

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS:**

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E  
IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE  
LUCRE - PROVINCIA DE QUISPICANCHIS – CUSCO - 2022

**PRESENTADO POR:**

Br. SELENE JUDITH VARGAS YANA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO GEOLOGO**

**ASESOR:**

Mg. RONALD LUIS LOPEZ ZAPANA

**CUSCO – PERÚ**

**2023**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LLARE, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS - CUSCO, 2023 presentado por: SELENE JUDITH VARGAS VANA con DNI Nro.: 75998513 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al Inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el Informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente Informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de OCTUBRE de 2023

  
Firma  
Post firma Pamela Lopez Zapana  
Nro. de DNI 23923900

ORCID del Asesor 0000-0003-0148-6535

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: DID:27259.277969353

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS ANALISIS COMPARATIVO ENTRE  
LOS MODELOS HIDRAULICOS HEC-RAS  
E IBER PARA LA ZONIFICACION DE ARE  
A**

AUTOR

**SELENE JUDITH VARGAS YANA**

RECuento de palabras

**33466 Words**

RECuento de caracteres

**192896 Characters**

RECuento de páginas

**191 Pages**

Tamaño del archivo

**17.9MB**

Fecha de entrega

**Oct 17, 2023 9:18 AM GMT-5**

Fecha del informe

**Oct 17, 2023 9:21 AM GMT-5**

● **5% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo de tesis lo dedico a Dios, que me ha guiado y protegido en cada etapa de mi vida, brindándome la sabiduría necesaria para superar cada obstáculo y cumplir mis metas.*

*A mi amada madre Yolanda Yana Miranda, quien es mi mayor ejemplo de fortaleza, que con su inmenso amor me brinda su apoyo incondicional dándome consejos, inculcándome buenos valores y principios.*

*Siendo ella quien confió en mí y en mis capacidades, este logro se lo debo a ella por ser mi mayor aliciente para cumplir este objetivo para orgullo mío y de ella. A mis hermanos William, Axcel y Shianira por sus palabras de motivación, aliento y compañía.*

*A mis familiares y amigos que estuvieron presentes en esta etapa de mi vida aportándome enseñanzas invaluable, compartiendo momentos únicos que perdurarán conmigo a lo largo de mi vida.*

***Selene Judith Vargas Yana***

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradezco a mi padre celestial; Jehová Dios, que ha forjado mi camino guiándome, protegiéndome y permitirme aprender de cada situación que se presenta en mi vida.

Mi agradecimiento a mi madre, hermanos y demás familiares por su comprensión y apoyo incondicional.

A la tricentenaria casa de estudios Universidad San Antonio Abad del Cusco, por abrirme sus puertas, permitirme crecer y desarrollarme profesionalmente.

Así mismo a mis distinguidos docentes que forman parte de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica; escuela profesional de Ingeniería Geológica quienes me han aportado sus conocimientos y experiencia durante esta etapa estudiantil, así mismo incentivarne a seguir creciendo profesionalmente.

Al ing. Yozman E. Soncco por su apoyo durante todo este proceso y ser parte de este logro, por sus consejos, recomendaciones y paciencia.

Finalmente agradezco a mis amigos y compañeros de clase, con quienes compartí esta etapa universitaria, donde tuvimos distintas vivencias tanto académicas como sociales. Aprendimos y compartimos juntos, las amanecidas y momentos de diversión; siempre apoyándonos, dándonos ánimos, consejos, “terapias”; crecimos juntos y lo seguiremos haciendo. Gracias por todo.

## RESUMEN

Las inundaciones se han reportado como un problema recurrente en nuestro país. Este proyecto de tesis tiene como objetivo realizar un análisis comparativo entre dos modelos hidráulicos, HEC-RAS e IBER; estos dos modelos se crearon para realizar simulaciones de eventos de inundaciones. El caso de la aplicación fue el distrito de Lucre, en la cuenca del Huatanay identificado con el código 49949776, posee un área de 3665.45 km<sup>2</sup> y un perímetro de 128.78 km. Así mismo se hizo la estimación de caudales máximos con los datos de precipitaciones máximas, obteniéndose valores de 88 m<sup>3</sup>/s (TR =50 años) y 118 m<sup>3</sup>/s (TR=100 años). La primera parte del estudio consistió en un estudio geológico y caracterización litoestratigráfica, luego el análisis de modelos hidráulicos donde observamos que el modelo HEC-RAS se basa en diferencias finitas para resolver las ecuaciones hidrodinámicas que nos permitan pronosticar el comportamiento del agua. Por otro lado, IBER utiliza volúmenes finitos. Ambos modelos se realizaron para dos períodos de retorno de 50 y 100 años.

Finalmente se concluye que HEC-RAS nos brinda información más rápido que IBER al menos 1 hora de diferencia, aunque IBER es más propio de simulación en ríos con comportamiento meándrico donde HEC -RAS tiene una tendencia a sobreestimar algunos parámetros hidrodinámicos para proporcionar una información adecuada.

*Palabra clave:* Flujo, simulación hidráulica, río, HEC-RAS, IBER.

## ABSTRACT

Floods has been reported as a recurrent problem in our country. This thesis project aims to perform a comparative analysis between two hydraulics models, HEC-RAS and IBER; these two models were created to make simulations of floods events. The case of application was Lucre District, in the channel of Huatanay river. The first part of the study consisted in a geological and lithostratigraphic characterization, then the analysis of models. HEC-RAS is based in finite differences to solve the equations hydrodynamics to allow us to forecast the behavior of water, on the other hand IBER uses finite volumes. Both models were done for two return periods of 50 and 100 years. Finally, it is concluded that HEC-RAS gives us information faster than IBER at least 1 hour of difference, though IBER is more proper to simulation on rivers with meandric performance where HEC -RAS has a tendency to overestimate some hydrodynamics parameters to provide a suitable information.

*Key words:* Floods, hydraulic simulation, river, HEC-RAS, IBER.

## CONTENIDO

1.	CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES .....	2
1.1	UBICACIÓN.....	2
1.1.1	UBICACIÓN POLITICA Y LIMITES .....	2
1.1.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	2
1.1.3	UBICACIÓN HIDROGRAFICA .....	3
1.2	ACCESIBILIDAD .....	4
1.3	PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	5
1.3.1	DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	5
1.3.2	FORMULACION DEL PROBLEMA .....	6
1.4	VARIABLES DE INVESTIGACION .....	6
1.4.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	6
1.4.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	6
1.5	OBJETIVOS .....	7
1.5.1	OBJETIVO GENERAL .....	7
1.5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	7
1.6	HIPÓTESIS.....	8
1.6.1	HIPOTESIS GENERAL.....	8
1.6.2	HIPOTESIS ESPECIFICAS.....	8
1.7	JUSTIFICACION E IMPORTANCIA.....	9
1.8	METODOLOGIA.....	9
1.8.1	TIPO DE INVESTIGACION .....	9
1.8.2	METODO DE INVESTIGACION .....	9
1.8.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	10
1.9	MARCO TEORICO .....	10
1.9.1	GEOMORFOLOGIA .....	10
1.9.2	HIDROLOGIA.....	10
1.9.3	HIDRAULICA.....	14
1.9.4	FLUJO .....	24
1.10	MARCO CONCEPTUAL .....	29
1.11	MARCO REFERENCIAL.....	31
1.12	ANTECEDENTES (ESTUDIOS PREVIOS).....	34
1.13	ETAPAS DE LA INVESTIGACION .....	35
1.13.1	PROCEDIMIENTO .....	35
1.14	MATERIALES Y EQUIPOS.....	37
1.14.1	MATERIALES DE TRABAJO.....	37
1.14.2	EQUIPOS DE TRABAJO.....	37
2.	CAPITULO II- GEOMORFOLOGIA.....	39
2.1	GENERALIDADES .....	39



2.2	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	39
2.3	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	40
2.3.1	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES.....	42
2.3.2	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES.....	45
3.	CAPITULO III – LITOSTRATIGRAFIA.....	48
3.1	GENERALIDADES.....	48
3.2	LITOLOGIA.....	48
3.3	ESTRATIGRAFÍA.....	49
3.3.1	LITOSTRATIGRAFÍA REGIONAL.....	50
3.3.2	LITOSTRATIGRAFÍA LOCAL.....	52
4.	CAPITULO IV – HIDROLOGIA.....	58
4.1	GENERALIDADES.....	58
4.2	PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA 49949776.....	59
4.2.1	PARAMETROS DE FORMA.....	61
4.2.2	PARAMETROS DE RELIEVE.....	61
4.3	PARAMETROS HIDROMETEOROLOGICOS DE LA CUENCA 49949776.....	68
4.3.1	REGISTRO DE PRECIPITACIONES.....	68
4.3.2	TEMPERATURA MEDIA MENSUAL.....	69
4.3.3	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL.....	69
4.3.4	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL.....	70
4.3.5	HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL.....	71
4.3.6	EVAPORACION MEDIA MENSUAL.....	72
4.4	ESTIMACION DE CAUDALES EXTREMOS.....	72
4.4.1	ANALISIS DE EVALUACION DE LOS DATOS METEOROLOGICOS.....	73
4.4.2	MODELOS DE DISTRIBUCION.....	74
4.4.3	PRECIPITACION EXTREMA Y PERIODOS DE RETORNO.....	76
4.4.4	CURVAS IDF.....	77
4.4.5	HIETOGRAMA DE PRECIPITACION.....	80
4.5	GENERACION DE CAUDALES MAXIMOS.....	82
4.6	OFERTA HIDRICA.....	85
4.7	CAUDAL ECOLOGICO.....	87
4.8	DEMANDA HIDRICA.....	87
4.9	BALANCE HIDRICO.....	89
5.	CAP V: MODELO HIDRAULICO HEC-RAS.....	92
5.1	GENERALIDADES.....	92
5.2	MODELO UNIDIMENSIONAL DE HEC – RAS.....	92
5.2.1	PROCESAMIENTO.....	93
5.2.2	VISUALIZACION DE RESULTADOS.....	95
5.3	MODELO BIDIMENSIONAL DE HEC – RAS.....	97

5.3.1	PRE PROCESAMIENTO .....	97
5.3.2	PROCESAMIENTO .....	102
5.3.3	POST PROCESO .....	106
6.	CAP VI: MODELO HIDRAULICO IBER.....	109
6.1	GENERALIDADES .....	109
6.2	MODELO BIDIMENSIONAL DE IBER .....	109
6.2.1	PRE PROCESAMIENTO .....	110
6.2.2	PROCESAMIENTO .....	112
6.2.3	POST PROCESO .....	116
7.	CAP VII: ANALISIS COMPARATIVO.....	119
7.1	GENERALIDADES.....	119
7.2	ANALISIS HIDRAÚLICO.....	119
7.3	COEFICIENTE DE MANNING.....	120
7.4	MALLADO.....	121
7.5	HIDROGRAMAS .....	122
7.6	NUMERO DE FROUDE.....	124
7.7	NUMERO DE COURANT (Courant-Friedrichs-Levy).....	129
7.8	VELOCIDAD DE FLUJO .....	131
7.9	TIRANTE DE AGUA .....	136
7.10	COTA DE AGUA .....	141
7.11	ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES .....	142
7.12	TIEMPO DE SIMULACION .....	144
8.	CONCLUSIONES.....	146
9.	RECOMENDACIONES.....	148
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	150

## Lista de Tablas

Tabla 1 Vía de acceso de Cusco al distrito de Lucre.....	4
Tabla 2 Operacionalización de Variables.....	7
Tabla 3 Valores n obtenidos de la ecuación de Manning.....	19
Tabla 4 Valores de áreas de pendientes en la zona de estudio.....	41
Tabla 5 Caracterización fisiográfica de la zona de estudio.....	43
Tabla 6 Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	43
Tabla 7 Parámetros de forma de la cuenca 49949776.....	61
Tabla 8 Parámetros de relieve.....	61
Tabla 9 Histograma de frecuencias altimétricas.....	62
Tabla 10 Clasificación de pendientes en la cuenca 49949776.....	63
Tabla 11 Curva Hipsométrica.....	64
Tabla 12 Pendiente media del río.....	66
Tabla 13 Parámetros de drenaje.....	67
Tabla 14 Parámetros estadísticos de precipitaciones máximas 24 horas.....	73
Tabla 15 Prueba de datos dudosos.....	74
Tabla 16 Resultados del ajuste de distribución.....	75
Tabla 17 Bondad de ajuste de las distribuciones estadísticas.....	76
Tabla 18 Periodos de retorno y precipitaciones máximas.....	76
Tabla 19 Precipitaciones de diseño para duraciones menores a 24 horas.....	77
Tabla 20 Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas.....	77
Tabla 21 Regresión lineal para distintos periodos de retorno.....	78
Tabla 22 Curva de Intensidad frecuencia.....	79
Tabla 23 Resumen de Caudales máximos para distintos periodos de retorno.....	85
Tabla 24 Generación de caudales para la cuenca 49949776 mensualmente.....	86
Tabla 25. Caudal ecológico generado para la cuenca 49949776.....	87
Tabla 26. Cedula de cultivo.....	88
Tabla 27 Evapotranspiración.....	88
Tabla 28. Caudales obtenidos para la cuenca 49949776.....	89
Tabla 29. Balance Hídrico.....	90
Tabla 30 Coeficiente de Rugosidad de Manning según el uso de suelo.....	101
Tabla 31 Comparación de los valores de Manning.....	120
Tabla 32 Mallado para periodo de retorno 50 años.....	121
Tabla 33 Mallado para periodo de retorno 100 años.....	122
Tabla 34 Caudal máximo en los hidrogramas.....	122
Tabla 35 Caudal máximo y mínimo para periodo de retorno de 50 años.....	123
Tabla 36 Caudal máximo y mínimo para periodo de retorno de 100 años.....	123
Tabla 37 Numero de Froude periodo de retorno 50 años.....	124
Tabla 38 Número de Froude periodo de retorno 100 años.....	126
Tabla 39 Valores de Froude en el cauce de río.....	128
Tabla 40 Numero de Courant-Friedrich-Levy.....	130
Tabla 41 Velocidad de flujo periodo de retorno de 50 años.....	132
Tabla 42 Velocidad de flujo periodo de retorno de 100 años.....	133
Tabla 43 Velocidad de flujo en el cauce de río.....	135
Tabla 44 Tirante de agua periodo de retorno de 50 años.....	136
Tabla 45 Tirante de agua para el periodo de retorno de 100 años.....	138
Tabla 46 Tirante de agua en el cauce de río.....	139
Tabla 47 Cota de agua a lo largo de río.....	141
Tabla 48 Tiempos de simulación con los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.....	145
Tabla 49 Tiempo de simulación para periodo de retorno de 50 años.....	145
Tabla 50 Tiempo de simulación para periodo de retorno de 100 años.....	145

## Lista de Figuras

Figura 1 Plano de ubicación de la Zona de Estudio .....	3
Figura 2 Accesibilidad a la zona de estudio.....	4
Figura 3. Cuenca codificada nivel 4.....	11
Figura 4 Tipos de malla.....	15
Figura 5 Tipos de flujos en canales abiertos.....	16
Figura 6 Comportamiento de fluido según tipo de régimen.....	18
Figura 7 Flujo en tubería y canales abiertos.....	24
Figura 8 Elementos geométricos de un canal.....	27
Figura 9 Elementos geométricos de canal.....	28
Figura 10 Resalto Hidráulico.....	31
Figura 11 Unidades geomorfológicas de la ciudad del Cusco.....	40
Figura 12 Diagrama circular de las pendientes de la zona de estudio.....	41
Figura 13 Pendientes en la zona de estudio.....	42
Figura 14 Unidades geomorfológicas del área de estudio.....	44
Figura 15 Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales.....	49
Figura 16 Unidades litoestratigráficas.....	50
<b>Figura 17 Unidades litoestratigráficas locales.....</b>	<b>53</b>
Figura 18. Mapa base U.H. 49949776.....	59
Figura 19. Clasificación Pfaster de las unidades hidrográficas de la cuenca Urubamba.....	60
Figura 20. Unidades hidrográficas de la cuenca 4994977.....	60
Figura 21 Histograma de frecuencias altimétricas.....	63
Figura 22. Mapa de pendientes de la unidad Hidrográfica.....	64
Figura 23 Curva Hipsométrica.....	65
Figura 24 Perfil longitudinal del Rio Huatanay.....	67
Figura 25 Comportamiento de precipitación mensual en la cuenca 49949776.....	68
Figura 26 Comportamiento de la precipitación media mensual en la cuenca 49949776.....	69
Figura 27 Comportamiento de la temperatura máxima media mensual en la cuenca 49949776.....	70
Figura 28 Comportamiento de la temperatura mínima media mensual en la cuenca 49949776.....	70
Figura 29 Correlación de las temperaturas medias mensuales en la cuenca 49949776.....	71
Figura 30 Comportamiento de la humedad relativa media mensual en la cuenca 49949776.....	71
Figura 31 Comportamiento de la humedad media mensual y diaria en la cuenca 49949776.....	72
Figura 32 Análisis de datos dudosos de precipitaciones máximas.....	74
Figura 33 Distribución de densidades de probabilidad.....	75
Figura 34 Curva IDF.....	79
Figura 35 Hietograma de Precipitación Para 500 años.....	80
Figura 36 Hietograma de precipitación para un periodo de 100 años.....	81
Figura 37 Comparación de Hietogramas de precipitación máximas.....	81
Figura 38 Modelado hidrológico e hidráulico de la cuenca 49949776.....	82
Figura 39 Resultados del modelamiento para 50 años de retorno.....	83
Figura 40 Resultados del modelamiento para 100 años de retorno.....	84
Figura 41 Resultados del modelamiento para 200 años de retorno.....	84
Figura 42 Resultados del modelamiento para 500 años de retorno.....	85
Figura 43 Comportamiento de los datos de caudal generado.....	86
Figura 44. Curva de persistencia de caudales generados.....	89
Figura 45 Balance hídrico para la cuenca 49949776.....	90
Figura 46 Geometría de cauce de rio en Ras - Mapper.....	93
Figura 47 Caudales para los periodos de retorno 50 y 100 años.....	93
Figura 48 Condiciones de borde para flujo permanente.....	94
Figura 49 Condiciones de simulación.....	94
Figura 50 Sección 1605 (TR= 50 y 100 años).....	95
Figura 51 Áreas inundables modelo unidimensional HEC-RAS.....	96
Figura 52 Ortofoto.....	97
Figura 53 Curvas de Nivel.....	98
Figura 54 Modelo digital de elevación (DEM).....	98

Figura 55 Hidrograma de entrada de 50 años .....	99
Figura 56 Hidrograma de entrada de 100 años .....	99
Figura 57 Caracterización de los valores de Manning .....	102
Figura 58 Terreno.....	103
Figura 59 Malla en Ras Mapper.....	104
Figura 60 Condiciones de contorno.....	104
Figura 61 Condiciones de contorno.....	105
Figura 62 Intervalo de tiempo de computo.....	106
Figura 63 Tirante de agua (Depth) .....	107
Figura 64 Velocidad de Flujo (Velocity).....	107
Figura 65 Elevación superficial de agua.....	108
Figura 66 Visualización 3D .....	108
Figura 67 Modelo de Elevación Digital .....	110
Figura 68 Hidrograma del periodo de retorno de 50 años .....	111
Figura 69 Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	111
Figura 70 Caracterización de zonas con los valores de manning.....	112
Figura 71 Data geométrica.....	112
Figura 72 Asignación de condiciones de contorno. ....	113
Figura 73 Condiciones de contorno salida y entrada.....	114
Figura 74 Hidrograma de entrada.....	114
Figura 75 Malla de cómputo. ....	115
Figura 76 Parámetros de tiempo.....	116
Figura 77 Calado o tirante de agua.....	117
Figura 78 Número de Froude.....	117
Figura 79 Velocidades de flujo. ....	118
Figura 80 Cota de agua.....	118
Figura 81 Coeficiente “n” de Manning.....	121
Figura 82 Hidrogramas del periodo de retorno de 50 años.....	123
Figura 83 Hidrogramas del periodo de retorno de 100 años.....	124
Figura 84 Valores de Froude periodo de retorno 50 años modelo HEC-RAS.....	125
Figura 85 Valores de Froude periodo de retorno 50 años modelo IBER .....	125
Figura 86 Valores de Froude periodo de retorno 100 años modelo HEC-RAS.....	126
Figura 87 Valores de Froude periodo de retorno 100 años modelo IBER .....	127
Figura 88 Valores de Froude en al cauce de rio para periodo de 50 años. ....	128
Figura 89 Valores de Froude en al cauce de rio para periodo de 100 años. ....	129
Figura 90 Numero de Courant periodo de 50 años en HEC-RAS .....	130
Figura 91 Numero de Courant periodo de 100 años en HEC-RAS .....	131
Figura 92 Velocidad de flujo para el periodo de 50 años en HEC-RAS .....	132
Figura 93 Velocidad de flujo para el periodo de 50 años en IBER.....	133
Figura 94 Velocidad de flujo para el periodo de 100 años en HEC-RAS .....	134
Figura 95 Velocidad de flujo para el periodo de 100 años en IBER.....	134
Figura 96 Velocidad de flujo en el cauce de rio para periodo de 50 años.....	135
Figura 97 Valores velocidad de flujo en al cauce de rio para periodo de 100 años.....	136
Figura 98 Tirante de agua para el periodo de 50 años en HEC-RAS.....	137
Figura 99 Tirante de agua para el periodo de 50 años en IBER .....	137
Figura 100 Tirante de agua para el periodo de 100 años en HEC-RAS.....	138
Figura 101 Tirante de agua para el periodo de 100 años en IBER .....	139
Figura 102 Tirante de agua en el cauce de rio para periodo de 50 años.....	140
Figura 103 Tirante de agua en al cauce de rio para periodo de 100 años.....	140
Figura 104 Cotas de agua a lo largo del cauce del rio periodo de retorno 50 años.....	141
Figura 105 Cotas de agua a lo largo del cauce del rio periodo de retorno 100 años.....	142
Figura 106 Áreas inundables.....	143
Figura 107 Zonificación de áreas inundables periodo de retorno de 50 años.....	143
Figura 108 Zonificación de áreas inundables periodo de retorno de 100 años.....	144
Figura 109 Entorno del modelo hidráulico HEC-RAS (TR=50 años).....	159
Figura 110 Condiciones de flujo no permanente (TR= 50 años).....	159

Figura 111 Hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 50 años).....	159
Figura 112 Volumen total del hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 50 años).....	160
Figura 113 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=50 años).....	160
Figura 114 Tamaño de malla cauce de rio HEC-RAS (TR=50 años).....	160
Figura 115 Velocidad de flujo en HEC-RAS (TR=50 AÑOS).....	160
Figura 116 Tirante de agua en HEC-RAS (TR=50 AÑOS).....	160
Figura 117 Cota de agua en HEC-RAS (TR=50 AÑOS).....	161
Figura 118 Numero de Froude en HEC-RAS (TR=50 AÑOS).....	161
Figura 119 Número de Courant en HEC-RAS (TR=50 AÑOS).....	161
Figura 120 Condiciones de flujo no permanente (TR = 100 años).....	161
Figura 121 Hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 100 años).....	162
Figura 122 Volumen total del hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 100 años).....	162
Figura 123 Condiciones de contorno HEC-RAS.....	162
Figura 124 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=100 años).....	162
Figura 125 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=100 años).....	163
Figura 126 Velocidad de flujo en HEC-RAS (TR=100 AÑOS).....	163
Figura 127 Tirante de agua en HEC-RAS (TR=100 AÑOS).....	163
Figura 128 Cota de agua en HEC-RAS (TR=100 AÑOS).....	163
Figura 129 Numero de Froude en HEC-RAS (TR=100 AÑOS).....	163
Figura 130 Número de Courant en HEC-RAS (TR=100 AÑOS).....	164
Figura 131 Mallado estructurado en HEC-RAS.....	164
Figura 132 Generación de malla en IBER.....	164
Figura 133 Tiempo y proceso de simulación (TR=50 años).....	165
Figura 134 Tiempo y proceso de simulación (TR=100 años).....	166
Figura 135 Ventana de Postproceso en IBER.....	167
Figura 136 Visualizador de resultados en IBER.....	167

## INTRODUCCIÓN

En el Perú las inundaciones se han vuelto un problema recurrente cada año, debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo (INDECI), dando efecto a estos eventos por presencia de altas precipitaciones que afectan a la población.

Actualmente ha ido incrementando el manejo de nuevos modelos hidráulicos como herramientas de soporte para la toma de decisiones. Los modelos se han vuelto de gran importancia para garantizar, de manera más fácil y rápida, simulaciones de eventos futuros, así como también generación de estructuras (puentes, presas...) además nos permiten tener una reacción rápida y segura frente a una situación de emergencia.

Para este proyecto se estudiará los modelos HEC-RAS e IBER, siendo estos los más utilizados por su capacidad de simulación y calidad de resultados además de ser accesibles. HEC-RAS fue desarrollado por Hydrologic Engineering Center of US Army Corps of Engineers, para poder adecuar simular el comportamiento de los fluidos basados en modelos matemáticos simulando un comportamiento unidimensional y bidimensional. IBER fue desarrollado por cooperación de entidades públicas: Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC). IBER trabaja el comportamiento de los fluidos dando un comportamiento bidimensional para la simulación de fenómenos hidráulicos.

