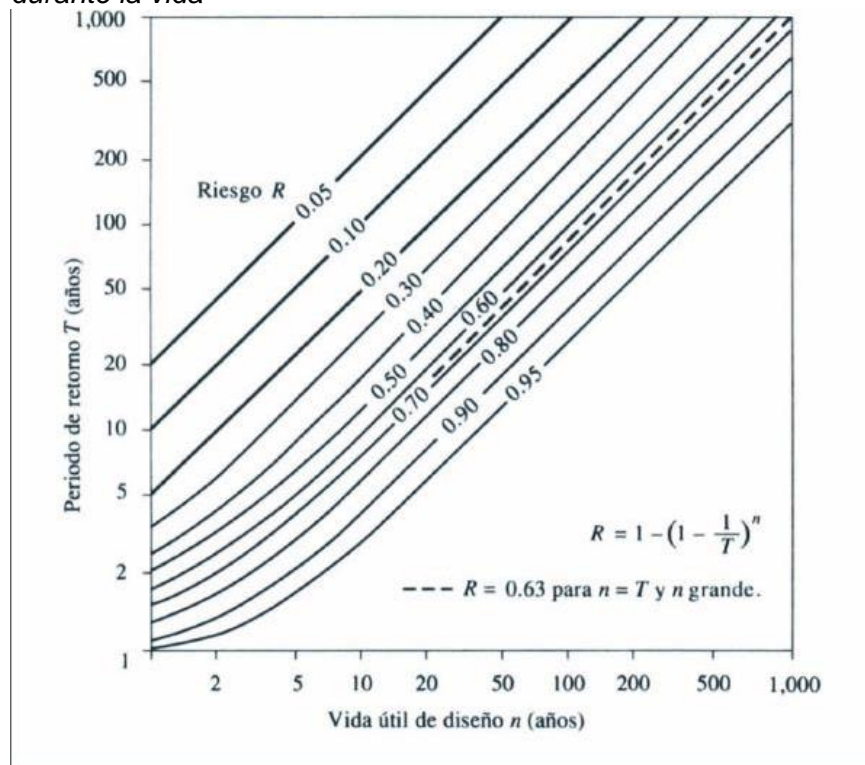
El riesgo de falla admisible esta dado en relación al periodo de retorno y a la vida útil de la obra la cual se expresa a través de la siguiente ecuación:

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

La fórmula mencionada permite calcular el periodo de retorno T si la obra tuviera una vida útil de N años dejando fijo el riesgo de falla admisible en R el cual sería la probabilidad de concurrencia de un pico de la creciente ya estudiada.

### Figura 5

*Riesgo de por lo menos una excedencia del evento de diseño durante la vida*



Nota. Hidrología aplicada.

Obteniendo así los datos entre el periodo de retorno expresado contra el tiempo de vida útil de diseño ambos expresados en años con respecto a las curvas de riesgo R la cual se expresa en la siguiente figura 5.

En la siguiente tabla 1 se muestra los valores T para diferentes riesgos permisibles R y según su vida útil n en el periodo de la obra.

**Tabla 1**  
Valores de Período de Retorno T (Años)

Riesgo admisible R	Vida útil de las obras (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	685
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

Nota. Extraído de MONSALVE (1999).

### 2.2.9. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Según se indica en el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, (2021) la intensidad se identifica como la tasa temporal de precipitación en base a la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).

Se puede dividir en la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración que tiene la lluvia. Usualmente se procura usar la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (2)$$

En esta ecuación (02), P define la profundidad de lluvia expresada en mm y Td es la duración donde mayormente se define en horas.

La frecuencia se define en función del período de retorno  $T$  el cual se puede definir como un intervalo de tiempo promedio que existe entre diversos eventos de precipitación que se igualan o se exceden a la magnitud de diseño.

Las curvas intensidad – duración – frecuencia son un instrumento que sirve para el diseño donde se relaciona la intensidad de la lluvia y la duración de la misma, así como la frecuencia con la que se podría presentar, es decir la probabilidad de ocurrencia o también definido como el ya mencionado periodo de retorno.

Para definir este tipo de curvas IDF se necesita la información de los registros pluviográficos de lluvia del lugar de interés y se debe de seleccionar la lluvia con mayor intensidad y sus diferentes duraciones en cada año para poder así realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series que se formaron.

Se deben estudiar los hietogramas de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia que se busca examinar es la hora pico, es decir la más lluviosa, seguidamente a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente para su estudio.

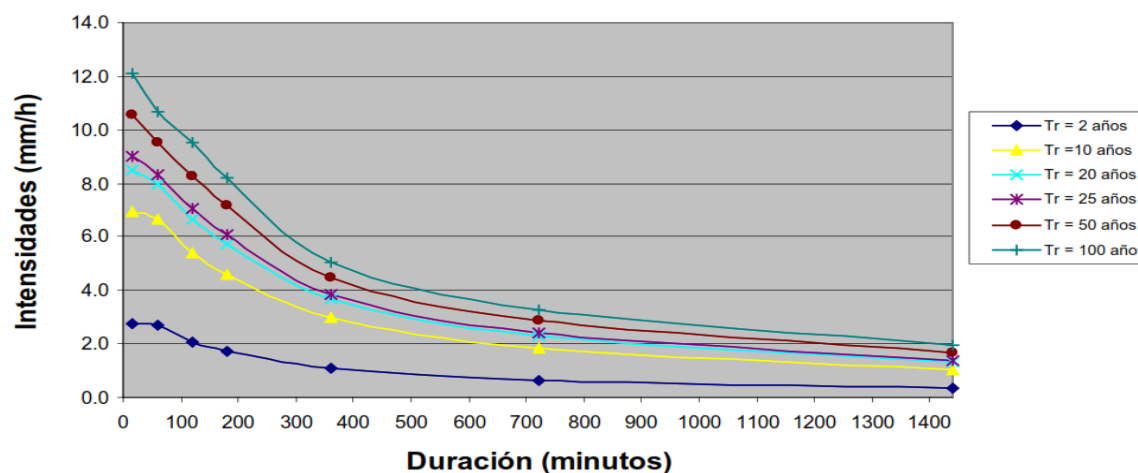
Con estos valores se buscan encontrar series por año evaluado para cada una de las duraciones ya determinadas.

Estas series por año se encuentran formadas eligiendo, en cada año del registro el más alto valor observado respectivo a cada duración, logrando así obtener un valor para cada año y para cada duración.

Así mismo se muestra un ejemplo con respecto a las curvas de intensidad con respecto a la frecuencia que presentan las lluvias máximas en un periodo de tiempo expresado en minutos tal y como se muestra en la Figura 6.

**Figura 6**

*Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima*



*Nota.* Extraído del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2021).

En el Perú es muy raro de que se puedan lograr estos cuadros debido a que no se observan lluvias que cumplan con los márgenes necesarios para lograr estos diagramas es por eso que a las lluvias de 24 horas se les multiplica con un factor el cual corresponde al tiempo de lluvia que se presente y se muestra en la siguiente tabla 2.

**Tabla 2**

Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

Duración de la precipitación en horas	Coeficiente
1	0,25
2	0,31
3	0,38
4	0,44
5	0,50
6	0,56
8	0,64
10	0,73
12	0,79
14	0,83
16	0,87
18	0,90
20	0,93
22	0,97
24	1,00
48	1,32

*Nota.* Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

Gracias a todos estos parámetros se puede generar un procedimiento el cual sería:

- Seleccionar las lluvias con mayor precipitación para obtener sus diferentes tiempos de duración.
- Ordenar desde la mayor al menor.
- Designar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
- Calcular el tiempo de retorno para cada uno de los valores.
- Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración.

### **2.2.10. Precipitación Total y Efectiva**

La excedencia de la precipitación o también conocida como precipitación efectiva ( $P_e$ ), se refiere a la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se llegue a filtrar en el suelo.

Posterior de fluir a través de la superficie de la cuenca el exceso de las precipitaciones se convierten en escorrentía la cual tiene salida directa de la cuenta

Las gráficas de exceso de precipitación y el tiempo son clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2021)

### **2.2.11. Avenida de Diseño**

El caudal que se selecciona a través de diferentes consideraciones para dimensionar un proyecto o una parte del mismo se le denomina "Avenida de Diseño". Para la determinación de este se utiliza la información obtenida por el estudio hidrológico y se añadan los conceptos como riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra entre otros semejantes. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.2.12. Fenómeno El Niño**

Es el calentamiento anómalo de la temperatura que se produce en el agua del Pacífico Oriental, que repercute en el clima de diferentes lugares del mundo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

La presencia de estas aguas definidas como cálidas en las costas peruanas, es una manifestación que se presenta muchas veces y que tiene una duración de varios meses. Ahora conocemos que esta situación marino-costero ocurre cada cierto número de años, presentándose como cambios que ocurren en las capas superficiales y subsuperficiales del océano. Esto está estrechamente relacionado a interacciones con la atmósfera que se producen en el Océano Pacífico ecuatorial, a miles de kilómetros de la costa peruana en el Océano Pacífico. (Senamhi, 2021)

### 2.2.13. El Niño costero

Es un evento climático definido como anómalo que posee altas temperaturas del mar en la costa norte del Perú que suele coincidir con el FEN y con el Niño global. (Metzger Terrazas, 2019)

### 2.2.14. Transporte de sedimentos

Segundo el Manual de Ingeniería de Ríos (1996) sedimento se define a todas las partículas que se encuentran en una cuenca producidas por el suelo y la roca y las cuales son arrastradas por una corriente de agua.

Dependiendo de su comportamiento se puede diferenciar en dos grandes grupos: los sedimentos de fondo y el de lavado.

El transporte unitario de sedimentos se expresa a raíz de su peso o en volumen a través de la siguiente expresión:

$$g_x = \gamma_s q_x \quad (3)$$

Donde el valor de  $g_x$  se expresa en  $\frac{kgf}{s} \cdot m$  o  $\frac{N}{s} \cdot m$  y si se expresara en volumen sus unidades serían  $\frac{m^3}{s} \cdot m$ . El subíndice x depende del tipo de transporte.

El volumen real  $V_x$  se entiende en relación a la siguiente fórmula

$$V_x = \frac{q_x b \Delta t}{1-n} = \frac{q_x b \Delta t}{\gamma_s (1-n)} = \frac{Q_x \Delta t}{(1-n)} = \frac{G_x \Delta t}{\gamma_s (1-n)} \quad (4)$$

Donde:

$q_x; g_x$	Transporte unitario de sedimentos expresado en volumen o peso
$Q_x; G_x$	Transporte de sedimentos que pasa por una sección completa de un caudal expresado en volumen o en peso
$\Delta t$	Intervalo de tiempo
$V_x$	Volumen real ocupado por los sedimentos que pasan por una sección en un tiempo determinado
$n$	Porosidad del material depositado

$b$  Ancho del fondo del cauce

Conviene siempre tener en consideración la relación de vacíos con la porosidad

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (5)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (6)$$

Y si se conociera la relación de vacíos la ecuación se escribe:

$$V_x = q_x b \Delta t (1 - e) = \frac{q_x b \Delta t}{\gamma_s} (1 - e) = Q_x \Delta t (1 - e) = \frac{G_x \Delta t}{\gamma_s} (1 - e) \quad (7)$$

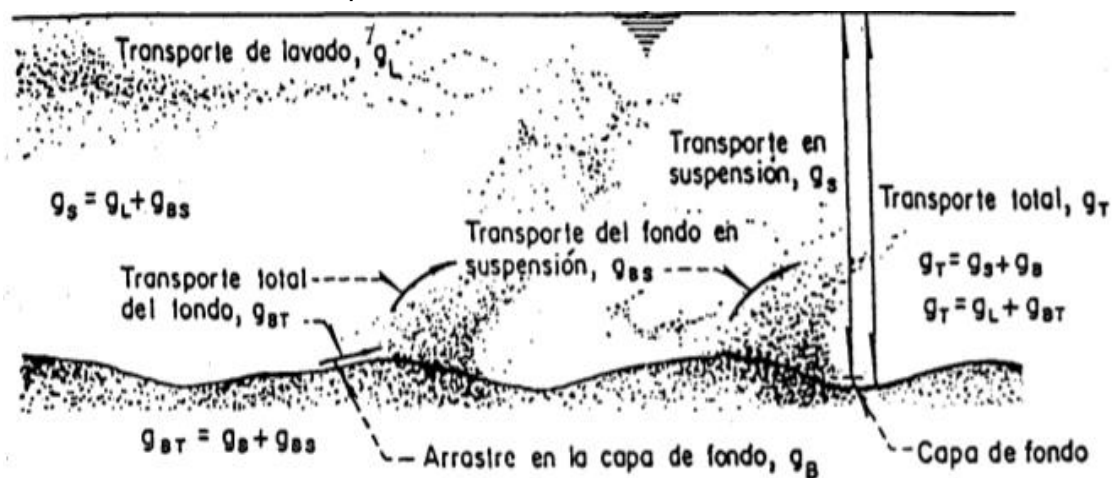
Al momento de calcular el transporte del fondo en suspensión, se suele basar en el ancho de la sección, y debido a eso se trabaja con el ancho de la superficie libre  $B$  o el ancho medio  $B_m$ .

$$B_m = \frac{b+B}{2} \quad (8)$$

Para facilitar el cálculo del transporte de sedimentos se busca entender las seis diferentes clases de transporte: Arrastre en la capa de fondo, transporte de fondo en suspensión, transporte de lavado, transporte en suspensión y transporte total.

**Figura 7**

*Diferentes formas de transporte de sedimentos*



*Nota.* Transporte de Sedimentos Capítulo 10 del Manual de Ingeniería de Ríos.



En la figura 7 es posible identificar las diferentes formas de transporte de sedimentos que se presentan a lo largo de un tramo. Y de la misma manera podemos clasificar los diferentes tipos de transporte de sedimentos y métodos que permitirán cuantificarlos tal y como muestra la figura 8.

**Figura 8**  
Clasificación de los diferentes transportes de sedimentos y métodos para cuantificarlos

FORMAS DE TRANSPORTE				MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN				
<p>Transporte Total</p> <p><math>g_B</math> arrastre en la capa de fondo</p> <p><math>g_{BS}</math> transporte total del fondo</p> <p><math>g_L</math> transporte de lavado</p> <p>Según la procedencia de las partículas</p> <p><math>g_{BT}</math> transporte total del fondo</p> <p><math>g_L</math> transporte de lavado</p>	<p>Según el mecanismo de transporte</p> <p><math>g_S</math> transporte en suspensión</p> <p><math>g_B</math> arrastre en la capa de fondo</p>	<p>Transporte del material del fondo, <math>g_{BT}</math></p> <p><math>g_{BS}</math> transporte de fondo en suspensión</p> <p><math>g_B</math> arrastre en la capa de fondo</p>	<p>Arrastre en la capa de fondo</p>	<p>Transporte total del fondo <math>g_{BT}</math> sin separar <math>g_B</math> y <math>g_{BS}</math></p>	<p>Transporte total del fondo <math>g_{BT}</math> separando <math>g_B</math> y <math>g_{BS}</math></p>	<p>Transporte en suspensión <math>g_S</math> conocida <math>C_a</math> y <math>Y_a</math></p>	<p>Transporte de lavado <math>g_L</math> a partir de una concentración <math>C_L</math> conocida en <math>Y_a</math></p>	
Subcap. 10.3	Subcap. 10.4	Subcap. 10.7	Subcap. 10.6	Subcap. 10.6.6 ecs.				

Nota. Transporte de Sedimentos Capítulo 10 del Manual de Ingeniería de Ríos.

### 2.2.15. Sistema de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como un sistema el cual tiene la finalidad de ser utilizado para describir y además de calificar la Tierra y otras geografías con el fin de mostrar y analizar la diferente información a la que se hace referencia espacialmente (Metzger Terrazas, 2019).

### 2.2.16. Tiempo de concentración

Según Metzger Terrazas (2019) se define como el tiempo necesario por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente con mayor lejanía hasta el desfogue de la

cuenca por el tiempo transcurrido y el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye al desfogue. Esta se formula en base a la siguiente expresión:

$$t_c = 0.01947xL^{0.77}xS^{-0.385} \quad (9)$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Máxima Longitud de recorrido (m)

$S$  = Pendiente Media de la cuenta

### 2.2.17. Modelación de cuencas

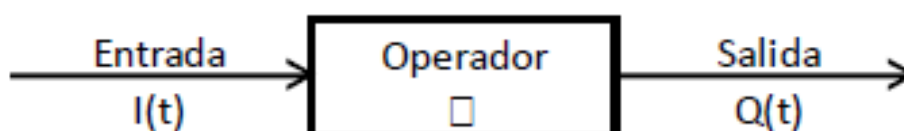
Según Cabrera (2019) un ciclo hidrológico se puede manejar como un sistema que posee elementos como lo son la precipitación, evaporación, escorrentía y otras diversas fases del ciclo hidrológico, los cuales pueden agruparse en subsistemas del ciclo total.

Éste “sistema hidrológico” tiene una estructura definida en el espacio, con una frontera, que acepta agua y otras diferentes entradas y actúa en ellas internamente y produce salidas.

Éste “sistema hidrológico” tiene una estructura definida en el espacio, con una frontera, que acepta agua y otras diferentes entradas y actúa en ellas internamente y produce salidas, así como se ve en la figura 9.

**Figura 9**

*Esquema de un sistema hidrológico, mostrando entradas y salidas*



*Nota.* Extraído de Chow (1994).

### 2.2.18. El proceso de modelación

El primer paso en cualquier modelado hidrológico es crear un "modelo perceptivo", es decir, identificar los principales procesos y variables involucradas en la generación de caudales. Este proceso consiste en observar y analizar las propiedades del suelo, subsuelo y clima, como elementos principales, y en distinguir los procesos más importantes que intervienen en la formación de la escorrentía: evaporación, evaporación, infiltración, humedad del suelo y flujo subterráneo.

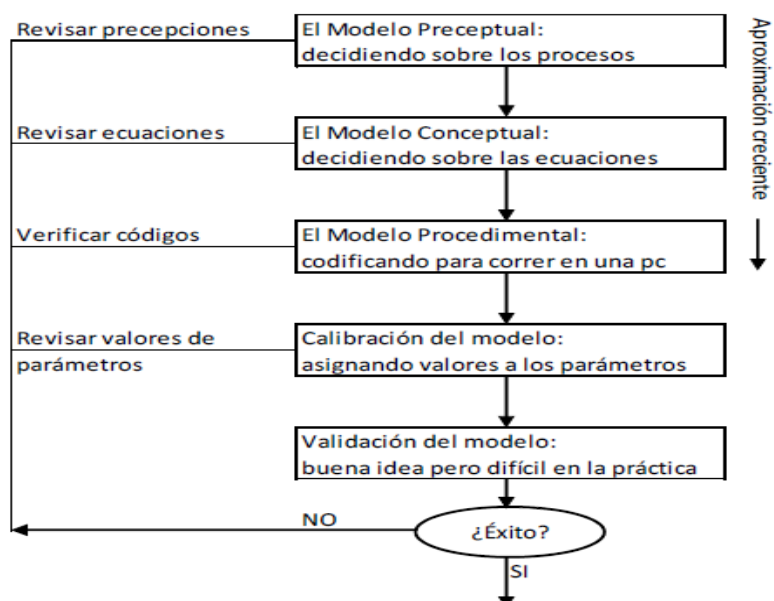
El proceso de calibración es el paso en el que se establecen valores para todos los parámetros del modelo para que "la salida del modelo coincida mejor con los datos históricos registrados".

Este "mejor ajuste" implica el uso de herramientas estadísticas para encontrar formas de reducir la diferencia entre los valores simulados y registrados, a través de procedimientos de optimización. Algunas de las escalas utilizadas son la raíz del error cuadrático medio, el criterio de Schultz, el coeficiente de Nash-Sutcliffe y el balance de masa, entre otras.

Con esto se presenta el esquema de un sistema hidrológico a través de la figura 10 el cual nos permite identificar un correcto procedimiento para un modelamiento hidrológico.

**Figura 10**

*Esquema de un sistema hidrológico, mostrando entradas y salidas*



*Nota.* Obtenido de Beven (2012).

### 2.2.19. Análisis de datos dudosos

Según Te Chow y otros, (1994), los datos dudosos (también llamados valores atípicos) son puntos de datos que se desvían de la dirección de la información restante. Por ello, la persistencia u omisión de estos datos puede afectar el tamaño de los parámetros estadísticos de procesamiento de la información calculados. Esto se debe a errores en la toma de registro o en la recolección de datos, causando dificultad en el momento de ajustar una distribución de los datos.

En el método de *Water Resource Council* se recomienda la verificación de datos dudosos lo cual consiste en determinar un rango de valores utilizando una ecuación de frecuencia del siguiente tipo:

$$\text{Precipitación máxima aceptada Límite superior} \quad PH = 10^{x_u} \quad (10)$$

$$\text{Precipitación máxima aceptada Límite inferior} \quad PL = 10^{x_L} \quad (11)$$

$$X_L = \bar{X} - K_n S \quad (12)$$

Donde:

PH = Límite de confianza superior.

PL = Límite de confianza inferior.

$\bar{x}$  = promedio de los logaritmos de la muestra.

S = Desviación Estándar de los logaritmos de la muestra.

$K_n$  = Valor para la prueba de datos dudosos que depende del tamaño de la muestra.

En la tabla 03 se muestra los valores que toma  $K_n$  según (Te Chow, R. Maidment, & W. Mays, 1994).

**Tabla 3**  
Valores de  $K_n$  para la Prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$	Tamaño de muestra $n$	$K_n$
10	2,036	24	2,467	39	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,689	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

Nota. Adaptado de Te Chow, R. Maidment, & W. Mays (1994)

### 2.2.20. Avenida de diseño y período de retorno

Para el diseño de una estructura hidráulica, es necesario realizar un estudio hidrológico cuyo objetivo es la obtención de la máxima avenida o el caudal máximo en condiciones de crecida. En la presente investigación se aplicará lo descrito para la propuesta del dique.

### 2.2.21. Análisis de frecuencia de información hidrológica

En los sistemas hidrológicos se afectan los eventos extremos, lo cual está directamente relacionado con la frecuencia de su ocurrencia.

El análisis de frecuencia de la información hidrológica tiene como objetivo relacionar la magnitud de los eventos extremos con la frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad.

La finalidad del análisis de frecuencias es estimar las precipitaciones, intensidades o los caudales máximos, de acuerdo al caso, y para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Caudal**

Es una cantidad específica de agua que pasa por cierto punto específico en un sistema hidráulico en un momento definido. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.2. Clima**

Es un estado la atmósfera, que puede ser normal o medio durante un periodo temporal dado dentro del año y en cierta posición geográfica dada. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.3. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia**

Es un instrumento para el diseño que relaciona la intensidad de la lluvia con la duración y así mismo con la frecuencia de la misma es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.4. Fenómeno el niño (fen)**

Este es el fenómeno original es descrito en el Perú a fines del siglo XIX. El evento climático anómalo de muchos meses de duración consiste en altas temperaturas del mar y lluvias intensas en la costa norte del Perú. (Metzger Terrazas, 2019)

### **2.3.5. Hec-Hms**

Es un sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center), en los sistemas hidrológicos se afectan los eventos extremos, lo cual está directamente relacionado con la frecuencia de su ocurrencia. Permite simular la respuesta que tendría una cuenca fluvial ante la escorrentía, luego de una lluvia, al representar la cuenca como un sistema ligado por componentes hidrológicos e hidráulicos. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.6. Hec- Ras**

Un sistema de modelado desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica que permite simular la respuesta del caudal de agua a través de ríos naturales y otros cauces. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.7. Hidrograma**

Gráfico donde se puede ver el comportamiento del caudal acumulado durante una tormenta a lo largo del tiempo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.8. Intensidad**

Es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.9. Periodo de Retorno**

Es el tiempo promedio del valor del caudal pico o precipitación donde es igualado o superado una vez cada "t" años. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.10. Precipitación**

Colección de partículas que caen en diferentes formas como lluvia, llovizna, nieve, gotas de nieve, aguanieve y granizo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)

### **2.3.11. Riesgo**

Colección de partículas que caen en diferentes formas como lluvia, llovizna, nieve, gotas de nieve, aguanieve y granizo. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2021)



## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y nivel de la investigación

El tipo de estudio que se emplea es de investigación aplicada ya que la investigación hará uso de los conocimientos teóricos y prácticos. Tenemos como objetivo, resolver un problema en las zonas más críticas a huaycos desembocados por la Quebrada del Diablo, para así poder llegar a analizar la mitigación de daños en la asociación La Florida.

