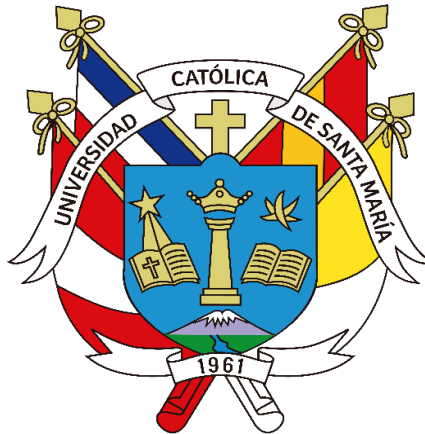


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Comparación del modelamiento hidráulico mediante Hec-Ras e Iber con
fines de prevención ante inundaciones – caso de estudio del río Tambo en
Arequipa, Perú**

Tesis presentada por la Bachiller:

Aguilar Torres, Thais Morelia

ORCID: 0009-0001-3615-0882

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Noriega Aquis, Guillermo Yorel

ORCID: 0000-0003-2354-6391

Arequipa – Perú

2025

DICTAMEN

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 17 de Diciembre del 2024

Dictamen: 007536-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 007536, presentado por:

2016801202 - AGUILAR TORRES THAIS MORELIA

Titulado:

COMPARACIÓN DEL MODELAMIENTO HIDRÁULICO MEDIANTE HEC-RAS E IBER CON FINES DE PREVENCIÓN ANTE INUNDACIONES - CASO DE ESTUDIO DEL RÍO TAMBO EN AREQUIPA, PERÚ

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29688899 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR
DICTAMINADOR**



**23923450 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX
DICTAMINADOR**



**46735424 - LOAYZA RODRIGUEZ JOSE GERMAN
DICTAMINADOR**



Comparación del modelamiento hidráulico mediante Hec-Ras e Iber con fines de prevención ante inundaciones – caso de estudio del río Tambo en Arequipa, Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	www.scipedia.com Fuente de Internet	4%
3	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	www.slideshare.net Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	2%
7	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego	1%

DEDICATORIA

*A mi madre Marly y a mis tías Moyra,
Zuly, Leslie y Anny, por todo el apoyo brindado,
ya que sin ellas no hubiera realizado este trabajo
de investigación.*

*A mis primos que siempre estuvieron
presentes para aconsejarme y brindarme el
soporte necesario.*



AGRADECIMIENTO

*Un especial agradecimiento al Ing. Yorel
Noriega, al Ing. Alejandro Hidalgo y al Ing. Arturo
Arroyo, que me formaron en todo mi periodo
universitario.*

*Mi gratitud se extiende al Ing. Carlos
Giraldo Benites y al Ing. Félix Joseph Espinoza
por su tiempo y recomendaciones.*



RESUMEN

Las inundaciones se han vuelto cada vez más severas y recurrentes en todo el mundo debido a varios factores como lo puede ser el cambio climático Perú no es ajeno a esta problemática (Vargas, 2009). La infraestructura ha demostrado ser poco resiliente ante fenómenos hidrológicos como el fenómeno de Niño. En Arequipa el sector Ayanquera del río Tambo ha evidenciado problemas de desbordamiento, erosión de laderas, inundaciones y acumulación de materiales de arrastre, causando considerables daños materiales. En esta zona se pueden presentar flujos de detritos, las erosiones e inundaciones pueden afectar zonas de cultivo, a los centros poblados Puerto Viejo y Desamparados. Esto implica la ampliación de zonas agrícolas hacia las riberas de los ríos, problemas de inundación, escasez de productos, pérdida de suelos agrícolas y consecuentemente pérdida en la economía (Chalco Gutierrez, 2022).

Por lo tanto, es importante analizar el comportamiento del flujo y su impacto. Esta investigación propone desarrollar una comparación entre los programas IBER y Hec-RAS con la finalidad de elegir el modelo más representativo de la sección de investigación del Río Tambo y así estar al tanto del comportamiento fluvial frente a un suceso de avenidas intensas, con el objetivo de prevenir inundaciones.

Primero, se realizó la modelación hidrológica utilizando el modelo HEC-HMS, a través de la transformación precipitación – escorrentía utilizando el hidrograma unitario (SCS) y la precipitación neta a través del procedimiento del número de curva, obteniendo así flujos altos para distintos periodos de retorno. Para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, los caudales máximos fueron 650.10 m³/s, 922.30 m³/s y 1179.30 m³/s respectivamente.

En segundo lugar, se realizó la modelación hidráulica utilizando IBER y Hec-RAS, luego de haber realizado un levantamiento topográfico con dron. La conducta en ambas

modelaciones mostró una notable similitud respecto al perfil del flujo durante su estado de máximo caudal. En el caso analizado, aguas arriba, donde el régimen supercrítico es predominante, los ritmos son altos y los calados reducidos. En Hec-RAS se visualizan resultados de 0 a 4 m de calado, las velocidades en un rango de 0 a 5 m/s y las cotas de 221 a 256.2 m. Mientras que en IBER los resultados brindan mayor precisión, el calado varío de 0 a 4.20 m, las velocidades de 0 a 5.38 m/s y las cotas de 225.31 a 259.81 m. Es notable la reacción hidráulica del cauce en las marcas de inundación obtenidas en los softwares utilizados, demostrando que es posible que exista peligro de desbordamiento en ambos márgenes.

En tercer lugar, se comparan los modelos y se concluye que IBER es el más representativo, dado que ofrece una alternativa más eficaz para modelar ríos con geometrías más irregulares, en las que el manejo del terreno como una malla de volúmenes finitos interconectados recrea de forma más eficaz el suceso que el manejo de secciones vinculadas entre sí. Así, el agua fluye por el terreno, basándose en las ecuaciones de comportamiento establecidas, en cambio Hec-RAS lo considera como un camino preestablecido.

En cuarto lugar, se presentó como propuesta de optimización el diseño hidráulico de un dique enrocado con 4.50 m de promedio de altura y un ancho de 4.50 m, tanto en la parte derecha como en la izquierda del margen, el cual encauza el río con la finalidad de que no ocurra inundación.

Finalmente se puede afirmar que este estudio ayuda a reducir la brecha del conocimiento respecto a la comparación de modelos hidráulicos en diversos programas como lo son IBER y Hec-RAS.

Palabras clave: Modelo Hidráulico, Inundación, Riesgos hidráulicos.

ABSTRACT

Floods have become increasingly severe and recurrent around the world due to several factors such as climate change. Peru is no stranger to this problem (Vargas, 2009). The infrastructure has proven to be poorly resilient to hydrological phenomena such as the El Niño phenomenon. In Arequipa, the Ayanquera sector of the Tambo River has shown problems of overflow, slope erosion, flooding and accumulation of drift materials, causing considerable material damage. In this area, debris flows can occur, erosion and flooding can affect crop areas, the population centers of Puerto Viejo and Desamparados. This implies the expansion of agricultural areas towards the banks of the rivers, flooding problems, scarcity of products, loss of agricultural land and consequently loss in the economy (Chalco Gutierrez, 2022).

Therefore, it is important to analyze the flow behavior and its impact. This research proposes to develop a comparison between the IBER and Hec-RAS programs in order to choose the most representative model of the research section of the Tambo River and thus be aware of the fluvial behavior in the face of an event of intense floods, with the objective to prevent floods.

First, hydrological modeling was carried out using the HEC-HMS model, through the precipitation – runoff transformation using the unit hydrograph (SCS) and net precipitation through the curve number procedure, thus obtaining high flows for different periods of time. return. For the return periods of 50, 100 and 200 years, the maximum flows were 650.10 m³/s, 922.30 m³/s and 1179.30 m³/s respectively.

Secondly, hydraulic modeling was carried out using IBER and Hec-RAS, after having carried out a topographic survey with a drone. The behavior in both models showed a notable similarity with respect to the flow profile during its maximum flow state. In the case analyzed, upstream, where the supercritical regime is predominant, the rates are high and the drafts reduced. In Hec-RAS, results are displayed from 0 to 4 m draft, speeds in a range of 0 to 5 m/s

and elevations from 221 to 256.2 m. While in IBER the results provide greater precision, the draft varied from 0 to 4.20 m, the speeds from 0 to 5.38 m/s and the altitudes from 225.31 to 259.81 m. The hydraulic reaction of the channel is notable in the flood marks obtained in the software used, demonstrating that it is possible that there is a danger of overflow on both banks.

Thirdly, the models are compared and it is concluded that IBER is the most representative, given that it offers a more effective alternative to model rivers with more irregular geometries, in which the management of the terrain as a mesh of interconnected finite volumes recreates more efficient the event than the management of sections linked to each other. Thus, water flows through the terrain, based on the established behavior equations, whereas Hec-RAS considers it as a pre-established path.

Fourthly, the hydraulic design of a rock dam with an average height of 4.50 m and a width of 4.50 m was presented as an optimization proposal, both on the right and left sides of the bank, which channels the river with the so that flooding does not occur.

Finally, it can be stated that this study helps reduce the knowledge gap regarding the comparison of hydraulic models in various programs such as IBER and Hec-RAS.

Keywords: Hydraulic Model, Flood, Hydraulic Risks.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación de la Investigación	4
1.3 Objetivos de la investigación	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	5
1.5 Alcances y Limitaciones	5
CAPÍTULO II: Fundamento teórico	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Marco teórico	9
2.2.1 Río	9
2.2.2 Cuencas Hidrográficas	9
2.2.3 Inundaciones	12
2.2.4 Modelamiento Hidrológico	14
2.3.4. Modelamiento Hidráulico	32
2.3.5 Medidas de prevención	42
2.3.6 Propuestas de medidas estructurales	44

2.4	Marco legal	46
CAPÍTULO III: Metodología Propuesta		47
3.1	Tipo y nivel de investigación	47
3.2	Diseño de investigación	48
3.2.1	Variables	48
3.3.	Métodos de investigación	49
3.4.	Área de estudio	51
CAPÍTULO IV: Aspectos Hidrológicos		51
4.1.	Delimitación de la cuenca	55
4.2.	Tratamiento de información hidrológica	60
4.2.1.	Método del Vector regional	64
4.2.2.	Selección del método estadístico apropiado	72
4.3.	Cálculo de la CN	94
4.3.1.	Cálculo de Abstracción Inicial	96
4.4.	Isoyetas de precipitación	97
4.5.	Intensidad y Curvas IDF	102
4.6.	Hietograma de diseño	103
4.7.	Determinación de Caudales Máximos	107
CAPÍTULO V: Modelación Hidráulica		114
5.1.	Caracterización del cauce	114
5.1.1.	Levantamiento topográfico	114
5.1.2.	Número de Manning	115
5.2.	Modelación hidráulica –HEC-RAS 2D	116

5.3. Modelación hidráulica –IBER	135
5.4. Comparación de Modelos	149
5.4.1. Mancha de inundación	149
5.4.2. Velocidad del flujo	150
5.4.3. Numero de Cowan o número de Manning	151
5.4.4. Número de Froude y régimen de flujo	152
5.4.5. Tiempos de corrida	152
CAPÍTULO VI: Propuesta de Optimización	153
6.1. Parámetros hidráulicos pluviales y elementos de cauce	153
6.1.1. Cálculo del ancho estable	154
6.1.2. Cálculo hidráulico	157
6.1.3. Cálculo de la profundidad de socavación	160
6.2. Medidas no Estructurales	163
6.3. Medidas Estructurales	163
6.3.1. Descolmatación	164
6.3.2. Encauzamiento	169
CAPÍTULO VII: Conclusiones y Recomendaciones	179
7.1. Conclusiones	179
7.2. Recomendaciones	180
REFERENCIAS	181
ANEXOS	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de revisión de antecedentes.....	6
Tabla 2 Estación Cabanillas.....	16
Tabla 3 Estación La Joya.....	16
Tabla 4 Estación Moquegua	16
Tabla 5 Estación Ilo.....	17
Tabla 6 Estación Pillones.....	17
Tabla 7 Estación Imata	17
Tabla 8 Estación Crucero Alto	17
Tabla 9 Estación El Frayle.....	18
Tabla 10 Estación Las Salinas	18
Tabla 11 Estación Chiguata.....	18
Tabla 12 Estación Mazo Cruz.....	18
Tabla 13 Estación Pampa Blanca	19
Tabla 14 Estación Coalaque	19
Tabla 15 Estación Ubinas.....	19
Tabla 16 Estación Ichuña.....	19
Tabla 17 Estación Pampa de Majes.....	20
Tabla 18 Estación La Haciendita.....	20
Tabla 19 Estación Quinistanillas	20
Tabla 20 Estación Omate.....	20
Tabla 21 Estación Crucero.....	21
Tabla 22 Estación La Capilla.....	21
Tabla 23 Estación La Pampilla	21

Tabla 24 Estación Puquina	22
Tabla 25 Estación Carumas	22
Tabla 26 Estación Santa Lucia	22
Tabla 27 Estación Pampa Umalzo.....	22
Tabla 28 Variables independientes.....	48
Tabla 29 Variables dependientes.....	49
Tabla 30 Métodos de investigación.....	50
Tabla 31 Ubicación del tramo de estudio.....	52
Tabla 32 Data de las estaciones pluviométricas Cabanillas, Chiguata, Coalaque, Crucero, Crucero Alto, El Frayle, Ichuña, Ilo, Imata, La Capilla, La Joya, Las Salinas, Mazo Cruz	61
Tabla 33 Data de las estaciones pluviométricas Moquegua, Pampa Blanca, Pillones, Santa Lucia, Ubinas, La Pampilla, Pampa de Majes, La Haciendita, Pampa Umalzo, Carumas, Puquina, Omate y Quinistanillas,	62
Tabla 34 Estaciones- Grupo 1.....	65
Tabla 35 Estaciones-Grupo 2.....	66
Tabla 36 Estaciones- Grupo 3.....	68
Tabla 37 Estaciones-Grupo 4.....	69
Tabla 38 Estación -Grupo 5.....	71
Tabla 39 Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Cabanillas	73
Tabla 40 Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Coalaque	74
Tabla 41 Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Crucero Alto	75

Tabla 42	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ichuña	77
Tabla 43	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ilo	78
Tabla 44	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Imata	79
Tabla 45	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación La Joya	80
Tabla 46	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Las Salinas.....	81
Tabla 47	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Mazo Cruz	82
Tabla 48	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Moquegua.....	83
Tabla 49	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pampa Blanca	84
Tabla 50	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pillones	85
Tabla 51	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ubinas.....	86
Tabla 52	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pampa de Majes	87
Tabla 53	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación La Haciendita	88
Tabla 54	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Carumas	89
Tabla 55	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Puquina.....	90
Tabla 56	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Omate	91
Tabla 57	Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Quinistanillas.....	92
Tabla 58	Precipitaciones de las 19 estaciones para los diferentes periodos de retorno.....	93
Tabla 59	Mapa de Suelos.....	94
Tabla 60	Mapa de cobertura vegetal.....	95
Tabla 61	Curva Numero para las 24 cuencas	96
Tabla 62	Abstracción Inicial para 24 cuencas	97
Tabla 63	Precipitaciones aplicado en el centroide de cada cuenca	101
Tabla 64	Hietograma- Modelo Dyck Peschke para la cuenca W1170	104

Tabla 65	Hidrograma de máximas avenidas en la cuenca del Río Tambo	111
Tabla 66	Caudales Máximos para diferentes periodos de retorno por subcuencas	112
Tabla 67	Coeficientes de rugosidad del Rio Tambo-Sector Ayanquera.....	115
Tabla 68	Método de Pettis	154
Tabla 69	Método de Blench.....	155
Tabla 70	Método de Simons y Henderson.....	156
Tabla 71	Método de Altunin -Manning	156
Tabla 72	Recomendación práctica	157
Tabla 73	Resumen de métodos	157
Tabla 74	Método de Manning - Strickler	158
Tabla 75	Radio hidráulico	158
Tabla 76	Número de Froude	159
Tabla 77	Cálculo de altura de dique	159
Tabla 78	Profundidad de Socavación	161
Tabla 79	Selección de suelos.....	162
Tabla 80	Valores del coeficiente B.....	162

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación de la cuenca.....	55
Figura 2 Ubicación de las Estaciones Pluviométricas seleccionadas.....	60
Figura 3 Análisis Clúster aplicado a las estaciones pluviométricas.....	65
Figura 4 Vector regional aplicado para le grupo 02.....	67
Figura 5 Vector regional aplicado para le grupo 03.....	68
Figura 6 Vector regional aplicado para le grupo 04.....	70
Figura 7 Vector regional aplicado para le grupo 05.....	71
Figura 8 Ubicación de los 04 grupos de estaciones.....	72
Figura 9 Distribuciones de la estación Cabanillas.....	73
Figura 10 Distribuciones de la estación Coalaque.....	74
Figura 11 Distribuciones de la estación Crucero Alto.....	75
Figura 12 Distribuciones de la estación Ichuña.....	76
Figura 13 Distribuciones de la estación Ilo.....	77
Figura 14 Distribuciones de la estación Imata.....	78
Figura 15 Distribuciones de la estación La Joya.....	79
Figura 16 Distribuciones de la estación Las Salinas.....	80
Figura 17 Distribuciones de la estación Mazo Cruz.....	81
Figura 18 Distribuciones de la estación Moquegua.....	82
Figura 19 Distribuciones de la estación Pampa Blanca.....	83
Figura 20 Distribuciones de la estación Pillones.....	84
Figura 21 Distribuciones de la estación Ubinas.....	85
Figura 22 Distribuciones de la estación Pampa de Majes.....	86
Figura 23 Distribuciones de la estación La Haciendita.....	87

Figura 24 Distribuciones de la estación Carumas	88
Figura 25 Distribuciones de la estación Puquina	89
Figura 26 Distribuciones de la estación Omate.....	90
Figura 27 Distribuciones de la estación Quinistanillas	92
Figura 28 Isoyetas para un TR=5 años.....	98
Figura 29 Isoyetas para un TR=10 años.....	99
Figura 30 Isoyetas para un TR=50 años.....	99
Figura 31 Isoyetas para un TR=100 años.....	100
Figura 32 Isoyetas para un TR=200 años.....	101
Figura 33 Curvas IDF para la cuenca W1170	103
Figura 34 Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=50años.....	105
Figura 35 Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=100años.....	106
Figura 36 Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=200años.....	107
Figura 37 Precipitación vs Tiempo para un TR=50años para la W1170	108
Figura 38 Precipitación vs Tiempo para un TR=100 años para la W1170	108
Figura 39 Precipitación vs Tiempo para un TR=100 años para la W1170	109
Figura 40 Dirección del flujo y distribución en HMS	110
Figura 41 Caudal Máximo para el TR=50 años	110
Figura 42 Caudal Máximo para el TR=100 años	111
Figura 43 Caudal Máximo para el TR=200 años	111
Figura 44 Levantamiento Topográfico en el Río Tambo-Sector Ayanquera.....	114
Figura 45 Número de Manning en el Río Tambo-Sector Ayanquera	116
Figura 46 Modelación hidrológica	117
Figura 47 Boletín informativo de aviso Hidrológico	130

Figura 48 Calibración por el método de teledetección	132
Figura 49 Mancha de inundación Hec-RAS.....	149
Figura 50 Mancha de inundación IBER	149
Figura 51 Manchas de inundación superpuestas	150
Figura 52 Velocidad del flujo resultante por los modelos Hec-RAS e IBER en el instante del Caudal Pico.....	151
Figura 53 Sección típica de dique	160
Figura 54 Demarcación del margen derecho y margen izquierdo.....	164
Figura 55 Ancho estable en Civil 3D	165
Figura 56 Alineación y creación de curvas en ambos márgenes en Civil 3D	165
Figura 57 Perfiles en Civil 3D.....	166
Figura 58 Pendiente del Río en Civil 3D.....	166
Figura 59 Triangulación en la zona de estudio en Civil 3D	167
Figura 60 Descolmatación del Río en la zona de estudio.....	167
Figura 61 TIM del tramo de estudio después de la descolmatación.....	168
Figura 62 INTERPOLATE SHAPE del tramo de estudio	168
Figura 63 Archivo ASC para abrirlo en IBER	169
Figura 64 Tramo des colmatado en IBER 2D	170
Figura 65 Creación de diques en herramientas IBER	170
Figura 66 Creación del dique en IBER 2D.....	171
Figura 67 Llenado de datos para la creación de diques.....	171
Figura 68 Resultado de calado de tramo des colmatado y con diques de 3m en IBER	172
Figura 69 Dique corregido en el margen derecho	173
Figura 70 Creación de dique enrocado en Civil3D con corredor.....	174

Figura 71 Creación de dique enrocado en Civil 3D 175

Figura 72 Gráfico de dique enrocado en el margen derecho del tramo de estudio 176

Figura 73 Dique enrocado aplicado en ambos márgenes 177

Figura 74 Diques enrocados en ArcGIS-Arc Scene 178



ÍNDICE DE FÓRMULAS

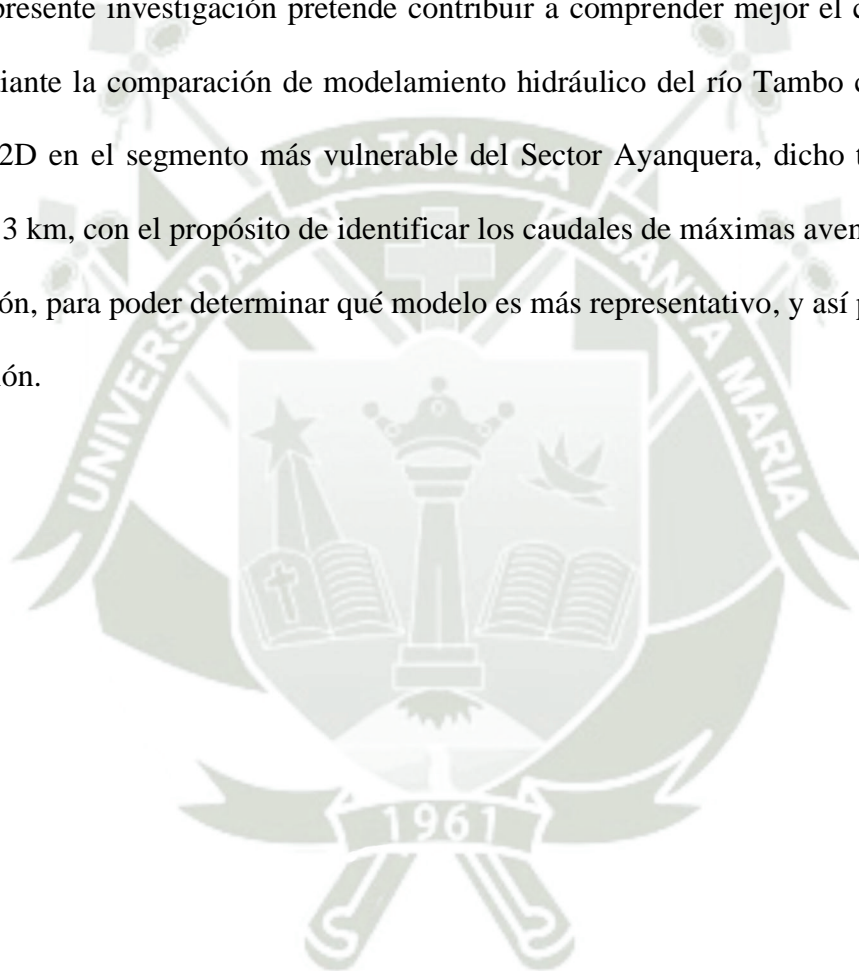
Ecuación 1 Coeficiente de compacidad.....	11
Ecuación 2 Factor de forma.....	11
Ecuación 3 Ecuación de la Distribución Log Normal 3 parámetros.....	25
Ecuación 4 Ecuación de la Distribución Gamma 2 parámetros	25
Ecuación 5 Ecuación de Gamma 3 parámetros	26
Ecuación 6 Ecuación de la Distribución Log Pearson tipo III.....	26
Ecuación 7 Ecuación de la Distribución Gumbel.....	27
Ecuación 8 Ecuación de la Desviación media	28
Ecuación 9 Fórmula de Kirpich para calcular el tiempo de concentración	29
Ecuación 10 Ecuación de la Intensidad máxima	30
Ecuación 11 Ecuación de la Profundidad de precipitación	30
Ecuación 12 Ecuación de la Abstraccion Inicial	31
Ecuación 13 Fórmula de Manning.....	33
Ecuación 14 Ecuación del Radio Hidráulico	33
Ecuación 15 Ecuación del Caudal	33
Ecuación 16 Ecuación del Número de Cowan	34
Ecuación 17 Principio de conservación de masas en una dirección.....	37
Ecuación 18 Principio de conservación del momento en una dirección	38
Ecuación 19 Ecuación de Saint Venant bidimensionales	38
Ecuación 20 Ecuación de masa en dos direcciones	38
Ecuación 21 Ecuación de momento en dos direcciones	39
Ecuación 22 Cálculo de la curva número	94
Ecuación 23 Modelo de Dick Peschke	102

Ecuación 24 Ecuación para calcular la Intensidad	102
Ecuación 25 Ecuación para calcular la Intensidad máxima.....	103
Ecuación 26 Ecuación de riesgo admisible	153
Ecuación 27 Ecuación del ancho estable	154
Ecuación 28 Método de Blench.....	155
Ecuación 29 Método de Simons y Henderson.....	155
Ecuación 30 Método de Altunin Manning.....	156
Ecuación 31 Método de Manning-Strickler.....	158
Ecuación 32 Ecuación para calcular el número de Froude.....	159
Ecuación 33 Ecuación para calcular la altura del dique	159
Ecuación 34 Ecuación para calcular la profundidad de socavación suelos granulares-no cohesivos	160
Ecuación 35 Ecuación para calcular la profundidad de socavación suelos cohesivos	161

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Arequipa, provincia de Islay, se presenta problemas de inundaciones, desbordamientos, erosión de laderas y acumulación de materiales de arrastre, lo cual involucra expansión de zonas agrícolas hacia las orillas de los ríos, perder zonas de cultivo y, consecuentemente, una pérdida en la economía.

La presente investigación pretende contribuir a comprender mejor el comportamiento del río mediante la comparación de modelamiento hidráulico del río Tambo con IBER 2D y HEC RAS 2D en el segmento más vulnerable del Sector Ayanquera, dicho tramo tiene una longitud de 3 km, con el propósito de identificar los caudales de máximas avenidas, los grados de inundación, para poder determinar qué modelo es más representativo, y así poder definir un plan de acción.



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Perú se encuentra entre las naciones más susceptibles a los impactos del cambio climático que sufre el planeta debido al impacto ambiental global. Los fenómenos hidrometeorológicos se han incrementado más de seis veces entre 1997 a 2006, mientras que eventos climáticos extremos, entre ellos deslizamiento de tierra, inundaciones, heladas y el fenómeno de El Niño, se están produciendo con más frecuencia y fuerza (Tarabochia, 2014).

La ciudad de Arequipa no está exenta a estas catástrofes naturales, siendo recurrentes los sucesos como las altas precipitaciones que experimenta en el período comprendido entre diciembre y febrero, produciendo un alto riesgo para los pobladores y las propiedades ubicadas en los límites de los ríos más importantes de la ciudad, como sucede con el Río Tambo. (Rivera et al., 2018)

Las inundaciones en el sector Ayanquera del río Tambo son un problema frecuente, creando problemas de inundaciones, desbordamientos, erosión de laderas y acumulación de materiales de arrastre, resultando en una pérdida significativa de materiales. En esa zona el río es de naturaleza anastomosada, por lo que su cauce tiende a cambiar cada cierto periodo de tiempo, particularmente cuando se surgen lluvias extraordinarias, afectando así varias márgenes. Este sector se sitúa en un anticuado depósito diluvial, creado por los residuos de la degradación de las laderas. En esta área se pueden presentar flujos de detritos, así como inundaciones y erosiones que pueden afectar zonas de cultivo, a los centros poblados Puerto Viejo y Desamparados, lo cual involucra expansión de zonas agrícolas hacia las orillas de los ríos, provocando inundaciones, perder zonas de cultivo, falta de productos y, consecuentemente, una pérdida en la economía. Por ende, es crucial entender el comportamiento del río frente a un

suceso de máximas avenidas, con la finalidad definir un plan de acción (Núñez Juárez & Gomez Velásquez, 2012))

Según Sardón Quispe han existido muchos problemas hidrológicos en el río Tambo. El 04 de febrero del año 2012 en la provincia de Islay entre el tramo de Chaca alta y La Curva, hubo un desborde del Río Tambo causando inundaciones en terrenos de cultivo y residencias en peligro. Se perdieron 1150 hectáreas de arroz, así como 200 hectáreas de tierras de cultivo, canales, carreteras y rutas rurales, protección de riberas y bocatomas. El 15 de febrero del año 2012 en la provincia de Islay – Dean Valdivia, hubo un desborde del Río Tambo destruyendo áreas de cultivo de arroz, eliminando animales, devastando canales de irrigación, provocando bocatomas y cubriendo las pozas de cultivo con lodo y arena. A su vez el 10 marzo del año 2012, hubo una crecida del Río Tambo generando en 01 km erosión y el colmata miento de la vía de acceso al carrizal, dejando a familias incomunicadas. El 26 febrero del año 2017 en la provincia de Islay – Cocachacra hubo un desborde del Río Tambo generando daños en el dique existente, deterioro de terrenos de cultivo de arroz (Sardon Quispe et al., 2022).

Ante esta problemática la presente investigación pretende contribuir a comprender mejor el comportamiento del río mediante la comparación de modelamiento hidráulico del río Tambo con IBER 2D y HEC RAS 2D en el segmento más vulnerable del Sector Ayanquera, dicho tramo tiene una longitud de 3 km, con el propósito de identificar los caudales de máximas avenidas, los grados de inundación y poder determinar qué modelo es más representativo.

Entonces la investigación busca responder la pregunta: ¿Cuál es el modelo más representativo del análisis comparativo del modelamiento hidráulico mediante los programas IBER 2D y HEC-RAS 2D ante peligro de inundación?

1.2 Justificación de la Investigación

El área del proyecto de tesis se determinó con el adecuado análisis y selección de la infraestructura de encauzamiento, debido a que ha sufrido un considerable perjuicio debido a el arrastre o debilitamiento de la ribera en su margen izquierda a su vez se cuenta con gran interés de parte de los beneficiarios, los cuales han buscado financiamiento con instituciones cooperantes.

Por lo cual, la presente investigación determinará el modelo más representativo para poder prever el comportamiento de agua ante vinculo de inundación riesgosa, y realizar el análisis y diseño de medidas estructurales y no estructurales para reducir el impacto financiero negativo.

Además, la investigación se justifica desde su originalidad debido a que, tal como se evidenciará en la revisión de literatura, no se ha realizado un estudio que contribuya a comprender mejor el comportamiento del río a través de una comparación de modelos para el área de análisis.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo general*

Comparar el modelamiento hidráulico mediante los programas HEC-RAS e IBER, con el propósito de elegir el modelo más representativo para el tramo de estudio del Río Tambo con fines de prevención ante inundaciones.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Modelar hidrológicamente el tramo de estudio, y calcular los caudales de máximas avenidas.

- Modelar hidráulicamente el tramo de estudio y calibrar el modelo mediante los programas HEC RAS e IBER, comprobando si es posible que exista desbordamiento.
- Realizar el análisis comparativo de los programas HEC RAS e IBER, y determinar el modelo más representativo.
- Presentar una propuesta de optimización para mitigar los daños ante una eventual catástrofe relacional provocado por el desbordamiento del río Tambo.

1.4 Hipótesis

La comparación del modelamiento hidráulico mediante los programas HEC-RAS e IBER permitirá conocer el modelo más representativo para la modelación del tramo de estudio del río Tambo, obteniendo como resultado el nivel del agua por lo que se espera establecer estudios de inundabilidad, pudiéndose plantear estructuras de protección.

1.5 Alcances y Limitaciones

Tal como se mencionó en el problema, la comparación de los modelos hidráulicos tomará como caso de estudio un tramo de 3 km en el sector Ayanquera, lo cual incluye los predios rurales adyacentes.

Respecto a las limitaciones se puede mencionar la representatividad de data de precipitación máxima diaria.

CAPÍTULO II: Fundamento teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

La Tabla N°1 detalla los principales antecedentes de la investigación, señalando su relevancia, métodos utilizados y caso.

Tabla 1.

Matriz de revisión de antecedentes

ID	Autor	Relevancia	Tipo de modelo	Caso
01	(Coloma Laimito, 2015)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelo hidráulico, con fines de prevención de inundaciones.	-HEC- HMS - HEC- RAS	Arequipa Perú
02	(Aguilar Chávez, 2017)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelo hidráulico, para realizar posteriormente un diseño de defensa ribereña como salvaguarda de la infraestructura hidráulica susceptible del río, como medida de protección.	- HEC- RAS	Yarabamba Arequipa Perú
03	(Ccanccapa Puma, 2019)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelo hidráulico, para llevar a cabo más adelante una defensa ribereña en la región de estudio.	- HEC- RAS	Socabaya Arequipa Perú
04	(Alaya García & Riquero Miranda, 2021)	Caracterización de estudios similares al planteado, eligieron 20 proyectos para constituir el grupo de estudio. Se aconseja utilizar datos proporcionado por entidades, internet o trabajos previos, utilizar un modelo digital de terreno, determinar los flujos picos con el respaldo de un programa, y usar HEC-RAS para el modelado hidráulico.	- HEC- RAS	Cajamarca Perú
05	(Mamani Mamani)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelo hidráulico. Se sugiere la construcción de diques de enrocado en áreas críticas de la sección de investigación.	-HEC-RAS	Cabanillas Puno Perú
06	(Knebl et al., 2005)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelado de inundaciones y un modelo hidrológico. Los hallazgos de este estudio favorecerán las consecuencias futuras de modelización al proporcionar una herramienta para los pronósticos hidrológicos e inundaciones a escala regional.	-HEC- HMS -HEC-RAS	Texas México
07	(Pinos & Timbe, 2019)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza una evaluación comparativa de cuatro modelos bidimensionales de hidráulica, en relación con la creación de mapas de inundaciones. Concluyendo que para un caso determinado	-HEC-RAS -Flood Modeller -IBER 2D	Gualaceo Ecuador

		IBER 2D demuestra un excelente desempeño en la simulación de la gestión de riesgo ante inundaciones con periodo de retorno 20 y 50 años.	- PCSWMM	
08	(Garrote et al., 2016)	Estudio similar al planteado en esta investigación, realizando una cuantificación del riesgo económico de inundaciones repentinas mediante funciones de daños por etapas. Además, una clasificación detallada y una evaluación financiera de los activos expuestos es el paso crucial para asegurar una estimación precisa de las pérdidas financieras.	-IBER 2D	Segovia España
09	(Bonasia & Ceragene, 2021)	Estudio similar al planteado en esta investigación, en tanto que realiza un modelo hidráulico, tiene como propósito proporcionar un instrumento para determinar la respuesta del terreno inundable ante inundaciones a partir de un estudio hidráulico. Los resultados muestran que, para un río no aforado, el análisis hidráulico es una herramienta esencial para determinar los principales puntos potenciales de inundación y establecer si el río tiene capacidad para contener las inundaciones.	-IBER 2D	Guerrero México
10	(Fraga et al., 2020)	Estudio similar al planteado en esta investigación. Se presenta MERLIN, un innovador sistema de predicción de peligros de inundaciones para predecir descargas y niveles de agua en zonas susceptibles a inundaciones de cuencas costeras (de alerta temprana). Los caudales y niveles de agua pronosticados se ajustaron bien a los valores observados, especialmente en las cuencas más grandes.	-Modelo IBER	Coruña México
11	(Espinoza Vigil & Booker, 2023)	Estudio similar al planteado en esta investigación, se analiza la vulnerabilidad hidrológica de puentes pluviales, a través de un estudio en el puente Bajo Grau. La simulación hidráulica, así como el estudio de suelos, proporcionó los parámetros para establecer el grado de daño en el puente, siendo posible que la superestructura se inunde. Se determinó que el puente tiene una alta vulnerabilidad hidrológica.	-HEC RAS	Arequipa Perú
12	(Gashu et al., 2023)	Estudio similar al planteado en esta investigación en tanto que realiza una evaluación del problema de las inundaciones del río. Para realizar este estudio se utilizaron diferentes modelos. Debido a la falta de disponibilidad del nivel de agua observado y las curvas de clasificación en el área de estudio, el resultado de la calibración y validación del modelo se comparó cualitativamente y se obtuvieron resultados relativamente buenos.	-HEC HMS -HECGEO HMS -HEC RAS	Sedie Etiopía

En la tabla se muestra estudios similares al planteado en esta investigación. Los 03 primeros ítems son tesis en la que los autores realizan un modelamiento hidráulico utilizando el software HEC RAS 2D, para posteriormente realizar un diseño de defensa ribereña. En el ítem 04 se describe que eligieron 20 proyectos para constituir el grupo de estudio en el cual se revisa cada uno de ellos y se brinda recomendaciones para futuros trabajos, en el caso de modelación hidráulica recomiendan utilizar HEC RAS. En el ítem 05 se realiza un modelamiento hidráulico utilizando el software HEC RAS 2D y Se sugiere la construcción de diques de enrocado en áreas críticas de la sección de investigación. En el ítem 06 se realiza un modelado hidráulico con HEC HMS y HEC RAS, nos menciona que los resultados beneficiaran a los efectos futuros de modelización a escala regional. En el ítem 07 se realiza un estudio comparativo de cuatro modelos bidimensionales de hidráulica, en relación con la creación de mapas de inundaciones. Concluyendo que para un caso determinado IBER 2D tiene un alto rendimiento en la simulación de la gestión de riesgo ante inundaciones con periodo de retorno 20 y 50 años. En el ítem 08 también describe un modelamiento hidráulico realizando unas cuantificaciones del riesgo económico de inundaciones repentinas, además una clasificación detallada y una evaluación financiera. En el ítem 09 se describe que se realiza un modelado hidráulico con IBER 2D, que tienen como objetivo proporcionar una herramienta esencial para determinar los principales puntos potenciales de inundación y establecer si el río tiene capacidad para contener las inundaciones. En el ítem 10 también se describe el modelamiento hidráulico con IBER 2D, en este estudio se presenta MERLIN, un innovador sistema de predicción de peligros de inundaciones, el desempeño de este sistema dio resultados que se ajustaron a los valores observados. En el ítem 11 también se analiza la vulnerabilidad hidrológica de puentes pluviales, a través de un estudio en el puente Bajo Grau Arequipa. La simulación hidráulica, así como el estudio de suelos, proporcionó los parámetros para establecer el grado de daño en el puente,

siendo posible que la superestructura se inunde, a su vez se determinó que el puente tiene una alta vulnerabilidad hidrológica. En el ítem 12 se realiza una evaluación del problema de las inundaciones del río Sedie. Para realizar este estudio se utilizaron diferentes modelos. Debido a la falta de disponibilidad del nivel de agua observado y las curvas de clasificación en el área de estudio, el resultado de la calibración y validación del modelo se comparó cualitativamente y se obtuvieron resultados relativamente buenos

2.2 Marco teórico

2.2.1 Río

Los ríos son un regalo de la naturaleza al hombre, por eso las primeras civilizaciones se asentaron en sus llanuras. En el último siglo se lograron avances significativos en el campo de la hidráulica fluvial. Sin embargo, nuestro conocimiento de los ríos es sumamente empírico, y aún nos queda un extenso trayecto por atravesar antes de conocer las leyes básicas del perfecto comportamiento de los cauces naturales y acerca de la interacción de las obras que construimos en ellos y que los afectan (Vide, 2009).

2.2.2 Cuencas Hidrográficas

Se refiere al área de territorio restringida por las zonas más elevadas de montañas, pendientes y colinas, donde se establece una red de drenaje superficial que recoge y dirige las aguas superficiales hacia un río principal, el cual se une a un cuerpo de agua más grande (Ordóñez, 2011). La investigación de cuencas busca establecer sus particularidades de índole hídrica y geomorfológica en relación con su aporte y dinámica hidrológica. El entendimiento más amplio de la dinámica de las cuencas nos permitirá anticipar y responder mejor a los desafíos al edificar obras (MTC, 2012).

2.2.2.1 Partes de una cuenca

- Cuenca Alta, es donde predomina el fenómeno de socavación. En otras palabras, existe una aportación de material arcilloso, donde se puede apreciar señales de erosión.

- Cuenca Media, es donde existe un balance intermedio entre el material sólido que se transporta a través del flujo y el material que se expulsa. No existe erosión perceptible.

- Cuenca Baja, es la sección en que se ubica el material que se extrae de la zona superior.

2.2.2.2 Características y fisiográficas de la cuenca

Las características funcionales y físicas de una cuenca hidrográfica pueden describirse como los distintos elementos que definen el tipo de descarga en un flujo de agua. La comprensión de estas características puede clasificarse en elementos que se relacionan con las características fisiográficas, físicas y climáticas. Para identificar el proceder de las aguas superficiales, se establecieron las particularidades fisiográficas más relevantes de cada cuenca analizada.

2.2.2.2.1 Área de la cuenca

Se asemeja a la representación planimétrica de una superficie; y su influencia en las características de los flujos de agua, la unidad de medición es en km^2 .

2.2.2.2.2 Perímetro

Se define por la longitud de la línea de separación de aguas, se denomina como el “parte aguas o Divortium Acuarium”, y la unidad de medida es en km.

2.2.2.3 Parámetros de forma

2.2.2.3.1 Coeficiente de compacidad

El Coeficiente de Compacidad (K_c , adimensional), también conocido como Índice de Gravelius, representa la correlación entre el perímetro de una cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área equivale a la de un círculo y es igual al área de la cuenca en análisis.

Ecuación 1*Coefficiente de compacidad*

$$K_c = \frac{0.28P}{A^{1/2}}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km)

2.2.2.3.2 Factor de forma

El aspecto geomorfológico de la cuenca hidrográfica es relevante ya que afecta el valor del tiempo de concentración, entendido como el periodo requerido para que toda la cuenca aporte al flujo en la sección analizada. El Factor de Forma (Kf, adimensional), es otro indicador numérico que permite identificar la forma y la evolución del crecimiento más o menos pronunciada de una cuenca. Esto se debe a que la forma de la cuenca influye en los hidrogramas de escorrentía y las tasas de caudal intenso.

Ecuación 2*Factor de forma*

$$K_f = \frac{A_m}{L}$$

Donde:

Kf = Factor de forma

Am = Ancho medio de la cuenca (km)

L = Longitud del curso más largo (km)

Si tiene forma alargada una cuenca, el factor de forma se inclina a cero, en cambio, si su forma es circular, el factor forma se inclina a uno. Este factor, al igual que los otros empleados en este estudio, sirve como referencia para determinar la dinámica prevista de la escorrentía

superficial en una cuenca. Considerando que las cuencas con formas alargadas suelen tener un flujo de agua más rápido en comparación con las cuencas redondeadas, consiguiendo que el agua se drene adecuadamente de la cuenca más veloz y un incremento en la generación de energía cinética en el desplazamiento de partículas desde la columna de agua hasta el lecho de río.

2.2.2.4 Parámetros de relieve

2.2.2.4.1 Longitud del cauce principal (L)

Se conoce como longitud de cauce principal (L, en km), al trayecto más extenso que lleva el río desde el inicio de la cuenca, atravesando todas las variaciones de dirección o sinuosidades hasta un lugar fijo, que puede ser un punto de medición, un lugar de desembocadura o una estación de aforo.

2.2.2.4.2 Pendiente del cauce principal

Se refiere a la correlación entre la variación en la nivelación del cauce principal y su proyección horizontal. Se ha establecido para cada subcuenca la pendiente del cauce principal.

2.2.3 Inundaciones

Se refiere a la ocupación del agua de áreas o zonas que normalmente están secas. Ocurren a causa del impacto de la subida momentánea del nivel del río, lago u otro. Dependiendo de uso de tierras próxima a los causes de los ríos, las inundaciones pueden ser sucesos controlables por el ser humano. Los caudales de inundación se categorizan como causas naturales y no naturales (Galanton & Romero, 2007).

2.2.3.1 Causas naturales

A) Meteorológicas: Las precipitaciones intensas son el principal factor natural de las inundaciones, pero existen otros factores relevantes, entre los que se incluyen la lluvia en exceso. Los temporales de lluvias son la causa fundamental de los caudales picos, sobre todo

cuando el suelo no puede retener o acumular toda el agua que se precipita, esta se desplaza por la superficie (escorrentía) elevando así la cota de los ríos.

B) Por desbordamiento de ríos: como resultado de un incremento en su volumen debido a las precipitaciones. En estas serán cruciales el tipo y distribución de las precipitaciones, su fuerza, la orografía, la flora, el tipo de terreno de la cuenca y del río, además de las construcciones hidráulicas realizadas en él, como presas, canalizaciones, etc. Además, el estado de humedad del suelo, tienen un impacto, que normalmente depende de si ha llovido o no en los días previos.

C) Por inundaciones “in situ”: esto es, la acumulación de agua debido a una intensa lluvia. En este contexto, es crucial la condición de la red de drenaje y la existencia de infraestructura que pueden ser inundadas con facilidad, como sótanos o pasos subterráneos.

2.2.3.2 Causas no naturales

A) Roturas de presas: cuando una presa se rompe, toda el agua acumulada en ella se libera de manera abrupta, expandiéndose y arrasando con todo lo que está encuentra en su entorno.

B) Actividades humanas: Las consecuencias de las inundaciones se intensifican debido a ciertas acciones humanas como, por ejemplo:

- Al asfaltar, se impermeabilizan las superficies del suelo cada vez más, lo que evita que el agua sea absorbida por la tierra y permite que las aguas alcancen rápidamente los cauces de los ríos, incrementando así su caudal de forma peligrosa.

- Al talar los árboles para sembrar, eliminamos la capa de vegetación de terreno. Cuando llueve, el agua arrastra la tierra hacia los estratos inferiores, bloqueando los ríos y las presas, lo que provoca inundaciones y también la erosión del terreno.

- Las canalizaciones resuelven los problemas de inundación, pero los empeoran en aquellos lugares donde el agua se infiltra con rapidez.
- El uso de construcciones en los cauces reduce el área apta para desocupar el agua y la habilidad de la llanura para resistir la inundación del río.
- El negligencia o ausencia de cuidado en los sistemas de drenajes. El uso de ríos y quebradas como almacenamiento de residuos de cualquier clase.

2.2.4 Modelamiento Hidrológico

Se definen criterios de diseño basándose en el estudio de la información hidrológica y meteorológica existente en el campo de estudio, con el objetivo de elegir la opción más adecuada para cada situación específica. El SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología), debe proporcionar la data hidrológica y meteorológica necesaria para el estudio, siendo este organismo responsable de las actividades hidrometeorológicas en la nación. En sitios donde se posee la información del SENAMHI, y en caso de ser así, se recolectará datos de las entidades responsables de la gestión de los recursos hídricos del lugar. La documentación y análisis de las máximas avenidas anuales facilita la determinación de la probabilidad de que sucedan avenidas de determinada envergadura. Es importante considerar que las avenidas son anomalías provocadas por la naturaleza aleatoria de las corrientes de los ríos. La aparición de elevadas en los ríos se explica desde una perspectiva probabilística. Es otras palabras, cada avenida está vinculada a una probabilidad de suceso. Es crucial destacar que los métodos y procedimientos solo incluyen la medición de caudales líquidos derivados de las agua pluviales, no contemplan la medición de flujos derivados de deshielos, inundaciones provocadas por el desbordamiento de ríos y la caída de presas de irrigación(MTC, 2012).

El modelado de eventos hidrológicos muestra la respuesta de una cuenca ante un suceso de lluvia única(Duque-Sarango et al., 2019). Hoy en día, hay métodos de modelación conceptual

y física sólidamente consolidados que se han utilizado para replicar procesos hidrológicos en diversas cuencas hidrográficas. Como parte del proyecto de tesis, es crucial el análisis hidrológico de la cuenca, con el cálculo de caudales picos, previamente investigado en la fase hidrológica que permita la implementación de este diseño (Chacon Lima, 2023).

2.2.4.1 Delimitación de la cuenca

Se delimita la cuenca Tambo con sus respectivas subcuencas (área menor a 1000km²), para utilizar dicha información en el uso del modelo de conversión de la precipitación a escurrentía.

2.2.4.2 Tratamiento de la información hidrológica

2.2.4.2.1 Generalidades

El campo de estudio abarca las cuencas de la Vertiente del Pacífico, donde la interacción del Anticiclón del Pacífico (AP) regula en gran parte las precipitaciones, todas ellas afectadas por la Cordillera de los Andes de Perú. Estas precipitaciones se ocasionan debido a la colisión de masas de aire húmedo y frío al oeste de la cordillera andina, que son arrastradas por corrientes de este a oeste hacia el Pacífico. Por ende, hay una correlación positiva entre la lluvia y la altitud.

2.2.4.2.2 Información disponible

En el área de investigación se encuentra una red de estaciones pluviométricas que registran datos diarios a las 7 y 19 horas. Esta información se extrajo de los archivos del SENAMHI y del ANA (Autoridad Nacional del Agua). Para la investigación se tomó en cuenta la mayor cantidad de estaciones situadas en el interior como exterior de las cuencas, considerando datos de calidad, el número de registros y su impacto en la cuenca.

Tras el análisis de los datos, se eligieron 26 estaciones pluviométricas que inciden directamente en la región de análisis.

La tabla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27 muestran las coordenadas geográficas, ubicación, altitud. Además, se presenta la ampliación de sus registros históricos por estación.