En este proyecto se analizarán la capacidad de simulación de zonas inundables de cada uno de estos modelos, para posteriormente realizar una comparación de los resultados que ofrecen. Para ello se evaluará primeramente el entorno de la zona, siguiendo con el ingreso de datos obtenidos concluyendo con la simulación y resultados, dando a conocer las diferencias más resaltantes entre ambos modelos.

## **1. CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 UBICACIÓN**

#### ***1.1.1 UBICACIÓN POLITICA Y LIMITES***

- Departamento: Cusco
- Provincia : Quispicanchis
- Distrito : Lucre

Podemos apreciar la zona de estudio en la figura 1 que corresponde al mapa de ubicación.

La zona limita con los siguientes:

- Por el Norte : Distrito de Oropesa
- Por el este : Distrito de Caycay
- Por el Oeste : Provincia de Acomayo
- Por el Sur : Distrito de Andahuaylillas.

#### ***1.1.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA***

- DATUM : WGS84
- ZONA : 19 L

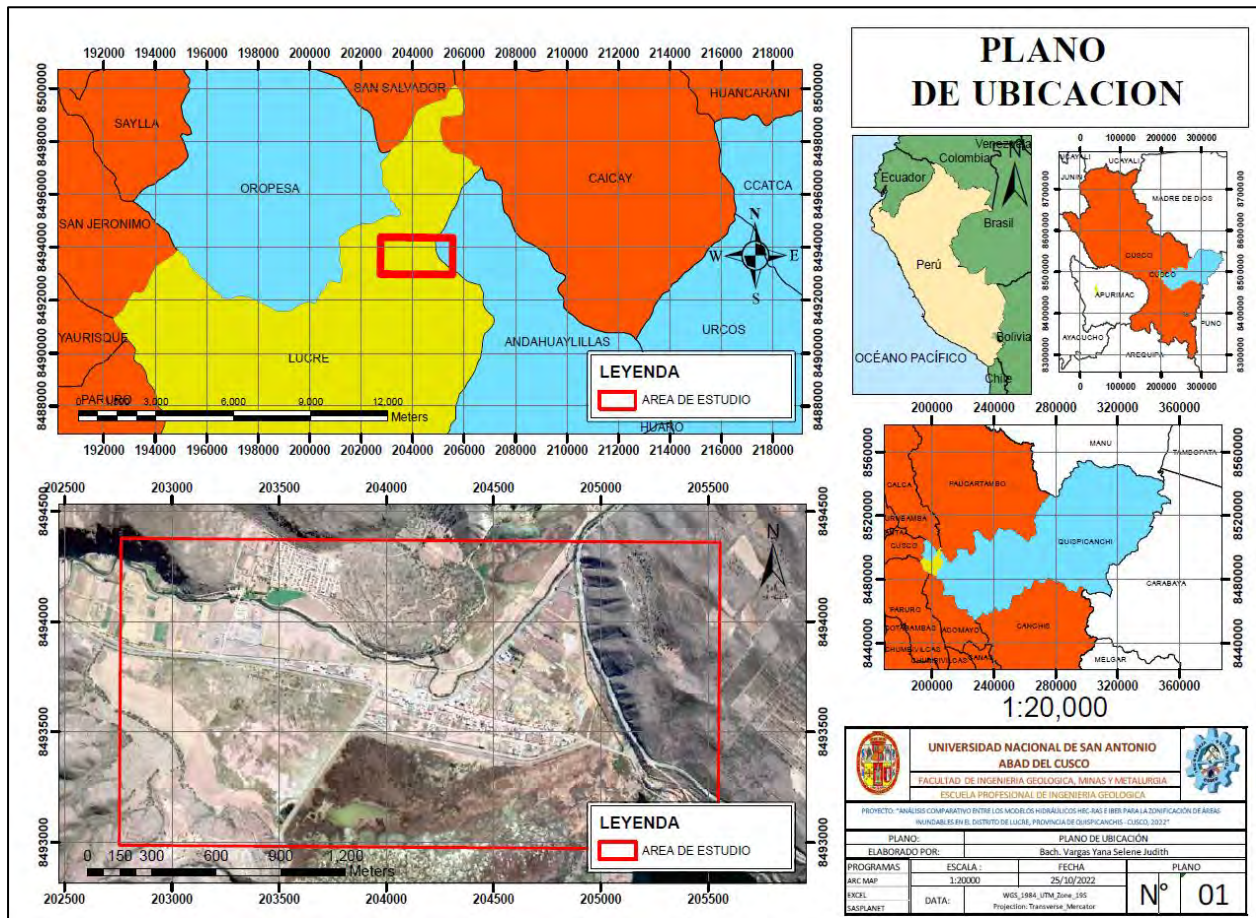


- NORTE : 8494012.43 m
- ESTE : 203497.79 m
- ALTITUD : 3099 msnm

### 1.1.3 UBICACIÓN HIDROGRAFICA

- Microcuenca : Lucre
- Cuenca : Huatanay
- Región Hidrográfica : Vilcanota

Figura 1 Plano de ubicación de la Zona de Estudio



Nota. Mapa de ubicación. Ver ANEXO 2 plano 1 ( Elaboracion propia)

## 1.2 ACCESIBILIDAD

La accesibilidad al Distrito de Lucre es a través de la Carretera 3S Cusco - Paucartambo, aproximadamente a 31.7 kilómetros de la Ciudad de Cusco (figura 2) con un tiempo estimado de 1 hora (tabla 1).

Figura 2 Accesibilidad a la zona de estudio.



**NOTA. Vía de acceso a la zona de estudio.**

Tabla 1 Vía de acceso de Cusco al distrito de Lucre

ACCESO AL AREA DE ESTUDIO				
DESDE	HASTA	VIA	Km	Tiempo
Cusco	Distrito de Lucre	Afirmado	31.7	1 h.
		TOTAL	31.7	1 hora

**Nota. Accesibilidad a la zona de estudio. (Elaboración propia).**

## **1.3 PLATEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### ***1.3.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA***

En la actualidad debido al cambio climático se estima que los eventos relacionados a las precipitaciones se harán presentes con mayor frecuencia (Chen, 2019). En las distintas regiones el Perú se han presentado varios fenómenos de esta naturaleza, como lo ocurrido el 4 de marzo del 2021 en el distrito de Andahuaylas – Apurímac; donde se vieron afectadas 10 viviendas, un puente peatonal y los servicios de agua potable (INDECI); vemos estos acontecimientos como efecto de falta información para prevenir a la población de la existencia de las áreas inundables.

Para la zonificación áreas inundables se han implementado modelos hidráulicos que permiten la simulación de estos eventos de manera más fácil y sencilla. Existe gran variedad de softwares disponibles, entre ellos destacan HEC-RAS e IBER como los más utilizados por la gran calidad de resultados que muestran al momento de realizar la simulación, dándose a conocer como modelos hidráulicos suficientemente confiables, además de poseer un entorno de plataforma de fácil manejo y ser de uso gratuito.

Ambos modelos trabajan con parámetros de entrada previamente obtenidos. Sin embargo, siendo HEC-RAS e IBER modelos que están basados en diferentes métodos para la simulación bidimensional, su correcta aplicación se ha visto afectado por la falta de un análisis comparativo entre ambos, por ello es necesario que se evalúe aspectos fundamentales como son las ecuaciones que ejecutan, información requerida, modo de procesado de los parámetros de entrada, los resultados que se obtienen y la incertidumbre que presentan, de esta manera poder obtener un mejor criterio para una adecuada aplicación de los modelos hidráulicos y conseguir mejores resultados.

### ***1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA***

#### **1.3.2.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cuáles son las diferencias en el proceso de simulación y resultados entre modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para la zonificación de áreas inundables en el Distrito de Lucre, Provincia de Quispicanchis, Cusco?

#### **1.3.2.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS**

- ¿Cuáles son las diferencias entre los métodos empleados para la resolución de ecuaciones para la simulación de áreas inundables de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER?
- ¿Cuáles son las diferencias entre los parámetros de simulación de áreas inundables con los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER?
- ¿Cuál es la diferencia de forma y caudal pico en los hidrogramas obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER?
- ¿Cuáles son las diferencias entre los coeficientes de rugosidad de Manning utilizados en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER?
- ¿Cuál es la diferencia de los parámetros hidrodinámicos obtenidos en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER?

### **1.4 VARIABLES DE INVESTIGACION**

#### ***1.4.1 VARIABLES INDEPENDIENTES***

Modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.

#### ***1.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES***

Zonificación de áreas inundables.

Tabla 2 Operacionalización de Variables

VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	PARAMETROS	RESULTADO
Zonificación de áreas inundables	Modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER	Geomorfología	Relieve	Mapa
			Fisiografía	Geomorfológico
			Topografía	Mapa Topográfico
			Pendientes	Mapa de Pendientes
		Litoestratigráfica	Litología	Mapa litológico
			Estratigrafía	
		Hidrología	Parámetros morfométricos	Parámetros de forma
			Parámetros meteorológicos	Pendiente media
				Precipitación
		Hidráulica		
	Geometría del cauce			
	Condiciones de flujo			
	Coficiente de Manning			
			Coficiente de Froude	
				Mapa de inundaciones

**Nota. Detalle de variables que se desarrollarán en el estudio, así como las dimensiones, parámetros y los resultados finales (Elaboración propia).**

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis comparativo para determinar las diferencias durante la simulación y en los resultados entre los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para la zonificación de áreas inundables en el Distrito de Lucre – Provincia de Quispicanchis- Cusco.

### 1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las diferencias entre los métodos empleados para la resolución de ecuaciones para la simulación de áreas inundables de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.

- Determinar las diferencias entre parámetros de simulación de áreas inundables en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.
- Determinar la diferencia de forma y caudal pico en los hidrogramas obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.
- Determinar la diferencia entre los valores del coeficiente de rugosidad de Manning utilizados en el modelo hidráulico HEC-RAS e IBER.
- Determinar la diferencia entre los parámetros hidrodinámicos obtenidos de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.

## **1.6 HIPÓTESIS**

### ***1.6.1 HIPOTESIS GENERAL***

Existen diferencias considerables entre los resultados obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para la zonificación de áreas inundables debido al modo de procesamiento y a los parámetros de entrada que emplean ambos modelos.

### ***1.6.2 HIPOTESIS ESPECIFICAS***

- Los métodos empleados para la resolución de ecuaciones para la simulación de áreas inundables condicionan en gran manera la modelación hidráulica en HEC-RAS e IBER.
- Las diferencias entre los parámetros simulación de áreas inundables influyen directamente en la zonificación de áreas inundables con HEC-RAS e IBER.
- La diferencia de forma y caudal pico en los hidrogramas obtenidos varían significativamente en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.
- Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning utilizados varían en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.

- Los parámetros hidrodinámicos obtenidos varían en los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER.

## **1.7 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA**

A fin de obtener resultados más adecuados y generar un mayor criterio al emplear estos modelos hidráulicos para representar los eventos de inundación, se debe tomar consideraciones en cada modelo hidráulico como son el tipo de ecuaciones que utilizan, la información requerida con una correcta caracterización, los resultados deseados y la certeza de los modelos obtenidos. Por lo tanto, en este proyecto de tesis se busca determinar la diferencia entre los modelos hidráulicos IBER y HEC-RAS en la zonificación de áreas inundables para diferentes períodos de retorno.

## **1.8 METODOLOGIA**

### ***1.8.1 TIPO DE INVESTIGACION***

#### **EXPERIMENTAL**

El modelo experimental se da en torno a la manipulación de las variables independientes para ver el impacto que tiene en las variables dependientes (Hernández et al., 2006); basados en dicho enunciado esta investigación será del tipo experimental donde analizaremos la medida del efecto que tiene el uso correcto de los modelos hidráulicos (variable independiente) sobre la zonificación de las áreas inundables (variable dependiente).

### ***1.8.2 METODO DE INVESTIGACION***

#### **CORRELACIONAL**

Se analiza la relación que existe entre uno y otro modelo hidráulico, comparando los comportamientos de cada uno durante y post simulación.

### ***1.8.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION***

#### **CUANTITATIVO – CUALITATIVO**

Se hace uso de la recolección de datos para comprobar nuestra hipótesis, haciendo distintas mediciones (Hernández et al., 2006); tomaremos los datos obtenidos para hacer las simulaciones que posteriormente de igual forma nos brindarán datos diversos de los cuales se hará un análisis.

## **1.9 MARCO TEORICO**

### ***1.9.1 GEOMORFOLOGIA***

- **Modelado de lechos fluviales:**

Los lechos fluviales es una acción morfogénica que se da por la búsqueda de un equilibrio entre el canal y la corriente que circula a través de él, donde se presenta la interacción de procesos fluviales, y el material que se ve afectado por estos. Los ríos realizan la función de transportadores y accionadores de material que se encuentre a su disposición, relacionados a la velocidad y la turbulencia presente, teniendo como condicionantes para el modelado de su lecho por presencia de formaciones que sostienen una significativa resistencia al trabajo geomorfológico que realiza el río, de tal modo que limita y hace imperceptible el modelado, de la misma manera si se encuentran formaciones deleznable y sueltas facilitan las acciones erosivas y transportadoras, dándonos como resultado un buen ajuste a la morfología del lecho y a sus parámetros hidráulicos (Muñoz, 1998).

### ***1.9.2 HIDROLOGIA***

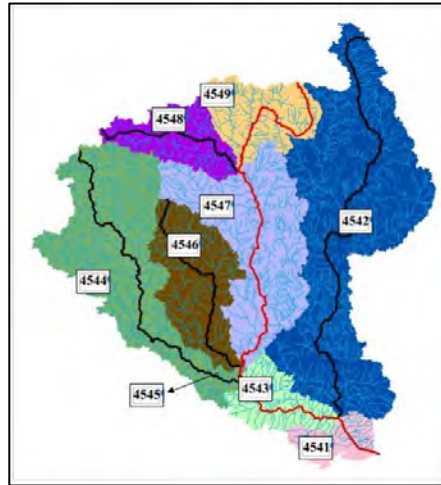
- **Codificación de cuencas Pfastetter:**

El método de Otto Pfastetter nace del artículo de referencia en 1989, siendo empleado en las cuencas Sudamericanas. Siendo el ANA con el apoyo de COPPE/UFRJ en 2004, quienes



desarrollan la primera versión de la base hidrográfica Ottocodificada. Constituida principalmente por la caracterización hidrográfica, datos geográficos (Autoridad Nacional del Agua, 2011).

Figura 3. Cuenca codificada nivel 4.



**Nota: Codificación según el método Pfastetter (Autoridad Nacional del Agua, 2011)**

- **Cálculo de Evapotranspiración método de Hargreaves**

El método de Hargreaves (1985) requiere los valores de temperatura y radiación solar (Servicio Nacional de meteorología e Hidrología del Perú, 2015). Teniendo la siguiente representación:

$$E_{to} = 0.0135 (t_{med} + 17.78) R_s$$

Donde:

$E_{to}$  = evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

$t_{med}$  = temperatura media °C.

$R_s$  = radiación solar incidente, convertida en mm/día.

Para la radiación solar se toma de tablas en función a la latitud del lugar y mes ( $R_o$ ).

$$R_s = R_o * K_T * (t_{max} - t_{min})^{0.5}$$

Donde:

$R_s$ = Radiación solar incidente

$R_o$ =Radiación solar extraterrestre (tabulada)

$K_T$ =coeficiente

$t_{max}$ = temperatura máxima

$t_{min}$ =temperatura mínima

- **Hidrogramas Unitarios Sintéticos:**

Son Hidrogramas que se obtienen a partir de parámetros de la cuenca y las características de precipitación para simular un hidrograma natural (Sau Soto, 2015).

- *Hidrograma unitario sintético de SNYDER*: Snyder en 1938 definió parámetros de cálculo para obtener un hidrograma unitario (Ruiz & Martinez, 2015), dentro de las cuales tenemos:
  - a. Retardo de la cuenca ( $t_p$ ): Variación de tiempo desde el centroide del hietograma de exceso de lluvia y el pico del hidrograma unitario.

$$t_p = 0.75C_t (L * L_c)^{0.3}$$

Donde:

$C_t$ : es el coeficiente de retardo de Snyder, que varía entre 1,35 (cuencas con pendientes altas) y 1,65 (cuencas con pendientes bajas).

$L$ : es la longitud del cauce principal hasta la divisoria de aguas arriba (km).

Lc: es la distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto del cauce principal más cercano al centroide del área de la cuenca (km).

b. Caudal pico por unidad de área (Qp):

$$Qp = \frac{2.75Cp}{tp}$$

Cp: Peaking coefficient que varía de 0 a 1 en relación a la orografía de la cuenca (Snyder, 1938).

- *Método Soil Conservation Service (SCS)*: El sistema de conservación de suelos (SCS) fue desarrollado por los Estados Unidos el realiza la estimación de un volumen de escorrentía como resultado de una precipitación y el tiempo de distribución de escorrentía, expresando los caudales en función de caudal pico (Qp) y el tiempo pico (Tp) (Ruiz & Martinez, 2015).

$$Qp = \frac{2.08A}{Tp}$$

A: área de la cuenca

Tp: tiempo al pico

$$Tp = \frac{tr}{2} + tlag$$

tr = duración de la lluvia efectiva

tlag = tiempo de retardo

$$tp = 0.75Ct (L * Lc)^{0.3}$$

L: longitud de corriente principal

Lc: longitud de corriente principal hasta el centroide

Ct: Coeficiente de cuenca.

$$Ct = \frac{0.6}{S}$$

S: Pendiente de la cuenca.

- *Hidrograma unitario de CLARK.* Se basa en la transformación de lluvia en escorrentía mediante el traslado del caudal desde el origen a la salida de la cuenca regulando la magnitud de este caudal (Feldman, 2000).

$$Q = \frac{2.78 A}{\Delta t}$$

Q: Caudal

A: Área de la cuenca

$\Delta t$ : variación de tiempo d hidrograma de entrada

### **1.9.3 HIDRAULICA**

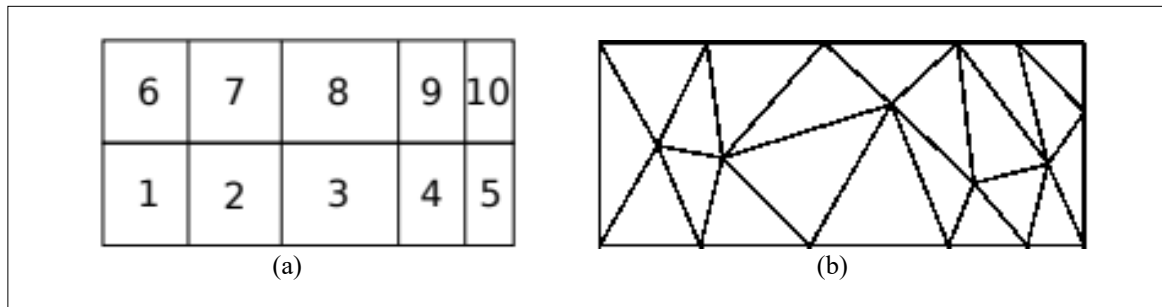
#### **1.9.3.1 CONCEPTOS GENERALES**

- **Malla superficial**

La malla es la representación simplificada de una superficie determinada. Se conforma por los nodos, caras y aristas unidos a lo largo de la superficie. Existen dos tipos de mallas; las mallas estructuradas y no estructuradas (Lohner, 2008).

- *Malla estructurada:* Todos los elementos de la malla se encuentran conectadas de manera uniforme con geometrías determinadas (cuadriláteros) siguiendo un patrón establecido.
- *Malla no estructurada:* Posee elementos irregulares, no sigue un orden determinado para sus componentes. Está conformado por geometrías variables generalmente triangulares.

Figura 4 Tipos de malla



**Nota: (a) Malla estructurada, (b) malla no estructurada (Garcia et. al, 2017)**

### 1.9.3.2 ECUACIONES HIDRODINAMICAS EN AGUAS SOMERAS

- **Ecuaciones Básicas**

- *Número de Courant (Numero de Courant, Friedrich y Levy, CFL)*

El número de Courant es un número adimensional que representa el tiempo que una partícula del fluido permanece en una determinada celda de la malla. Este debe presentar valores cercanos a 1, mientras más alejado se encuentre de este valor se presentará más inestabilidad en las simulaciones (Katopodes, 2019).

$$C = \frac{\mu}{\Delta x / \Delta t}$$

Donde:

$\mu$ : velocidad física de propagación de la partícula

$\Delta x / \Delta t$ : velocidad numérica de propagación.

- *Número de Froude (Fr)*

William Froude señalaron la relación ente las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitatorias en un fluido, de lo cual tenemos:

$$Fr = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza de gravedad}}$$

En relación a estas fuerzas tenemos definido el número de Froude como:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

Donde:

v: velocidad de la sección, en m/s

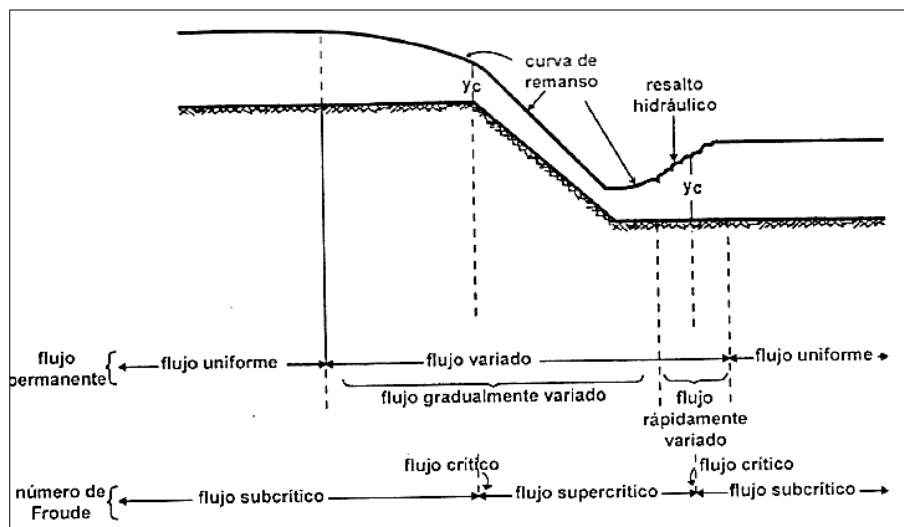
g: aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>

D: tirante, en m

En relación a estas fuerzas condicionan el régimen de flujo en el canal, de lo cual tenemos:

- ✓ Flujo subcrítico si  $Fr < 1$  la predominancia de las fuerzas gravitacionales sobre las inerciales, presentándose una baja velocidad en el flujo y comportamiento tranquilo y lento.
- ✓ Flujo crítico su  $Fr = 1$  encontramos un equilibrio entre las fuerzas gravitacionales y las fuerzas inerciales.
- ✓ Flujo supercrítico si  $Fr > 1$  las fuerzas inerciales son más pronunciadas, dándose un flujo con mayor velocidad y turbulento.

Figura 5 Tipos de flujos en canales abiertos



**Nota. Se observa los tres estadios en los que se presentan los regímenes de flujos (Béjar, 2007)**

- *Número de Reynolds*

Osborne Reynolds en 1883 estudio el tipo de fluido que adquiere un fluido que se desplaza por una tubería, el cual se ve condicionado por la velocidad del líquido, diámetro de tubería y las propiedades físicas del fluido. De esta manera el número de Reynolds es un numero adimensional que relaciona dichas propiedades mencionadas anteriormente (Corrales, 2008).

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$

Re = Numero de Reynolds

D = Diámetro de la tubería

v = Velocidad del liquido

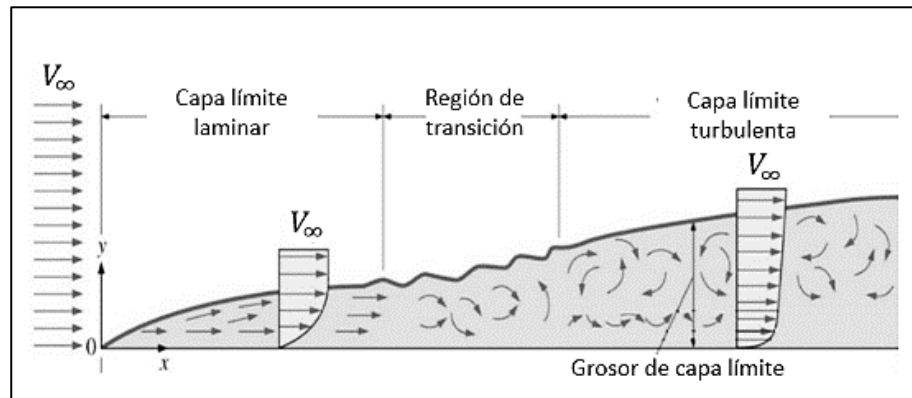
$\rho$  = Densidad del liquido

$\mu$  = viscosidad del liquido

Tomando en cuenta el número de Reynolds se establece se establecen los siguientes tipos de régimen de flujo:

- ✓ Si  $Re \leq 2000$  el flujo posee comportamiento estacionario conformado por laminas delgadas, que interactúan por fuerzas tangenciales. A este flujo se le conoce como flujo laminar.
- ✓ Si  $2000 \leq Re \leq 4000$  se establecen pequeñas ondulaciones que varían en el tiempo; denominado como flujo de transición.
- ✓ Si  $Re \geq 4000$  se caracteriza el comportamiento desordenado, no estacionario y tridimensional.