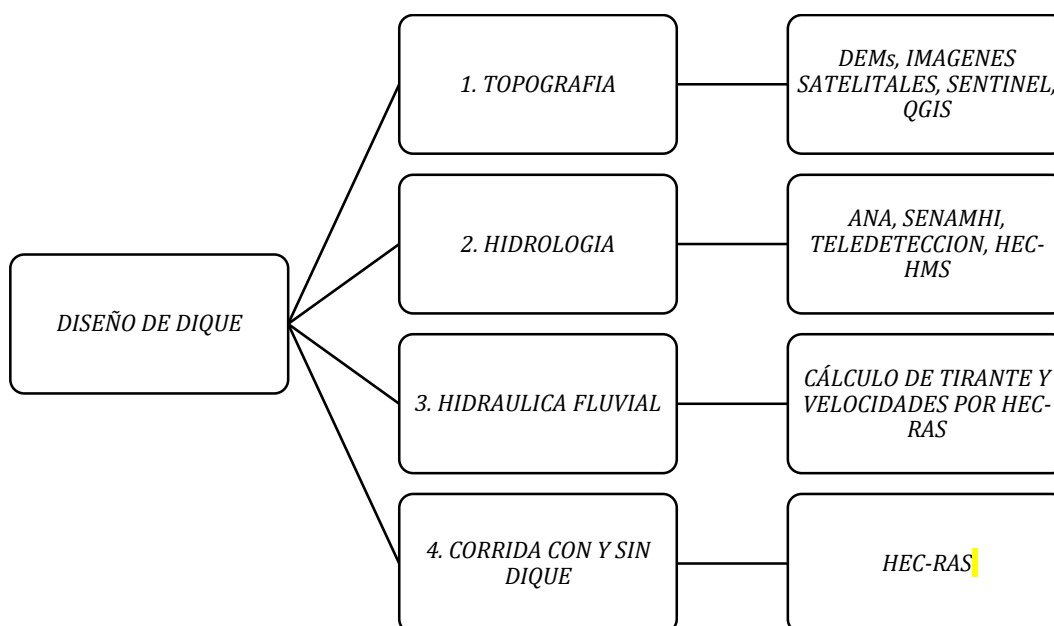
Además, podemos mencionar que el diseño de investigación se trabajará de forma descriptiva ya que la finalidad del proyecto de investigación es verificar las condiciones actuales y las características reales plasmadas en la Quebrada del Diablo, con un nivel de investigación aprehensivo y comprensivo, ya que analizando los datos obtenidos se puede analizar la mitigación de daños del modelamiento hidráulico con y sin dique.

### 3.2. Acciones y Actividades

En la figura 11 se identifica los pasos necesarios para la realización del diseño de un dique basándonos a través de la topografía, hidrología, hidráulica fluvial y la corrida con y sin el dique tal y como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 11**

*Actividades a desarrollar*



### **3.2.1. Topografía**

Primero se obtendrá la información en base a imágenes satelitales que nos servirá de apoyo para la generación del Modelo Digital de Elevación (DEM), esto nos permitirá la delimitación de microcuencas de la Quebrada del Diablo, mediante programas como el QGIS que es un software que trabaja con información de imágenes satelitales que facilitan el reconocimiento de la zona en cuestión y programa Hec-HMS. Lo que se busca es obtener los puntos críticos de la cuenca para poder así analizarlo en base a los datos pluviométricos que obtengamos. Una vez finalizada esta primera parte, se continuará con la disposición de datos de entrada para la obtención del hidrograma líquido para cada periodo de retorno

### **3.2.2. Hidrología**

En base a los datos obtenidos como precipitaciones dadas por estaciones pluviométricas del SENAMHI, ANA y diferentes organismos de recolección de datos y teledetección podremos usar software como el HEC-HMS además del apoyo de la herramienta Microsoft Excel para el tratamiento de datos que nos facilitara el proceso para poder diseñar un dique con los datos más precisos para el tiempo de retorno de las lluvias críticas.

### **3.2.3. Hidráulica Fluvial**

Definir modelo 1D o 2D Formula Saint Vennal

### **3.2.4. Tránsito de avenida**

Modelo de ruteo (Muskingum - kunge) comparar hidrograma de agua vs huayco

### 3.3. Población y/o muestra de estudio

En la presente investigación, se determinó como población a toda la longitud y área del cauce de la Quebrada del Diablo con 31,67km y 52,30km<sup>2</sup> respectivamente, por su alto grado de peligrosidad, afecta todas las áreas vulnerables, en las provincias de Ciudad Nueva y Ciudad Nueva Alianza Alturas.

El tipo de muestra utilizado en esta encuesta es el tipo de muestra no probabilístico, elegido por su terreno y accesibilidad.

### 3.4. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Diseño de Dique

Variable Dependiente: Mitigación de daños

**Tabla 4**  
*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensión	Indicadores
Variable Independiente: Diseño de Dique	Estudios Topográficos	Curvas de Nivel (msnm)
		Perfil Longitudinal (m)
	Estudios Hidrológicos	Caudales Máximos (m <sup>3</sup> /s)
		Periodos de Retorno (años)
Variable Dependiente: Mitigación de daños	Mitigación de daños	Viviendas afectadas
	Mapas de inundación	Zonas vulnerables

### 3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos, son las distintas formas o maneras de obtener la información, los instrumentos son medios que se emplean para recoger y almacenar datos.

Se utilizaron distintos equipos y programas de ingeniería, según lo descrito a continuación:

Para los Estudios Hidrológicos:

- Arc Gis
- HEC HMS
- Microsoft Excel

Para el modelamiento hidráulico:

- Hec RAS
- Microsoft Excel
- Microsoft Word

Para el diseño del dique:

- Hec-RAS

### **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

Los pasos para implementar este estudio, como área de intervención, la Quebrada del Diablo en sus áreas antes mencionadas, incluyeron las siguientes actividades.:

- a. Recopilación de información de estudios básicos en la Quebrada del Diablo:  
Para comenzar
- b. Procesamiento de información
- c. Análisis de la información
- d. Modelamiento hidráulico
- e. Diseño de dique
- f. Análisis de los problemas planteados

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Características del ámbito de aplicación

#### 4.1.1. Área de estudio

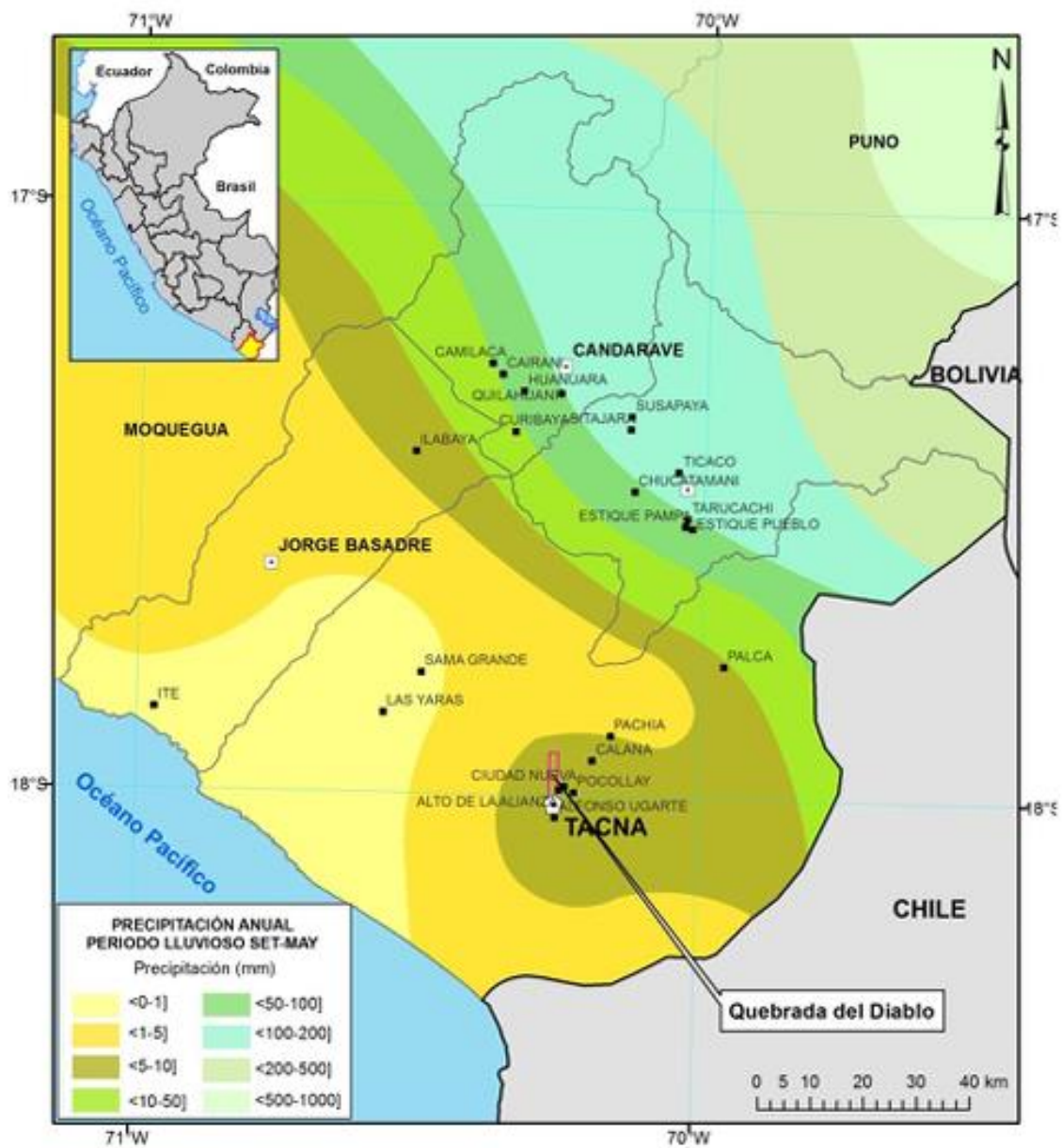
a. Ubicación

Departamento	:	Tacna
Provincia	:	Tacna
Distrito	:	Alto de la Alianza
Localidad (asociación)	:	Asociación La Florida

La provincia de Tacna, tomando como referencia el mapa de Clasificación Climática del Perú SENAMHI, correspondiente a un clima seco, un clima semicálido y húmedo, con escasas precipitaciones en todas las estaciones del año al igual que en las localidades de La Yarada, Tacna, Sama Grande, entre otras. La lluvia cae en las zonas costeras en general y continúa en los meses de agosto a septiembre. Las zonas más expuestas a la brisa marina prefieren la llovizna, que favorece el crecimiento de las plantas herbáceas (plantas de montaña). Florida, según el mapa de Isoyetas para el período lluvioso normal de septiembre a mayo (SENAMHI, 2002) ofrece precipitaciones entre 5 a 10 mm como se muestra en la siguiente figura 12.

**Figura 12**

*Isoyetas de precipitación para el período lluvioso setiembre-mayo*



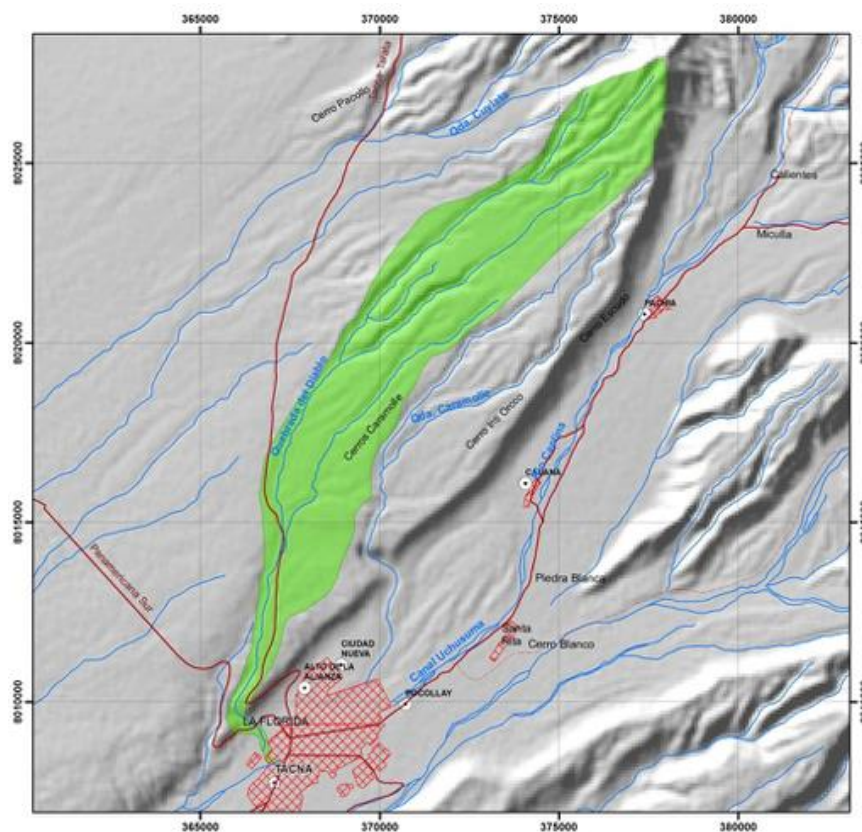
*Nota. Extraído del portal SENAMHI*

b. Ubicación hidrográfica

Unidad Hidrográfica	:	Región Hidrográfica del Pacífico
Cuenca	:	Caplina
Sub Cuenca	:	Quebrada del Diablo

De la misma manera obtenemos una imagen que facilita la identificación de la ubicación de la cuenca de la Quebrada del Diablo, así como se aprecia en la Figura 13.

**Figura 13**  
*Ubicación de la cuenca Quebrada del Diablo*



*Nota.* Extraído de SENAMHI.

#### **4.1.2. Accesibilidad**

Para acceder a la Quebrada del Diablo, desde el Centro Cívico de Tacna se emplea un camino que lleve hasta la plaza “La Florida”, en el distrito de Alto de la Alianza, la zona de estudio está ubicado a unos 300 metros al Noroeste de dicha plaza. El tiempo estimado del recorrido es de aproximadamente 15 min.

Estos datos cualitativos se pueden apreciar en la tabla 5, donde se muestra la distancia desde el paseo Cívico de Tacna y Plaza de Florida hasta la zona de estudio.

**Tabla 5**  
Distancia al punto de estudio

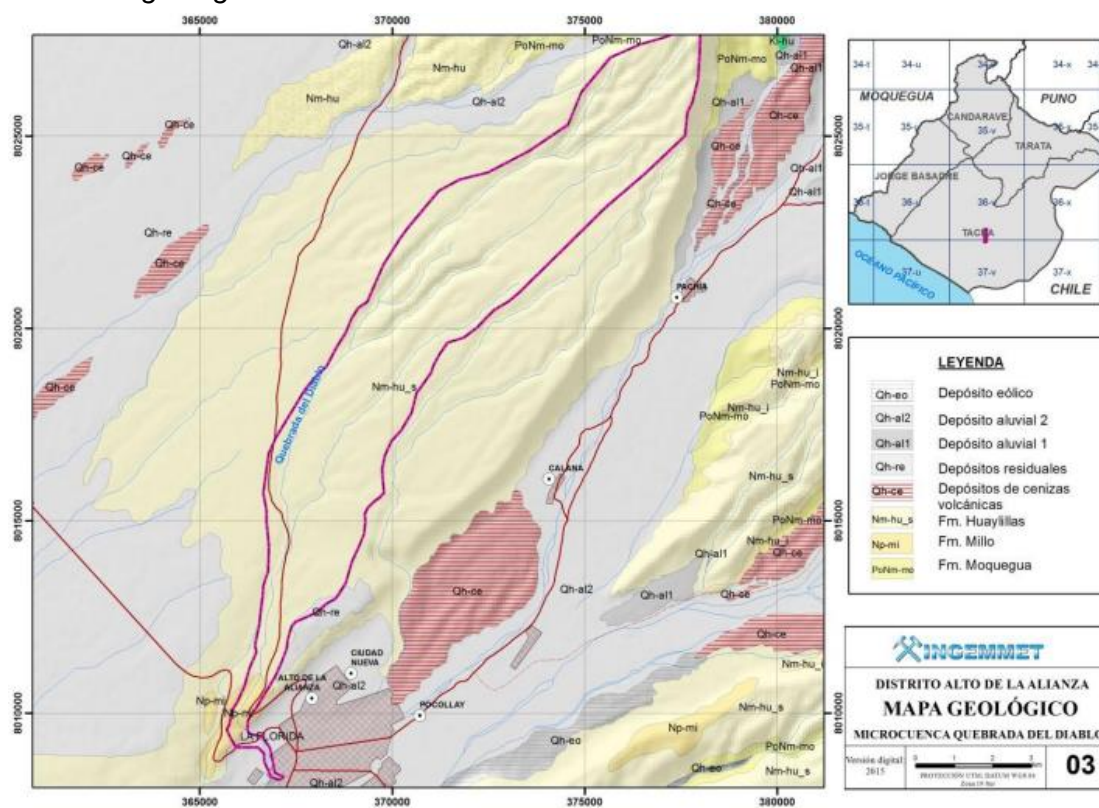
	Tramo	Km.	Tipo de Vía	Duración	
	Paseo Cívico de Tacna	Plaza la Florida	3,3	Asfaltada	12 min
	Plaza la Florida	Quebrada del Diablo	0,3	Asfaltada	3 min

Nota. Extraído de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2020).

## 4.2. Estudios geológicos

En Luque Poma & Gómez Velásquez (2016) elaboraron un informe técnico denominado “Evaluación Geológica – Geodinámica en la Quebrada del Diablo” donde se describen detalladamente los parámetros geológicos y geomorfológicos de la quebrada en particular, logrando la elaboración de un mapa de unidades geológicas detalladas en la figura 15 que se pueden encontrar en la Quebrada del Diablo.

**Figura 14**  
Unidades geológicas en la microcuenca de la Quebrada del Diablo



Nota. Extraído de INGEMMET, 2011



En la estratigrafía elaborada por Luque Poma & Gómez Velásquez (2016) la Quebrada del Diablo posee cinco (05) formaciones geológicas bien definidas, las cuales son:

**a. Formación Huaylillas (Nm-hu\_s)**

Según Wilson & Garcia (1962) Esta formación geológica cubre gran parte del tetragono de Pachía y Palca, con espesores variables, donde se encuentran Huaylillas desde unos pocos metros hasta los 250 metros. Según Acosta Pereira et al. (2012) en ambos lados de la Quebrada del Diablo aparecen formaciones geológicas de Huaylillas. Esta formación geológica está compuesta por areniscas arcaicas, canales de aglomerados, yesos y rocas ígneas.

**b. Formación Millo (NP-mi)**

Según Acosta Pereira et al. (2012) la formación geológica de tipo Millo se compone de sucesiones de conglomerados polimícticos del Mioceno superior al Plioceno inferior. Principalmente esta formación se encuentra en la parte baja de la micro-cuenca, es decir en el fondo de la quebrada. Este tipo de conglomerados usualmente se encuentran en Planicies Costeras. En consecuencia, los sedimentos que se encontraron en la quebrada pertenecen a la actividad dinámica propia del río Caplina.

**c. Depósitos de cenizas volcánicas (Qh-vI)**

Según Acosta Pereira et al. (2012) se encontraron depósitos de cenizas y toba volcánico en forma de un manto tenue discontinuo sobre terrazas y otros depósitos. Este tipo de formación geológica carece de una estratificación certera y se representa como una masa homogénea. Sin embargo, esta se observó esta formación a cierta distancia debajo de la superficie de la micro-cuenca y con una formación más compacta de textura tipo toba.

#### **d. Depósito aluvial (Qh-al2)**

Según Acosta Pereira et al. (2012) los depósitos aluviales que se encontraron en el valle de Tacna provenían de las partes altas de la Cordillera Occidental y estos se asentaban en las quebradas de Caramolle y del Diablo. Se determinó que, este tipo de formación geológica se encuentra compuesto por horizontes de arenas con limos casi compactadas, el grosor de esta formación era variable ya que, teóricamente estas se encuentran en los márgenes del río y suelen ser removidas por crecidas de ríos.

#### **e. Depósitos antropogénicos (Q-an)**

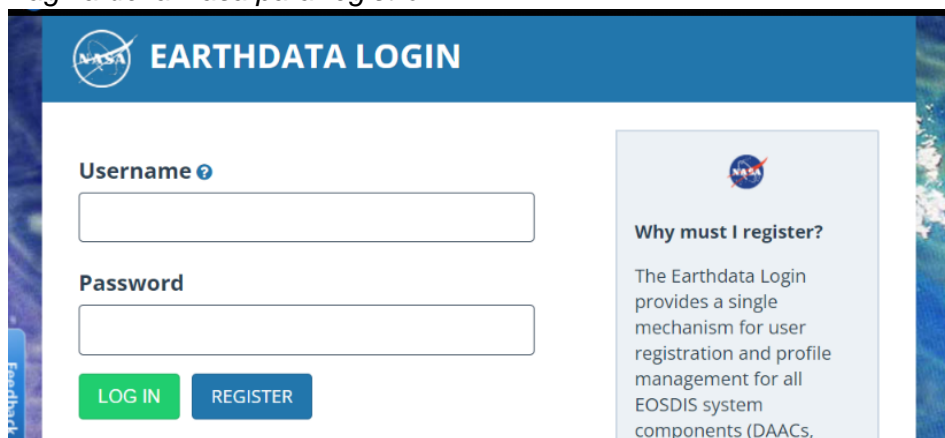
Según Acosta Pereira et al. (2012) se encontraron varios tipos de esta formación dentro del cauce de la Quebrada del Diablo, ya que este tipo de depósitos están generados por acción del hombre. Entre las más recurrentes formaciones de tipo antropogénicos se encontraron formaciones geológicas causadas por desmonte y basurales.

### **4.3. Estudios topográficos**

#### ***4.3.1. Modelamiento de elevaciones digitales***

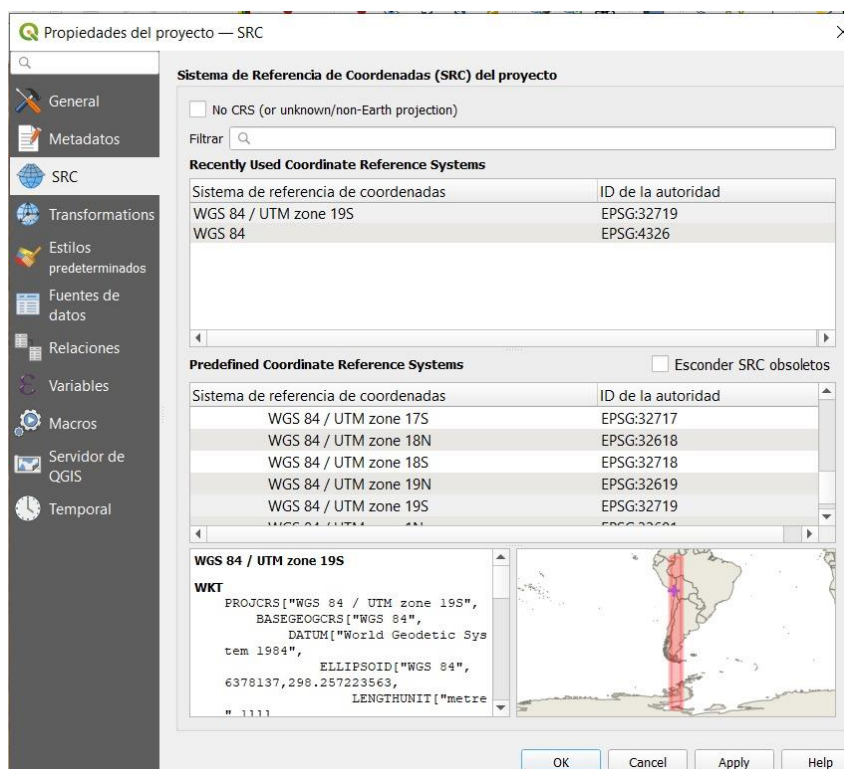
Se utilizará el software QGIS, el cual nos ayuda para la gestión de datos satelitales y poder de esta manera realizar el modelamiento de la topografía digital y delimitar la cuenca. Para empezar, debemos registrarnos en el siguiente enlace: <https://urs.earthdata.nasa.gov/> como se visualiza en la siguiente figura 16, lo cual nos permitirá el acceso a las imágenes satelitales obtenidas por la Nasa.