Tabla 2

Estación Cabanillas

<i>Estación</i>	<i>Departa</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Cabanillas	Puno	San Román	Cabanillas	70° 20' 47.79"	15° 38' 20.79"	3885	1965- 2022

Tabla 3

Estación La Joya

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
La Joya	Arequipa	Arequipa	Vitor	71° 55' 28.69"	16° 35' .91"	1278	1965- 2022

Tabla 4

Estación Moquegua

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Moquegua	Moquegua	Mariscal Nieto	Moquegua	70° 55' 57.7"	17° 10' 43.5"	1420	1965- 2014

Tabla 5

Estación Ilo

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Ilo	Moquegua	Ilo	El Algarrobal	71° 16' 18.8'	17° 37' 25.7"	60	1965- 2022

Tabla 6

Estación Pillones

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Pillones	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	71° 13' .1"	15° 58' 52.5"	4432	1965- 2022

Tabla 7

Estación Imata

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Imata	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	71° 5' 26.22"	15° 50' 33.56"	4475	1965- 2022

Tabla 8

Estación Crucero Alto

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Crucero Alto	Puno	Lampa	Santa Lucia	70° 55' 1"	15° 46' 1"	4470	1965- 2014

Tabla 9

Estación El Frayle

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
El Frayle	Arequipa	Arequipa	San Juan de	71° 11'	16° 9'	4131	1965-
			Tarucani	20.77"	17.35"		2022

Tabla 10

Estación Las Salinas

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Las Salinas	Arequipa	Arequipa	San Juan de	71° 9' 7.62"	16° 19'	4349	1965-
			Tarucani		14.3"		2022

Tabla 11

Estación Chiguata

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Chiguata	Arequipa	Arequipa	Chiguata	71° 24' 1"	16° 24' 1"	2943	1965-
							2014

Tabla 12

Estación Mazo Cruz

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Mazo Cruz	Puno	El Collao	Santa Rosa	69° 42' 55.6"	16° 44' 20"	3980	1965-
							2015

Tabla 13

Estación Pampa Blanca

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Pampa Blanca	Arequipa	Islay	Cocachacra	71° 43' 28.29"	17° 4' 17.79"	108	1965- 2022

Tabla 14

Estación Coalaque

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Coalaque	Moquegua	General Sánchez Cerro	Coalaque	71° 1' 1"	16° 39' 1"	2250	1965- 2013

Tabla 15

Estación Ubinas

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Ubinas	Moquegua	General Sánchez Cerro	Ubinas	70° 51' 14.61"	16° 23' 19.59"	3381	1965- 2022

Tabla 16

Estación Ichuña

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		

Ichuña	Moquegua	General	Ichuña	70° 32' 33.73'	16° 8' 27.91"	3778	1965-
		Sánchez					2022
		Cerro					

Tabla 17

Estación Pampa de Majes

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Pampa de Majes	Arequipa	Islay	Cocachacra	70° 32' 33.73'	16° 46' 45"	112	1965- 2014

Tabla 18

Estación La Haciendita

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
La Haciendita	Arequipa	Islay	Cocachacr a	71° 32' 36.5	16° 45' 58"	360	1983- 2022

Tabla 19

Estación Quinistanillas

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Quinistani llas	Moquegua	General	Quinistani	70° 52' 42.9'	16° 37' 59"	1765	1983- 2022
		Sánchez	llas				
		Cerro					

Tabla 20

Estación Omate

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
-----------------	---------------	------------------	-----------------	--------------------	--	----------------	----------------

				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>m.s.n.m.</i>	<i>Registro</i>
Omate	Moquegua	General	Omate	70° 58' 45.3'	16° 40' 31.1"	2130	1983-
		Sánchez					2022
		Cerro					

Tabla 21

Estación Crucero

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Crucero	Puno	Lampa	Santa	70° 46' 42.3"	15° 56' 21"	2220	1965-
			Lucia				2014

Tabla 22

Estación La Capilla

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
La Capilla	Arequipa	Islay	Cocachacra	71° 20' 27"	16° 76' 54"	2306	1965-
							2015

Tabla 23

Estación La Pampilla

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
La	Arequipa	Islay	Cocachacr	71° 45' 00"	16° 46' 56"	2400	1965-
Pampilla			a				2014

Tabla 24

Estación Puquina

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Puquina	Moquegua	General	Puquina	71° 11' 5.1"	16° 37' 47.2"	3109	1983-
		Sánchez					
		Cerro					

Tabla 25

Estación Carumas

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Carumas	Moquegua	General	Carumas	70° 59' 49"	16° 21' 26.3"	3109	1983-
		Sánchez					
		Cerro					

Tabla 26

Estación Santa Lucia

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		
Santa	Puno	Lampa	Santa	70° 59' 27.8"	15° 51' 36.4"	4080	1965-
Lucia			Lucia				

Tabla 27

Estación Pampa Umalzo

<i>Estación</i>	<i>Depart</i>	<i>Provincia</i>	<i>Distrito</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Altitud</i>	<i>Periodo</i>
				<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>		

Pampa	Moquegua	General	Pampa	70° 42' 32"	16° 57' 47.3"	4609	1983-
Umalzo		Sánchez	Umalzo				2022
		Cerro					

2.2.4.2.3 Método del Vector Regional

Se ha utilizado con el fin de estudiar la consistencia de las precipitaciones. Este consiste en crear, basándose en la data existente, una estación ficticia que represente toda la región de estudio. Después, para cada estación se determina un promedio ampliado a lo largo de todo el período de estudio, y para cada año, se determina un índice.

Es un modelo sencillo destinado al estudio de los datos de precipitación de una región y a la elaboración de dichos datos. Este procedimiento fue creado por el IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) en la década de 1970 con la finalidad de uniformizar los datos de precipitación. G. Hiez y Y. Brunet Moret, desarrollaron dos técnicas para calcular el Vector Regional. Este procedimiento facilita la representación de la información pluviométrica regional, mediante índices anuales característicos de las lluvias en esa zona y mediante coeficientes distintivos de cada lugar de análisis. El enfoque de G. Hiez se fundamenta en el procesamiento de la moda, en cambio, el de Brunet Moret se fundamenta en el promedio, suprimiendo los valores que se encuentran excesivamente lejos del promedio. Cada procedimiento calcula un promedio amplio para cada estación durante el período laboral y determina para cada estación los índices anuales.

2.2.4.2.3.1 *Hydraccess*

En la investigación se utilizó el programa Hydraccess 6.1 del IRD, que incluye un módulo para calcular el vector regional utilizando el método de Y. Brunet Moret. Este nos brinda

la posibilidad de calcular el Vector Regional a intervalos mensuales y anuales (análisis y rectificación).

1) Dentro de los parámetros estadísticos se considera que la Desviación Estándar de los Desvíos D.E. sea menor a 0.20 y el Coeficiente de Correl. /Vector sea mayor a 0.7; para aceptar la agrupación de las estaciones. Finalmente, considerando las consideraciones previamente mencionadas, se han establecido 4 zonas uniformes.

2.2.4.2.4 Análisis de precipitación máxima en 24 horas

Para este análisis, inicialmente se llevó a cabo el procesamiento de información de todas las estaciones, dentro del cual se procesa las precipitaciones diarias, que conforman el área de estudio. A continuación, se escogieron las estaciones más significativas por su eficacia de datos y su período de registro. Luego, se llevó a cabo el estudio de consistencia utilizando el Método del Vector Regional. Finalmente, se establecieron los índices de lluvias máxima anuales para cada estación y su fluctuación en función de las zonas.

Una vez establecidos los índices de lluvias máximas diarias se llevó a cabo un estudio de frecuencias de sucesos hidrológicos enormes, utilizando estos datos mediante un análisis probabilístico. En este estudio, se utilizaron las distribuciones de frecuencia más habituales como:

- Distribución Log Normal 3 parámetros.
- Distribución Gamma 2 parámetros.
- Distribución Gamma 3 parámetros.
- Distribución Log Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel.

2.2.4.2.4.1 *Distribución Log Normal III Parámetros*

Cuando los logaritmos, $\ln(x)$, se distribuyen de una variable x de manera normal, se considera que la distribución de x se rige por la distribución log-normal de probabilidad. La función de densidad para x se presenta como:

Ecuación 3

Ecuación de la Distribución Log Normal 3 parámetros

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

Para $X > X_0$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición

S_y : Parámetro de forma o varianza

2.2.4.2.4.2 *Distribución Gamma II Parámetros*

Se fundamenta en incrementos máximos anualizados, flujos mínimos, índices de lluvias intensas y cantidades de lluvias de breve permanencia.

El papel de la densidad es:

Ecuación 4

Ecuación de la Distribución Gamma 2 parámetros

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

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.4.2.4.3 *Distribución Gamma III Parámetros*

La función de densidad, según.

Ecuación 5

Ecuación de Gamma 3 parámetros

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

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

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.4.2.4.4 *Distribución Log Pearson Tipo III*

Ecuación 6

Ecuación de la Distribución Log Pearson tipo III

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

$$f(x) = (x - \mu)^{\gamma-1} e^{-\beta(x-\mu)} \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

2.2.4.2.4.5 *Distribución Gumbel*

La distribución de Valores Tipo I, también llamada Distribución Gumbel o Doble Exponencial, utiliza la siguiente expresión como función para distribución de probabilidades:

Ecuación 7

Ecuación de la Distribución Gumbel

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

Se obtienen las siguientes relaciones, utilizando el método de momentos:

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

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

Donde:

α : Parámetro de concentración

β : Parámetro de localización

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

Ecuación 8

Ecuación de la Desviación media

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

Donde:

x : Valor con probabilidad dada

\bar{x} : Media de la serie

K : Factor de frecuencia

2.2.4.2.5 Selección del método estadístico apropiado

Se recurrió al software HIDROGNOMON para establecer cuan apropiado es la adaptación de los datos a una distribución probabilística. Las pruebas de ajuste son de Kolmogórov-Smirnov y la prueba de Chi-Cuadrado, siendo la primera Kolmogórov-Smirnov la que se utiliza. Finalmente, se consiguieron para distintos períodos de retorno, los datos de lluvia máxima en 24 horas.

2.2.4.2.6 Precipitación promedio sobre la cuenca

Se refiere al intervalo que una gota necesita para trasladarse desde el lugar hidráulicamente más apartado hasta el fondo de la cuenca (MTC, 2012).

Hay muchas fórmulas empíricas disponibles para el cálculo, pero la mejor se ajusta para el proyecto de investigación es la siguiente:

2.2.4.2.6.1 *El método de interpolación de isoyetas.*

Método de Kriging: Es un procedimiento que puede considerar un posible gradiente espacial de la información, lo que resulta en una interpolación de superior calidad y con menos sesgo. Uno de los principales inconvenientes del método es que se requiere un conocimiento profundo del mismo y un periodo de cálculo más extenso. Tras un estudio de los métodos de interpolación se ha decidido emplear el método Kriging para el trazo de isoyetas, ya que es el

método más sólido y proporciona resultados superiores. Se ha empleado el software Arc Gis para realizar este proceso, cuyos resultados presentan para cada cuenca estudiada las Isoyetas de las precipitaciones totales anuales, para las precipitaciones en distintos periodos de retorno(Zucarelli et al., 2014).

2.2.4.2.6.2 *Tiempo de concentración*

Dada el vínculo inverso entre la duración y la intensidad, se presupone que la estabilidad se relaciona con el tiempo de concentración(MTC, 2012).

-Fórmula de Kirpích

Ecuación 9

Fórmula de Kirpich para calcular el tiempo de concentración

$$T_c = \left(\frac{0.87 * L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

H= Pendiente(m/m)

2.2.4.2.6.3 *Determinación de Tormenta de Diseño*

2.2.4.2.6.3.1 *Curva Intensidad-Duración-Frecuencia*

Las curvas IDF son un componente de diseño que vinculan la intensidad y duración de lluvia, su probabilidad de ocurrir. Para establecer estas curvas IDF es imprescindible disponer de registros de lluvia en un lugar de utilidad y escoger la lluvia más intensa de distintas duraciones anuales, con el objeto de llevar a cabo un análisis de periodicidad con cada una de las series generadas. En otras palabras, es necesario analizar los hietogramas de cada tormenta sucedida anualmente y de estos, seleccionar la lluvia que corresponde a la hora de mayor lluvia (MTC, 2012).

Utilizando la relación siguiente, las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se calcularon de manera indirecta:

Ecuación 10

Ecuación de la Intensidad máxima

$$I = \frac{K * T^m}{t^n}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

k, m, n: factores característicos de la zona de estudio

T: periodo de retorno en años

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

2.2.4.3 Hietograma de Diseño

2.2.4.3.1 Método del bloque alterno

Este método determina la profundidad de las precipitaciones en *n* periodos sucesivos de tiempo Δt , en comparación con una duración total(MTC, 2012).

Ecuación 11

Ecuación de la Profundidad de precipitación

$$Td = n * \Delta t$$

2.2.4.4 Método Curva Número

Se trata de un método creado por el Soil Conservation Service de los Estados Unidos en 1950, para determinar la transformación de lluvia-escorrentía, la cual se originó al observar el fenómeno hidrológico en distintas clases de terreno y bajo diversas condiciones de humedad. Así se convierte en un instrumento relevante para llevar a cabo investigaciones hidrológicas en cuencas hidrográficas, especialmente cuando existe una carencia de registros amplios y fiables. Esta técnica demanda el dominio de mapas de cobertura vegetal, mapa de suelos y modelo

digital de elevaciones. En el estudio se recurrió a las tablas del ANA para la Reclasificación del mapa de cobertura, la reclasificación del mapa de suelos y la tabla de valores de los grupos hidrológicos (Maurtua & Zelada, 2016).

2.2.4.4.1 Abstracción Inicial

Ecuación 12

Ecuación de la Abstracción Inicial

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

Donde:

Ia: Abstracción inicial(mm)

CN: Curva Numero

2.2.4.5 Caudales máximos

El objetivo de extraer datos de las lluvias es calcular los máximos flujos de cada cuenca a la salida, así como en todas las unidades hidrográficas que integra la cuenca, durante los distintos periodos de retorno. Se combinó los parámetros de un modelo de cuenca, meteorológico y las especificaciones de control para la simulación de las cuencas. El área total de las cuencas se subdivide en microcuencas desde la cima hasta el punto de provecho (estación de aforo) y el cauce en tramos, estas se codifican por números y letras, tal como sucede con las microcuencas (W) y cauce (R), códigos que han sido instintivamente establecidos por el GEO HMS.

Se presentaron los hallazgos de la cuenca total del río Tambo, como del Hidrograma a la salida; Para los distintos periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, se exhiben los flujos máximos para cada subcuenca, así como los hidrogramas de salida de las simulaciones.

2.2.4.5.1 Software para modelos hidrológicos

2.2.4.5.1.1 HEC GEO HMS

HEC-GeoHMS es una ampliación para ArcGIS, creada como un conjunto de instrumentos geospaciales hidrológicos para hidrólogos e ingenieros con una experiencia restringida en sistemas de información geográfica (SIG). El programa posibilita visualizar datos geográficos, registrar propiedades de la cuenca, llevar a cabo análisis espaciales, delinear ríos y cuencas, elaborar los datos de ingreso para modelos hidrológicos y asistir en la elaboración de reportes. En un ambiente con ventanas, utilizando sus interfaces, menús y herramientas, el usuario tiene la posibilidad de generar velozmente entradas hidrológicas que pueden ser utilizadas directamente con HEC HMS. Se emplea para manejar información de la cuenca tras efectuar una gestación y compilación inicial de la información de la propiedad (Doan, 2013).

2.2.4.5.1.2 HEC HMS

El Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) se ha creado con el objeto de replicar los procesos hidrológicos integrales de los regímenes de cuencas dendríticas. El programa incorpora varios métodos convencionales de análisis hidrológico, tales como la lluvia se infiltran en el suelo, cómo se genera el flujo de gua y como se enruta a través de la cuenca hidrográfica. Se ofrecen herramientas de análisis extras para optimizar el modelo, disminuir la zona de profundidad , estimar el flujo, valorar la confiabilidad del modelo, la erosión y el movimiento de partículas sedimentarias, así como la calidad del agua (Scharffenberg, 2016).

2.3.4. Modelamiento Hidráulico

Los modelos hidráulicos proporcionan una descripción matemática del flujo en ríos, humedales, estuarios, lagos y áreas costeras. Además, logramos emplear modelos hidráulicos para ilustrar el caudal sobre las zonas inundables, o mediante instalaciones hidráulicas para la

captación, almacenamiento y regulación del flujo de agua como vertederos, diques, compuertas y alcantarillas. En el estudio de inundaciones, los modelos hidráulicos facilitarán la representación de las profundidades y velocidades del agua, permitiendo así la evaluación de posibles daños y perjuicios. En áreas costeras y de estuarios, los modelos hidráulicos son útiles para comprender los impactos de la marea en la morfología fluvial y la dinámica de sedimentos. Para proyectos vinculados a la calidad del agua, los modelos hidráulicos producen la información requerida para detallar el transporte de las sustancias en el agua. Además, desempeñan un rol crucial en la provisión de datos para la organización, diseño, puesta en marcha y funcionamiento de la red de alerta tempranas y monitoreo en tiempo real.

El cálculo hidráulico usado para determinar las dimensiones críticas de la sección para las alcantarillas proyectadas se basa en la fórmula de Robert Manning para canales de agua libre y tuberías. Este método es el más frecuente y sencillo de utilizar, permitiendo obtener la velocidad del flujo y caudal para un estado de régimen estable a través de la siguiente relación (MTC, 2012).

Ecuación 13

Fórmula de Manning

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Ecuación 14

Ecuación del Radio Hidráulico

$$R = A * P$$

Ecuación 15

Ecuación del Caudal

$$Q = V * A$$

Donde:

Q: Caudal (m³ /s)

V: Velocidad media de flujo (m/s)

A: Área de la sección hidráulica (m²)

P: Perímetro mojado (m)

R: Radio hidráulico (m)

S: Pendiente de fondo (m/m)

n: Coeficiente de Manning

Para conseguir el coeficiente de Manning, es necesario contar con la experiencia del experto en la realización de las estimaciones, la cual puede basarse en historiales de casos parecidos, tablas y publicaciones técnicas existentes, basándose en los datos recolectados en la fase de campo. Cowan sugiere un enfoque en el que se puede calcular el coeficiente de rugosidad, a través de la siguiente relación:

Ecuación 16

Ecuación del Número de Cowan

$$n = m5 * (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

Donde:

n_0 : Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

n_1 : Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

n_2 : Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

n_3 : Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

n_4 : Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

m_5 : Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

TIPO DE CANAL		MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO	
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido b. Acero soldado con remaches c. Metal corrugado sub - dren dren para aguas lluvias	0.009 0.010 0.013 0.017 0.021	0.010 0.012 0.016 0.019 0.024	0.013 0.014 0.017 0.021 0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras tubo con curvas, conexiones afinado tubo de alcantarillado con cámaras, entradas. Tubo con moldaje de acero. Tubo de moldaje madera cepillada Tubo con moldaje madera en bruto b. Madera duelas laminada y tratada c. Albañilería de piedra.	0.010 0.011 0.011 0.013 0.012 0.012 0.015 0.010 0.015 0.018	0.011 0.013 0.012 0.015 0.014 0.014 0.017 0.012 0.017 0.025	0.013 0.014 0.014 0.017 0.014 0.016 0.020 0.014 0.020 0.030
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar pintado b. Corrugado	0.011 0.012 0.021	0.012 0.013 0.025	0.014 0.017 0.030
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento Tratada Planchas b. Concreto afinado con plana afinado con fondo de grava sin afinar excavado en roca de buena calidad excavado en roca descompuesta c. Albañilería	0.010 0.011 0.012 0.011 0.015 0.014 0.017 0.022 0.017	0.012 0.012 0.015 0.013 0.017 0.017 0.020 0.027 0.025	0.014 0.015 0.018 0.015 0.020 0.020 0.020 0.027 0.030

		pedra con mortero piedra sola	0.023	0.032	0.035	
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo grava con algo de vegetación	0.016 0.022 0.022	0.018 0.025 0.027	0.020 0.030 0.033	
		b. Tierra, sinuoso sin vegetación con malezas y pasto maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas.	0.023 0.025 0.030 0.025	0.025 0.030 0.035 0.035	0.030 0.033 0.040 0.040	
		c. Roca suave y uniforme irregular	0.025 0.035	0.035 0.040	0.040 0.050	
		d. Canales sin mantención maleza tupida Fondo limpio, bordes con vegetación	0.050 0.040	0.080 0.050	0.120 0.080	
	D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.025 0.030 0.035	0.030 0.036 0.045	0.033 0.040 0.050
			Sinuoso, vegetación y piedras Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso Abundante vegetación, sinuoso.	0.045 0.075	0.050 0.100	0.060 0.150
			b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050
			Árboles y arbustos sumergidos Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070
			D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto pastizales bajos pastizales altos	0.025 0.030	0.030 0.035
		b. áreas cultivadas sin cultivo con cultivos		0.020 0.030	0.030 0.040	0.040 0.050
c. Arbustos y Malezas escasos densos		0.040 0.070		0.060 0.100	0.080 0.160	
d. Arboles sauces tierra despejada con troncos		0.110 0.030		0.150 0.040	0.200 0.050	
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)		Secciones Regulares Secciones Irregulares		0.025 0.035	- -	0.060 0.100

Nota. Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow, 1993

En este caso se aplicará para un análisis de inundaciones, identificando las potenciales áreas de inundación para luego realizar un análisis y diseño de medidas estructurales y no

estructurales ante peligro de inundación. A su vez se desarrollará una comparación de modelamiento hidráulico, la cual se segmenta en dos etapas, la primera en la que se lleva a cabo la comparación de los modelos Hec-RAS e IBER tanto desde su estructura matemática como en su gestión. La segunda se refiere a la implementación de programas en un estudio caso de para su evaluación futura.

2.3.4.1 Formulación matemática Software para modelos hidráulicos

Hec-RAS, es un programa informático de modelación hidráulica desarrollado en 1995 por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE). Facilita la creación de modelos de flujos unidimensionales 1D y bidimensional 2D. Los flujos se dan en régimen permanente (Q es el mismo que el Tiempo de estudio) y no permanente (Hidrograma). Adicionalmente, el modelo HEC-RAS, está aprobado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias o FEMA (Federal Emergency Management Agency). Se puede trabajar como flujo estacionario (Caudal permanente), flujo no estacionario (hidrogramas), análisis de calidad hidráulica y movimiento de sedimentos.

El software HEC-RAS, en su estado de flujo no permanente y lecho estable, presenta una formulación matemática basada en el principio de conservación de la masa (continuidad) y el principio de conservación del momento, ambos en una dirección específica. Estos se manifiestan matemáticamente mediante ecuaciones de derivadas parciales, tal como se señalan en (1) y (2) respectivamente. El software soluciona estas ecuaciones mediante un esquema de diferencias finitas implícitas.

Ecuación 17

Principio de conservación de masas en una dirección

$$\frac{\partial A_t}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

Ecuación 18

Principio de conservación del momento en una dirección

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} - S_f \right) = 0$$

Donde:

At: Área total del flujo (m²)

Q: Caudal total (m³/s)

q1 Área de la sección hidráulica (m²)

V: Velocidad promedio del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad(m/s²)

$\frac{\partial z}{\partial x}$: pendiente de la superficie del agua(m/m)

S_f : Pendiente de fricción(m/m)

Iber, es un modelo bidimensional numérico que modela el flujo caótico en una capa límite en un régimen transitorio, así como los procesos ambientales en la hidráulica fluvial.

La reacción hidrodinámica en IBER, se produce mediante el método de volúmenes finitos de las ecuaciones bidimensionales de aguas someras con promedio de profundidad (Ecuación de Saint Venant bidimensionales). En otras palabras, se solucionan las ecuaciones de conservación de Masa y Momento en ambas direcciones horizontales

Ecuación 19

Ecuación de Saint Venant bidimensionales

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} - \frac{\partial hU_y}{\partial y} = M_s$$

Ecuación 20

Ecuación de masa en dos direcciones

$$\frac{\partial hU_x}{\partial t} + \frac{\partial hU_x^2}{\partial x} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s1x}}{\rho} + \frac{\tau_{b1x}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h\tau_{exx}}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{exy}}{\partial y} + M_x$$

Ecuación 21

Ecuación de momento en dos direcciones

$$\frac{\partial hU_y}{\partial t} + \frac{\partial hU_y^2}{\partial y} + \frac{\partial hU_xU_y}{\partial x} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s1y}}{\rho} + \frac{\tau_{b1y}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial y} + 2\Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h\tau_{exx}}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{eyy}}{\partial y} + M_y$$

Donde:

h: calado (m)

U_x, U_y : Velocidades horizontales promediadas en profundidad (m/s)

g: Aceleración de la gravedad(m/s²)

Z_s : Elevación de la lamina libre(m)

τ_s : Fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento

ρ : Densidad del agua

Ω : velocidad angular de rotación de la tierra

λ : latitud del punto considerado

$\tau_{exx}, \tau_{exy}, \tau_{eyy}$: Tensiones tangenciales efectivas horizontales

M_s, M_x, M_y : Términos fuente/sumidero de masa y de momento, mediante las cuales se realiza la modelización de precipitación, sumideros e infiltración.

2.3.4.2 Entrada de datos en HEC-RAS E IBER

El ingreso de información en Hec-RAS ocurre a través de una interfaz visual que comprende tres archivos de resultado que contienen los datos generales, geométricos y de flujo.

En términos básicos, se establece el sistema de unidades (métrico o inglesa) y se activan las

ventanas para la generación de los archivos necesarios. En el registro de información geométricos, se guarda el diseño del río junto con los datos de sus secciones transversales. Los datos más relevantes aportados en las secciones transversales incluyen las coordenadas x-y de estas, la separación entre ellas, el área del perímetro, la localización del cauce principal, y de las zonas de inundación, a los cuales se les aplica un enmallado respecto a la calibración aplicada, el coeficiente de rugosidad de Manning. Se introducen las condiciones de borde a la entrada en el archivo de datos del flujo: el hidrograma de caudal y el hidrograma de nivel. A la salida: hidrograma de caudal, hidrograma de nivel. Adicionalmente, las condiciones iniciales para la simulación en flujo transitorio, como lo es el caudal en la sección de origen de flujo.

El ingreso de datos en IBER, se lleva a cabo mediante la interfaz gráfica. Para ello, es imprescindible establecer la geometría del río. Esta puede ser creada directamente en el programa o importada de un modelo digital de terreno (DEM), ya sea en formato “TXT” o “ASC” exportado desde ARCGIS. Todos los elementos incluidos en la malla de cálculo. Una vez que la geometría se ha integrado en el programa, se establecen las condiciones hidrodinámicas del modelo que son:

- Las condiciones iniciales: se refiere a las circunstancias del río al inicio de la simulación. Estas pueden establecerse mediante una cota de agua y deberán ser asignadas a todo el dominio.

- La condición de contorno a la entrada: Esta circunstancia hace referencia a la condición del fluido al ingresar al dominio y puede manifestarse en términos del caudal total, del caudal específico (caudal por unidad de ancho), o de una cota de agua. En cualquier situación, se requerirá la introducción de los parámetros necesarios, que variarán dependiendo de si el régimen del fluido a ingresar es subcrítico, crítico, o supercrítico.

- La condición de contorno a la salida: Esta circunstancia se relaciona con la condición del fluido a la salida del dominio que a su vez está sujeta al régimen. Si este es subcrítico se deben definir parámetros adicionales, basándose en la situación determinada, que puede ser de tipo vertedero, de nivel definido (cota o calado) o mediante una curva de gasto. En cambio, si el régimen es supercrítico o crítico no se requiere asignar parámetros extra.

- Rugosidad: al igual que Hec-RAS, el coeficiente de rugosidad de Manning se representa a través de la utilización del suelo y la distribución en las superficies que conforman la geometría. El paso subsiguiente consiste en establecer la malla de cálculo, para solucionar una ecuación diferencial mediante el enfoque de volúmenes finitos, es imprescindible realizar con anterioridad se realiza una partición espacial del dominio que se va a examinar. Por esta razón, se segmenta el campo de estudio en celdas de tamaño relativamente reducido (malla de cálculo). IBER se ocupa de elementos de forma triangulares y cuadrilátero, o de mallas combinadas de triángulos y cuadriláteros. Las mallas de cálculo pueden ser simultáneamente regulares o irregulares, al igual que estructuradas o no estructuradas. Finalmente se establecen los datos básicos del problema como el tiempo inicial y final de la corrida, el intervalo de resultados, el incremento de tiempo máximo, el número de Courant-Friedrich-Levy, entre otros.

2.3.4.3 Simulación hidrodinámica en HEC-RAS E IBER

La simulación del río en Hec-RAS, bajo la hipótesis de flujo no permanente, se establece mediante un archivo donde se indican los nombres de los sub-archivos que albergan la geometría y la información del caudal del modelo. Además, se elige el intervalo de cálculo, el tiempo inicial y final de corrida, el intervalo de resultados y el régimen del flujo en el que se realizará la simulación. Por otro lado, el tiempo de precisión.

El proceso de implementación del modelo en IBER se lleva a cabo mediante el menú “calcular”. Ubicado en la barra de menú.

2.3.4.4 Visualización de resultados en HEC-RAS E IBER

En la representación gráfica de los resultados de la simulación, Hec-RAS facilita la realización de varios informes de formato gráfico o tabular, que sirven como base para la preparación de un análisis hidráulico completo. Entre estos se incluyen: gráfico de tirantes de agua por secciones transversales, gráfico de perfiles superficiales del agua, y la evolución de varios parámetros hidráulicos en el segmento en análisis como velocidad, número de Froude, esfuerzo de corte, entre otros, así como tablas con resultados hidráulicos por secciones transversales. El modelo presenta mediante diagramas los niveles en las superficies de aguas arriba y aguas abajo.

Por otro lado, IBER cuenta con una serie de alternativas para proyectar y examinar las respuestas. Una alternativa se presenta mediante el menú "Ventana - ver resultados". En el postproceso, la ventana que se despliega facilita el acceso a los diferentes mapas de resultados que se pueden observar en cada momento de tiempo, tales como zonas coloreadas, zonas coloreadas suavizadas o vectores. Además, se pueden elaborar gráficos útiles para el análisis de resultados, como la progresión de un parámetro hidráulico en un punto de la malla a lo largo del tiempo, el resultado de un parámetro hidráulico en una línea durante un periodo de tiempo específico, entre otros.

2.3.5 Medidas de prevención

Son los lineamientos que deben resolver los inconvenientes provocados por la capacidad erosiva del agua. Dentro de las medidas de mitigación y de control se tienen: estructurales y no estructurales.

2.3.5.1 Medidas estructurales

Son cualquier construcción física destinada a disminuir los posibles efectos de las amenazas, o la implementación de métodos de ingeniería para conseguir el aguante de las

estructuras o de los sistemas ante las amenazas.(Apaza, 2012). Se componen de proyectos de infraestructura hidráulica orientados a la regulación de inundaciones y pueden categorizarse en:

2.3.5.1.1 Obras de regulación

Son esencialmente las presas, que facilitan el almacenamiento temporal de una parte de las crecientes para luego descargarlas de manera regulada. En años recientes, se ha otorgado mayor relevancia a las acciones de mejora de cuencas (reforestación, terraceo, azolves, entre otros), a través de las cuales se reduce y controla es escurrimiento superficial, neutralizando, al menor parcialmente, los impactos adversos de la urbanización.

2.3.5.1.2 Obras de rectificación

Su tarea consiste en promover el rápido traslado del agua por su cauce, limpiando los ríos para mantener su altura original y reducir, de esta forma, las probabilidades de que se produzca un desborde. Están compuestas principalmente por la corrección de cauces y el aumento de pendiente a través del corte de meandros.

2.3.5.1.3 Obras de protección

2.3.5.1.3.1 *Bordes longitudinales*

Se ubican en una o ambas márgenes del río y su objetivo es preservar el agua en el cauce del mismo.

2.3.5.1.3.2 *Bordes perimetrales*

Su papel es prevenir que las inundaciones lleguen a comunidades o áreas de gran relevancia económica.

2.3.5.2 *Medidas no estructurales*

Son cualquier acción que no requiera una edificación física y que implementa la sabiduría, las prácticas o los acuerdos existentes para disminuir el peligro y sus impactos,

particularmente mediante políticas y leyes, un incremento en la sensibilización pública, la formación y la instrucción.(Apaza, 2012)

Dentro de las acciones no estructurales se encuentran los reglamentos de edificación, leyes referentes al ordenamiento territorial y su acatamiento, estudios y evaluaciones, materiales informativos y programas de armonización pública.

Las clases de estructuras más empleadas en el control y prevención en el desgaste de márgenes son:

2.3.5.2.1 Permanentes

Son acciones duraderas en el tiempo. Por ejemplo, conformadas por la normativa de aplicación del suelo, respaldada en una zonación de zonas propensas a inundaciones (Mapas de Zonificación de Riesgo ante Inundaciones Fluviales). Su objetivo es prevenir que propiedades de alto valor mercantil y social se establezcan en áreas propensas a inundaciones. Medidas como la formación, la creación de investigaciones alternativas, la mejora de la administración local del Peligro de crecida de ríos , son acciones que ocurrirán cada cierto periodo, pero que sus impactos permanecerán constantes a lo largo del tiempo.

2.3.5.2.2 De Operación

Todas las acciones que se implementen ante la posibilidad de una inundación, deben basarse en modelos de pronósticos en sus distintas etapas (estimación del evento de la lluvia, su conversión en escurrimiento superficial, su flujo por los cauces, su impacto en las obras de construcción, etc.).

2.3.6 *Propuestas de medidas estructurales*

2.3.6.1 *Enrocado*

Son construcciones basadas en acumulación de material de arrastre en forma trapezoidal y cubierto con roca pesada en su superficie húmeda. Es necesario contar con canteras de piedra

de alta calidad y próximas a la región a resguardar. Existen diversos métodos para el diseño del enrolamiento, en esta sección se mostrarán algunos procedimientos para determinar las dimensiones de la piedra de defensa (MTC, 2012).

2.3.6.2 Muro de concreto ciclópeo

Son longitudinales, con dimensiones que varían según el caudal máximo de diseño y el nivel de socavación. Son edificados con materiales provenientes del río. Este tipo de muro no resulta asequible para paredes de alto tamaño.

2.3.6.3 Muro de concreto amado

Estructura de acero reforzadas y de tamaño inferior al de los muros de hormigón ciclópeo, su propósito es soportar fuerza de empujes laterales generados por el material retenido detrás de estos. Los muros de hormigón armado actúan fundamentalmente como voladizos adheridos a su base.

2.3.6.4 Espigones

Son construcciones realizadas en ríos, arroyos o en frentes marítimos o lacustres, con el objetivo de alterar el flujo del agua, disminuir el oleaje o prevenir la erosión de las costas. Existen diversos métodos para el diseño del enrolamiento, en esta sección se mostrarán algunos procedimientos para determinar las dimensiones de la piedra de resguardo(MTC, 2012).

2.3.6.5 Gaviones

Los gaviones son cajas de hilo galvanizado montadas en el lugar y llenas de piedras, generalmente extraídas del lecho del río. La combinación de estos componentes permite la creación de muros de tipo gravedad con propiedades permeables y flexibles. Entre los beneficios de este tipo de dispositivo de protección, se señala que es una excelente opción en sitios donde no se puede o es muy costoso extraer, trasladar y ubicar fragmentos de roca para los enrocados.

Igualmente, se señala la necesidad de filtros para prevenir la pérdida de sustrato y el hundimiento(MTC, 2012).

2.4 Marco legal

Según el punto 12 del artículo 15° de la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del Agua tiene jurisdicción administrativa exclusiva en el ámbito de los aguas, llevando a cabo acciones de gestión, supervisión, control y supervisión, con el objetivo de garantizar la protección integral de los recursos hídricos, incluyendo sus fuentes, cauces y ecosistemas asociados, actuando para ello, la facultad sancionadora y coactiva(Supremo, 2019).

De acuerdo con el artículo 274° del Reglamento de la Ley acotada, ratificado por Decreto Supremo W 001-201 0-AG, la Autoridad Nacional del Agua tendrá el poder de sancionar cualquier violación a las disposiciones de la Ley o al Reglamento por parte de individuos o entidades públicas o privadas, sean o no consumidores de agua.

Manual para la evaluación de riesgos derivados de inundaciones fluviales, con el objetivo de comunicar la necesidad imperativa de una acción comunitaria coordinada para enfrentar los riesgos de catástrofe frente a inundaciones; acción que implica el fortalecimiento de los participantes para la creación y congesionamiento de políticas, planes, programas y proyectos de administración de riegos, bajo los principios de la ley 29664(CENEPRED, 2014).

Los estándares de diseño definidos en los apartados de Hidrología y Drenaje del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Estos estándares se encuentran en los capítulos de Hidrología y Drenaje del Manual de Caminos Pavimentados y no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, Manual de Diseño Geométrico-2001 y el Manual de Puentes(MTC, 2012).

CAPÍTULO III: Metodología Propuesta

La enfoque metodológico propuesto en el proyecto de tesis describe la estimación de los caudales de máximas avenidas para distintos periodos de retorno a través de análisis de información hidrométrica e información meteorológica; la elaboración de la comparación de modelación hidráulica fluvial aplicando el modelo matemático bidimensional, en un sistema de información geográfico, incluyendo las obras hidráulicas existentes y especificando los parámetros de rugosidad de los cauces y planicies de inundación (levantamiento topográfico a detalle del río y posibles zonas de inundación); creación de cartográfica temática de peligro por inundación fluvial; finalmente desarrollar medidas estructurales y no estructurales considerando aspectos económicos y de optimización para disminuir grado de exposición a inundaciones; con el fin de mitigar los desastres.

3.1 Tipo y nivel de investigación

Esta investigación es del tipo aplicada, ya que busca solucionar un problema específico. Este consiste primero en entender la situación de la sección actual del río Tambo y sugerir las diversas soluciones a los problemas que surjan a través de la implementación o uso de los conocimientos obtenidos en el estudio de la ingeniería civil.

El nivel de investigación es descriptivo, puesto que tiene por objetivo detallar todas las propiedades hidrológicas e hidráulicas que posee el río Tambo, además de los puntos críticos de desborde y también especificar el proceso de selección y diseño de la solución más adecuada. La investigación se fundamenta en la recolección de información de terreno, mediante un levantamiento topográfico, cuyo resultado se expone en tablas, gráficos, planos.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación será experimental debido a que existe una relación de causalidad entre las variables. Siendo las precipitaciones la principal causante de máximas avenidas con efectos perjudiciales a la zona de estudio (Hernández et al., 2014).

3.2.1 Variables

La Tabla 28 detalla las variables independientes de la investigación, señalando sus indicadores, valor final y tipo de variable.

Tabla 28

Variables independientes

Variable independiente	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Lluvias intensas	Precipitación máx. de 24 horas	mm	Numérica Continua
Periodo de retorno	Tiempo	años	Numérica Continua
Rugosidad	“n” coeficiente de Manning	adimensional	Numérica
Forma del cauce	Pendiente	%	Numérica

En la tabla se muestra la variable independiente de lluvias intensas que se indica como precipitación más. De 24 horas, el periodo de retorno que se indica en tiempo y tiene como valor final años, la rugosidad que se indica en “n” coeficiente de Manning y es adimensional, forma de cauce se indica mediante pendiente y su valor final es en porcentaje,

La Tabla 29 detalla las variables dependientes de la investigación, señalando sus indicadores, valor final y tipo de variable.

Tabla 29*Variables dependientes*

Variable dependiente	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Caudal máximo	Caudal	m ³ /seg	Numérica Continua
Ancho estable	B	m	Numérica Continua
Tirante de agua	Y	m	Numérica Continua
Profundidad de socavación	Ys	m	Numérica
Geometría del dique	Altura H	m	Numérica

En la tabla se muestra la variable dependiente de caudal máximo que se indica como caudal y tiene como valor final m³/seg, ancho estable que se indica como “B” y tiene como valor final el metro, tirante de agua que se indica en “Y” y tiene como valor final el metro, profundidad de socavación que se indica en “Ys” y tiene como valor final el metro, y también se muestra la geometría de dique que se indica en “H” y tiene como valor final el metro.

3.3. Métodos de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo porque la investigación se hará mediante recolección de datos de levantamiento topográfico, así como de precipitaciones máximas diarias y caudales a las cuales se le hará un tratamiento de data mediante el uso de diferentes softwares, se buscará encontrar caudales en máximas avenidas, para posteriormente determinar posibles zonas de inundación.

La Tabla 30 detalla los métodos de investigación, señalando sus objetivos y métodos.

Tabla 30

Métodos de investigación

CAP	OBJETIVOS	MÉTODOS	Sección
4	Modelar hidrológicamente el tramo de estudio, y calcular los caudales de máximas avenidas.	<ul style="list-style-type: none"> A. Delimitar la cuenca B. Tratamiento de información hidrológica C. Cálculo de la CN D. Isoyetas de precipitación E. Intensidad y Curvas IDF F. Hietograma de diseño G. Determinación de caudales máximos 	<ul style="list-style-type: none"> 4.1 4.2 4.3 4.4 4.5 4.6 4.7
5	Modelar hidráulicamente el tramo de estudio, calibrar el modelo y realizar el análisis comparativo mediante los programas HEC RAS e IBER	<p style="text-align: center;">MODELO EN HEC-RAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Levantamiento topográfico - Número de Manning A. Creación del DEM B. Mallado C. Calibración del modelo hidráulico D. Visualización de resultados <p style="text-align: center;">PARAMETOS DE SALIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> E. Mapas de tirantes máximos F. Mapas de velocidades máximas G. Mapas de cotas <p style="text-align: center;">MODELO EN IBER</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Creación del archivo ASC o TXT B. Mallado C. Visualización de resultados <p style="text-align: center;">PARAMETOS DE SALIDA</p> <ul style="list-style-type: none"> D. Mapas de tirantes máximos E. Mapas de velocidades máximas F. Mapas de cotas <p>Comparación entre modelos</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Mancha de inundación B. Velocidad de flujo C. Numero de Froude y régimen de flujo D. Tiempos de corrida 	<ul style="list-style-type: none"> 5.1.1 5.1.2 5.4.1 5.4.2 5.4.3 5.4.4

6.1	Delimitar las zonas	A. Ancho estable	6.1.1
6.2	susceptibles de inundación y crear mapas de magnitud de las inundaciones para los distintos caudales modelados.	B. Cálculo hidráulico -Cálculo del tirante -Cálculo de la Velocidad media -Número de Froude -Cálculo de la Altura de Dique C. Profundidad de socavación	6.1.2 6.1.2.1 6.1.2.2 6.1.2.3 6.1.2.4 6.1.3
		La elaboración de Mapas de Zonificación de Riesgo ante Inundaciones Fluviales Limpieza del cauce	
6.3	Determinar medidas preventivas para reducir los perjuicios ante un eventual desastre vinculado al desbordamiento del río Tambo.	A. Descolmatación B. Encauzamiento	6.3.1 6.3.2

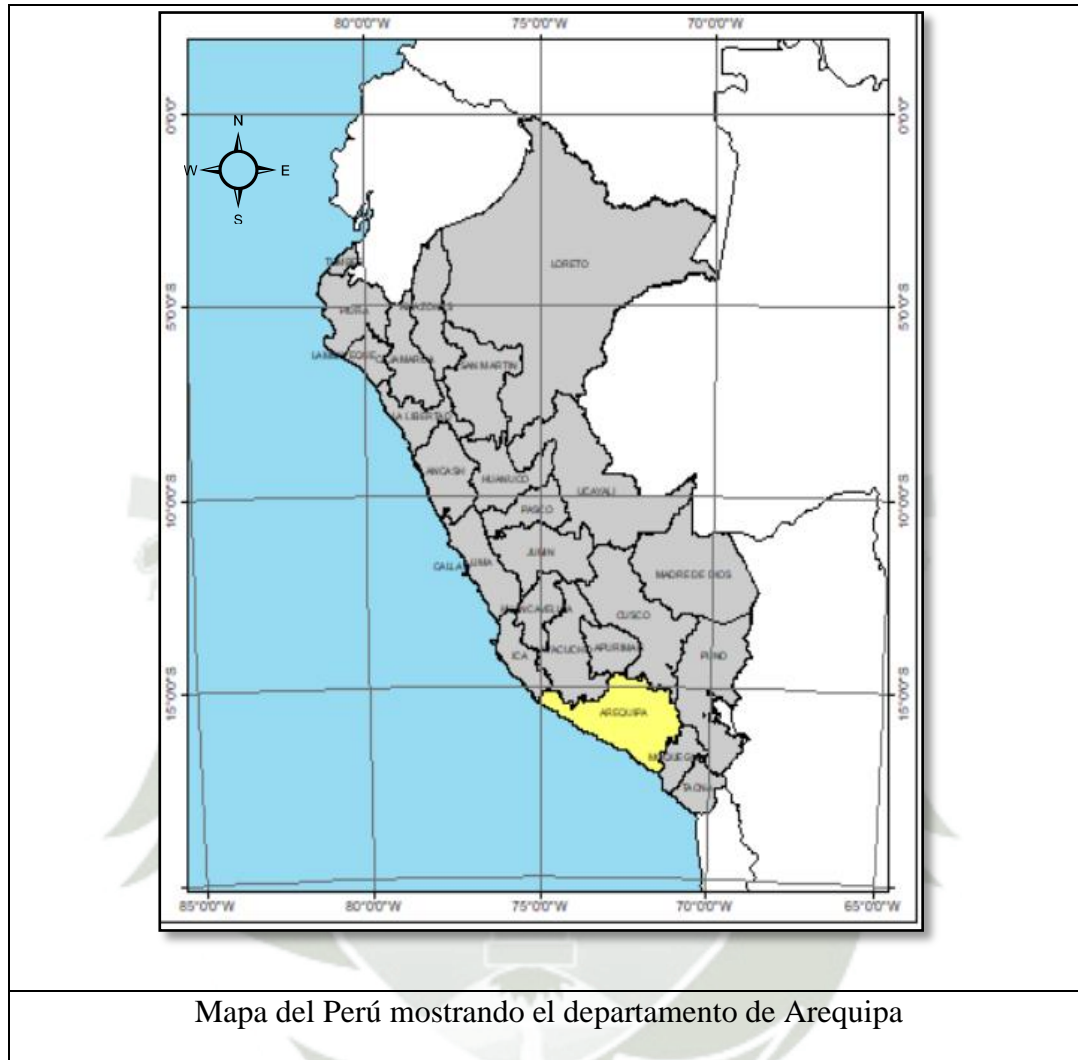
3.4. Área de estudio

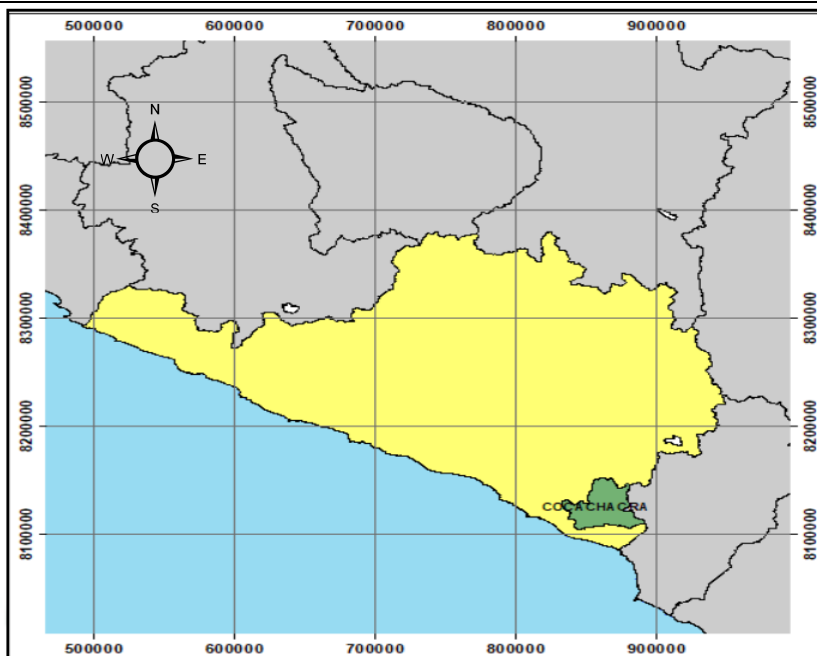
La cuenca del Rio Tambo se ubica geográficamente entre los paralelos 16° 00' y 17° 15' de latitud Sur y los meridianos 70° 30' y 72° 00' de longitud Oeste de Greenwich.

La Tabla N°31 detalla la ubicación del tramo de estudio, ubicado en el departamento de Arequipa, Provincia de Islay, distrito de Cocachacra, sector Ayanquera.