Figura 6 Comportamiento de fluido según tipo de régimen



**Nota. Representación de los tres tipos de flujo según el número de Reynolds de un flujo en canal abierto (Osma, 2020).**

- *Coefficiente de Rugosidad de Manning*

El valor del coeficiente de Manning representa la resistencia dinámica del flujo, su valor es muy variable y está condicionado por varios factores como la rugosidad y sinuosidad de la superficie (Chow, 1999).

En canales artificiales es mucho más sencillo la estimación de su valor, descartando varios factores y considerando generalmente la uniformidad del material de canal; sin embargo, al tratarse de canales naturales se da la existencia de un cauce principal, así como las superficies inundables. El coeficiente de Manning también se ve condicionado por la velocidad de flujo del fluido siendo inversamente proporcional a este, asimismo se debe considerar el nivel que alcanza en eventos de caudales máximos, dando lugar a inundaciones donde entran en acción la vegetación e irregularidad haciendo que el coeficiente se incremente (Webster, León Méndez, & Rodrigues Lopez, 2018).



Para el cálculo del coeficiente de Manning se basa en tablas ya elaboradas, la principal es la elaborada por Béjar (2007) quien sustituyó la fórmula de Manning en la ecuación de Chézy obteniendo:

Tabla 3 Valores n obtenidos de la ecuación de Manning

Superficie	Condiciones de las paredes				metálicos corrugados				
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas					
Tubería hierro forjado negro comercial	0.012	0.013	0.014	0.015					
Tubería hierro forjado galvanizado comercial	0.013	0.014	0.015	0.017					
Tubería de latón o vidrio	0.009	0.010	0.011	0.013					
Tubería acero remachado en espiral	0.013	0.015*	0.017*						
Tubería de barro vitrificado	0.010	0.013*	0.015	0.017					
Tubos comunes de barro para drenaje	0.011	0.012*	0.014*	0.017					
Tabique vidriado	0.011	0.012	0.013	0.015					
Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique	0.012	0.013	0.015*	0.017					
Superficies de cemento pulido	0.010	0.011	0.012	0.013					
Superficies aplanadas con mortero de cemento	0.011	0.012	0.013*	0.015					
Tuberías de concreto	0.012	0.013	0.015*	0.016					
Tuberías de duela	0.010	0.011	0.012	0.013					
<b>Acueductos de tablón:</b>									
Labrado	0.010	0.012*	0.013	0.014					
Sin labrar	0.011	0.013*	0.014	0.015					
Con astillas	0.012	0.015*	0.016						
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018					
Superficie de mampostería con cemento	0.017	0.020	0.025	0.030					
Superficie de mampostería en seco	0.025	0.030	0.033	0.035					
Acueducto semicirculares metálicos, lisos	0.011	0.012	0.013	0.015					
Acueducto semicirculares	0.0225	0.025	0.0275	0.030					
Canales y zanjas: En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*					
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035					
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045						
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030					
Degradados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033					
Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040					
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030*	0.033*	0.035					
<b>Corrientes naturales:</b>									
(1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos.	0.025	0.0275	0.030	0.033					
(2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra.	0.030	0.033	0.035	0.040					
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045					
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente.	0.040	0.045	0.050	0.055					
(5) Igual al (3), algo de hierba y piedras.	0.035	0.040	0.045	0.050					
(6) Igual al (4), secciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060					
(7) Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos.	0.050	0.060	0.070	0.080					
(8) Playas muy enyerbadas.	0.075	0.100	0.125	0.150					

(\*) Valores de uso común en proyectos

**Nota. Se dan los valores de n dados por Horton usados en la fórmula de Gnaouillet- Kutter y Manning (Béjar, 2007).**

Con los valores de la tabla 2 se dispone valores que conciernen a características específicas de canal con los cuales ya se puede trabajar, sin embargo, nos podemos encontrar con casos únicos, para estos nos centramos en conocer mejor los factores que afectan el valor del coeficiente de Manning tales como el tipo, tamaño de material y sus características morfológicas (HidroING, 2016).

Basados en esto tenemos el método de Cowan o multiparámetro:

En 1956, Cowan tomando en cuenta los distintos parámetros que afectan al coeficiente de Manning desarrollo una expresión que nos permite actualmente determinar su valor con las características concretas del cauce.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

Donde:

N: coeficiente de Manning.

$n_b$ : valor base de  $n$  para un cauce recto, uniforme y liso.

$n_1$ : factor de corrección para implementar el efecto de las irregularidades superficiales

$n_2$ : valor que añade las variaciones de forma y tamaño de la sección del cauce

$n_3$ : valor que implementa el efecto de obstrucciones

$n_4$ : valor que incorpora el efecto de presencia de vegetación

$m$ : factor corrector que implementa la sinuosidad del cauce

- **Ecuación de La Continuidad**

Es un principio que permite la descripción de los fenómenos que ocurren en los fluidos que se encuentran en movimiento. Para hacer efectiva la ecuación la continuidad es necesario asumir condiciones ideales que comúnmente no se presentan en fluidos reales, por lo cual se busca una aproximación a la realidad, dándose con suficiente fidelidad para ser tomados como datos ciertos (Martinez, 2015).

Conociéndose ese entorno, tomamos la ecuación de caudal  $Q = V.A$  para “ $n$ ” secciones a través del canal por el cual se desplaza el flujo, podemos aplicar la ecuación de la continuidad a dichas secciones de lo cual podemos escribir:

$$V_1.A_1 = V_2.A_2 = V_3.A_3 \dots = V_n.A_n = cte$$

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Donde:

x: distancia longitudinal a lo largo del canal

t: tiempo

A: Área de la sección transversal del flujo

- **Ecuación De Momentum**

La ecuación de Momentum resulta de la aplicación de la segunda ley de Newton a un fluido.

Dándonos a conocer como la variación de momentum es producto de las fuerzas que actúan sobre la masa de fluido, dentro de ellas tenemos principalmente las fuerzas de cuerpo como la gravedad; y fuerzas de superficie resultado del efecto de presiones y esfuerzos viscosos (Millan, 2015).

Para los distintos tipos de fluidos tenemos el siguiente balance de flujo de momentum:

$$\begin{aligned} & (\text{Flujo de mom. Entrante}) - (\text{Flujo de mom. saliente}) + (\sum \text{Fuerzas del sistema}) \\ & = (\text{Acumulación de flujo de mom.}) \end{aligned}$$

La ecuación de conservación de momentum para un fluido ideal o newtoniano de densidad y viscosidad constante se puede escribir como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla(\rho v v) - \mu \nabla^2 v + \nabla P - \rho g = 0$$

Donde:

T: tiempo

$\rho$ : densidad del fluido

P: presión

V: velocidad de flujo

g: gravedad

- **Ecuaciones de Navier Stokes**

Las facultades de simulación futura de un sistema mecánico se encuentran basados en las ecuaciones de movimiento. Para el caso de movimiento de fluidos Leonhard Euler a mediados del siglo XVII aplico los principios de conservación de la masa y la segunda ley de

Newton a partículas de fluido, consideró una región de espacio en un determinado instante dados por  $dx, dy, dz$ , obteniendo ecuaciones de movimiento de forma diferencial. Euler tomo en consideración las fuerzas a distancia como la gravedad y presión, sin embargo, se debe tomar en cuenta la viscosidad por la fricción interna del fluido, que es la principal fuerza que se opone a la velocidad. Las fuerzas de contacto asociadas a la viscosidad fueron estudiadas a inicios del siglo XIX por Claude Navier, Augustin Cauchy, Siméon Poisson, Adhémar Barré de Saint-Venant y George Gabriel Stokes; quienes dieron sus estudios de manera independiente, dando como resultado de sus investigaciones el poder establecer el movimiento de un fluido viscoso e incomprensible en un espacio cerrado e inmóvil se puede modelar con las ecuaciones conocidas como “Ecuaciones de Navier-Stokes” (Mora, 2017).

$$\rho \left( \frac{\partial vx}{\partial t} + \frac{\partial vx}{\partial x} vx + \frac{\partial vx}{\partial y} vy + \frac{\partial vx}{\partial z} vz \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho gx + \mu \nabla^2 vx + SMx ; \text{ para la dirección en } x$$

$$\rho \left( \frac{\partial vy}{\partial t} + \frac{\partial vy}{\partial x} vx + \frac{\partial vy}{\partial y} vy + \frac{\partial vy}{\partial z} vz \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} - \rho gy + \mu \nabla^2 vy + SMy ; \text{ para la dirección en } y$$

$$\rho \left( \frac{\partial vz}{\partial t} + \frac{\partial vz}{\partial x} vx + \frac{\partial vz}{\partial y} vy + \frac{\partial vz}{\partial z} vz \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho gz + \mu \nabla^2 vz + SMz ; \text{ para la dirección en } z$$

- **Ecuaciones De Saint Vennant**

Las ecuaciones de Saint – Venant están conformadas por un conjunto de ecuaciones diferenciales; entre ella la ecuación de conservación de la masa y de momento, que realizan el modelo de variaciones de un caudal y el nivel del fluido a través de un espacio unidimensional y de tiempo en un canal o tubería a superficie libre (Chow, 1999).

Para el desarrollo de estas ecuaciones se de los siguientes estadios ideales:

- ✓ La velocidad y profundidad de flujo varían únicamente en dirección longitudinal al canal.

- ✓ En la pendiente de canal no considera una gran variación.
- ✓ No se toma en cuenta la erosión ni acreción de sedimentos.
- ✓ El fluido es incomprensible y con densidad constante.

Estas ecuaciones requieren para su resolución métodos numéricos directos, transformando las ecuaciones diferenciales en diferencias finitas tanto para la conservación de la masa como del momentum. El método de las características trabaja en función de las variables de caudal, tirante y área, teniendo lo siguiente:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{A}{T} \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{v}{g} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = (S_0 - S_f)$$

T: tiempo

$\rho$ : densidad del fluido

P: presión

V: velocidad de flujo

g: gravedad

S<sub>0</sub>: pendiente de contorno inferior

S<sub>f</sub>: pendiente de contorno superior

- **Métodos empleados para la resolución de ecuaciones hidrodinámicas en aguas someras**

- *Método de diferencias finitas*: Esta centrado en resolver las ecuaciones de aguas someras en derivadas parciales, cuyas variables son los valores de un punto determinado o en este caso los nodos de una malla. Este método necesariamente requiere de una malla de tipo estructurada (Hernandez & Jurado Albarracín, 2009).
- *Método de volúmenes finitos*: Se centra en separar volúmenes determinados en otros más pequeños contenidos en celdas (triangulares o cuadriláteros) de una malla para facilitar la

resolución e integración de las ecuaciones en las caras de las celdas, generando polígonos que conservan las propiedades de flujo más importantes en cada celda (Fe Marques, 2005).

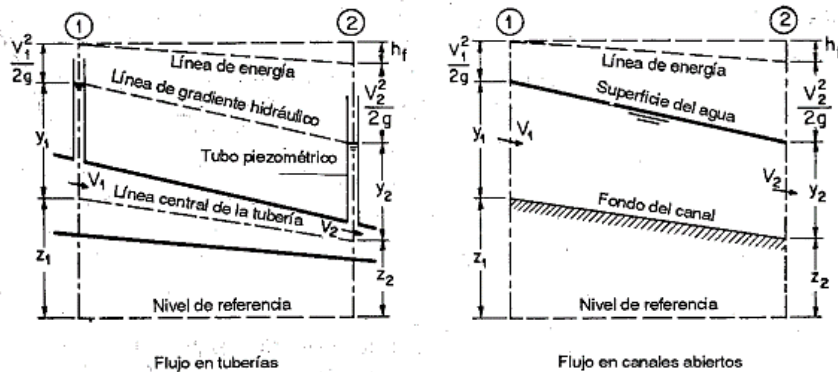
### 1.9.4 FLUJO

#### 1.9.4.1 FLUJO EN CANALES ABIERTOS

El flujo de agua en conductos puede presentarse como flujo en canales abiertos o tubería, ambos casos se da similitudes, tal es el caso de la presión hidráulica; pero presentan una principal diferencia que es la presencia de una superficie libre en el primer caso, esta superficie libre condiciona la existencia de una presión atmosférica de manera clara y directa (Chow, 1999).

En la figura 1 apreciamos la comparación de cómo se presenta los gradientes hidráulicos, la energía, altura piezométrica; así como la pérdida de energía al fluir de la sección 1 a 2 (se supone una velocidad de canal uniformemente distribuida en los canales) (Chow, 1999).

Figura 7 Flujo en tubería y canales abiertos.



**Nota: Comparación entre el flujo en tubería y flujo en canales abiertos (Chow, 1999).**

- z: elevación de referencia.
- y: altura de columna de agua
- v: velocidad media del flujo
- $v^2 / 2g$ : altura de la velocidad

hf: variación de energía por pérdida

Los canales abiertos presentan una mayor dificultad a ser tratados por la irregularidad que tienen tanto en el nivel en el que se presenta la superficie, al no estar definido un nivel específico; tal es el caso de los flujos en tubería que se encuentran limitados dentro de una geometría determinada. Así mismo al tratar la rugosidad en el canal abierto se presenta varían tanto por su superficie libre como en el fondo, dándose más un análisis empírico para su determinación a comparación de las tuberías que generalmente se utiliza el tipo de material de su composición para la rugosidad (Chow, 1999).

- **Tipos de Flujo en canales abiertos**

Se hace la clasificación del flujo tomando en cuenta el tiempo y el espacio, según ello se puede apreciar los siguientes tipos de flujo en canales abiertos:

Tomando el tiempo como criterio tenemos:

- *Flujo permanente*: El flujo se considera permanente cuando la profundidad, en un intervalo de tiempo, no varía.
- *Flujo no permanente*: Se da cuando la profundidad del flujo varía en relación al tiempo.

En la mayoría de los casos donde el tiempo guarda menor relevancia se toma idealmente el flujo de manera permanente para poder trabajar el flujo en canales abiertos con mayor practicidad, sin embargo, en el caso de crecientes y oleadas se da un cambio instantáneo e importante del nivel del flujo, viéndose así el tiempo como parte vital para el estudio (Chow, 1999).

Para cualquier flujo, el caudal Q esta dado por:

$$Q = VA$$

Donde:

Q: caudal

V: velocidad media

A: área de la sección transversal perpendicular a la dirección de flujo.

Tomando el espacio como criterio tenemos:

- *Flujo uniforme*: Se presenta cuando la profundidad de flujo, en canales abiertos, no varía en cada sección transversal a través del canal.
- *Flujo variado*: Se da cuando la profundidad del flujo varía en las secciones transversales a lo largo del canal abierto.

- **Estados de Flujo**

El estado de flujo o comportamiento en canales abiertos está condicionado por la viscosidad, gravedad y fuerzas inerciales de flujo.

- *Flujo laminar*: Las partículas de agua se desplazan de manera definida en líneas de corriente, como capas de fluido de espesor infinitesimal, a causa de un predominio de las fuerzas viscosas en comparación con las fuerzas inerciales (Chow, 1999).
- *Flujo turbulento*: Las partículas de flujo se presentan de manera caótica, sin una trayectoria definida o desordenadamente (Carballo, 2017).

#### **1.9.4.2 FLUJO NO PERMANENTE EN SUPERFICIES LIBRES**

- **Condiciones de Geometría del Canal**

##### ***Canal hidráulico***

Es un conducto, que puede ser de tipo natural o artificial, por el cual se desplaza un fluido por acción de la gravedad. El canal hidráulico se caracteriza por presentar una superficie libre afectada por la atmósfera y la acción de la presión atmosférica (Gutiérrez, 2013).

##### ***Área Hidráulica (A)***

Esta referido al área ocupada por el fluido en la sección transversal.

##### ***Perímetro mojado (P)***



La longitud de la superficie de contacto del agua con el fondo de canal.

***Profundidad de flujo o tirante hidráulico (Y)***

Es la distancia vertical entre la superficie libre del agua y el punto más bajo del canal o de la sección transversal.

***Tirante normal (d)***

Es la sección perpendicular al fondo de canal. Siendo  $\theta$  el ángulo que forma la pendiente longitudinal de canal en relación al plano horizontal de referencia muy pequeño,  $Y$  se puede considerar igual al tirante normal  $d$  (Gutiérrez, 2013).

Se presenta la siguiente relación entre los tirantes:

$$d = y \cos \theta$$

***Ancho de la superficie libre o Espejo (T)***

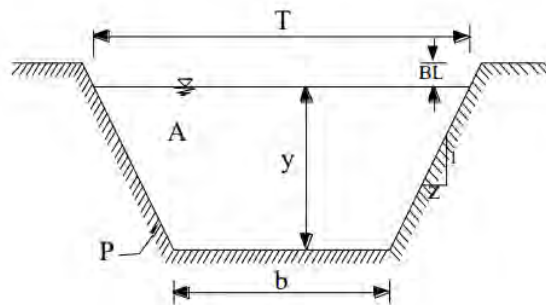
Está dado por la distancia medida de la superficie de agua en el canal.

***Profundidad hidráulica o Tirante medio (D)***

Se calcula como la relación entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre del canal.

$$D = A/T$$

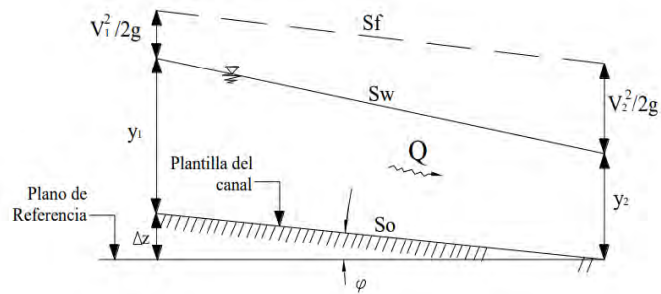
*Figura 8 Elementos geométricos de un canal.*



**Nota. Se aprecia los distintos elementos del canal abierto en una sección transversal**

**(Gutiérrez, 2013).**

Figura 9 Elementos geométricos de canal.



**Nota.** Se aprecia en el grafico los elementos geométricos del canal en una sección longitudinal al canal (Gutiérrez, 2013).

### Radio Hidráulico (R)

Se representa como el cociente entre el área hidráulica y el perímetro mojado.

$$R = A/P$$

### 1.9.4.3 DISTRIBUCION DE VELOCIDADES EN CANALES ABIERTOS

- Ecuación De Chézy

Fue desarrollada por el francés Antoine de Chézy en 1768, con el objeto de poder determinar el caudal de agua en canales. Se basó en las suposiciones donde establece que la fuerza resistente al flujo de lecho de corriente es proporcional el cuadrado de la velocidad y la segunda establecida por Brahms en 1754 que señala que en el flujo uniforme el componente gravitacional causante del desplazamiento de flujo es igual a las fuerzas de resistencia (Béjar, 2007).

Esto permitió a Chézy establecer la primera formula del flujo uniforme para calcular la velocidad media de un canal, expresada como:

$$v = C\sqrt{RS}$$

Donde:

v: velocidad media en el canal, en m/s.

C: Coeficiente de Chézy.

R: Radio hidráulico.

S: pendiente del canal.

- **Ecuación De Manning**

Es una formula empírica que estima la velocidad media de un fluido que se desplaza por un canal abierto (text Wiki, s.f.). La ecuación de Manning establece que:

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

Donde:

V: velocidad media

C: factor de resistencia del escurrimiento.

R: radio hidráulico

S: pendiente

n: coeficiente de Manning

## 1.10 MARCO CONCEPTUAL

- **HEC- RAS**

El Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (HEC-RAS, por sus siglas en inglés) permite realizar un flujo estable unidimensional, cálculos de flujo inestable de una y dos dimensiones, cálculos de transporte de sedimentos/lecho móvil y modelos de temperatura del agua/calidad del agua (Brunner, 2016).

- **IBER**

Es un modelo numérico bidimensional de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen variable, que incorpora como esquema numérico el método de alta resolución de Volúmenes Finitos. Este modelo consiste en la integración de los modelos CARPA (de la Universidad Politécnica de Catalunya) y TURBILLON (de la Universidad de Coruña). Dentro de su rango de aplicación se encuentran la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas,

la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios (E. Bladé, M. Sánchez, H. P. Sánchez, D. Ñiñerola, M. Gómez, 2009).

- **Archivo ASCII**

Un archivo ASCII es un archivo de texto que permite que un documento sea reconocido y leer fácilmente por cualquier plataforma o sistema operativo. Básicamente, hace que el archivo sea más accesible y sin ninguna restricción y comúnmente utiliza la extensión de archivo ASC. ASCII es Código Estándar Americano para Intercambio de Información y ha sido diseñado para las computadoras como un conjunto de caracteres estándar y otros dispositivos.

- **GID**

Es un preprocesador y post-procesador universal, adaptable y fácil de usar para simulaciones numéricas en ciencia e ingeniería. Está diseñado para cubrir todas las necesidades comunes en simulaciones numéricas desde el procesamiento previo hasta el posterior.

- **Interfaz**

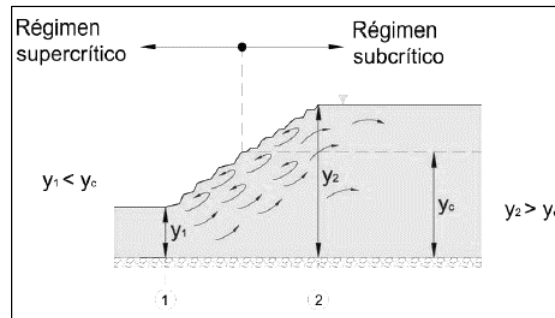
Es una conexión entre dos máquinas de cualquier tipo, a las cuales les brinda un soporte para la comunicación a diferentes estratos. Es posible entender la interfaz como un espacio (el lugar donde se desarrolla la interacción y el intercambio), instrumento (a modo de extensión del cuerpo humano, como el mouse que permite interactuar con una computadora o superficie (el objeto que aporta información a través de su textura, forma o color).

- **Resalto Hidráulico**

Es un fenómeno físico que se genera cuando el flujo de corriente cambia de supercrítico a subcrítico, dándose una variación súbita de un comportamiento rápido y superficial a una corriente lenta y profunda (Marbello Pérez, 2018).

El resalto se desarrolla cuando la corriente rápida se encuentra con un obstáculo o existe una pendiente pronunciada. Los casos más comunes son al pie de estructuras hidráulicas como vertederos, salidas de compuertas, etc (Hidraulica, 2018).

*Figura 10 Resalto Hidráulico*



**Nota. Formación de un resalto hidráulico por variación en la corriente de un flujo a régimen supercrítico a régimen suscrito (Hidraulica, 2018).**

- **Canales naturales**

Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes y estuarios de mareas.

- **Canales artificiales**

Son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de vegetación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canales de madera, etc. Así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales.

## 1.11 MARCO REFERENCIAL

Asociadas los softwares HEC-RAS e IBER, existen algunos estudios desarrollados a profundidad y otros más genéricos, de los cuales podemos mencionar:

- (A. Cuervo; Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2012) Tesis de Maestría: **“Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos”**. Este proyecto pertenece a la jurisdicción de España, hace un gran desarrollo concerniente las estructuras hidráulicas (presas) y a su normativa aplicada en España, posteriormente se da un análisis con la simulación del comportamiento de la estructura con los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER. Este estudio se toma como referencia por que se ven desarrollados los esquemas unidimensionales y bidimensionales aplicados al modelamiento hidráulico, así como el uso de los modelos hidráulicos antes mencionados, dándose un mayor énfasis a parámetros como altura y volumen de embalse de presas.

- (A. Ochoa; Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2014); Tesis de Maestría: **“Evaluación De Modelos Hidrodinámicos Para Representar Flujos En Cauces Naturales. aplicación en un tramo del Río Suquía que incluye la confluencia con el arroyo La Cañada, Provincia De Córdoba.”**. Este proyecto pertenece a la jurisdicción de la provincia de Córdoba, Argentina; se desarrolla la modelación hidráulica empleando tres modelos (HEC-RAS, IBER y DELFT3D) en el sector donde confluyen el arroyo de La Cañada y el rio Suquía, que se encuentra ubicado en la ciudad de Córdoba, con el objeto de contrastar modelos numéricos y experimentales en eventos de crecidas. Este estudio se toma como referencia por que hace uso de modelos hidráulicos para la caracterización de flujos en canales abiertos para la obtención de variables físicas en distintos periodos de retorno.

- (J. Rincón, M. Pérez, G. Delfín, C. Freitez, F. Martínez: Revista Gaceta Técnica. Volumen 17; 2017); Artículo Científico: “**Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes**” – ISSN 2477-9539

Este trabajo pertenece a la jurisdicción de las ciudades Barquisimeto y Quibor, Venezuela. Se toma como referencia porque está enfocado en la hidráulica fluvial, estudiando el comportamiento del río y su desarrollo a lo largo de su trayectoria haciendo uso de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER en el diseño de puentes.