**Figura 15**  
 Página de la Nasa para registro



Esta página web proporciona acceso para la obtención de imágenes Digital Elevation Model (DEM), para ello primero se debe ubicar la cuenca a evaluar mediante el filtrado del Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) como se visualiza en la siguiente figura 17.

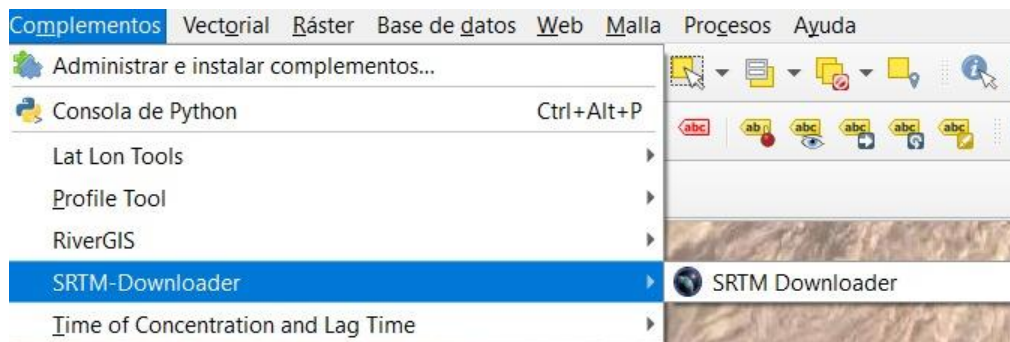
**Figura 16**  
 Ingreso de coordenadas mediante filtrado del SRC



Nota. Software QGIS

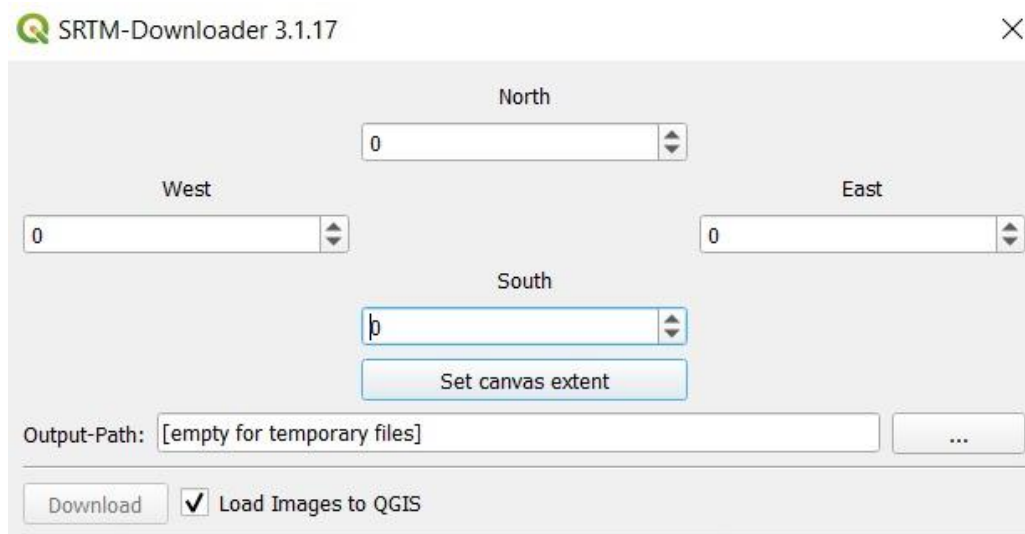
Luego, mediante el complemento SRTM-Downloader, figura 18, se ejecuta el botón “Set canvas extends” como se muestra en la figura 19; la cual completará los datos del formulario y descargando a su vez el DEM requerido

**Figura 17**  
*Complemento SRTM-Downloader*



*Nota. QGIS*

**Figura 18**  
*SRTM - Download*



*Nota. QGIS*

Finalmente, para esta primera etapa se obtiene el DEM como resultado de la vinculación externa a la data proporcionada por la Nasa, dándonos así la siguiente figura 20. A partir de aquí se definirán las cuencas en el área de investigación.

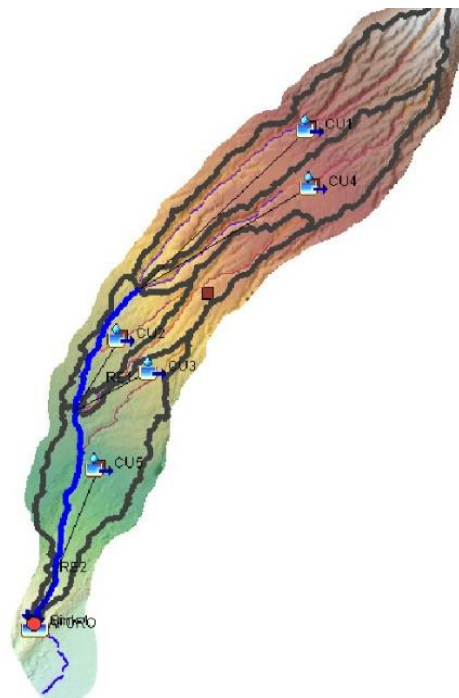
**Figura 19**  
*DEM descargado mediante SRTM*



#### **4.2.2. Procesamiento de información**

Para el procesamiento del DEM obtenido en el QGis en el punto anterior, lo exportamos al software de Hec-HMS, donde generamos la silueta de las cuencas, como se muestra en la Figura 21 mediante el DEM denominado "terrain".

**Figura 20**  
*Máscara subbasin donde se definen las sub-cuencas*



Este resultado de la Figura 21, nos permite trabajar en función de las propiedades de la cuenca, con el fin de poder definir las curvas de esta y así trabajar con los datos necesarios para la ejecución del proyecto.

Se calculó mediante el programa las áreas de las subcuencas como se muestra en figura 22 y otros datos como la longitud de flujo más larga, la pendiente de las subcuencas o la densidad de drenaje entre otros (figura 23) que servirán como datos de entrada para realizar el modelamiento hidrológico en el HEC-HMS.

**Figura 21**

*Modelo de exportación de la Quebrada del Diablo para HEC-HMS y parámetros de las subcuencas*

Subbasin	Area (KM2)
CU1	16.383
CU4	11.040
CU3	5.7335
CU2	5.2841
CU5	13.856

**Figura 22**

*Datos de las subcuencas*

Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope	Basin Slope	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM <sup>2</sup> )
CU1	14.16524	0.06106	8.07524	0.02704	10.62393	0.04346	0.27616	865.00000	0.06106	0.32242	0.50677
CU4	12.51949	0.04670	6.77629	0.03245	9.38961	0.03994	0.19829	585.00000	0.04673	0.29947	0.51755
CU3	10.61084	0.03440	6.15091	0.03252	7.95813	0.03330	0.14376	370.00000	0.03487	0.25463	0.53905
CU2	6.11673	0.04004	3.17241	0.02995	4.58755	0.03706	0.09598	245.00000	0.04005	0.42405	0.88332
CU5	11.38968	0.04186	5.63530	0.04201	8.54226	0.04017	0.09097	476.71826	0.04186	0.36877	0.52657

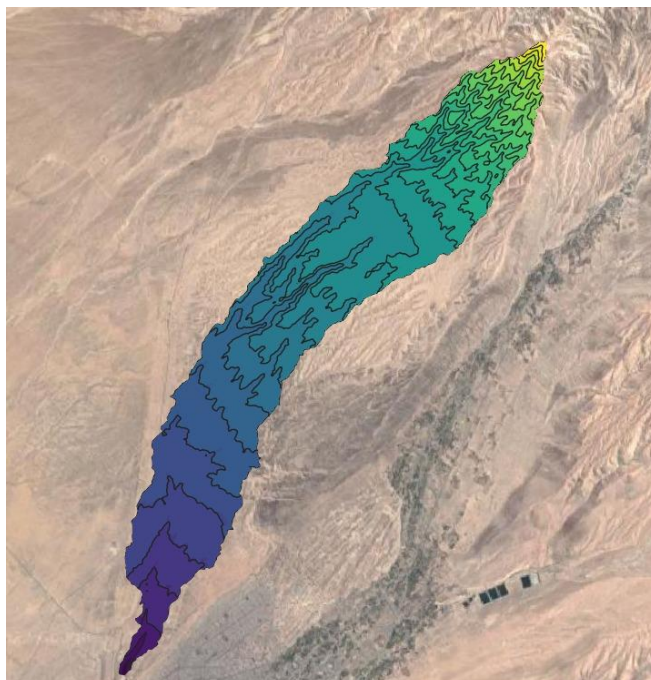
Guardaremos estos datos en un Excel para usarlos posteriormente, continuamos con la exportación de la cuenca "Subbasin" al programa QGis, ya con las subcuencas definidas se procede a realizar el corte obteniendo como resultado la Figura 24 y en el

mismo programa de QGis se genera las curvas de nivel en el DEM modificado modificado como se muestra en la Figura 25.

**Figura 23**  
*DEM resultante*



**Figura 24**  
*DEM modificado con las curvas de nivel*



La información obtenida con el software sobre la delimitación de las microcuencas de la Quebrada del Diablo y sus propiedades, serán relevantes para el modelamiento en el software HEC-RAS, luego de realizar el análisis de las precipitaciones en la estación de Calana, la cual se desarrollará más adelante.

#### **4.2.3. Curva Hipsométrica**

Se encuentra determinada por la relación del área de influencia y su cota topográfica, según el área de la cuenca esta relación irá disminuyendo debido a las características.

Una pendiente fuerte en el punto de origen y, hacia las cotas inferiores indicaría llanuras en el terreno de estudio, por otro lado, si la pendiente es muy fuerte se determinaría que hay peligro de inundación.

En la siguiente tabla 6 se puede apreciar la clasificación de los diferentes tipos de terrenos en función a la pendiente que presente

**Tabla 6**  
*Clasificación de los tipos de terreno en función de la pendiente*

Pendiente media (%)	Tipo de terreno
0-2	Plano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
Mayor a 50	Muy escarpado

*Nota.* Extraído de Gámez Morales (2010)

Posteriormente, se halla los valores como: número de datos, sumatoria, valor máximo, valor mínimo, media, varianza, desviación estándar, coeficiente variación y coeficiente de sesgo. Estos valores son calculados para ambas columnas como se muestra en la siguiente tabla 7.



**Tabla 7**  
*Parámetros Morfométricos*

	Parámetros	Unidad		
Parámetros de forma de la cuenca	Área total de la cuenca	km <sup>2</sup>	52,30	
	Perímetro de la cuenca	km	68,90	
	Longitud Máxima del Cauce	km	31,67	
	Longitud total de los ríos de diferente grado	Orden 1	km	37,2956
		Orden 2	km	17,5064
		Orden 3	km	
		Orden 4	km	
		Orden 5	km	
		Orden 6	km	
		Long. Total	km	54,80
	Ancho promedio de la cuenca	km	1,65	
	Coeficiente de compacidad	-	2,69	
	Factor de forma	-	0,0521	
	Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	33,12
		Lado menor	km	1,58
Radio de Circularidad	km	0,1384		
Parámetros de relieve de la cuenca	curva hipsométrica	-	SI	
	polígonos de frecuencia de altitudes	-	SI	
	Altitud media de la cuenca	msnm		
	Altitud media de la Cuenca (50%)	msnm	1182,290	
	Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	msnm	0,00
		Altitud mínima	msnm	0,00
		Pendiente media	m/m	0,1610
	Coeficiente masividad (Cm)	-	0,01825	
	Coeficiente orográfico	-	0,01741	
	coeficiente de torrencialidad	-	0,30595	

**Tabla 8 (continuación)**  
Parámetros Morfométricos

		Tipo de corriente	-	Intermitente
Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	Densidad de drenaje		ríos/km <sup>2</sup>	1,048
	Número de orden de los ríos	Orden 1	-	16
		Orden 2	-	9
		Orden 3	-	6
		Orden 4	-	
		Orden 5	-	
		Orden 6	-	
		N° Total de ríos	-	31
		Grado de ramificación	-	3
	Frecuencia de densidad de los ríos (Dr)		ríos/km <sup>2</sup>	0,5928
	Extensión media del escurrimiento superficial ( E )		km <sup>2</sup> /km	0,9543
	Pendiente media del río		m/m	0,045
	Altura media del río		msnm	
	Tiempo de concentración (Kirpich)		horas	3,13
	Tiempo de concentración (Temez)		horas	7,17
	Tiempo de concentración Giandotti)		horas	1,62
	Tiempo de concentración (California)		horas	2,23
Tiempo de concentración (Prom)		horas	3,54	
Lag Time (Prom)		min	258,1014	

De la misma manera obtenemos datos morfométricos de la quebrada del diablo obtenidos por el filtrado de datos en los programas QGIS y HEC-HMS expresados en la siguiente tabla 8.

**Tabla 9**  
*Parámetros Morfométricos - Quebrada del Diablo*

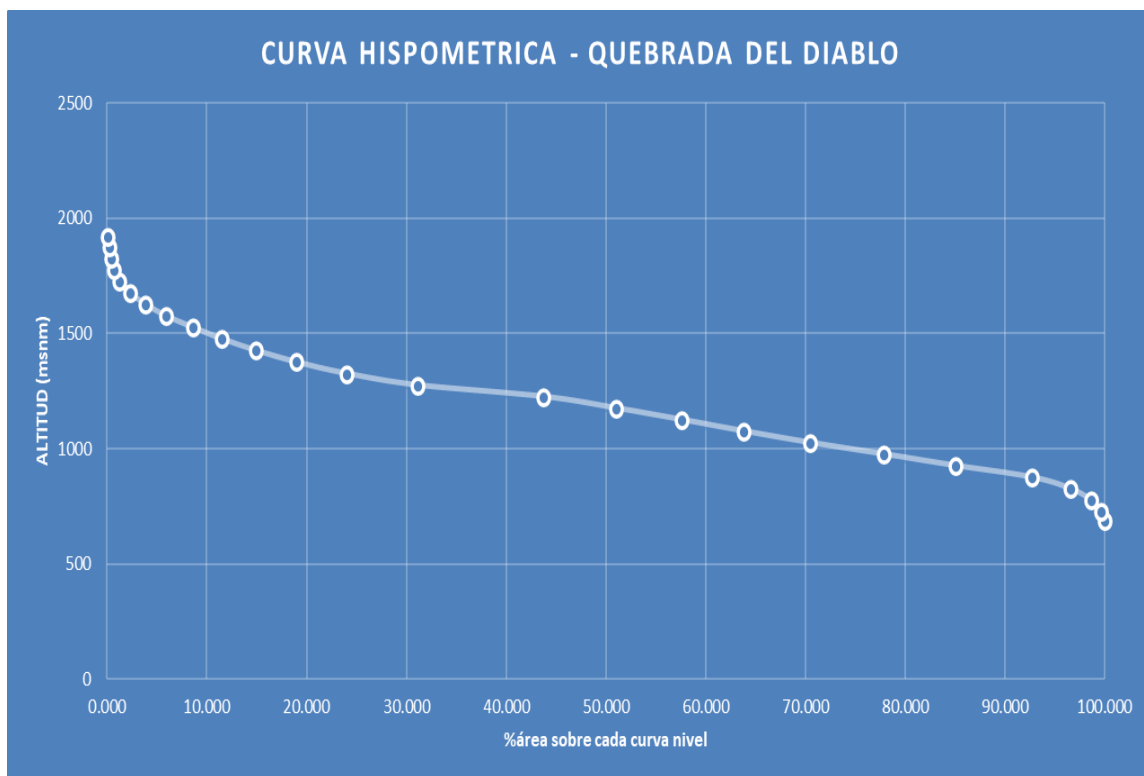
Área (m <sup>2</sup> )	Área_Acum (km <sup>2</sup> )	Altitud	Área_Parcial (km <sup>2</sup> )	Área que queda sobre la superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.	Ci*Ai
40375	0,040375	686,8832092	0,040	52,295	0,08	100,000	27,733
251325	0,251325	725,5204468	0,211	52,085	0,40	99,597	153,049
780150	0,78015	775,4980164	0,529	51,556	1,01	98,585	410,103
1848000	1,848	825,4993591	1,068	50,488	2,04	96,543	881,509
3872150	3,87215	875,5001526	2,024	48,464	3,87	92,673	1772,144
7853825	7,853825	925,4998779	3,982	44,482	7,61	85,059	3685,040
11609000	11,609	975,5001831	3,755	40,727	7,18	77,878	3663,174
15477825	15,477825	1025,500092	3,869	36,858	7,40	70,480	3967,480
18964075	18,964075	1075,500305	3,486	33,372	6,67	63,814	3749,463
22246550	22,24655	1125,499817	3,282	30,089	6,28	57,537	3694,425
25676450	25,67645	1175,498779	3,430	26,659	6,56	50,978	4031,843
29457175	29,457175	1225,500061	3,781	22,879	7,23	43,749	4633,279
36082125	36,082125	1275,499817	6,625	16,254	12,67	31,081	8450,123
39785275	39,785275	1325,499451	3,703	12,551	7,08	23,999	4908,523
42437175	42,437175	1375,499939	2,652	9,899	5,07	18,928	3647,688
44525625	44,525625	1425,5	2,088	7,810	3,99	14,935	2977,085
46323025	46,323025	1475,500061	1,797	6,013	3,44	11,498	2652,064

**Tabla 10 (continuación)***Parámetros Morfométricos - Quebrada del Diablo*

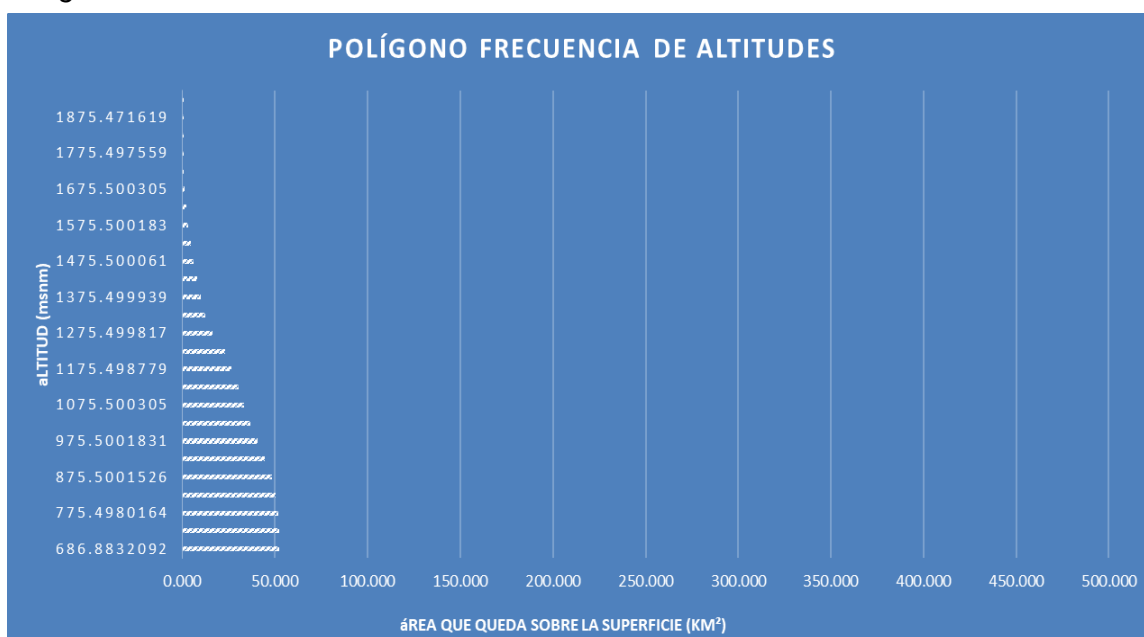
47843350	47,84335	1525,500427	1,520	4,492	2,91	8,591	2319,256
49250150	49,25015	1575,500183	1,407	3,086	2,69	5,900	2216,414
50329575	50,329575	1625,499512	1,079	2,006	2,06	3,836	1754,605
51147450	51,14745	1675,500305	0,818	1,188	1,56	2,272	1370,350
51692300	51,6923	1725,50061	0,545	0,644	1,04	1,231	940,139
51981750	51,98175	1775,497559	0,289	0,354	0,55	0,677	513,918
52118400	52,1184	1825,493408	0,137	0,217	0,26	0,416	249,454
52228425	52,228425	1875,471619	0,110	0,107	0,21	0,205	206,349
52295450	52,29545	1920,250061	0,067	0,040	0,13	0,077	128,705
			52,295			100,00	63003,91

La información procesada nos permite la obtención de datos como la figura 26, donde nos muestra la curva hipsométrica que se define como una Curva tipo B la cual se refiere a una cuenca en equilibrio y se encuentra en una fase de madurez. Además de la obtención del polígono de frecuencias de altitudes mostrada en la figura 27 .

**Figura 25**  
*Curva Hipsométrica*



**Figura 26**  
*Polígono de frecuencia de altitudes*



### 4.3. Modelación hidrológica

#### 4.3.1. Análisis de frecuencia de precipitaciones

Para este punto en la búsqueda de datos históricos de precipitaciones se hizo uso de la página web de SENAMHI para la ejecución de esta investigación. Además, se consideró una restricción sobre la antigüedad de la información en donde al menos se debe tomar como mínimo 25 años de datos históricos. Basándonos en las recomendaciones del “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” del Ministerio de Transporte. La estación de Calana es una de las estaciones más cercanas y además encontramos información histórica desde noviembre de 1963, lo que nos permitirá obtener datos más precisos en esta investigación, es por ello que se trabajará con dicha estación. Para acceder a esta data es necesario registrarse a la página de Senamhi, en la figura 28 se muestra el formulario donde se ingresa para descargar la información.

**Figura 27**

*Ingreso a Senamhi para descargar información histórica*



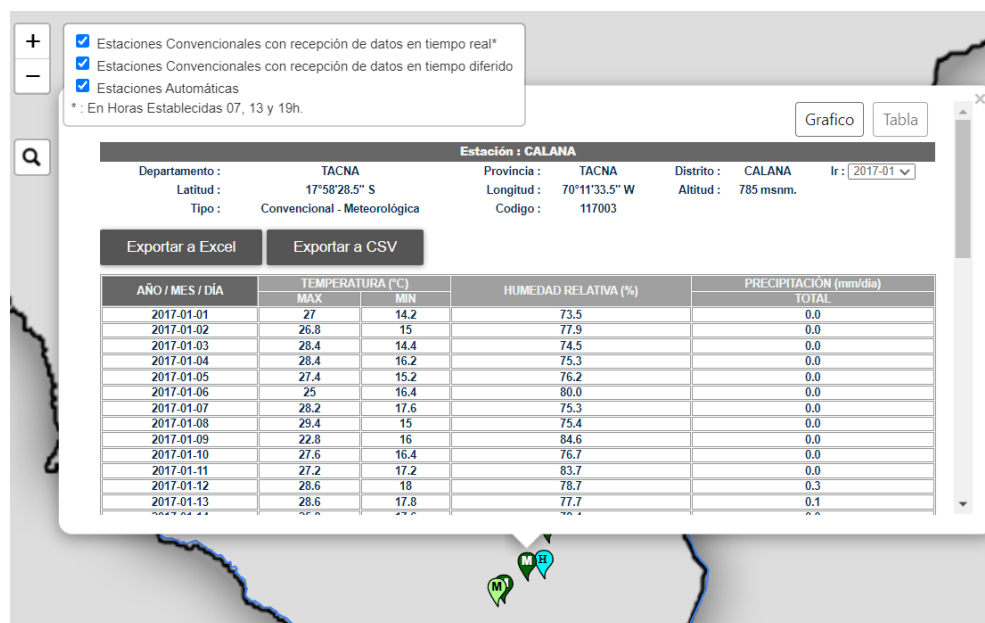
The image shows a web interface for logging into Senamhi. At the top, there is a navigation menu with four items: 'Histograma', 'Ingreso', 'Descarga', and 'Video'. The 'Ingreso' item is currently selected. Below the navigation bar, there are three input fields: 'Correo electrónico', 'Contraseña', and a CAPTCHA field containing the text 'Fo6T f'. A blue button labeled 'Iniciar sesión' is located below the CAPTCHA field. At the bottom of the form, there are two links: '¿Aún no tienes una cuenta? Regístrate' and 'Olvidé mi contraseña'.