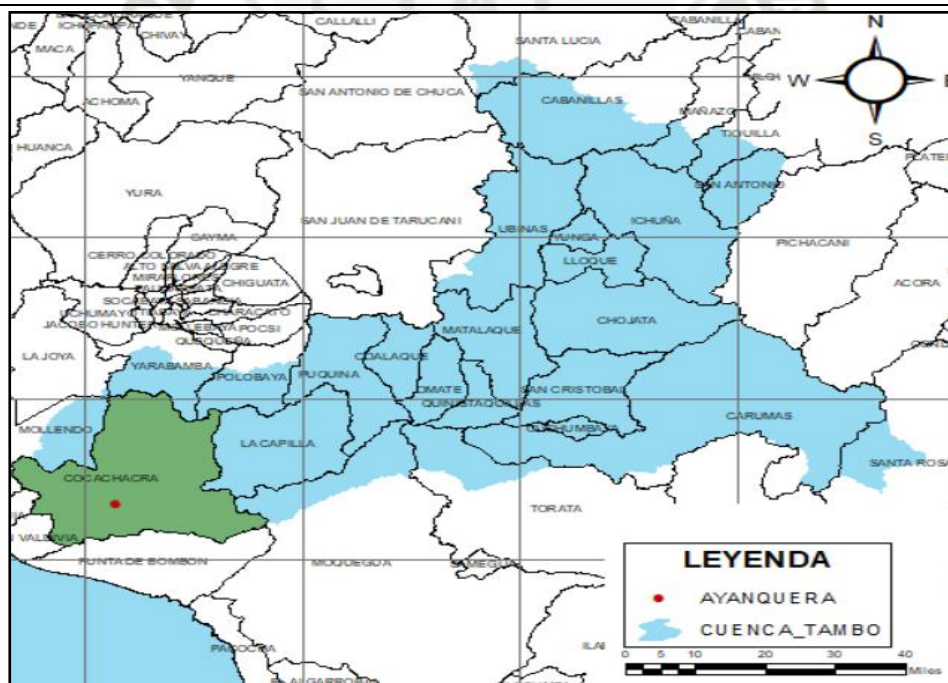
Tabla 31

Ubicación del tramo de estudio

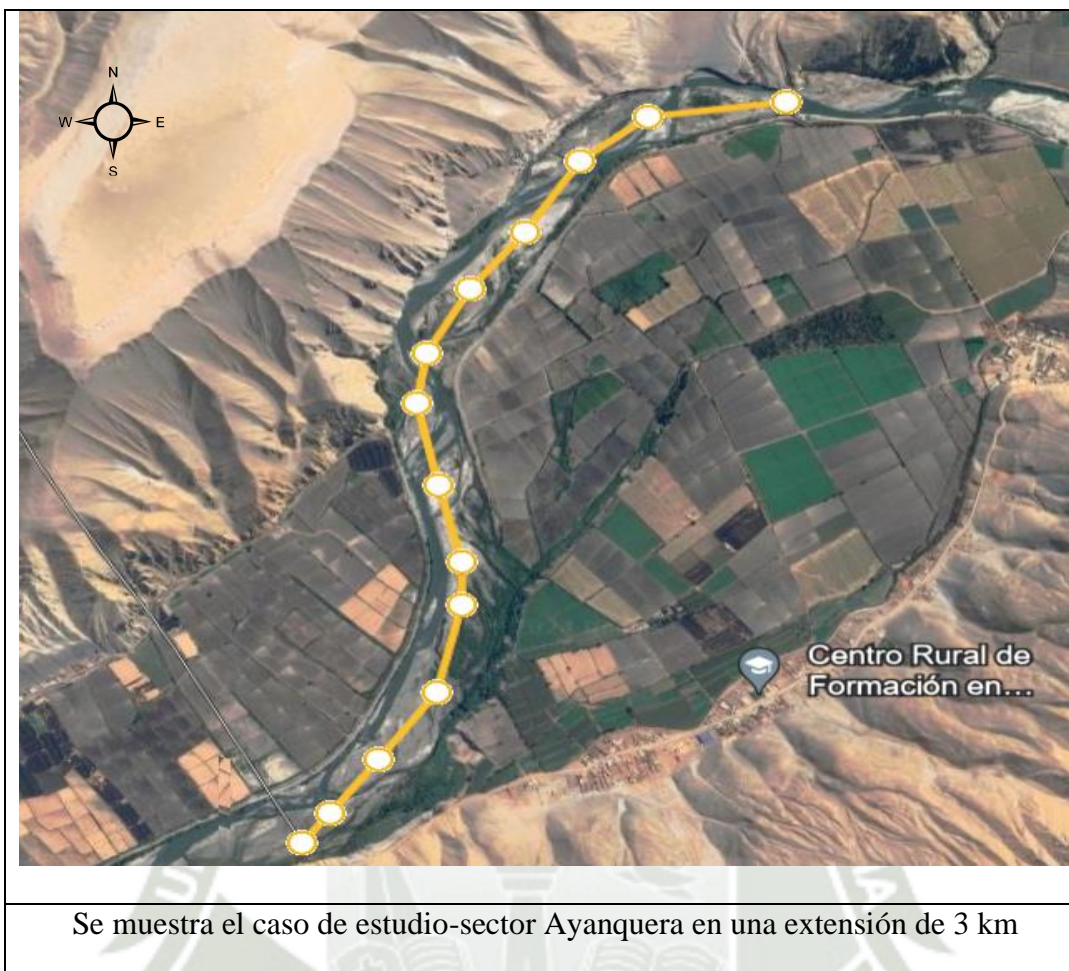




Departamento de Arequipa, provincia de Islay, distrito de Cocachacra



Se muestra la zona de estudio dentro de la Cuenca Tambo.



CAPÍTULO IV: Aspectos Hidrológicos

Este capítulo incluye el detalle de la delimitación de la cuenca utilizando ArcGIS, la obtención y procesamiento de la data hidrológica a través de métodos como el número de curva, isoyetas, curvas IDF, hietogramas y finalmente la determinación del caudal máximo para tres escenarios distintos.

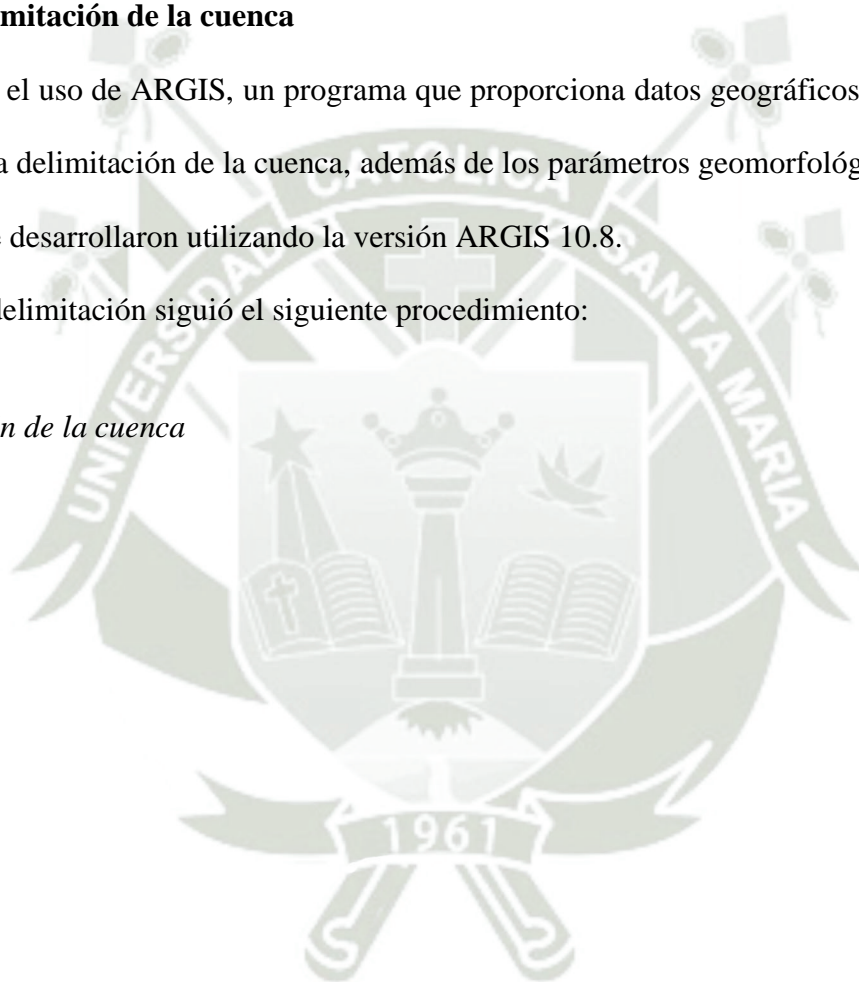
4.1. Delimitación de la cuenca

Con el uso de ARGIS, un programa que proporciona datos geográficos (SIG), se podrá completar la delimitación de la cuenca, además de los parámetros geomorfológicos destacando que estos se desarrollaron utilizando la versión ARGIS 10.8.

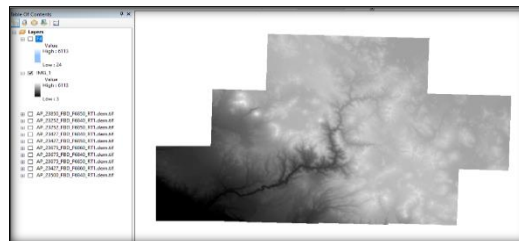
La delimitación siguió el siguiente procedimiento:

Figura 1

Delimitación de la cuenca



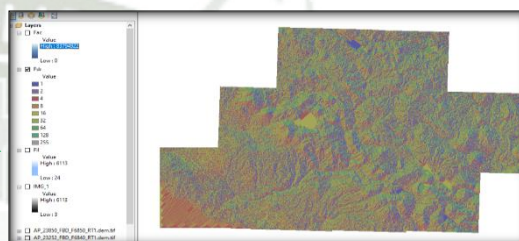
Descargamos las imágenes satelitales de ALOS PALSAR (12.5mX12.5m) en la web. En este caso se descargaron 9 imágenes, las cuales conforman la cuenca del Río Tambo, para después unir las



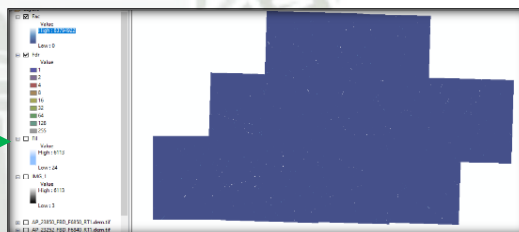
Corregir información - Fill



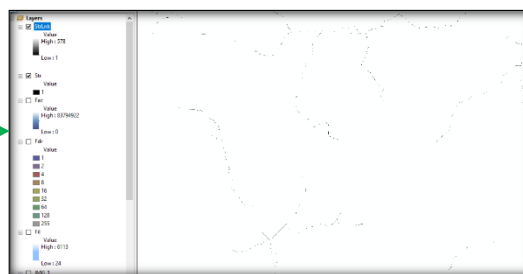
Dirección de flujo - Fdr



Red de drenaje
(acumulación de flujo) - Fac



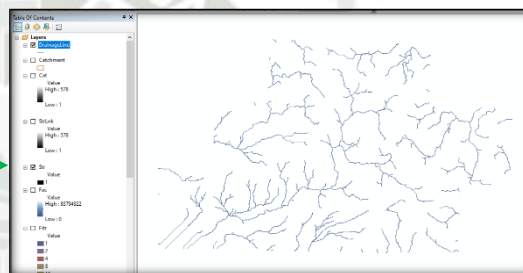
Definir el área en este caso al
0.5% - Str
Fraccionar la red hídrica -StrLnk



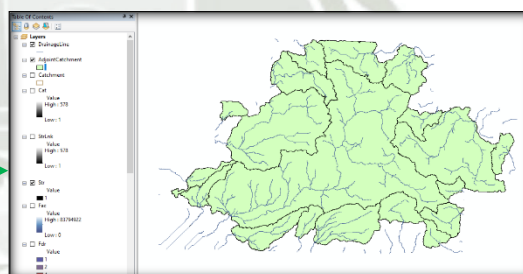
Formando raster de las
microcuencas - Cat
Fraccionar la red hídrica -
StrLnk



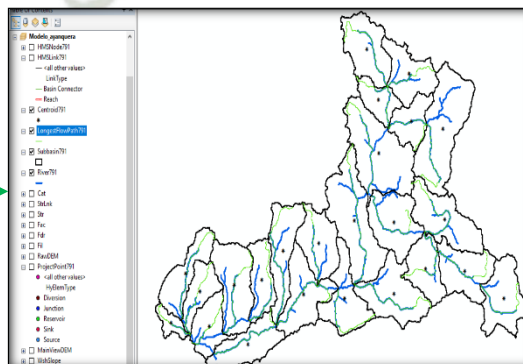
Se forman polígonos -
Catchment



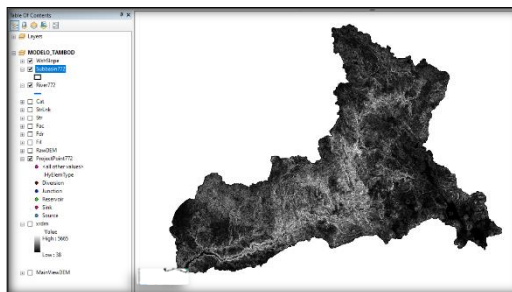
Vectorizar los ríos (red de
drenaje)- Drainage Lage
Cuencas – Adjoint Catchment



Se define nuevo proyecto.
Add Project Point = Se hace clic
dentro de la cuenca en la
desembocadura y se crea el modelo
hidrológico: Cuenca Tambo. Como
nuestra cuenca está al 0.5% presenta
bastantes subcuencas, Nosotros las
unimos dejando 24 subcuencas,
tomando en cuenta que el área de la
subcuenca no debe ser mayor a
1000km²



Mapa de pendientes – Wsh
Slope



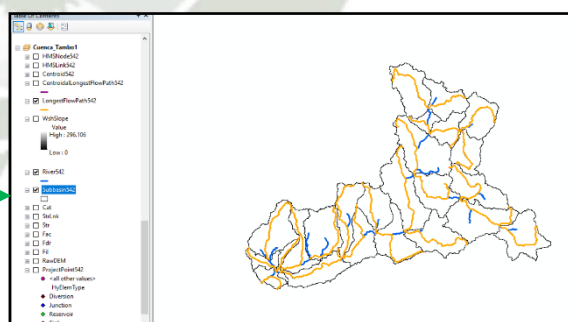
Longitud del río – River
1216

Description	RouteMet	ElevUP_HMS	ElevDS_HMS	RivLen_HMS	ISHEAD	ISDONE
<Nub>	Muskingum	3922	3882	6579.408883	1	1
<Nub>	Muskingum	4007	3882	10913.160896	1	1
<Nub>	Muskingum	4216	3889	32245.967446	1	1
<Nub>	Muskingum	3602	3889	3029.526889	0	1
<Nub>	Muskingum	4299	3950	17691.374874	1	1
<Nub>	Muskingum	4070	3950	4122.768925	1	1
<Nub>	Muskingum	3950	3854	6968.408287	0	0
<Nub>	Muskingum	3889	3568	20352.337822	0	1
<Nub>	Muskingum	3854	3568	25042.122311	0	1
<Nub>	Muskingum	3994	3449	10302.816969	1	1
<Nub>	Muskingum	3568	3449	13886.197209	0	1
<Nub>	Muskingum	4280	3854	25066.241279	1	1
<Nub>	Muskingum	3449	3432	15329.260779	0	1
<Nub>	Muskingum	4286	3432	21875.939177	1	1
<Nub>	Muskingum	3432	2739	4883.879789	0	1
<Nub>	Muskingum	2826	2567	3330.87843	1	1

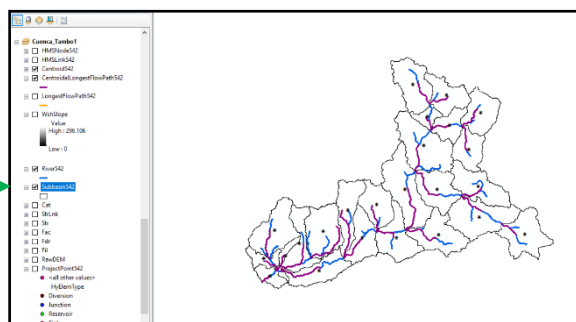
Pendiente de la cuenca –
Basin Slope

DrainID	Name	Description	PrecipGage	TotStormP	BasinSlope	LossMet	TransMet
226	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.248768	<Nub>	<Nub>
174	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.337746	<Nub>	<Nub>
125	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.251213	<Nub>	<Nub>
155	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.155696	<Nub>	<Nub>
142	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.315211	<Nub>	<Nub>
164	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.390681	<Nub>	<Nub>
195	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.411675	<Nub>	<Nub>
180	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.343768	<Nub>	<Nub>
117	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.198718	<Nub>	<Nub>
163	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.167293	<Nub>	<Nub>
156	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.318365	<Nub>	<Nub>
170	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.367918	<Nub>	<Nub>
185	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.149111	<Nub>	<Nub>
147	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.471002	<Nub>	<Nub>
223	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.298465	<Nub>	<Nub>
207	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.256707	<Nub>	<Nub>
128	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.323613	<Nub>	<Nub>
136	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.251808	<Nub>	<Nub>
162	<Nub>	<Nub>	<Nub>	<Nub>	0.482703	<Nub>	<Nub>

Longitud más larga de
todas las cuencas-
LongestFlowPath1216



Calcular el centroide
de cada cuenca-
Centroid1216



Elevación del centroide

OBJECTID *	Shape *	DrainID	Elevation	Elevation_HMS
1	Point	60	4651	4651
2	Point	63	4189	4189
3	Point	64	4365	4365
4	Point	67	4438	4438
5	Point	68	3766	3766
6	Point	69	4360	4360
7	Point	74	4252	4252
8	Point	78	3085	3085
9	Point	79	4400	4400
10	Point	80	4487	4487
11	Point	120	4384	4384
12	Point	89	2937	2937
13	Point	90	3722	3722
14	Point	91	1576	1576
15	Point	96	4357	4357
16	Point	100	1089	1089
17	Point	101	1803	1803
18	Point	102	1903	1903
19	Point	111	2740	2740
20	Point	113	1467	1467
21	Point	115	902	902
22	Point	117	1159	1159
23	Point	118	167	167
24	Point	121	4719	4719

Cálculo de la curva número.

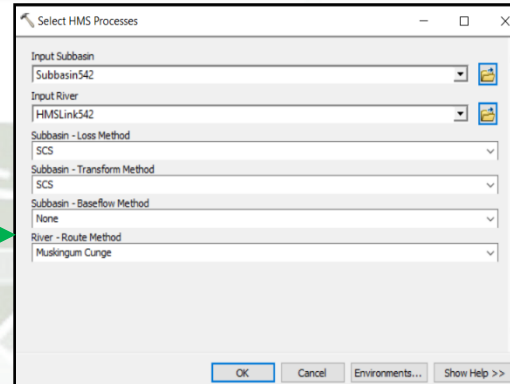
Lo seleccionamos los procesos de Hms.

-Para perdidas – SCS

-Transformación-SCS

-Caudales-None

(En este caso para máximas avenidas el caudal no está significativo)



Se corrige la fórmula del Tc,

en nuestro caso la ecuación de Kirpich

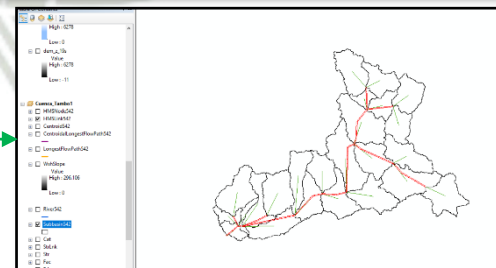
$$(0.87 * L^3 / H) ^{0.385}$$

Luego se calcula el tiempo de retardo Tc*0.6 en horas

BasinCN	Rain2Yr	LagMethod	Tc	BasinLag	MaxDeficit	IDeficit	InitLoss	L
<Null>	<Null>	<Null>	7.351716	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.035333	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	2.49623	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.988453	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.259423	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	5.696955	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	5.180518	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	6.06156	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.52919	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	6.587873	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	7.322397	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.822584	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	3.091267	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.91452	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.734672	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	3.898045	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	5.613969	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.642135	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	5.141996	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	5.949046	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	4.183629	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	2.853432	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	3.215271	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>
<Null>	<Null>	<Null>	7.623649	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>	<Null>

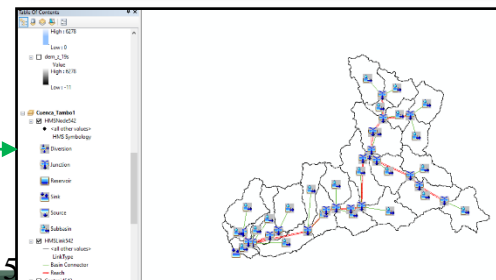
Chequeamos data para exportar a HMS

Determinamos el esquema HMS



Determinamos la leyenda HMS

- Diversion
- Junction
- Reservoir
- Sink

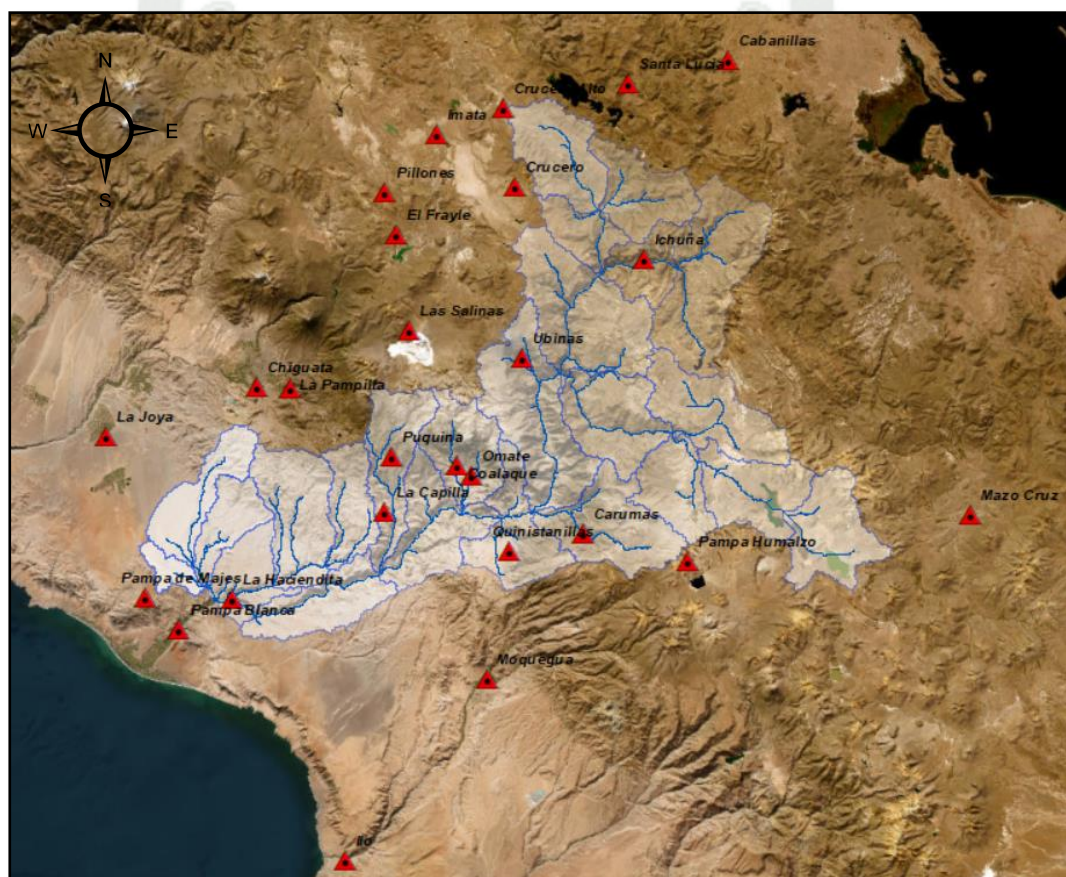


4.2. Tratamiento de información hidrológica

En primer lugar, descargamos Precipitaciones máximas de 24 horas de SENAMHI. Para lo cual se descargó información de 26 estaciones. La Figura 1 muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas.

Figura 2

Ubicación de las Estaciones Pluviométricas seleccionadas



Nota. Elaboración propia

Tabla 32

Data de las estaciones pluviométricas Cabanillas, Chiguata, Coalaque, Crucero, Crucero Alto, El Frayle, Ichuña, Ilo, Imata, La Capilla, La Joya, Las Salinas, Mazo Cruz

AÑO	Cabanillas	Chiguata	Coalaque	Crucero	Crucero Alto	El Frayle	Ichuña	Ilo	Imata	La Capilla	La Joya	Las Salinas	Mazo Cruz
	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax
1965	36.60	7.50	0.00	31.80	38.10	16.70	42.00	2.00	24.40	5.50	0.00	18.00	19.80
1966	30.00	9.30	0.00	18.90	31.50	30.30	33.80	1.00	41.40	3.90	0.01	19.90	39.00
1967	31.20	17.10	0.00	22.00	34.70	17.30	34.40		28.60	4.50	1.00	19.20	18.00
1968	25.60	16.30	0.00	38.00	38.50	21.60	25.10	0.01	25.80	5.80	3.00	17.20	30.60
1969	27.20	9.00	0.00	30.18	26.80	19.10	54.30	10.00	28.30	3.50	0.01	20.00	35.60
1970	24.00	8.20	0.00	35.20	21.90	14.40	51.40	0.00	21.50	0.00	5.10	11.00	27.80
1971	30.80	16.00	0.00	54.30	18.50	24.10	39.70	5.00	32.20	0.00	0.70	23.10	47.40
1972	31.80	39.00	0.00	36.10	27.20	19.70	110.40	0.01	33.40	0.00	1.70	13.60	32.40
1973	40.00	19.50	0.00	72.90	32.80	21.70	20.40	2.90	35.20	0.00	0.60	13.20	22.00
1974	43.60	30.90	0.00	41.90	27.90	25.40	31.10	0.40	34.70	0.00	4.00	12.40	31.60
1975	36.00	23.30	0.00	25.70	28.50	21.80	30.40	0.01	23.70	0.00	3.00	10.40	26.60
1976	38.20	42.90	0.00	45.20	15.00	15.80	26.20	3.80	24.10	0.00	4.30	15.00	33.80
1977	36.70	34.60	0.00	34.40	28.40	32.40	43.70	0.01	24.20	0.00	0.00	16.90	24.40
1978	25.90	12.80	0.00	43.20	14.90	31.50	23.20	0.50	35.10	0.00	0.00	12.30	19.30
1979	31.80	24.80	0.00	54.20	31.00	16.50	32.40	0.00	30.60	0.00	0.00	13.90	31.30
1980	33.20	12.40	0.00	45.40	24.70	21.70	21.90	0.01	21.20	0.00	3.00	24.80	19.00
1981	26.20	28.90	0.00	46.70	21.50	30.40	33.80	0.00	36.30	0.00	0.00	18.60	24.00
1982	19.00	9.20	0.00	37.80	38.90	27.70	50.30	0.20	20.70	0.00	0.00	17.10	32.00
1983	21.00	3.80	32.50	39.30	20.00	32.50	48.20	0.50	15.40	0.00	0.00	10.00	13.40
1984	28.20	21.00	17.80	36.00	28.30	17.80	28.80	0.70	29.30	0.00	3.00	13.40	28.00
1985	20.50	20.30	21.20	51.10	22.90	21.20	34.00	0.20	34.90	0.00	2.30	14.50	28.00
1986	54.20	37.90	18.40	51.00	19.20	18.40	31.70	2.30	27.80	0.00	18.70	10.10	45.00
1987	29.00	39.40	12.60	39.10	14.40	12.60	39.70	0.01	23.90	0.00	0.00	12.50	21.80
1988	46.00	22.70	20.00	37.40	18.80	20.00	14.30	4.30	20.10	0.00	0.10	11.70	23.70
1989	29.50	32.20	18.60	45.20	19.20	18.60	19.90	0.00	18.20	0.00	1.30	13.60	30.40
1990	31.00	18.90	58.50	45.00	18.00	58.50	34.20	2.50	37.00	0.00	4.00	9.60	21.70
1991	20.20	13.50	23.50	38.70	19.50	23.50	27.60	0.00	31.00	0.00	0.00	9.60	9.20
1992	21.20	5.20	18.20	70.70	13.90	18.20	25.90	0.01	27.10	0.00	1.20	9.30	20.00
1993	53.40	21.80	24.70	24.00	22.60	24.70	36.00	1.20	27.60	0.00	0.70	14.10	26.80
1994	54.60	35.30	39.00	52.30	32.10	39.00	37.00	0.30	28.60	0.00	0.00	25.50	26.90
1995	15.50	48.80	12.00	37.50	31.80	32.50	32.60	0.30	27.70	0.00	0.00	41.20	17.80
1996	42.70	15.90	7.00	30.10	27.60	21.40	29.80	0.00	23.90	0.00	0.00	21.10	25.40

1997	44.60	44.00	10.90	35.00	27.40	21.60	26.30	0.60	22.70	0.00	1.90	21.50	35.40
1998	39.20	12.60	20.40	34.80	23.60	20.90	31.10	1.80	30.60	0.00	0.50	24.50	20.00
1999	34.90	25.00	25.70	71.30	32.70	25.70	30.20	0.50	57.20	0.00	0.00	42.30	29.00
2000	31.60	36.20	15.90	18.50	21.90	15.90	31.30	1.20	21.90	0.00	0.50	20.60	27.40
2001	44.20	20.90	13.40	31.70	25.90	13.40	34.70	0.80	52.50	0.00	2.40	27.20	25.80
2002	30.50	24.30	17.80	37.80	30.60	17.80	29.40	1.90	25.50	0.00	1.00	42.00	22.60
2003	42.30	9.20	11.70	39.40	15.70	11.70	29.20	0.01	23.80	0.00	0.00	19.50	21.60
2004	29.60	18.70	28.40	21.70	28.20	28.40	30.30	1.00	32.50	0.00	2.30	39.60	22.40
2005	66.00	13.00	20.10	17.60	35.30	20.10	29.20	0.01	31.40	0.00	0.01	28.40	37.00
2006	35.20	14.40	28.30	22.40	23.40	28.30	26.80	2.40	55.40	0.00	0.01	21.20	34.00
2007	46.40	23.40	21.20	22.00	32.50	21.20	32.80	0.10	28.20	0.00	6.70	24.40	19.60
2008	44.10	20.70	28.20	23.70	15.40	28.20	27.90	0.90	30.20	0.00	5.40	32.80	27.80
2009	35.60	9.90	43.60	26.40	32.70	43.60	25.10	1.00	33.00	0.00	0.01	18.20	25.40
2010	27.30	9.70	32.50	32.10	33.80		23.90	1.60	27.50	0.00	0.60	13.60	24.60
2011	68.70	19.20	17.80	25.40	27.90	5.00	30.50	1.50	30.70	0.00	1.50	24.80	26.40
2012	32.60	39.30	21.20	18.20	37.10	20.50	29.70	1.20	35.40	0.00	4.00	20.40	34.60
2013	54.30	28.50	18.40	33.00	23.80	29.60	30.30	0.40	38.80	0.00	1.20	37.60	33.20
2014	29.70	16.30		20.70	30.00		27.30	0.01	21.20	0.00	0.00	18.40	38.20
2015							15.40		31.50	0.00			30.00
2016							20.90	0.00					
2017								0.00				21.60	
2018	22.80					8.60		0.20	9.60		0.00	24.80	
2019	14.80					20.40	23.20	1.40	55.30		1.90	7.00	
2020	34.80					25.90	28.30	0.50	21.70		7.40	19.30	
2021	25.50					44.20	31.30		20.00		0.00	12.10	
2022	21.10					20.30	20.40	0.70	19.30		1.30	21.20	

Tabla 33

Data de las estaciones pluviométricas Moquegua, Pampa Blanca, Pillones, Santa Lucia, Ubinas, La Pampilla, Pampa de Majes, La Haciendita, Pampa Umalzo, Carumas, Puquina, Omate y Quinistanillas,

AÑO	Moquegua	Pampa Blanca	Pillones	Santa Lucia	Ubinas	La Pampilla	Pampa de Majes	La Haciendita	Pampa Umalzo	Carumas	Puquina	Omate	Quinistanillas
	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax	Ppmax
1965	4.30	12.50	60.70	0.00	22.00	7.60	2.05						
1966	0.80	2.50	19.00	0.00	18.80	4.10	0.50						
1967	6.30	3.10	23.10	0.00	27.40	25.20	1.33						

1968	2.50	5.10	33.70	0.00	22.20	9.90	1.30							
1969	0.20	6.80	21.50	0.00	18.80	6.60	2.80							
1970	0.40	0.90	23.20	0.00	14.50	6.62	1.90							
1971	3.80	4.80	31.40	0.00	23.90	10.40	7.10							
1972	6.40	3.20	22.30	0.00	25.20	21.30	1.00							
1973	4.70	6.50	15.60	0.00	28.60	22.10	21.50							
1974	15.80	12.00	9.40	0.00	20.90	16.00	1.80							
1975	19.40	0.70	18.30	0.00	24.50	46.70	1.20							
1976	14.00	3.50	17.60	0.00	39.60	24.00	2.20							
1977	2.40	0.40	28.30	0.00	26.90	6.80	1.80							
1978	2.40	2.00	38.50	0.00	22.80	8.00	0.00							
1979	0.40	2.30	19.40	0.00	22.00	10.90	0.00							
1980	20.60	0.10	17.40	0.00	13.20	6.20	0.80							
1981	0.90	2.30	28.10	0.00	28.00	5.40	0.30							
1982	9.20	1.20	16.10	0.00	29.50	3.90	0.00							
1983	2.90	4.00	23.80	0.00	15.00	1.50	0.10	32.50	7.40	32.50	32.50	32.50	32.50	32.50
1984	21.20	0.90	28.00	0.00	37.50	14.70	0.90	17.80	26.10	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80
1985	2.90	7.10	20.10	8.10	32.20	15.30	0.80	21.20	3.70	21.20	21.20	21.20	21.20	21.20
1986	24.00	4.50	32.00	22.10	23.30	18.40	21.10	18.40	10.20	18.40	18.40	18.40	18.40	18.40
1987	0.90	0.90	13.60	22.20	22.20	19.00	0.60	12.60	11.10	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60
1988	1.00	0.40	30.10	21.30	21.80	11.50	1.00	20.00	13.10	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
1989	0.00	1.50	17.00	24.40	17.00	22.90	1.80	18.60	26.80	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60
1990	0.00	0.30	31.70	25.40	26.10	11.50	6.10	58.50		58.50	58.50	58.50	58.50	58.50
1991	0.00	0.90	36.00	17.50	34.50	7.70	11.60	23.50		23.50	23.50	23.50	23.50	23.50
1992	0.00	2.90	23.80	0.01	12.50	3.40	8.40	18.20	5.40	18.20	18.20	18.20	18.20	18.20
1993	0.00	0.90	50.50	1.20	22.50	13.50	0.10	24.70	14.40	24.70	24.70	24.70	24.70	24.70
1994	0.00	0.10	30.80	0.30	27.30	13.60	2.20	39.00	14.40	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00
1995	21.10	0.80	22.60	0.30	34.00	28.00	10.50	32.50	17.00	32.50	32.50	32.50	32.50	32.50
1996	0.01	2.00	16.90	0.00	27.00	12.10	0.01	21.40	6.00	21.40	21.40	21.40	21.40	21.40
1997	9.40	2.50	21.00	0.60	24.10	33.40	2.70	21.60	12.10	21.60	21.60	21.60	21.60	21.60
1998	2.90	1.40	26.40	1.80	29.20	9.50	1.80	20.90	31.50	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90
1999	4.40	0.01	26.60	0.50	33.00	12.30	2.50	25.70	26.30	25.70	25.70	25.70	25.70	25.70
2000	6.00	1.90	22.10	1.20	22.00	23.70	3.70	15.90	27.70	15.90	15.90	15.90	15.90	15.90
2001	9.30	1.00	25.10	0.80	34.80	30.00	1.00	13.40	15.00	13.40	13.40	13.40	13.40	13.40
2002	7.80	1.20	35.70	1.90	20.80	15.40	6.80	17.80	26.90	17.80	17.80	17.80	17.80	17.80
2003	0.30	0.01	15.60	0.01	18.10	5.50	0.40	11.70	23.40	11.70	11.70	11.70	11.70	11.70
2004	4.60	0.01	26.40	1.00	26.60	8.40	3.50	28.40	16.10	28.40	28.40	28.40	28.40	28.40
2005	1.20	0.01	21.30	0.01	31.80	5.20	0.20	20.10	25.10	20.10	20.10	20.10	20.10	20.10
2006	2.40	0.70	30.40	2.40	19.00	14.90	0.01	28.30	23.00	28.30	28.30	28.30	28.30	28.30
2007	5.70	1.00	25.60	0.10	19.90	7.90	11.00	21.20	21.00	21.20	21.20	21.20	21.20	21.20

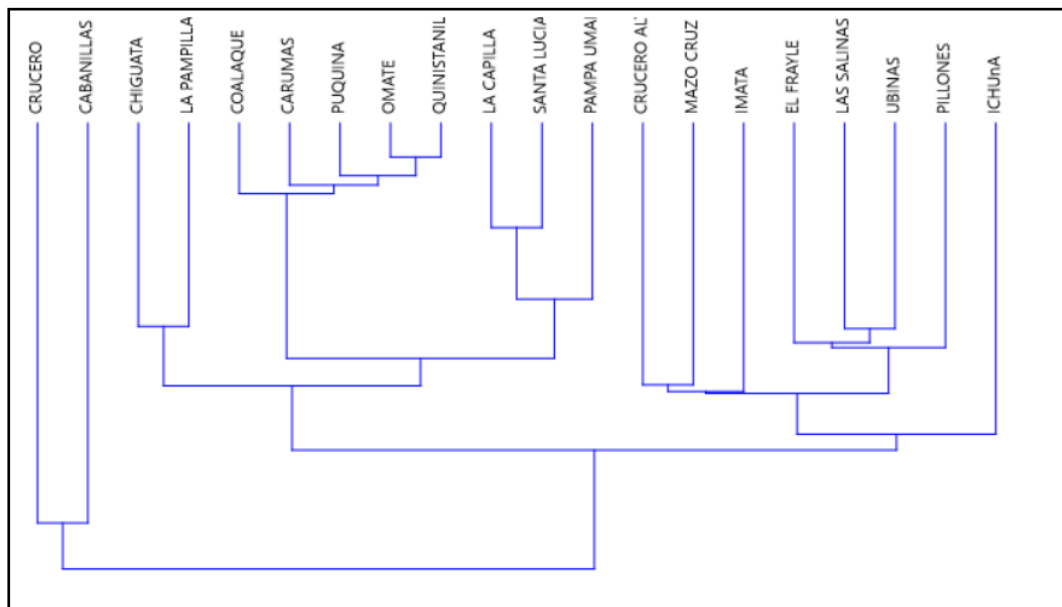
2008	5.00	1.40	23.10	0.90	18.40	25.50	9.00	28.20	32.70	28.20	28.20	28.20	28.20
2009	1.20	1.60	22.30	1.00	19.00	8.40	1.50	43.60	12.80	43.60	43.60	43.60	43.60
2010	4.30	2.40	21.00	1.60	13.80	4.70	1.00	32.50	16.60	32.50	32.50	32.50	32.50
2011	5.40	1.20	32.10	1.50	28.60	17.00	4.90	17.80	12.80	17.80	17.80	17.80	17.80
2012	11.30	0.90	34.90	1.20	25.60	35.30	6.80	21.20	26.40	21.20	21.20	21.20	21.20
2013	4.30	1.00	20.80	0.40	24.60	124.50	2.90	18.40	15.40	18.40	18.40	18.40	18.40
2014	1.50	0.90	25.40	0.01	16.00	16.00	1.50						
2015		1.50			18.60								
2016										4.30			
2017									6.90	18.80			
2018		0.30	20.20		2.00			0.00	14.30	5.10	3.70	3.80	2.50
2019		0.90	20.20		16.00			2.50	13.30	20.30	26.80	25.20	27.40
2020		6.20	17.40		17.20			6.50	19.90	16.60	35.30	25.60	16.20
2021		0.00	15.90		20.00			0.00	14.20		18.80	8.20	10.40
2022		0.00	16.10		25.00			0.00	16.50	20.20	30.80	16.40	15.70

4.2.1. Método del Vector regional

Aplicamos el análisis Clúster, conocidos como análisis de conglomerados, es una técnica multivariable que busca agrupar elementos. Mientras que el método de clasificación utilizado en el estudio fue el Ward. Con el análisis de Clúster jerárquico, los resultados deben tratarse como tentativos hasta que se confirmen con un método independiente. Con el método de clasificación WARD, se ha logrado agrupar en 5 grupos definidos, utilizando las precipitaciones de las 26 estaciones. A su vez se considera que se cumpla que la Desviación Standard de los D.E. Desvíos sea menor a 0.20 y el coeficiente de correlación entre las estaciones y el vector regional Corel/Vector sea mayor a 0.6; para aceptar la agrupación de las estaciones. La Figura 2 muestra el análisis Clúster aplicado a las estaciones pluviométricas.

Figura 3

Análisis Clúster aplicado a las estaciones pluviométricas



Nota. Elaboración propia

- GRUPO 01: Estación La Joya, Pampa de Majes, La Haciendita, Pampa Blanca, Moquegua e Ilo.
- GRUPO 02: Estación Coporaque, Puquina, Omate, Quinistanillas y Carumas.
- GRUPO 03: Estación Crucero Alto, Ichuña, Cabanillas, Crucero y Mazo Cruz.
- GRUPO 04: Estación Pillones, Imata, Las Salinas, El Frayle y Ubinas.
- GRUPO 05: Estación Chiguata, La Pampilla, La Capilla, Pampa Umalzo y Santa Lucia.

4.2.1.1. GRUPO N°01

En el Grupo N°01 se consideró a 6 estaciones porque son las 6 que tienen las altitudes más bajas, las cuales varían de 60 a 1440m. Asimismo los años de procesamiento se ajustan desde 1965 a 2022. Sin embargo, se dejaron de considerar por tener una baja altitud.

Tabla 34

Estaciones- Grupo 1

Estaciones	Nº Años
Ilo	58
Pampa Blanca	58
Pampa de Majes	50
La Haciendita	40
La Joya	58
Moquegua	50

4.2.1.2. GRUPO N°02

En el grupo 02 se consideró 5 estaciones las cuales varían en altitud de 1765 a 3150 m. Asimismo los años de procesamiento se ajustan desde 1965 a 2022. En este grupo no se eliminó ninguna estación porque cumplen con los parámetros especificados en el método del vector regional, en el cual se considera que se cumpla que la Desviación Standard de los D.E. Desvíos sea menor a 0.20 y el coeficiente de correlación entre las estaciones y el vector regional Correl/Vector sea mayor a 0.6; para aceptar la agrupación de las estaciones. La Figura 3 Muestra el vector regional aplicado para le grupo 02.

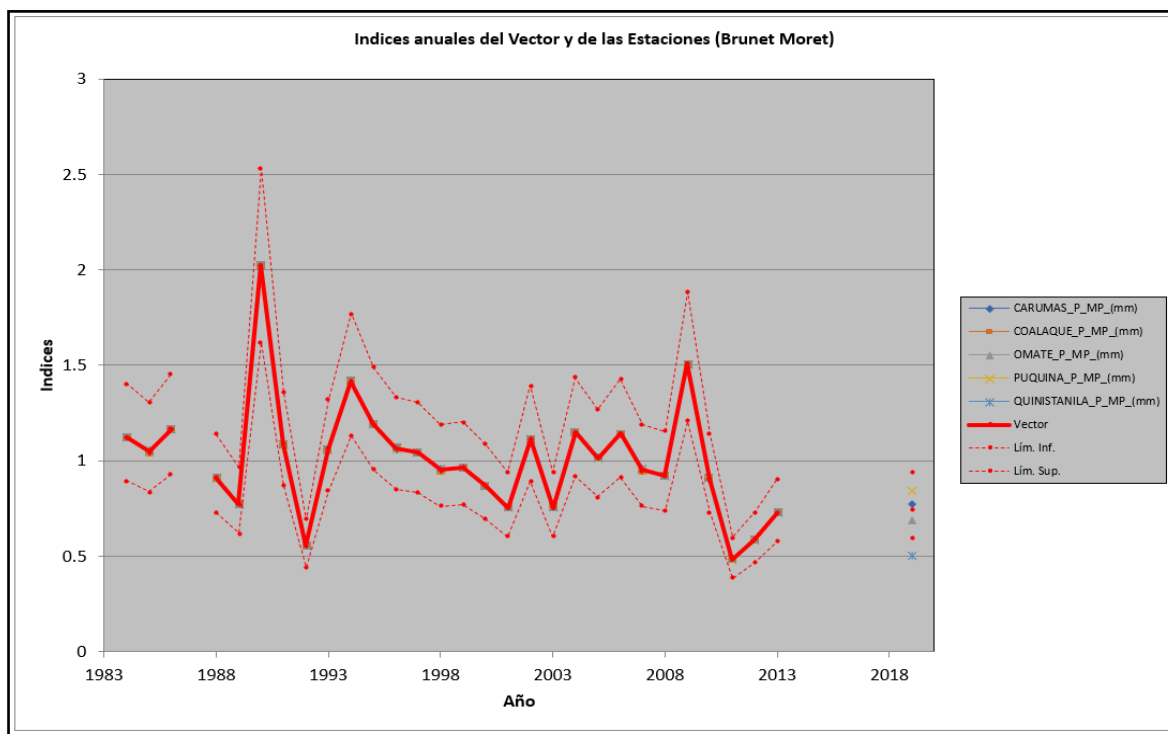
Tabla 35

Estaciones-Grupo 2

Estaciones	Años	Coef. Variación	Media Obs.	Media Calculada	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
Carumas	30	0.301	80.3	80.3	0.004	1.000
Coalaque	29	0.300	80.9	80.2	0.000	1.000
Omate	30	0.304	80.1	80.1	0.012	0.999
Puquina	30	0.298	80.5	80.4	0.017	0.998
Quinistanillas	30	0.314	79.6	80.2	0.045	0.990

Figura 4

Vector regional aplicado para le grupo 02



Nota. Elaboración propia

4.2.1.3. GRUPO N°03

En el grupo 03 se consideró 5 estaciones las cuales varían en altitud de 3800 a 4470 m. Asimismo los años de procesamiento se ajustan desde 1965 a 2022. En este grupo se eliminó la Estación Crucero. En el cuadro se muestra los parámetros estadísticos de la región pluviométrica de las estaciones, donde se considera que se cumpla que la Desviación Standard de los D.E. Desvíos sea menor a 0.20 y el coeficiente de correlación entre las estaciones y el vector regional Correl/Vector sea mayor a 0.6; para aceptar la agrupación de las estaciones. En los gráficos siguientes se muestra el vector regional y los índices acumulados, de cada uno de las estaciones, que integran este grupo pluviométrico, observándose con uniformidad aceptable en su

comportamiento entre ellos respecto al vector regional. La Figura 4 muestra el vector regional aplicado para le grupo 03.

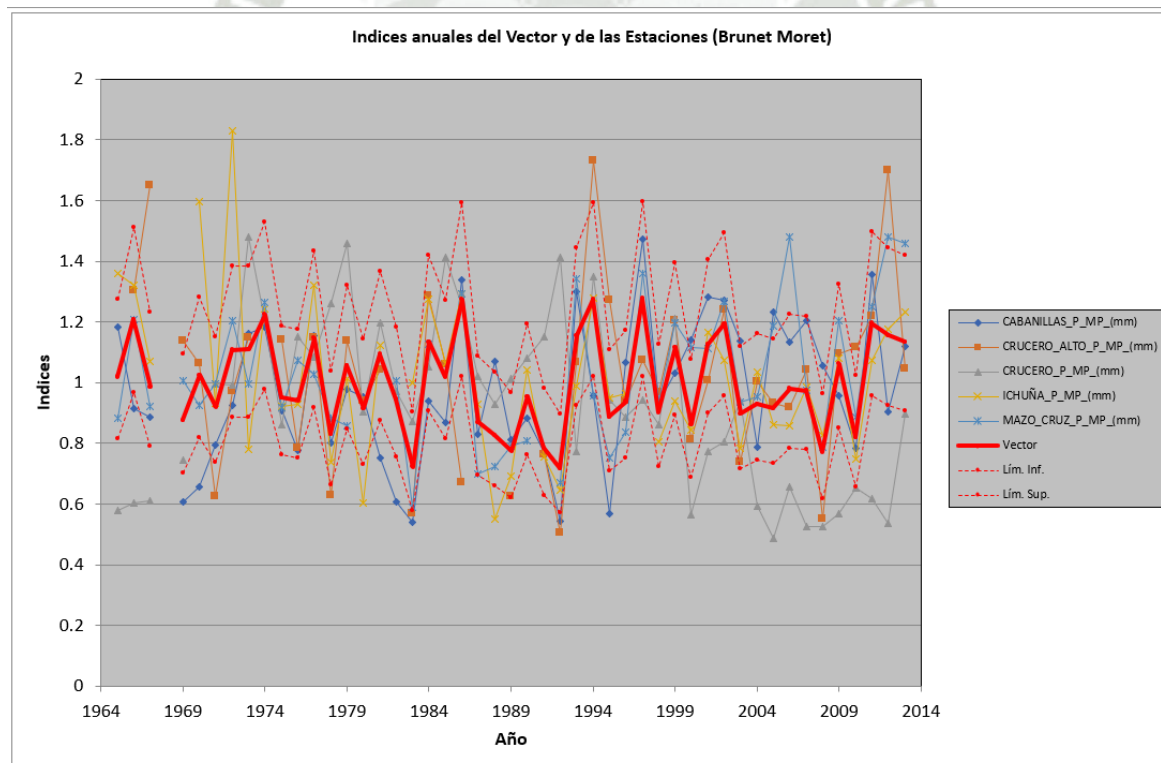
Tabla 36

Estaciones- Grupo 3

Estaciones	Años	Coef.	Media	Media	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
		Variación	Obs.	Calculada		
Cabanillas	48	0.237	154.3	159.2	0.187	0.618
Crucero Alto	42	0.280	114.9	112.6	0.205	0.609
Crucero	47	0.303	183.2	198.4	0.311	0.106
Ichuña	45	0.251	131.2	129.3	0.188	0.672
Mazo Cruz	44	0.218	113.0	109.7	0.155	0.728

Figura 5

Vector regional aplicado para le grupo 03



Nota. Elaboración propia

4.2.1.4. GRUPO N°04

En el grupo 04 se consideró 5 estaciones las cuales varían en altitud de 3370 a 4519 m. Asimismo los años de procesamiento se ajustan desde 1965 a 2022. En este grupo se eliminó la Estación El Frayle. En el cuadro se muestra los parámetros estadísticos de la región pluviométrica de las estaciones, donde se considera que se cumpla que la Desviación Standard de los D.E. Desvíos sea menor a 0.20 y el coeficiente de correlación entre las estaciones y el vector regional Correl/Vector sea mayor a 0.6; para aceptar la agrupación de las estaciones. En los gráficos siguientes se muestra el vector regional y los índices acumulados, de cada uno de las estaciones, que integran este grupo pluviométrico, observándose con uniformidad aceptable en su comportamiento entre ellos respecto al vector regional. La Figura 5 muestra el vector regional aplicado para le grupo 04.