- (Cervantes Victor & Jiménez Javier; XXVIII Congreso Latinoamericano De Hidráulica Buenos Aires, Argentina; 2018); Artículo: “**Comparación De Modelos 1d, 2d Y 3d Para Flujo En Estructuras Hidráulicas Complejas Y Lámina Libre**”. Este trabajo se encuentra en la jurisdicción del municipio La Dorada, Caldas-Colombia. Se toma como referencia por que hace énfasis en las ecuaciones fundamentales de la hidrodinámica aplicados a modelos 1D, 2D y 3D aplicado a un río del tipo meándrico caracterizando su comportamiento a lo largo de 6.5 km aprox. Donde se presenta una curva meándrica bien definida.

- (O. Espejo & Y. Zabaleta, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas; 2021); Tesis de Grado: “**Comparación del modelamiento hidráulico de una poza disipadora inclinada mediante el uso de los modelos IBER y HEC-RAS**”.

Este trabajo se enfoca puntualmente en la caracterización de pozas disipadoras de energía de flujo para vertederos y represas evaluando su correcto funcionamiento con simulación para evitar posteriores costos adicionales en el diseño. Se toma como referencia. Se toma como referencia

por el empleo de los modelos IBER y HEC-RAS representando el comportamiento del flujo y poder visualizar la representación de nivel de agua que atraviesa la estructura.

### 1.12 ANTECEDENTES (ESTUDIOS PREVIOS)

- (M. Sequeiros & S. Lucero, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco; 2019); Tesis de Grado: **“Evaluación Hidrológico e Hidráulico con el Modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población Ribereña al Rio Qochoq, Provincia Calca - Región Cusco 2017”**. Este está ubicado en la jurisdicción de la Provincia de Calca, departamento de Cusco. Se toma como antecedente por ser el estudio realizado más aproximado a la zona de estudio y emplear el modelo hidráulico IBER para la evaluación hidrológica e hidráulica de los parámetros morfométricos e hidro morfométricos.
- (De la Quintana, S.J., et al.; Revista Mast'ariy; Vol. 1 Núm 5; 2018); Artículo; **“Evaluación de riesgo por inundación pluvial en el distrito de Lucre y Centro Poblado de Huacarpay de la Provincia de Quispicanchis - Región Cusco”**. Se determinó la peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo por el fenómeno de inundaciones en la población del distrito de Lucre. Dando a conocer que la zona de estudio es una zona de vulnerabilidad muy alta en relación a los eventos de inundaciones.
- (Cárdenas, R. J., et. Al; XV Congreso Peruano de Geología; 2010); Artículo: **“Evaluación geodinámica y su contribución a la actualización del mapa de peligros geológicos del Valle del Watanay-cusco al 2010”**. Este trabajo abarca dentro de su zona de estudio el centro poblado



de Huacarpay, donde se ha realizado la presente tesis; haciendo énfasis en los peligros por inundación, aluviones y huaycos a los que están expuestos.

## **1.13 ETAPAS DE LA INVESTIGACION**

### ***1.13.1 PROCEDIMIENTO***

Se han agrupado las actividades en total 5 etapas, los cuales se detallan a continuación:

#### **ETAPA 1: Trabajo en Pre – Campo 01**

- Revisión de los modelos HEC-RAS e IBER (uso de manuales).
- Recopilación de información bibliográfica. (FISICO Y DIGITAL)
- Revisión de antecedentes de la zona de estudio. (FISICO Y DIGITAL)
- Elaboración de mapas de pre campo, mediante imágenes satelitales.
- Elaboración del mapa de ubicación y accesibilidad.

#### **ETAPA 2: Trabajo de Campo 01**

- Mapeo geomorfológico a gran escala.
- Levantamiento topográfico con estación total.
- Determinación de puntos GPS.
- Caracterización de ríos.
- Caracterización de suelos.

#### **ETAPA 3: Trabajo de Gabinete 01**

- Digitalización de datos topográficos en Arcgis.
- Elaboración de la geometría del cauce.

- Trabajo de generación de mapa pendientes.
- Mapeo geomorfológico en imágenes satelitales.
- Elaboración de un mapa geomorfológico.
- Recolección de datos de datos meteorológicas de SENAHMI.
- Elaboración del Mapa Hidrológico según las imágenes satelitales y observaciones en campo.
- Caracterización hidráulica del flujo.
- Diferenciación de ecuaciones básicas del modelo HEC-RAS e IBER respectivamente.
- Entrada los parámetros obtenidos para los modelos HEC-RAS e IBER.
- Generación de los primeros modelos de simulación.

#### **ETAPA 4: Trabajo de Campo 02**

- Corrección del mapa geomorfológico en campo.
- Corrección de la caracterización de ríos.
- Actualización del mapa hidrológico en campo.
- Corrección de la caracterización de suelos según su uso.

#### **ETAPA 5: Trabajo de Gabinete 02**

- Elaboración de mapas finales (pendientes, geomorfológico, fisiográfico, hidrológico)
- Corrección de la geometría en AutoCAD.
- Determinación el coeficiente de rugosidad de Manning.
- Elaboración de los modelos de simulación finales en HEC-RAS e IBER.
- Correlación de datos hidráulicos, condiciones de contorno, coeficiente de Manning, geometría del cauce, y mallado.

- Elaboración de los mapas zonificación de áreas de inundación de los modelos HEC-RAS e IBER.
- Análisis e interpretación de resultados de los modelos obtenidos en los modelos HEC-RAS e IBER.
- Redacción del informe final de tesis.

## **1.14 MATERIALES Y EQUIPOS**

### ***1.14.1 MATERIALES DE TRABAJO***

#### **Materiales de gabinete**

- Hojas
- Útiles de escritorio
- Mapas de trabajo
- Pizarra

#### **Materiales de campo**

- Mapas de trabajo
- Escalímetros y reglas
- Colores y marcadores
- Libretas de campo
- Pizarra

### ***1.14.2 EQUIPOS DE TRABAJO***

#### **Equipos de gabinete**

- Computadora y/o laptop (Core i5/ Ryzen 5)
- Impresoras
- Calculadoras

- Programas de procesamiento de datos (ARCGISS, AUTOCAD, EXCEL)
- Softwares de Modelamiento HEC-RAS e IBER.

### **Equipos de campo**

- GPS
- Tablet as electrónicas
- Brújula
- Picota
- Cámara y/ celular.

## **2. CAPITULO II- GEOMORFOLOGIA**

### **2.1 GENERALIDADES**

La zona de estudio se encuentra en la depresión de Huacarpay corresponde a un área ubicada entre la zona intermedia entre el Altiplano y la Cordillera Oriental. Las unidades geomorfológicas predominantes son los bofedales de depósitos lacustres, terrazas de depósitos aluviales-fluviales, colinas de rocas volcánicas.

### **2.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

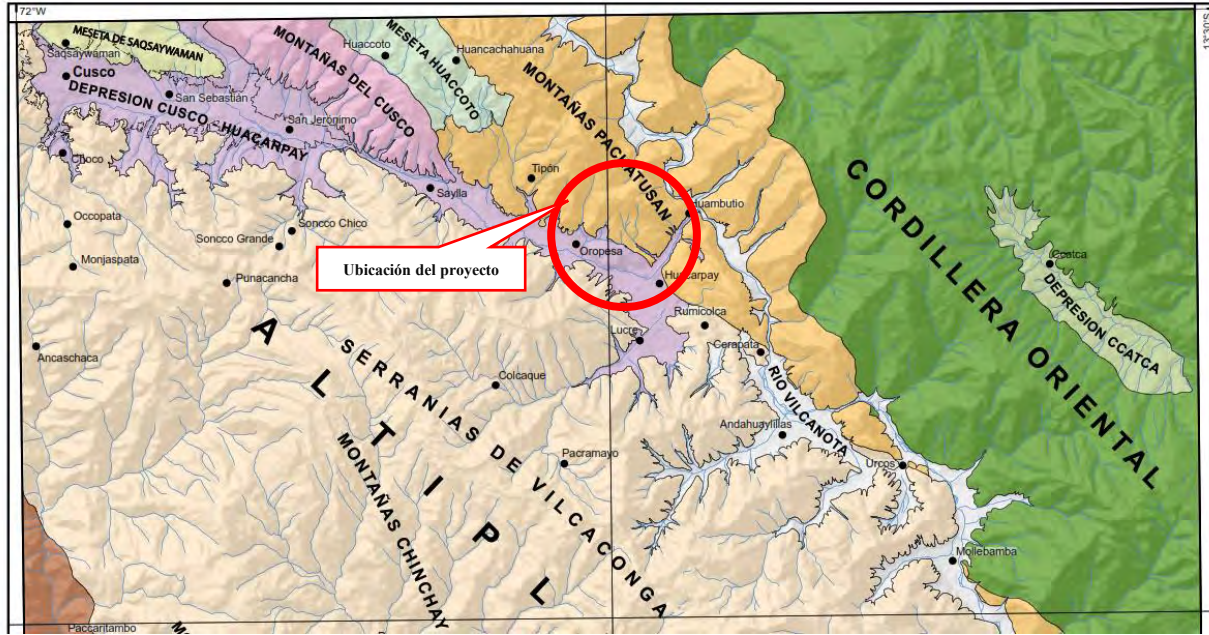
El cuadrángulo 28-s desarrollado por INGEMMET, define cuatro marcadas unidades geomorfológicas como la cordillera occidental, zona intermedia altiplano-cordillera oriental, el borde de la cordillera occidental y el altiplano.

#### **Altiplano**

La zona de estudio se encuentra en el cuadrante I (INGEMMET,2011), esta corresponde a la unidad geomorfológica del Altiplano y localmente se presenta en la unidad conocida como la depresión de Cusco-Huacarpay delimitadas al Este por las montañas de Pachatusan y al Oeste por las montañas correspondientes a las serranías de Vilcanota. (INGEMMET, 2011)

La depresión de Cusco-Huacarpay está conformada por el valle del río Huatanay, con una edad del pliocuaternario y controlada por fallas que a la actualidad se encuentran activas como la falla geológica de Cusco y la falla geológica de Tambomachay. (Gregory, 1996)

Figura 11 Unidades geomorfológicas de la ciudad del Cusco.



Nota: Se muestran las unidades geomorfológicas (Adaptado de V. Carlotto, 2011)

### 2.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para la elaboración del mapa de pendientes se considera la información topográfica, se utiliza la información de las Zonificación ecológica y económica elaborada por el MINAM.

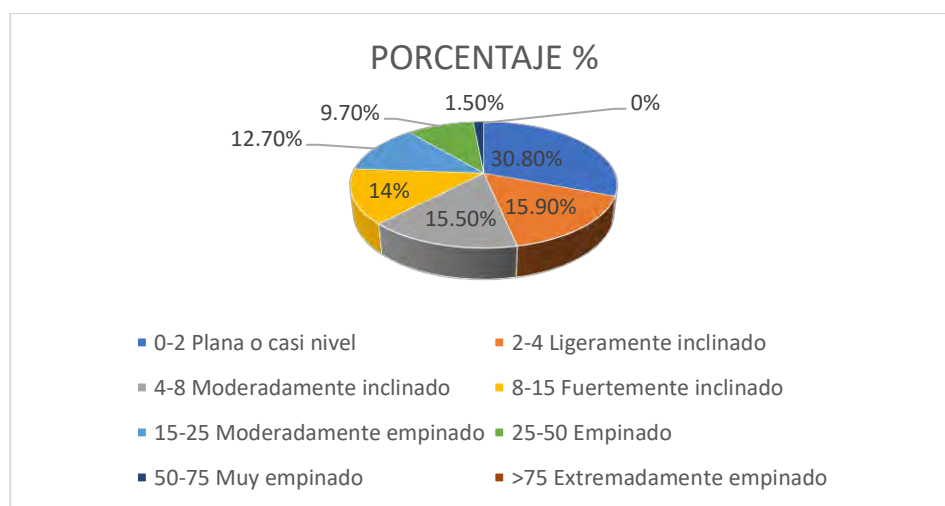
Considerando la información local se elabora un mapa de pendientes que podemos observar en la figura 12, detallando la siguiente información.

*Tabla 4 Valores de áreas de pendientes en la zona de estudio.*

RANGO	PENDIENTES	AREA km2	AREA ha	PORCENTAJE %
0-2	Plana o casi nivel	1.037	103.7	30.8
2-4	Ligeramente inclinado	0.536	53.6	15.9
4-8	Moderadamente inclinado	0.521	52.1	15.5
8-15	Fuertemente inclinado	0.472	47.2	14.0
15-25	Moderadamente empinado	0.427	42.7	12.7
25-50	Empinado	0.327	32.7	9.7
50-75	Muy empinado	0.051	5.1	1.5
>75	Extremadamente empinado	0.000	0.0	0.0
Total		3.4	337.1	100

**Nota: Se muestran los valores, rango y pendientes en la zona de estudio expresados también en porcentajes. (Elaboración propia).**

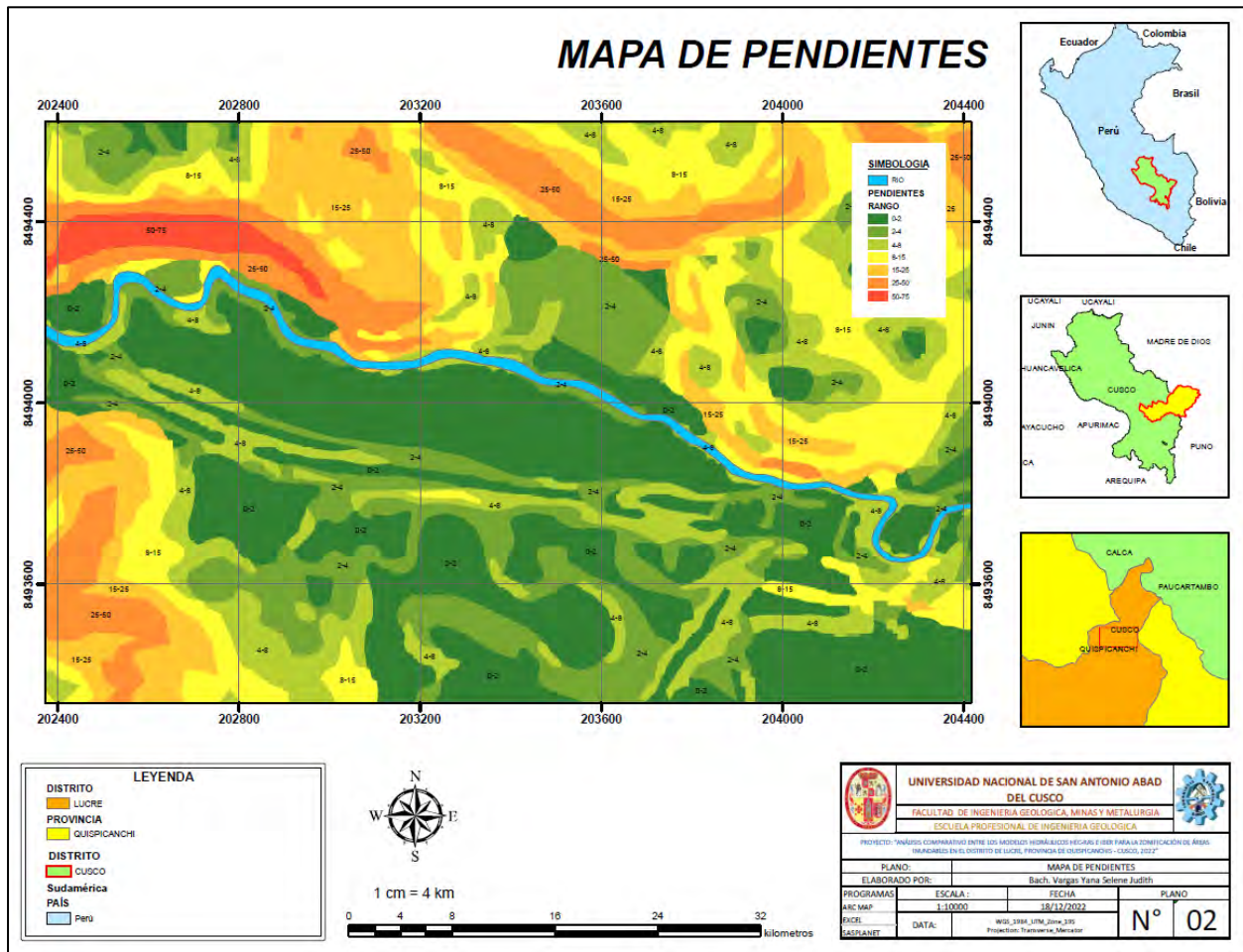
*Figura 12 Diagrama circular de las pendientes de la zona de estudio.*



**Nota: Se muestran los valores en porcentajes de las pendientes del área de estudio. (Elaboración propia).**

El área de estudio comprende un área total de 337. Ha, se determinó que presenta una mayor área de pendientes de rango 0-2 de pendientes plana o casi nivel con un área de 103.7 ha, que representa un porcentaje de 30.8 %, no se determinaron pendientes de rango mayores a 75 de pendientes extremadamente empinado.

Figura 13 Pendientes en la zona de estudio.



**Nota:** Se muestran las pendientes en la zona de estudio. Ver ANEXO 2 mapa 2.

(Elaboración propia).

### 2.3.1 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS LOCALES

Se realizó una caracterización de las unidades de subpaisaje que presenta el área de estudio, se tiene la siguiente tabla detallando los parámetros tomados en cuenta, a partir de los conceptos presentados por Villota, 1997 y el mapeo geomorfológico realizado por el INGEMMET, 2011.



Tabla 5 Caracterización fisiográfica de la zona de estudio.

PROVINCIA FISIOGRAFICA	UNIDAD CLIMATICA	GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUBPAISAJE	PENDIENTE
Altiplano -Zona intermedia altiplano y cordillera oriental	Semiseco con otoño e invierno secos. Templado. C (o, i) B' (fuente SENHAMI)	Altiplano	montañas-colinas	Montaña baja estructural Montaña baja Pie de montaña baja Vertiente de montaña baja Colina	Moderadamente inclinado a Muy empinado
			terrazas	Ladera de colina Terraza	Plana o casi nivel a
			planos de inundación	Bofedales	Moderadamente inclinado
				Cauce del rio	

**Nota: Se muestran las categorías de las unidades fisiográficas de la zona de estudio.**

**(Elaboración propia).**

Se determinó las siguientes unidades geomorfológicas considerando la litología presente en el área de estudio, podemos observar el mapa geomorfológico en la figura 13.

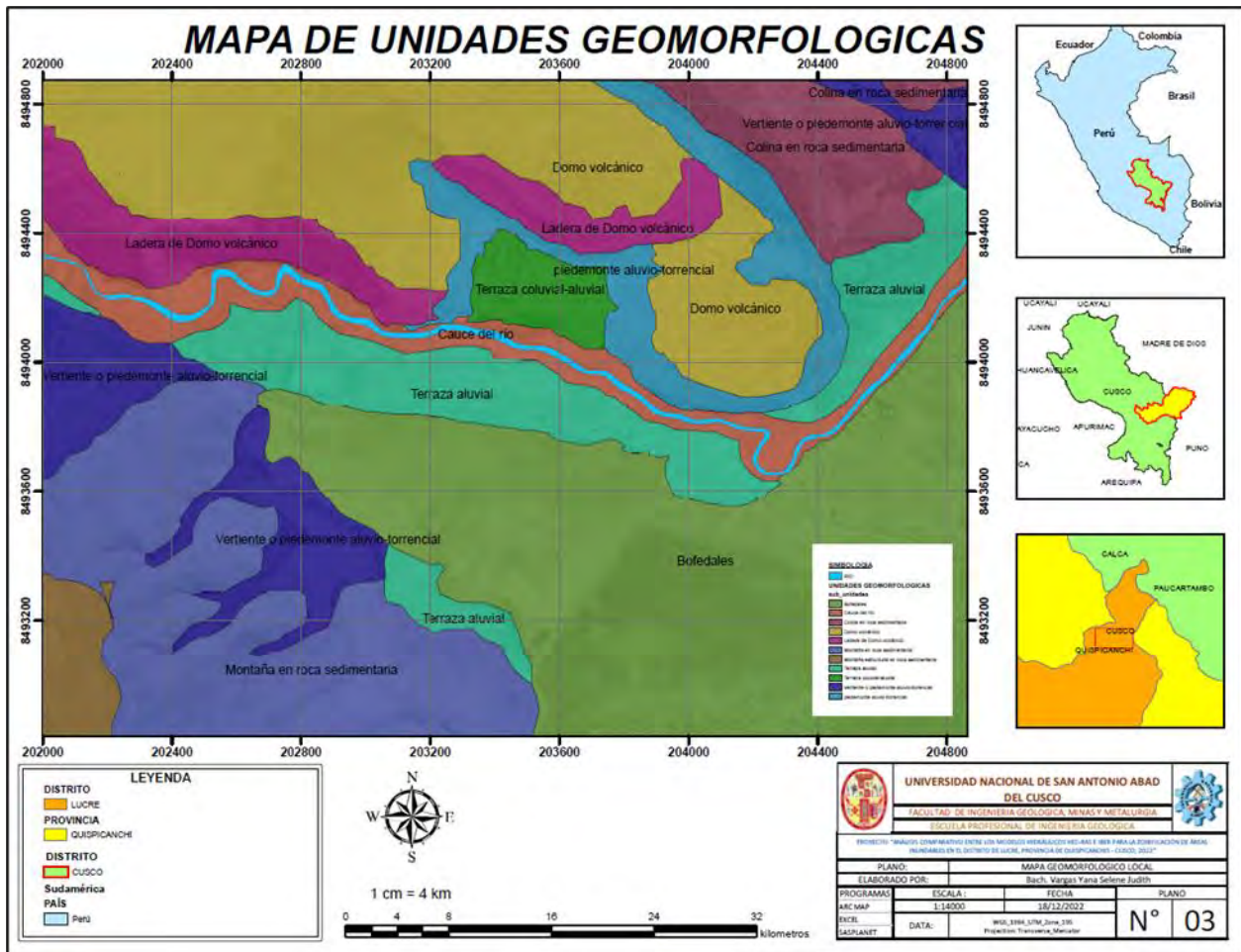
Tabla 6 Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

SIMBOLOGIA	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	AREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Cmb	Montaña baja estructural de Rocas sedimentarias	29.0	3.5
Cmb	Montaña baja de Rocas sedimentarias	102.5	12.3
Pmb	Pie de montaña baja de Depósitos cuaternarios (aluvio-torrencial)	33.9	4.1
V	Vertiente de montaña baja de Depósitos cuaternarios (aluvio-torrencial)	56.9	6.8
Co	Colina de Rocas volcánicas	111.2	13.3
Do	Colina de Rocas volcánicas (Domo volcánico)	163.2	19.6
Lmb	Ladera de colina de Rocas volcánicas (Domo volcánico)	40.4	4.8
Tal	Terraza de Depósitos cuaternarios (aluvial)	60.9	7.3
Tco-al	Terraza de Depósitos cuaternarios (fluvial-aluvial)	10.4	1.2
Bf	Bofedales de Depósitos cuaternarios (lacustres)	182.4	21.9
Ca	Cauce del rio de Depósitos cuaternarios (fluvial-aluvial)	43.0	5.2

**Nota: Se muestran las unidades geomorfológicas en la zona de estudio, se muestran valores**

**en áreas y porcentajes. (Elaboración propia).**

Figura 14 Unidades geomorfológicas del área de estudio.



**Nota: Se muestran las unidades geomorfológicas de la zona de estudio, Ver ANEXOS mapa 3 (Elaboración propia).**

Se tiene un dominio de unidades geomorfológicas de colinas de litología volcánica que representan 36 % de porcentaje total y una unidad geomorfológica de tipo bofedales de litología cuaternaria lacustre con un porcentaje de 21.9 %.

## **2.3.2 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS LOCALES**

### **2.3.2.1 COLINA DE ROCA VOLCANICA**

Se pueden observar con frecuencia al norte del área de estudio, predomina una composición de rocas volcánicas. Delimitan el cauce del río, corresponden a zona con pendientes muy elevadas (Fotografía 1).

*Fotografía 1 Colina de roca volcánica.*



**Nota: Se muestra una colina al norte del área de estudio, compuesto por rocas volcánicas.**

**(Elaboración propia)**

### **2.3.2.2 LADERAS DE COLINA DE ROCAS VOLCANICAS**

Distribuidas al norte del área de estudio, corresponden a la margen derecha del río, compuestas por rocas volcánicas de composición Andesítica presentan pendientes elevadas (fotografía 2).

*Fotografía 2 Ladera de colina de rocas volcánicas.*



**Nota:** Se observa ladera al norte de la zona de estudio, de composición volcánica, en la margen izquierda del río. (Elaboración propia).

### **2.3.2.3 TERRAZAS DE DEPOSITOS FLUVIALES-ALUVIALES**

Estas distribuidos al borde del cauce del río en la margen izquierda del cauce del río, se encuentran cubiertas por zonas de cultivo (fotografía 3). Las pendientes que presentan varían desde plana o casi nivel a moderadamente inclinado.

*Fotografía 3 Terrazas de depósitos fluviales-aluviales.*



**Nota:** Se observa terrazas ubicadas al margen derecho del río, algunas áreas presentan zonas de cultivos y viviendas. (elaboración propia).