*Nota. Senamhi*

Para la información actualizada desde el año 2017, se ingresó a la sección de Datos > Datos hidrometeorológicos en la página web de Senamhi, donde seleccionamos la estación de Calana, y como se muestra en la siguiente Figura 29, se puede exportar los datos de cada mes.

**Figura 28**

*Datos Hidrometeorológicos en Tacna – Estación de Calana*



*Nota.* Datos obtenidos del portal web de Senamhi

Todos estos datos históricos obtenidos se pasarán a una plantilla en Excel donde se hará el procesamiento de datos que nos dará los histogramas con precipitaciones según el tiempo de retorno, la tabla 9 contiene el historial de precipitaciones máximas registradas desde el año 1963 hasta marzo del presente año, de la estación de CALANA ya ordenado en la plantilla de Excel.

Para la elaboración de los histogramas, es necesario el cálculo del promedio de las máximas precipitaciones por año y a su vez el promedio de máximas precipitaciones por mes. Se muestra los diferentes histogramas de precipitaciones de diseño correspondientes a periodos de retorno de 2 años en el anexo 02, 5 años en el anexo 03, 10 años en el anexo 04, 25 años en el anexo 05, 50 años en el anexo 06 y 100 años en el anexo 07.

**Tabla 11***Precipitaciones máximas en 24 hrs(mm)*

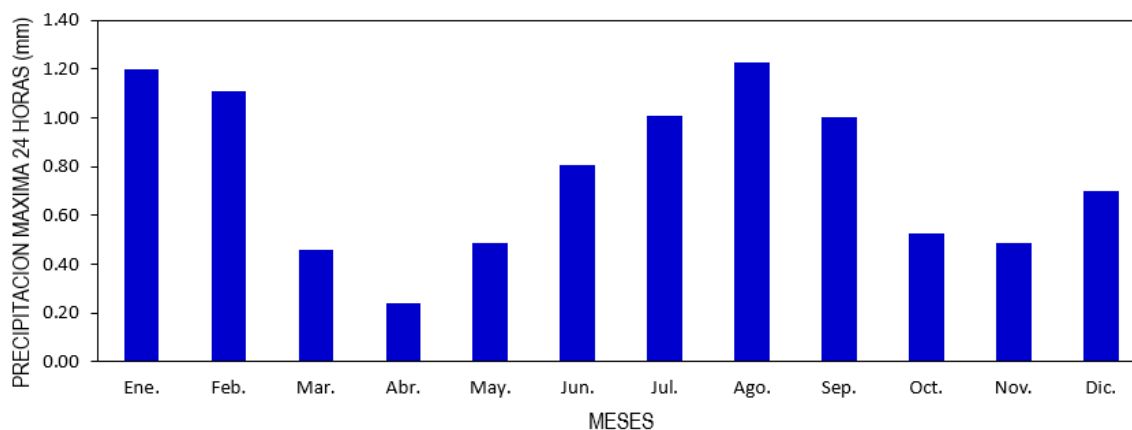
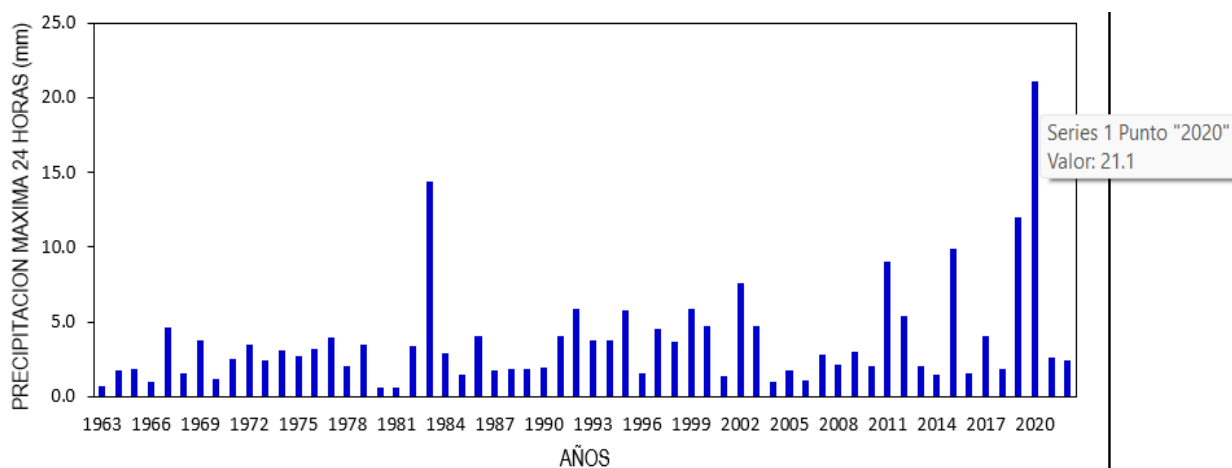
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Pp Max
1963											0,7	0	0,7
1964	0	1,7	0	0	0,01	0,01	1	0,4	0	0	0	0	1,7
1965	0	0	0	0	0	0	0	1,6	1,4	1	0,5	1,8	1,8
1966	0	0	0	0	0,01	0,2	0	0,6	0,7	0	1	0	1,0
1967	0	1,1	0	0	1,4	1,2	4,6	0,9	1,6	0	0	1,7	4,6
1968	0	1,6	0	0	0	1,1	0	0	1,6	0,8	0	0	1,6
1969	0	1	0	0	0	3,8	1,6	0	2	1	2,3	0	3,8
1970	1,2	0	0,4	0,2	1	0,1	0,9	0	0,5	0,5	0	0	1,2
1971	0,9	0,4	0	0	0,5	0,3	0,01	2,5	0,5	0	0	1,9	2,5
1972	1	0,1	0,01	0,01	1,6	0,3	2,7	1,8	3,5	0,9	1,8	1,5	3,5
1973	1,9	2,1	0,2	0	0,01	1	1,5	2,4	1	0,7	1,8	0,4	2,4
1974	3,1	0,5	0	0,7	0	0,7	0,5	0,6	1,3	0,8	1,5	0	3,1
1975	2,4	2,7	0,01	0	0	0,6	0,01	0,3	1,1	0	0	0,3	2,7
1976	1,4	2,2	0,01	0	0,01	1,9	2,4	3,2	2,4	0,7	0	3,2	3,2
1977	3,9	0,01	0	0	0	0	0,8	0,8	1,5	0,2	0,2	0	3,9
1978	0	0	0	2	0,01	0,9	0,2	0,5	0,7	0,01	0,01	0	2,0
1979	1,2	0,01	3,5	0	0	0,01	0,01	0,01	0,4	0,01	0	0	3,5
1980	0	0	0	0	0	0,2	0,6	0,5	0,01	0,01	0	0,01	0,6
1981	0,01	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0	0,6	0	0	0,01	0,6
1982	0	0,01	1,5	0	0,01	0,01	0,01	1,8	2,5	2	2	3,4	3,4
1983	10	14,4	0,4	0,5	3	2	4,3	4	0,9	0,9	1	1,3	14,4
1984	0	0	0	0	0,01	2,9	0,01	1,5	0,8	2,2	0	0	2,9
1985	0	1,5	0	0,01	0	0,4	0,01	1,3	1,2	1	0,01	0,6	1,5
1986	3,3	3,9	0	0,01	1,2	0,4	1,5	0,6	4	0,7	0,01	0,5	4,0
1987	0,5	0,01	0,7	0,1	0,2	0,3	1,7	0,3	1,5	1,3	0	0,6	1,7
1988	0,4	0	0,4	0,01	0,01	0,2	0,5	0,7	1,8	0,5	0,01	0,01	1,8
1989	0	1,8	0	0	0,01	0,9	1	1	1,8	0	0	0	1,8
1990	0	0	0	0,3	0,01	0,01	1,9	0	0	0	0	0	1,9
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	4,0
1992	0	0	0	2	5,9	1,9	0,01	0	0	0,8	0	0	5,9
1993	0	0	0	0	1,6	3,8	2,8	1	0	0	0	0,4	3,8
1994	3,8	0	0	1	0,2	1,5	0,01	1,4	0	0,4	1	0,2	3,8
1995	0	0	5,8	0	0,01	0,01	0,01	0,9	0,9	0,4	0	0,01	5,8
1996	0,01	0,8	0	0	0	0,8	0,1	1,6	0	0	0,3	0	1,6
1997	4,5	1,7	0,8	0	3,9	0,5	1,3	2,6	2,5	1	1,8	0	4,5
1998	3,7	1	0	1,1	0,2	0,4	0,8	2,7	0,8	0,6	0	0,6	3,7
1999	0,9	0,3	0,2	0	0	1	0,01	0,5	0,8	0,5	0,9	5,9	5,9
2000	4,7	0,8	0,6	0,01	0,01	1	1	0,9	0,1	0,6	0	0,5	4,7
2001	0,2	0,4	0,5	0,3	0	0,5	0,3	0,8	0,7	0,1	0,01	1,4	1,4
2002	0	2,2	4,8	1	0	0,2	7,6	0,6	0,2	0,6	0,6	0,5	7,6
2003	4,7	0	0	0,7	0,2	0,2	1,1	0,7	1,1	0,3	0,5	0	4,7
2004	0,4	0,7	0	0	0,2	0,3	0,8	1	0,7	0,1	0,1	0,2	1,0



**Tabla 12 (continuación)***Precipitaciones máximas en 24 hrs(mm)*

2005	1,3	0,2	0	0,3	0,2	1	0,2	0,7	1,7	0	0	0	1,7
2006	0,01	0,2	0	0	0,2	1,1	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	1,1
2007	0,01	0,6	0	0,1	0,4	0,9	0,3	2,8	1,4	0,3	1	0	2,8
2008	1,5	0,01	0	0,2	0,1	2,1	0,1	0,5	1,1	0,5	0	0,4	2,1
2009	0	0,5	0	0	0	0,3	2,1	1,3	0,8	0,4	2,2	3	3,0
2010	0	0,1	0	2	0,6	1,6	0,3	0	0,6	0	0	0	2,0
2011	1	9	0	0	0,6	1	1	1,1	1	0	0,5	1,5	9,0
2012	5,4	2,3	1,4	0,3	0	1,3	0,7	1,7	0,7	1	0	0	5,4
2013	0,6	0,8	2	0	0,4	0	0,6	0,8	0	0	0	0	2,0
2014	0	0	0	0	0,5	1,5	0,9	0,4	1,1	0,5	1,1	1,1	1,5
2015	0,6	0,6	2,1	0	1,7	0	1,6	9,9	1,3	0,7	2	2	9,9
2016	0,9	1,6	0	0,3	0	0	0,6	1,2	0	0,3	0	0	1,6
2017	0,3	1,9	0	0	0,3	1,2	2,4	4	1,9	0,2	2	0	4,0
2018	0,3	0,3	0,0	0,0	0,6	0,7	0,8	0,7	0,0	1,8	0,2	0,0	1,8
2019	12,0	4,3	0,0	0,1	1,0	0,4	2,0	1,1	1,3	1,5	2,0	0,1	12,0
2020	13,2	21,1	0,0			0,0	0,7	1,4	0,2	0,6	0,3	6,7	21,1
2021	0,0	0,0	0,2	0,0	1,8	0,1	0,5	2,6	0,7	0,6	0,0	1,4	2,6
2022	0,6	1,1	2,4										2,4
Prom.	1,20	1,11	0,46	0,24	0,49	0,80	1,01	1,23	1,0	0,52	0,49	0,70	1,23

Entonces, aplicando tablas dinámicas en la información ya ordenada y con promedios hallados, se logra obtener: primero, en la figura 30 el histograma de precipitaciones máximas por mes de la estación de Calana donde se puede indicar que el mes que presenta mayor lluvia es agosto, continuando con los meses de enero, febrero, setiembre y julio. Segundo, el histograma de máximas precipitaciones por año se muestra en la figura 31, donde se visualiza que el año 2022 registra mayor precipitación, lo cual es cierto por el suceso de febrero de 2020, donde según la información brindada por Senamhi el año 2020 se registra una precipitación máxima de 21,1 mm. A partir de esto iniciaremos trabajando la información.

**Figura 29***Histograma de Precipitaciones Máximas por meses en la estación de Calana***Figura 30***Histograma de Precipitaciones Máximas por años en la estación de Calana*

#### 4.3.2. Análisis estadísticos de datos hidrológicos

Una vez halladas las precipitaciones máximas por año, lo analizaremos por el método de datos dudosos, el cual se encuentra descrito en el marco teórico de la presente investigación, cuya finalidad es detectar y eliminar los datos que no corresponden a los datos cotidianos, o también llamados 'datos atípicos'.

En la tabla 10 se muestra las máximas precipitaciones y en la columna siguiente se calcula el  $\text{Log}(P_{24hr})$ , este dato nos servirá para determinar los parámetros estadísticos. Que lo detallaremos más adelante

**Tabla 13**  
*Precipitaciones máximas 24 hrs por cada año registrado*

Precipitación Máxima 24 Horas			
Nº	Año	P24hr	Log(P24hr)
1	1963	0,7	-0,155
2	1964	1,7	0,230
3	1965	1,8	0,255
4	1966	1,0	0,000
5	1967	4,6	0,663
6	1968	1,6	0,204
7	1969	3,8	0,580
8	1970	1,2	0,079
9	1971	2,5	0,398
10	1972	3,5	0,544
11	1973	2,4	0,380
12	1974	3,1	0,491
13	1975	2,7	0,431
14	1976	3,2	0,505
15	1977	3,9	0,591
16	1978	2,0	0,301
17	1979	3,5	0,544
18	1980	0,6	-0,222
19	1981	0,6	-0,222
20	1982	3,4	0,531
21	1983	14,4	1,158
22	1984	2,9	0,462
23	1985	1,5	0,176
24	1986	4,0	0,602
25	1987	1,7	0,230
26	1988	1,8	0,255
27	1989	1,8	0,255
28	1990	1,9	0,279
29	1991	4,0	0,602
30	1992	5,9	0,771
31	1993	3,8	0,580
32	1994	3,8	0,580
33	1995	5,8	0,763
34	1996	1,6	0,204
35	1997	4,5	0,653
36	1998	3,7	0,568
37	1999	5,9	0,771
38	2000	4,7	0,672
39	2001	1,4	0,146

**Tabla 14 (continuación)***Precipitaciones máximas 24 hrs por cada año registrado*

40	2002	7,6	0,881
41	2003	4,7	0,672
42	2004	1,0	0,000
43	2005	1,7	0,230
44	2006	1,1	0,041
45	2007	2,8	0,447
46	2008	2,1	0,322
47	2009	3,0	0,477
48	2010	2,0	0,301
49	2011	9,0	0,954
50	2012	5,4	0,732
51	2013	2,0	0,301
52	2014	1,5	0,176
53	2015	9,9	0,996
54	2016	1,6	0,204
55	2017	4,0	0,602
56	2018	1,8	0,255
57	2019	12,0	1,079
58	2020	21,1	1,324
59	2021	2,6	0,415
60	2022	2,4	0,380

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla anterior, se halla los valores como: número de datos, sumatoria, valor máximo, valor mínimo, media, varianza, desviación estándar, coeficiente variación y coeficiente de sesgo. Estos valores son calculados para ambas columnas como se muestra en la tabla 11 siguiente.

**Tabla 15***Parámetros estadísticos*

Parámetros Estadísticos	P24hr	Log(p24hr)
Número de datos (N)	60	60
Sumatoria	222,20	26,65
Valor Máximo	21,10	1,32
Valor Mínimo	0,60	-0,22
Media:	3,703	0,444
Varianza:	12,260	0,101
Desviación Estándar:	3,501	0,318
Coeficiente Variación:	1,058	1,396
Coeficiente de Sesgo:	2,956	0,331

### 4.3.3. Prueba de Datos Dudosos

De acuerdo al método Water Resource Council recomienda la verificación de datos dudosos que consiste en hallar un rango de valores utilizando las ecuaciones de frecuencia que se muestran:

Límite superior

$$PH = 10^{X_H}$$

$$X_H = \dot{X} + K_n S$$

$$X_H = 1,35$$

$$PH = 22,28 \text{ mm}$$

Límite inferior

$$PL = 10^{X_L}$$

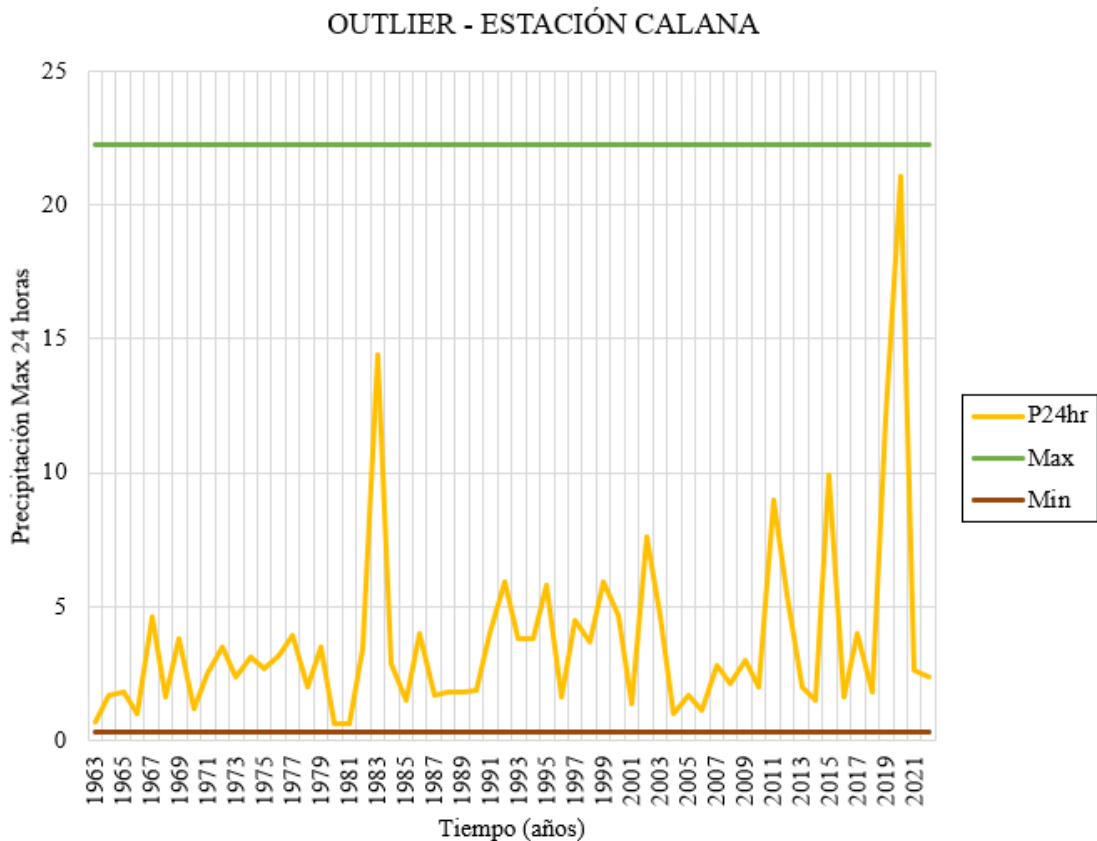
$$X_L = \dot{X} - K_n S$$

$$X_L = -0,46$$

$$PL = 0,35 \text{ mm}$$

Con los valores hallados se determina que, no existen datos dudosos alto y mínimo de la muestra. Tal como se muestra en la siguiente figura 32, en el año 2020 se presenta una precipitación máxima de 21,10mm la cual es menor al PH (límite superior) de 22,28mm. Por lo que, no es necesaria la eliminación de ningún dato obtenido y podremos continuar con la investigación.

**Figura 31**  
Outlier estación de Calana



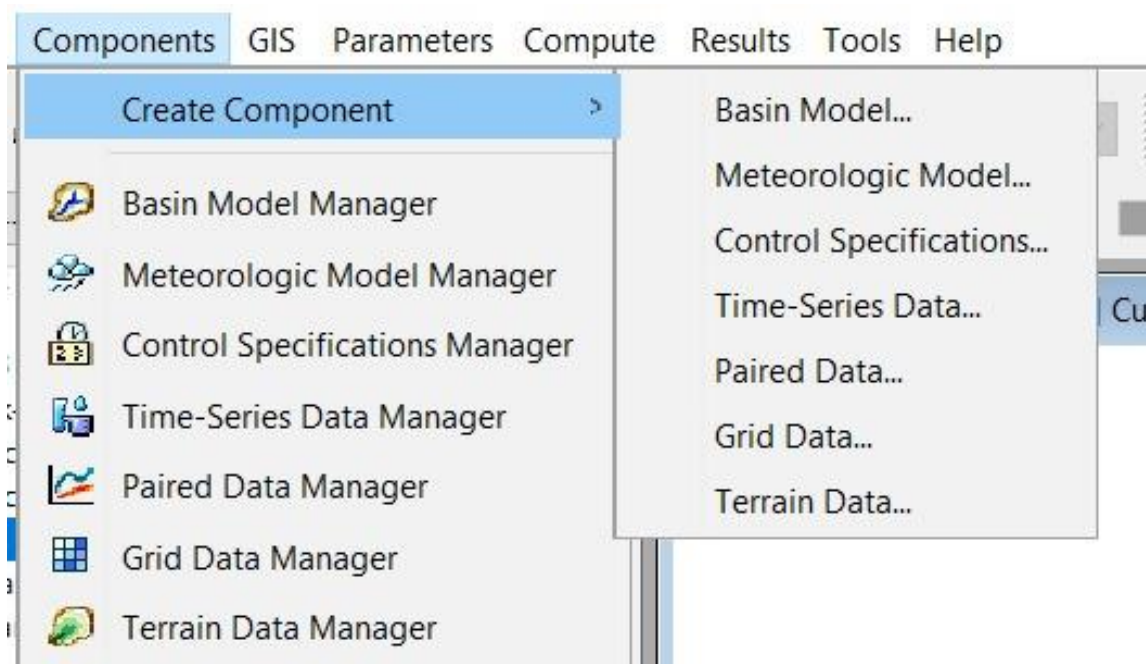
#### 4.3.4. Modelo de Precipitación

Ahora, desde el software Hec-HMS ingresaremos los datos de entrada (la información de las cuencas, datos de precipitación y módulo de control) para la corrida de esta investigación se tomarán los datos más críticos como, por ejemplo, para el tiempo de retorno de 100 años se volverá a simular el día de febrero del 2020 donde se presentó una máxima precipitación de 21,10 mm. Al mismo tiempo se generará las simulaciones para tiempos de retorno de 25 y 50 años.

Iniciamos creando los componentes necesarios donde se ingresará las precipitaciones del día a simular.