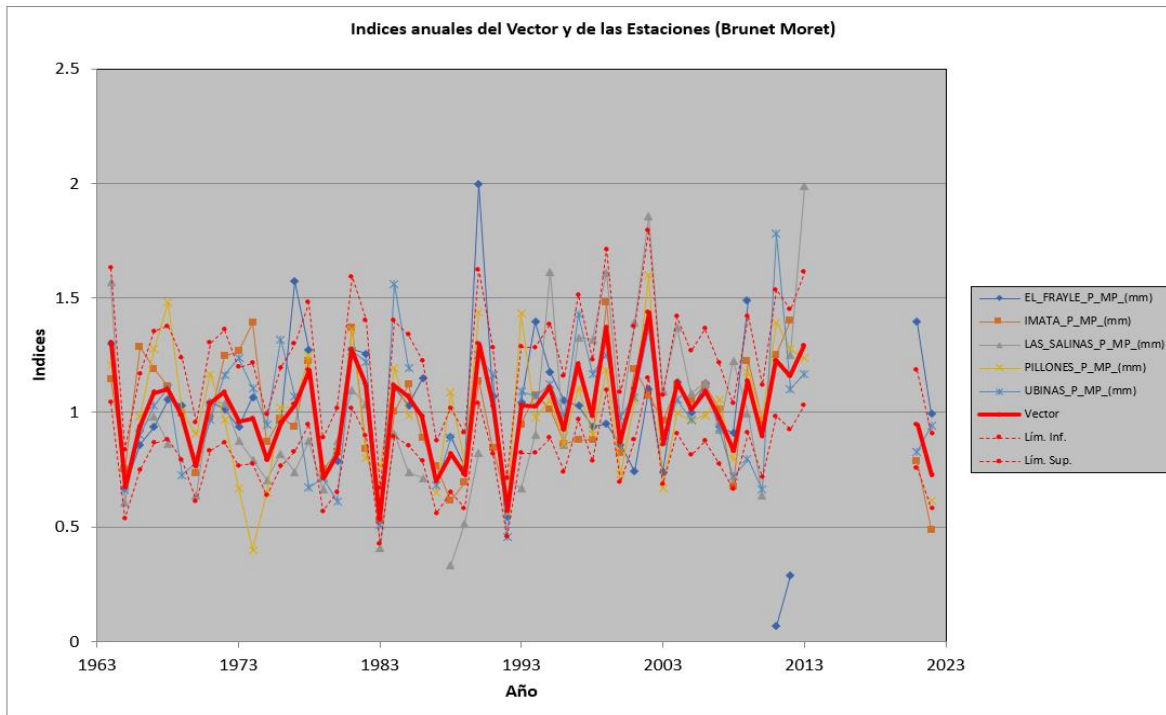
Tabla 37

Estaciones-Grupo 4

Estaciones	Años	Coef. Variación	Media Obs.	Media Calculada	D.E. Desvíos	Correl. /Vector
El Frayle	45	0.306	83.1	81.4	0.299	0.344
Imata	51	0.236	122.4	123.9	0.153	0.755
Las Salinas	46	0.360	74.6	75.5	0.152	0.716
Pillones	48	0.264	96.5	96.1	0.169	0.765
Ubinas	48	0.266	82.4	81.4	0.183	0.728

Figura 6

Vector regional aplicado para le grupo 04



Nota. Elaboración propia

4.2.1.5. GRUPO N°05

En el grupo 05 se consideró 5 estaciones las cuales varían en altitud de 2306 a 4609 m. Asimismo los años de procesamiento se ajustan desde 1965 a 2022. Este grupo se eliminó, puesto a que no cumple los parámetros. En el cuadro se muestra los parámetros estadísticos de la región pluviométrica de las estaciones, donde se considera que se cumpla que la Desviación Standard de los D.E. Desvíos sea menor a 0.20 y el coeficiente de correlación entre las estaciones y el vector regional $Correl/Vector$ sea mayor a 0.6; para aceptar la agrupación de las estaciones. En los gráficos siguientes se muestra el vector regional y los índices acumulados, de cada uno de las estaciones, que integran este grupo pluviométrico, observándose con

uniformidad aceptable en su comportamiento entre ellos respecto al vector regional. La Figura 6 muestra el vector regional aplicado para le grupo 05.

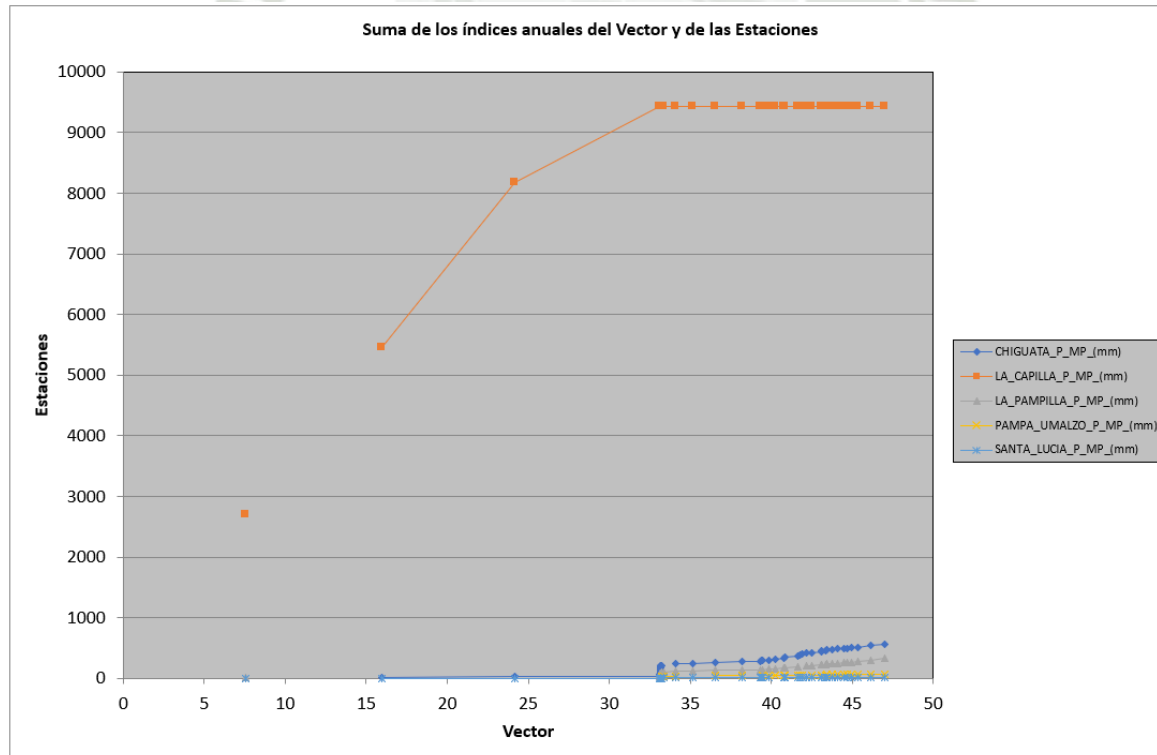
Tabla 38

Estación -Grupo 5

Estaciones	Años	Coef.	Media	Media	D.E.	Correl.
		Variación	Obs.	Calculada		
Chiguata	45	0.526	53.6	4.4	13.288	-0.095
La Capilla	47	3.444	0.9	0.0	709.853	0.932
La Pampilla	38	0.814	35.1	4.3	10.018	-0.063
Pampa	26	0.499	38.4	37.2	0.903	-0.083
Umalzo						
Santa Lucia	46	2.616	11.1	30.3	2.542	0.014

Figura 7

Vector regional aplicado para le grupo 05

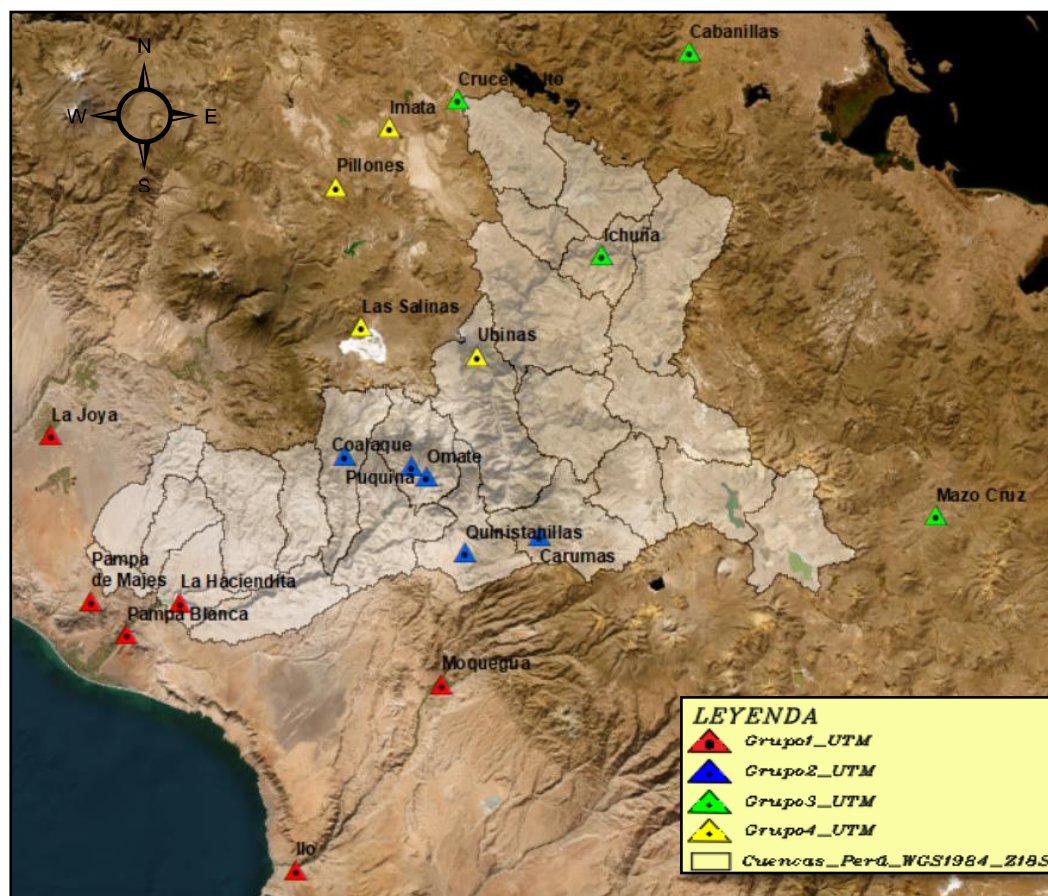


Nota. Elaboración propia

Eliminamos las estaciones que no cumplen con los parámetros establecidos quedando 19 estaciones, las cuales están divididas en 4 grupos. La Figura 7 muestra la ubicación de los 04 grupos de estaciones.

Figura 8

Ubicación de los 04 grupos de estaciones



Nota. Elaboración propia

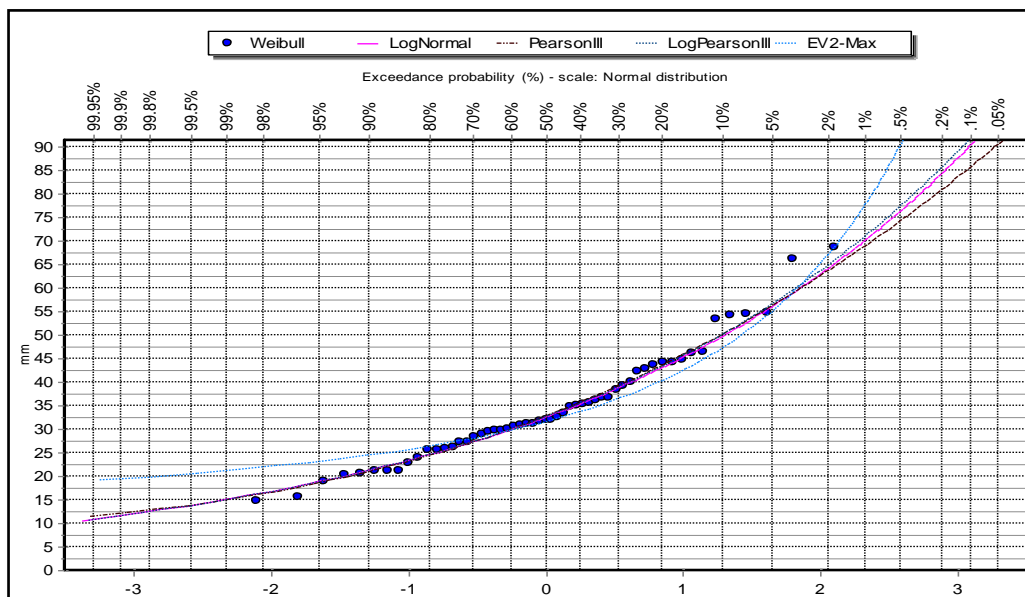
4.2.2. Selección del método estadístico apropiado

Calculamos las distribuciones, seleccionamos el mejor método estadístico para así calcular las precipitaciones máximas de cada año para las 19 estaciones. Con ayuda del HIDROGNOMON, insertamos los datos de precipitación y calculamos la distribución que mejor se acomoda. Utilizando la prueba de bondad de ajuste por Smirnov Kolmogórov.

La Figura 9 muestra las distribuciones de la estación Cabanillas, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 9

Distribuciones de la estación Cabanillas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 39 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Person III, Galton y Person III para la estación Cabanillas.

Tabla 39

Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Cabanillas

TR (años)	Estación Cabanillas (mm)		
	Log Normal	Log Pearson III	Pearson III
5	43.143	42.993	43.378
10	49.995	49.73	50.027
50	64.758	64.207	63.533
100	70.951	70.267	68.879

200

74.525

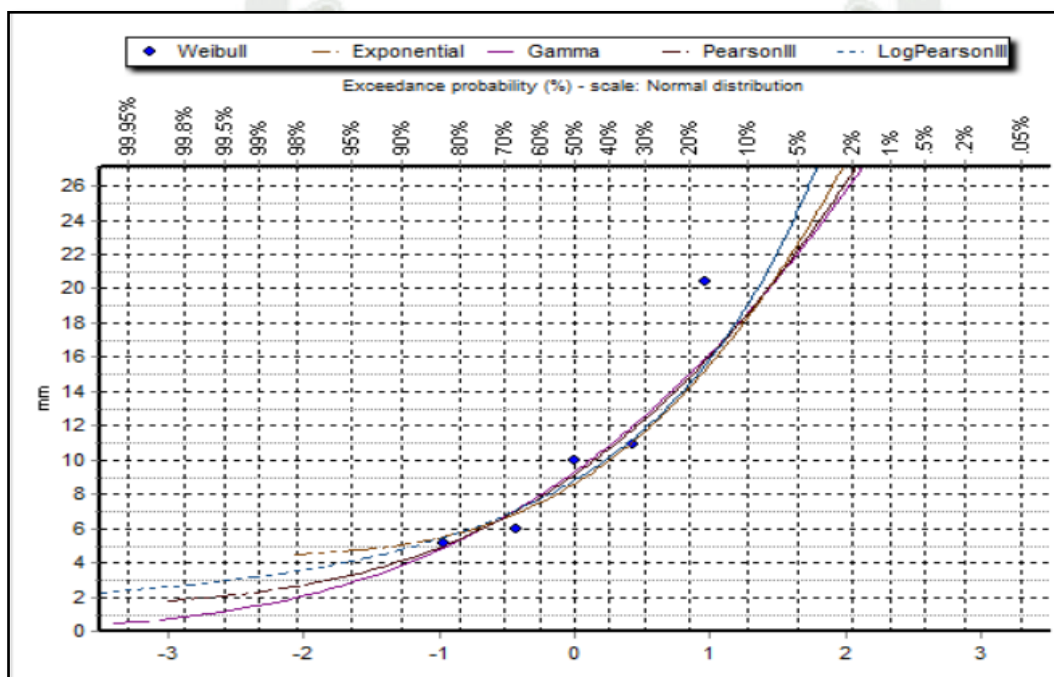
76.314

74.043

La Figura 10 muestra las distribuciones de la estación Coalaque, el método que más se acomoda es Pearson III.

Figura 10

Distribuciones de la estación Coalaque



Nota. Elaboración propia

La Tabla 40 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Pearson III, Log Pearson III, Gamma para la estación Coalaque.

Tabla 40

Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Coalaque

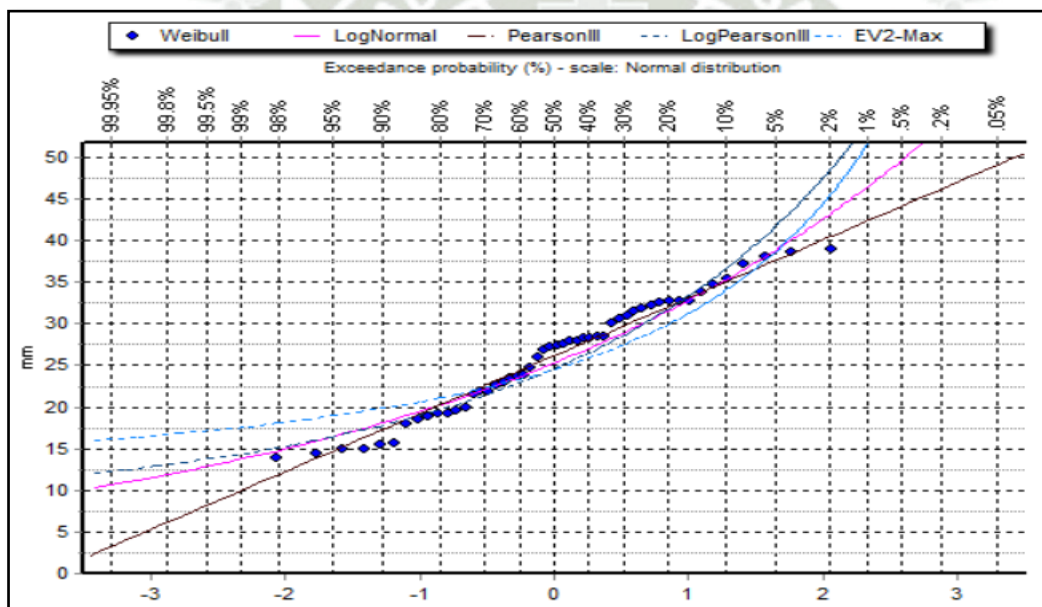
TR (años)	Estación Coalaque (mm)		
	Log Pearson III	Pearson III	Gamma
5	14.405	14.806	14.965

10	19.124	18.613	18.631
50	32.986	26.822	26.346
100	40.586	30.203	29.475
200	49.408	33.524	32.528

La Figura 11 muestra las distribuciones de la estación Crucero Alto, el método que más se acomoda es Person III.

Figura 11

Distribuciones de la estación Crucero Alto



Nota. Elaboración propia

La Tabla 41 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Pearson III, Log Person III y Gumbel para la estación Crucero Alto.

Tabla 41

Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Crucero Alto

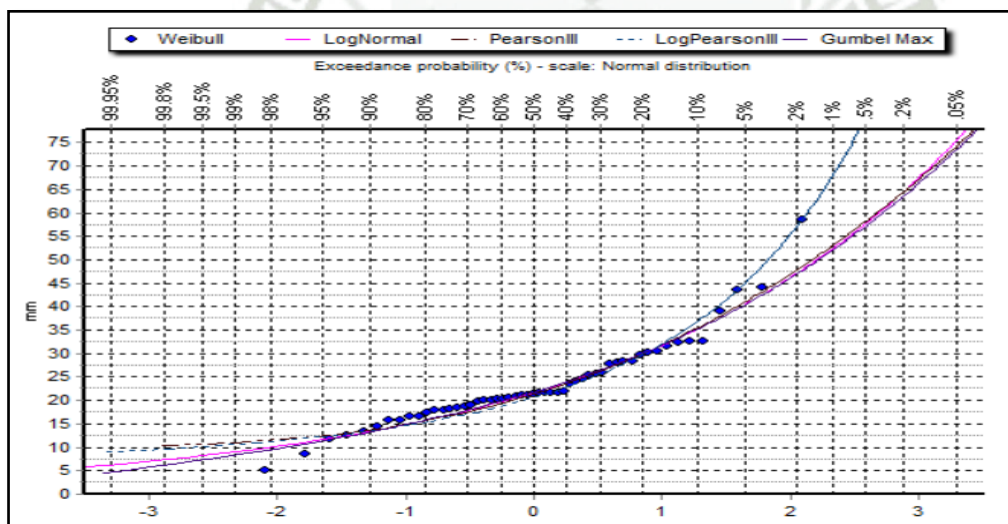
TR (años)	Estación Crucero Alto (mm)
-----------	----------------------------

	Log Pearson III	Pearson III	Gumbel
5	31.693	31.996	31.148
10	36.685	35.057	35.221
50	48.549	40.43	44.185
100	53.991	42.327	47.974
200	59.707	44.063	51.750

La Figura 12 muestra las distribuciones de la estación Ichuña, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 12

Distribuciones de la estación Ichuña



Nota. Elaboración propia

La Tabla 42 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Ichuña.

Tabla 42

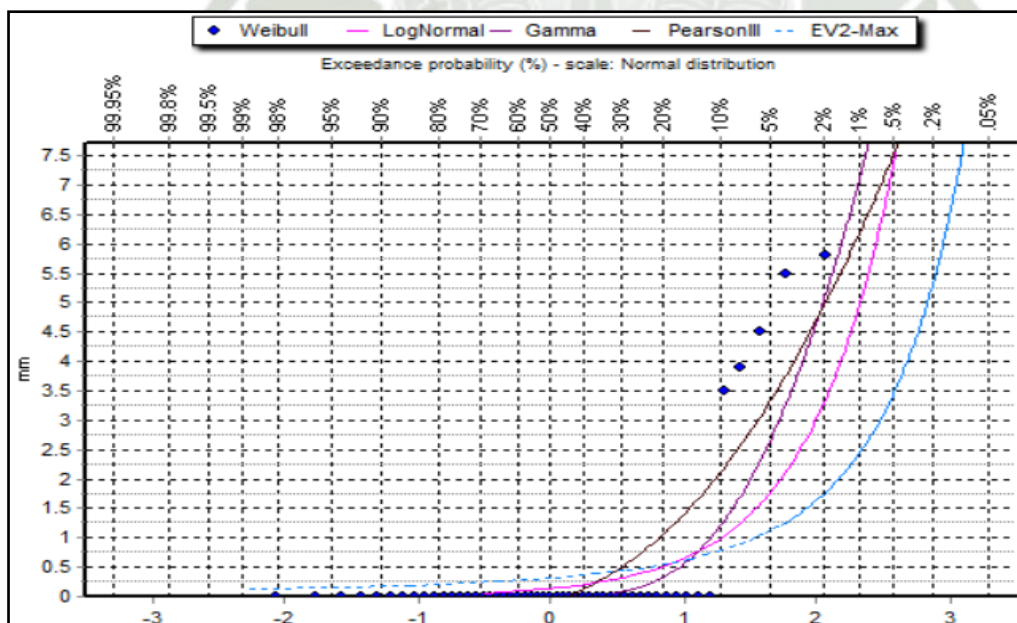
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ichuña

TR (años)	Estación Ichuña (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	38.848	38.423	38.944
10	45.818	45.612	46.901
50	64.223	65.796	75.918
100	73.484	76.546	81.682
200	83.728	88.857	95.717

La Figura 13 muestra las distribuciones de la estación Ilo, el método que más se acomoda es Pearson III.

Figura 13

Distribuciones de la estación Ilo



Nota. Elaboración propia

La Tabla 43 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Ilo.

Tabla 43

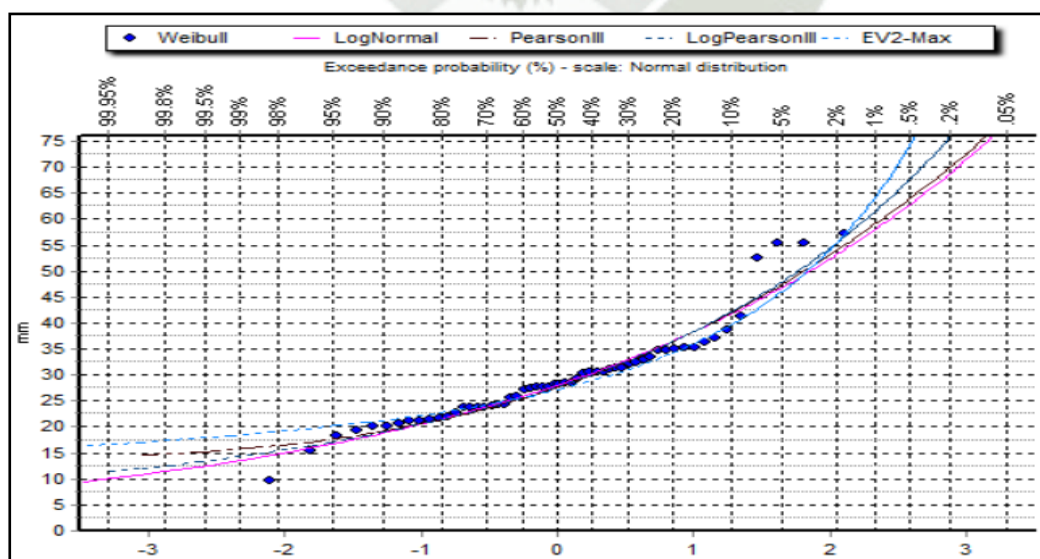
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ilo

TR (años)	Estación Ilo (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	1.6124	2.0863	1.6096
10	2.8192	2.643	2.9009
50	6.348	3.62	6.3928
100	8.1326	3.9649	8.0157
200	10.058	4.2806	9.6829

La Figura 14 muestra las distribuciones de la estación Imata, el método que más se acomoda es Log Pearson III.

Figura 14

Distribuciones de la estación Imata



Nota. Elaboración propia

La Tabla 44 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Person III, Log Person III y Gumbel para la estación Imata.

Tabla 44

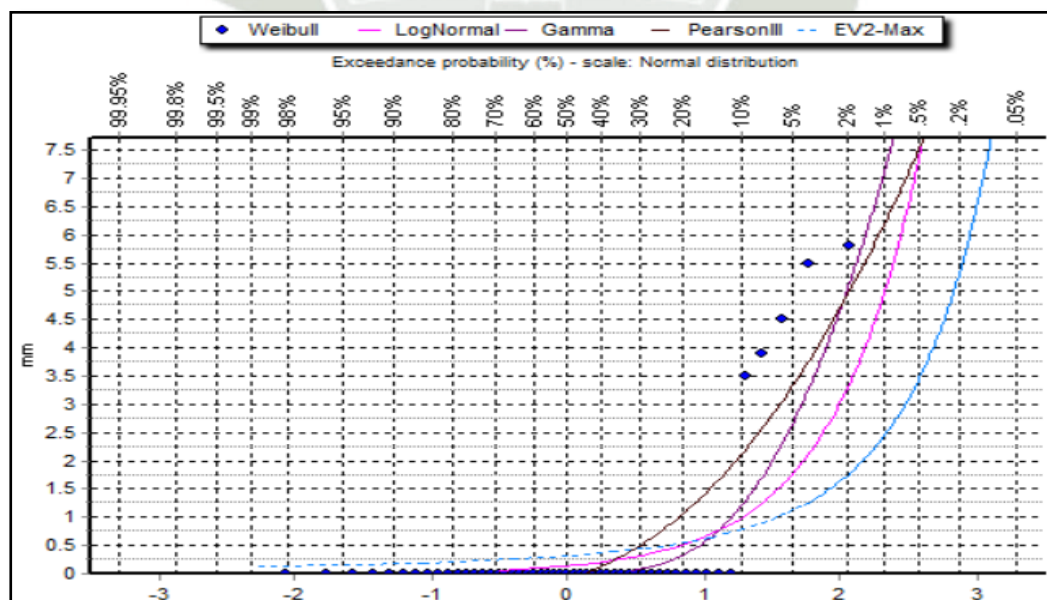
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Imata

TR (años)	Estación Imata (mm)		
	Log Pearson III	Pearson III	Gumbel
5	36.081	36.379	36.248
10	41.465	42.103	41.768
50	53.314	54.199	53.917
100	58.324	59.116	59.053
200	63.315	63.922	64.170

La Figura 15 muestra las distribuciones de la estación La Joya, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 15

Distribuciones de la estación La Joya



Nota. Elaboración propia

La Tabla 45 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación La Joya.

Tabla 45

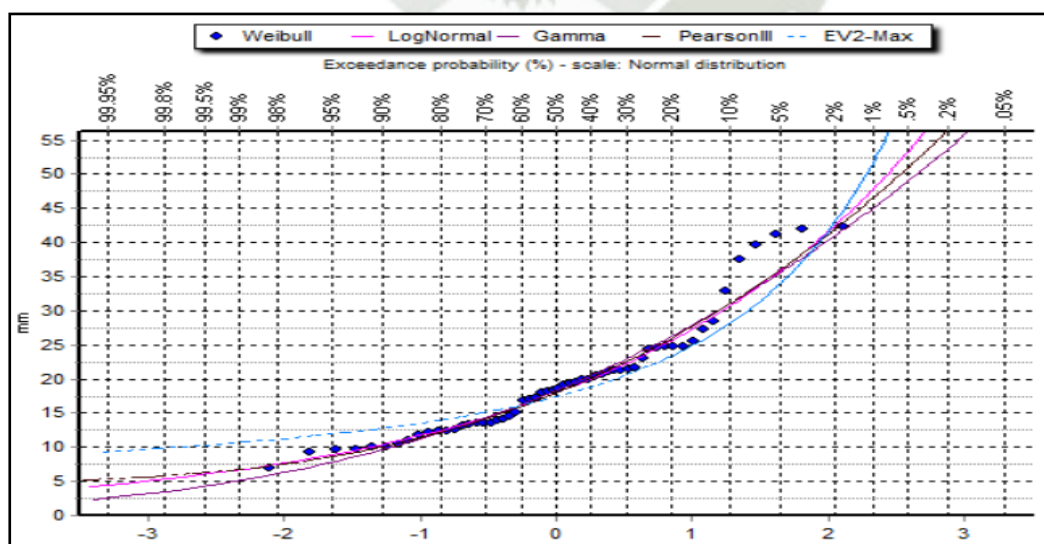
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación La Joya

TR (años)	Estación La Joya (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	2.7238	2.7383	2.625
10	3.955	3.8611	3.9491
50	6.4147	6.4227	7.0234
100	7.5642	7.5489	8.3474
200	8.7458	8.7011	9.6714

La Figura 16 muestra las distribuciones de la estación Las Salinas, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 16

Distribuciones de la estación Las Salinas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 46 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Las Salinas.

Tabla 46

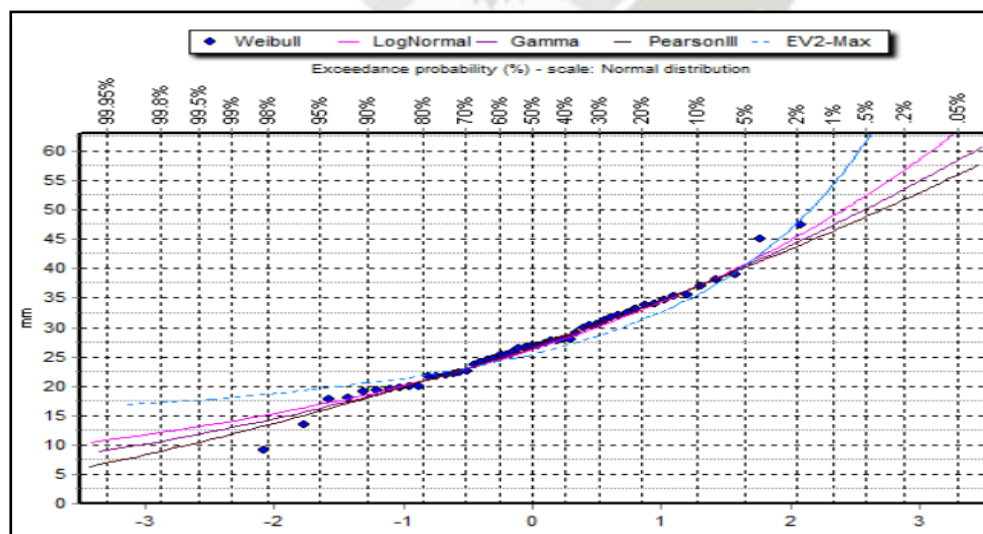
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Las Salinas

TR (años)	Estación Las Salinas (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	25.538	25.792	25.957
10	30.753	30.854	31.163
50	42.612	41.994	42.109
100	47.812	46.703	46.544
200	53.125	51.396	50.872

La Figura 17 muestra las distribuciones de la estación Mazo Cruz, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 17

Distribuciones de la estación Mazo Cruz



Nota. Elaboración propia

La Tabla 47 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Mazo Cruz.

Tabla 47

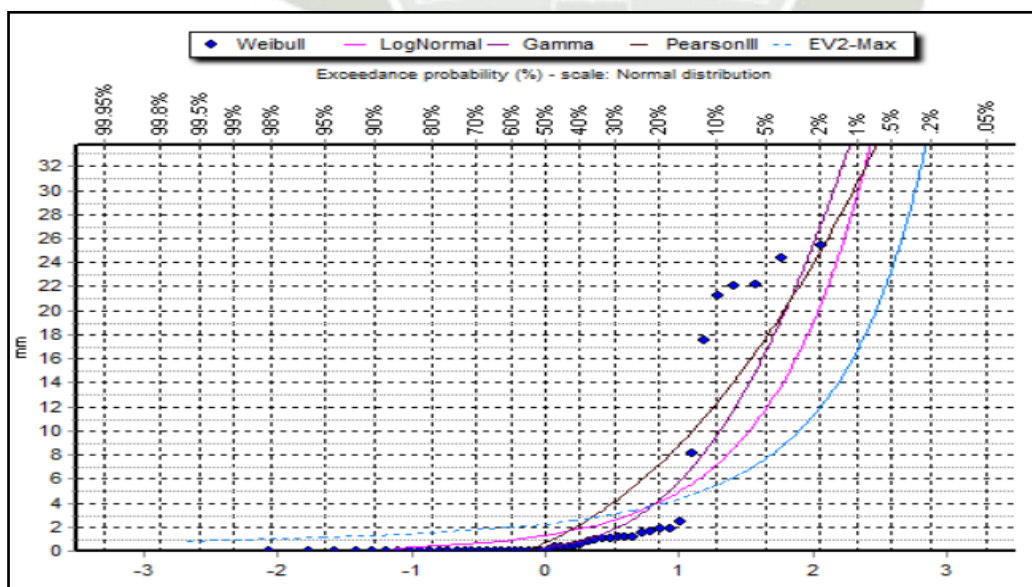
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Mazo Cruz

TR (años)	Estación Mazo Cruz (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	32.897	32.56	33.306
10	37.018	36.911	36.971
50	45.54	46.487	43.833
100	48.995	50.535	46.388
200	52.387	54.569	48.788

La Figura 18 muestra las distribuciones de la estación Moquegua, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 18

Distribuciones de la estación Moquegua



Nota. Elaboración propia

La Tabla 48 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Moquegua.

Tabla 48

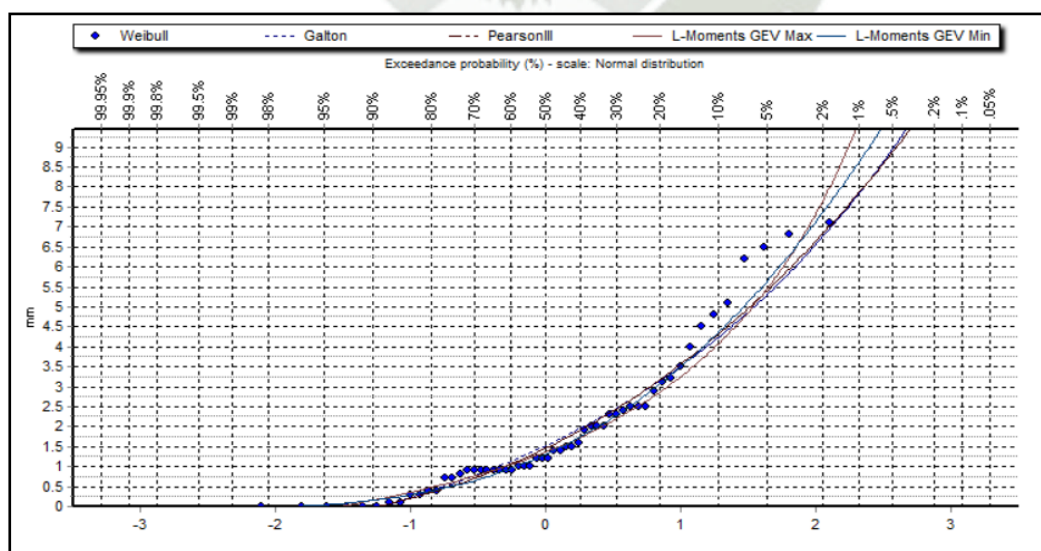
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Moquegua

TR (años)	Estación Moquegua (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	7.5418	7.4484	7.40
10	7.5418	10.384	10.024
50	16.382	16.734	15.941
100	18.382	19.332	18.526
200	20.5	20.812	21.16

La Figura 19 muestra las distribuciones de la estación Pampa Blanca, el método que más se acomoda es Log Pearson III.

Figura 19

Distribuciones de la estación Pampa Blanca



Nota. Elaboración propia

La Tabla 49 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Person III, Log Person III y Gumbel III para la estación Pampa Blanca.

Tabla 49

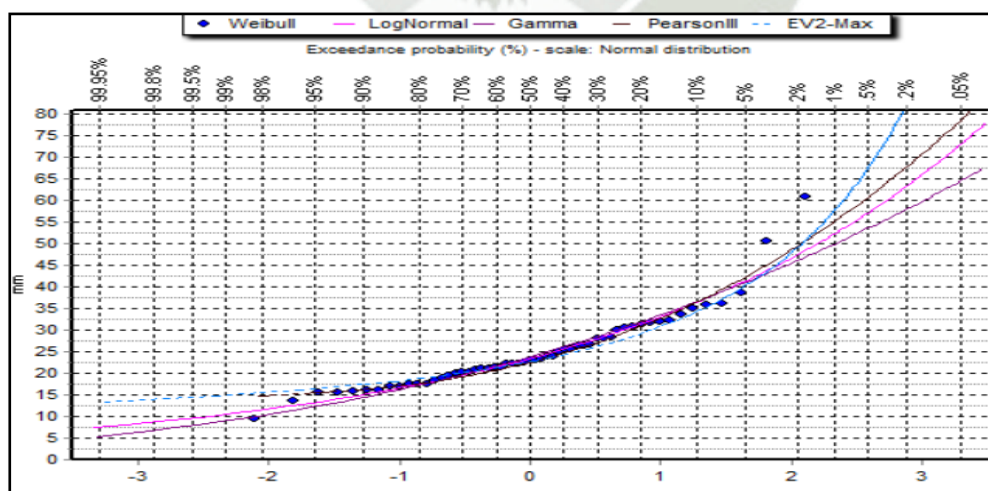
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pampa Blanca

TR (años)	Estación Pampa Blanca (mm)		
	Log Pearson III	Pearson III	Gumbel
5	2.8547	3.1604	3.1368
10	4.0785	4.3172	4.2385
50	7.6445	7.8698	6.746
100	9.6085	8.8934	7.8462
200	11.907	10.198	8.9707

La Figura 20 muestra las distribuciones de la estación Pillones, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 20

Distribuciones de la estación Pillones



Nota. Elaboración propia

La Tabla 50 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Pillones.

Tabla 50

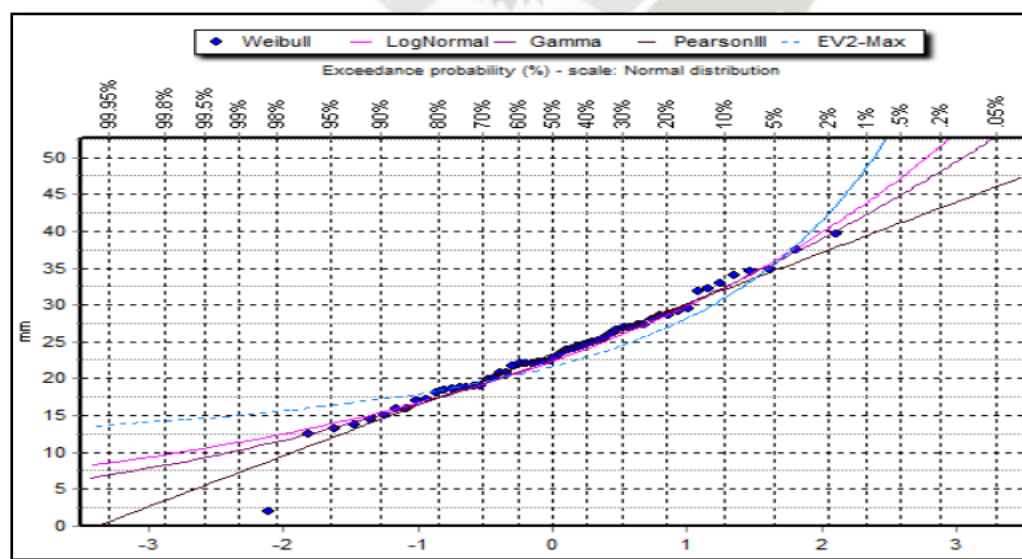
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pillones

TR (años)	Estación Pillones (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	31.291	31.198	30.716
10	36.423	36.37	36.553
50	47.55	47.754	49.602
100	52.242	52.566	55.100
200	56.941	57.361	60.551

La Figura 21 muestra las distribuciones de la estación Ubinas, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 21

Distribuciones de la estación Ubinas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 51 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Ubinas.

Tabla 51

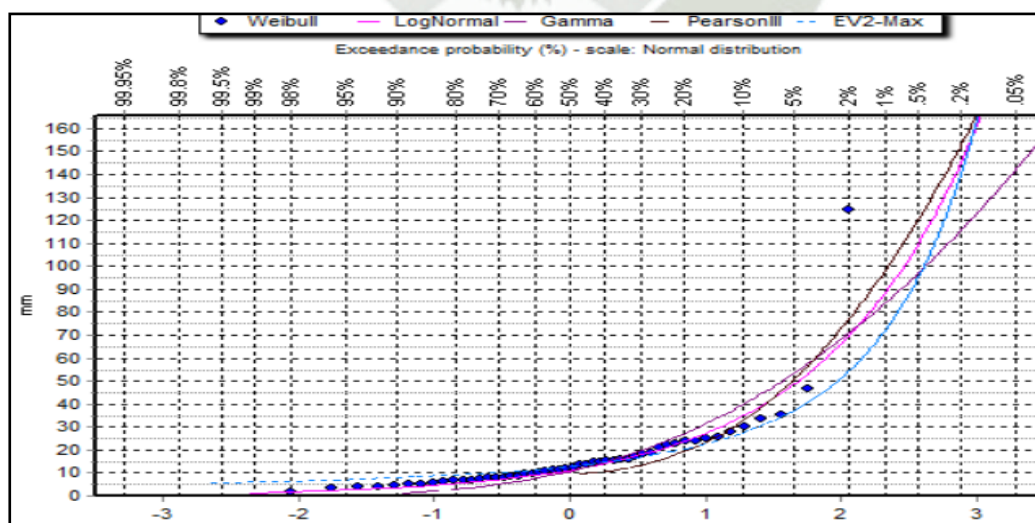
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Ubinas

TR (años)	Estación Ubinas (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	28.534	28.284	29.125
10	32.413	32.323	32.161
50	40.54	41.212	37.489
100	43.872	44.97	39.37
200	47.16	48.715	44.97

La Figura 22 muestra las distribuciones de la estación Pampa de Majes, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 22

Distribuciones de la estación Pampa de Majes



Nota. Elaboración propia

La Tabla 52 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Pampa de Majes.

Tabla 52

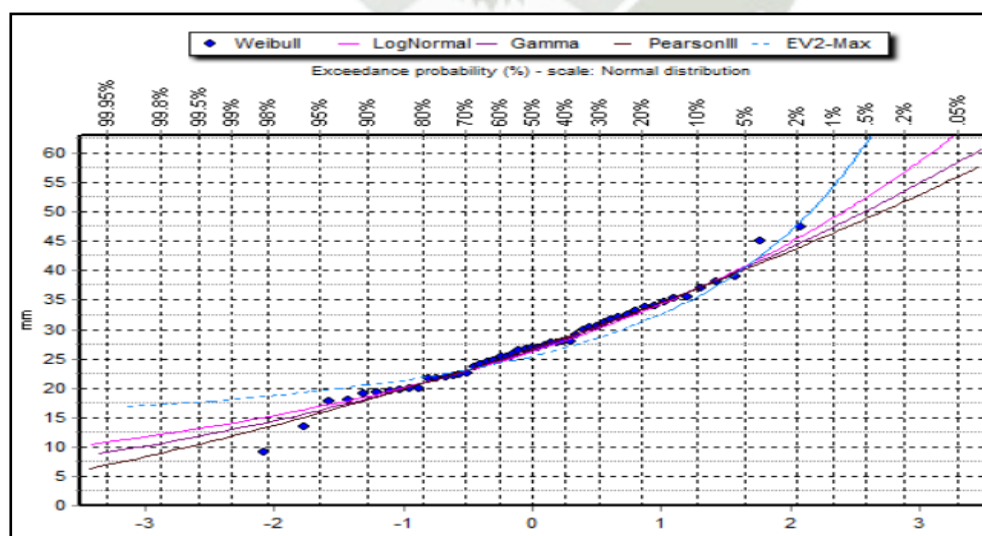
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Pampa de Majes

TR (años)	Estación Pampa de Majes (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	3.267	3.2408	3.0561
10	4.6591	4.6634	4.3635
50	7.8351	7.9666	8.1427
100	9.1858	9.3892	10.203
200	10.529	10812	15.597

La Figura 23 muestra las distribuciones de la estación La Haciendita, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 23

Distribuciones de la estación La Haciendita



Nota. Elaboración propia

La Tabla 53 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación La Haciendita.

Tabla 53

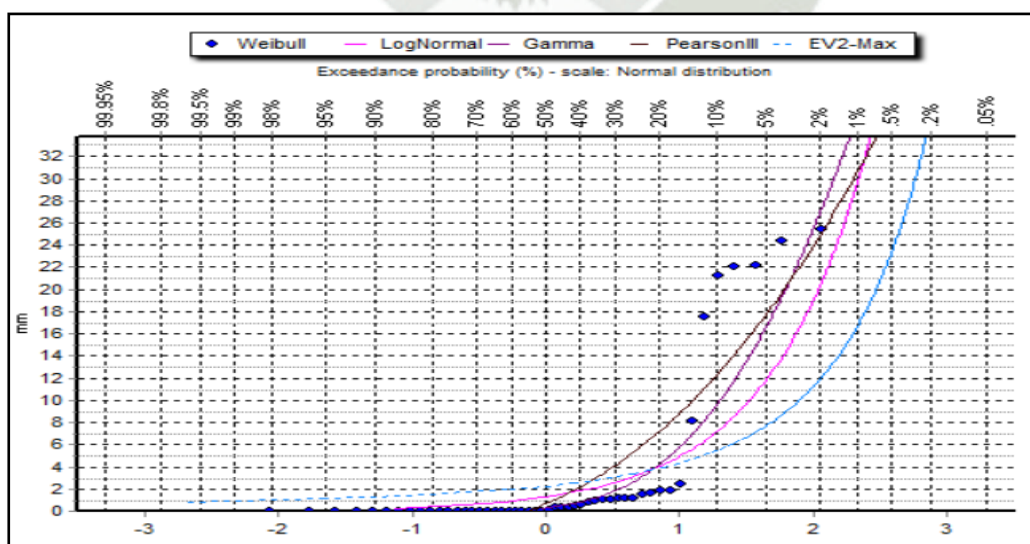
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación La Haciendita

TR (años)	Estación La Haciendita (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	2.7486	3.6893	3.5318
10	4.7459	5.838	5.5015
50	1065	10.827	10.075
100	13.658	12.976	12.045
200	16.914	12.259	15.125

La Figura 24 muestra las distribuciones de la estación Carumas, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 24

Distribuciones de la estación Carumas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 54 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Carumas.

Tabla 54

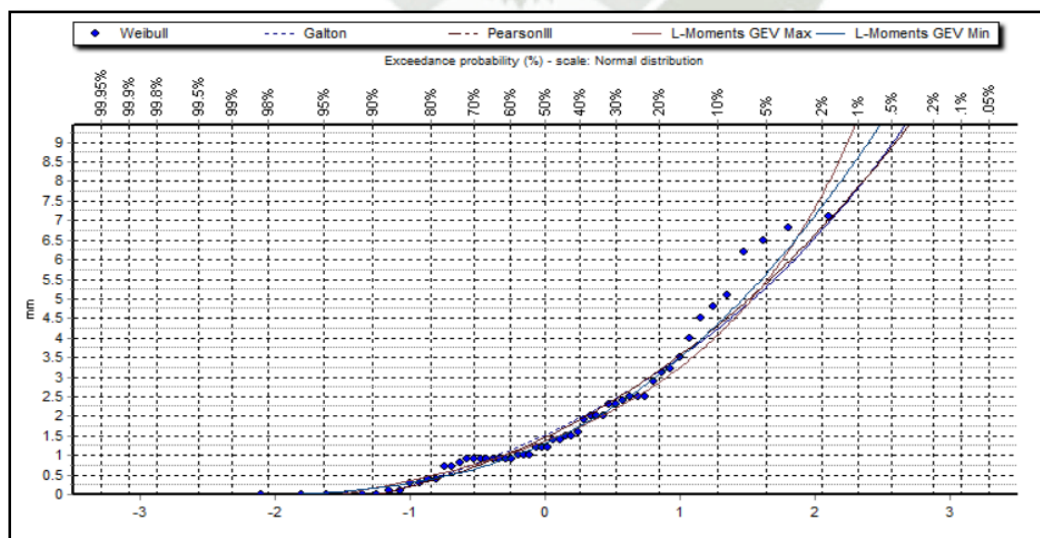
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Carumas

TR (años)	Estación Carumas(mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	21.152	20.843	20.863
10	21.559	21.896	22.942
50	21.648	22.677	25.291
100	21.65	22.773	22.777
200	21.65	22.822	26.101

La Figura 25 muestra las distribuciones de la estación Puquina, el método que más se acomoda es Log Pearson III.

Figura 25

Distribuciones de la estación Puquina



Nota. Elaboración propia

La Tabla 55 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Person III, Log Person III y Gumbel III para la estación Puquina.

Tabla 55

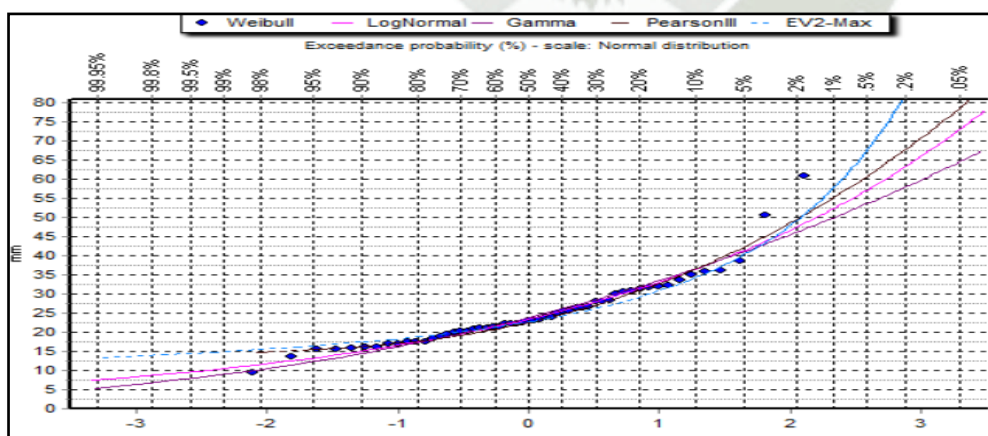
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Puquina

TR (años)	Estación Puquina (mm)		
	Log Pearson III	Pearson III	Gumbel
5	33.894	33.258	34.838
10	36.783	36.703	36.778
50	39.726	41.795	38.25
100	40.266	43.36	38.436
200	40.602	44.705	38.532

La Figura 26 muestra las distribuciones de la estación Omate, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 26

Distribuciones de la estación Omate



Nota. Elaboración propia

La Tabla 56 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Pillones.