#### **2.3.2.4 BOFEDALES DE DEPOSITOS CUATERNARIOS (D. LACUSTRES)**

Distribuidas en la parte sur este de la zona de estudio, de manera más visible en la parte sur del poblado de Huacarpay, corresponden a depósitos cuaternarios finos compuesta por suelos finos, turbas con alta humedad (fotografía 4). Las pendientes que presentan son desde plana o casi nivel a moderadamente inclinado.

*Fotografía 4 Bofedales de depósitos lacustres.*



**Nota: Se muestra un bofedal al sur del área de estudio, cerca al poblado de Huacarpay, compuestos por depósitos lacustres (Elaboración Propia).**

### **3. CAPITULO III – LITOESTRATIGRAFIA**

#### **3.1 GENERALIDADES**

Considerando la información del INGEMMET en el cuadrángulo 28-s elaborado por V. Carlotto, 2011. Las unidades litoestratigráficas que se presentan en el área de estudio corresponden a rocas de la edad del Paleozoico con frecuencia en la cordillera oriental (figura 14), hacia el límite de la cordillera de la cordillera oriental con el altiplano presentan rocas Permo-Triasicas-Jurasicas. Hacia el borde occidental y el altiplano corresponden a rocas de la edad del Mesozoico Superior y Cenozoico.

#### **3.2 LITOLOGIA**

Litológicamente se tiene la presencia de rocas volcánicas andesíticas, así como lutitas rojas y areniscas dispuestos en la parte SW de la zona de estudio, en la parte NE tenemos presencia de yesos.

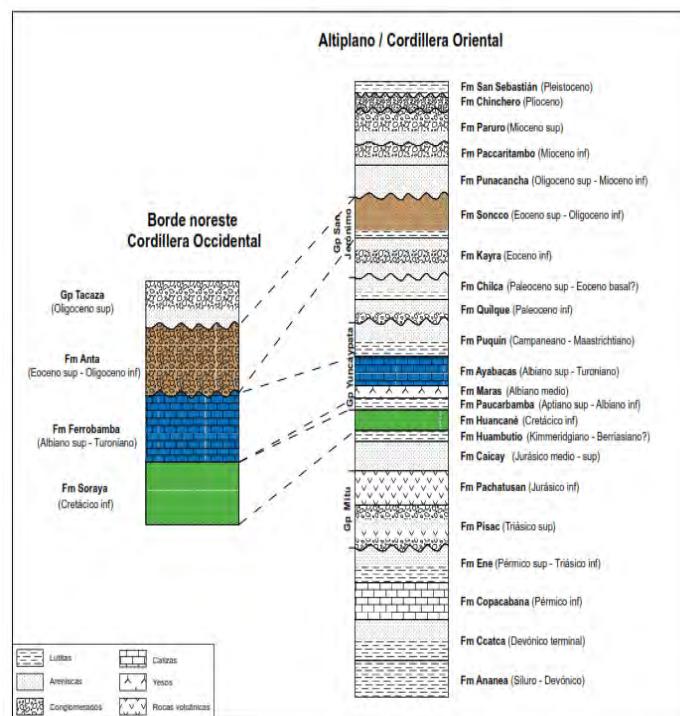
En la zona de estudio tenemos predominancia de material cuaternario, como los depósitos fluviales emplazados por el cauce del río, compuestos mayormente por grava con matriz de limos y arcillas; además de la disposición de depósitos aluviales y depósitos lacustres por la zona SE.

### 3.3 ESTRATIGRAFÍA

Tomando como referencia la columna estratigráfica del cuadrángulo 28 – s tenemos la formación Maras al NE, esta formación pertenece al Albiano medio (113 Ma) presenta yesos y lutitas rojas. Seguido tenemos a la formación Rumicolca ( $0.7 \pm 0.15$  Ma ) emplazado al Norte de la zona de estudio, compuesto principalmente de andesitas.

Así mismo tenemos a la formación Soncco de edad del Eoceno ( $41.2 \pm 33.9$  Ma), estando presente el miembro II al SW, constituido por lutitas rojas e intercalaciones de areniscas finas. Finalmente tenemos gran presencia de material cuaternario de depósitos aluviales, fluviales, coluviales y lacustres.

Figura 15 Estratigrafía de los dominios morfoestructurales regionales



**Nota: Se muestran las unidades estratigráficas correspondientes entre el altiplano y cordillera oriental de cuadrángulo 28-s. (V. Carlotto, 2011).**





al Pliocuaternario, según la erupción del volcán Rumicolca, además de las dataciones realizadas en cuerpos volcánicos en Huancarani en  $0.7 \pm 0.15$  Ma (Carlotto, 2002).

### **3.3.1.2 Lutitas, Formación Soncco Miembro I (Peo-so-I) Descrita por Córdova, 1986 y Carlotto, 1998.**

Esta formación sobre yace a la formación Kayra, esta formación presenta dos miembros. Miembro I entre los 200 y 300 m corresponde a depósitos de llanuras de inundación constituidos por intercalaciones de lutitas y areniscas de grano fino.

El miembro II entre los 1000 y 2000 m, están compuestos de por areniscas y conglomerados que presentan clastos volcánicos.

### **3.3.1.3 Areniscas, Formación Huancané (ki-hn)**

Esta formación está compuesta por dos miembros, presenta un miembro inferior que está constituida por areniscas conglomeráticas y areniscas cuarzosas de origen fluvial (Carlotto, 1992).

El miembro superior este compuesto por niveles calcáreos, areniscas oblicuas y niveles de lutitas rojas (Carlotto, 1992).

Esta formación está situada en la base del cretácico, de acuerdo a las fósiles de plantas encontradas en lutitas negras en la zona de Huambutío (Doubinger y Marocco, 1981).

### **3.3.1.4 Yesos-Lutitas, Formación maras (Ki-ma)**

Esta formación está incluida en el grupo Yuncaypata, constituidas por yesos y lutitas removidas por acción tectónica y se presenta de manera irregular en el cartografiado del cusco, presenta afloramientos en la meseta de Sacsayhuamán, Paccarictambo y Huanquite (Carlotto, 1996).

Corresponden a yesos intercaladas con lutitas y presenta algunos niveles de calizas, su origen se debe a medios lacustres y un ambiente marino de poca profundidad. (Carlotto, 1996)

Se considera la edad de Albiana Media, en función a la disposición estratigráfica ya que sobre yace a la formación Paucarbamba de la edad del Albiano. (Carlotto, 1996)

#### **3.3.1.5 Depósitos fluviales Q-fl**

Pueden ser reconocidos en fondos de valle, compuesto por gravas y arenas y con frecuencia forman terrazas.

#### **3.3.1.6 Depósitos lacustres cuaternarios Q-la**

Se evidencian en Accha y Huacarpay constituidos por turbas y arcillas que son depósitos originados a partir del retroceso de lagunas.

#### **3.3.1.7 Depósitos aluviales Q-al**

Corresponden a depósitos compuesto por bloques y gravas en matriz arenosa arcillosa, dispuesto en conos asociados a desembocaduras de quebradas.

#### **3.3.1.8 Depósitos coluviales Q-co**

Considera los deslizamientos por la pendiente elevada que presentan, teniendo en cuenta que algunos de ellos se encuentran activos como el deslizamiento de Yaurisque y Sapi.

### ***3.3.2 LITOESTRATIGRAFÍA LOCAL***

Considerando la información de Geología del cuadrángulo del Cusco hoja 28-s elaborado por Carlotto, 2011. Y el reconocimiento en campo mediante mapeos y muestras de mano para realizar descripciones macroscópicas de determinaron las siguientes unidades litoestratigráficas locales (figura 16) .



*Fotografía 5 Andesitas de la formación Rumicolca.*



**Nota: Se observa flujos lávicos, caracterizadas como rocas ígneas Andesíticas. (elaboración propia).**

### **3.3.2.2 Lutitas, Formación Soncco Miembro I (Peo-so-I)**

Se puede observar al Sur-Oeste del área de estudio, en el talud generado por un corte para la carretera Cusco-Puno, presenta una secuencia de Areniscas y lutitas rojas intercaladas. Estas corresponden al miembro I, ya que se tiene un predominio de lutitas rojizas con niveles menores de Areniscas de grano fino.

*Fotografía 6 Lutitas de la formación Soncco.*



**Nota:** Se observa afloramiento de la formación Soncco compuesta por Lutitas y areniscas intercaladas, en la margen derecha de la vía Cusco-Puno. (Elaboración propia).

### **3.3.2.3 Yesos-Lutitas, Formación maras (Ki-ma)**

Estas se pueden observar al Norte-Este del área de estudio, claramente se observan yesos y lutitas dispuestas de manera caóticas.

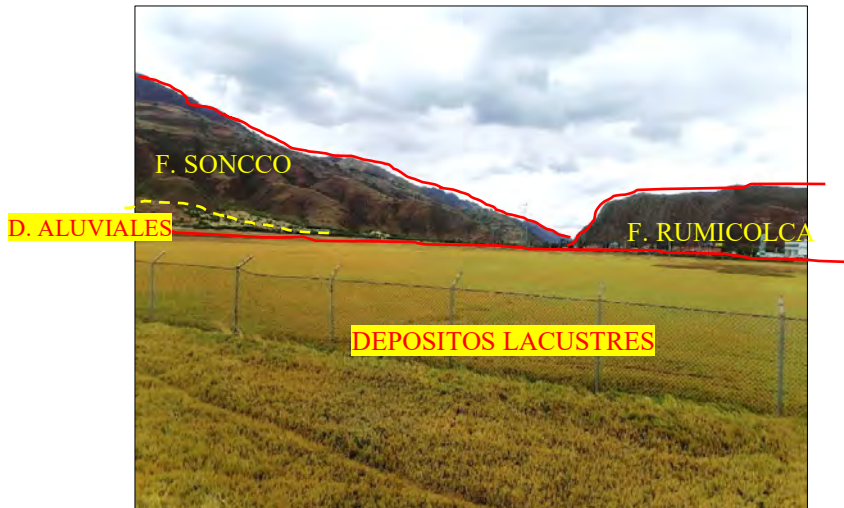
### **3.3.2.4 Depósitos fluviales Q-fl**

Se encuentran distribuidos en el cauce del río, compuestos por gravas con matriz de arenas y limos.

### **3.3.2.5 Depósitos lacustres cuaternarios Q-la**

Se encuentran delimitados por lo bofedales con mayor frecuencia hacia el Sur Oeste del área de estudio, presentan materiales finos como arcillas marrones oscuras y turbas. Algunas zonas se encuentran cubiertos por agua y vegetación característica.

*Fotografía 7 Depósitos lacustres.*

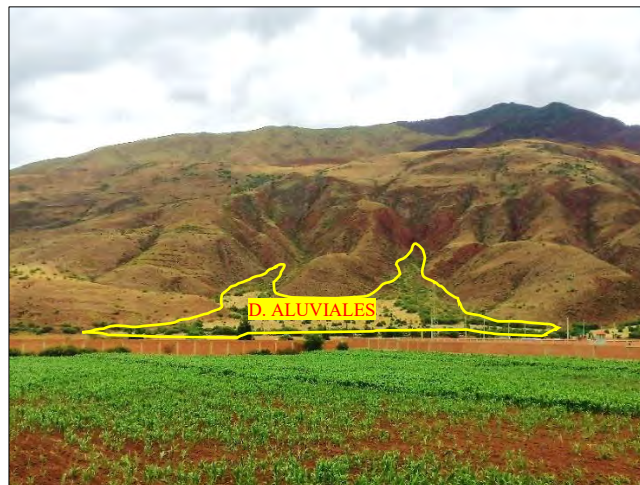


**Nota:** Se observa superficies llanas de depósitos lacustres compuestas por arcillas cubiertas por vegetación, ubicada en la margen derecha de la vía hacia Lucre. (Elaboración Propia).

### 3.3.2.6 Depósitos aluviales Q-al

Se observan en conos depositados por el transporte de material en las quebradas y vertientes con frecuencia al Sur-Este del área de estudio (fotografía 8). Se observa clastos de composición sedimentaria correspondientes a la formación Soncco distribuidas en matriz arenosa-arcillosa.

*Fotografía 8 Depósitos aluviales.*



**Nota: Se observa en la ladera y pie de montaña compuesto por gravas en matriz arcillosa-arenosa. (Elaboración propia).**

### **3.3.2.7 Depósitos coluviales Q-co**

La zona de estudio no presenta con frecuencia estos depósitos, se encuentran distribuidos en pie de colinas volcánicas correspondientes al domo volcánico, compuestas por clastos volcánicos de andesitas.

*Fotografía 9 Depósitos coluviales*



**Nota: Se puede observar distribuidos en laderas de colina de roca volcánica, compuestas por clastos de roca volcánica. (Elaboración propia).**

## **4. CAPITULO IV – HIDROLOGIA**

### **4.1 GENERALIDADES**

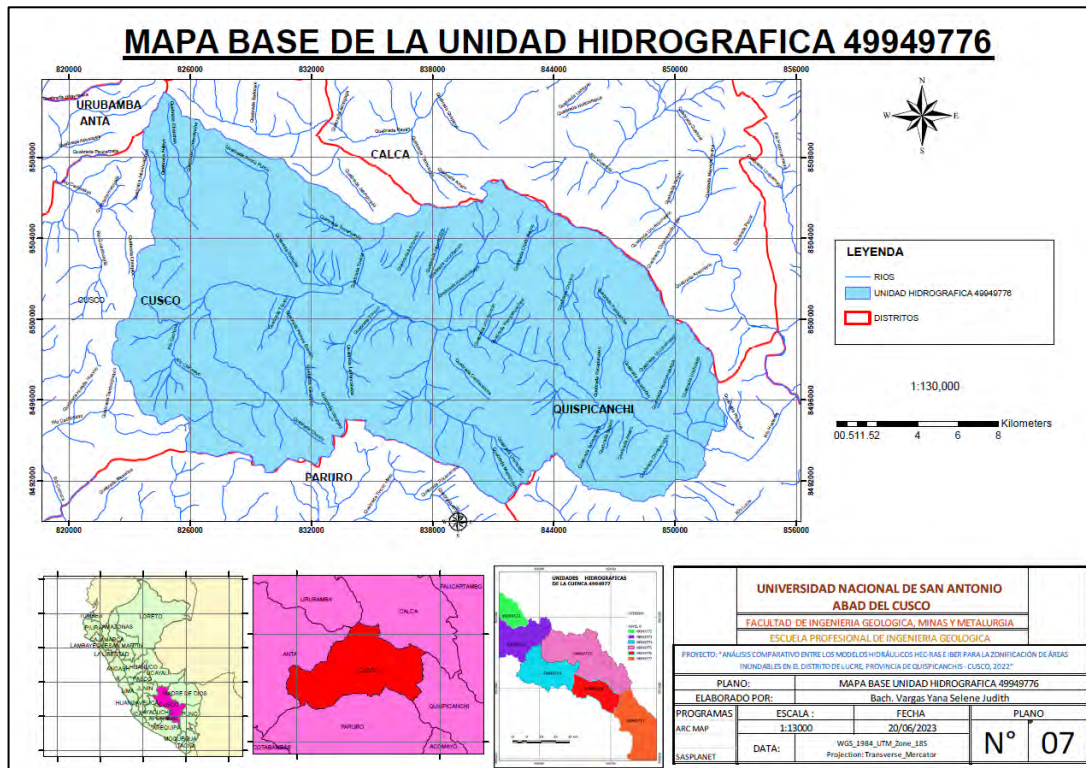
El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del Rio Huatanay. Esta unidad hidrográfica es integrante de la cuenca del Vilcanota perteneciente a la cuenca hidrográfica del Amazonas. Esta identificado con el código 49949776 y se clasifica como una cuenca de nivel 8 según la clasificación Pfastetter.

Nuestra área de estudio se encuentra a una altitud de 3099 m.s.n.m. en la zona baja de la subcuenca del Huatanay, recibe las precipitaciones que confluyen en el rio Huatanay y discurren hacia el cauce principal de la cuenca del rio Vilcanota 49949.

Para los fines de este trabajo de investigación se realizó el estudio hidrológico determinando los parámetros morfométricos de la cuenca, así mismo se empleó registros de precipitaciones entre los años 1964 y 2018 para la obtención de los datos de precipitaciones y avenidas máximas.



Figura 18. Mapa base U.H. 49949776.

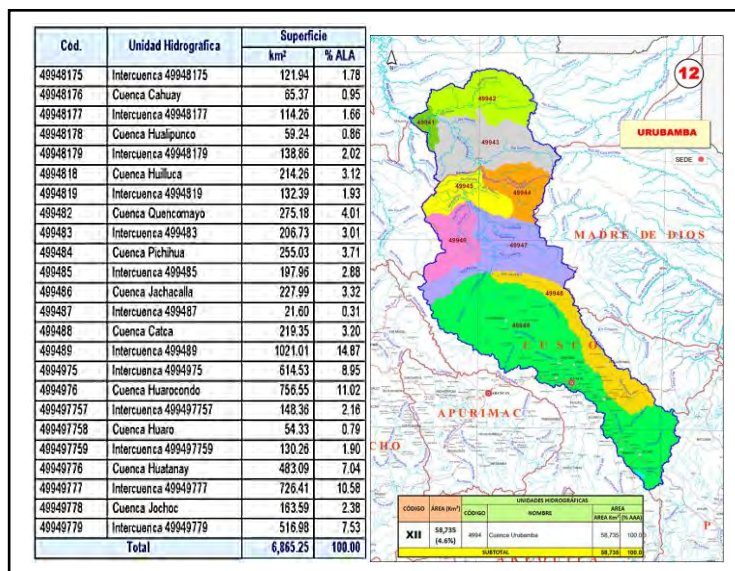


**Nota: Mapa de la cuenca Huatanay 49949776. Ver ANEXO 2 mapa 7. (Elaboración propia).**

## 4.2 PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA 49949776

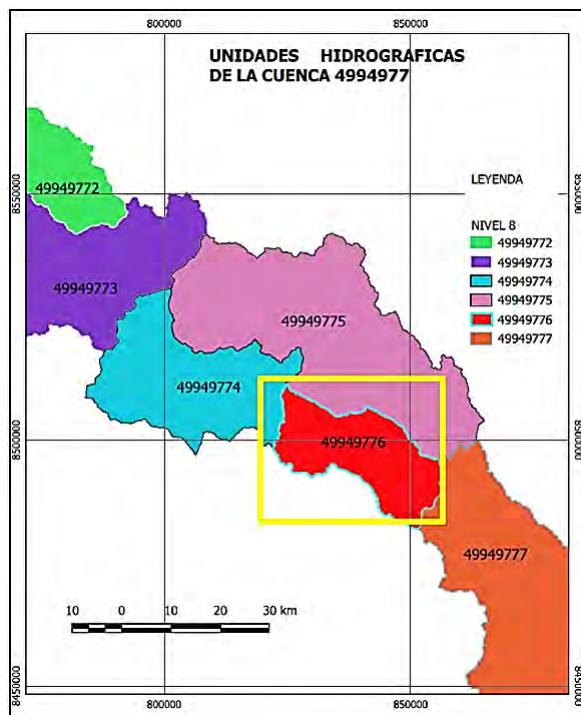
La cuenca del Huatanay esta identificada como una cuenca del nivel 8, perteneciente a la unidad hidrográfica con código 4994977 según el ANA (Autoridad Nacional del Agua).

Figura 19. Clasificación Pfasterter de las unidades hidrográficas de la cuenca Urubamba.



**Nota: Codificación de las unidades hidrográficas (ANA).**

Figura 20. Unidades hidrográficas de la cuenca 4994977.



**Nota: Codificación de las unidades hidrográficas de la cuenca 4994977, la cuenca del Huatanay esta codificada como 4994776. (Elaboración propia).**

#### 4.2.1 PARAMETROS DE FORMA

La subcuenca del Rio Huatanay se encuentra ubicada en la ciudad del Cusco, la cual abarca gran parte de la cuenca, presentando una gran proporción de zonas urbanas, así mismo posee una superficie variada, con gran presencia de áreas montañosas y zonas llanas.

El área que abarca corresponde a 366.45 km<sup>2</sup> con un perímetro de 128.78 km; según la clasificación de Máximo Villón (2002) la subcuenca del Huatanay es una cuenca grande con un área mayor a 250 km<sup>2</sup>.

Tabla 7 Parámetros de forma de la cuenca 49949776

PARAMETRO	PARAMETRO DE FORMA		DATO	UNIDAD
	REPRESENTACION	FORMULA		
AREA	<b>A</b>	-	<b>366.5</b>	km <sup>2</sup>
PERIMETRO	<b>P</b>	-	<b>128.8</b>	km
LONGITUD DE CUENCA	<b>L</b>	-	<b>33.1</b>	km
ANCHO DE CUENCA	<b>B</b>	$B = A/L$	<b>11.1</b>	km
FACTOR DE FORMA	<b>Kf</b>	$Kf = A/L^2$	<b>0.3</b>	-
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	<b>Kc</b>	$Kc = P/2\sqrt{A\pi}$	<b>1.9</b>	-
RELACION DE ELONGACION	<b>Re</b>	$Re = 1.128VA / L$	<b>0.7</b>	-

**Nota. Valores de los parámetros de forma con sus respectivas unidades y fórmulas para su obtención.**

#### 4.2.2 PARAMETROS DE RELIEVE

Los parámetros de relieve están relacionados a las altitudes entre las que se encuentra ubicado la cuenca de estudio, cuya elevación media es de 3663 m.s.n.m.

Tabla 8 Parámetros de relieve

PARAMETROS RELATIVOS DE RELIEVE			
PARAMETRO	CODIGO	VALOR	UNIDAD
COTA MAXIMA	<b>Cmax</b>	3971	msnm
COTA MINIMA	<b>Cmin</b>	3093	msnm
ELEVACION PROMEDIO	<b>Cprom</b>	3663	msnm

**Nota. Se aprecian los valores de elevación máxima, mínima y media de la cuenca**

**(Elaboración propia).**

El histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca se elaboró con los datos de las altitudes y su correspondiente área comprendido entre dichas altitudes, representando el porcentaje que abarcan del área total de la cuenca

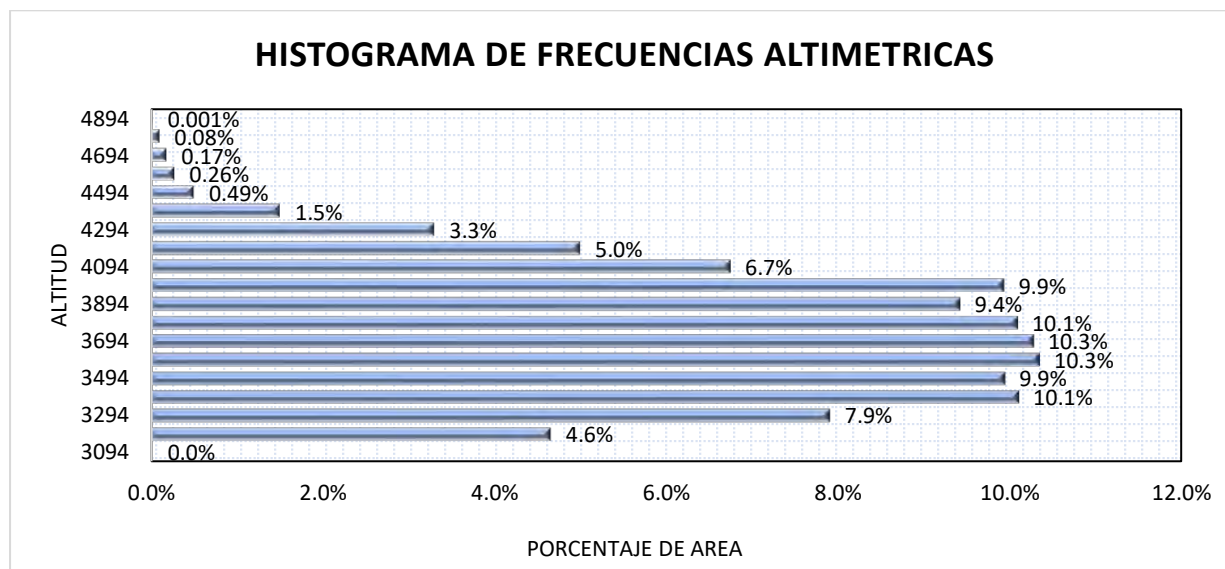
*Tabla 9 Histograma de frecuencias altimétricas*

<b>HISTROGRAMA DE FRECUENCIAS ALTIMETRICAS</b>				
<b>ID</b>	<b>COTA MINIMA</b>	<b>COTA MAXIMA</b>	<b>AREA (km2)</b>	<b>PORCENTAJE DE AREA</b>
1	3093	3194	17.0	4.64%
2	3194	3294	29.0	7.89%
3	3294	3394	37.0	10.09%
4	3394	3494	36.4	9.92%
5	3494	3594	37.9	10.33%
6	3594	3694	37.6	10.26%
7	3694	3794	37.0	10.08%
8	3794	3894	34.5	9.41%
9	3894	3994	36.4	9.92%
10	3994	4094	24.2	6.73%
11	4094	4194	18.3	4.98%
12	4194	4294	12.0	3.28%
13	4294	4394	5.5	1.49%
14	4394	4494	1.8	0.49%
15	4494	4594	0.9	0.26%
16	4594	4694	0.6	0.17%
17	4694	4794	0.3	0.08%
18	4794	4894	0.02	0.01%
19	4894	4971	0.01	0.00%
			366	100%

**Nota. Valores de las cotas con el área entre ellas y el porcentaje que representan del área total (Elaboración propia).**

En figura 17 podemos apreciar que el mayor porcentaje de áreas se encuentran comprendidas entre los 3290 msnm a 4000 msnm con un porcentaje de 70% del total del área de la cuenca.