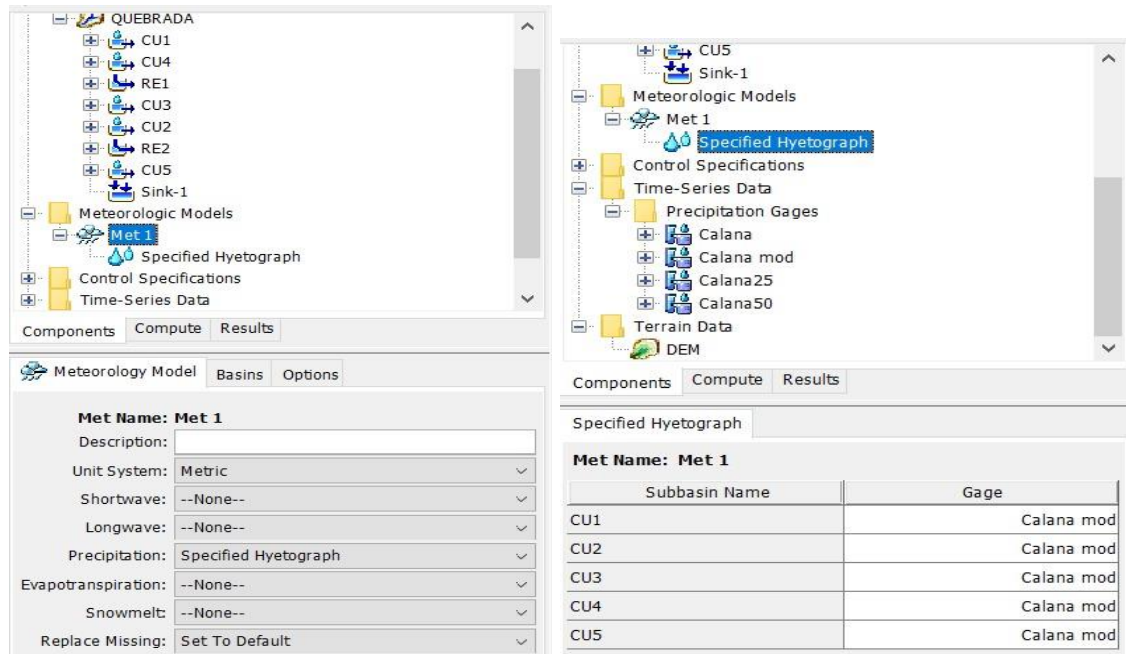
**Figura 32**

*Creación de componentes*



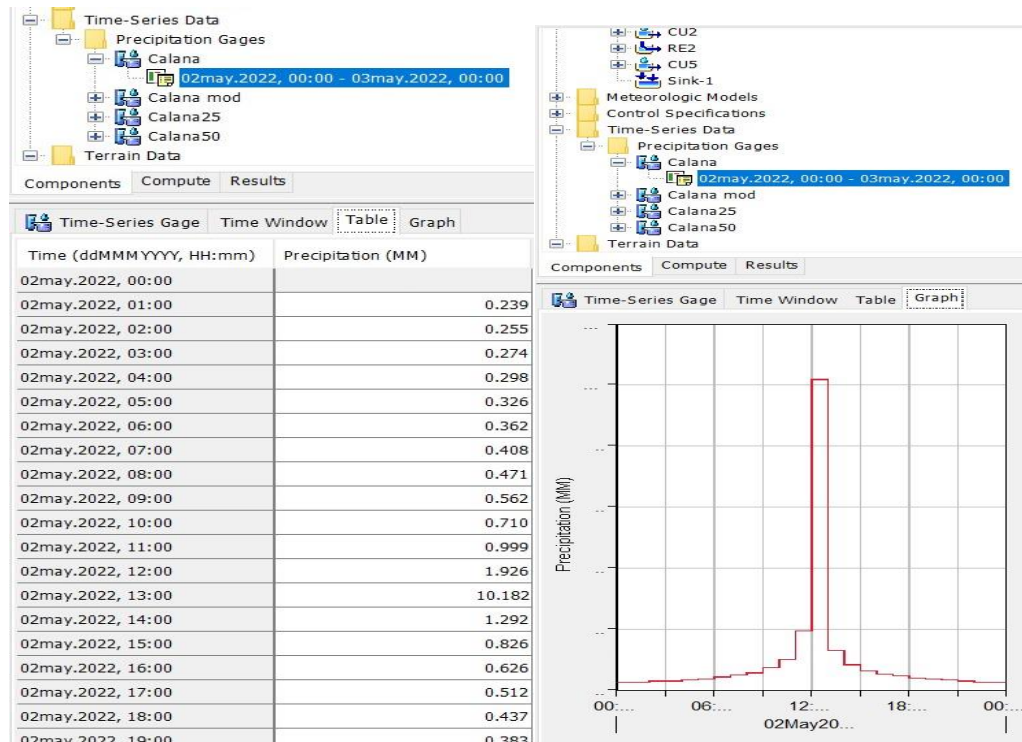
En la figura 33 se muestra el ingreso de las precipitaciones y además el histograma para su análisis, además, en la figura 34 se muestra los datos usados para el histograma de precipitaciones mostrada en la figura 35

**Figura 33**  
Ingreso de datos meteorológicos



Nota. Software Hec-HMS

**Figura 34**  
Ingreso de precipitaciones e histograma



Nota. Software Hec-HMS

#### 4.3.5. Módulo de control

En este módulo se especifica el día de inicio y fin de la simulación además del tiempo de intervalo de la simulación, como muestra la figura 36. En la figura 37 se identifica un cuadro entre caudal vs tiempo, dicho caudal es mostrado gracias al análisis de las precipitaciones en 24hr. se muestra la curva del caudal que se genera en el primer día y que se extiende a través de los siguientes días debido a la escorrentía que existe al pasar el tiempo

**Figura 35**  
Módulo de control

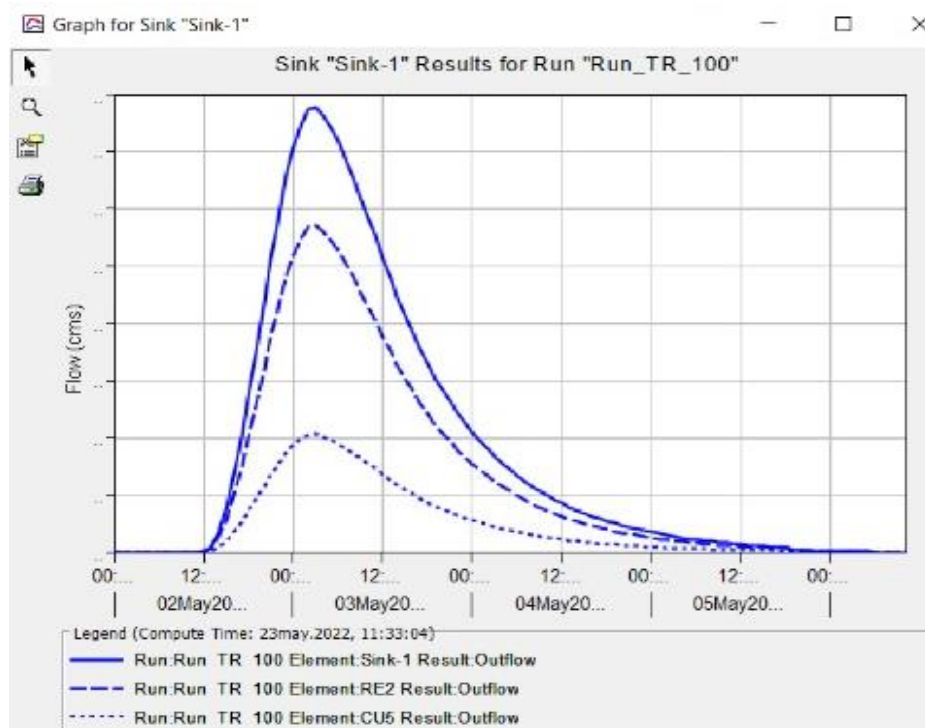
The screenshot shows the 'Control Specifications' window for 'Control\_100'. The interface includes a tree view on the left with folders for 'Meteorologic Models', 'Control Specifications', 'Time-Series Data', and 'Terrain Data'. The 'Control Specifications' folder is expanded, and 'Control\_100' is selected. Below the tree view are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The main area displays the following configuration:

Name: Control_100	
Description:	<input type="text"/>
* Start Date (ddMMMYYYY)	02may.2022
* Start Time (HH:mm)	00:00
* End Date (ddMMMYYYY)	06may.2022
* End Time (HH:mm)	10:00
Time Interval:	1 Hour

Nota. Software Hec-HMS.



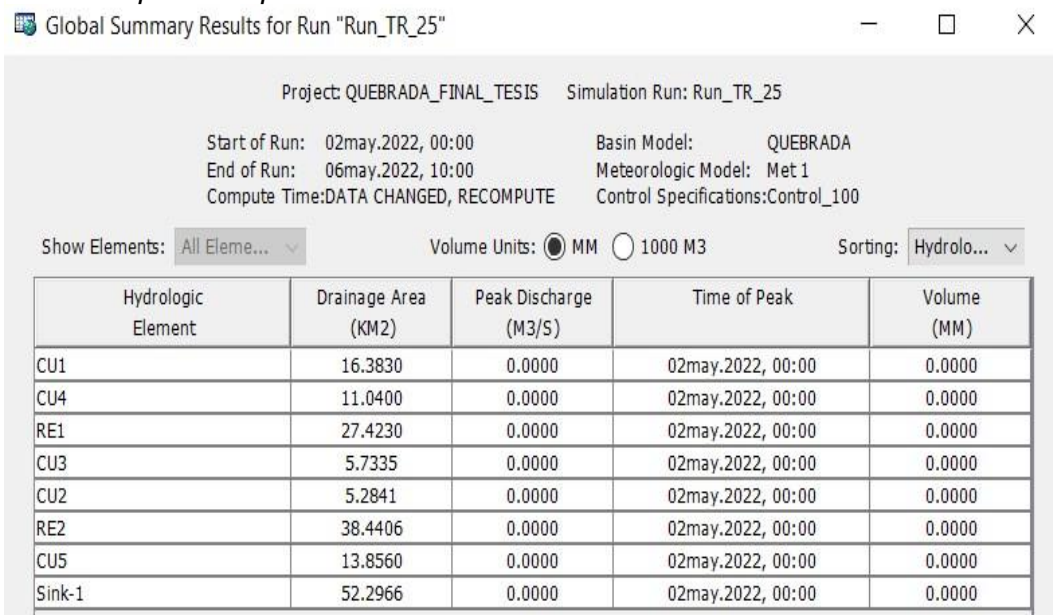
**Figura 36**  
*Hidrograma*



Nota. Software Hec.HMS.

#### 4.3.6. Determinación de caudales por software

**Figura 37**  
*Caudales para tiempo de retorno 25 años*



Nota. HEC-HMS.

En la Figura 38 los caudales que el programa determina son casi nulos, por lo que no se muestra los caudales de tiempo de retorno antes que este, por ser casi nulos.

**Figura 38**  
Caudales para tiempo de retorno 50 años

Global Summary Results for Run "Run\_TR\_50"

Project: QUEBRADA\_FINAL\_TESIS Simulation Run: Run\_TR\_50

Start of Run: 02may.2022, 00:00 Basin Model: QUEBRADA  
End of Run: 06may.2022, 10:00 Meteorologic Model: Met 1  
Compute Time:20may.2022, 08:38:35 Control Specifications:Control\_100

Show Elements: All Eleme... Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
CU1	16.3830	0.0535	03may.2022, 07:00	0.2816
CU4	11.0400	0.0361	03may.2022, 07:00	0.2816
RE1	27.4230	0.0896	03may.2022, 07:00	0.2816
CU3	5.7335	0.0187	03may.2022, 07:00	0.2816
CU2	5.2841	0.0173	03may.2022, 07:00	0.2816
RE2	38.4406	0.1256	03may.2022, 07:00	0.2816
CU5	13.8560	0.0453	03may.2022, 07:00	0.2816
Sink-1	52.2966	0.1709	03may.2022, 07:00	0.2816

Nota. HEC-HMS.

**Figura 39**  
Caudales para tiempo de retorno 100 años

Global Summary Results for Run "Run\_TR\_100"

Project: QUEBRADA\_FINAL\_TESIS Simulation Run: Run\_TR\_100

Start of Run: 02may.2022, 00:00 Basin Model: QUEBRADA  
End of Run: 06may.2022, 10:00 Meteorologic Model: Met 1  
Compute Time:20may.2022, 08:40:54 Control Specifications:Control\_100

Show Elements: All Eleme... Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrolo...

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
CU1	16.3830	0.2952	03may.2022, 05:00	1.6069
CU4	11.0400	0.1989	03may.2022, 05:00	1.6069
RE1	27.4230	0.4941	03may.2022, 05:00	1.6069
CU3	5.7335	0.1033	03may.2022, 05:00	1.6069
CU2	5.2841	0.0952	03may.2022, 05:00	1.6069
RE2	38.4406	0.6927	03may.2022, 05:00	1.6069
CU5	13.8560	0.2497	03may.2022, 05:00	1.6069
Sink-1	52.2966	0.9423	03may.2022, 05:00	1.6069

Nota. HEC-HMS.

Y en la figura 39 se muestra los caudales para un tiempo de retorno en 50 años y en la figura 40 para un tiempo de retorno en 100 años.

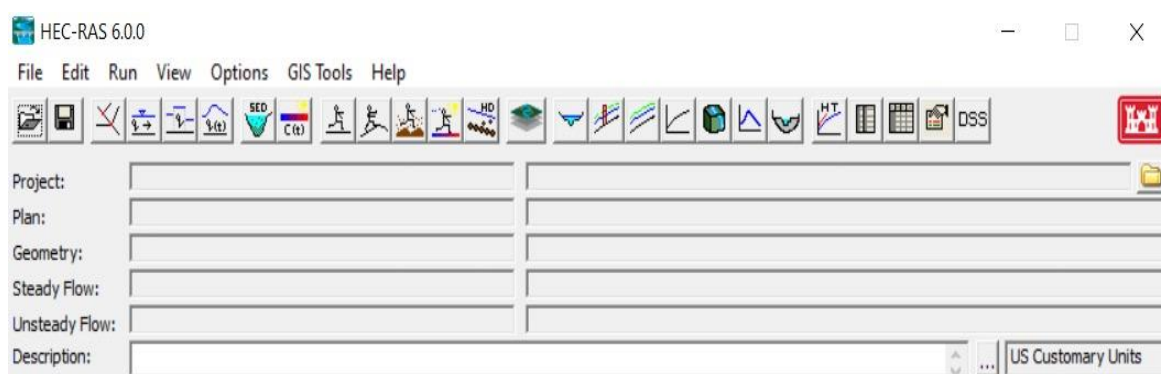
#### 4.4. Modelamiento hidráulico

Un modelamiento hidráulico describe matemáticamente el flujo de canales abiertos, lagos, ríos, humedales y zonas costeras. Así mismo, podemos utilizar este tipo de modelamiento para poder describir el flujo sobre las planicies de inundación, o mediante estructuras hidráulicas como son los vertederos, compuertas, puentes, alcantarillas, etc. Por ejemplo, para la presente investigación utilizaremos el dique como estructura hidráulica donde estudiaremos el flujo sin el dique y luego los efectos que presente con el dique.

Para la simulación del movimiento del agua, se tiene una diversidad de opciones para aplicar softwares informáticos, en este caso usaremos la herramienta Hec-RAS ya que es un programa gratuito y que nos ayudará con los objetivos planteados.

Como se muestra en la figura 41 tenemos la interfaz del Hec-RAS vacío y empezaremos a llenar los datos necesarios para correr la simulación. Se iniciará con el RasMapper donde descargaremos en archivo de georeferencia del siguiente enlace <https://spatialreference.org/ref/?search=32719>.

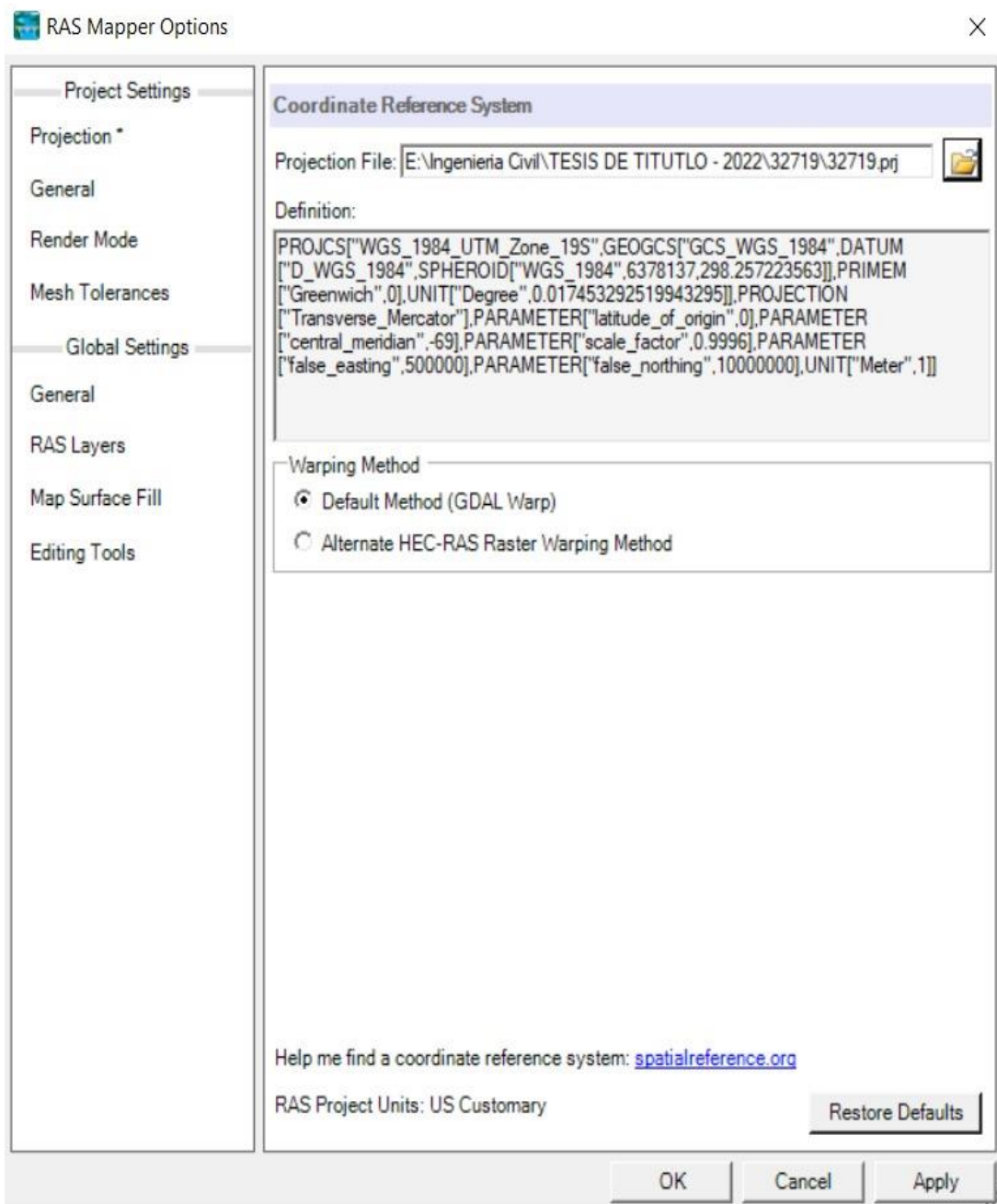
**Figura 40**  
*Llenado del software Hec-RAS*



*Nota.* HecRAS

Una vez descargado el archivo de georeferencia procedemos a cargarlo como se visualiza en la figura 42, esto ayuda a establecer la zona donde se realizará las simulaciones de 25, 50 y 100 años respectivamente.

**Figura 41**  
Subida de archivo de georeferencia

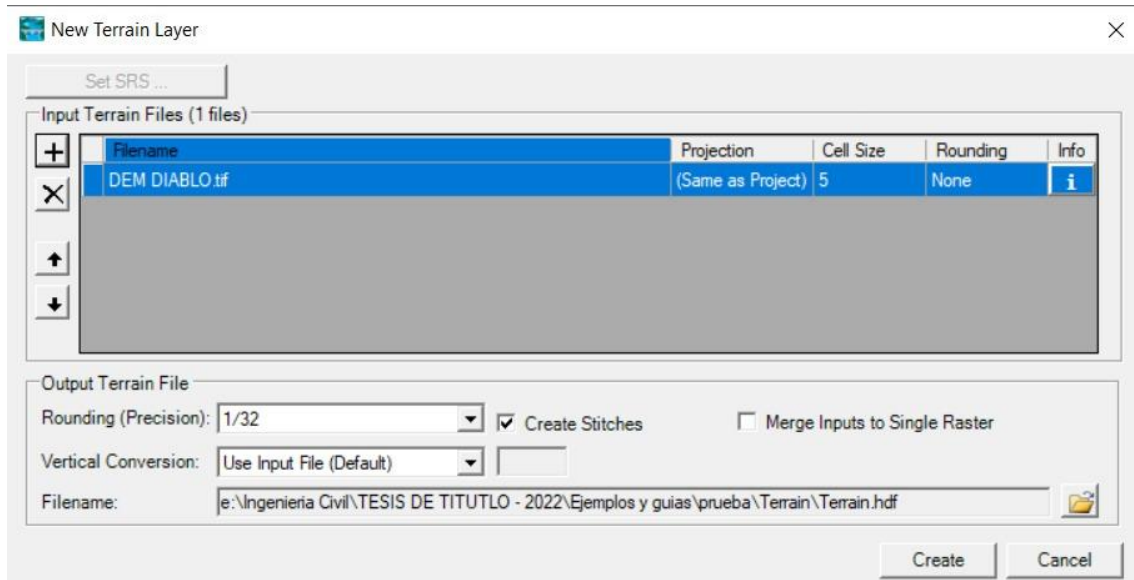


Nota. Hec-Ras

Continuamos con la creación de una capa donde exportaremos el DEM original (Figura 43) donde se definió las curvas de nivel y lo sobreponemos en el terreno (Figura

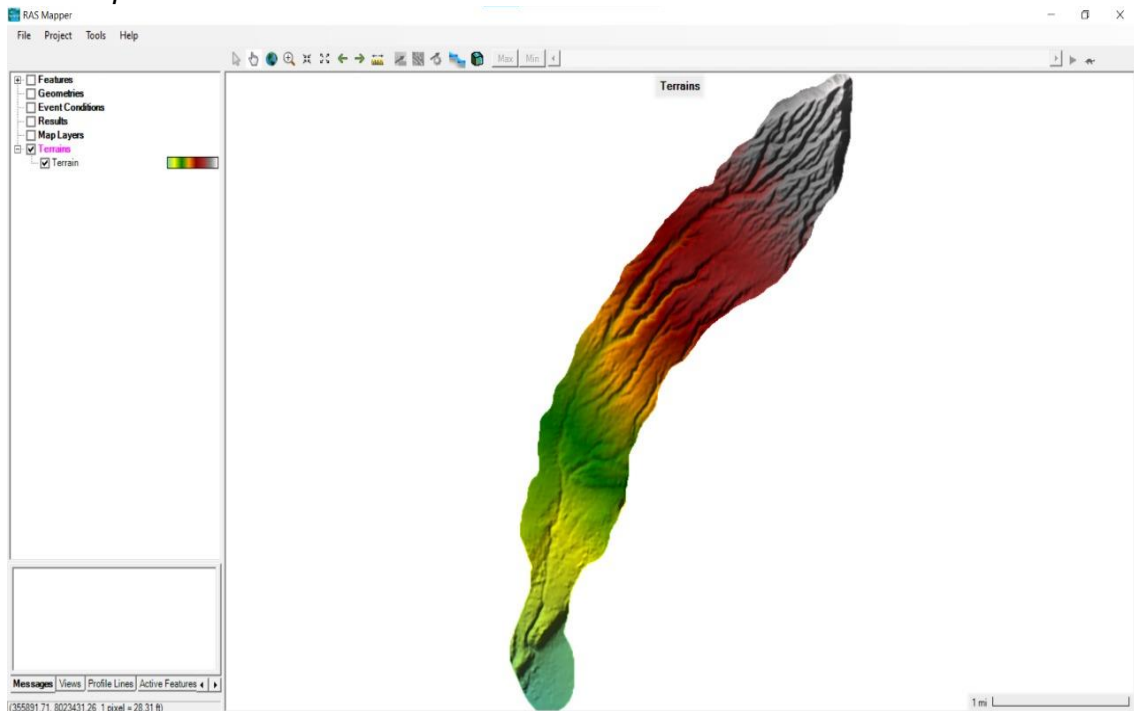
44), se puede aumentar la transparencia del DEM para poder ubicarlo correctamente en el terreno (Figura 45)

**Figura 42**  
*Exportación del DEM modificado*



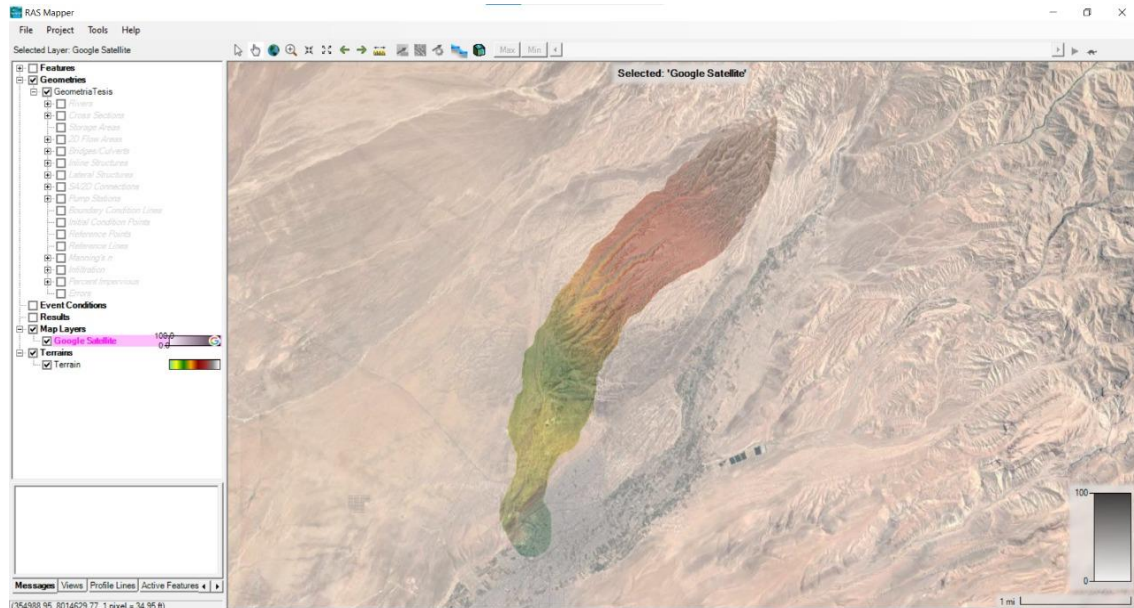
*Nota.* Hec-RAS.