Tabla 56

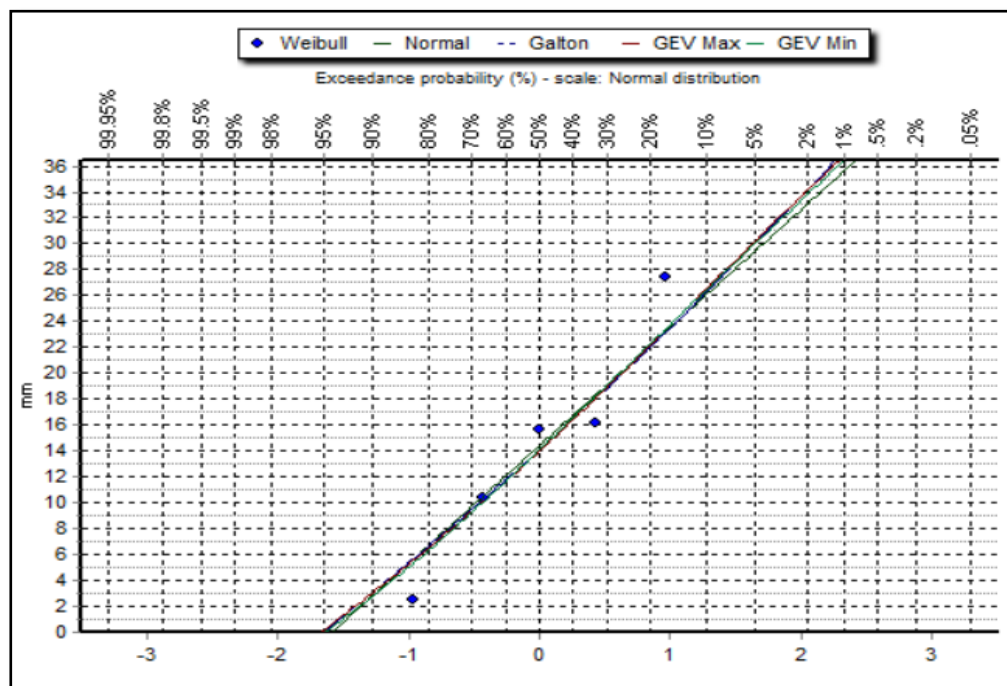
Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Omate

TR (años)	Estación Omate (mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	26.125	25.095	25.506
10	28.706	28.608	28.928
50	30.336	33.985	33.128
100	30.482	35.684	34.086
200	30.544	37.161	34.757

La Figura 27 muestra las distribuciones de la estación Quinistanillas, el método que más se acomoda es Log Normal.

Figura 27

Distribuciones de la estación Quinistanillas



Nota. Elaboración propia

La Tabla 57 muestra las precipitaciones ajustadas a las distribuciones Log Normal, Gumbel y Person III para la estación Quinistanillas.

Tabla 57

Precipitaciones ajustadas a las distribuciones para la Estación Quinistanillas

TR (años)	Estación Quinistanillas(mm)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
5	22.102	22.24	22.142
10	26.107	26.504	26.577
50	33.137	33.897	34.218
100	35.619	36.466	36.742
200	37.89	38.918	38.918

Finalmente sacamos las precipitaciones para los distintos periodos de retorno de las 19 Estaciones. La Tablas, muestra las precipitaciones para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100, 200.

Tabla 58

Precipitaciones de las 19 estaciones para los diferentes periodos de retorno

	TR_5	TR_10	TR_50	TR_100	TR_200
Cabanillas	48.58	56.19	72.55	79.40	86.23
Coalaque	22.98	32.83	61.43	76.63	93.82
Crucero Alto	35.58	39.92	48.85	52.46	56.00
Ichuña	47.15	56.17	76.37	85.11	93.99
Ilo	1.63	2.67	6.36	8.65	11.45
Imata	41.24	47.31	60.22	65.57	70.88
La Joya	2.68	4.47	10.98	15.09	20.17
Las Salinas	28.86	34.75	48.15	54.03	60.03
Mazo Cruz	37.17	41.83	51.46	55.36	59.20
Moquegua	8.84	13.30	27.26	35.12	44.28
Pampa Blanca	3.58	5.42	11.20	14.48	18.31
Pillones	35.36	41.16	53.73	59.03	64.34
Ubinas	32.24	36.63	45.81	49.58	53.29
Pampa de Majes	5.50	8.66	19.21	25.45	32.92
La Haciendita	32.17	40.64	61.25	70.80	80.83
Carumas	33.17	40.02	55.62	62.48	69.49
Puquina	34.93	41.65	56.72	63.26	69.90
Omate	33.74	40.58	56.08	62.87	69.80
Quinistanillas	33.54	40.44	56.17	63.07	70.13

4.3. Cálculo de la CN

Para el cálculo de la curva número se necesita el mapa de suelos y el mapa de cobertura vegetal. Finalmente calculamos la curva número para cada Cuenca.

Ecuación 22

Cálculo de la curva número

$$CN_W = \frac{(CN_{pol1} * Area_{pol1} + CN_{pol2} * Area_{pol2} + CN_{pol3} * Area_{pol3})}{Area_{pol1} + Area_{pol2} + Area_{pol3}}$$

La Tabla 34,35 muestra el mapa de suelos y cobertura vegetal respectivamente.

Tabla 59

Mapa de Suelos

FID	Shape *	SIMSUE	DESCRIPCION	Area_km2	GH
0	Polygon	LPq-R	Leptosol lítico - Afloramiento lítico	65197.5357	B
1	Polygon	LPd-ANu-R	Leptosol dístico - Andosol úmbrico	21381.5703	B
2	Polygon	LPd-ANz	Leptosol dístico - Andosol vítrico	34540.48408	B
3	Polygon	SCh-LPe	Solonchak háptico - Leptosol étrico	4750.100268	A
4	Polygon	SCh-LPe	Solonchak háptico - Leptosol étrico	1324.472562	A

Tabla 60*Mapa de cobertura vegetal*

FID	Shape	CobVeg2013	Landuse
0	Polygon	Loma	6
1	Polygon	Agricultura costera y andina	4
35	Polygon	Área urbana	3
45	Polygon	Área altoandina con escasa y sin vegetación	3
206	Polygon	Bofedal	1
224	Polygon	Bosque relicto altoandino	5
225	Polygon	Cardonal	5
235	Polygon	Glaciar	1
264	Polygon	Lagunas, lagos y cochas	1
402	Polygon	Matorral arbustivo	5
409	Polygon	Pajonal andino	5
424	Polygon	Desierto costero	13
425	Polygon	Agricultura costera y andina	4
426	Polygon	Cardonal	5
427	Polygon	Matorral arbustivo	5

La tabla 36 muestra la curva número para cada cuenca.

Tabla 61*Curva Numero para las 24 cuencas*

ITEM	Cuenca	CN
	Ficticia	
1	W1170	77.19
2	W1200	77.25
3	W1260	76.95
4	W1340	76.67
5	W1350	76.59
6	W1360	76.94
7	W1410	73.61
8	W1560	76.74
9	W1620	71.21
10	W1650	78.59
11	W1740	63.15
12	W1770	75.85
13	W1830	69.50
14	W1910	73.30
15	W1980	59.72
16	W2050	66.70
17	W2070	41.98
18	W2110	78.05
19	W2160	45.02
20	W2170	55.91
21	W2180	44.79
22	W2190	49.96
23	W2250	44.14
24	W2330	76.19

4.3.1. Cálculo de Abstracción Inicial

La tabla 36 muestra la abstracción inicial para las 24 cuencas.

Tabla 62

Abstracción Inicial para 24 cuencas

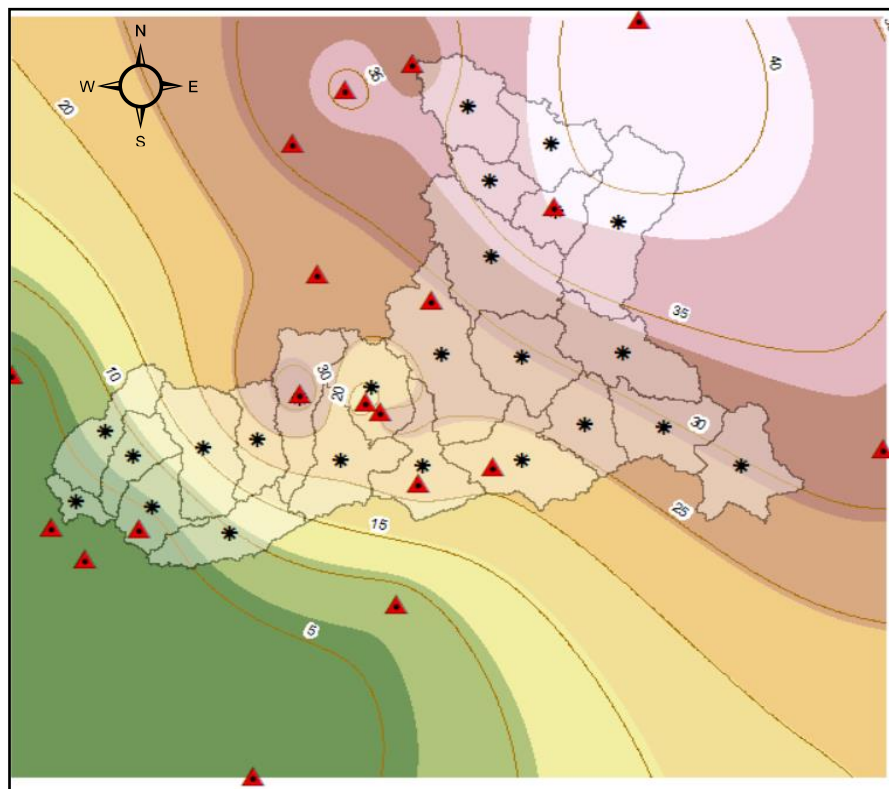
Cuenca Ficticia	Initial Abstraccion (mm) 5080/(CN – 50.8)
W1170	15.01
W1200	14.96
W1260	15.22
W1340	15.46
W1350	15.53
W1360	15.23
W1410	18.21
W1560	15.40
W1620	20.54
W1650	13.84
W1740	29.64
W1770	16.17
W1830	22.29
W1910	18.50
W1980	34.26
W2050	25.36
W2070	70.21
W2110	14.29
W2160	62.04
W2170	40.06
W2180	62.62
W2190	50.88
W2250	64.29
W2330	15.88

4.4. Isoyetas de precipitación

La Figura 9 muestra isoyetas para el TR=5 años

Figura 28

Isoyetas para un TR=5 años

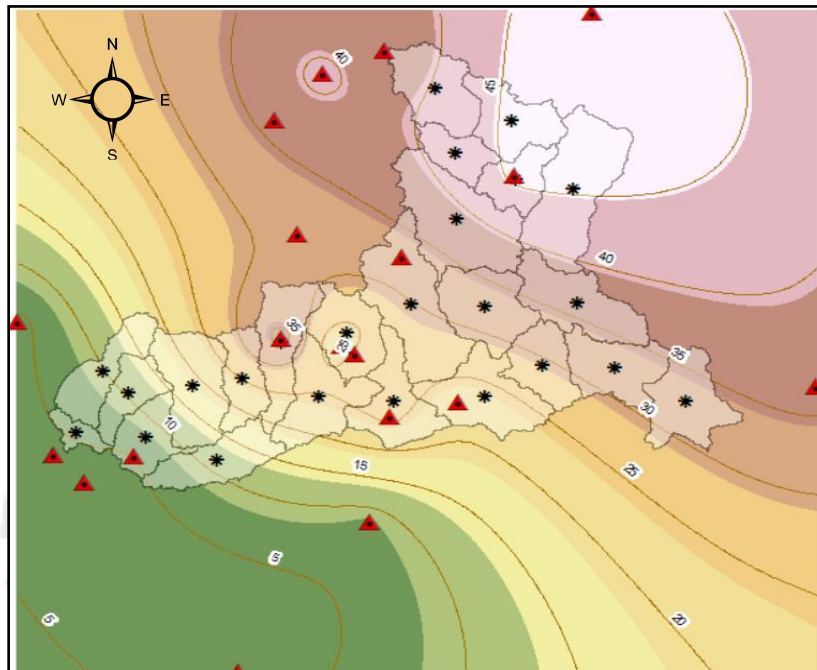


Nota. Elaboración propia

La Figura 10 muestra isoyetas para el TR=10 años

Figura 29

Isoyetas para un TR=10 años

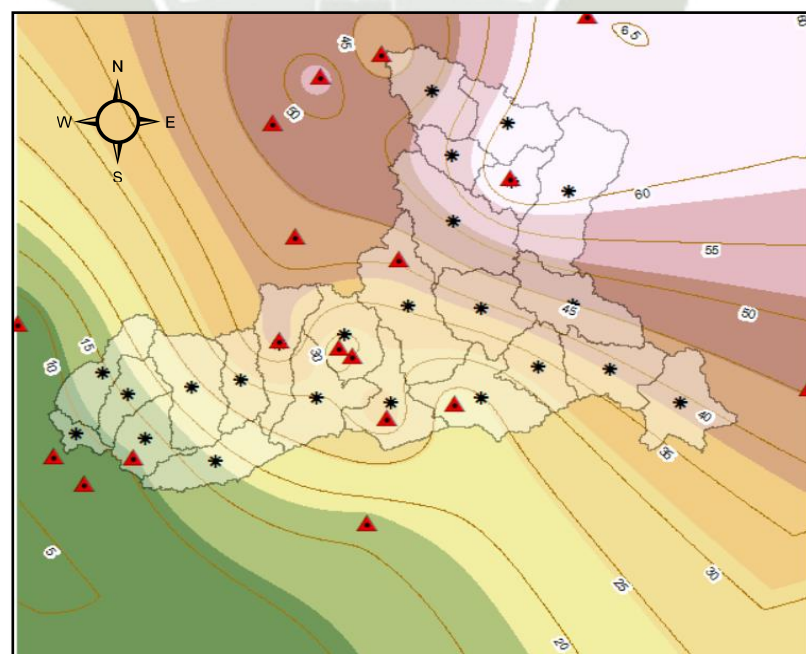


Nota. Elaboración propia

La Figura 11 muestra isoyetas para el TR=50 años

Figura 30

Isoyetas para un TR=50 años

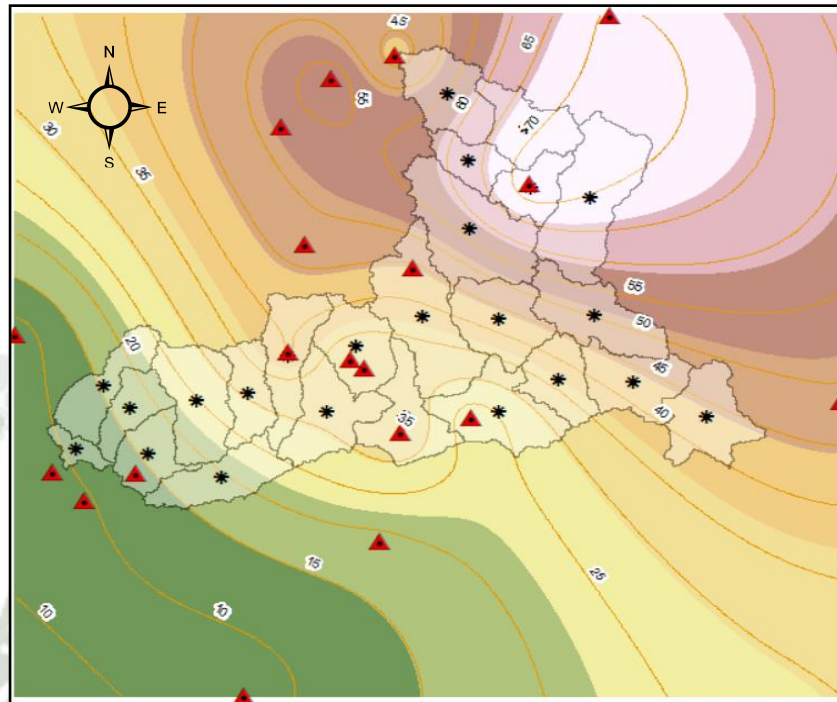


Nota. Elaboración propia

La Figura 12 muestra isoyetas para el TR=100 años

Figura 31

Isoyetas para un TR=100 años

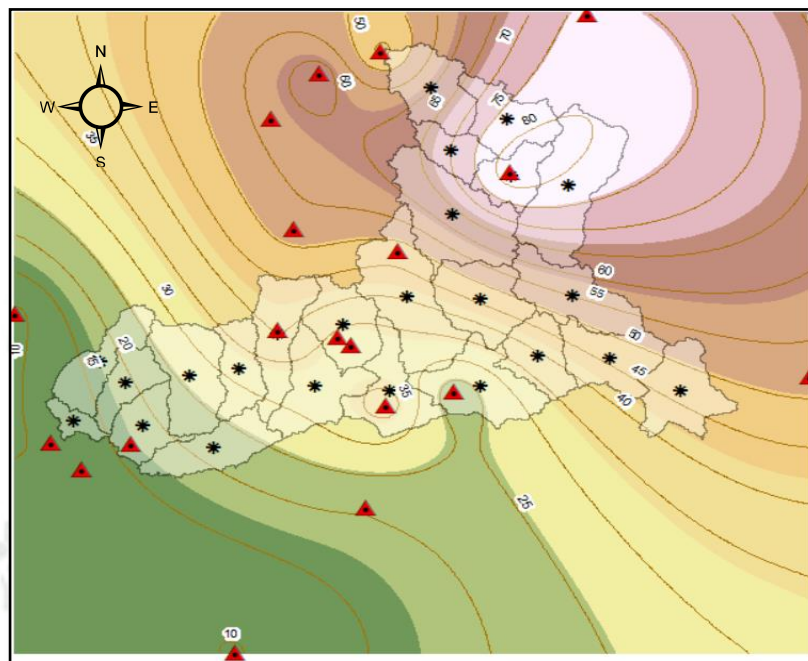


Nota. Elaboración propia

La Figura 13 muestra isoyetas para el TR=200 años

Figura 32

Isoyetas para un TR=200 años



Nota. Elaboración propia

Tabla 63

Precipitaciones aplicado en el centroide de cada cuenca

Name	Coord_X	Coord_Y	TR_50	TR_100	TR_200
W1170	952535.72	8240151.36	50.51	55.55	60.28
W1200	975290.45	8229789.54	60.87	68.95	76.98
W1260	958745.69	8218949.06	56.02	63.20	70.48
W1340	976635.93	8210134.38	63.86	73.05	83.18
W1350	958882.01	8196942.80	51.08	57.30	63.70
W1360	993697.61	8206909.18	61.00	69.53	78.22
W1410	945643.38	8168814.14	35.63	38.13	40.55
W1560	994633.95	8169268.12	44.99	50.43	55.33
W1620	926493.45	8159467.04	30.20	32.93	35.58
W1650	1005658.78	8148000.07	38.61	42.88	46.28
W1740	895431.65	8144322.33	29.61	30.60	31.86
W1770	984415.36	8148785.38	33.62	36.60	39.08

W1830	907178.64	8156362.92	38.71	39.36	39.82
W1910	967198.54	8138415.01	24.86	25.67	26.35
W1980	918095.66	8138190.53	29.82	31.20	32.59
W2050	940510.42	8136589.26	31.62	33.43	35.07
W2070	854278.52	8146822.54	14.40	15.51	17.31
W2110	1026880.65	8136615.39	39.35	43.60	46.82
W2160	861930.13	8139472.72	15.78	17.19	19.28
W2170	880640.97	8142028.78	23.51	24.77	26.57
W2180	887956.02	8117434.94	18.04	19.73	22.03
W2190	846251.73	8126357.50	9.35	10.79	12.62
W2250	867088.53	8124916.94	13.57	15.90	18.70
W2330	967234.19	8168029.34	38.74	42.29	45.67

4.5. Intensidad y Curvas IDF

Modelo de Dick Peschke

Ecuación 23

Modelo de Dick Peschke

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

Donde:

PD = precipitación máxima de duración D, en mm

P24h = precipitación máxima de 24 horas, en mm

D = duración de la precipitación, en horas

Ecuación 24

Ecuación para calcular la Intensidad

$$I = \frac{P_D}{D}$$

Donde:

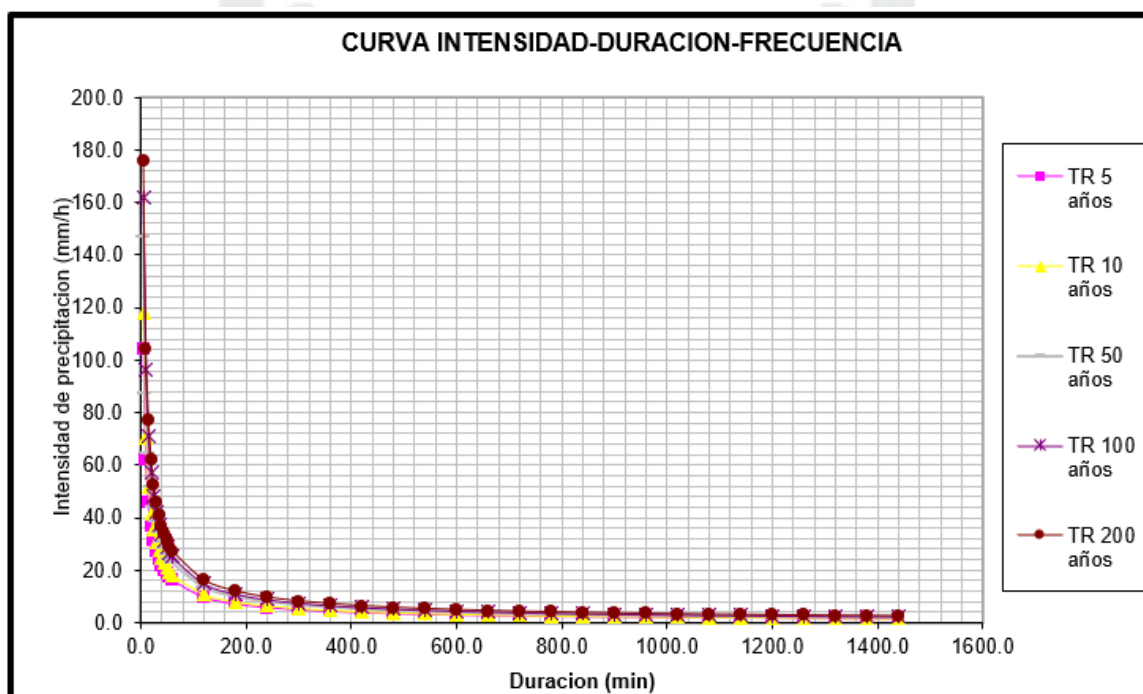
PD = precipitación máxima de duración D, en mm

D = duración de la precipitación, en horas

La Figura 14 muestra las curvas intensidad, duración frecuencia para la cuenca W1170.

Figura 33

Curvas IDF para la cuenca W1170



Nota. Elaboración propia

4.6. Hietograma de diseño

Ecuación 25

Ecuación para calcular la Intensidad máxima

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

Donde:

I máx =intensidad máxima de lluvia, en mm/hr

T = periodo de retorno, en años

D = duración, en minutos

A modo referencial, se muestra en la Tabla 39 el hietograma para la cuenca W1170.

Tabla 64

Hietograma- Modelo Dyck Peschke para la cuenca W1170

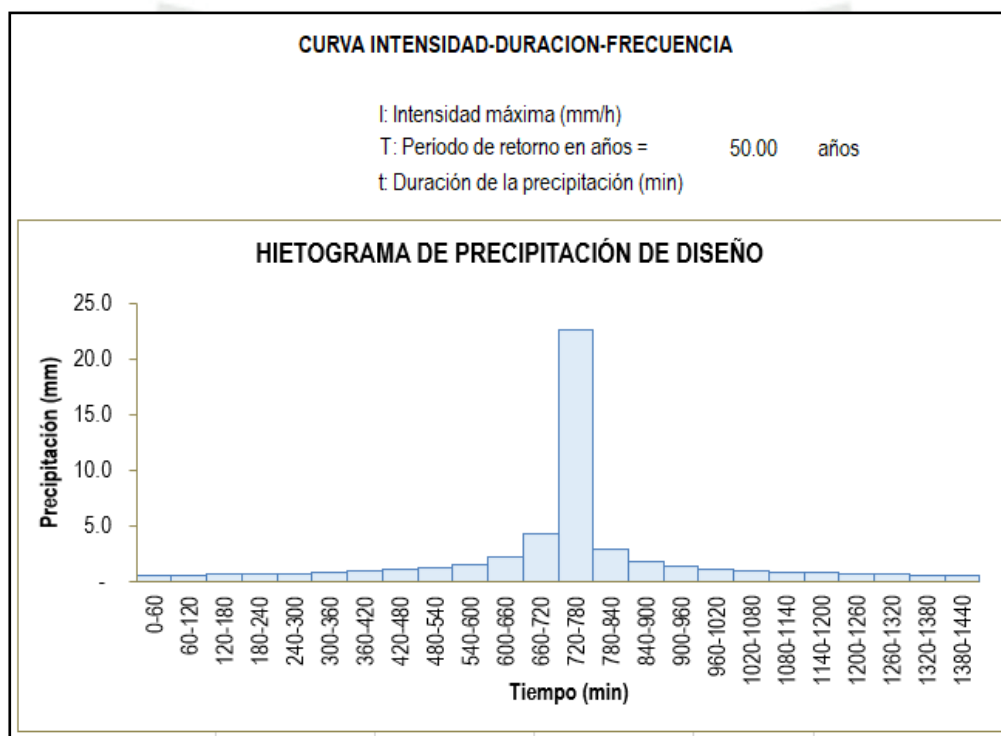
Hietogramas - Modelo Dyck -Peschke			
Duración	Tr = 50 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años
60	0.531	0.585	0.645
120	0.568	0.626	0.689
180	0.611	0.673	0.742
240	0.662	0.730	0.804
300	0.726	0.800	0.881
360	0.805	0.887	0.977
420	0.908	1.000	1.102
480	1.048	1.155	1.272
540	1.252	1.379	1.520
600	1.581	1.742	1.920
660	2.225	2.451	2.701
720	4.289	4.726	5.208
780	22.667	24.978	27.525
840	2.876	3.169	3.492
900	1.839	2.027	2.233
960	1.394	1.536	1.693
1020	1.139	1.255	1.383
1080	0.972	1.071	1.180
1140	0.853	0.940	1.035
1200	0.763	0.841	0.926
1260	0.692	0.763	0.841
1320	0.635	0.700	0.772
1380	0.588	0.648	0.714

1440 0.549 0.605 0.666

La Figura 15, 16 y 17 muestra el hietograma de la cuenca W1170 para un TR=50 años, TR=100 años, TR=200 años respectivamente.

Figura 34

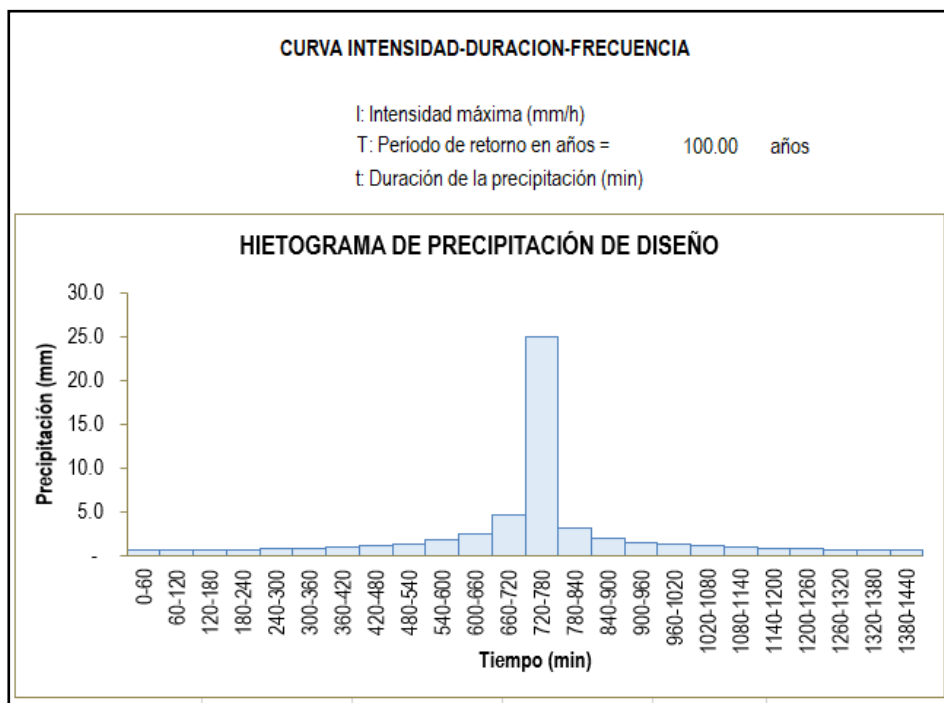
Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=50años



Nota. Elaboración propia

Figura 35

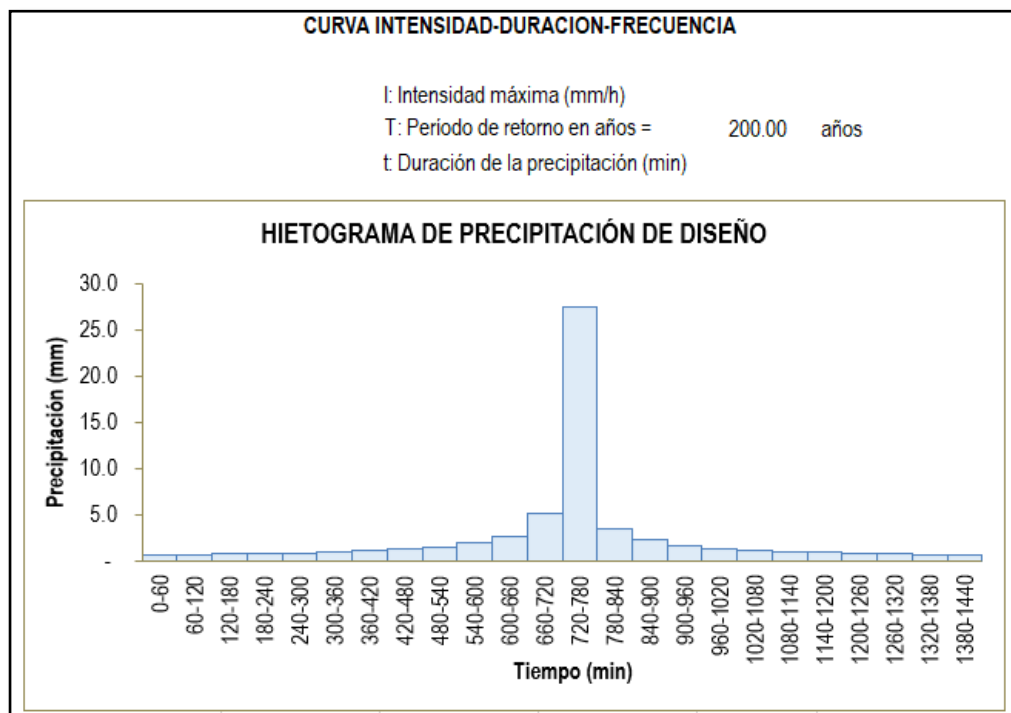
Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=100años



Nota. Elaboración propia

Figura 36

Hietograma de la cuenca W1170 para un TR=200 años



Nota. Elaboración propia

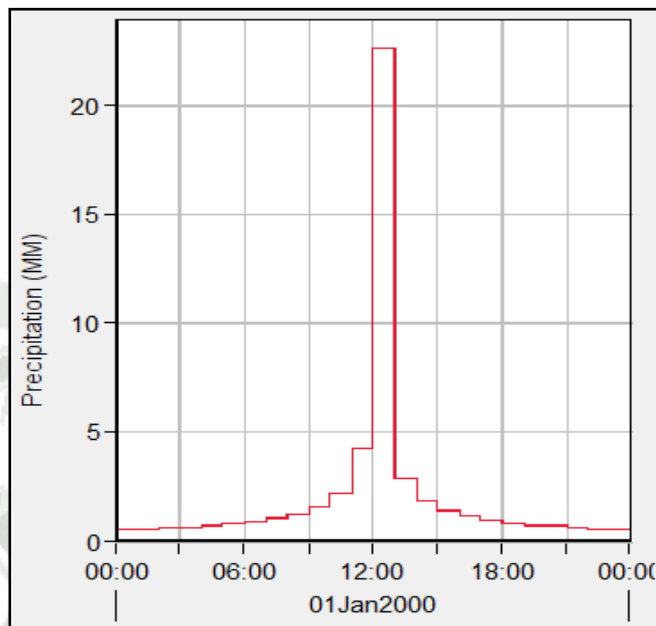
4.7. Determinación de Caudales Máximos

Aplicamos bloques alternos para las precipitaciones

La Figura 18, 19 y 20 muestran las gráficas de precipitación vs tiempo para un TR=50, TR= 100 y TR=200 años en HMS.

Figura 37

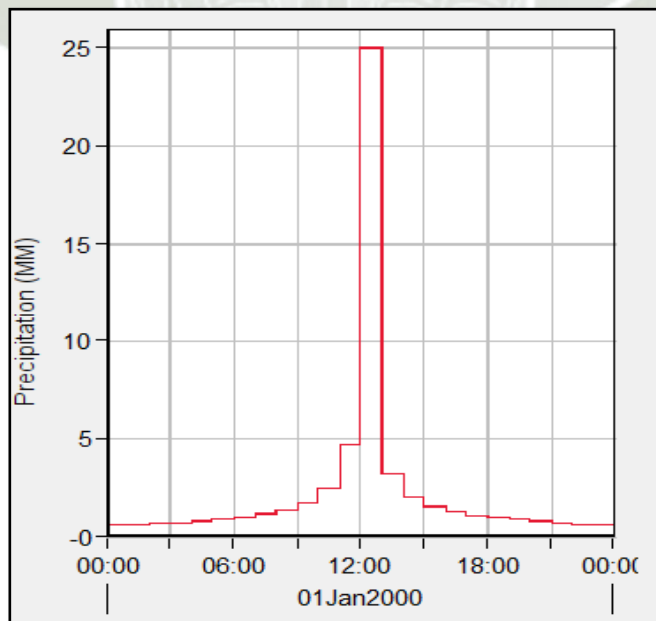
Precipitación vs Tiempo para un TR=50 años para la W1170



Nota. Elaboración propia

Figura 38

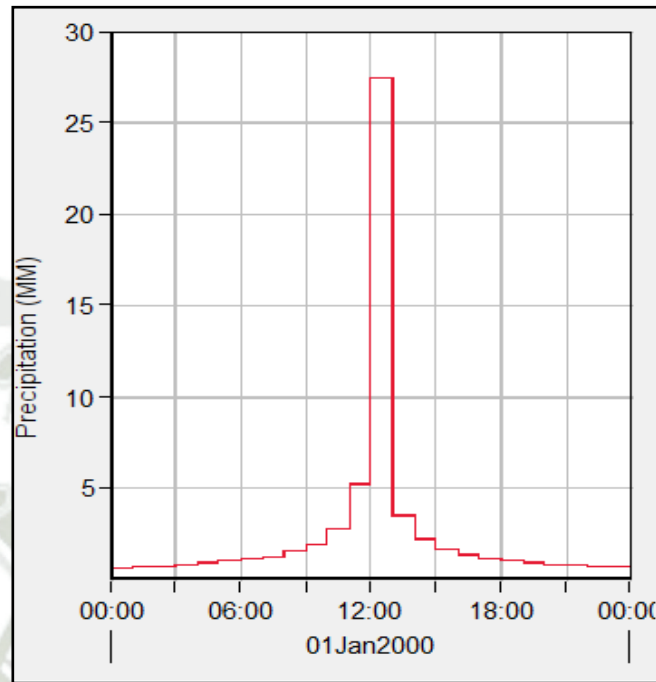
Precipitación vs Tiempo para un TR=100 años para la W1170



Nota. Elaboración propia

Figura 39

Precipitación vs Tiempo para un TR=100 años para la W1170



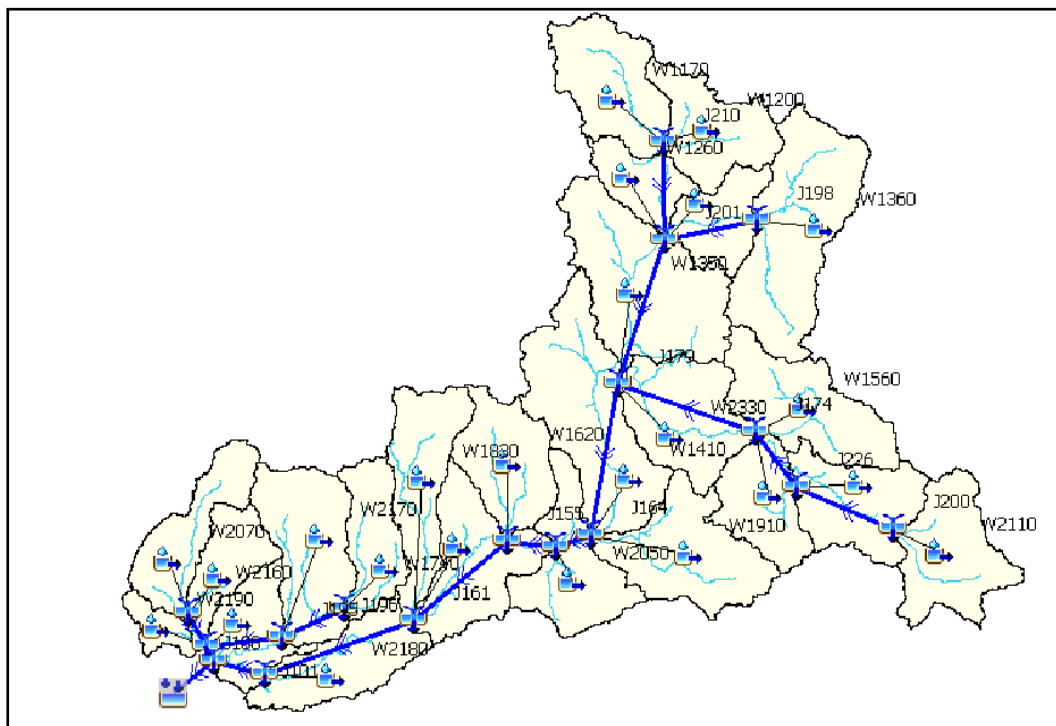
Nota. Elaboración propia

La Figura 21

muestra la dirección del flujo y distribución en HMS.

Figura 40

Dirección del flujo y distribución en HMS



Nota. Elaboración propia

Las Figuras 22, 23 y 24 muestran los caudales en la desembocadura para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años en HMS.

Figura 41

Caudal Máximo para el TR=50 años

Project: Modelo_Tambo_50anos Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Cuenca_Tambo1
 End of Run: 09ene.2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 18mar.2024, 16:32:08 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Desembocadura	12763.4	650.1	5 January 2000, 03:...	5.70

Nota. Elaboración propia

Figura 42

Caudal Máximo para el TR=100 años

Project: Modelo_Tambo_100años Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 01ene.2000, 00:00		Basin Model: Cuenca_Tambo1		
End of Run: 09ene.2000, 00:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 18mar.2024, 16:26:19		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	Initial Selection	Volume Units:	<input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Watershed Explorer
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Desembocadura	12763.4	922.3	5 January 2000, 01:...	7.39

Nota. Elaboración propia

Figura 43

Caudal Máximo para el TR=200 años

Project: Modelo_Tambo_200anos Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 01ene.2000, 00:00		Basin Model: Cuenca_Tambo1		
End of Run: 09ene.2000, 00:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 18mar.2024, 16:30:24		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	Initial Selection	Volume Units:	<input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Watershed Explorer
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Desembocadura	12763.4	1179.9	5 January 2000, 01:...	9.48

Nota. Elaboración propia

La Tabla 40 muestra hidrograma de máximas avenidas en la cuenca del río Tambo.

Tabla 65

Hidrograma de máximas avenidas en la cuenca del Río Tambo

CUENCA RÍO TAMBO			
Área de drenaje: 12763.40 km ²			
Q	Caudales		
TR	50 años	100 años	200 años
Unidad	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Valor	650.10	922.3	1179.9

La Tabla 41 muestra los caudales máximos para diferentes periodos de retorno por subcuencas.

Tabla 66

Caudales Máximos para diferentes periodos de retorno por subcuencas

Subcuencas	Área(km ²)	Caudales (m ³ /s)		
		Q (50)	Q (100)	Q (200)
W1170	552.71	157.8	241.1	303.4
W1200	473.02	252.0	533.0	693.6
W1260	271.86	117.1	217.0	285.6
W1340	330.76	183.7	384.9	517.5
W1350	958.47	317.0	556.8	741.0
W1360	955.48	496.8	836.0	955.5
W1410	939.79	60.4	97.7	131.6
W1560	641.12	145.5	225.0	290.6
W1620	491.02	60.4	19.9	39.1
W1650	526.65	120.4	153.4	192.3
W1740	361.14	0.0	0.1	1.0
W1770	416.35	41.6	54.1	69.1
W1830	535.53	29.4	35.8	43.1
W1910	663.88	6.6	8.6	10.3
W1980	586.98	0.0	0.0	0.0
W2050	520.17	3.8	6.6	11.3
W2070	435.13	0.0	0.0	0.0
W2110	569.70	101.0	151.6	190.7

W2160	314.41	0.0	0.0	0.0
W2170	650.64	0.0	0.0	0.0
W2180	487.99	0.0	0.0	0.0
W2190	124.16	0.0	0.0	0.0
W2250	362.20	0.0	0.0	0.0
W2330	594.22	87.4	159.3	206.7



CAPÍTULO V: Modelación Hidráulica

5.1. Caracterización del cauce

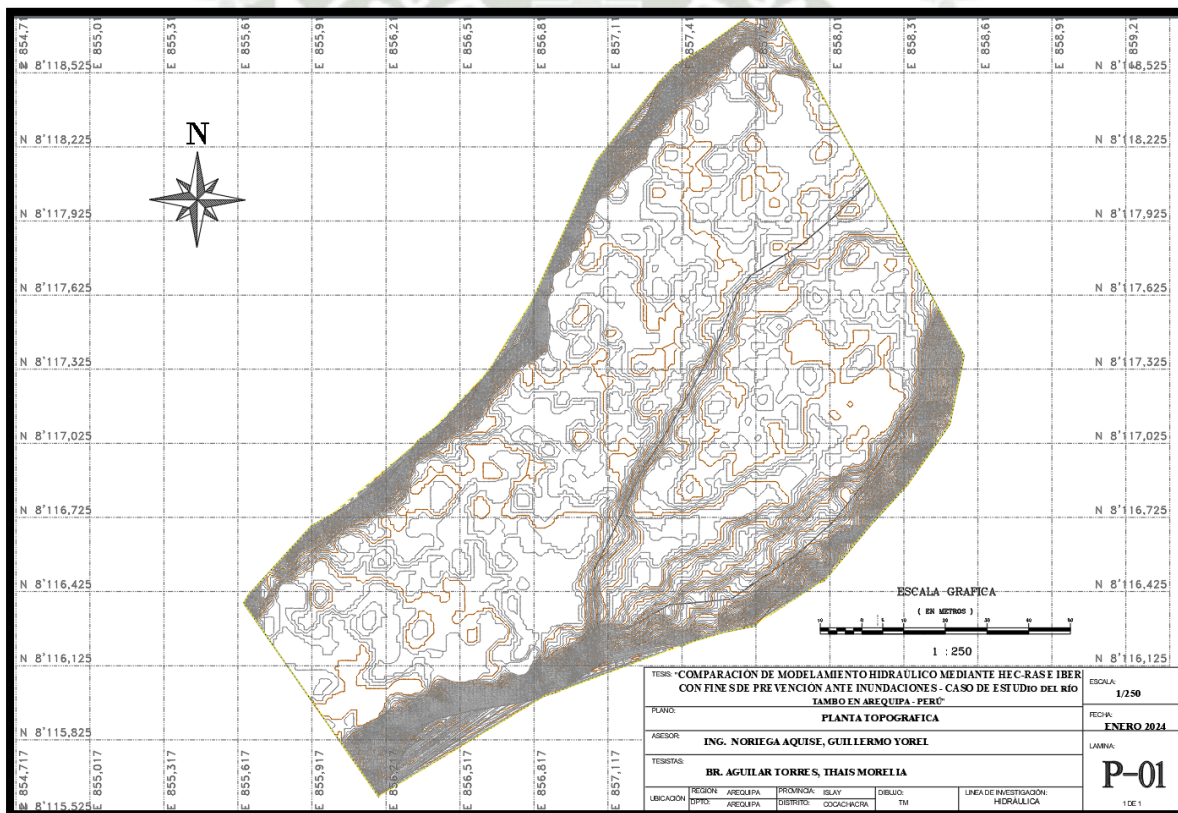
5.1.1. Levantamiento topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico a detalle con dron, a lo largo del sector de caso de estudio donde se aprecia predios rurales principalmente.

Se trabaja la fotogrametría con Pix4d Metashape y finalmente se complementa con el ArcGIS.

Figura 44

Levantamiento Topográfico en el Río Tambo-Sector Ayanquera



Nota. Elaboración propia

5.1.2. Número de Manning

Para determinar los coeficientes de Manning, se tomaron en cuenta los valores de los textos de “Ven Te Chow”. Luego se observan los valores de rugosidad.

Se realizó en campo el reconocimiento de coeficientes de rugosidad. Los resultados se muestran a continuación. $n = m_5 * (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$

Donde:

n_0 : roca = 0.025

n_1 : moderado = 0.010

n_2 : frecuente = 0.015

n_3 : apreciable = 0.030

n_4 : media = 0.025

m_5 : apreciable = 1.15.




$$n = m_5 * (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

$$n = 1.15 * (0.025 + 0.010 + 0.015 + 0.030 + 0.025)$$

$$n = 0.12$$

Tabla 67

Coefficientes de rugosidad del Rio Tambo-Sector Ayanquera

N°	Componentes	N° de Manning		
		Descripción	"n"	Área
Manning #1	Río	Meandros con algunas piedras	0.04-0.06	
Manning #2	Cauce Principal	Tramo sucio, pasto corto	0.035	
Manning #3	Cultivos	Zona de cultivos	0.03	

Manning#4	Viviendas	Zona de viviendas	0.03	■
-----------	-----------	-------------------	------	------------------------------------

Figura 45

Número de Manning en el Río Tambo-Sector Ayanquera



Nota. Elaboración propia

5.2. Modelación hidráulica –HEC-RAS 2D

Para este proyecto comenzamos abriendo ArcGIS para la creación del DEM, en segundo lugar, realizamos el mallado, en tercer lugar, establecemos las condiciones y finalmente hacemos la simulación.

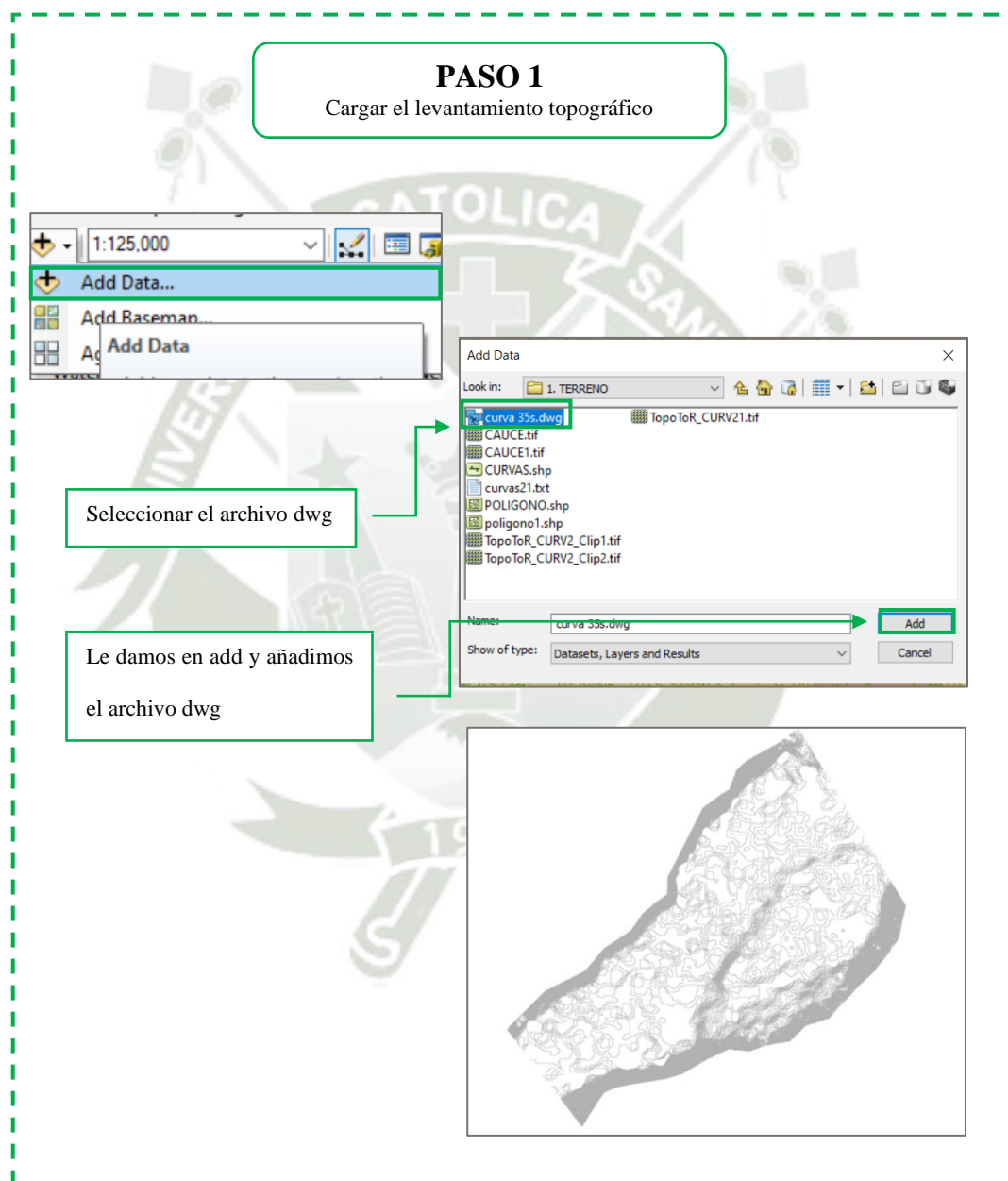
PRIMER LUGAR: Creación del DEM

Para este proyecto se creó un modelo digital de elevación en ArcGIS en base al levantamiento topográfico. Como **PASO 1**, cargamos el levantamiento topográfico de

AUTOCAD a ArcGIS. Como **PASO 2**, seleccionamos la polilínea del archivo cargado y exportamos data. Como **PASO 3**, interpolamos. Como **PASO 4**, creamos el polígono. Como **PASO 5**, la creación del DEM.