Figura 21 Histograma de frecuencias altimétricas



**Nota. Gráfico elaborado con los valores de las altitudes y los porcentajes de área comprendidos entre ellos (Elaboración propia).**

#### 4.2.2.1 PENDIENTE DE LA CUENCA

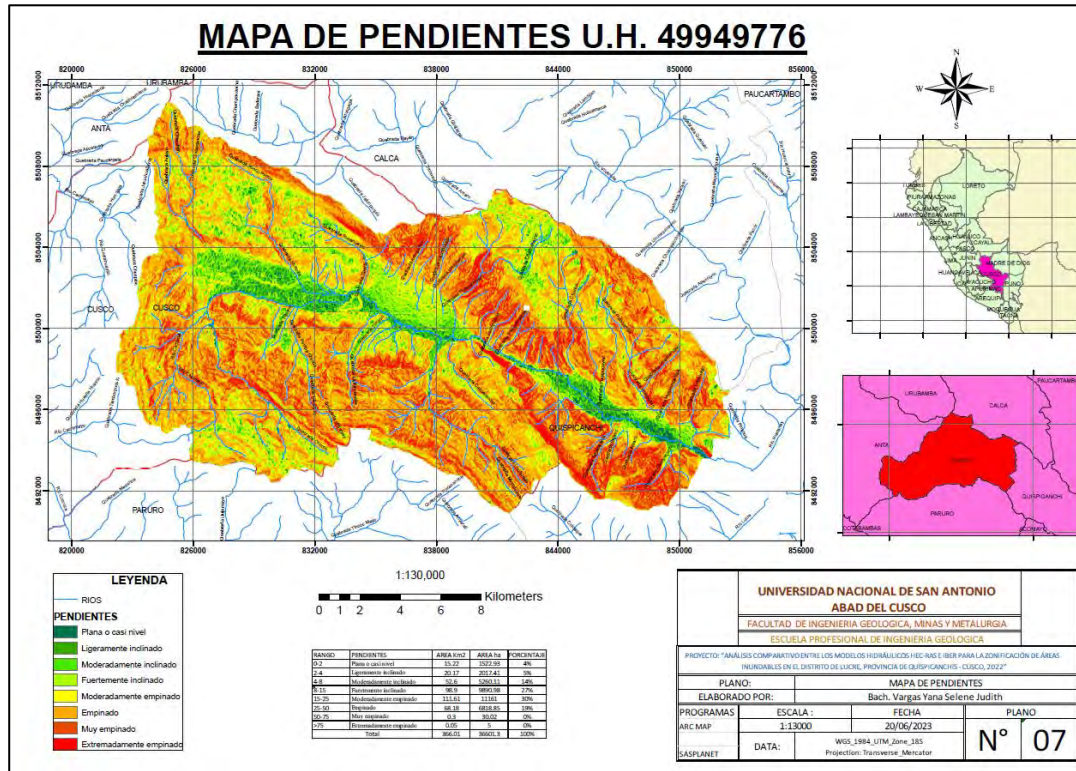
La cuenca 49949776 presenta mayormente pendientes fuertemente inclinados que abarca un área de 98.90 Km<sup>2</sup> (27%) a moderadamente empinada de 111.61 km<sup>2</sup> (30%) .

Tabla 10 Clasificación de pendientes en la cuenca 49949776

RANGO	PENDIENTES	AREA Km2	AREA ha	PORCENTAJE
0-2	Plana o casi nivel	15.22	1522.93	4%
2-4	Ligeramente inclinado	20.17	2017.41	5%
4-8	Moderadamente inclinado	52.60	5260.11	14%
8-15	Fuertemente inclinado	98.90	9890.98	27%
15-25	Moderadamente empinado	111.61	11161	30%
25-50	Empinado	68.18	6818.85	19%
50-75	Muy empinado	0.30	30.02	0%
>75	Extremadamente empinado	0.05	5.0	0%
Total		366.0	36601.3	100%

**Nota. Pendientes características en la subcuenca del río Huatanay, porcentajes y áreas que abarcan. (Elaboración propia)**

Figura 22. Mapa de pendientes de la unidad Hidrográfica.



Nota: Se muestran las pendientes en la cuenca 49949776. Ver ANEXO 2 mapa 1 (Elaboración propia).

#### 4.2.2.2 ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA

La altitud media de la cuenca es de 3663 msnm, según Villón (2002) es el valor que separa el 50% del área total de la cuenca distribuidas por encima y debajo de esta altitud.

Tabla 11 Curva Hipsométrica

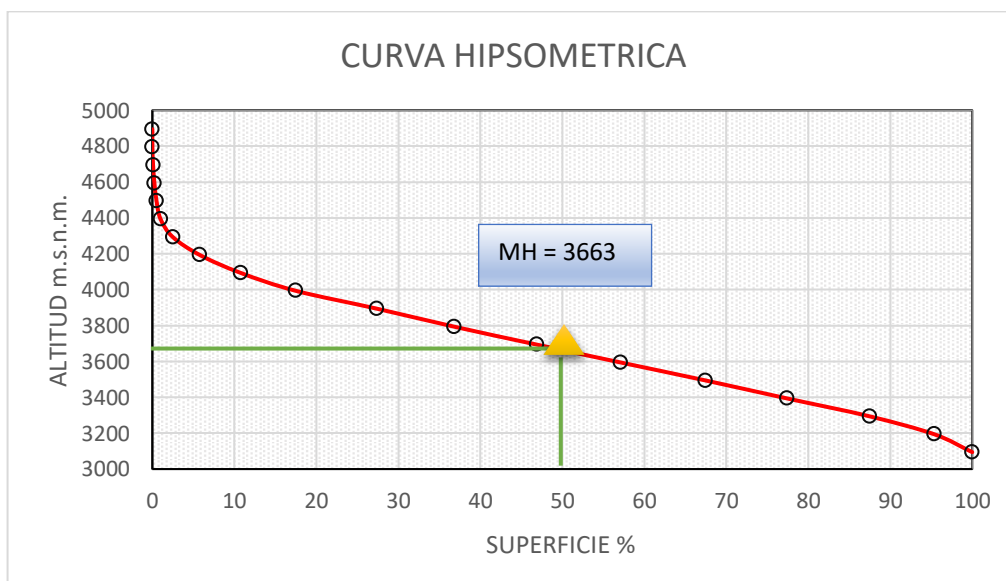
CURVA HIPSOMETRICA						
COTA MINIMA	COTA MINIMA	AREA ENTRE COTAS (km2)	AREA ACUMULADA (km2)	AREA SOBRE COTAS (km2)	%AREA ENTRE COTAS	% SUPERFICIE
3093	3194	17.02	17.02	367.0344	4.64%	100
3194	3294	29.0	66	350.0109	7.89%	95.36187889
3294	3394	37.0	73.4	321.048	10.09%	87.47082017
3394	3494	36.4	74.3	284.0193	9.92%	77.38220178
3494	3594	37.9	75.5	247.5918	10.33%	67.45738274
3594	3694	37.6	74.6	209.6739	10.26%	57.12649822
3694	3794	37.0	71.5	172.0116	10.08%	46.86525296

3794	3894	34.5	70.9	135.0324	9.41%	36.79012103
3894	3994	36.4	60.6	100.512	9.92%	27.38489907
3994	4094	24.2	42.5	64.1196	6.73%	17.46964317
4094	4194	18.3	30.3	39.4227	4.98%	10.74087334
4194	4294	12.0	17.5	21.1446	3.28%	5.7609314
4294	4394	5.5	7.3	9.0954	1.49%	2.478078349
4394	4494	1.8	2.7	3.6432	0.49%	0.992604508
4494	4594	0.9	1.5	1.8612	0.26%	0.507091433
4594	4694	0.6	0.9	0.9126	0.17%	0.248641544
4694	4794	0.3	0.32	0.3024	0.08%	0.082390097
4794	4894	0.0	0.03	0.0027	0.01%	0.000735626
4894	4971	0.0	366.01	0.00	0.00%	0.0
		366.0			100%	

**Nota. Valores de altitudes de la cuenca y porcentaje de áreas acumuladas. (Elaboración propia).**

La curva Hipsométrica nos permite conocer la relación entre los valores altimétricos con el área; así mismo están asociadas a la edad de la cuenca y su fase de desarrollo.

*Figura 23 Curva Hipsométrica*



**Nota. Valores distribuidos de áreas acumuladas relacionados con las altitudes (Elaboración propia).**

La curva hipsométrica de la cuenca 49949776 representa que se encuentra en un estadio de vejez o sedimentario, gran parte del material ya ha sido erosionado y depositado en las partes más baja de la cuenca.

### 4.2.2.3 PARAMETROS DEL CAUCE

#### 4.2.2.3.1 PARAMETROS DE RELIEVE

Se hace el análisis del cauce principal de la cuenca, el cual cuenta con un valor de 40.02 km de longitud. Para el cálculo de la pendiente media del cauce se realizó por el método de Taylor – Shwarz.

Tabla 12 Pendiente media del río

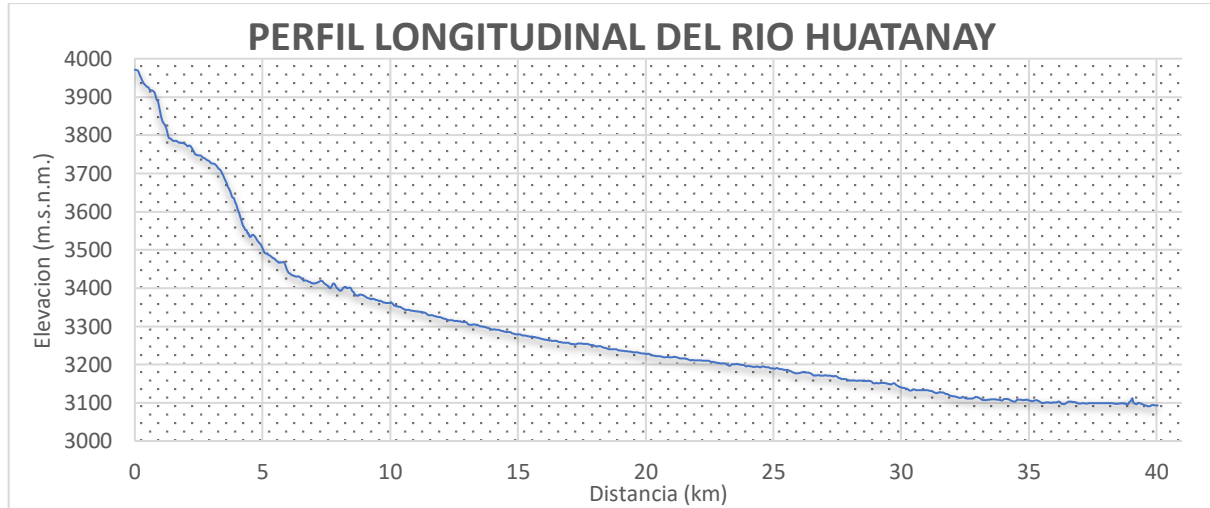
Z min	Zmax	DESNIVEL	S	L/√S
3971	3775	2000	0.098	6388.68
3775	3606	2000	0.085	6880.21
3606	3440	2000	0.083	6942.10
3440	3399	2000	0.020	13980.47
3399	3361	2000	0.019	14497.65
3361	3322	2000	0.020	14320.95
3322	3292	2000	0.015	16334.12
3292	3265	2000	0.014	17210.69
3265	3249	2000	0.008	22355.56
3249	3228	2000	0.010	19527.20
3228	3211	2000	0.009	21690.24
3211	3196	2000	0.008	23091.76
3196	3180	2000	0.008	22372.46
3180	3158	2000	0.011	19075.92
3158	3140	2000	0.009	21055.74
3140	3117	2000	0.011	18655.15
3117	3110	2000	0.003	33848.70
3110	3102	2000	0.004	31842.18
3102	3099	2000	0.001	52406.67
3099	3094	2000	0.003	39198.57
3094	0	2000	1.547	1607.99
	<b>TOTAL</b>	<b>42000</b>		<b>423283.01</b>
<b>Pendiente Media</b>			<b>0.985%</b>	

**Nota. Valores de las cotas de segmentos de río con su respectiva pendiente y valor de pendiente media de todo el cauce (Elaboración propia).**



La pendiente media calculada por el método de Taylor tiene un valor de 0.985%, la cual varía significativamente con respecto a la pendiente de que se obtiene con los valores de cotas extremas en relación a la longitud total del cauce, que presenta un valor de 2.19%.

Figura 24 Perfil longitudinal del Rio Huatanay



**Nota. Gráfico del cauce representado en relación a las altitudes y longitud (Elaboración propia).**

#### 4.2.2.3.2 PARAMETROS DE DRENAJE

La cuenca 49949776 posee una clasificación de cuarto orden, según Horton. El cauce principal tiene una longitud de 40.02 km. El número total de las corrientes es de 31; conformando un total de 159km de longitud de corrientes.

Tabla 13 Parámetros de drenaje

Orden de corrientes	Número de corrientes (Nu)	Números totales de corrientes	Longitud de corrientes (Lu) (km)	Longitud total de corrientes (km)	Longitud media de la corriente (Lsm) (km)	Relación de longitud de corrientes (Lur)	Relación de bifurcación (Rb)	Relación de bifurcación media (Rbm)
I	18	31	78.75	159.32	4.375	0.24	1.80	2.93
II	10		41.94		4.194		5.00	
III	2		10.11		5.055		2.00	
IV	1		28.52		28.52		2.82	

**Nota. Valores de los parámetros de drenaje de la cuenca 49949776 (Elaboración propia).**

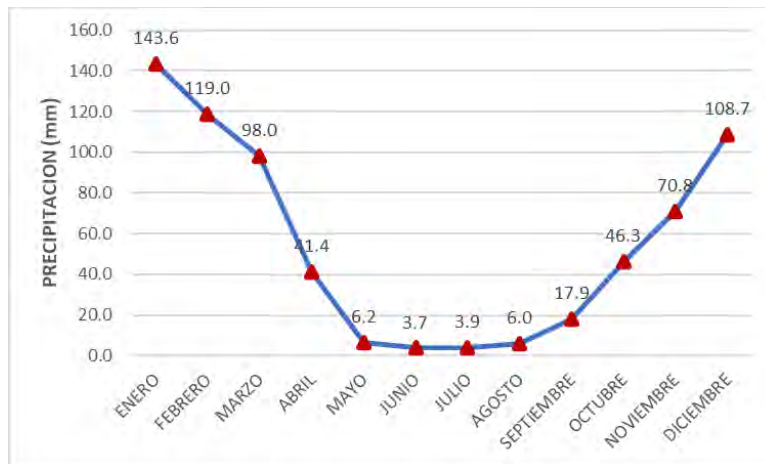
### 4.3 PARAMETROS HIDROMETEOROLOGICOS DE LA CUENCA 49949776

Para los parámetros hidrometeorológicos se obtuvo la data de registros de las plataformas de SENAMHI y el ANA considerando los valores medios mensuales de precipitación y temperaturas.

#### 4.3.1 REGISTRO DE PRECIPITACIONES

Los datos pluviométricos empleados desde el año 1964 al 2015, se realizó el completado y extensión de datos mediante el empleo distribuciones estadísticas como Gumbel, log normal, considerando la distribución que mejor se adapta a nuestros datos.

Figura 25 Comportamiento de precipitación mensual en la cuenca 49949776.



**Nota. Valores de precipitación en mm. (Elaboración Propia).**

En la figura 25 observamos las mayores precipitaciones son en los meses de enero, febrero y marzo, siendo el mayor valor de 148 mm/mes, contrariamente a los meses de junio y julio con precipitaciones mínimas de 3 mm/mes. Presentando una precipitación anual de 665.9 mm/año.

### 4.3.2 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

La temperatura nos permite conocer la naturaleza térmica de la cuenca 49949776, teniendo principalmente según la figura 26 con los registros obtenidos de la plataforma del SENAMHI, teniendo los valores más elevados de la temperatura media mensual se presentan entre los meses de noviembre a febrero con una temperatura pico de 13.8 °C y un valor mínimo de 9.3 °C. Presentando una temperatura media anual de 12.01 °C.

Figura 26 Comportamiento de la precipitación media mensual en la cuenca 49949776.

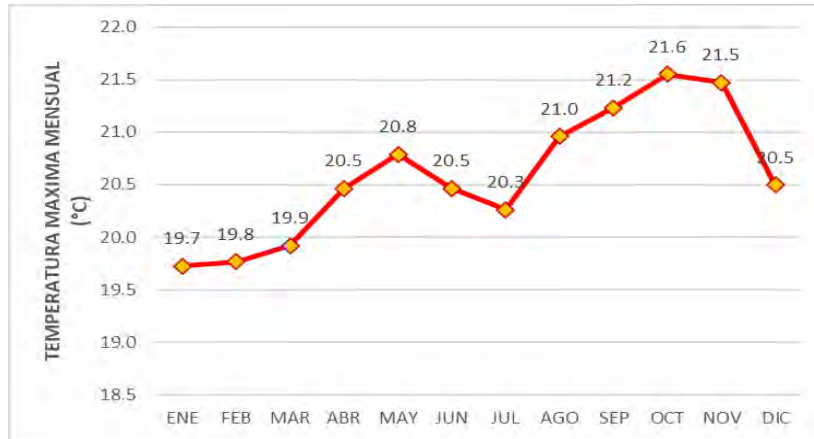


**Nota. Valores de temperatura en °C. (Elaboración Propia).**

### 4.3.3 TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL

De la data obtenida de SENAMHI para los valores de temperatura máxima media mensual, tenemos la fig. 27 Con los valores máximos presentes en la unidad hidrográfica 49949776 observando valores más altos en los meses de octubre y noviembre con una temperatura máxima de 21.6°C y un valor de 19.7 °C como mínimo en el mes de enero. Obteniendo una temperatura máxima media anual de 20.6 °C.

Figura 27 Comportamiento de la temperatura máxima media mensual en la cuenca 49949776.

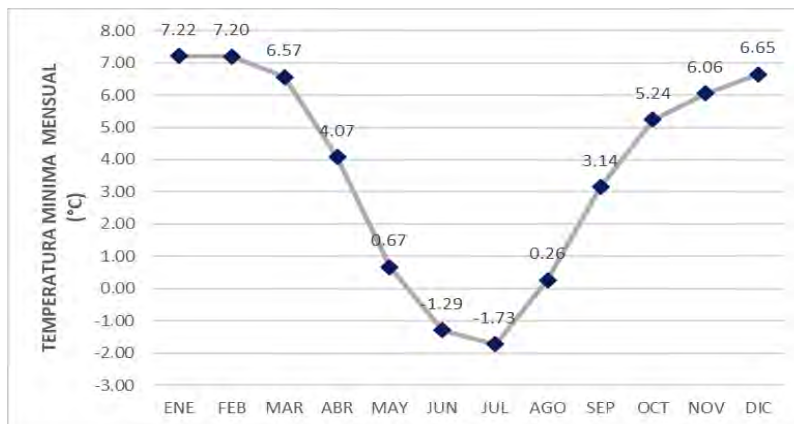


**Nota. Valores de temperatura máxima en °C. (Elaboración Propia).**

#### 4.3.4 TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL

Concerniente a los valores de temperatura mínima media mensual observamos valores máximos en los meses de enero y febrero con temperaturas de 7.22 °C y 7.22°C respectivamente. Así mismo, el valor mínimo de temperatura fue de -1.73°C correspondiente al mes de julio. En relación a ello se tiene un valor de temperatura mínima media anual de 3.67°C.

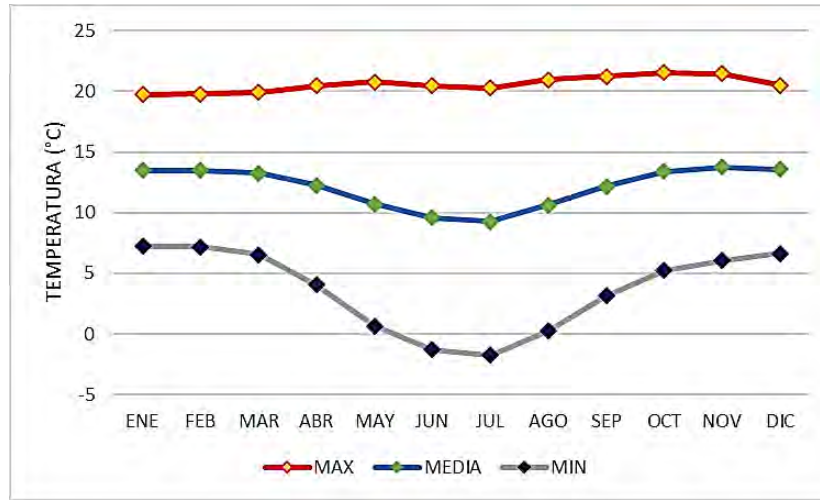
Figura 28 Comportamiento de la temperatura mínima media mensual en la cuenca 49949776.



**Nota. Valores de temperatura mínima en °C. (Elaboración Propia).**

En la fig. 29 podemos apreciar la correlación del comportamiento de los valores de temperatura máxima, media y mínima mensuales en la cuenca 49949776.

Figura 29 Correlación de las temperaturas medias mensuales en la cuenca 49949776.

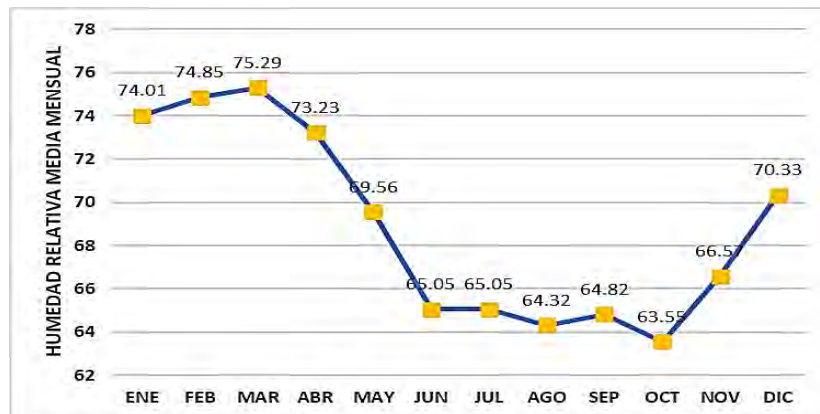


**Nota. Valores de temperatura maxima, media y minima mensual en °C. (Elaboración Propia).**

#### 4.3.5 HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL

Los datos de humedad relativa media mensual presentan valores más elevados en los meses de marzo con 75.29% contrariamente al mes de octubre un valor mínimo de humedad de 63.55%. Consecuentemente presentan una humedad relativa media anual para la cuenca 49949776 de 68.8 %.

Figura 30 Comportamiento de la humedad relativa media mensual en la cuenca 49949776.

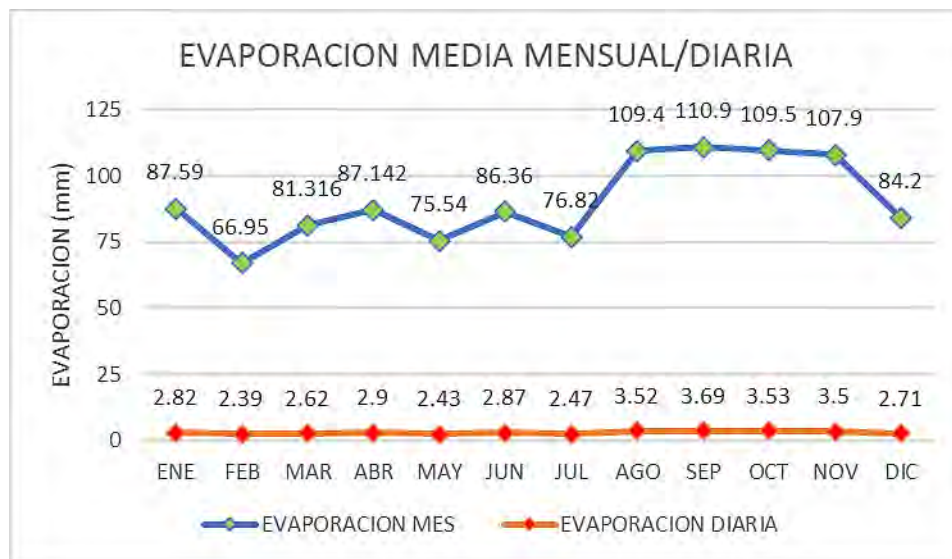


**Nota. Valores de Humedad relativa en %. (Elaboración Propia).**

### 4.3.6 EVAPORACION MEDIA MENSUAL

Con respecto a los datos de evaporación media en la fig. 31 podemos observar el comportamiento de la evaporación media mensual con valores máximos entre los meses de agosto a noviembre teniendo un máximo de 110.9 mm/mes por el contrario al mes de febrero con una evaporación de 66.95 mm/mes. Así mismo los valores de evaporación media diaria observando un valor máximo de 3.69 mm/diaria en el mes de setiembre y un valor mínimo de 2.39 mm/diaria en el mes de febrero. En relación a ello tenemos una evaporación media anual de 90.3 mm/añual.