**Figura 43**  
*DEM exportado*



*Nota.* Hec-RAS.

**Figura 44**  
Superposición del DEM exportado en el archivo georreferenciado



Nota. Hec-RAS.

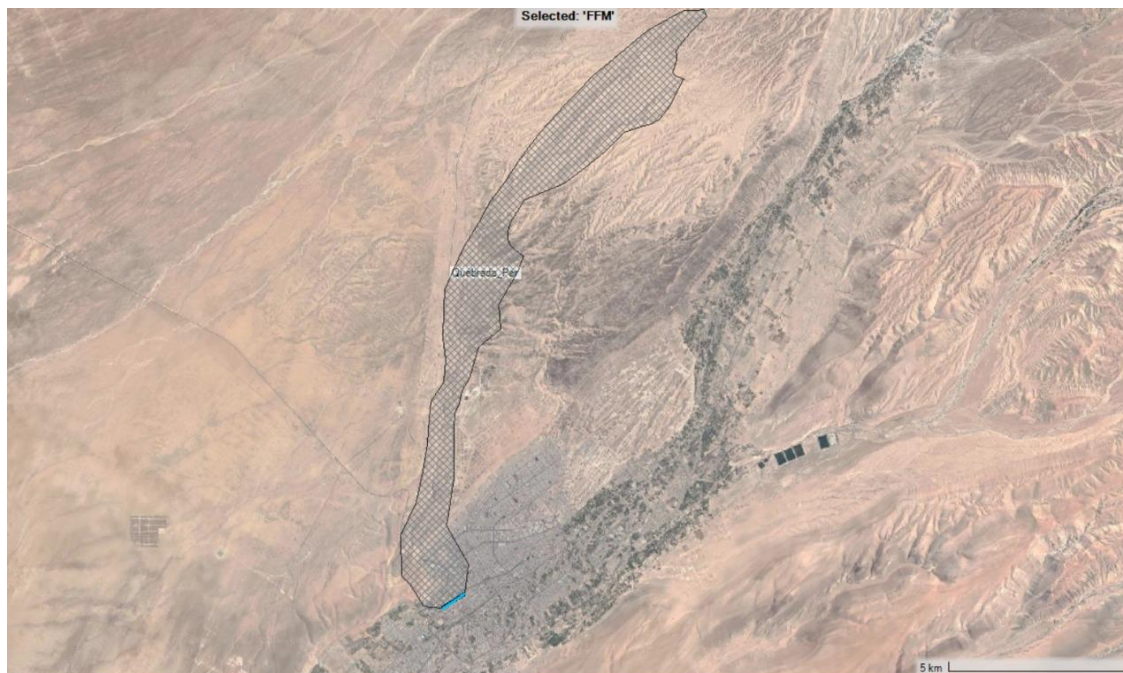
Continuamos con la definición del perímetro del área de trabajo como se muestra en la figura 46, luego se define a mayor detalle los rangos aproximados de las cuencas (figura 47)

**Figura 45**  
Perímetro del área de trabajo



Nota. Hec-RAS

**Figura 46**  
Definición a detalle de las cuencas a analizar

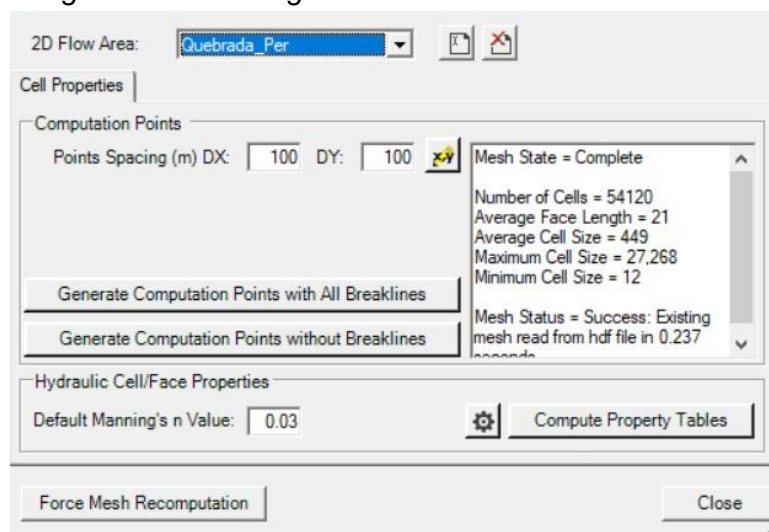


Nota. Hec-RAS

#### 2.4.1. Parámetros para modelamiento

Una vez definido el perímetro del enmallado, le asignamos un rango de enmallado de 100 m. x 100 m. mostrado en la figura 48, esto debido a que es el área secundaria de análisis.

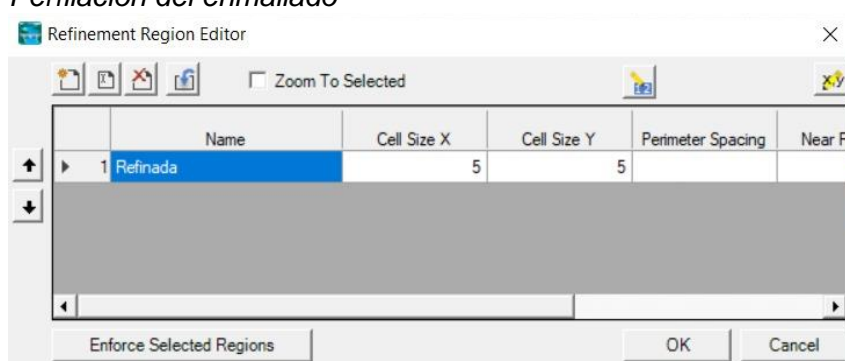
**Figura 47**  
Rango de enmallado general



Nota. Hec-RAS

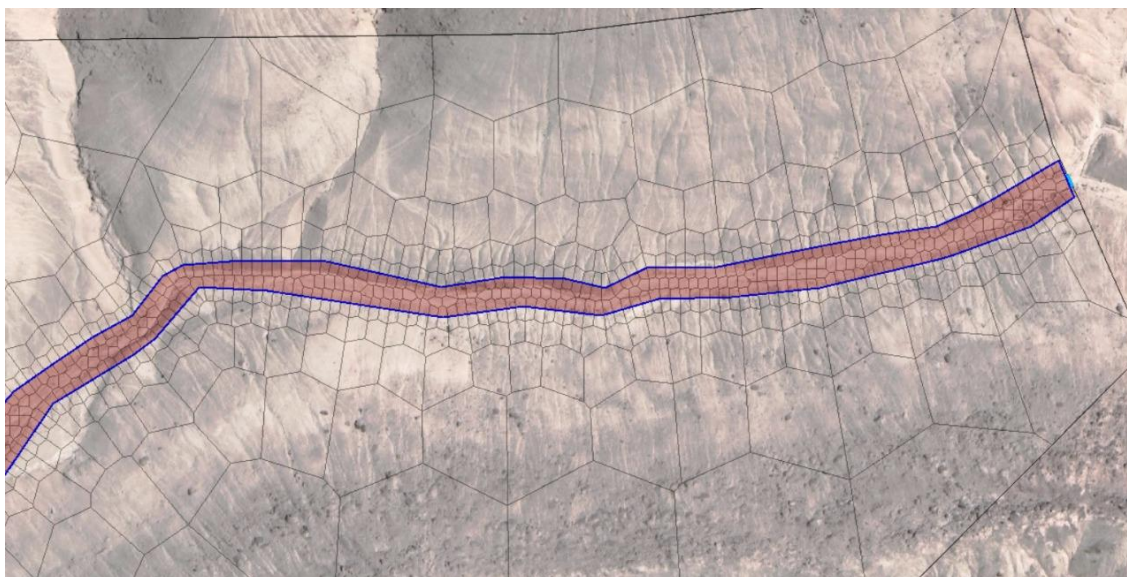
El área de interés es por donde pasará el flujo a analizar por lo que, a esta zona se le asignará un rango de enmallado de 5 m. x 5 m. porque se necesita un mejor detalle en los tramos de los cauces de los ríos y también en el rango de desembocadura de la quebrada. Tales detalles se pueden apreciar en la figura 49 donde los rangos de enmallado son a mayor detalle por donde corren los flujos de agua (figura 50).

**Figura 48**  
*Perfilación del enmallado*



*Nota. Hec-RAS*

**Figura 49**  
*Visualización a detalle del enmallado de la zona*

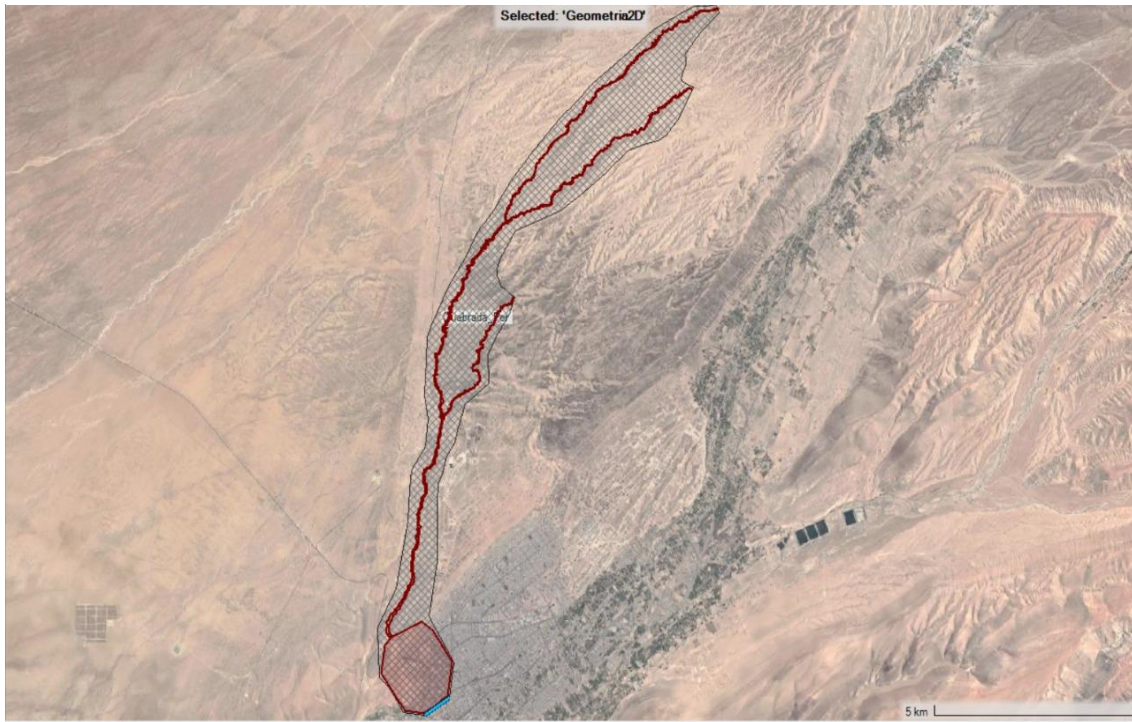


*Nota. Hec-RAS*

Esto se realiza a través de todos los tramos correspondientes al cauce de la quebrada del diablitos (Figura 51) y además también en el área correspondiente al cono de deyección de la quebrada del diablo (Figura 52)

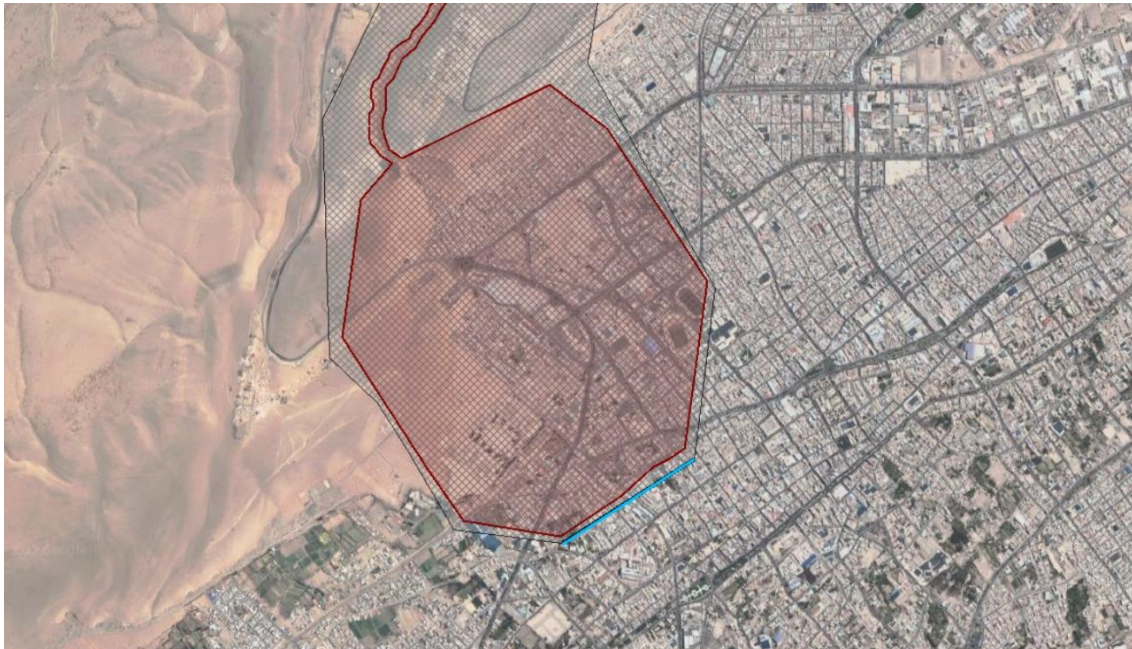


**Figura 50**  
*Enmallado de la zona a analizar*



*Nota. Hec-RAS*

**Figura 51**  
*Enmallado en la desembocadura de la Quebrada del Diablo*



*Nota. Hec-RAS*

Continuando, se define las condiciones iniciales para los tramos mencionados los cuales se proyectarían la simulación del flujo en 2D. Como el inicio y final de un cauce definiéndose como condiciones iniciales aguas arriba y aguas abajo. En las cuales para condiciones iniciales aguas arriba se considera los datos que generan el hidrograma, como se muestra en la figura 53.

**Figura 52**  
*Datos generados por el Hidrograma*

Flow Hydrograph

2D: Quebrada Per BCLine: Up 1

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 19MAY2022 Time: 00:00

Fixed Start Time: Date: 19MAY2022 Time: 00:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1	18May2022 2400	00:00:00	0
2	19May2022 0100	01:00:00	0
3	19May2022 0200	02:00:00	0.03
4	19May2022 0300	03:00:00	0.116
5	19May2022 0400	04:00:00	0.25
6	19May2022 0500	05:00:00	0.42
7	19May2022 0600	06:00:00	0.621
8	19May2022 0700	07:00:00	0.848
9	19May2022 0800	08:00:00	1.097
10	19May2022 0900	09:00:00	1.358
11	19May2022 1000	10:00:00	1.611
12	19May2022 1100	11:00:00	1.842
13	19May2022 1200	12:00:00	2.045
14	19May2022 1300	13:00:00	2.217
15	19May2022 1400	14:00:00	2.349

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow:  Multiplier:  EG Slope for distributing flow along BC Line: 0.045  TW C

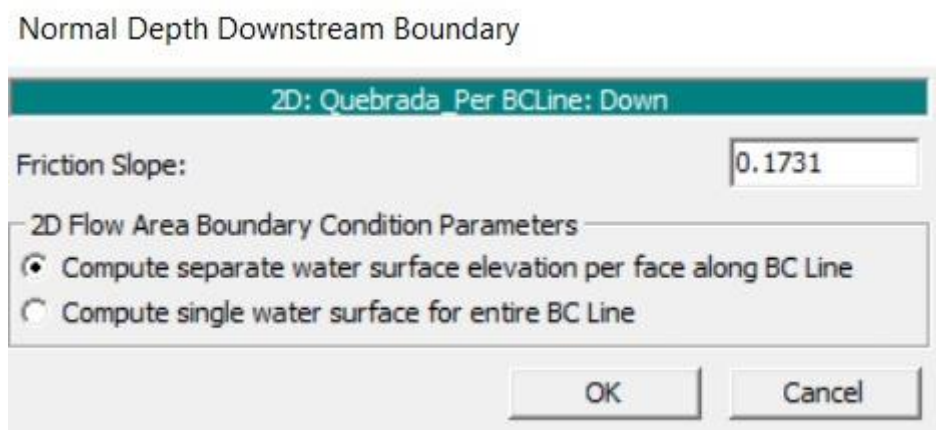
Plot Data OK Cancel

Nota. Hec-RAS

Mientras que las condiciones aguas abajo, es decir el desfogue del cauce solo se considera por la pendiente (Figura 54) la cual es proporcionada por el programa Hec-

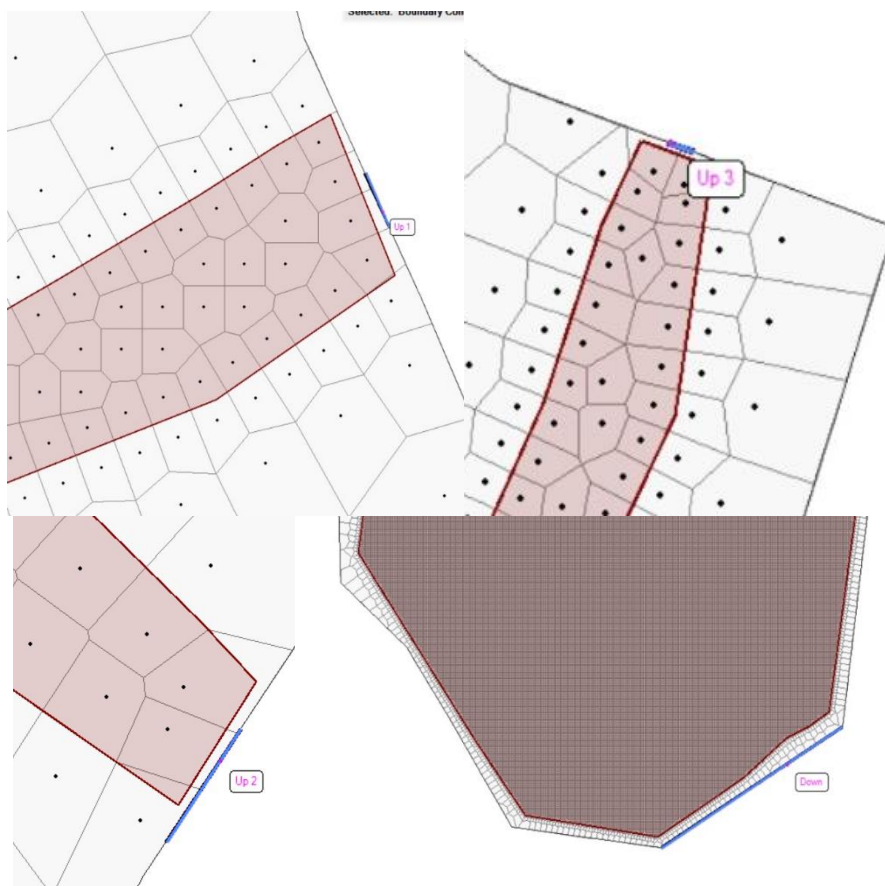
Ras, y posteriormente se define los puntos que corresponde a las condiciones de inicio de aguas arriba y aguas abajo de la quebrada mostradas en la Figura 55.