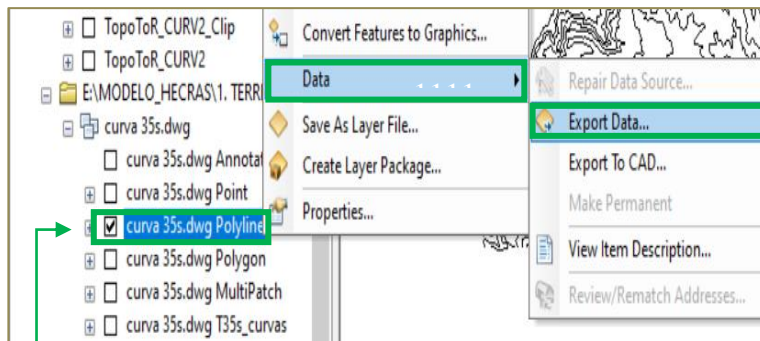
Figura 46

Modelación hidrológica

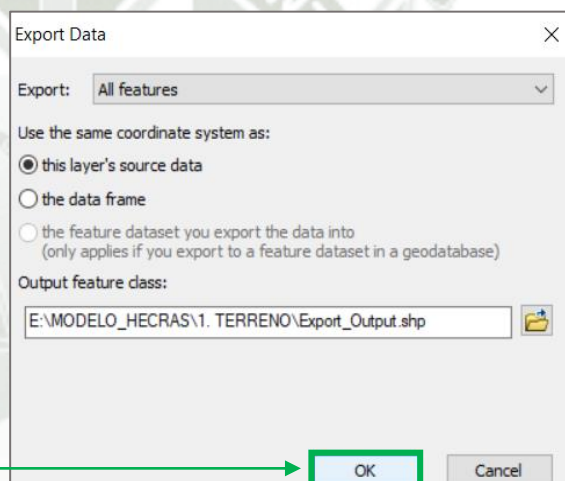


PASO 2

Seleccionar polyline y exportar data

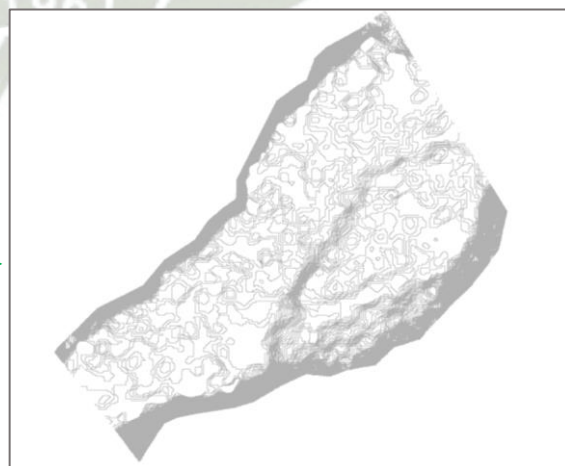


Seleccionar el archivo
dwg Polyline – Data –
Export Data



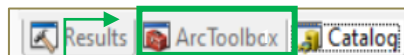
Seleccionar el archivo
dwg Polyline – Data –
Export Data

Guardamos como
CURVAS y las
cargamos

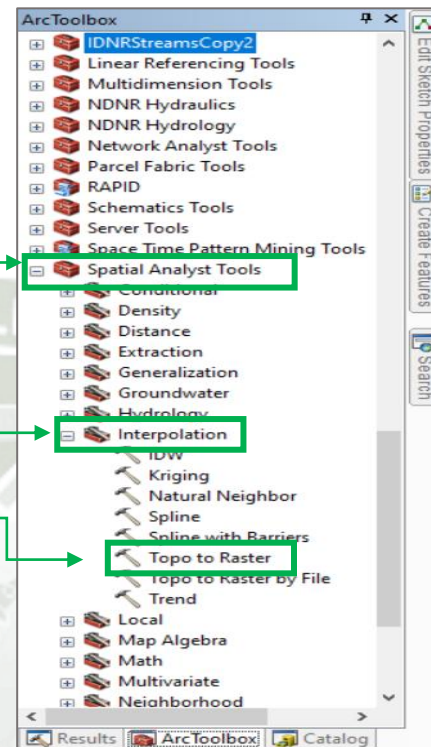


PASO 3 Interpolamos

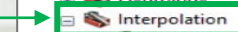
Seleccionamos Arc Toolbox



Spatial Analysis Tools



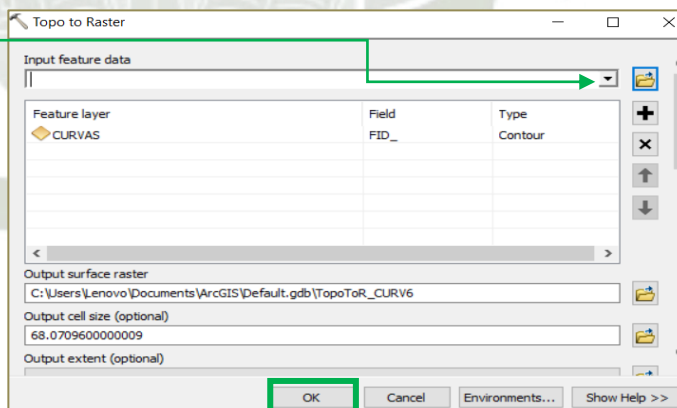
Interpolation



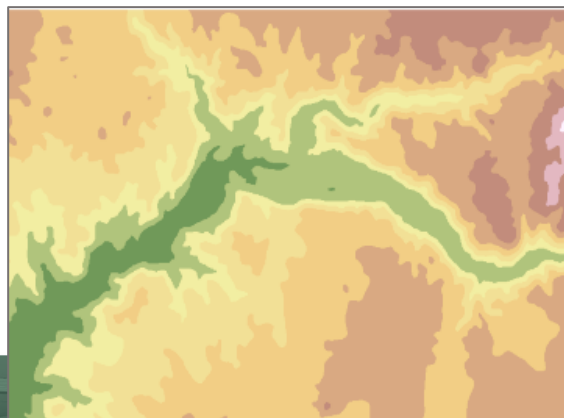
Topo to Raster



Cargamos CURVAS



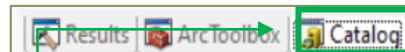
Guardamos como
TOPO TO RASTER y
las cargamos



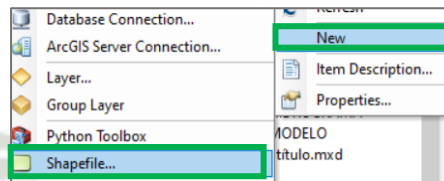
PASO 4

Creamos el polígono

Seleccionamos Catálogo

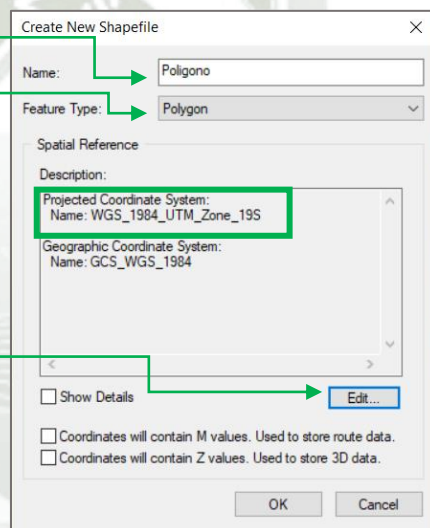


Dentro de una carpeta
creamos un new shapefile



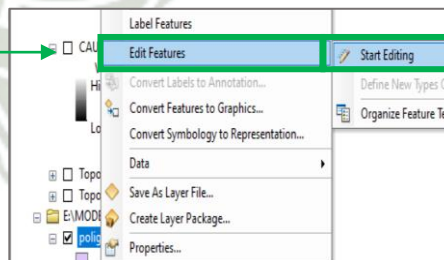
Le creamos un nombre

Seleccionamos la forma

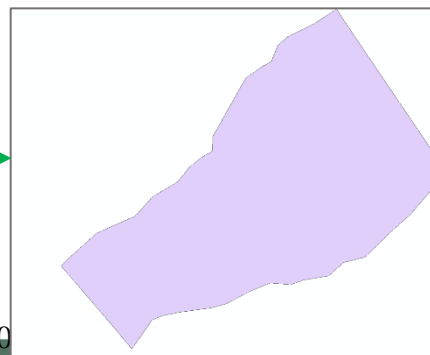


Le detallamos la ubicación

Seleccionamos polígono-
Edit Features- Start Editing

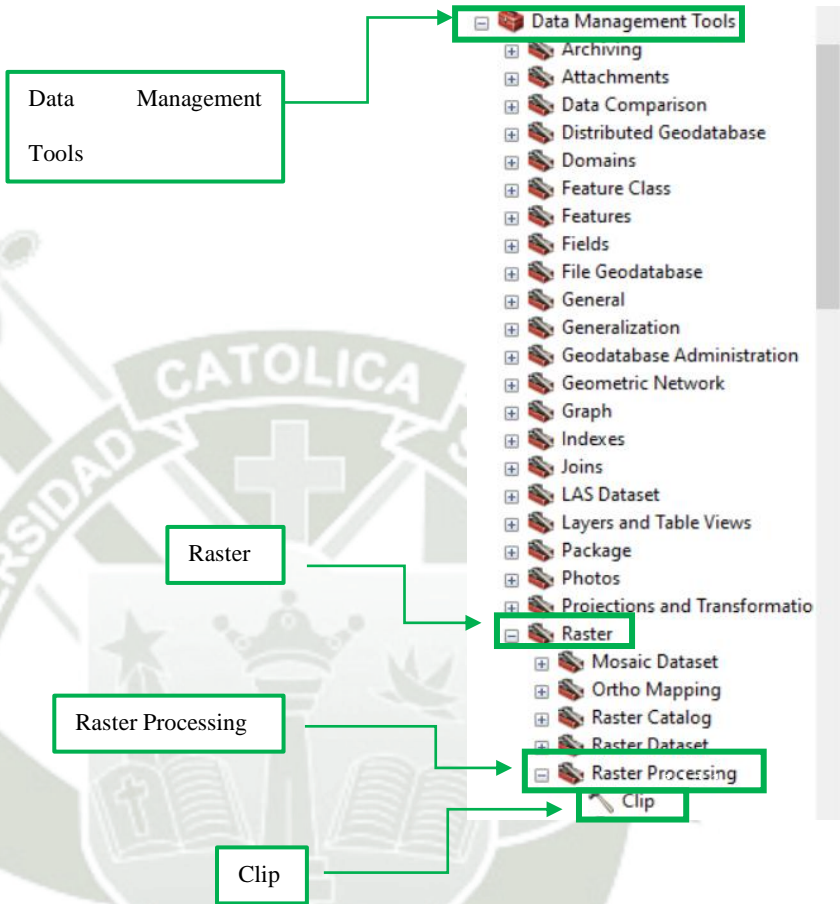


Editamos el polígono
dándole la forma que
queremos



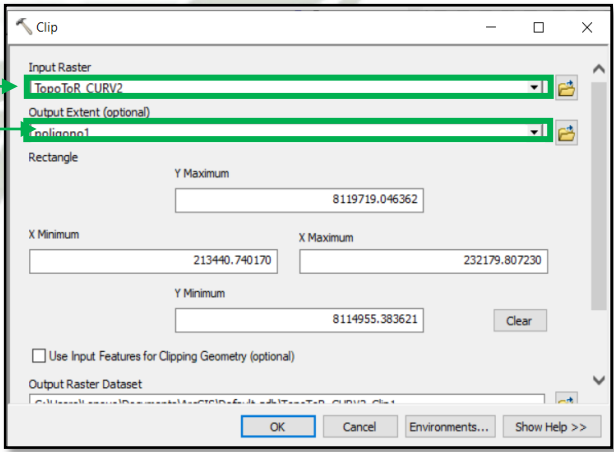
PASO 5

Creación del DEM

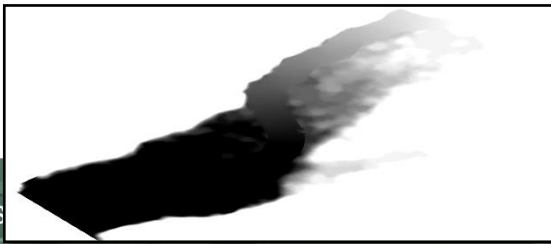


Seleccionamos el TOPO TO RASER creado

Cortamos en función del polígono



Editamos el polígono dándole la forma que queremos

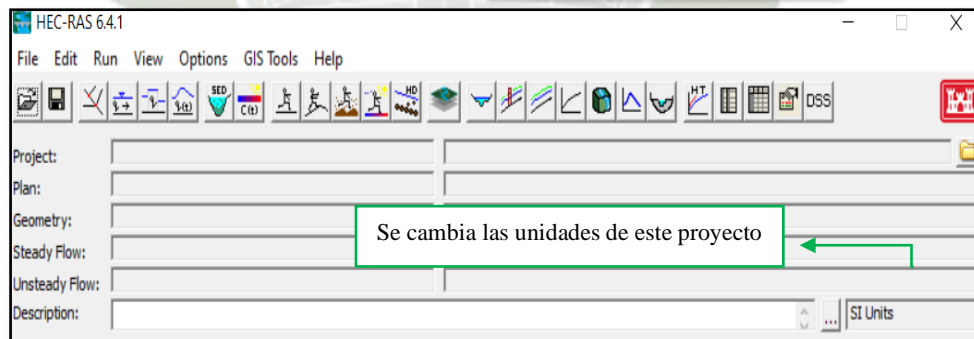
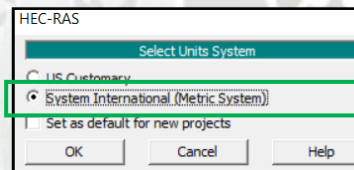
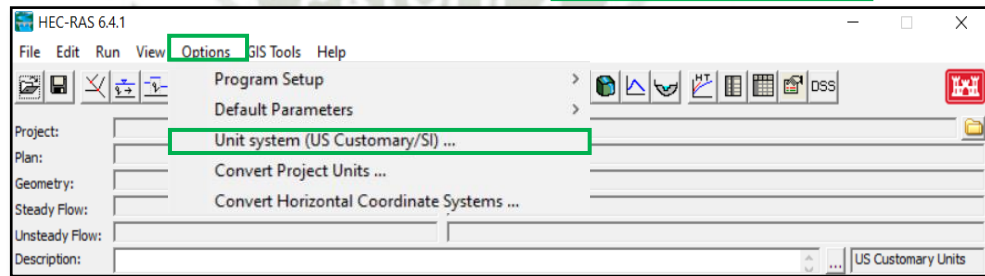
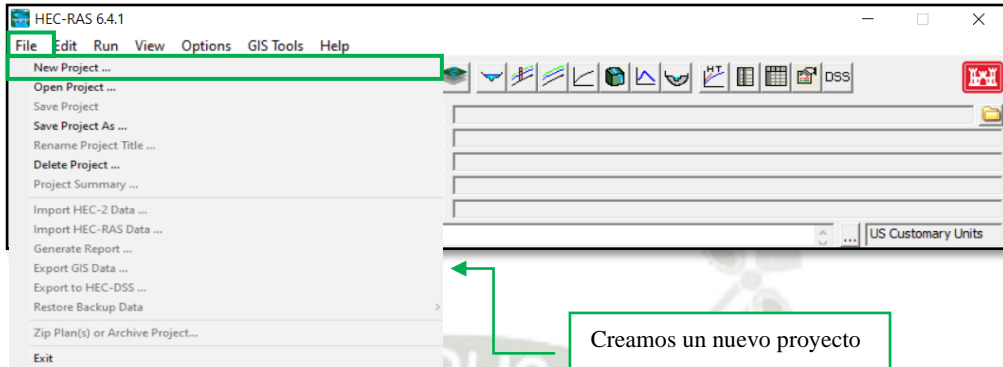


SEGUNDO LUGAR: MALLADO

Para este proyecto abrimos HEC-RAS. Como **PASO 1**, creamos un nuevo proyecto en HEC-RAS, y se trabaja con el sistema internacional. Como **PASO 2**, entramos a RAS MAPPER para cargar le terreno (DEM). Como **PASO 3**, creamos la geometría en 2D y se dibuja el eje del río, con la opción BREAKLINES. Como **PASO 4**, creamos el perímetro del área de estudio, con una malla computacional de 5x5. Como **PASO 5**, se crea las condiciones aguas arriba y aguas abajo con la opción BOUNDARY CONDITION LINES, se ingresa a la opción EDIT - UNSTEADY FLOW DATA, para poder añadir el hidrograma líquido hallado con HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años, y las pendientes correspondientes de las condiciones de aguas arriba y aguas abajo. Como **PASO 6** se ingresa a la opción RUN - UNSTEADY FLOW DATA, para poder correr el modelo. Finalmente, como, **PASO 7** visualizamos los resultados.

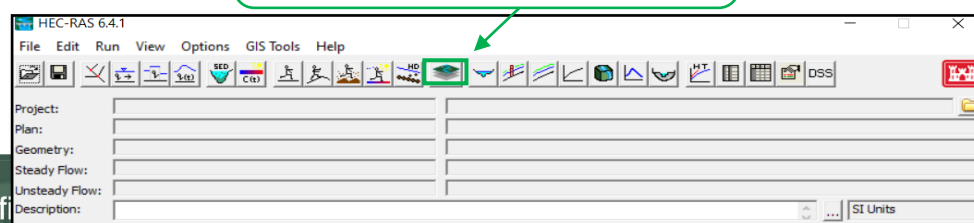
PASO 1

Creamos el proyecto en HEC-RAS

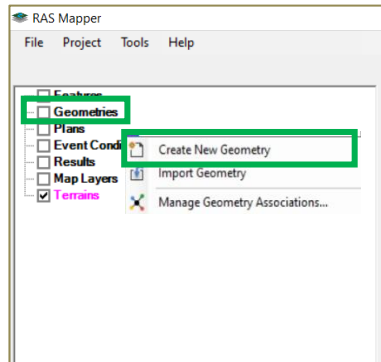


PASO 2

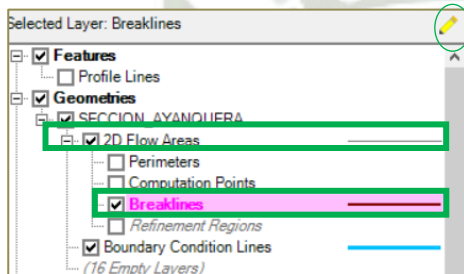
Se carga el terreno (DEM)



PASO 3 Creamos la geometría



Creamos una nueva geometría



Abrimos el 2D Flow Área

Hacemos clic en Break Lines,
luego en el lápiz para editar.

Graficamos el eje del río
en el tramo de estudio.

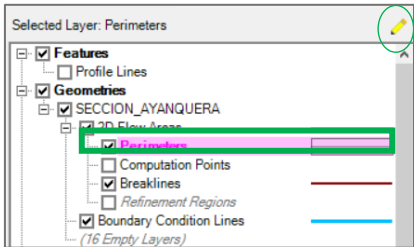


Le creamos el
enmallado al eje del río,
con el tamaño de malla y
las repeticiones.

FID	Name	Near Spacing	Near Repeats	Far Spacing	Enforce 1 Cell Protection Radius
0	RIO	5	2		<input checked="" type="checkbox"/>

PASO 4

Creamos la el perímetro y se define le mallado óptimo

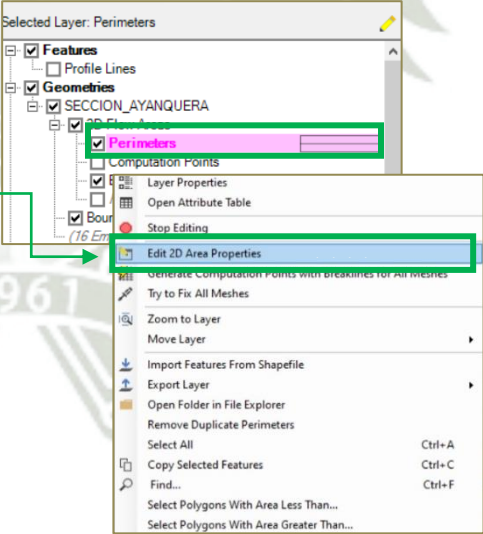


Seleccionamos el perímetro y el lápiz para editar

Graficamos el perímetro en la zona de análisis

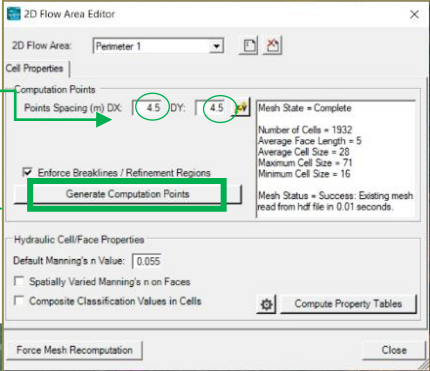


Editamos en el mallado del perímetro creado.

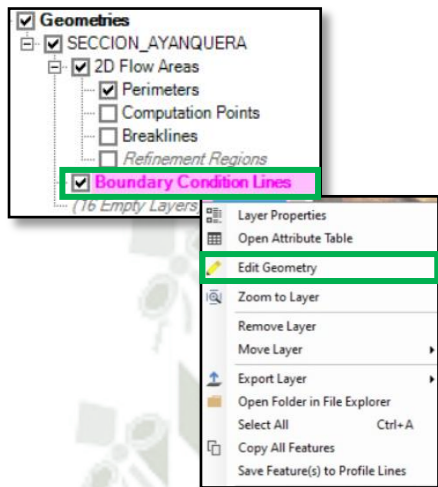


El mallado que utilizamos fue el de 4.5.

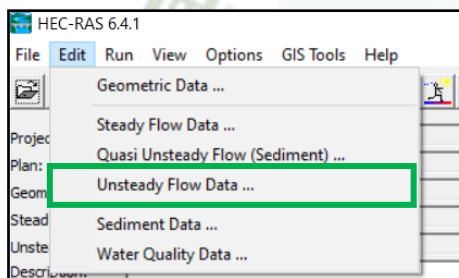
Luego generamos el mallado.



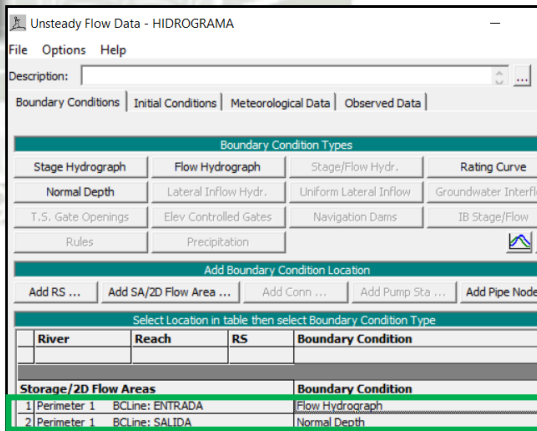
PASO 5
Creamos las condiciones aguas arriba y aguas abajo



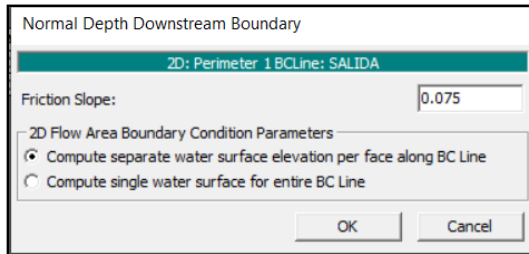
Primero dibujamos las líneas de contorno, aguas arriba y abajo.



Definimos flujo hidráulico en la entrada aguas arriba y como profundidad normal a la salida aguas abajo.



En la SALIDA -Aguas abajo definimos la pendiente 0.075.



Flow Hydrograph

2D: Perimeter 1 BCLine: ENTRADA

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 10 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 01JAN2023 Time: 00:00

Fixed Start Time: Date: Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data		
No.	Date	Flow (m ³ /s)
1	31Dec2022 2400	0
2	01Jan2023 0010	0.414
3	01Jan2023 0020	0.965
4	01Jan2023 0030	1.875
5	01Jan2023 0040	3.061
6	01Jan2023 0050	4.219
7	01Jan2023 0100	4.963
8	01Jan2023 0110	4.963
9	01Jan2023 0120	4.329
10	01Jan2023 0130	3.474
11	01Jan2023 0140	2.785
12	01Jan2023 0150	2.592
13	01Jan2023 0200	3.033
14	01Jan2023 0210	4.384
15	01Jan2023 0220	7.169
16	01Jan2023 0230	11.885
17	01Jan2023 0240	18.944
18	01Jan2023 0250	28.402
19	01Jan2023 0300	39.817
20	01Jan2023 0310	52.336
21	01Jan2023 0320	64.993
22	01Jan2023 0330	76.932
23	01Jan2023 0340	87.797

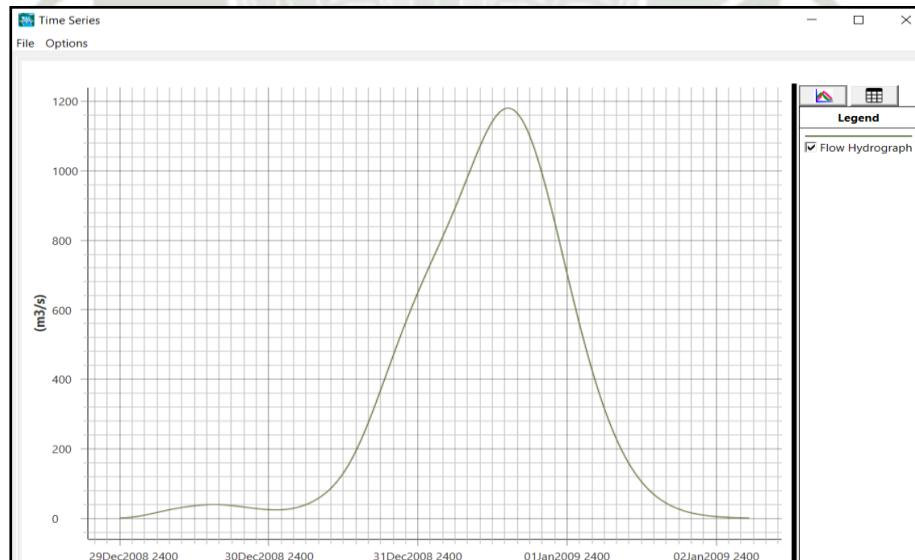
Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

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: 0.023 TW Check

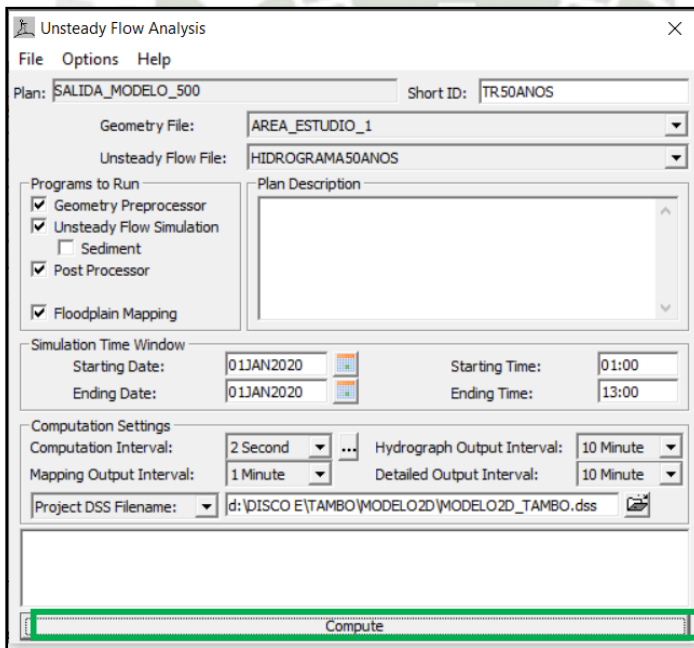
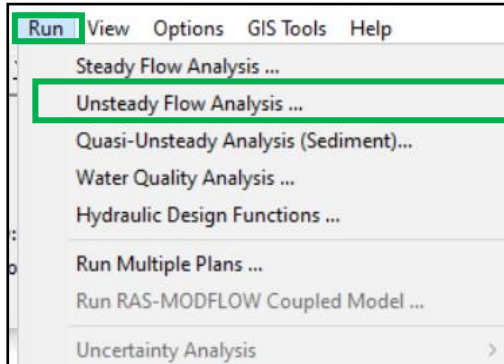
Dentro del flujo hidráulico debemos llenar los valores del HIDROGRAMA DEL HEC HMS. Pegamos el hidrograma en la entrada – aguas



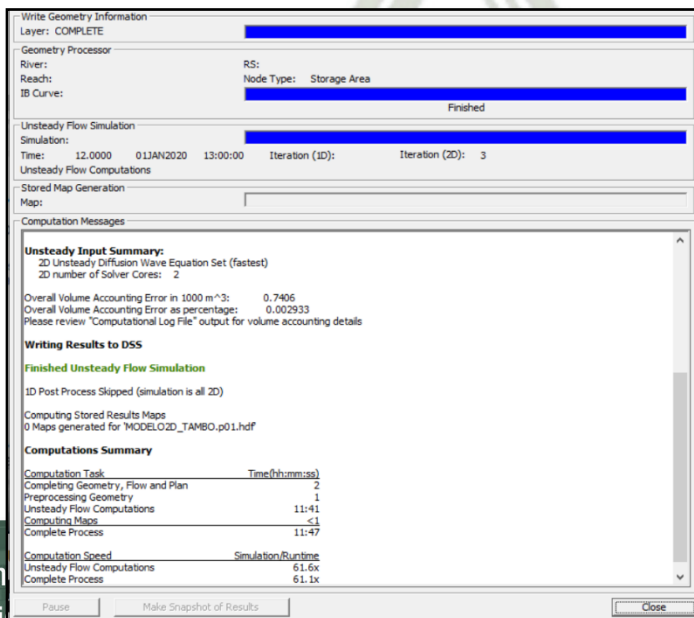
Aquí se puede apreciar el grafico del hidrograma en este caso utilizamos el de TR=200 AÑOS, luego de aplicar la fórmula de:

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

PASO 6
Correr el modelo para observar resultados



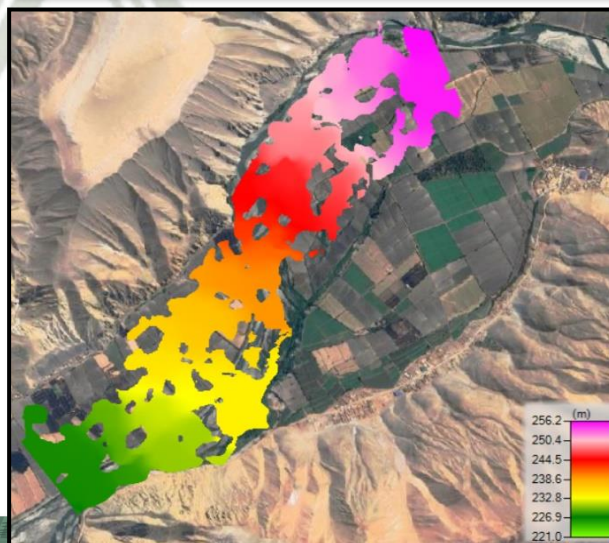
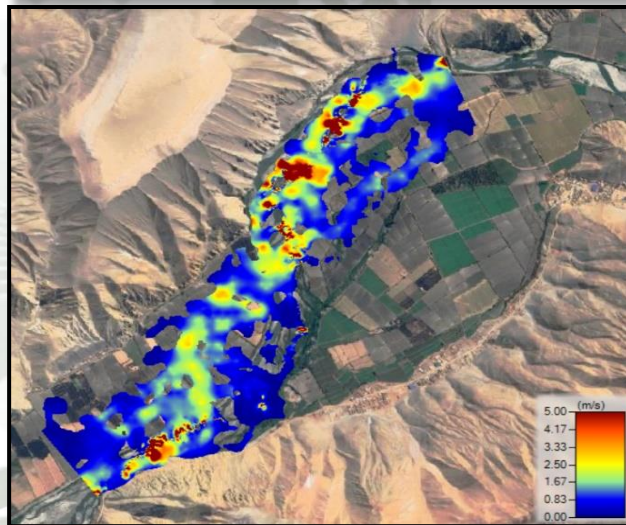
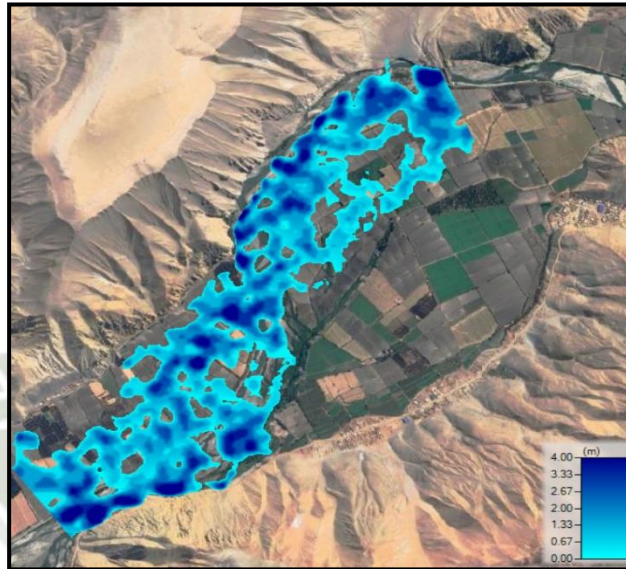
Se computa el modelo, considerando un intervalo de 0.5



Se verifica que haya corrido todo el modelo

PASO 7

Visualizamos los resultados



Calibración del modelo hidráulico:

A continuación, adjuntare el Boletín informativo de aviso hidrológico N°1003-2024-INDECI/COEN. En el cual se muestra que la profundidad llego a 2.7m.

Figura 47

Boletín informativo de aviso Hidrológico

BOLETÍN INFORMATIVO DE AVISO HIDROLÓGICO

N°1003-2024-INDECI/COEN

NIVEL DE PELIGRO

AVISO N°1003: INCREMENTO DEL NIVEL DEL RÍO TAMBO - ESTACIÓN LA PASCANA

VIGENCIA: Del 18-03-2024 (08:00 h) al 18-03-2024 (17:00 h)

HIDROGRAMA DE NIVEL DEL RIO TAMBO
ESTACION LA PASCANA

Nota: Información en tiempo casi real, sujeto a revisión y validación

DESCRIPCIÓN:

Se informa sobre el comportamiento hidrológico del río Tambo, en el departamento de Arequipa. Hoy, lunes 18 de marzo de 2024 a las 08:00 h, la estación hidrológica La Pascana, registró un **nivel de 2.7 m**, ubicándose en el **umbral rojo**. Las potenciales áreas de afectación serían los centros poblados de Quelgua Grande, La Haciendita, Pascana, Caraquen, Santa Rosa, Ventillata, Portal Del Valle, El Fiscal, Chucarapi, Buenos Aires, Cocachacra, El Arenal, Bocatoma Santa Ana de Quitiri, La Curva, Punta de Bombón y Catas.

Río	Estación	Distrito	Nivel a las 08:00 h (m)	Umbral Rojo (m)
Tambo	La Pascana	Cocachacra	2.7	2.7

INDECI RECOMIENDA:

MEDIDAS PREVENTIVAS ANTE CRECIDA DE RÍOS

A. PARA LAS OFICINAS DE DEFENSA CIVIL:

Difundir el contenido del presente Boletín a la población, a través de los medios de comunicación Social.

B. PARA LAS AUTORIDADES Y POBLACIÓN DE LAS ZONAS EXPUESTAS:

- ✓ No construir viviendas en la ribera de ríos, quebradas o zonas que se hayan inundado anteriormente.
- ✓ No tratar de cruzar a pie una corriente de agua que sobrepase tus rodillas.
- ✓ No cruzar puentes donde el nivel del agua se acerca al borde de los mismos.
- ✓ Aléjate y no cruces zonas inundadas ni ríos. Gana altura lo antes posible en caso de inundación.
- ✓ Si no pudiste evacuar, sube a la parte mas alta de tu vivienda.
- ✓ No pisar, no tocar, ni mover los cables de energía eléctrica caídos.
- ✓ Si vas conduciendo, disminuye la velocidad y no intentes cruzar por zonas en riesgo ni áreas inundadas.
- ✓ No te detengas a grabar el desborde y aléjate de inmediato de las riberas del río ¡Tu vida está en riesgo!

NIVELES DE PELIGRO Fuente: Senamhi

AMARILLO	Probables condiciones que podrían afectar las actividades en el río y zonas aledañas.
NARANJA	Probables condiciones de riesgo para actividades en el río y zonas aledañas con posible erosión de márgenes y afectación en infraestructura dentro del ámbito directo o cercano al río.
ROJO	Probable desborde del río. Posible inundación en zonas pobladas y agrícolas más bajas, erosión de márgenes y afectación en infraestructura dentro del ámbito directo o cercano al río.

Chorrillos, 18 de marzo de 2024

Calibración por el método de teledetección

En este caso se descargaron dos imágenes SENTINEL-1, en las cuales se puede observar la mancha de agua.

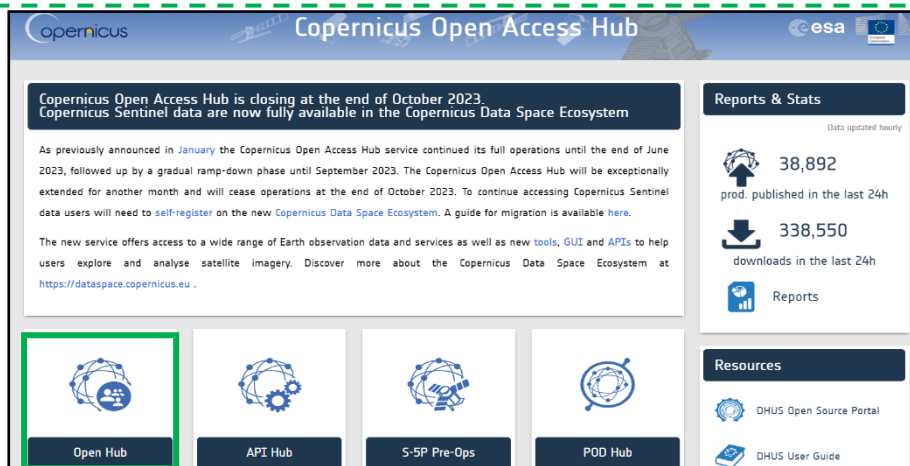
En primer lugar, descargamos los archivos de COPERNICUS ACCESS HUB



Figura 48

Calibración por el método de teledetección

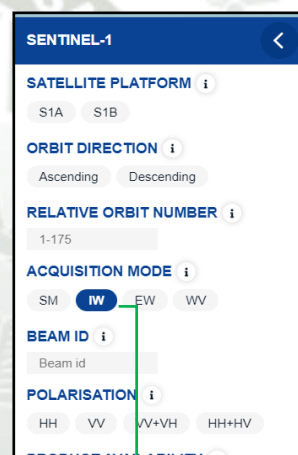




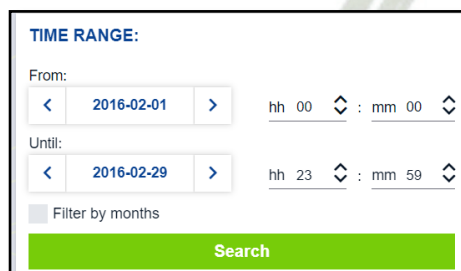
Entramos a Open Hub, Explore Data, Copernicus Browser,
para poder buscar el área y descargar los archivos SENTINEL



Seleccionamos el área
y damos en buscar.



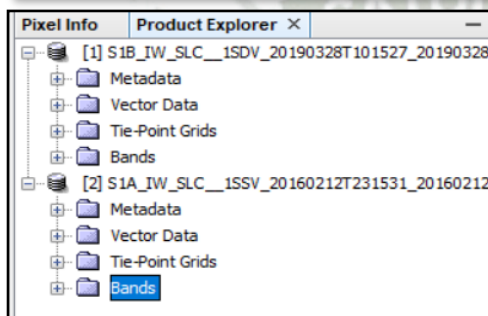
Seleccionamos
SENTINEL 1. Y
demarcamos IW



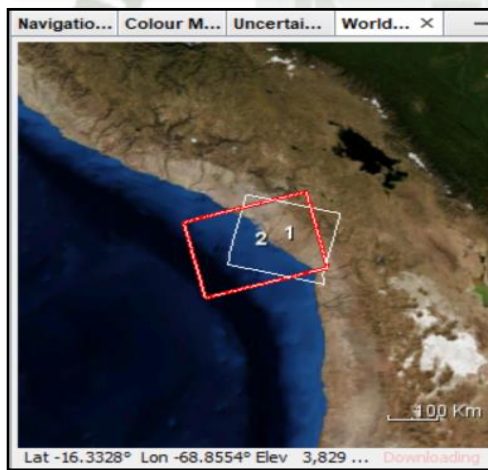
Seleccionamos el rango de los
tiempos y damos en buscar



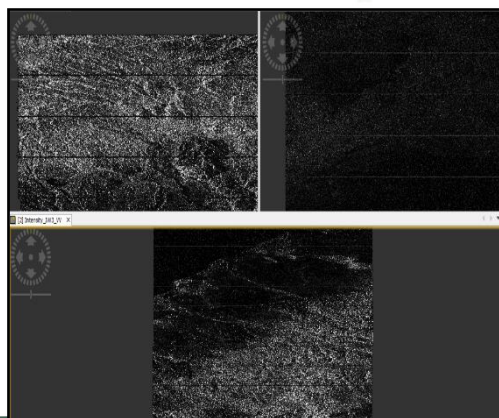
Visualizamos la imagen y le damos en descargar



Cargamos los archivos descargados. Luego le damos en bandas y las



Le damos clic en World y observamos las dos imágenes que descargamos



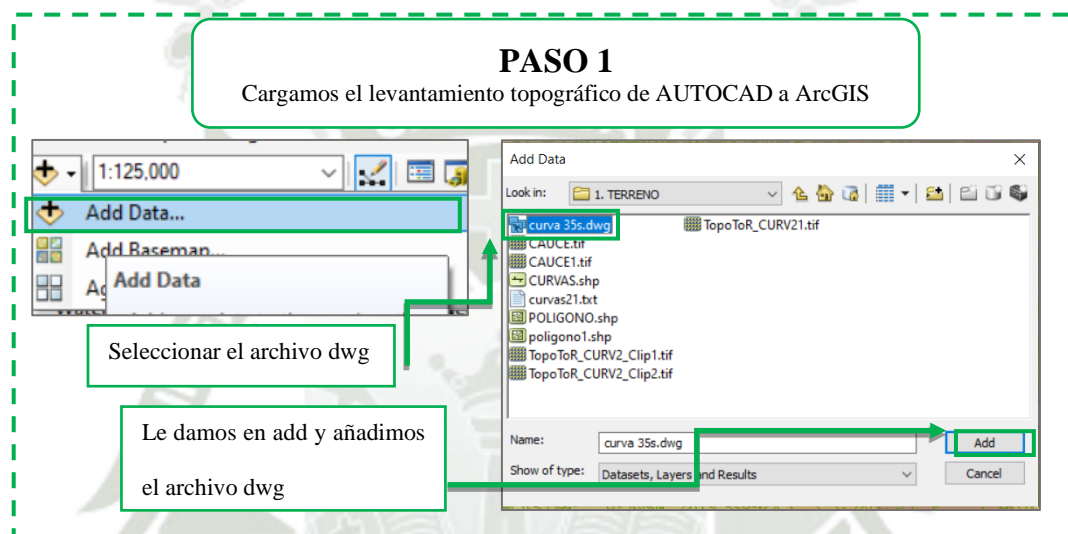
5.3. Modelación hidráulica –IBER

Para este proyecto en PRIMER LUGAR comenzamos abriendo ArcGIS para la creación del archivo ASC o TXT, guardamos dicho archivo para poderlo visualizar en IBER, en SEGUNDO LUGAR, creamos el mallado del archivo. Establecemos los datos tanto en general como en utilidades especificando el número de procesadores y demarcando que resultados obtendremos. También hidrodinámica, en el cual se establece las condiciones de contorno dentro de las cuales en la entrada se inserta el hidrograma obtenido en HEC HMS y se especifica el área de entrada, y la salida, en la cual indicamos el área de salida del caudal, también establecemos la condición inicial en la cual indicamos que la cota es 0, en establecemos la rugosidad en la cual se especifica el uso de suelo, en la cual se especifica el número de Manning y TERCER LUGAR hacemos la simulación y se observan los resultados.

IBER es un software que trabaja mediante la aplicación y resolución de ecuaciones diferenciales basadas en la conservación de la energía, momentum, aguas someras, entre otras; para la interfaz de usuario permite emplear métodos como por ejemplo: Volúmenes finitos y elementos finitos para discretizar las superficies de los diferentes escenarios en los que se desarrollará el estudio de un fenómeno de naturaleza hidráulica; existe una compleja relación entre el mallado y el número de Courant que nos permite tener resultados más cercanos a lo real. Por otro lado, aunque el software detecta y reconstruye la heterogeneidad de una superficie, requiere de ajustes en los valores de rugosidad, en el caso de una superficie con variaciones sustanciales, se puede aplicar una metodología denominada número de Cowan, el cual consiste en la sustitución del coeficiente de rugosidad por valores que resultan de la resolución de la fórmula respectiva. Por otro lado, es importante tener en cuenta que el número de Courant, está en función de la velocidad, flujo de agua y hasta de caudales en algunos casos. En IBER 2D se muestra como CFL le cual tiene un valor de 0.45 y se puede observar en datos del problema.

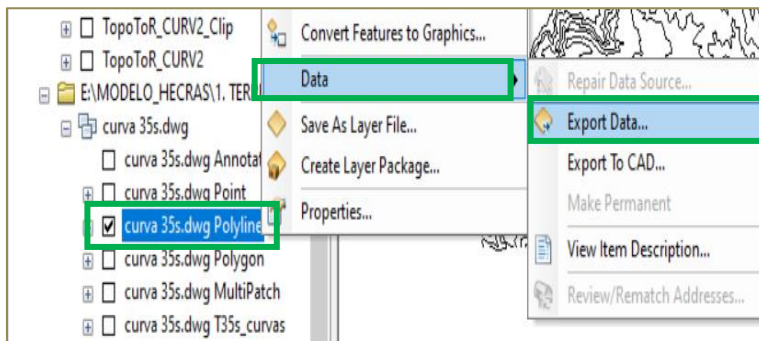
PRIMER LUGAR: Creación del archivo ASC o TXT

Para este proyecto se creó un modelo digital de elevación en ArcGIS en base al levantamiento topográfico. Como **PASO 1**, cargamos el levantamiento topográfico de AUTOCAD a ArcGIS. Como **PASO 2**, seleccionamos la polilínea del archivo cargado y exportamos data. Como **PASO 3**, interpolamos. Como **PASO 4**, creamos el polígono. Como **PASO 5**, la creación del DEM. Como **PASO 6**, la creación del archivo ASC.