Figura 31 Comportamiento de la humedad media mensual y diaria en la cuenca 49949776.



**Nota. Se tiene los valores de evaporación media mensual y diaria en °C. (Elaboración Propia).**

### 4.4 ESTIMACION DE CAUDALES EXTREMOS

Para el cálculo de precipitaciones máximas y periodos de retorno se ha recopilado valores de precipitaciones máximas en 24 horas, con ese fin se ha empleado los datos de la estación Kayra que se encuentra dentro de la cuenca.

#### 4.4.1 ANALISIS DE EVALUACION DE LOS DATOS METEOROLOGICOS

Para información meteorológica de la estación Kary fue obtenida de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Esta estación posee un registro de datos de precipitaciones comprendidos entre los años 1964 a 2018.

Los datos de la estación Kayra presentan datos faltantes en distintos años del registro, para el completado de estos datos empleamos el software Easyfit el cual realiza un análisis de datos con distribuciones probabilísticas como son Log Pearson 3, Gumbel, Gamma, entre otros; con los cuales realiza un ajuste de los datos a la distribución que sea más adecuada de modo que no se alteren los valores promedio, desviación estándar de toda la serie.

La data completa de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Kayra se sometió al análisis de datos dudosos, donde se obtuvieron los parámetros estadísticos presentados en la tabla 14.

Tabla 14 Parámetros estadísticos de precipitaciones máximas 24 horas

<b>PARAMETROS ESTADISTICOS</b>	<b>24 Hrs</b>	<b>Log(24Hrs)</b>
<b>Numero de datos</b>	55	55
<b>Máximo</b>	56	4.0254
<b>Mínimo</b>	17.8	2.8792
<b>Promedio <math>\bar{x}</math></b>	32.66	3.4586
<b>Desviación Estándar S</b>	7.81	0.2377
<b>Coficiente de Asimetría Cs</b>	0.6115	-0.0324

**Nota. Valores estadísticos de la estación Kayra. (Elaboración propia).**

Para la prueba de datos dudosos empleamos el método de Water Resources Council, con lo que obtuvimos los valores de los umbrales superior e inferior.

$$x_H = \bar{x} + K_n \cdot S \quad \text{Umbral Superior}$$

$$x_L = \bar{x} - K_n \cdot S \quad \text{Umbral Inferior}$$

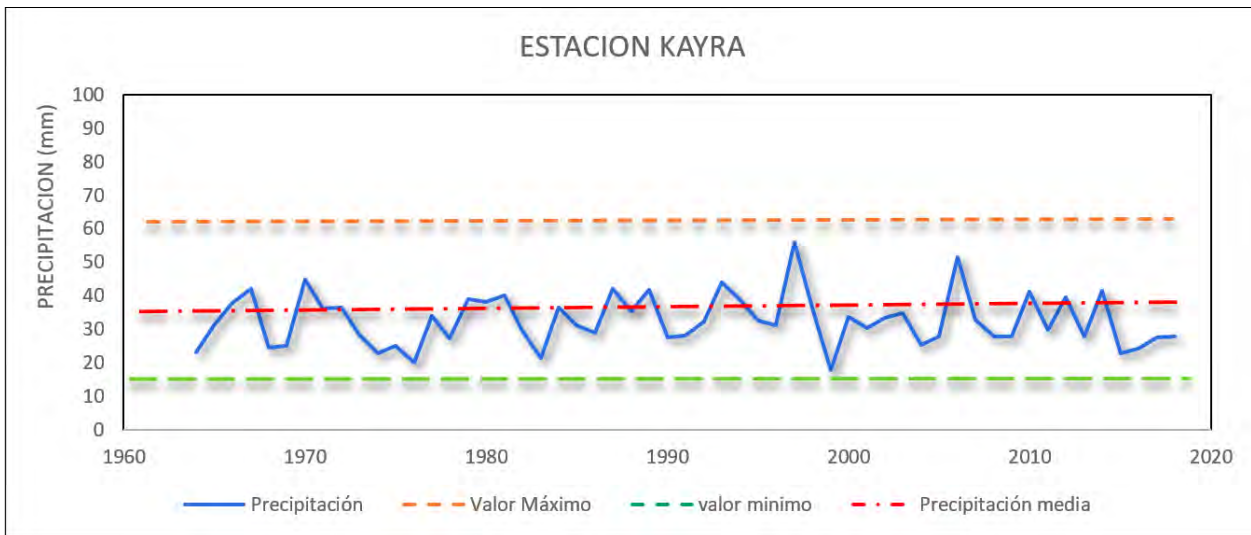
Tabla 15 Prueba de datos dudosos

UMBRALES		VALOR
Umbral superior, unidades logarítmicas	$x_H =$	4.1252
Precipitación máxima aceptable	$PH =$	<b>61.88 mm</b>
Umbral inferior, unidades logarítmicas	$x_L =$	2.7921
Precipitación mínima aceptable	$PL =$	<b>16.31 mm</b>

**Nota. Valores máximos y mínimos para las precipitaciones máximas en 24 horas.**

Los datos de la Estación Kayra **NO PRESENTAN** datos dudosos superiores o inferiores a los umbrales.

Figura 32 Análisis de datos dudosos de precipitaciones máximas



**Nota. Rango de valores de precipitación obtenidos de los umbrales de datos dudosos.**

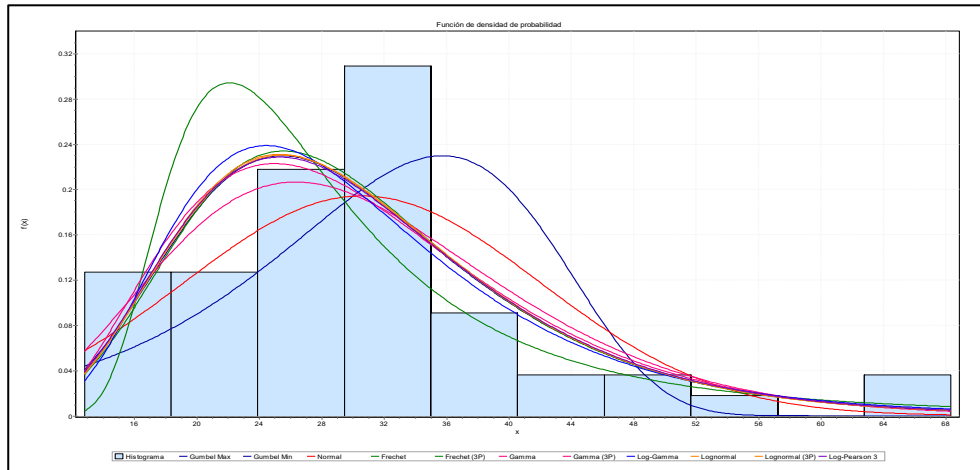
**(Elaboración Propia).**

#### 4.4.2 MODELOS DE DISTRIBUCION

Los datos de precipitaciones máximas de la estación Kayra fueron sometidas a un análisis de probabilidades estadísticas para obtener los modelos de distribución.



Figura 33 Distribución de densidades de probabilidad



**Nota. Modelos de distribución estadísticos aplicados a la estación Kayra.**

Del modelo de distribución observamos que las distribuciones de tipo Gumbel 3 parámetros, log normal, Log Gamma, Log Pearson 3 parámetros y Gamma presentan un comportamiento similar y aceptable para la estación Kayra.

Tabla 16 Resultados del ajuste de distribución

Distribución	Parámetros
Gumbel (3P)	$\alpha=707.71$ $\beta=6177.1$ $\gamma=-6151.5$
Gamma	$\alpha=7.2078$ $\beta=4.2454$
Gamma (3P)	$\alpha=3.9779$ $\beta=5.6008$ $\gamma=8.3204$
Log-Gamma	$\alpha=87.682$ $\beta=0.0383$
Log-Pearson 3	$\alpha=13723.0$ $\beta=-0.00306$ $\gamma=45.365$
Lognormal	$\sigma=0.35532$ $\mu=3.3578$
Lognormal (3P)	$\sigma=0.34559$ $\mu=3.3855$ $\gamma=-0.75906$

**Nota. Valores de los parámetros correspondientes a cada distribución estadística.**

#### 4.4.2.1 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

La prueba de bondad de ajuste nos permite evaluar si las distribuciones estadísticas se ajustan a los datos, entre las principales pruebas tenemos la de Kolmogórov -Smirnov, Chi Cuadrado y

Anderson Darling. Emplearemos la prueba de Kolmogorov- Smirnov para la selección de distribuciones.

*Tabla 17 Bondad de ajuste de las distribuciones estadísticas*

Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
<b>Gumbel (3P)</b>	0.09876	1	0.56083	1	12.077	7
<b>Lognormal</b>	0.09946	2	0.58632	4	12.927	9
<b>Lognormal (3P)</b>	0.10052	4	0.57688	3	12.93	10
<b>Log-Gamma</b>	0.10161	5	0.68805	7	7.055	2
<b>Log-Pearson 3</b>	0.1018	6	0.58787	5	12.419	8
<b>Gamma (3P)</b>	0.10594	7	0.6386	6	11.899	6

**Nota. Datos de ajuste con las distintas pruebas de bondad aplicadas. (Elaboración propia).**

Observamos que las distribuciones que mejor se adaptan a la prueba de Kolmogórov -Smirnov son Gumbel, Log Normal, Log Gamma y Log Pearson tipo III.

#### **4.4.3 PRECIPITACION EXTREMA Y PERIODOS DE RETORNO**

Para el cálculo de precipitaciones extremas usaremos la distribución estadística Gumbel, la cual fue la que mejor se adaptó a la prueba de bondad de datos, con lo cual se obtendrán los valores de precipitaciones máximas en distintos periodos de retorno.

*Tabla 18 Periodos de retorno y precipitaciones máximas*

<b>PRECIPITACIONES MAXIMAS PARA PERIODOS DE RETORNO</b>									
T	2	5	10	20	25	50	100	200	500
GUMBEL (P <sub>máx</sub> )	32.0	41.0	47.7	54.5	56.7	63.5	70.3	77.1	86.0
CORRECCION INTERVALO FIJO	36.14	46.29	53.95	61.62	64.09	71.75	79.42	87.08	97.22

**Nota. Se muestran valores de precipitaciones máximas calculadas por la distribución de**

**Gumbel.**

#### 4.4.4 CURVAS IDF

Las curvas IDF nos permite ver la relación que existe entre la intensidad de precipitación, su duración y la frecuencia. Para ello previamente obtenemos los valores de precipitación de diseño a lo largo de un día por el método de Dick and Peschke (tabla 19).

Tabla 19 Precipitaciones de diseño para duraciones menores a 24 horas

PRECIPITACIONES DE DISEÑO										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	10.43	13.36	15.57	17.79	18.50	20.71	22.93	25.14	28.06
0.33	20.00	12.41	15.89	18.52	21.15	22.00	24.63	27.26	29.90	33.37
0.50	30.00	13.73	17.59	20.50	23.41	24.35	27.26	30.17	33.08	36.93
0.67	40.00	14.76	18.90	22.03	25.16	26.16	29.29	32.42	35.55	39.69
0.83	50.00	15.60	19.98	23.29	26.60	27.66	30.97	34.28	37.59	41.97
1.00	60.00	16.33	20.91	24.38	27.84	28.95	32.42	35.88	39.34	43.92
1.50	90.00	18.07	23.14	26.98	30.81	32.04	35.88	39.71	43.54	48.61
2.00	120.00	19.42	24.87	28.99	33.11	34.43	38.55	42.67	46.79	52.23
4.00	240.00	23.09	29.58	34.47	39.37	40.95	45.85	50.74	55.64	62.12
6.00	360.00	25.56	32.73	38.15	43.57	45.32	50.74	56.16	61.58	68.74
7.00	420.00	26.56	34.02	39.65	45.28	47.10	52.73	58.36	64.00	71.44
8.00	480.00	27.46	35.17	41.00	46.82	48.70	54.52	60.34	66.17	73.87
10.00	600.00	29.04	37.19	43.35	49.51	51.49	57.65	63.81	69.97	78.11
11.00	660.00	29.74	38.09	44.39	50.70	52.73	59.04	65.34	71.65	79.99
12.00	720.00	30.39	38.92	45.37	51.81	53.89	60.34	66.78	73.23	81.75
24.00	1440.00	<b>36.14</b>	<b>46.29</b>	<b>53.95</b>	<b>61.62</b>	<b>64.09</b>	<b>71.75</b>	<b>79.42</b>	<b>87.08</b>	<b>97.22</b>

**Nota: Valores de precipitaciones máximas obtenidas en base a la precipitación máxima en 24 horas por el método de Dick and Peschke. (Elaboración propia).**

Tabla 20 Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas

INTENSIDADES DE DISEÑO										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	62.60	80.17	93.45	106.73	111.00	124.28	137.56	150.83	168.38
0.33	20	37.22	47.67	55.57	63.46	66.00	73.90	81.79	89.69	100.12
0.50	30	27.46	35.17	41.00	46.82	48.70	54.52	60.34	66.17	73.87
0.67	40	22.13	28.35	33.04	37.73	39.24	43.94	48.63	53.33	59.53
0.83	50	18.72	23.98	27.95	31.92	33.20	37.17	41.14	45.11	50.36
1.00	60	16.33	20.91	24.38	27.84	28.95	32.42	35.88	39.34	43.92
1.50	90	12.05	15.43	17.98	20.54	21.36	23.92	26.47	29.03	32.41
2.00	120	9.71	12.43	14.49	16.55	17.22	19.28	21.33	23.39	26.12

4.00	240	5.77	7.39	8.62	9.84	10.24	11.46	12.69	13.91	15.53
6.00	360	4.26	5.46	6.36	7.26	7.55	8.46	9.36	10.26	11.46
7.00	420	3.79	4.86	5.66	6.47	6.73	7.53	8.34	9.14	10.21
8.00	480	3.43	4.40	5.12	5.85	6.09	6.81	7.54	8.27	9.23
10.00	600	2.90	3.72	4.33	4.95	5.15	5.76	6.38	7.00	7.81
11.00	660	2.70	3.46	4.04	4.61	4.79	5.37	5.94	6.51	7.27
12.00	720	2.53	3.24	3.78	4.32	4.49	5.03	5.57	6.10	6.81
24.00	1440	<b>1.51</b>	<b>1.93</b>	<b>2.25</b>	<b>2.57</b>	<b>2.67</b>	<b>2.99</b>	<b>3.31</b>	<b>3.63</b>	<b>4.05</b>

**Nota. Valores de intensidades para distintos periodos de retorno en el lapso de un día.**

**(Elaboración propia).**

Para la obtención de las curvas IDF se realizó la regresión lineal por mínimos cuadrados de las intensidades de diseño con el fin de conocer las constantes k, m, y n de la expresión de cálculo de intensidades.

$$I = \frac{KT^m}{d^n}$$

I = intensidad de precipitación (mm/hr).

T = Periodo de Retorno (años).

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

*Tabla 21 Regresión lineal para distintos periodos de retorno*

<b>REGRESION LINEAL</b>					
<b>DURACION</b>	<b>T</b>	<b>x1=Log(T)</b>	<b>x2=Log(d)</b>	<b>I</b>	<b>y=Log(I)</b>
24hrs	2	0.3010	3.1584	1.51	0.1778
24hrs	5	0.6990	3.1584	1.93	0.2853
24hrs	10	1.0000	3.1584	2.25	0.3518
24hrs	20	1.3010	3.1584	2.57	0.4095
24hrs	25	1.3979	3.1584	2.67	0.4266
24hrs	50	1.6990	3.1584	2.99	0.4756
24hrs	100	2.0000	3.1584	3.31	0.5197
24hrs	200	2.3010	3.1584	3.63	0.5597
24hrs	500	2.6990	3.1584	4.05	0.6075
<b>Constantes</b>		<b>k = 34.01</b>	<b>m= 0.1753</b>	<b>n=0.75</b>	

**Nota. Valores obtenidos del cálculo de regresión para un día en distintos periodos de retorno. (Elaboración propia).**

Con las constantes características determinadas reemplazamos los valores y se hace el cálculo de las intensidades para la cuenca 49949776.

$$I = \frac{34.01 * T^{0.1753}}{d^{0.75}}$$

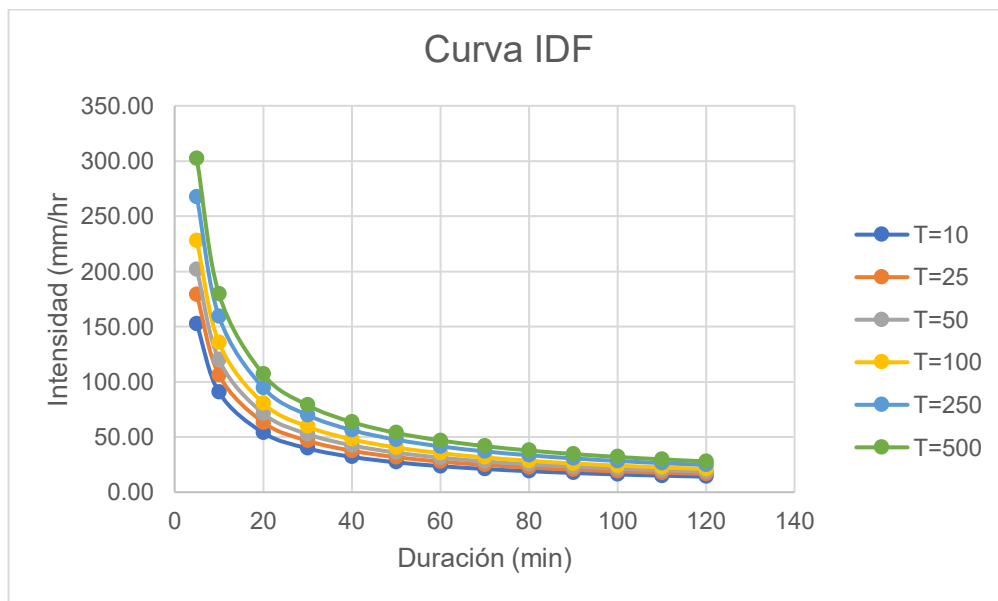
Tabla 22 Curva de Intensidad frecuencia

CURVAS IDF						
Duración (t) minutos	Período de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	152.27	178.80	201.89	227.97	257.42	302.26
10	90.54	106.32	120.05	135.55	153.06	179.72
20	53.84	63.22	71.38	80.60	91.01	106.86
30	39.72	46.64	52.66	59.47	67.15	78.84
40	32.01	37.59	42.44	47.93	54.12	63.54
50	27.08	31.80	35.90	40.54	45.78	53.75
60	23.62	27.73	31.31	35.36	39.93	46.88
70	21.04	24.70	27.90	31.50	35.57	41.76
80	19.03	22.35	25.24	28.50	32.18	37.78
90	17.43	20.46	23.10	26.09	29.46	34.59
100	16.10	18.91	21.35	24.11	27.22	31.96
110	14.99	17.60	19.88	22.44	25.34	29.76
120	14.04	16.49	18.62	21.02	23.74	27.88

Nota. Valores de intensidad relacionados a la duración en distintos periodos de retorno.

(Elaboración propia).

Figura 34 Curva IDF



**Nota. Comportamiento de las curvas IDF para periodos de retorno. (Elaboración propia)**

#### **4.4.5 HIETOGRAMA DE PRECIPITACION**

Determinamos valores de precipitación para periodos de retorno (T) de 50, 100, 200 y 500 años de los datos de intensidades obtenidas con las constantes obtenidas para intervalos de una hora durante un día.

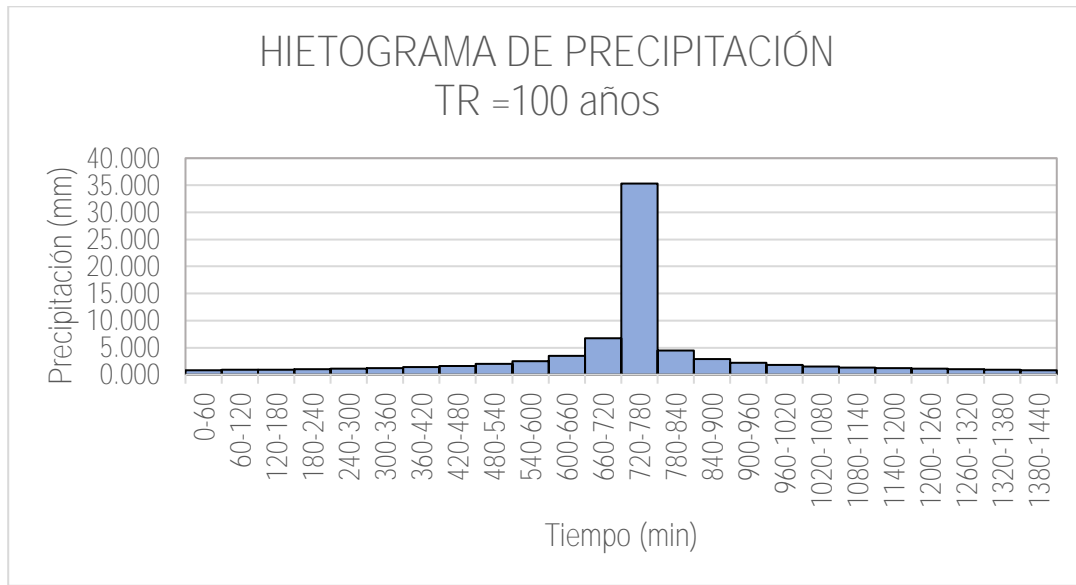
*Figura 35 Hietograma de Precipitación Para 500 años*

<b>METODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>		
DURACION	INTENSIDAD	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm
60	46.88	1.098
120	27.88	1.174
180	20.57	1.217
240	16.57	1.370
300	14.02	1.501
360	12.23	1.665
420	10.89	1.878
480	9.86	2.167
540	9.02	2.589
600	8.34	3.269
660	7.76	4.601
720	7.27	8.870
780	6.85	46.881
840	6.48	5.948
900	6.15	3.804
960	5.86	2.883
1020	5.60	2.356
1080	5.36	2.010
1140	5.15	1.764
1200	4.96	1.578
1260	4.78	1.432
1320	4.62	1.314
1380	4.46	1.217
1440	4.32	1.135

**Nota. Se muestran los valores de intensidades y precipitación durante 24 horas.**

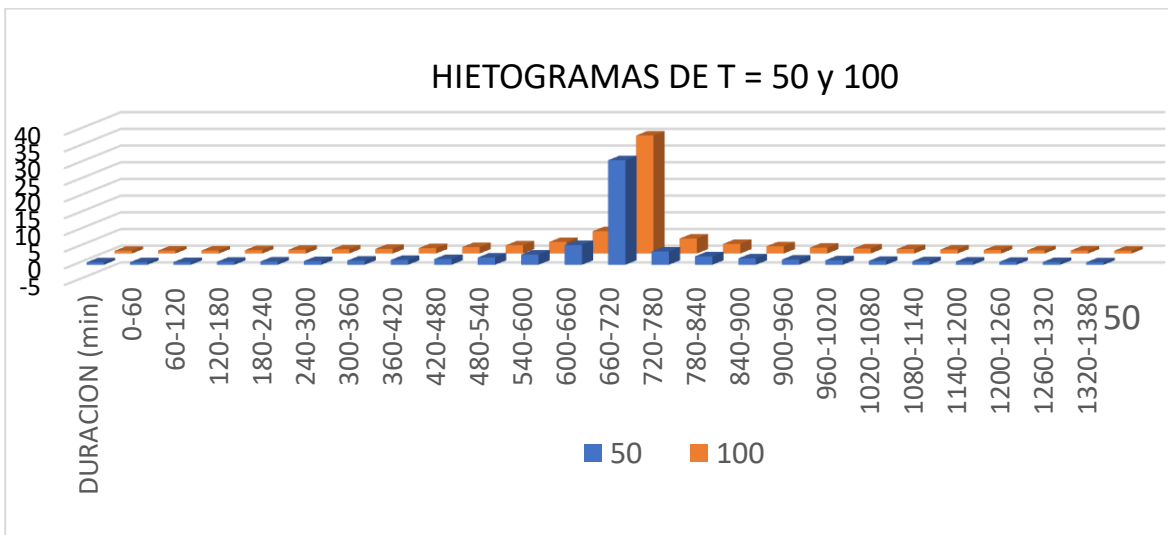
**(Elaboración propia)**

Figura 36 Hietograma de precipitación para un periodo de 100 años



**Nota. Gráfico que muestra la relación de la precipitación con el tiempo. (Elaboración propia)**

Figura 37 Comparación de Hietogramas de precipitación máximas



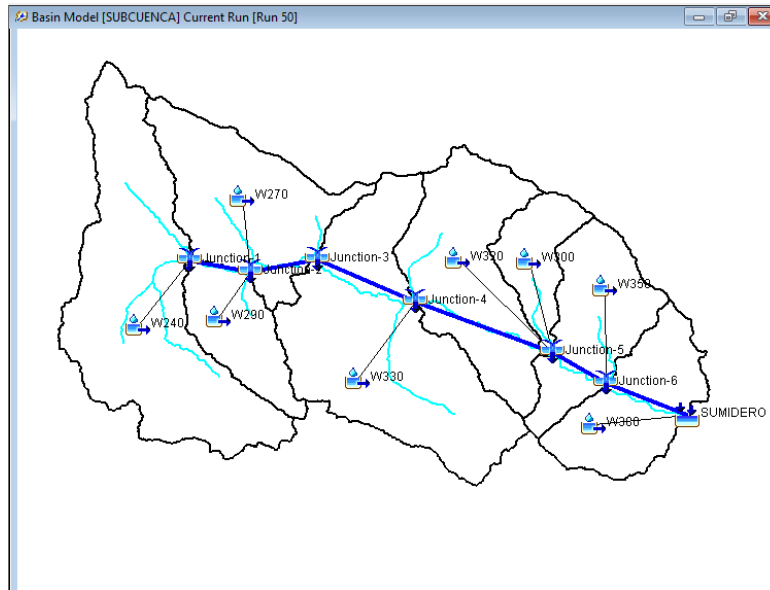
**Nota. Gráficos de hietogramas de precipitaciones máximas para los distintos periodos de retorno. (Elaboración propia)**

#### 4.5 GENERACION DE CAUDALES MAXIMOS

Para obtener los valores de caudales máximos utilizamos el método de hidrogramas unitarios sintéticos. En este estudio emplearemos el uso del método de Snyder, el cual emplea dentro de su base de datos la cuenca hidrografía, longitud de cauce y tiempo de concentración principalmente.