**Figura 53**  
*Profundidad normal aguas abajo*



*Nota. Hec-RAS*

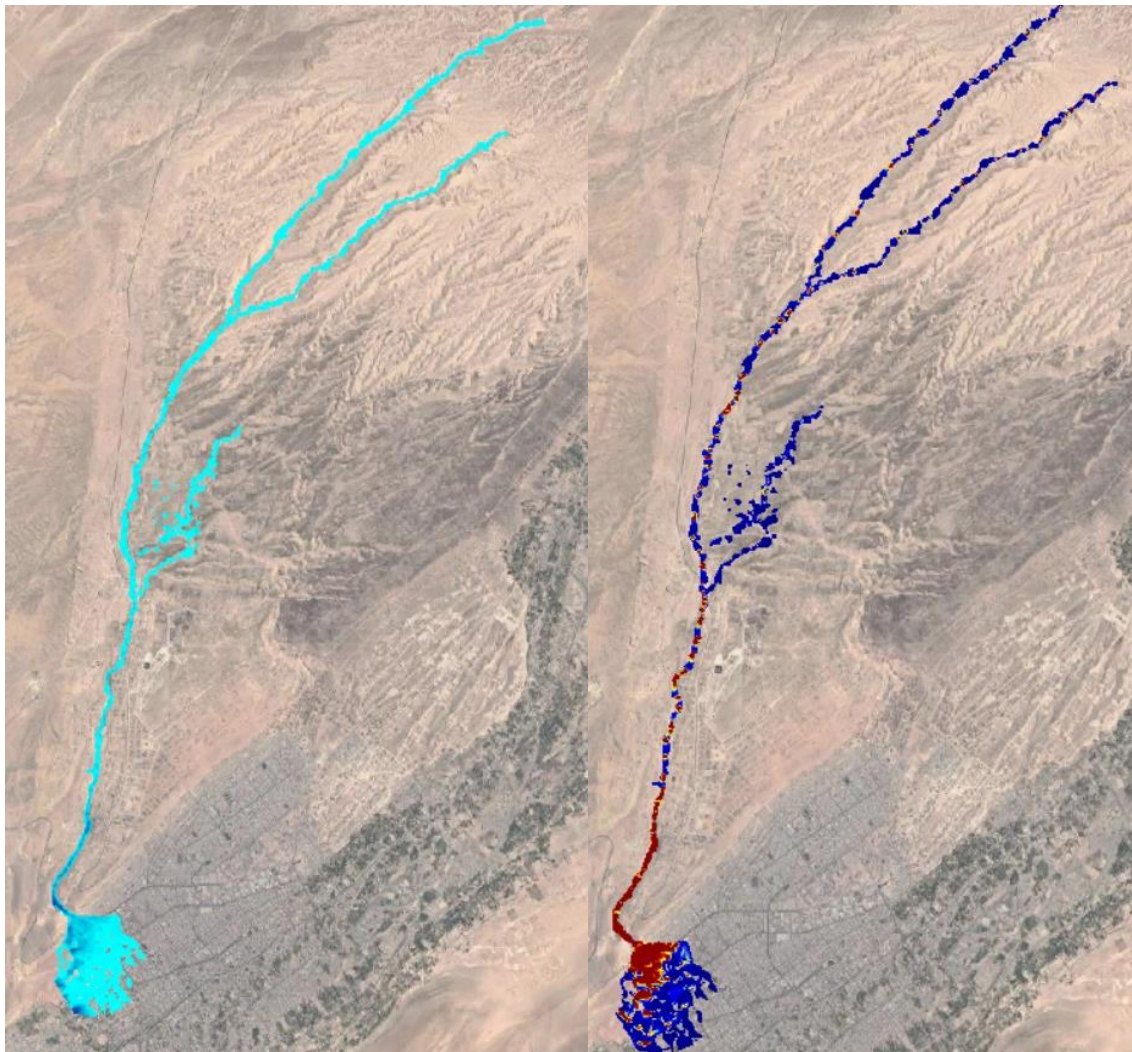
**Figura 54**  
*Representación de condiciones iniciales aguas arriba y aguas abajo*



### 2.4.2. Modelamiento hidráulico sin dique

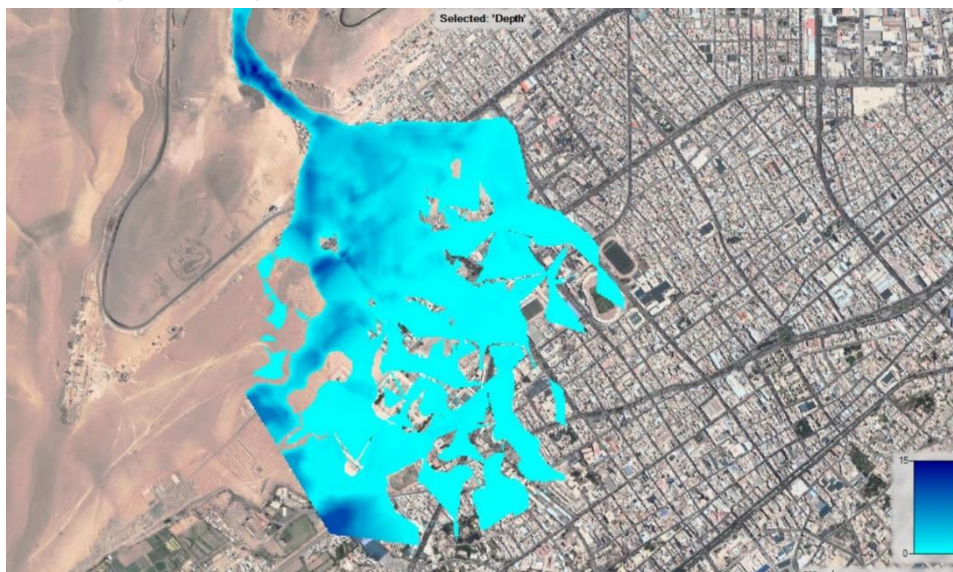
**Figura 55**

*Modelamiento hidráulico sin el dique*



Con la figura 56 se muestra gráficamente el resultado del modelamiento hidráulico a través del software Hec-RAS el cual con la data proporcionada en el software Hec-HMS logramos recrear el evento producido a raíz de los datos críticos para un periodo de retorno de 100 años. En la presente figura se observa a detalle el alcance de los tirantes, así como de las velocidades generadas por el modelamiento.

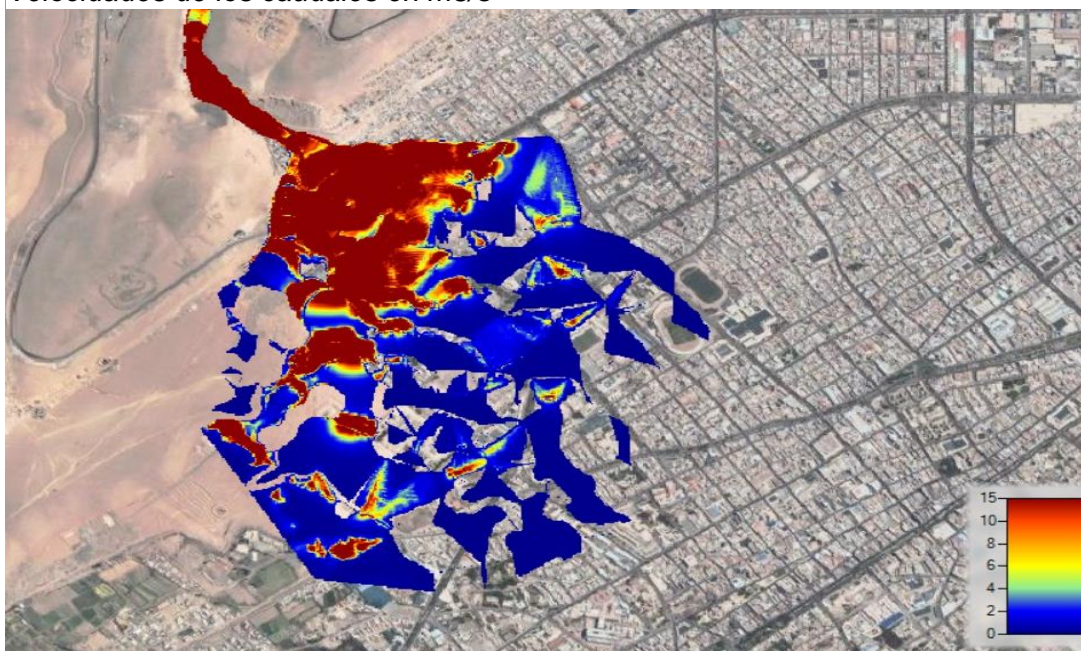
**Figura 56**  
*Alcance producido por los tirantes del modelamiento*



En la figura 57 se puede demostrar el alcance producido por el modelamiento hidráulico e identificando los daños generados por los tirantes, analizando la figura se puede deducir que la zona más afectada directamente son los pobladores de la Asociación de la Florida y zonas aledañas a esta.

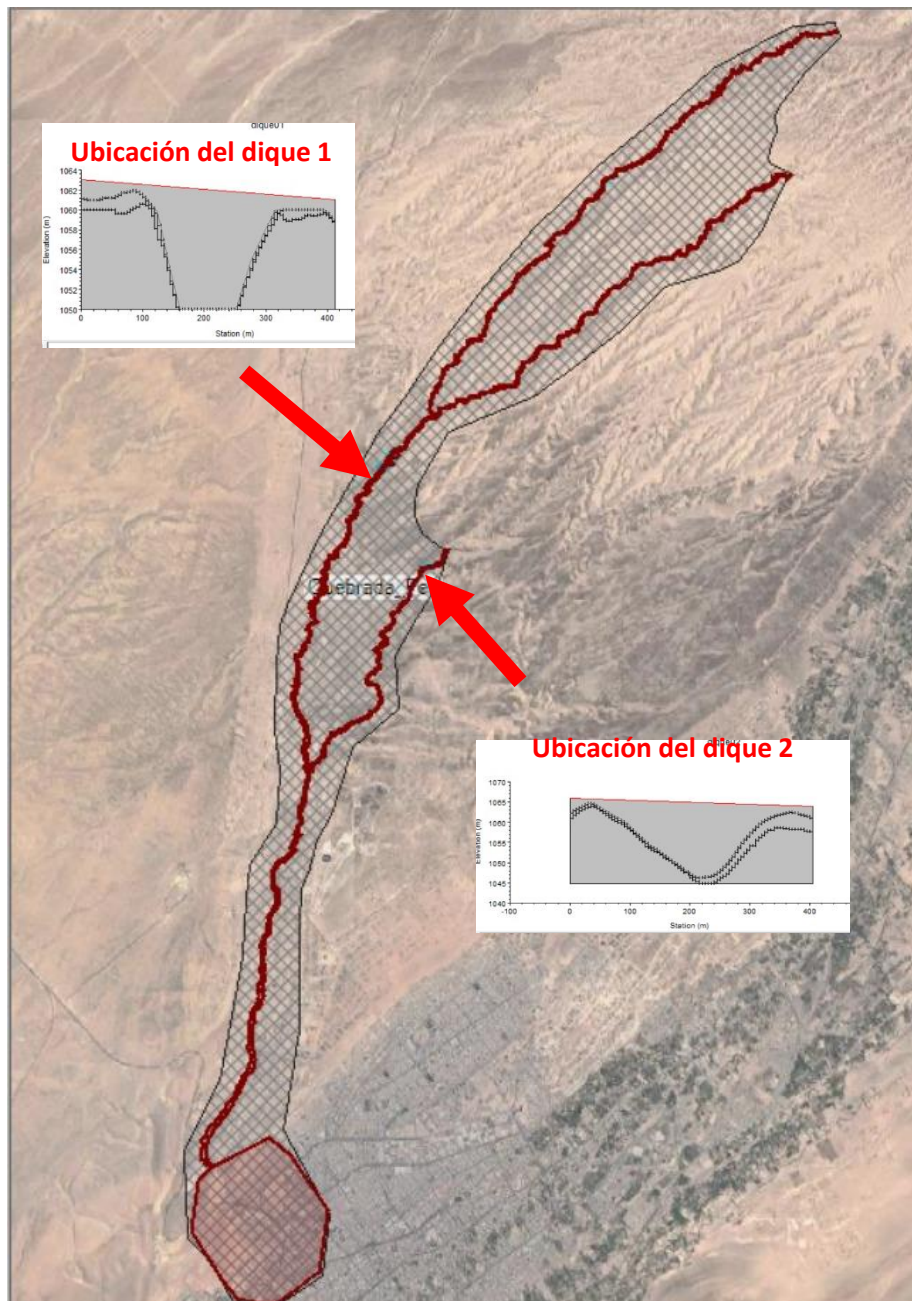
Así mismo se puede visualizar en la Figura 58 las velocidades de los caudales ante un modelamiento con tiempo de retorno de 100 años. Alcanzando las zonas más rojas una velocidad de hasta 15 m<sup>3</sup>/s aproximadamente.

**Figura 57**  
*Velocidades de los caudales en m<sup>3</sup>/s*



### 2.4.3. Parámetros para el diseño de dique

**Figura 58**  
Ubicación de los diques propuestos

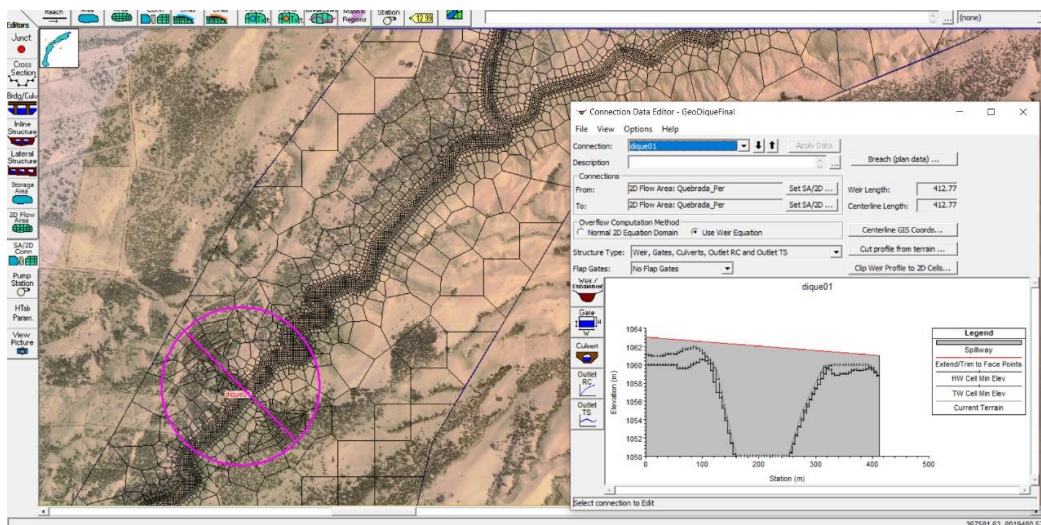


Se ha considerado en la presente investigación las disposiciones de dos diques a raíz de un análisis al terreno en evaluación mediante la herramienta Google Earth, la cual nos permitió identificar la topografía del terreno y saber qué área posee mejor punto de evaluación para la colocación de los diques propuestos, dichos puntos se mostraron en la figura 59.

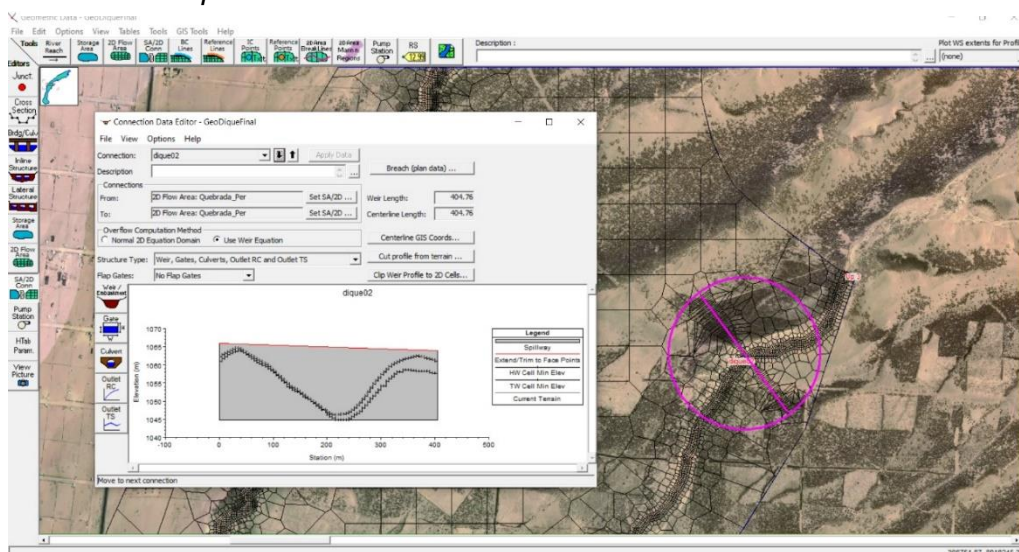
Como primera propuesta se propuso el punto de intersección inferior, sin embargo, fue descartado debido a que en dicha zona mencionada ya se encuentra actualmente habitada por pobladores. Desde este punto se analizó la inevitable probabilidad de manejar dos diques a evaluación.

Los diques han sido analizados mediante diferentes corridas en el software Hec-RAS con el objetivo de poder diseñar un dique con las características suficientes para la adecuada retención de flujo en casos críticos como los datos analizados en la presente investigación para un tiempo de retorno de 100 años (Figura 60 – Figura 61).

**Figura 59**  
*Diseño del dique 1*



**Figura 60**  
*Diseño del dique 2*



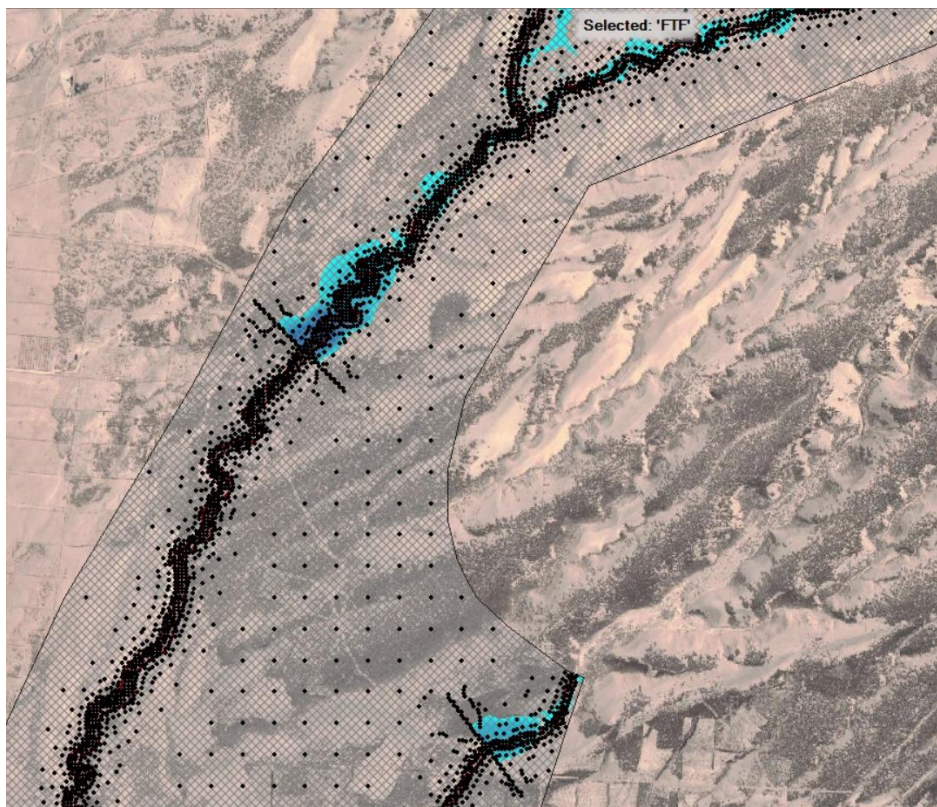
#### 2.4.4. Modelamiento hidráulico con dique

En las figuras 62 y 63 se puede apreciar el fluido contenido gracias a la implementación y su correcta ubicación de los diques propuestos los cuales generan la retención suficiente para evitar que, el caudal continúe su cauce y suscite daños a la comunidad tacneña.

Así mismo, se muestra el control de las velocidades del flujo que existe en la Quebrada del Diablo verificando que el dique propuesto controla adecuadamente las corrientes para un tiempo de retorno de 100 años.

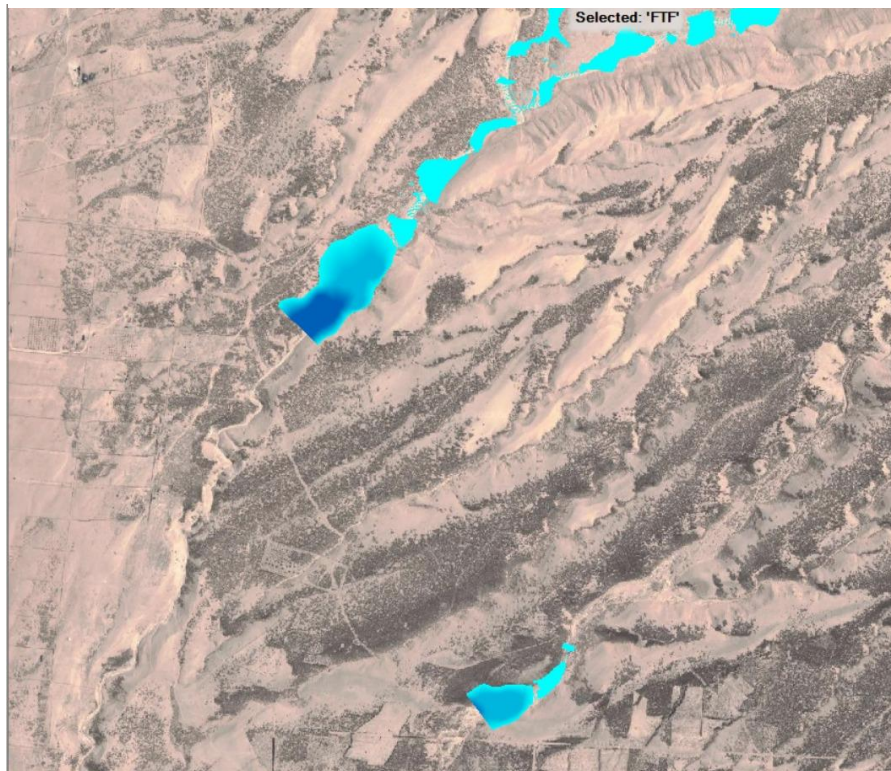
#### Figura 61

*Modelamiento de corte de secciones para los diques*

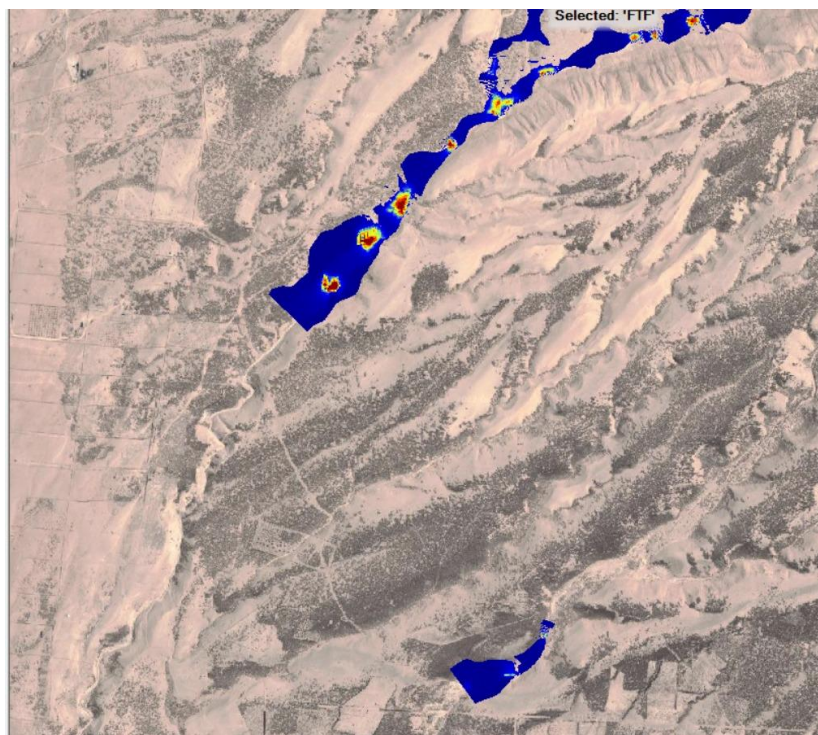




**Figura 62**  
*Representación gráfica de los fluidos contenidos*



**Figura 63**  
*Control de las velocidades de los caudales*



Así mismo, se muestra el control de las velocidades del flujo mostrado en la Figura 64, que existe en la Quebrada del Diablo verificando que el dique propuesto controla adecuadamente las corrientes para un tiempo de retorno de 100 años.

#### **4.5. Análisis comparativo**

Como se puede observar, con la presente investigación se logró ver las diferentes consecuencias del modelamiento hidráulico con datos críticos como los producidos en febrero del 2020 para un tiempo de retorno de 100 años, con un dique y sin un dique. Logrando apreciar que los daños son mitigados en un 100% visualmente.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación analiza los daños producidos por un evento que nace a raíz de precipitaciones espontáneas en la época de febrero del año 2020. En este evento anómalo se generaron grandes pérdidas, no solo económicas si no también sociales y sobre todo humanas.

Por lo que, se busca recrear dicho evento y presentar a través del diseño de una estructura la mitigación de manera absoluta ante este tipo de situaciones con bases en la topografía, hidrología y sobre todo la hidráulica, que con datos más certeros posibles se puede asemejar a la realidad y de tal manera sustentar una solución factible como viene a ser la creación de diques en la zona que ocupan los diferentes cauces de la Quebrada del Diablo.

Según el informe técnico N° A7042 elaborado por INGEMMET elaboraron un mapa de cartografiado de los peligros geológicos en la Quebrada del Diablo, la cual se muestra en la figura 1 y se puede contrastar con los resultados obtenidos en la presente investigación donde la zona afectada se visualiza en las figuras 57 y 58 para las simulaciones sin diques, la comparativa de ambos resultados demuestran el parecido en los dos casos, demostrando que el modelamiento hidráulico realizado en la investigación ha sido adecuada.

Luego de la simulación sin el dique, se procedió a determinar la colocación del dique, sin embargo, se determinó más de un dique a razón que, el punto donde se encuentra la intersección de flujos de agua está en la actualidad ya habitado por pobladores de la zona, por lo que se tuvo que insertar dos diques.