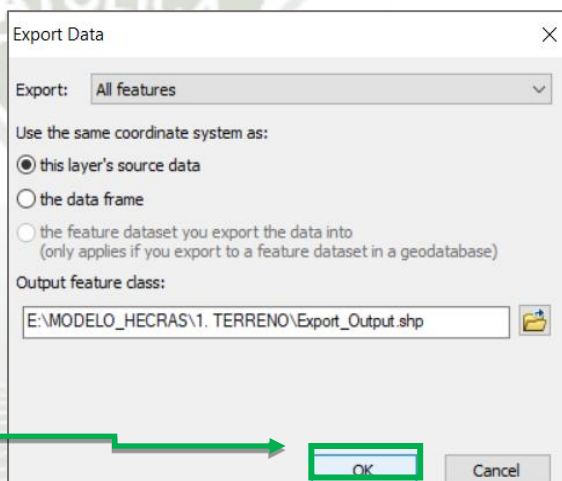


PASO 2

Seleccionar polyline y exportar data

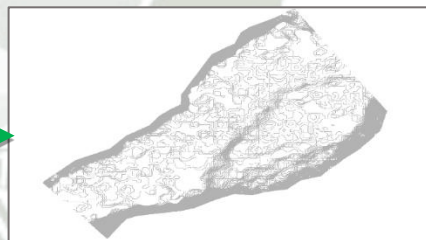


Seleccionar el archivo
dwg Polyline – Data –
Export Data



Seleccionar el archivo
dwg Polyline – Data –
Export Data

Guardamos como
CURVAS y las



PASO 3

Interpolamos

Seleccionamos Arc Toolbox

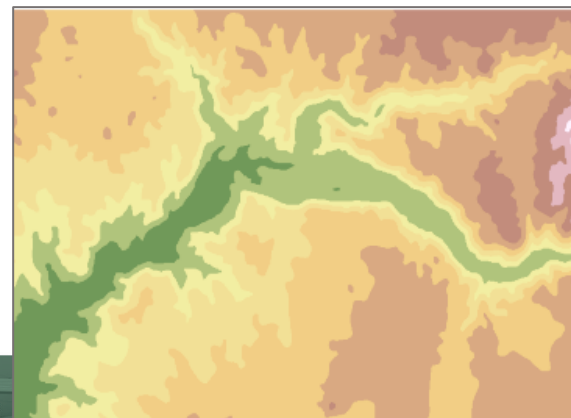
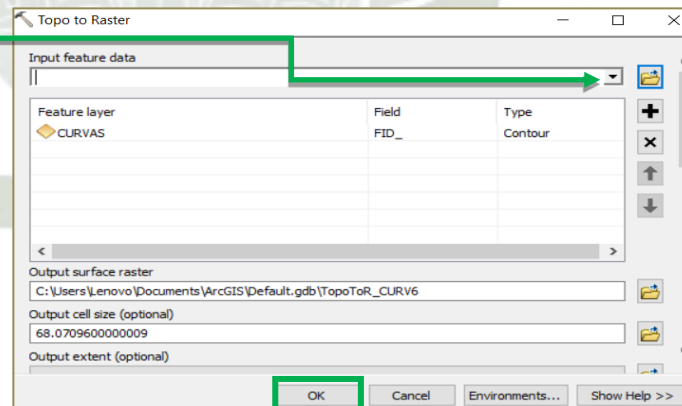
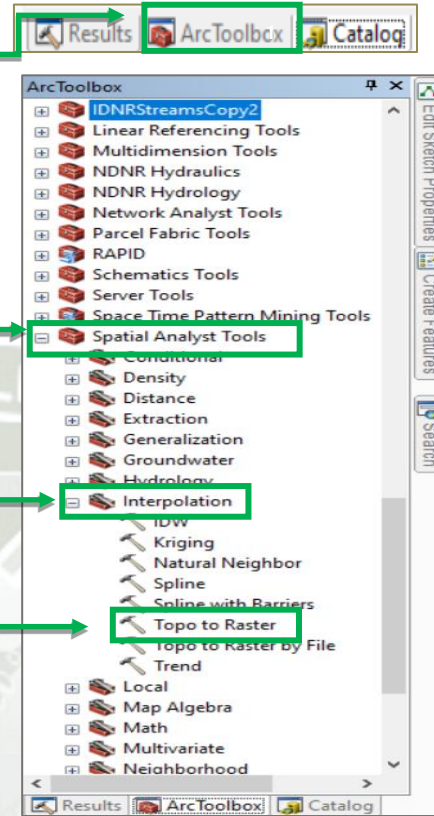
Spatial Analysis Tools

Interpolation

Topo to Raster

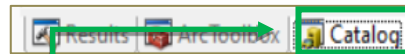
Cargamos CURVAS

Guardamos como
TOPO TO RASTER y

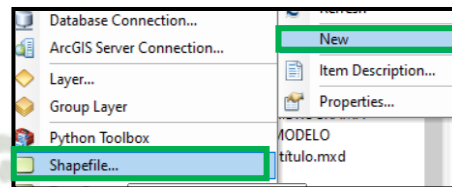


PASO 4 Creamos el polígono

Seleccionamos Catálogo

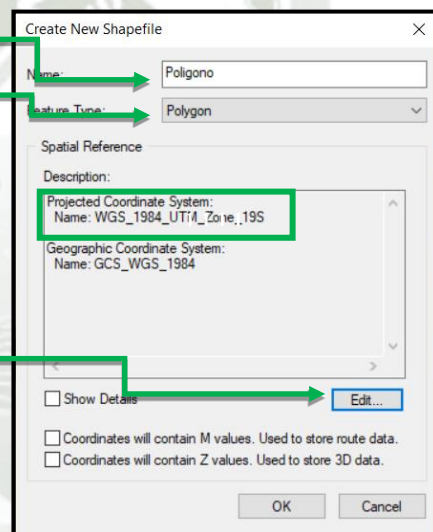


Dentro de una carpeta
creamos un new shapefile



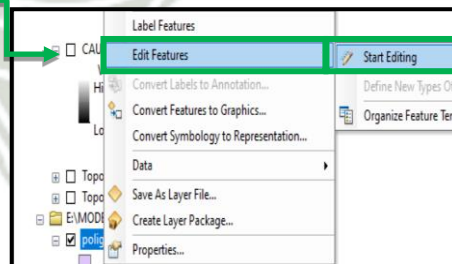
Le creamos un nombre

Seleccionamos la forma

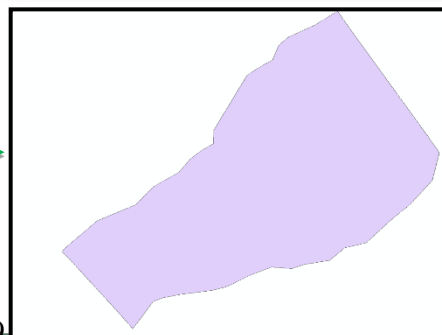


Le detallamos la ubicación

Seleccionamos polígono-
Edit Features- Start Editing

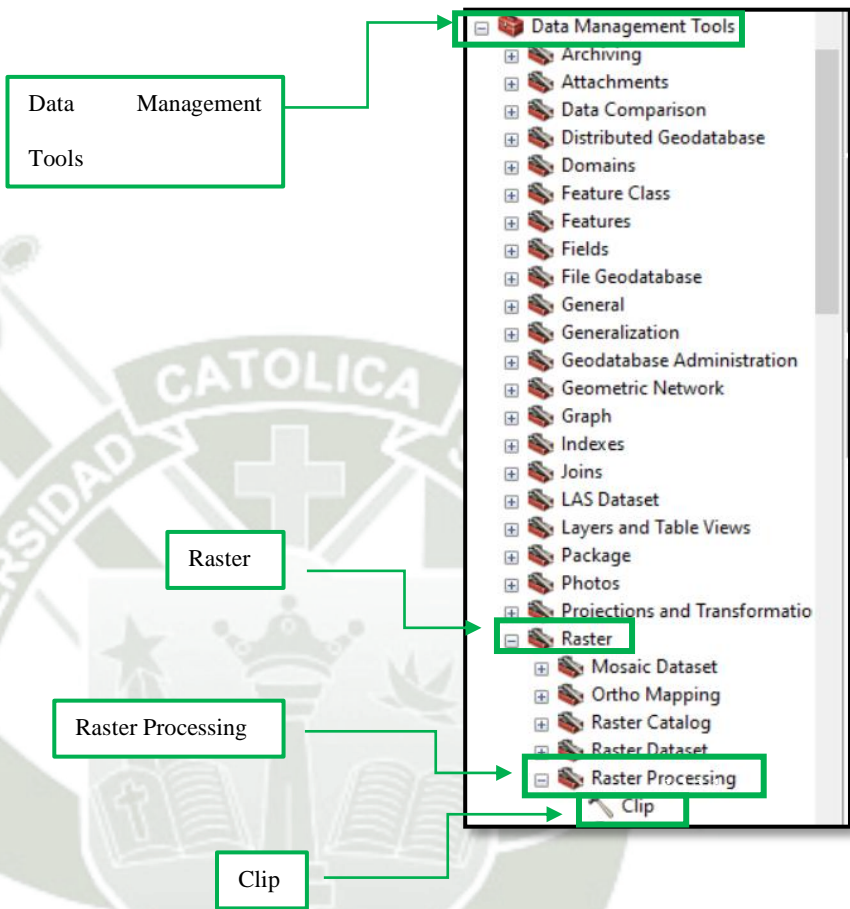


Editamos el polígono
dándole la forma que
queremos



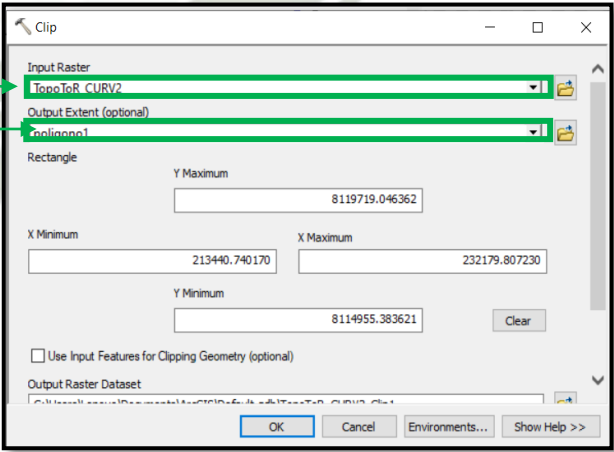
PASO 5

Creación del DEM

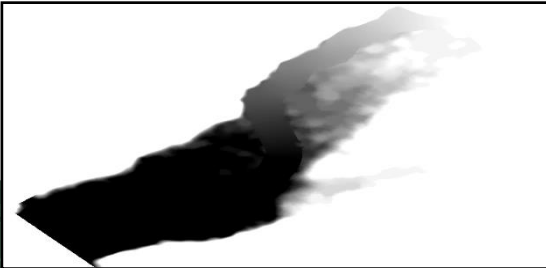


Seleccionamos el TOPO
TO RASER creado

Cortamos en función del
polígono



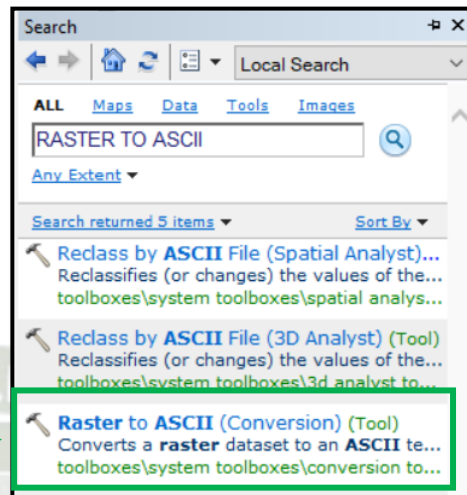
Editamos el polígono
dándole la forma que



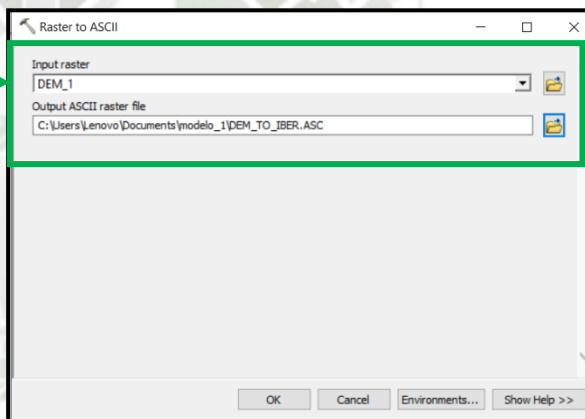
PASO 6

Creación del archivo ASC

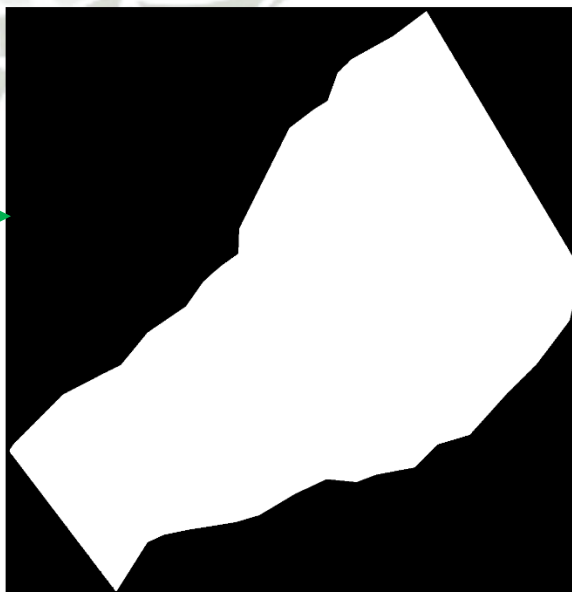
Vamos a SEARCH y llenamos
RASTER TO ASCII



Cargamos el DEM y
exportamos el archivo ASC



Observamos el archivo en
ASC para poder abrirlo en



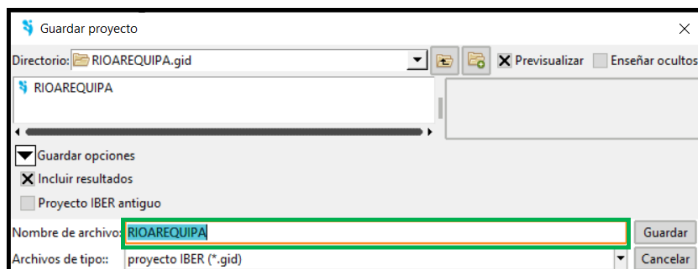
SEGUNDO LUGAR: MALLADO

Para este proyecto abrimos IBER Como **PASO 1**, creamos un nuevo proyecto en IBER, y se trabaja con el sistema internacional, creamos la malla a partir de la imagen ASC. Como **PASO 2**, Llenamos Datos del problema. Como **PASO 3**, Definimos condiciones de contorno. Como, establecemos condiciones de contorno de la salida y la entrada, en la cual se llena le hidrograma. Como **PASO 4** se establece el tipo de suelo **y se corre** el modelo y se observa las áreas coloradas tanto de tirantes como de velocidades

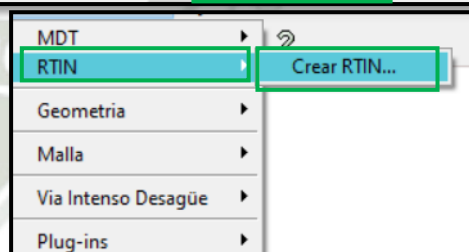


PASO 1

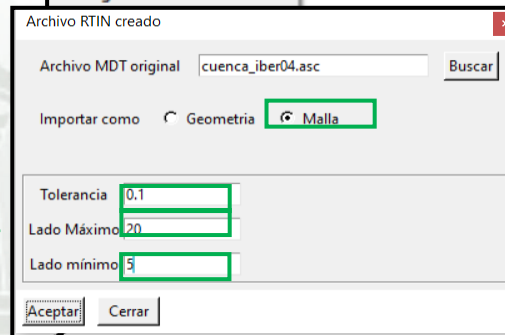
Creamos el proyecto en IBER



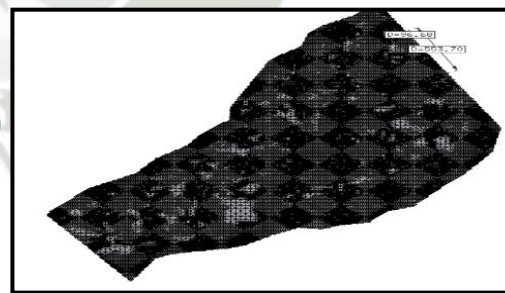
Creamos un nuevo proyecto



Cargamos el archivo y seleccionamos malla



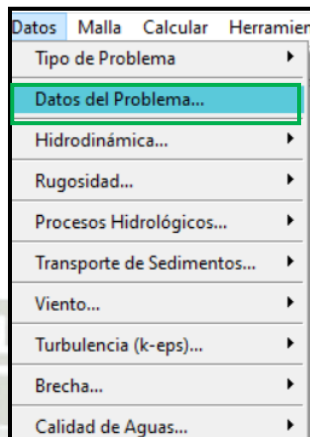
Visualizamos la malla



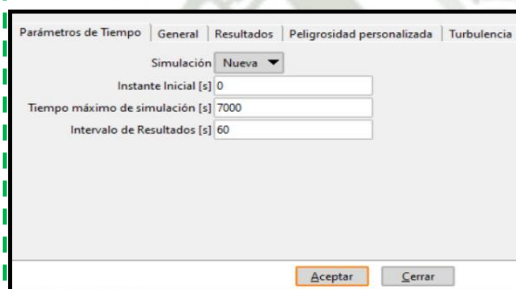
PASO 2

Llenamos Datos del problema

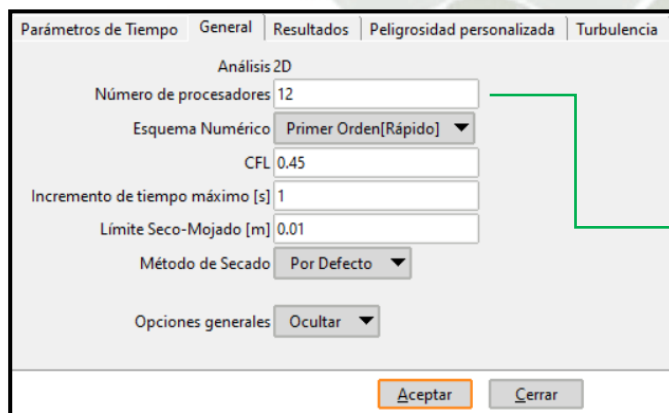
Establecemos datos del problema.



Establecemos los pasos o tiempo de simulación.



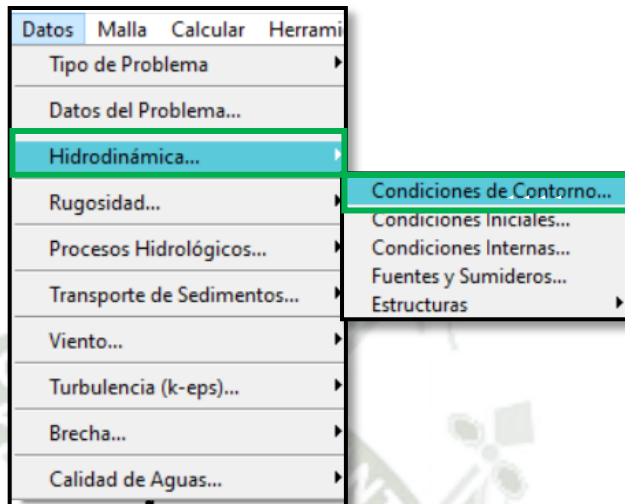
Llenamos el número de procesadores y el CFL



PASO 3

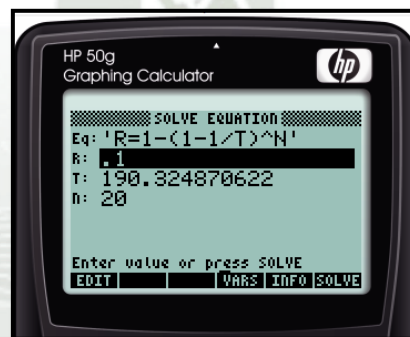
Definimos condiciones de contorno

Creamos una nueva geometría

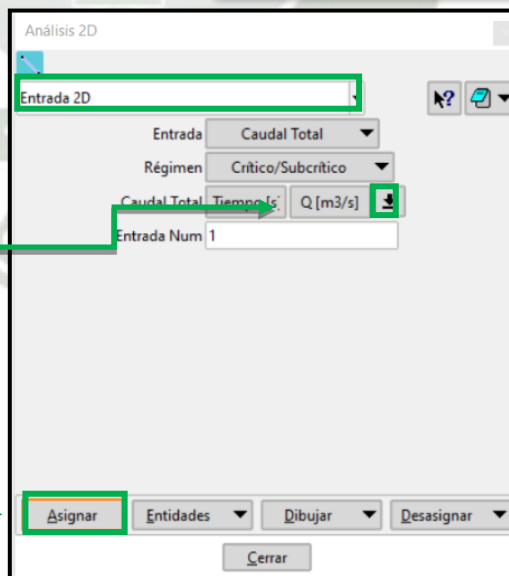


Para definir el Periodo de retorno a utilizar es necesario considerar la siguiente ecuación:

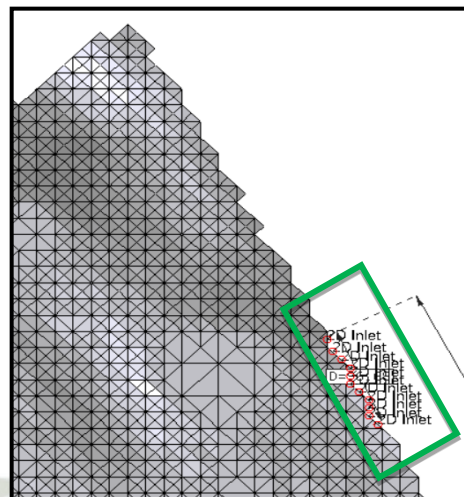
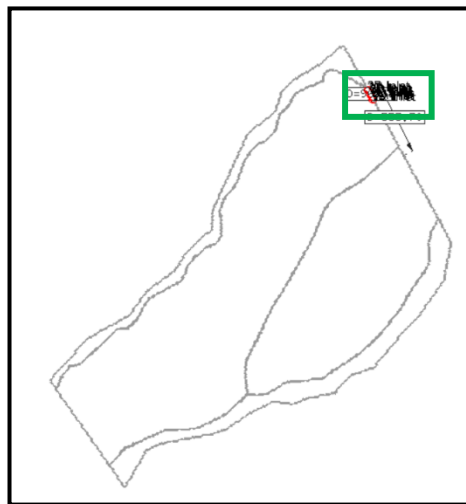
$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$



Primero se carga el valor del Q, en este caso Q=1179.90 m3/s,



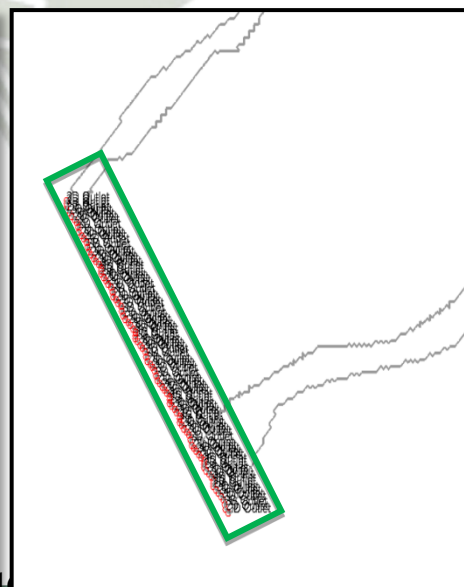
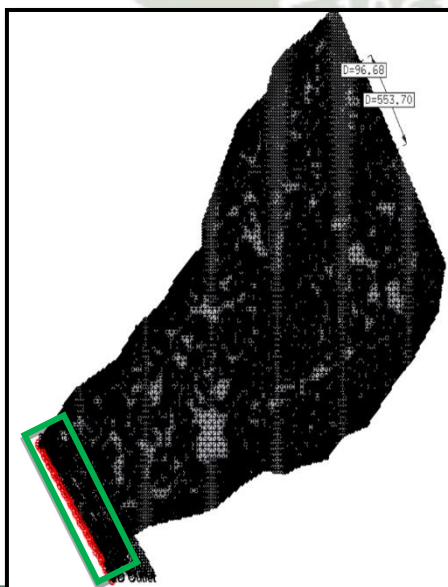
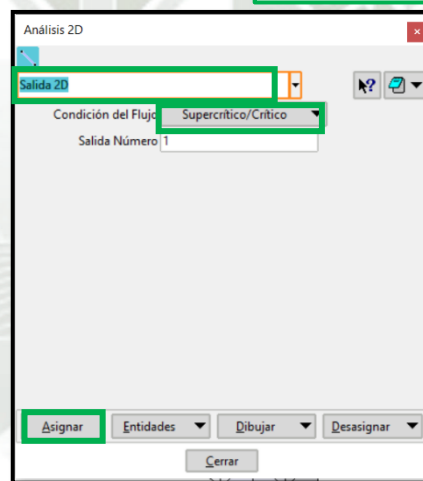
Luego se asigna la entrada



Luego de asignada la entrada del caudal asignamos la salida

Primero establecemos salida y un flujo supercrítico hidrograma

Luego se asigna la salida



PASO 4

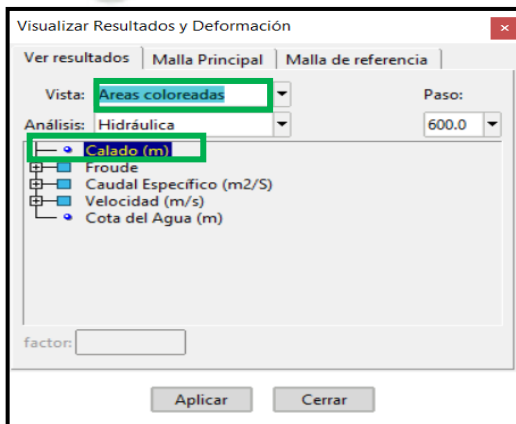
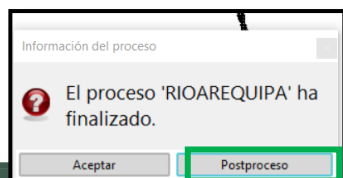
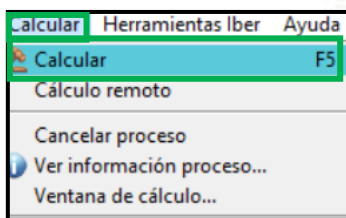
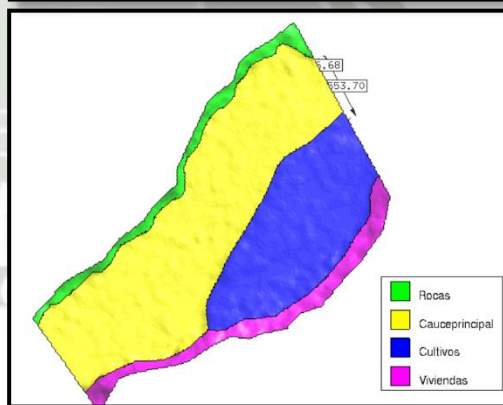
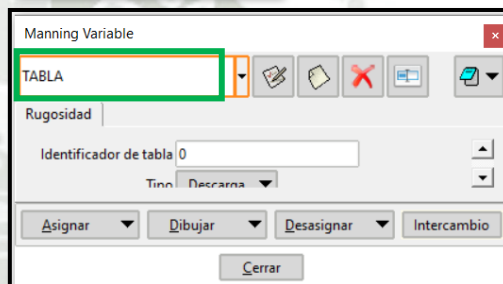
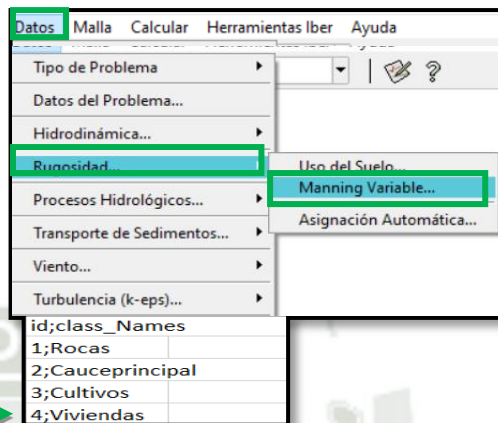
Se establece el tipo de suelo v se corre el modelo

Se va a datos- Rugosidad, En Iber existe la posibilidad de trabajar con Manning variable. Previa designación de cada uso de suelo en este caso roca, cauce principal, cultivos, viviendas.

Se crea un Excel indicando el tipo de suelo de cada zona.

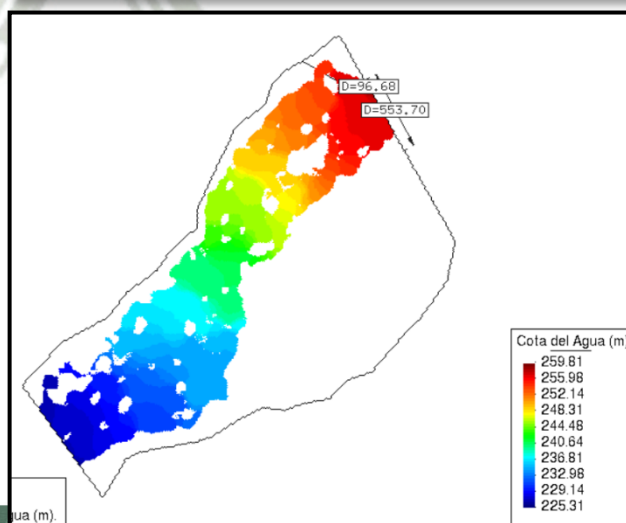
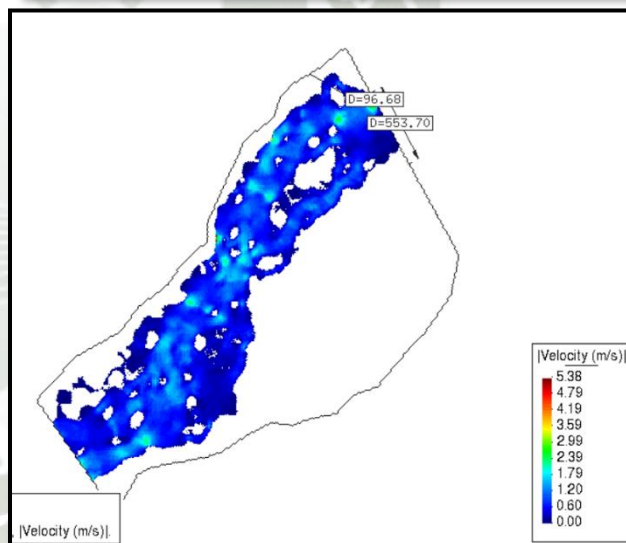
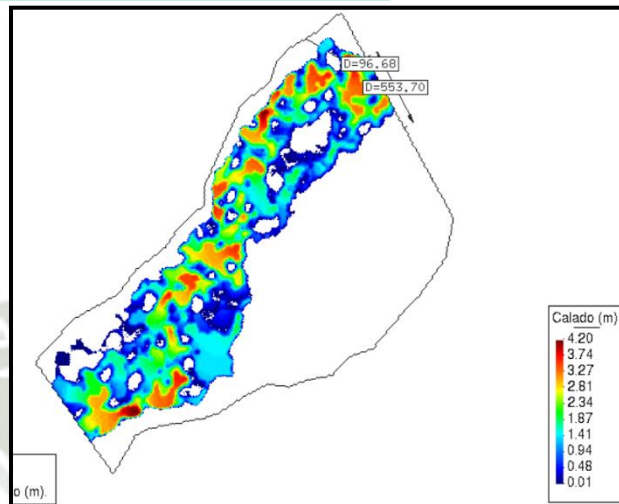
Cargamos la tabla estableciendo la rugosidad para cada tipo de suelo.

Visualizamos la tabla con un número de Cowan $n=0.12$ en el caso de cauce principal.



PASO 5

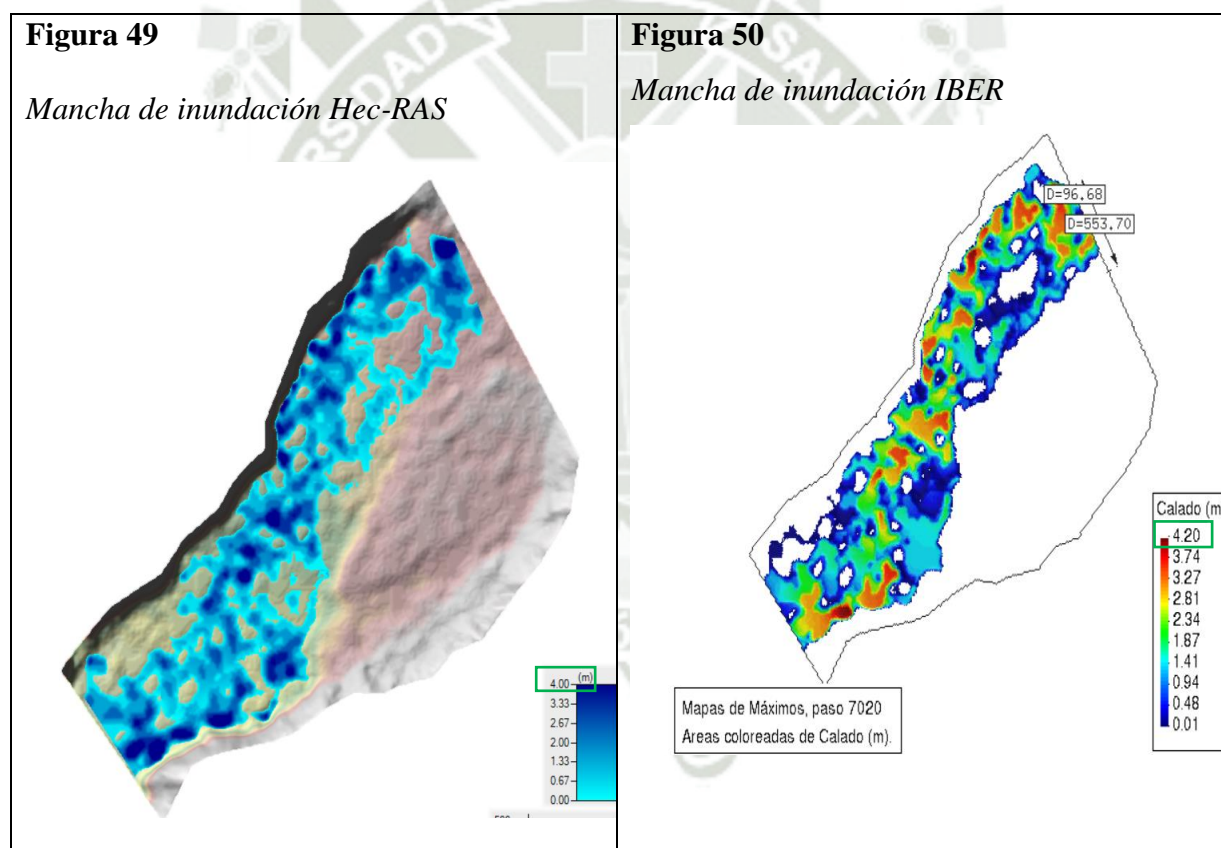
Visualizamos los resultados



5.4. Comparación de Modelos

5.4.1. Mancha de inundación

En las figuras 27, 28 se muestran las manchas de inundación para el instante del caudal máximo producido por Hec-RAS e IBER respectivamente. Para Hec-RAS, se hizo utilizó la herramienta RAS Mapper incorporada para la creación de manchas de inundación, y en IBER se utilizó la herramienta áreas coloreadas en el postproceso del modelo. En ambas circunstancias se observan resultados bastante parecidos respecto a la mancha de inundación. A su vez se puede apreciar los máximos calados en ubicaciones similares.

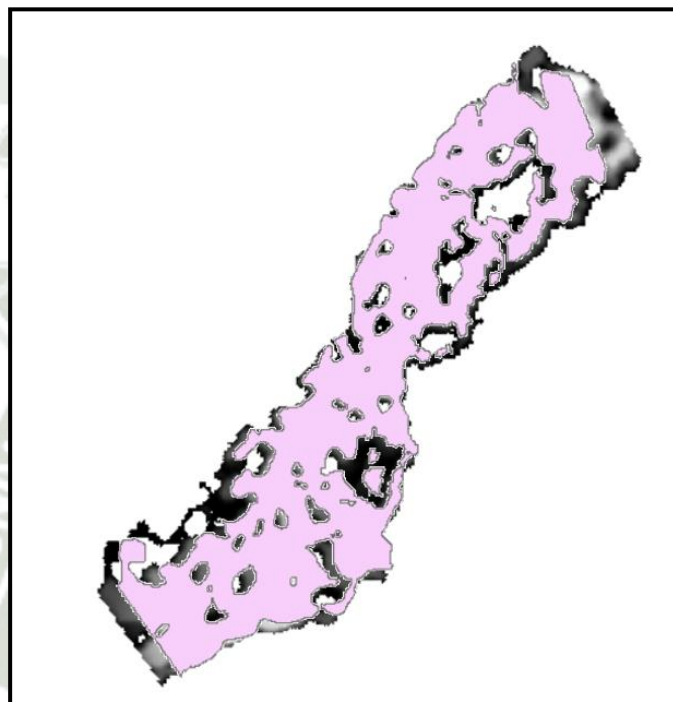


Luego, las manchas se exportaron a ArcGIS para llevar a cabo la superposición estas. En ella, se nota que los resultados obtenidos en este aspecto son parecidos, a pesar de emplear modelos numéricos en 2D. En términos más concretos, la mancha de inundación en Hec-RAS

(2D) abarca 1.435 km², en contraste con IBER (2D) con 1.552 km², lo que implica una diferencia de un 7.5%.

Figura 51

Manchas de inundación superpuestas



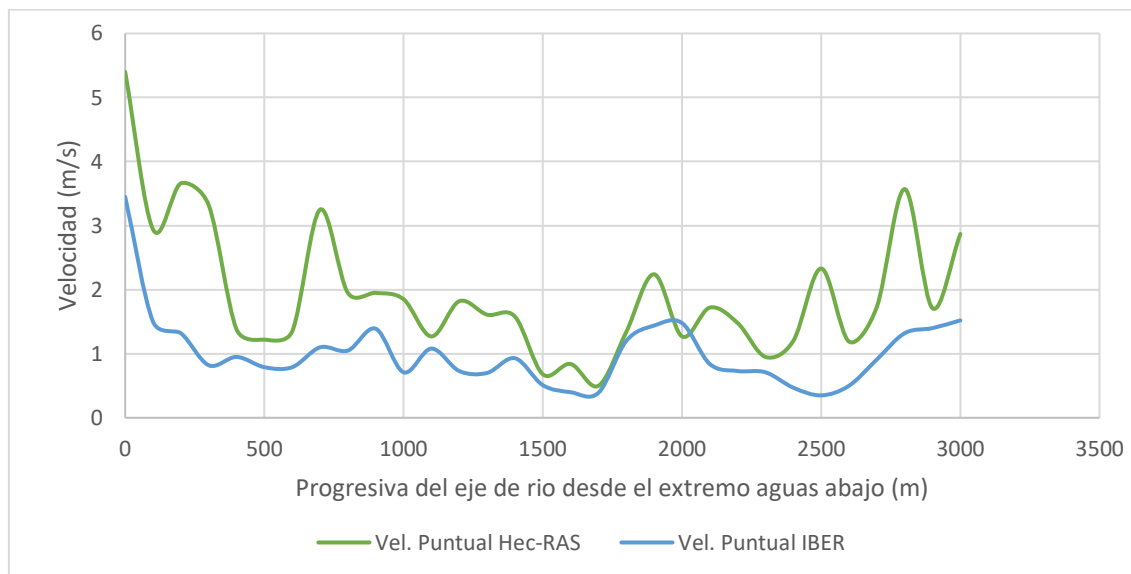
Nota. Elaboración propia

5.4.2. *Velocidad del flujo*

La figura 30 presenta los resultados logrados para la velocidad del flujo en el tramo del cauce analizado. En este contexto, es crucial aclarar que tanto Hec-RAS como IBER, en su calidad de modelo bidimensional, representan la velocidad puntual en el eje principal del cauce.

Figura 52

Velocidad del flujo resultante por los modelos Hec-RAS e IBER en el instante del Caudal Pico



Nota. Elaboración propia

No obstante, a pesar de las discrepancias teóricas entre los modelos y la velocidad, se puede verificar que aguas abajo posee una magnitud de 2.20 m/s de promedio aproximadamente, lo que otorga importancia a la estructura de disipación de energía presente en el área. Aguas arriba, Hec-RAS reporta velocidades que oscilan entre 2.94 y 5.40 m/s, mientras que IBER muestra velocidades que oscilan entre 1.5 y 3.45 m/s.

5.4.3. Numero de Cowan o número de Manning

La mejor opción para llenar los valores del número de Manning sería IBER, este software tiene una opción para el mejor llenado de datos en opción múltiple como se realizó en el caso de IBER. Se va a datos- Rugosidad, se trabaja con Manning variable. Previa designación de cada uso de suelo en este caso roca, cauce principal, cultivos, viviendas. Luego se exporta en a un Excel indicando el tipo de suelo de cada zona luego de dibujarlas carga el archivo en “asc” exportado desde ArcGIS.

En el caso de Hec ras se dibuja y se especifica cada tipo de suelo y el número de Manning en cada uso de suelo.

5.4.4. Número de Froude y régimen de flujo

En época de estiaje, no hay suficiente velocidad, no hay movimiento de sedimentos, se forman bancos de arena y existe poca pendiente por lo cual se considera un flujo subcrítico en el cual el número de Froude $F < 1$. Sin embargo, en época de avenidas que mayormente se da entre los meses de diciembre y marzo, existe una mayor velocidad, arrastra bastante sedimentos por lo que se considera aun flujo supercrítico en el cual el número de Froude $F > 1$.

5.4.5. Tiempos de corrida

En este punto de estudio, las discrepancias son significativas. El tiempo de corrida en Hec-RAS fue de 30 min, en cambio en IBER, la duración de la corrida fue de 1 h. En ambos casos depende mucho del mallado, si se requiere más precisión demorara mucho más. Asu vez también tiene mucho que ver el procesador que se está utilizando de la misma manera que la máquina.

CAPÍTULO VI: Propuesta de Optimización

Para la propuesta de optimización es importante el pre-dimensionamiento.

Las construcciones realizadas en las riberas de los ríos, como es el caso de defensas ribereñas en algunos casos pueden estar mal ubicados en relación con la alineación de los bordes de las márgenes de ancho estable.

A su vez se debe tener en cuenta la pendiente del río. En este caso la pendiente promedio del Río Tambo es de 1,06% (0.0106) por tramo de 3 km.

6.1. Parámetros hidráulicos pluviales y elementos de cauce

El estudio hidráulico posibilita establecer los niveles máximos de agua, la superficie de inundación, las velocidades y otros factores, para un evento de máximas avenidas con varios periodos de retorno. Esto permite visualizar el comportamiento del flujo en función de las propiedades morfológicas del cauce.

El periodo de retorno a considerar es muy importante puesto es un dato probabilístico que indica el incremento potencial o sustancial de un caudal o precipitación, relacionado estrechamente con los máximos valores de éstos. Para lo cual se considera un riesgo admisible, como su tiempo de vida útil.

Ecuación 26

Ecuación de riesgo admisible

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

R: Riesgo admisible 10%

n: Vida Útil 20

T= 190.324871 años \approx 200 años

En este caso se considera el caudal con un periodo de retorno de 200 años el cual es 1,179.90 m³/s.

6.1.1. Cálculo del ancho estable

Se calcula el ancho estable de manera que el caudal máximo se mantenga dentro del cauce que vamos a asignar. En este caso utilizaremos métodos empíricos.

a) Método Petits

Ecuación 27

Ecuación del ancho estable

$$B = 2.44 * Q^{0.5}$$

Tabla 68

Método de Pettis

MÉTODO DE PETTIS
$B = 2.44 Q^{0.5}$
B (m)
83.78

b) Método de Blench

Este método está basado en la teoría de régimen estable y en función al caudal máximo, factor de fondo (Fb) y el factor de orilla (Fs). Los cuales consideran la concentración de material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas al ser erosionadas.

Ecuación 28

Método de Blench

$$B = 1.81 * (Q * \frac{F_b}{F_s})^{1/2}$$

Tabla 69

Método de Blench

MÉTODO DE BLENCH		
$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$		
Factores		B (m)
Factor de Fondo	F_b	175.78
Material Fino	0.8	
Factor de Orilla	F_s	
Materiales sueltos	0.1	

c) Método de Simons y Henderson

Este método está basado en la teoría de régimen estable y está en función del caudal de diseño y de las condiciones de fondo del río

Ecuación 29

Método de Simons y Henderson

$$B_m = K_1 * Q^{0.512}$$

Tabla 70

Método de Simons y Henderson

MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON		
$B = K_1 Q^{1/2}$		
Condiciones de Fondo de río	K_1	B (m)
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2.8	96.14

d) Método de Altunin Manning

Ecuación 30

Método de Altunin Manning

$$B = \left(\frac{Q^{1/2}}{S^{1/5}} \right) * (nK^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

Tabla 71

Método de Altunin -Manning

MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING		
$B = (Q^{1/2}/S^{1/5}) (n K^{5/3})^{3/(3+5m)}$		
Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)
Descripción	n	118.54
Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 0.033	0.033	
Coficiente Material del Cauce		
Descripción	K	
Material aluvial = 8 a 12	12	
Coficiente de Tipo de Río		
Descripción	m	
Para cauces arenosos	0.7	

e) Método practico

En este método se toman valores que son resultados prácticos.

Tabla 72

Recomendación práctica

RECOMENDACIÓN PRACTICA	
Q (M ³ /S)	ANCHO ESTABLE (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70
1179.00	B2 = 107.16

En conclusión, como resumen se adopta el ancho del método de Blench puesto a que es el que más se adopta a la zona de estudio.

Tabla 73

Resumen de métodos

RESUMEN :

MÉTODO	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	96.14
MÉTODO DE PETTIS	83.78
MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	118.54
MÉTODO DE BLENCH	175.78
MÉTODO PRÁCTICO	107.16
=====> PROMEDIO B :	116.28
=====> SE ADOPTA B :	190.00

Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.

6.1.2. Cálculo hidráulico

6.1.2.1 Cálculo del tirante

- a) Método de Manning – Strickler (B>30M)

En este método se considera las características del cauce natural. En este caso se consideró cauces naturales con derrubio e irregularidades. A su vez se considera el caudal, el ancho estable anteriormente calculado y la pendiente del tramo.

Ecuación 31

Método de Manning-Strickler

$$t = ((Q / (ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$$

Tabla 74

Método de Manning - Strickler

MÉTODO DE MANNING - STRICKLER (B > 30 M)		t (m)
$t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$		
Valores para Ks para Cauces Naturales (Inversa de n)		
Descripción	Ks	
Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 30	30	1.5
Caudal de Diseño (m³/seg)		
Q = 1,179.00		
Ancho Estable - Plantilla (m)		
B = 190.00		
Pendiente del Tramo de estudio		
S = 0.01100		

6.1.2.2 Cálculo de la velocidad media

- a) Fórmula de Manning
- b) Radio Hidráulico

Tabla 75

Radio hidráulico

Radio Hidráulico >>> R = A / P >>>>>>		R :	Pendiente de Fondo >>> S	
Tirante medio (y)	Taluz de Borde (Z)	1.48	S = 0.01100	
y = 1.50	Z = 0.75		Coefficiente de Rugosidad de Manning	
Ancho de Equilibrio (B)			Descripción	
B = 190.00			Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 0.033	
Área (m2)	Perímetro (m)		n	
A = 283.31	P = 191.50		0.033	

>>>>>> **V = 4.13 m/seg**

- c) Número de Froude

Para calcular el número de Froude es necesario calcular la Velocidad media previamente. Existen tres tipos de flujo, que se presentan en los siguientes rangos.

Flujo subcrítico $1.4 < F < 0.7$, Flujo crítico $F=1$ y Flujo supercrítico $1 < F \leq 1.3$

Ecuación 32

Ecuación para calcular el número de Froude

$$F = \frac{V}{(g * y)^{1/2}}$$

Tabla 76

Número de Froude

Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la Gravedad	Profundidad Hidráulica Media = Área Mojada / Ancho Superficial:		Froude (F)
V = 4.13	g = 9.81	y = A / B >>>	y = 1.49	1.08

Tipo de Flujo : FLUJO SUPERCRITICO

d) Cálculo de Altura de Dique

Ecuación 33

Ecuación para calcular la altura del dique

$$H_M = Y + BL$$

Para el cálculo de la altura del dique es necesario conocer el valor del tirante medio y el valor del borde libre.

Tabla 77

Cálculo de altura de dique

Borde Libre (BL) = ϕe					ALTURA DE MURO (H_D)
Caudal máximo m^3/s	ϕ	ϕ	$e = V^2/2g$	BL	$H_M = y + BL$
3000.00	4000.00	2	1.4	1.22	y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7			y = 1.50
1000.00	2000.00	1.4			>>>>> $H_M = 2.72$
500.00	1000.00	1.2			Por Procesos Constructivos
100.00	500.00	1.1			>>>>> $H_M = 3.00$

Caudal de Diseño (m^3/seg) : 1,179.00

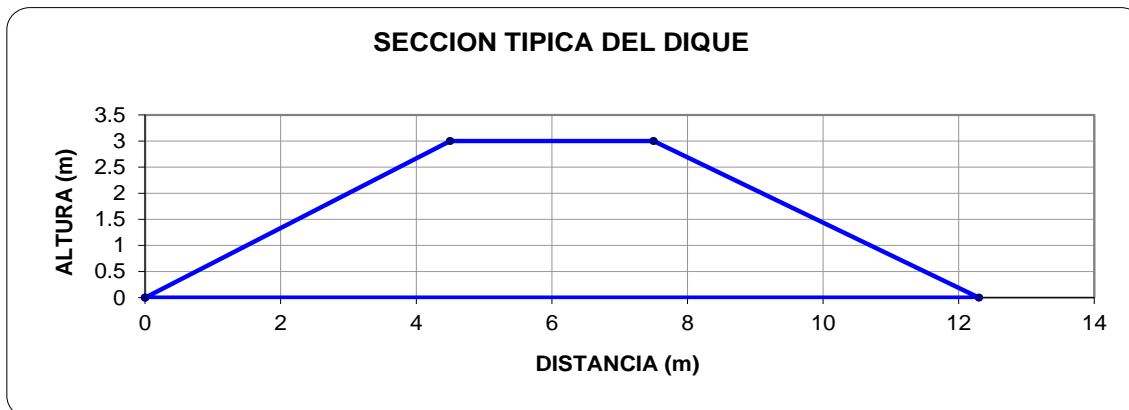
Se considera los valores obtenidos y se establece el talud para el dique.

Figura 53

Sección típica de dique

Por lo Tanto las características Geométricas del dique a construir son :

ALTIMETRIA PROMEDIO DE DIQUE (m)	=	3.00
ALTIMETRIA PROMEDIO DE ENROCADO (m)	=	3.00
ANCHO DE CORONA (m)	=	3.00
TALUD	:	H V
Cara Humeda	1.6	: 1
Cara seca	1.5	: 1
AREA (m ²)	=	18.45



Estos resultados se consideran para realizar la simulación, con la finalidad de encontrar los valores que cumplan.

6.1.3. Cálculo de la profundidad de socavación

Para determinar la profundidad de socavación, se utilizará el método propuesto por L.L. List Van Lebediev que es para cauces definidos. Este método se basa en el supuesto que: La erosión de fondo detendrá a una profundidad que cumpla la condición: $V_{erosiva} = V_{real}$.

a) Método de LL. List Van Lebediev

Suelos granulares- No cohesivos:

Ecuación 34

Ecuación para calcular la profundidad de socavación suelos granulares-no cohesivos

$$t_s = \left(\frac{\alpha t^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} * \beta} \right)^{1/(x+1)}$$

Suelos cohesivos:

Ecuación 35

Ecuación para calcular la profundidad de socavación suelos cohesivos

$$t_s = \left(\frac{\alpha t^{5/3}}{0.60 * \gamma_s^{1.18} * \beta} \right)^{1/(x+1)}$$

En este caso es un suelo granular, no cohesivo.

Tabla 78

Profundidad de Socavación

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)				
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV				
Suelos Granulares - No Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$(1)				
Suelos Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)}$(2)				
Donde:				
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)				
t = Tirante sin socavacion (m)				
$t = 1.5$ m				
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)				
$D_m = 18$ mm				
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)				
μ = Coeficiente de Contraccion				
α = Coeficiente >>>>>				
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$				
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α
$t_m = 1.49$	1,179.00	$\mu = 0.99$	B = 190.00	3.22

1. Perfil antes de la erosión
2. Perfil de equilibrio tras la erosión

Para el cálculo de la profundidad de socavación se estimó el tamaño de partícula (D) en 18 mm en base al tipo de suelo (grava gruesa). Así también se utilizó la Tabla N°79, en el cual

se calcula un factor adimensional (X) en base al diámetro medio (D_{50}) y al peso específico del del suelo, el cual, se consideró como $\gamma=1.8 \text{ Tn/m}^3$ (Calderón, 2023).

Tabla 79

Selección de x en suelos cohesivos (Tn/m^3) o suelos no cohesivos(mm)

Peso específico Tn/m^3	X	$1/(X + 1)$	D (mm)	X	$1/(X + 1)$
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.68	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.82
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1,000.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			
Ps (T/m^3)			D_m (mm)		
-	X	1/(X + 1) =	18.00	X	1/(X + 1) =
				0.3240	0.76

Tabla 80

Valores del coeficiente B

Periodo de Retorno (Años)	Probabilidad de Retorno (%)	Coefficiente β
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07
Periodo de Retorno (Años) =====>		50.00
$\beta =$		0.97

X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$
x = 0.32	0.76	$\beta = 0.97$	$t_s = 2.99 \text{ m}$

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)	
$H_s =$	$t_s - t$
$H_s =$	1.49 m

6.2. Medidas no Estructurales

- La creación de Mapas de Zonificación de Riesgo frente a las Inundaciones de los Ríos. Para así prevenir que propiedades de gran valor económico y social se encuentren en áreas propensas a inundaciones.

- Limpieza del cauce, puesto a que el río presenta bancos de arena los cuales aumentan el ancho del cauce, perjudicando a los predios rurales ubicados en las laderas de los ríos y aumentando así el ancho de las fajas marginales.

6.3. Medidas Estructurales

Para las medidas estructurales proponemos la colocación de dique enrocado, tanto en el margen derecho como en el margen izquierdo. En primer lugar, se debe realizar una descolmatación. En segundo lugar, se recomienda encauzado con la finalidad de que no exista desbordamiento.

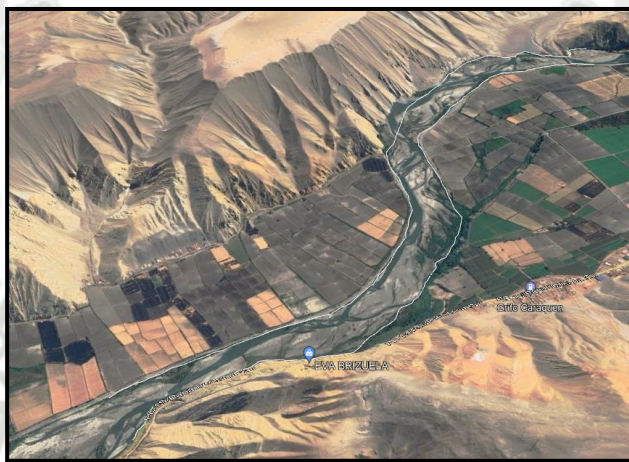
6.3.1. Descolmatación

Se debe eliminar y rellenar terreno con la finalidad de conservar la morfología del cauce.

Como paso 1, se debe dibujar el margen derecho y el margen izquierdo en este caso, se realizó con el uso de Google Earth.

Figura 54

Demarcación del margen derecho y margen izquierdo

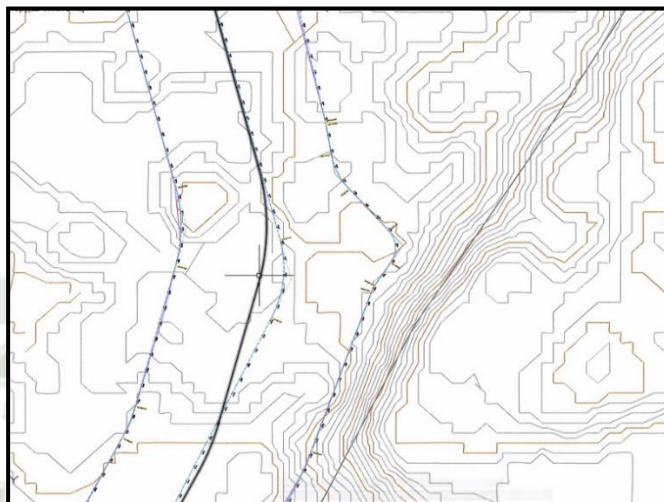


Nota. Elaboración propia

Como paso 2, se exportan como archivos kmz, Para luego poder abrirlos en ArcGIS, y exportarlo en CIVIL3D.

Figura 55

Ancho estable en Civil 3D

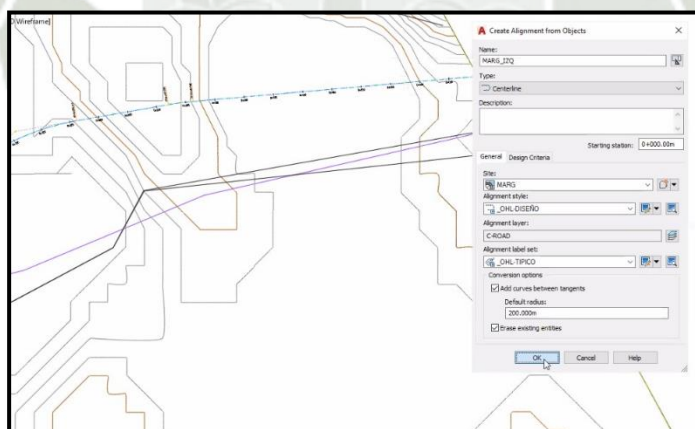


Nota. Elaboración propia

Como paso 3, se define la alineación.

Figura 56

Alineación y creación de curvas en ambos márgenes en Civil 3D

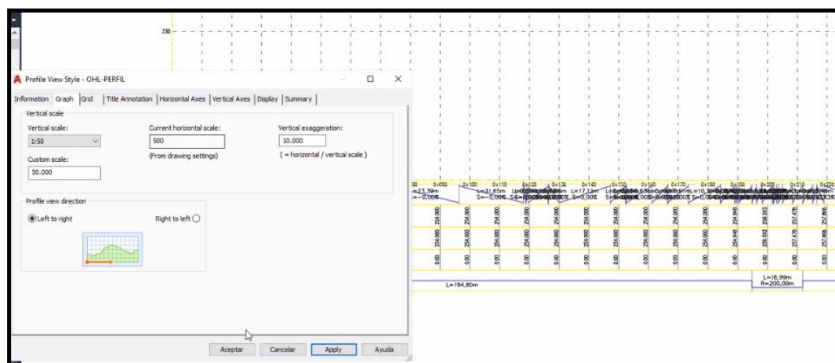


Nota. Elaboración propia

Como paso 4, se crean los perfiles.

Figura 57

Perfiles en Civil 3D

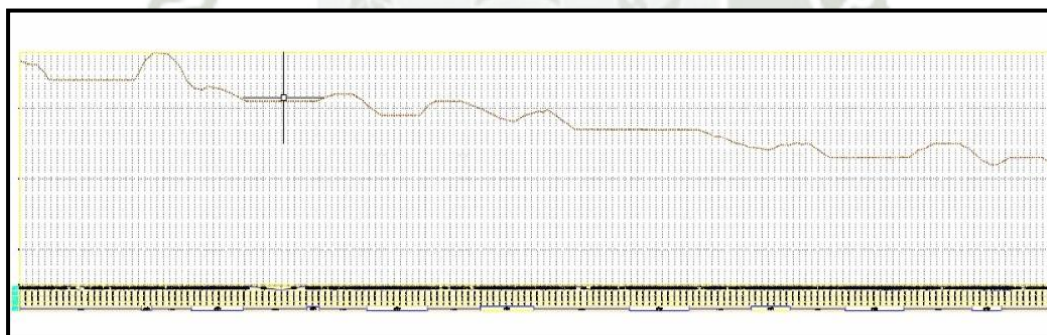


Nota. Elaboración propia

Como paso 5, se define la pendiente.

Figura 58

Pendiente del Río en Civil 3D

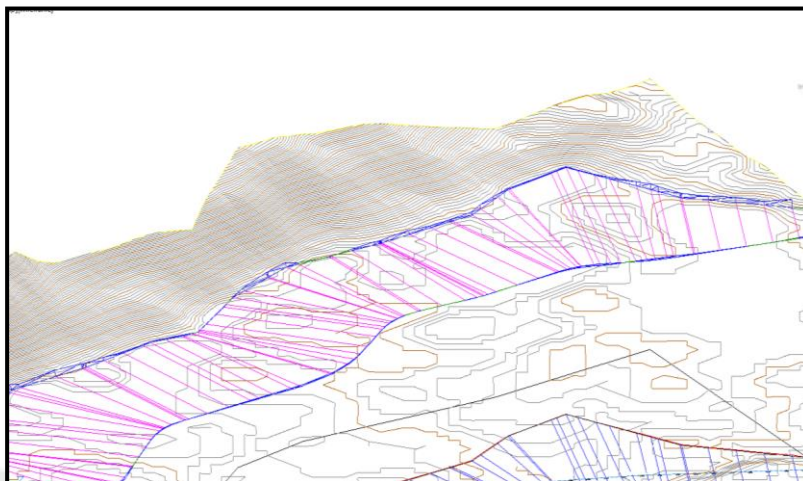


Nota. Elaboración propia

Como paso 6, se genera la triangulación y se define el cajón.

Figura 59

Triangulación en la zona de estudio en Civil 3D

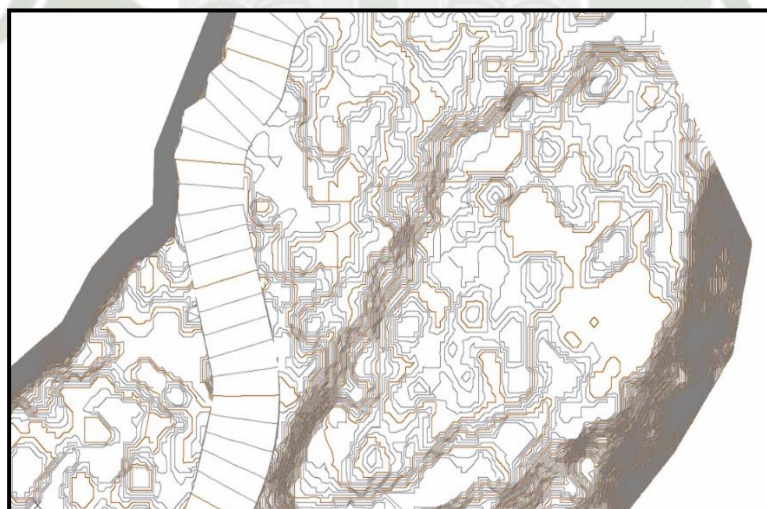


Nota. Elaboración propia

Como paso 7, Se visualiza la descolmatación.

Figura 60

Descolmatación del Rio en la zona de estudio

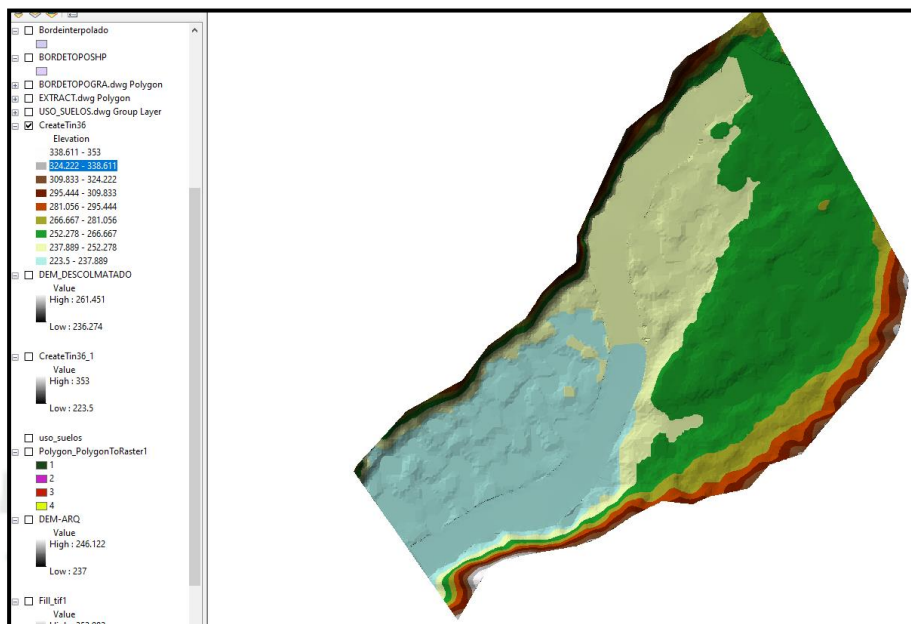


Nota. Elaboración propia

Como paso 8, se abre el archivo en ArcGIS y se crea el TIM y el RASTER.

Figura 61

TIM del tramo de estudio después de la descolmatación



Nota. Elaboración propia

Como paso 9, se crea el INTERPOLATE SHAPE y el TIN TO RASTER.

Figura 62

INTERPOLATE SHAPE del tramo de estudio

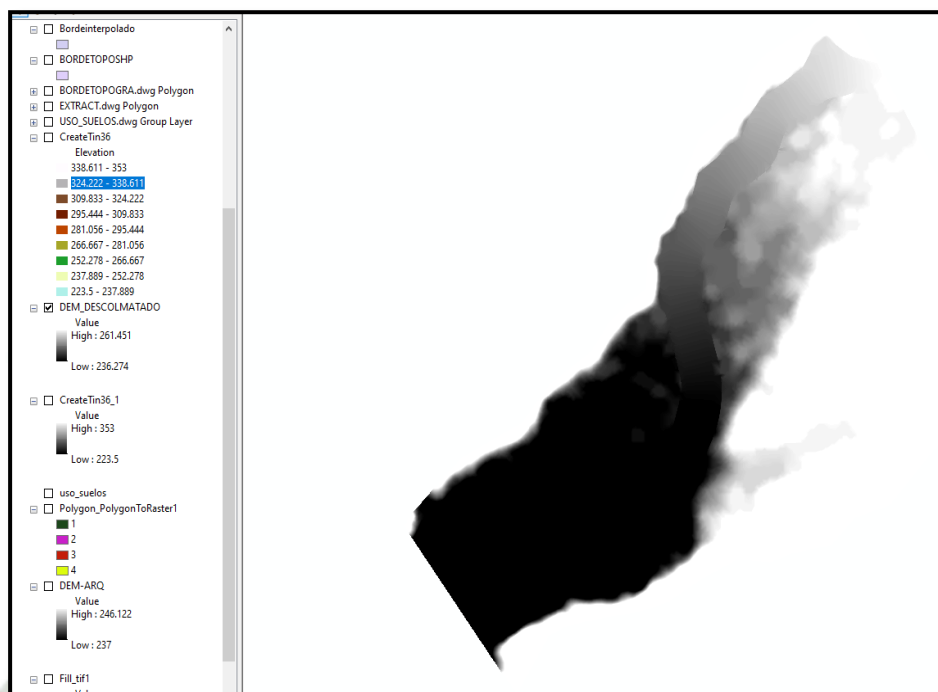


Nota. Elaboración propia

Como paso 10, se crea el archivo ASC des colmatado para trabajarlo en IBER.

Figura 63

Archivo ASC para abrirlo en IBER



Nota. Elaboración propia

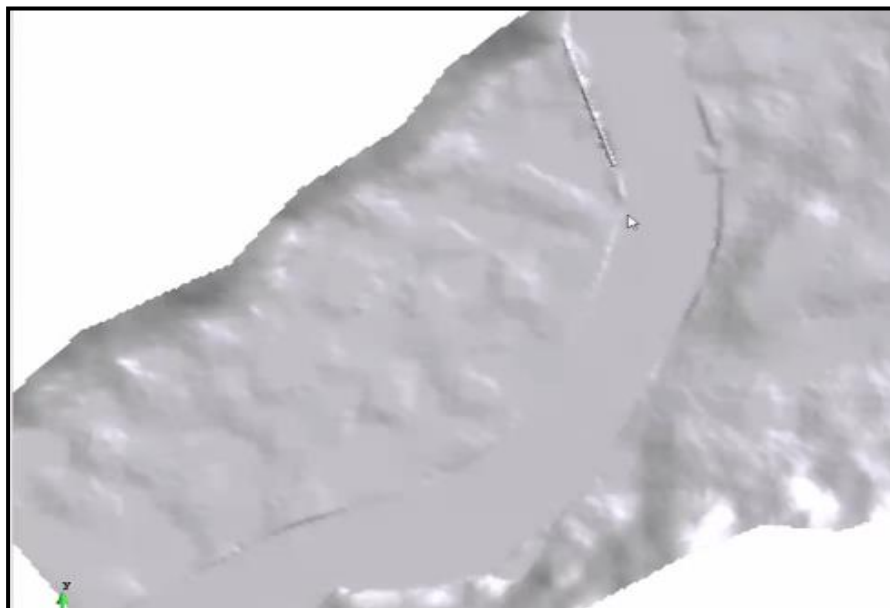
6.3.2. Encauzamiento

Crear una barrera que separe el cauce principal del río de zonas agrícolas.

Como paso 1, se abre le archivo en IBER.

Figura 64

Tramo des colmatado en IBER 2D

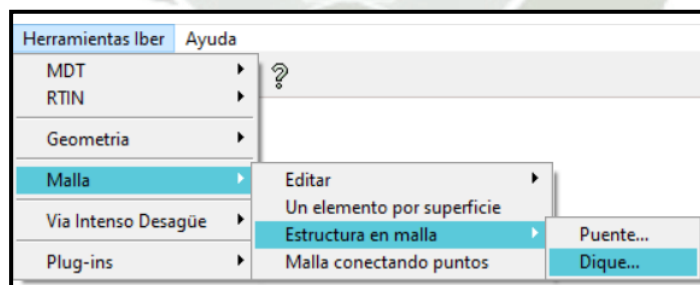


Nota. Elaboración propia

Como paso 2, en IBER hay la opción de crear diques, creamos en el margen derecho con una altura de 3 m.

Figura 65

Creación de diques en herramientas IBER



Nota. Elaboración propia

Como paso 3, seleccionamos desde el punto de inicio del dique y llenamos el valor de la ubicación y la altura del dique, en este caso se considera 3m y el ancho de 3 m.

Figura 66

Creación del dique en IBER 2D



Nota. Elaboración propia

Figura 67

Llenado de datos para la creación de diques

Dique			
Inicio	856866.0	8117400.0	244
Fin	856967.0	8117090.0	241
Ancho	3		
Opciones			
<input type="radio"/> Insertar segmento		<input checked="" type="radio"/> Insertar rectángulo	
Aplicar		Cerrar	

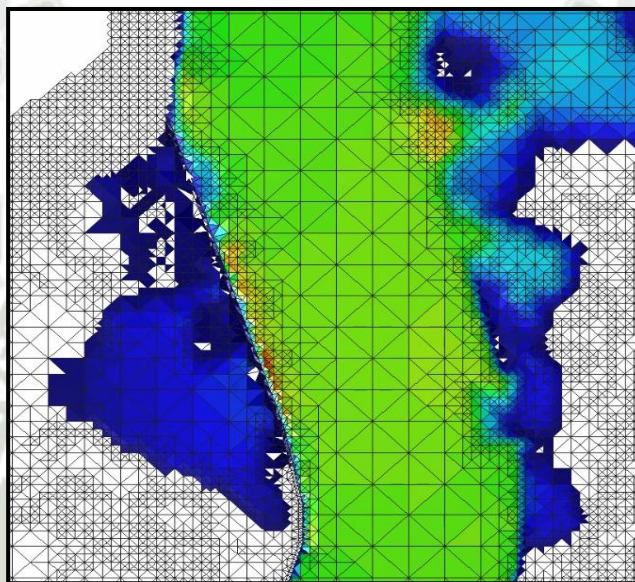
Nota. Elaboración propia

Como paso 4, se puede apreciar la imagen de resultados del tramo des colmatado con diques con 3 m de altura y 3 m de ancho. En la figura 45 se observa que con los 3 metros de altura en esta zona se aprecia que aún se sigue inundando, el valor teórico expresado no es suficiente al hacer el modelo no se considera la interacción entre la estructura y la topografía

pronunciada de la ladera y la curva. Existe un desajuste de la formula en al cual no se ajustan a los parámetros de la morfología real existente al cual involucra ciertos tramos característicos meándricos donde la cota de agua se va a incrementar justamente en zonas donde la curva es pronunciada.

Figura 68

Resultado de calado de tramo des colmatado y con diques de 3m en IBER

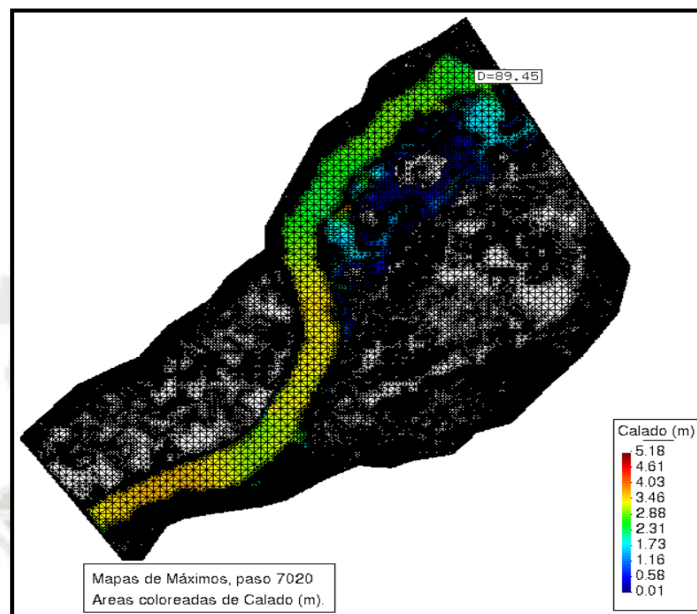


Nota. Elaboración propia

Como paso 5, tras múltiples iteraciones con los valores de la altura y ancho del dique se crean los diques con 4.5 m de altura y 4.5 m de ancho, los cuales cumplen en el margen derecho como se puede apreciar en la figura46.

Figura 69

Dique corregido en el margen derecho



Nota. Elaboración propia

Creamos el dique enrocado en Civil 3D

Figura 70

Creación de dique enrocado en Civil3D con corredor

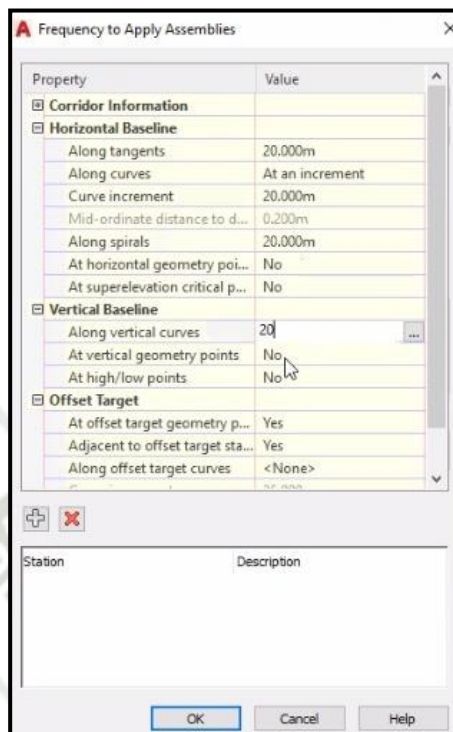


Nota. Elaboración propia

Se especifica que será cada 20 metros

Figura 71

Creación de dique enrocado en Civil 3D

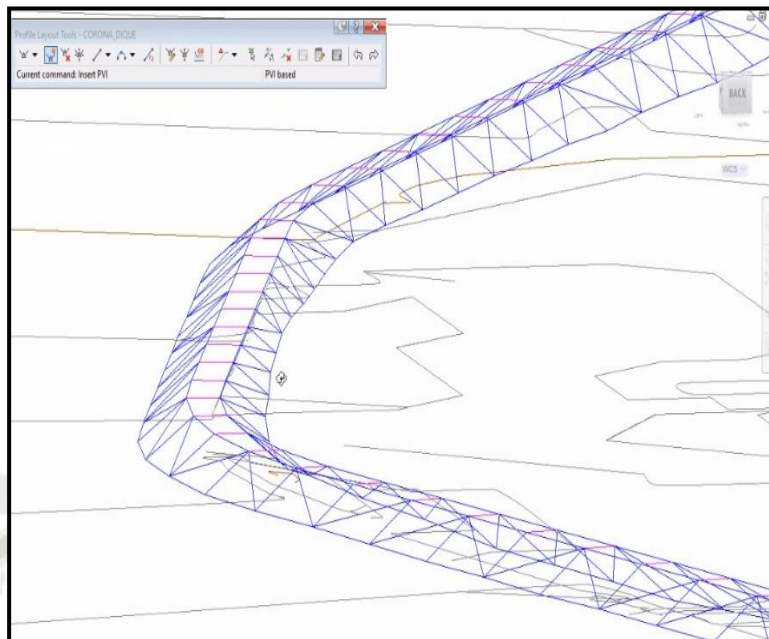


Nota. Elaboración propia

Luego se puede apreciar el grafico del dique enrocado en el margen derecho en Civil3D.

Figura 72

Gráfico de dique enrocado en el margen derecho del tramo de estudio

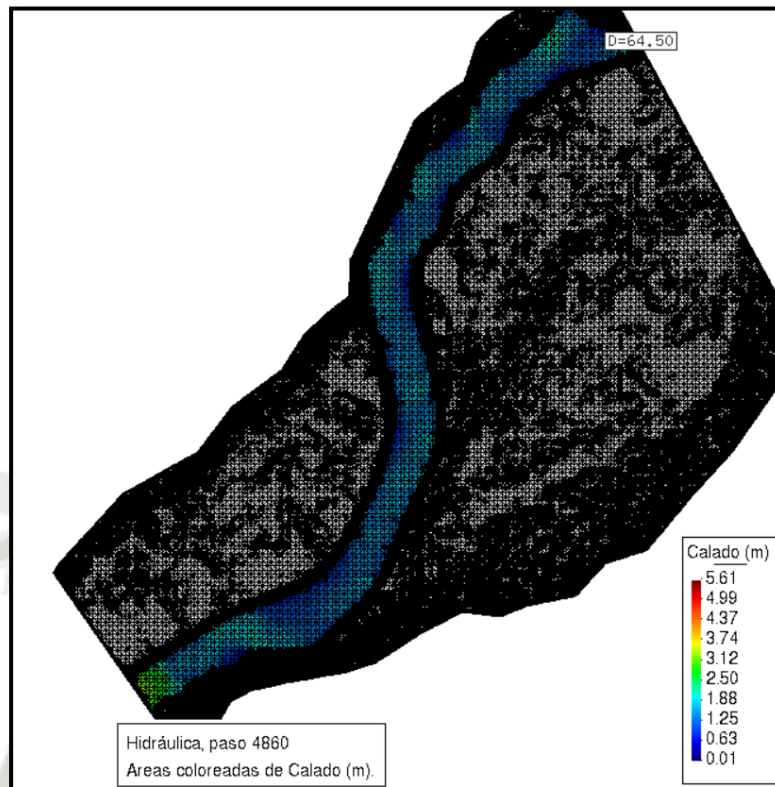


Nota. Elaboración propia

Finalmente aplicamos el mismo proceso para el margen izquierdo y verificamos que al aplicar el dique no se inunde. Tal como se aprecia en la figura 50.

Figura 73

Dique enrocado aplicado en ambos márgenes

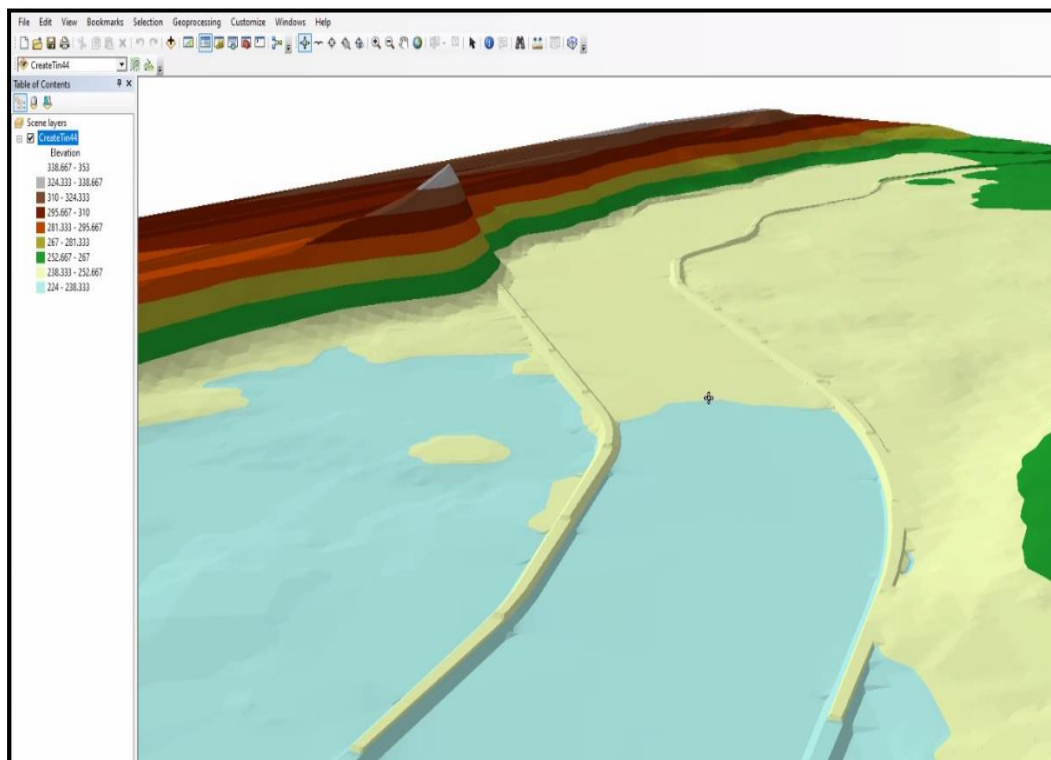


Nota. Elaboración propia

También lo podemos visualizar en Arc Scene.

Figura 74

Diques enrocados en ArcGIS-Arc Scene



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO VII: Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados de las comparaciones entre los modelos analizados en este estudio permitieron extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones.

7.1. Conclusiones

Respecto al **primer objetivo específico**, se realizó la modelación hidrológica utilizando el modelo HEC-HMS, a través de la transformación precipitación – escorrentía utilizando el hidrograma unitario (SCS) y la precipitación neta a través del procedimiento del número de curva, obteniendo así flujos altos para distintos periodos de retorno. Para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, los caudales máximos fueron 650.10 m³/s, 922.30 m³/s y 1179.30 m³/s respectivamente.

Respecto al **segundo objetivo específico**, se realizó la modelación hidráulica utilizando IBER y Hec-RAS, luego de haber realizado un levantamiento topográfico con dron. La conducta en ambas modelaciones mostró una notable similitud respecto al perfil del flujo durante su estado de máximo caudal. En el caso analizado, aguas arriba, donde el régimen supercrítico es predominante, los ritmos son altos y los calados reducidos. En Hec-RAS se visualizan resultados de 0 a 4 m de calado, las velocidades en un rango de 0 a 5 m/s y las cotas de 221 a 256.2 m. Mientras que en IBER los resultados brindan mayor precisión, el calado varío de 0 a 4.20 m, las velocidades de 0 a 5.38 m/s y las cotas de 225.31 a 259.81 m. Es notable la reacción hidráulica del cauce en las marcas de inundación obtenidas en los softwares utilizados, demostrando que es posible que exista peligro de desbordamiento en ambos márgenes.

Respecto al **tercer objetivo específico**, se comparan los modelos y se concluye que IBER es el más representativo, dado que ofrece una alternativa más eficaz para modelar ríos con geometrías más irregulares, en las que el manejo del terreno como una malla de volúmenes finitos interconectados recrea de forma más eficaz el suceso que el manejo de secciones

vinculadas entre sí. Así, el agua fluye por el terreno, basándose en las ecuaciones de comportamiento establecidas, en cambio Hec-RAS lo considera como un camino preestablecido.

Respecto al **cuarto objetivo específico**, se presentó como propuesta de optimización el diseño hidráulico de un dique enrocado con 4.50 m de promedio de altura y un ancho de 4.50 m, tanto en la parte derecha como en la izquierda del margen, el cual encauza el río con la finalidad de que no ocurra inundación.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda tener la información pluviométrica actualizada. A su vez considerar la mayor cantidad de estaciones situadas en el interior y exterior de la cuenca, dado que es un indicador esencial para calcular los caudales picos en el modelo hidrológico HEC-HMS.

- Esta investigación realiza una comparación de modelación hidráulica mediante HEC-RAS 2D e IBER 2D brindando oportunidades de investigación a futuro, relacionadas a la gestión de riesgos hidrológicos e hidráulicos como la implementación de sistemas de alerta temprana y enfoques comunitarios participativos, de tal forma que exista una mejor resiliencia ante fenómenos hidrológicos.

- Se verificó que el programa IBER 3.3.2 es una opción eficiente de modelar flujos y representa una alternativa más favorable para modelaciones de ríos con geometrías más irregulares.

- El río Tambo es un río encauzado (puesto a que tiene filos artificiales), y en máximas avenidas el río ha venido arrastrando las diferentes defensas aplicadas, que fueron enrocados, rocas al volteo, por lo cual es muy probable que suba su nivel y se desborde con facilidad. Es por ello que, se recomienda realizar una descolmatación seguida, lo cual a su vez ayudara a disminuir el ángulo aguas arriba.

REFERENCIAS

- Aguilar Chávez, A. E. (2017). Delimitación de la Faja Marginal del Río Yarabamba y Diseño de Defensas Ribereñas como Protección de Infraestructura Hidráulica Vulnerable del Río Yarabamba, Perteneciente a los Distritos de Yarabamba, Quequeña, Socabaya y Jacobo Hunter–Provincia de Arequipa–Arequipa.
- Alaya García, E., & Riquero Miranda, W. G. (2021). Caracterización de los modelamientos hidráulicos numéricos de inundaciones fluviales, Cajamarca 2020.
- Apaza, T. (2012). Gestión de Riesgo.
- Bonasia, R., & Ceragene, M. (2021). Hydraulic numerical simulations of the sabana river floodplain, Mexico, as a tool for a flood terrain response analysis [Article]. *Water (Switzerland)*, 13(24), Article 3516. <https://doi.org/10.3390/w13243516>
- Calderón, R. R. (2023). Creación del servicio de protección en el río Tambo en el sector El Carmen El Toro, Distrito de Cocachacra, Provincia Islay, Región Arequipa CUI N° 2329432.
- Ccancapa Puma, J. (2019). Modelamiento Hidrológico e Hidráulico Aplicado a la Delimitación de la Faja Marginal Yumina–Socabaya (Km 12+ 500.00) y Protección Contra Inundaciones en Máximas Avenidas en el Distrito de Socabaya, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa.
- CENEPRED, C. (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales. *Lima, Perú*.
- Chacon Lima, D. (2023). Comparación entre el modelamiento hidráulico con flujo Newtoniano y no Newtoniano en la quebrada Amoray en Apurímac, Perú.
- Chalco Gutierrez, G. M. (2022). Determinación de características fisicoquímicas ambientales en el Río Tambo, Provincia Islay, Arequipa.
- Coloma Laimito, A. P. (2015). Simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo, sector Santa Rosa, distrito de Cocachacra, provincia de Islay, departamento de Arequipa.
- Doan, M. J. F. J. H. (2013). HEC-GeoHMS Geospatial Hydrology Extension. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf
- Duque-Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (2019). Evaluación del sistema de modelamiento hidrológico HEC-HMS para la simulación hidrológica de una microcuenca andina tropical. *Información tecnológica*, 30(6), 351-362.
- Espinoza Vigil, A. J., & Booker, J. (2023). Hydrological Vulnerability Assessment of Riverine Bridges: The Bajo Grau Bridge Case Study [Article]. *Water (Switzerland)*, 15(5), Article 846. <https://doi.org/10.3390/w15050846>
- Fraga, I., Cea, L., & Puertas, J. (2020). MERLIN: a flood hazard forecasting system for coastal river reaches [Article]. *Natural Hazards*, 100(3), 1171-1193. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03855-7>
- Galanton, E., & Romero, L. (2007). *Descripción de las defensas ribereñas*
- Garrote, J., Alvarenga, F. M., & Díez-Herrero, A. (2016). Quantification of flash flood economic risk using ultra-detailed stage–damage functions and 2-D hydraulic models [Article]. *Journal of Hydrology*, 541, 611-625. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.006>
- Gashu, M. W., Sintayehu, G., Belayneh, A., & Munye, K. (2023). Assessment of River Bank Overtopping the Problem Using HEC-RAS (in the case of Sedie River, Abbay Basin,

- Ethiopia) [Article]. *Water Conservation Science and Engineering*, 8(1), Article 28. <https://doi.org/10.1007/s41101-023-00197-w>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 6). México: McGraw-Hill.
- Knebl, M. R., Yang, Z. L., Hutchison, K., & Maidment, D. R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/ RAS: A case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event [Article]. *Journal of Environmental Management*, 75(4 SPEC. ISS.), 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.024>
- Mamani Mamani, L. M. Modelación hidrológica e hidráulica bidimensional del río Cabanillas tramo puente–bocatoma Cabanilla, utilizando el modelo HEC-RAS 2D.
- Maurtua, M. P., & Zelada, C. V. (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 6(1). <https://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/544>
- MTC, M. d. (2012). Manual de hidrología, Hidráulica y Drenaje. *Ministerio de Transportes y comunicaciones del Perú*. <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>
- Núñez Juárez, S., & Gomez Velásquez, H. D. (2012). Estudio hidrogeológico de la cuenca del río Tambo. Reporte preliminar de zonas críticas por peligro geológico cuenca del río Tambo. Regiones Arequipa, Moquegua y Puno.
- Ordóñez, J. (2011). ¿Qué es una cuenca hidrológica? Cartilla Técnica. *Lima, Perú: Sociedad Geológica de Lima*. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Pinos, J., & Timbe, L. (2019). Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins [Article]. *Water Science and Engineering*, 12(1), 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.03.001>
- Rivera, M., Vílchez, M., & Vela, J. (2018). Peligros por huaicos en la ciudad de Arequipa. *Taller Internacional Fortalecimiento de Capacidades Para Mitigar Los Impactos de Huaicos En Perú*.
- Sardon Quispe, H. M., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2022). Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú, estudio final.
- Scharffenberg, W. (2016). Hydrologic Modeling System. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf
- Supremo, W. (2019). RESOLUCIÓN DIRECTORAL W JC} 0!-2019-ANA-AAA-CH. CH lea. lea, 2, 2.
- Tarabochia, M. (2014). Perú es el tercer país más vulnerable del mundo al cambio climático.
- Vargas, P. (2009). El cambio climático y sus efectos en el Perú. *Lima: Banco Central de Reserva del Perú*.
- Vide, J. P. M. (2009). *Ingeniería de ríos* (Vol. 9). Univ. Politèc. de Catalunya. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=DI DodO5iHEYC&oi=fnd&pg=PT6&dq=rio+definicion+libro&ots=FvYr1IA-d5&sig=axjAHY-TBaqdAytHs-5bGZNvHBo&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Zucarelli, A., Paris, M., & Macor, J. (2014). Utilización de kriging para la elaboración de curvas isohietas de precipitación mensual en la Provincia de Santa Fe, Argentina. *2do*

Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Instituto Nacional del Agua (INA). <http://www.tvdigitalargen.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje3/3.39.pdf>



ANEXOS

Panel fotográfico

-Levantamiento con dron



-Levantamiento con dron

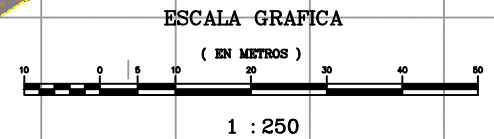
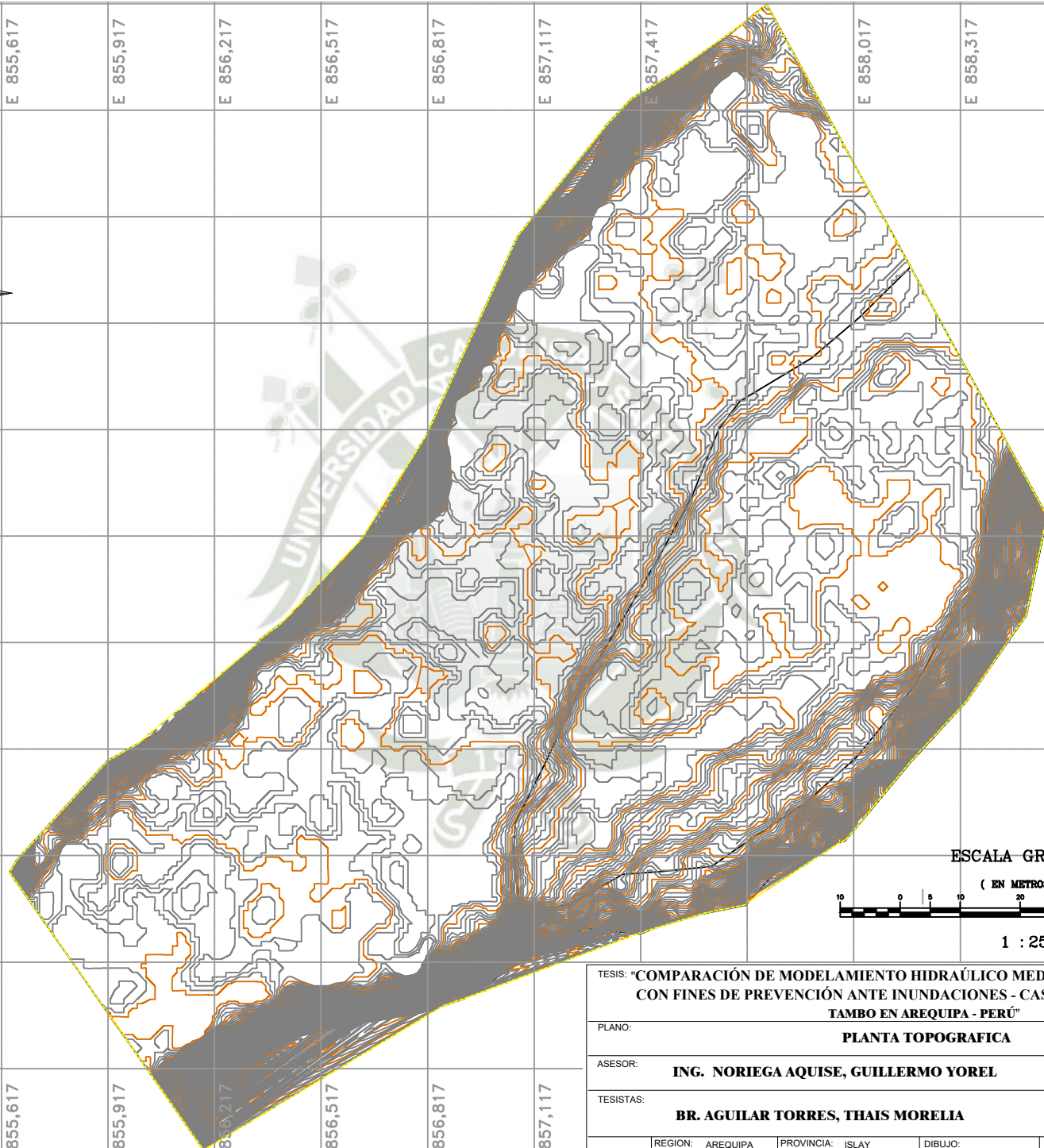
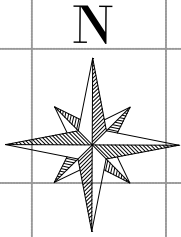


-Fotogrametría del tramo de estudio.



-Fotogrametría del tramo de estudio.





854,717	855,017	855,317	855,617	855,917	856,217	856,517	856,817	857,117	857,417	858,017	858,317	858,617	858,917	859,217
8'118,525														8'118,525
														8'118,225
														8'117,925
														8'117,625
														8'117,325
														8'117,025
														8'116,725
														8'116,425
														8'116,125
														8'115,825
854,717	855,017	855,317	855,617	855,917	856,217	856,517	856,817	857,117						
8'115,525														

TESIS: "COMPARACIÓN DE MODELAMIENTO HIDRÁULICO MEDIANTE HEC-RAS E IBER CON FINES DE PREVENCIÓN ANTE INUNDACIONES - CASO DE ESTUDIO DEL RÍO TAMBO EN AREQUIPA - PERÚ"

PLANO: **PLANTA TOPOGRAFICA**

ASESOR: **ING. NORIEGA AQUISE, GUILLERMO YOREL**

TESISTAS: **BR. AGUILAR TORRES, THAIS MORELIA**

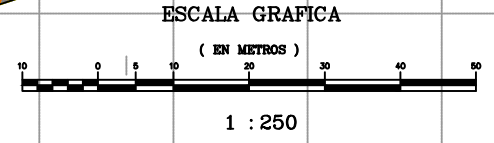
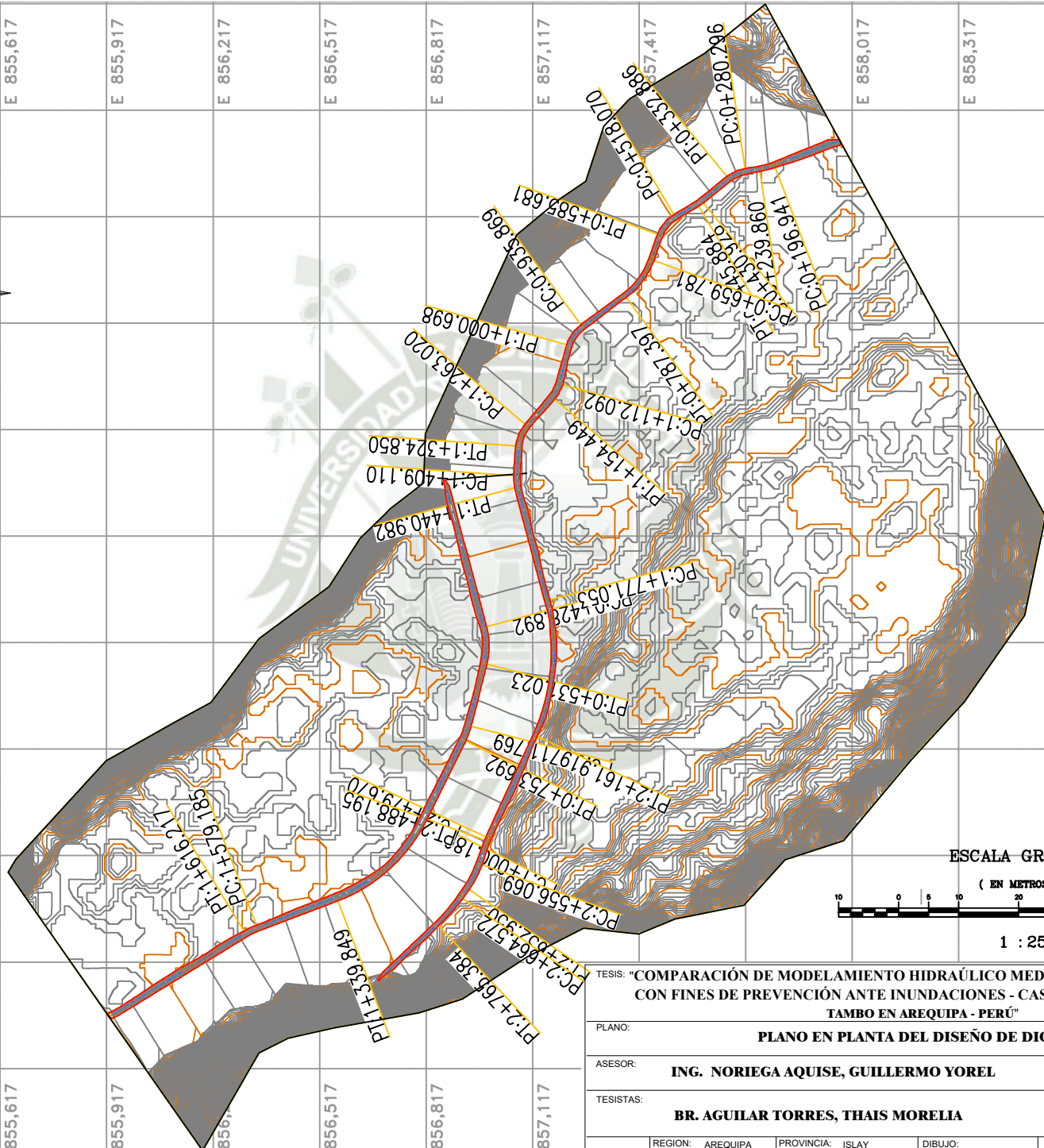
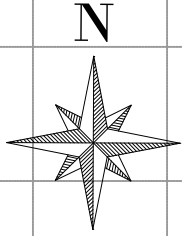
UBICACIÓN	REGION: AREQUIPA DPTO: AREQUIPA	PROVINCIA: ISLAY DISTRITO: COCACHACRA	DIBUJO: TM	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA
-----------	------------------------------------	--	------------	------------------------------------

ESCALA: **1/250**

FECHA: **ENERO 2024**

LAMINA: **P-01**

1 DE 1



TESIS: "COMPARACIÓN DE MODELAMIENTO HIDRÁULICO MEDIANTE HEC-RAS E IBER CON FINES DE PREVENCIÓN ANTE INUNDACIONES - CASO DE ESTUDIO DEL RÍO TAMBO EN AREQUIPA - PERÚ"				
PLANO: PLANO EN PLANTA DEL DISEÑO DE DIQUE ENROCADO				
ASESOR: ING. NORIEGA AQUISE, GUILLERMO YOREL				
TESISISTAS: BR. AGUILAR TORRES, THAIS MORELIA				
UBICACIÓN	REGION: AREQUIPA	PROVINCIA: ISLAY	DIBUJO: TM	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA
	DPTO: AREQUIPA	DISTRITO: COCACHACRA		

ESCALA:	1/250
FECHA:	ENERO 2024
LAMINA:	PD-01
	1 DE 1