Así mismo, es necesario mencionar que en esta tesis se consideró las estaciones más cercanas a la Quebrada del Diablo pero se trabajó con la estación de Calana la cual es una estación hidrometeorológica que cuenta con datos desde 1963 y son, desde nuestro punto de vista una fuente que genera datos los más reales posibles teniendo en consideración la realidad que sufre la ciudad de Tacna que solo presenta lluvias espontáneas, y que a diferencia de otras investigaciones se consideran datos de estaciones que generan data mucho mayor con el fin de generar grandes caudales, mas no , situaciones reales como las que en esta tesis se presentan

Es justo acotar que la presente investigación busca demostrar la eficacia de elementos estructurales para la contención de fluidos que claro está, generarían desastres a futuro en la Ciudad de Tacna.

Además, se logró observar que la Quebrada del Diablo a través del análisis de los datos y de la curva hipsométrica se define como una Curva tipo B la cual se refiere a una cuenca en equilibrio y se encuentra en una fase de madurez.

Por otra parte, en la presente investigación se llevó a cabo hasta el modelamiento hidráulico, sin embargo, no se realizó un estudio de tránsito de avenidas lo cual es también de interés para conocer la eficacia de la obra hidráulica propuesta, en este punto se podría tener como limitante este aspecto, sin embargo, también da pie a que en futuras investigaciones se tenga en consideración dicho estudio.

La velocidad de los caudales generados por fuertes precipitaciones es de aproximadamente 15 m<sup>3</sup>/s donde las viviendas que se encuentra en el desfogue de la Quebrada del Diablo son las más afectadas en su mayoría, esto coincide con los resultados de la tesis titulada “*Identificación de zonas críticas por flujo de detritos en la Quebrada del Diablo para determinar los costos de reconstrucción de obras civiles*” donde, determina que un aproximado de 70% de las viviendas tienen un nivel de riesgo alto que podría afectar a aproximadamente 276 viviendas y un 30% posee un riesgo medio el cual podría reflejarse afectando a 55 viviendas aproximadamente.

Para el modelamiento hidráulico es necesario determinar los parámetros hidrológicos mediante el software Hec-HMS, con este procedimiento se obtuvo el modelamiento hidrológico previo al modelamiento a estudiar. Cuyo proceso fue similar a los objetivos planteados en la tesis denominada “*Modelamiento hidrológico usando hec – HMS para proyectar defensas contra avenidas en la localidad de Borogueña – Tacna*” donde se buscaba obtener un modelo hidrológico para determinar los caudales de diseño y proyectar las estructuras de protección contra avenidas y que permitan el control de los derrumbes de las quebradas de la localidad de Borogueña, logrando así obtener los hidrogramas respectivos.

En el presente estudio, los datos topográficos se obtuvieron mediante modelos digitales de elevación (DEM), Google earth y el software QGis para las secciones transversales y perfiles que fueron de gran importancia para el modelamiento hidráulico, coincidiendo con la tesis titulada “*Modelamiento hidrológico e hidráulico para el prediseño de diques de encauzamiento en un tramo de seis km. del río Rímac ubicado entre el puente Ñaña y puente Carapongo en el distrito de Chosica, provincia y departamento de Lima*” donde también determinan su gran relevancia para el modelamiento hidráulico.

## CONCLUSIONES

En la presente investigación, donde el objetivo es mitigar los daños mediante el diseño de un dique aplicando modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo de la ciudad de Tacna, se concluye que, la mitigación de daños es a un 100% con la propuesta de ubicación de dos diques en diferentes zonas como se demostró en la investigación. Frente a lo mencionado se descarta una hipótesis nula y se da por aceptada la hipótesis de la investigación efectuada.

Así mismo como segunda conclusión se logró obtener los caudales máximos de 0,00 m<sup>3</sup>/s, 0,17 m<sup>3</sup>/s y 0,94 m<sup>3</sup>/s. para periodos de retorno de 25, 50, 100 años respectivamente y con respecto a la precipitación máxima presentada en febrero del 2020 se notó una precipitación máxima en 24 horas de 21,10 mm que, a su vez genera un caudal máximo de 7,78 m<sup>3</sup>/s.

De igual manera como tercera conclusión determinamos que, la relación precipitación-escorrentía en relación al tiempo es el factor que más influye en el modelamiento hidráulico, diseño y ubicación de los diques propuestos. Por la topografía del terreno se observan tramos llanos los cuales facilitan que el agua producida por la lluvia se desborde en ciertos tramos. Por la forma en cómo trabaja los datos en el modelamiento hidráulico y posterior al análisis de los gráficos se determinó el uso de 2 diques.

Finalmente, como cuarta conclusión determinamos que mediante el modelamiento hidráulico se pudo generar el mapa de inundación sin el dique y posteriormente con el dique, obteniendo así resultados para analizar la mitigación de daños en la población tacneña gracias a los diques propuestos. Dando, así como resultado una mitigación al 100% comparando ambos efectos. Además, los resultados obtenidos se asemejan al mapa de cartografiado resultado del informe técnico N° A7042 elaborado por INGEMMET, donde ambos resultados se asemejan por lo que se puede concluir que el modelamiento hidráulico realizado se ha desarrollado correctamente.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Región Provincial de Tacna que se debe analizar otra alternativa a los diques, ya que estos podrían representar un mayor gasto, se podría dar el uso de disipadores de energía los cuales, facilitarían la reducción de velocidades en los tramos y asegurarían el tiempo de vida de las estructuras.

Se recomienda a la Región Provincial de Tacna que se deberá considerar los datos de pérdidas de caudales para futuros estudios correspondientes a este tema.

Para futuros estudios se recomienda a la Región Provincial de Tacna el uso de situaciones con precipitaciones como las presentadas en febrero del 2020 puesto que son eventos anómalos que no tiene registro debido a que el SENAHMI solo cuenta con datos a partir del año 1963.

Se recomienda a la Región Provincial de Tacna verificar la topografía del terreno con diferentes fuentes debido a que muchas veces es difícil delimitar las áreas de manera visual. Además, se recomienda en futuras investigaciones realizar un estudio de tránsito de avenidas para conocer la eficacia de la obra hidráulica propuesta.

Se exhorta a al SENAMHI a tomar un mejor control a los datos pluviométricos debido que, aunque no son constantes, se demuestra que sin una buena fuente se puede suscitar eventos dañinos para la ciudad de Tacna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Pereira, H., Alván de la Cruz, A., Mamani Huisa, M., Rodríguez Manrique, J., & Cutipa Cornejo, M. (2012). Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas . *INGEMMET*, 9.
- Aguilar Cabezas, A. G., & Mamani Olivares, G. (2019). *Modelamientos hidráulico de la quebrada San Antonio de Pedregal para estimar zonas de inundación ante huaycos, Lurigancho Lima 2019*. Lima.
- Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling. The Primer*. England: John Wiley & Sons Ltd. West Sussex.
- Cabrera, J. (2019). *Modelos Hidrológicos*.
- Cadena Rivera, J. S., & Villegas Zuleta, A. F. (2016). *Análisis de riesgo por desbordamiento del Río Chiquito en la zona*. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Centro de Operaciones de Emergencia Nacional. (09 de Marzo de 2020). *INDECI*. Obtenido de Indeci pagina web: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/03/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-1230-9MAR2020-PRECIPITACIONES-PLUVIALES-EN-LAS-PROVINCIAS-DE-TACNA-19.pdf>
- Chong-yu, X. (2002). *Hydrologic models*. Suecia: Uppsala University.
- Chow, V. (1994). *Hidrologia Aplicada*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Duque Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (05 de Marzo de 2019). *Scielo*. Obtenido de Scielo: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600351&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000600351&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Gámez Morales, W. (2010). *Texto básico de hidrología*. Nicaragua: Editronic S.A.
- IEACH, & ANLAP. (2010). *Inundaciones. Aprendiendo de anteriores operaciones de emergencia y recuperación*.
- Informático, I. N. (26 de Agosto de 2016). *INEI.gob.pe*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/departamento-de-tacna-cuenta-con-una-poblacion-de-346-mil-habitantes-9270/>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2020). *Evaluación de peligros geológicos en las quebradas del Diablo y Caramolle en Tacna*.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2020). *Evaluación de peligros geológicos en las quebradas del Diablo y Caramolle en Tacna*. Tacna: Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- L., C. C. (2020). *Reporte Complementario N° 1230 - 9/3/2020 / Coen - Indeci / 17:00 Horas (Reporte N° 19)* . Lima: Centro de Operaciones de Emergencia Nacional

- Larota Espinoza, C. E., & Ortiz Quispe, D. F. (2020). *Modelamiento hidráulico para el predimensionamiento de diques de encauzamiento en el río Lurín, tramo puente Quebrada Verde*. Lima.
- Llanos Ramírez, J. J., & Ticona Huanca, Y. (2021). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para el prediseño de diques de encauzamiento en un tramo de seis km. del río Rímac ubicado entre el puente ñaña y puente carapongo en el distrito de Lurigancho – Chosica, provincia y departamento de Lima*. Lima.
- Luque Poma, G., & Gómez Velásquez, D. (2016). *Evaluación Geológica - Geodinámica en la Quebrada del Diablo*. Tacna: INGEMMET.
- Mejía M., J. A. (2006). *Hidrología Aplicada*. Lima.
- Mejía Marcacuzco, J. A. (2017). *Transporte de Sedimentos*. Lima.
- Metzger Terrazas, M. (2019). *Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico-hidraulico en tumbres*. Lima.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2021). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- Mollinedo Huayta, M. A., & Condori Mancilla, J. J. (2021). *Identificación de zonas críticas por flujo de detritos en la quebrada del diablo para determinar los costos de reconstrucción de obras civiles*. Tacna.
- Parillo Cahui, Y. A. (2014). *Modelamiento Hidrológico Usando Hec – Hms Para Proyectar Defensas Contra Avenidas En La Localidad De Borogueña – Tacna*. Tacna.
- Senamhi. (2021). *Senamhi.gob.pe*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=tacna&p=fenomeno-el-nino>
- Te Chow, V., R. Maidment, D., & W. Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Wilson, J., & Garcia, W. (1962). *Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca*. Lima: Dirección de Minería.



# ANEXOS

## Anexo 1

## Matriz de Consistencia

TÍTULO DEL PROYECTO:			INVESTIGADOR:	
"DISEÑO DE UN DIQUE Y MITIGACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE MODELACIÓN HIDRÁULICA EN LA QUEBRADA DEL DIABLO, TACNA 2022"			Bach. Alexandra Luciana Garcia Iquise Bach. Andre Miguel Pinedo Aguilar	
MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>PRINCIPAL</b> ¿De qué forma se puede mitigar los daños mediante el diseño de dique aplicando modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna?	<b>GENERAL</b> Mitigar los daños mediante el diseño de dique aplicando modelación hidráulica en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna	<b>GENERAL</b> El diseño de un dique mediante modelación hidráulica mitiga significativamente los daños generados por huaycos en la Quebrada del Diablo.	<b>a) VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Diseño de Dique  <b>DIMENSIONES DE LA V.I.</b> Factor de diseño Caudal (m <sup>3</sup> /s) Periodo de retorno	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Descriptivo <b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</b> Aprehensivo y comprensivo <b>POBLACIÓN</b> Diseño de dique que será objeto de análisis <b>MUESTRA</b> Diseño del dique
<b>ESPECÍFICOS</b> ¿Cómo determinar el caudal de máximas avenidas mediante métodos hidrológicos y el periodo de retorno en la Quebrada del Diablo?  ¿Qué factor es más sensible en el modelamiento hidráulico para el diseño de un dique en la Quebrada del diablo?  ¿Es posible analizar la mitigación de daños mediante la generación de mapas de inundación en el modelamiento hidráulico?	<b>ESPECÍFICOS</b> a.Determinar el caudal de máximas avenidas en la Quebrada del Diablo, mediante métodos hidrológicos y el periodo de retorno.  b.Determinar el factor más sensible en el modelamiento hidráulico para el diseño de un dique en la Quebrada del Diablo, de la ciudad de Tacna.  c.Generar mapas de inundación para diferentes periodos de retorno en el sector de estudio, mediante el programa Hec-Ras v4.1 para analizar la mitigación de daños.	<b>ESPECÍFICOS</b> a.El modelamiento hidráulico con un dique en la Quebrada del Diablo nos permite determinar el caudal de máximas avenidas.  b.La relación precipitación - escorrentía es el factor que más influye en el diseño de un dique en la Quebrada del Diablo.  c.El modelamiento hidráulico nos permite generar mapas de inundación para analizar la mitigación de daños.	<b>b) VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Mitigación de daños  <b>DIMENSIONES DE LA V.D.</b> Viviendas afectadas o no afectada Mapa de inundación	<b>TÉCNICA E INSTRUMENTOS</b> Análisis Computadora Modelamiento hidráulico Software de ingeniería <b>TÉCNICAS DE PROCESAMIENTOS DE DATOS</b> 1. Recolección de información 2. Modelamiento con datos procesados 3. Interpretación de datos y conclusiones

**Anexo 2**

Hietograma de precipitaciones - 2 años

<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO - 2 AÑOS</b>					
<b>K =</b>	<b>49,788</b>				
<b>T =</b>	<b>2</b>	$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$			
<b>m =</b>	<b>0,4804</b>				
<b>n =</b>	<b>0,750</b>				
<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
<b>DURACION</b> min	<b>INTENSIDAD</b> mm/hr	<b>PROFUNDIDA</b> <b>ACUMULADA</b> mm	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>INCREMENTAL</b> mm	<b>TIEMPO</b> min	<b>PRECIPITACION</b> mm
60	3,222	3,222	3,222	0-60	0,075
120	1,916	3,832	0,610	60-120	0,081
180	1,413	4,240	0,409	120-180	0,087
240	1,139	4,557	0,316	180-240	0,094
300	0,964	4,818	0,261	240-300	0,103
360	0,840	5,043	0,225	300-360	0,114
420	0,749	5,241	0,198	360-420	0,129
480	0,677	5,419	0,178	420-480	0,149
540	0,620	5,581	0,162	480-540	0,178
600	0,573	5,730	0,149	540-600	0,225
660	0,533	5,868	0,138	600-660	0,316
720	0,500	5,997	0,129	660-720	0,610
780	0,471	6,118	0,121	720-780	3,222
840	0,445	6,232	0,114	780-840	0,409
900	0,423	6,341	0,108	840-900	0,261
960	0,403	6,444	0,103	900-960	0,198
1020	0,385	6,542	0,098	960-1020	0,162
1080	0,369	6,637	0,094	1020-1080	0,138
1140	0,354	6,727	0,090	1080-1140	0,121

1200	0,341	6,814	0,087	1140- 1200	0,108
1260	0,328	6,897	0,084	1200- 1260	0,098
1320	0,317	6,978	0,081	1260- 1320	0,090
1380	0,307	7,056	0,078	1320- 1380	0,084
1440	0,297	7,131	0,075	1380- 1440	0,078

**Anexo 3**

Hietograma de precipitaciones - 5 años

<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO - 5 AÑOS</b>					
<b>K =</b>		<b>49,788</b>		$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$	
<b>T =</b>		<b>5</b>			
<b>m =</b>		<b>0,4804</b>			
<b>n =</b>		<b>0,750</b>			
<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
<b>DURACION</b> N min	<b>INTENSIDAD</b> mm/hr	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>ACUMULADA</b> mm	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>INCREMENTAL</b> mm	<b>TIEMPO</b> min	<b>PRECIPITACION</b> N mm
60	5,004	5,004	5,004	0-60	0,117
120	2,975	5,950	0,947	60-120	0,125
180	2,195	6,585	0,635	120-180	0,135
240	1,769	7,076	0,491	180-240	0,146
300	1,496	7,482	0,406	240-300	0,160
360	1,305	7,831	0,349	300-360	0,178
420	1,163	8,139	0,308	360-420	0,200
480	1,052	8,415	0,276	420-480	0,231
540	0,963	8,667	0,251	480-540	0,276
600	0,890	8,898	0,231	540-600	0,349
660	0,828	9,112	0,215	600-660	0,491
720	0,776	9,313	0,200	660-720	0,947
780	0,731	9,501	0,188	720-780	5,004
840	0,691	9,679	0,178	780-840	0,635
900	0,656	9,847	0,168	840-900	0,406
960	0,625	10,007	0,160	900-960	0,308
1020	0,598	10,160	0,153	960-1020	0,251
1080	0,573	10,306	0,146	1020-1080	0,215
1140	0,550	10,447	0,140	1080-1140	0,188

1200	0,529	10,581	0,135	1140- 1200	0,168
1260	0,510	10,711	0,130	1200- 1260	0,153
1320	0,493	10,837	0,125	1260- 1320	0,140
1380	0,476	10,958	0,121	1320- 1380	0,130
1440	0,461	11,075	0,117	1380- 1440	0,121

**Anexo 4**

Hietograma de precipitaciones - 10 años

<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO -10 AÑOS</b>					
<b>K =</b>	<b>49,788</b>				
<b>T =</b>	<b>10</b>	$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$			
<b>m =</b>	<b>0,4804</b>				
<b>n =</b>	<b>0,750</b>				
<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
<b>DURACION</b> min	<b>INTENSIDAD</b> mm/hr	<b>PROFUNDIDA</b> <b>ACUMULADA</b> mm	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>INCREMENTAL</b> mm	<b>TIEMPO</b> min	<b>PRECIPITACION</b> mm
60	6,981	6,981	6,981	0-60	0,164
120	4,151	8,302	1,321	60-120	0,175
180	3,062	9,187	0,886	120-180	0,188
240	2,468	9,872	0,685	180-240	0,204
300	2,088	10,439	0,566	240-300	0,223
360	1,821	10,925	0,487	300-360	0,248
420	1,622	11,355	0,429	360-420	0,280
480	1,468	11,740	0,385	420-480	0,323
540	1,343	12,091	0,351	480-540	0,385
600	1,241	12,414	0,323	540-600	0,487
660	1,156	12,713	0,299	600-660	0,685
720	1,083	12,993	0,280	660-720	1,321
780	1,020	13,255	0,263	720-780	6,981
840	0,965	13,503	0,248	780-840	0,886
900	0,916	13,738	0,235	840-900	0,566
960	0,873	13,961	0,223	900-960	0,429
1020	0,834	14,175	0,213	960-1020	0,351
1080	0,799	14,379	0,204	1020-1080	0,299
1140	0,767	14,574	0,196	1080-1140	0,263

1200	0,738	14,762	0,188	1140- 1200	0,235
1260	0,712	14,944	0,181	1200- 1260	0,213
1320	0,687	15,118	0,175	1260- 1320	0,196
1380	0,665	15,287	0,169	1320- 1380	0,181
1440	0,644	15,451	0,164	1380- 1440	0,169



**Anexo 5**

Hietograma de precipitaciones - 25 años

<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO - 25 AÑOS</b>					
<b>K =</b>	<b>49,788</b>				
<b>T =</b>	<b>25</b>				
<b>m =</b>	<b>0,4804</b>				
<b>n =</b>	<b>0,750</b>				
					$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$
<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
<b>DURACION</b> min	<b>INTENSIDAD</b> mm/hr	<b>PROFUNDIDA</b> <b>ACUMULADA</b> mm	<b>PROFUNDIDAD</b> <b>INCREMENTAL</b> mm	<b>TIEMPO</b> min	<b>PRECIPITACION</b> mm
60	10,841	10,841	10,841	0-60	0,254
120	6,446	12,892	2,051	60-120	0,271
180	4,756	14,267	1,375	120-180	0,292
240	3,833	15,331	1,064	180-240	0,317
300	3,242	16,211	0,880	240-300	0,347
360	2,828	16,967	0,756	300-360	0,385
420	2,519	17,634	0,667	360-420	0,434
480	2,279	18,232	0,599	420-480	0,501
540	2,086	18,777	0,545	480-540	0,599
600	1,928	19,278	0,501	540-600	0,756
660	1,795	19,743	0,465	600-660	1,064
720	1,681	20,177	0,434	660-720	2,051
780	1,583	20,585	0,408	720-780	10,841
840	1,498	20,970	0,385	780-840	1,375
900	1,422	21,335	0,365	840-900	0,880
960	1,355	21,682	0,347	900-960	0,667
1020	1,295	22,013	0,331	960-1020	0,545
1080	1,241	22,330	0,317	1020-1080	0,465

1140	1,191	22,634	0,304	1080-1140	0,408
1200	1,146	22,926	0,292	1140-1200	0,365
1260	1,105	23,207	0,281	1200-1260	0,331
1320	1,067	23,479	0,271	1260-1320	0,304
1380	1,032	23,741	0,262	1320-1380	0,281
1440	1,000	23,995	0,254	1380-1440	0,262

## Anexo 6

Hietograma de precipitaciones - 50 años

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO - 50 AÑOS					
K =		49,788		$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$	
T =		50			
m =		0,4804			
n =		0,750			
METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION N min	INTENSIDAD mm/hr	PROFUNDIDAD ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD INCREMENTAL mm	TIEMPO min	PRECIPITACION N mm
60	15,124	15,124	15,124	0-60	0,354
120	8,993	17,986	2,862	60-120	0,379
180	6,635	19,905	1,919	120-180	0,408
240	5,347	21,389	1,484	180-240	0,442
300	4,523	22,616	1,227	240-300	0,484
360	3,945	23,671	1,055	300-360	0,537
420	3,514	24,601	0,930	360-420	0,606
480	3,180	25,436	0,835	420-480	0,699
540	2,911	26,196	0,760	480-540	0,835
600	2,690	26,895	0,699	540-600	1,055
660	2,504	27,544	0,649	600-660	1,484
720	2,346	28,150	0,606	660-720	2,862
780	2,209	28,719	0,569	720-780	15,124
840	2,090	29,256	0,537	780-840	1,919
900	1,984	29,765	0,509	840-900	1,227
960	1,891	30,249	0,484	900-960	0,930
1020	1,807	30,711	0,462	960-1020	0,760
1080	1,731	31,153	0,442	1020-1080	0,649
1140	1,662	31,577	0,424	1080-1140	0,569

1200	1,599	31,984	0,408	1140- 1200	0,509
1260	1,542	32,377	0,393	1200- 1260	0,462
1320	1,489	32,755	0,379	1260- 1320	0,424
1380	1,440	33,122	0,366	1320- 1380	0,393
1440	1,395	33,476	0,354	1380- 1440	0,366

**Anexo 7**

Hietograma de precipitaciones - 100 años

<b>HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO -100 AÑOS</b>					
<b>K =</b>	<b>49,788</b>				
<b>T =</b>	<b>100</b>				
<b>m =</b>	<b>0,4804</b>				
<b>n =</b>	<b>0,750</b>				
				$I = \frac{91.771 \times T^{0.3649}}{D^{0.75}}$	
<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
DURACION min	INTENSIDAD mm/hr	PROFUNDIDA ACUMULADA mm	PROFUNDIDAD INCREMENTAL mm	TIEMPO min	PRECIPITACION mm
60	21,100	21,100	21,100	0-60	0,494
120	12,546	25,093	3,992	60-120	0,528
180	9,257	27,770	2,677	120-180	0,569
240	7,460	29,840	2,071	180-240	0,617
300	6,310	31,552	1,712	240-300	0,675
360	5,504	33,024	1,471	300-360	0,749
420	4,903	34,321	1,298	360-420	0,845
480	4,436	35,486	1,165	420-480	0,975
540	4,061	36,547	1,060	480-540	1,165
600	3,752	37,522	0,975	540-600	1,471
660	3,493	38,427	0,905	600-660	2,071
720	3,273	39,272	0,845	660-720	3,992
780	3,082	40,066	0,794	720-780	21,100
840	2,915	40,815	0,749	780-840	2,677
900	2,768	41,525	0,710	840-900	1,712
960	2,638	42,201	0,675	900-960	1,298
1020	2,520	42,845	0,644	960- 1020	1,060
1080	2,415	43,462	0,617	1020- 1080	0,905

1140	2,319	44,053	0,591	1080-1140	0,794
1200	2,231	44,622	0,569	1140-1200	0,710
1260	2,151	45,169	0,548	1200-1260	0,644
1320	2,077	45,698	0,528	1260-1320	0,591
1380	2,009	46,209	0,511	1320-1380	0,548
1440	1,946	46,703	0,494	1380-1440	0,511