Se realizó el cálculo de caudales máximos de la cuenca 499474 mediante el software HEC-HMS, el cual emplea al método de hidrogramas unitarios dentro de su modelo para brindarnos los datos de caudal máximo, así como los hidrogramas de caudales máximos.

*Figura 38 Modelado hidrológico e hidráulico de la cuenca 49949776*



**Nota. Configuración de la red hídrica en el Software HEC- HMS (Elaboración propia en HEC-HMS).**

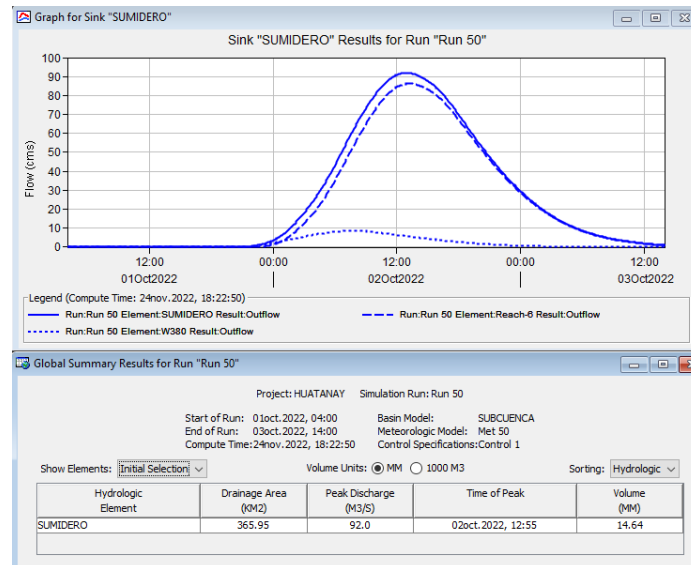
Para el modelado en HEC-HMS necesitamos previamente de determinados datos que se ingresarán al software, dentro de ello tenemos la data concerniente a los parámetros morfométricos de la cuenca (área, longitud máxima del cauce, longitud del centroide de cuenca);



así mismo los datos de precipitación de los hietogramas para cada periodo de retorno respectivo, el tiempo de retardo y la curva CN como principales parámetros de modelamiento.

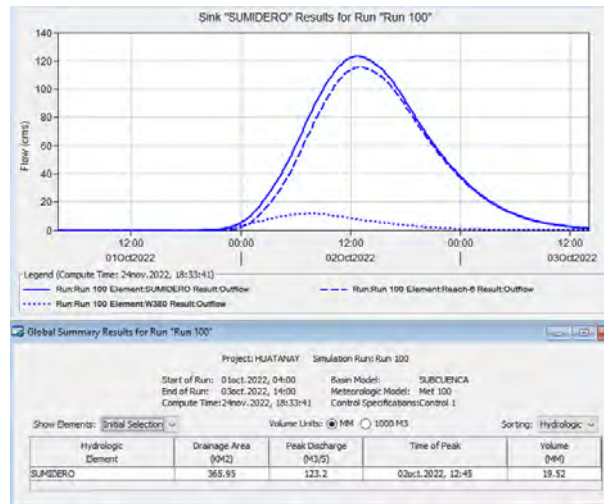
Se obtuvo los caudales máximos para los distintos periodos de retorno  $T = 50, 100, 200$  Y  $500$  años.

**Figura 39 Resultados del modelamiento para 50 años de retorno**



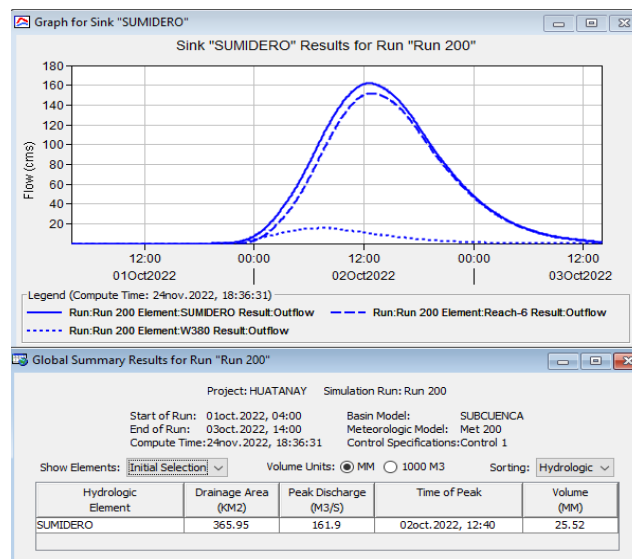
**Nota. Se aprecia el hidrograma resultante en el punto de salida de la cuenca, así como el valor de caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia obtenido en HEC-HMS)**

Figura 40 Resultados del modelamiento para 100 años de retorno



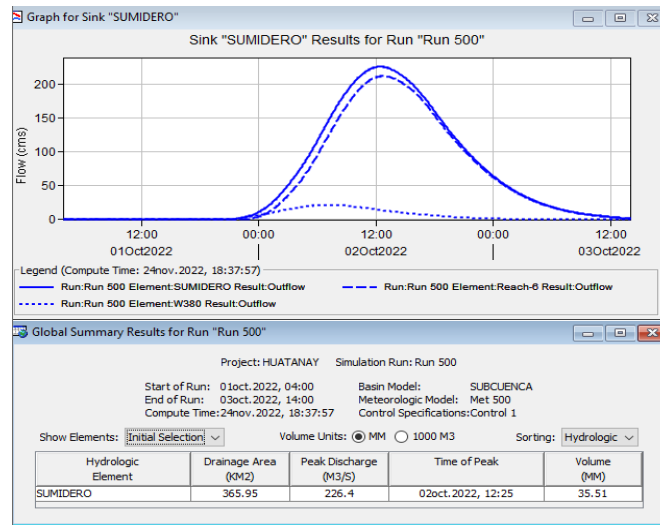
**Nota. Se aprecia el hidrograma resultante en el punto de salida de la cuenca, así como el valor de caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia obtenido en HEC-HMS)**

Figura 41 Resultados del modelamiento para 200 años de retorno



**Nota. Se aprecia el hidrograma resultante en el punto de salida de la cuenca, así como el valor de caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años. (Elaboración propia obtenido en HEC-HMS)**

Figura 42 Resultados del modelamiento para 500 años de retorno



**Nota. Se aprecia el hidrograma resultante en el punto de salida de la cuenca, así como el valor de caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años. (Elaboración propia obtenido en HEC-HMS)**

Tabla 23 Resumen de Caudales máximos para distintos periodos de retorno

CUENCA	TIEMPO DE RETORNO	CAUDAL MAXIMO	UNIDADES
CUENCA DEL HUATANAY 49949776	50	88	m3/s
	100	118.0	m3/s
	200	155.1	m3/s
	500	216.9	m3/s

**Nota. Valores de caudales máximos obtenidos para la cuenca 49949776.**

#### 4.6 OFERTA HIDRICA

Para la generación de caudales y volúmenes se ha empleado el método de Lutz Schultz, que considera data hidrológica generando series extendidas de caudal. Siendo un modelo adaptado netamente a la sierra peruana y toma en consideración parámetros meteorológicos y físicos de las cuencas.

Tabla 24 Generación de caudales para la cuenca 49949776 mensualmente.

MES	DIAS	PRECIPITACIONES (1964 - 2018)					Caudales Generados	
		P	PE1	PE2	PE3	PE	mm/mes	m3/s
		mm/mes						
Ene	31	143.6	28.3	57.7	84.9	82.2	75.7	10.4
Feb	28	119.0	15.2	37.0	58.9	56.8	53.5	8.1
Mar	31	98.0	8.1	23.1	38.2	36.8	36.8	5.0
Abr	30	41.4	0.6	4.5	8.5	8.1	13.2	1.9
May	31	6.2	0.0	0.7	1.5	1.5	5.2	0.7
Jun	30	3.7	0.0	0.4	0.9	0.9	3.5	0.5
Jul	31	3.9	0.0	0.5	1.0	0.9	2.8	0.4
Ago	31	6.0	0.0	0.7	1.5	1.4	2.8	0.4
Set	30	17.9	0.0	1.9	3.9	3.7	4.7	0.7
Oct	31	46.3	0.9	5.2	9.7	9.3	10.0	1.4
Nov	30	70.8	3.1	11.1	19.2	18.4	17.6	2.5
Dic	31	108.7	11.3	29.7	48.3	46.5	40.7	5.6
<b>TOTAL</b>		<b>665.4</b>	<b>67.6</b>	<b>172.7</b>	<b>276.4</b>	<b>266.4</b>	<b>266.4</b>	<b>3.1</b>

**Nota. Valores de caudales generados en mm/mes. (Elaboración propia)**

Figura 43 Comportamiento de los datos de caudal generado.



**Nota: Valores de caudal en m3/s para todos los meses. (Elaboración propia)**

En la figura 43 se observa el comportamiento de los caudales generados anualmente, teniendo para el mes de enero un valor pico de 10.36 m3/s, contrariamente del mes de julio que presenta un valor de 0.39 m3/s.

#### 4.7 CAUDAL ECOLOGICO

Considerándose al río como elemento base que garantiza la funcionalidad de un ecosistema. Se torna necesario determinar el caudal ecológico o caudal base del río presente en nuestra unidad hidrográfica.

Para la obtención de estos valores se tomó en cuenta se tomó en cuenta los criterios de regulación según el ANA, estipulado en el artículo 153 del reglamento de Ley 29338, Ley de recursos hídricos de Perú.

Tabla 25. Caudal ecológico generado para la cuenca 49949776.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Q. MEDIO	8.42	7.20	4.69	2.01	0.78	0.39	0.35	0.40	0.61	1.26	2.45	4.63
Q. ECOLOGICO	0.50	0.45	0.28	0.24	0.11	0.05	0.05	0.05	0.07	0.11	0.22	0.26

**Nota. Valores de caudales máximos obtenidos para la cuenca 49949776.**

#### 4.8 DEMANDA HIDRICA

Para el presente trabajo se realizó el análisis de demanda de agua considerando el coeficiente de cultivo (Kc), evapotranspiración potencial y la precipitación efectiva.

Primeramente para el coeficiente de cultivo, se toma de la cédula de cultivo correspondiente a las fases de desarrollo de las plantas, tomando la información del ministerio de agricultura que presenta data historia de las áreas de cosecha. Para dicha data se realizó la estructuración de las cedula de cultivo tomando en cuenta las fechas de siembra, cosecha, periodo vegetativo y tipo de cultivo (INRENA, 2012). Siendo de vital importancia el calendario de cultivos para el cálculo de demanda de agua.

Tabla 26. Cedula de cultivo.

CULTIVOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PAPA	1.12	1	0.9							0.36	0.63	1
HABA SECA	0.95	0.95	0.78	0.55							0.48	0.73
MAIZ	0.94	1.08	1.02	0.4							0.4	0.62
HORTALIZAS					0.22	0.42	0.62	0.52	0.22			
CEBADA	0.8	1.05	0.85	0.4							0.35	0.48
QUINUA	0.55	0.83	0.67	0.51							0.11	0.33

**Nota. Valores de caudales máximos obtenidos para la cuenca 49949776.**

Para la obtención de los valores de evapotranspiración de cultivo se empleó el método Hargreaves modificado obteniendo la siguiente tabla de datos:

Tabla 27 Evapotranspiración.

VARIABLES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
T.M.M. (°C)	15.19	15.207	14.945	14.39	11.726	10.805	10.292	12.116	12.968	15.776	14.502	13.882
T.M.M. (°F)	59.343	59.373	58.901	57.902	53.106	51.449	50.525	53.809	55.343	60.396	58.103	56.988
HORAS SOL MES	168.2	154.2	169.8	191.4	258.1	250.5	259.1	260.9	233.2	244	235.2	201.8
HORAS SOL DIA	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
N° DIAS MES	12.807	12.538	12.169	11.8	11.462	11.293	11.393	11.662	12	12.438	12.738	12.907
HORAS SOL MAX. DIA(DL)	16.673	16.373	15.327	13.781	12.208	11.308	11.708	12.981	14.554	15.8	16.473	16.5
% HORAS SOL MES	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931	1.1931
RAD. EXT. DIA (mm)	42.364	43.922	47.661	54.068	72.64	73.943	73.365	72.169	64.778	63.28	61.547	50.433
RAD. EXT. MES (mm)	16.673	16.373	15.327	13.781	12.208	11.308	11.708	12.981	14.554	15.8	16.473	16.5
RAD. INC. MES (mm)	516.86	458.44	475.14	413.44	378.46	339.25	362.96	402.42	436.63	489.8	494.19	511.5
Fa	252.31	227.87	246.02	228	241.92	218.79	233.16	256.4	263.56	292.22	290.77	272.44
ETo (mm)	127.01	114.76	119.41	110.23	110.91	96.287	101.41	117.12	127.13	146.7	147.75	137.54
<b>TOTAL AÑO</b>											<b>1456.3</b>	<b>Mm/año</b>

**Nota. Valores de caudales máximos obtenidos para la cuenca 49949776.**

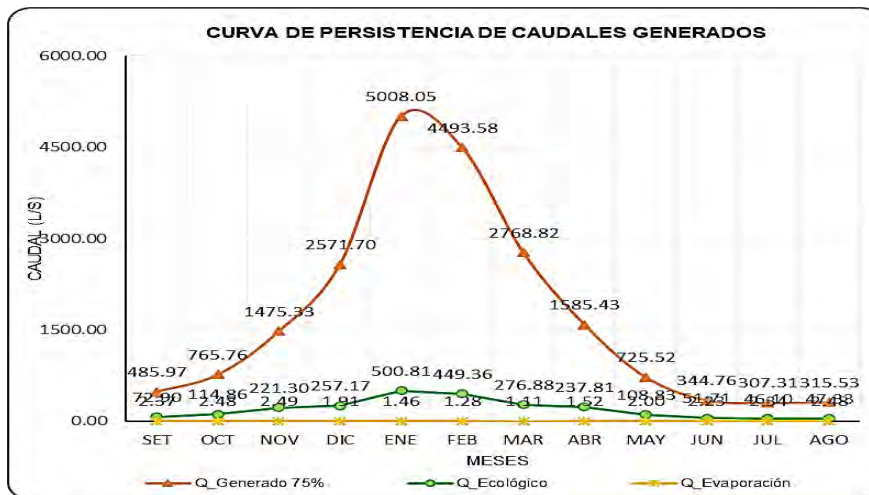
A partir de la tabla 27 se tiene un valor máximo de 147.01 mm/mes para el mes de noviembre y un valor mínimo de 101.41 mm/mes en el mes de julio.

Tabla 28. Caudales obtenidos para la cuenca 49949776.

MESES	Q_Promedio	Q_Generado		
		75%	Q_Ecológico	Q_Evaporación
SET	608.07	485.97	72.90	2.37
OCT	1263.85	765.76	114.86	2.48
NOV	2445.95	1475.33	221.30	2.49
DIC	4626.77	2571.70	257.17	1.91
ENE	8417.94	5008.05	500.81	1.46
FEB	7201.46	4493.58	449.36	1.28
MAR	4686.87	2768.82	276.88	1.11
ABR	2008.82	1585.43	237.81	1.52
MAY	776.13	725.52	198.83	2.00
JUN	394.01	344.76	142.51	2.23
JUL	354.35	307.31	131.46	2.34
AGO	395.61	315.53	115.53	2.48

**Nota. Valores de caudal generado, ecologico y evaporación para la cuenca 49949776.**

Figura 44. Curva de persistencia de caudales generados.



**Nota. Se muestra comportamiento de los valores de caudales obtenidos (Elaboración propia).**

#### 4.9 BALANCE HIDRICO

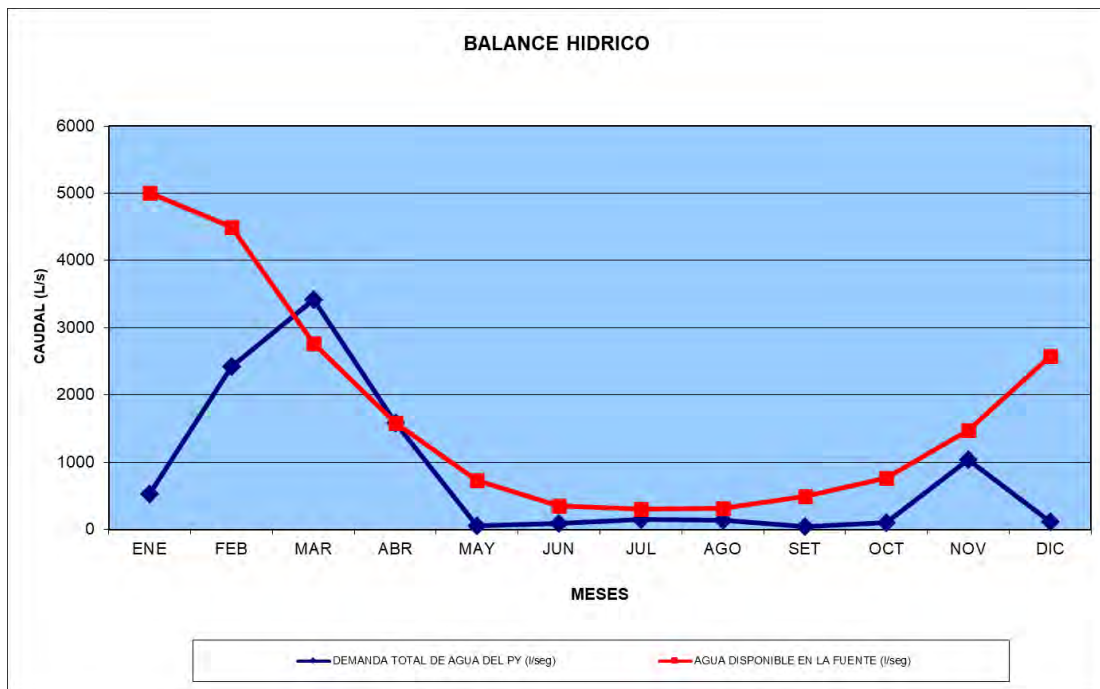
En el balance hídrico se consideró los caudales generados y ofertados en la unidad hidrográfica 49949776 Huatanay, en la tabla 29 y figura 45 podemos observar el comportamiento de la demanda del recurso hídrico y la disponibilidad.

Tabla 29. Balance Hídrico.

REFERENCIAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
DEMANDA TOTAL DE AGUA DEL PY (l/seg)	528.55	2421.91	3423.03	1577.67	49.39	94.65	142.42	135.48	43.54	97.88	1041.03	106.73
AGUA DISPONIBLE EN LA FUENTE (l/seg)	5008.05	4493.58	2768.82	1585.43	725.52	344.76	307.31	315.53	485.97	765.76	1475.33	2571.70
SUPERAVIT DEL RECURSO HIDRICO (l/seg)	4479.51	2071.67	-654.21	7.76	676.13	250.11	164.89	180.04	442.44	667.89	434.30	2464.97

**Nota. Resultados del balance hídrico para la cuenca 49949776.**

Figura 45 Balance hídrico para la cuenca 49949776.



**Nota. Demanda total de agua en lts/seg y agua disponible en lts/seg.**

$$P = Er + Ce + I$$

Donde:

P = Totalidad de agua sobre la superficie

Er= Evapotranspiración real

Ce= escorrentía superficial



I= Infiltración

Para considerar el valor de precipitación se toma en cuenta los datos obtenidos en el capítulo anterior a partir de la regionalización obteniéndose un valor de 665.9 mm/año.

Para el cálculo de evapotranspiración, se utilizó la metodología de Hargreaves obteniéndose un valor de 1456.3 mm/año.

El valor de la escorrentía corresponde a 468.48 mm/año.

Infiltración es un valor de 30.01 mm/año

En consecuencia el cálculo de la totalidad de la capa de agua caída sobre la unidad hidrográfica es de 2620.69 mm/año.

El balance hídrico para la unidad hidrográfica corresponde a 1974.59 mm/año.

## **5. CAP V: MODELO HIDRAULICO HEC-RAS**

### **5.1 GENERALIDADES**

En esta sección se desarrolló la metodología que emplea el modelo hidráulico HEC -RAS en sus módulos unidimensional y bidimensional para la zonificación de áreas inundables, de la misma se dará a conocer las bases que se han tomado para obtener las variables y datos; durante los tres procesos fundamentales que requiere para la simulación.

- Pre-procesamiento
- Procesamiento
- Post -procesamiento

### **5.2 MODELO UNIDIMENSIONAL DE HEC – RAS**

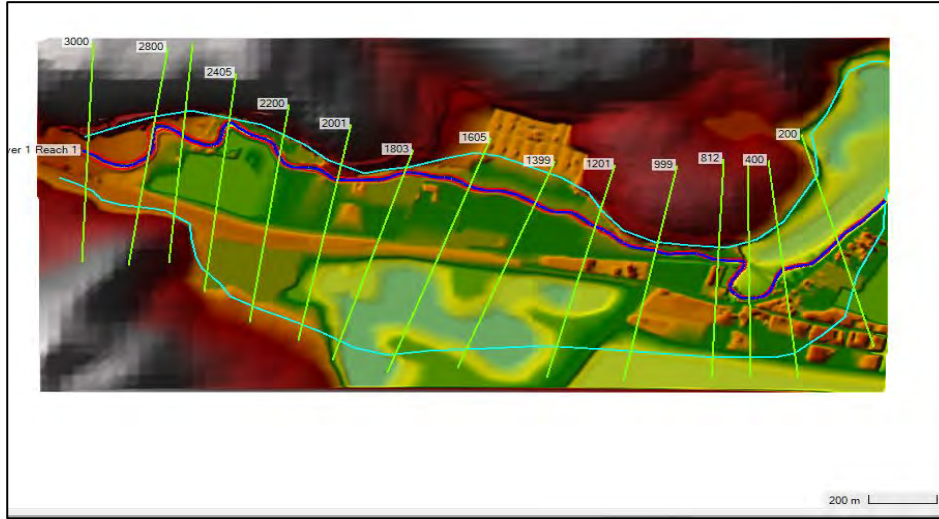
El módulo unidimensional de HEC-RAS realiza el cálculo de flujo unidimensional (solo considera las componentes de velocidad en dirección del flujo) y flujo estable o permanente.

Se definieron simulaciones para los periodos de retorno 50 años y 100 años, con los caudales picos de los hidrogramas obtenidos en el estudio hidrológico 88 m<sup>3</sup>/s (TR= 50 años) y 118 m<sup>3</sup>/s (TR = 100 años).

### 5.2.1 PROCESAMIENTO

Se empleó la herramienta Ras- Mapper de HEC-RAS con el modelo de elevación digital para la creación de la geometría y secciones cada 200 m a lo largo del cauce de río.

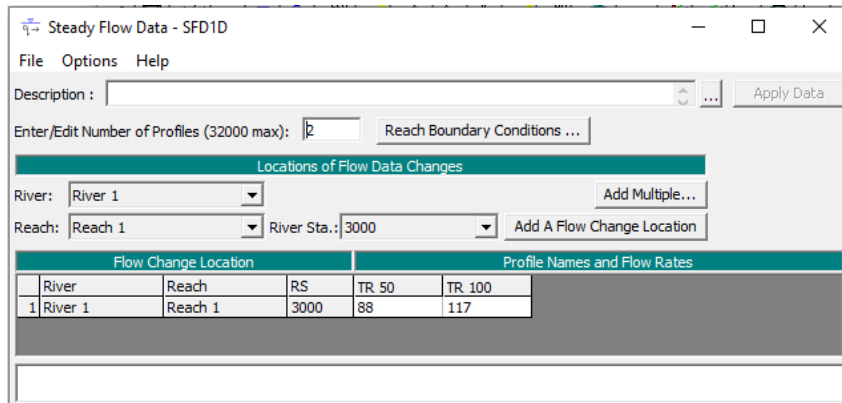
Figura 46 Geometría de cauce de río en Ras - Mapper



**Nota. Creacion de la geometria del cauce de rio sobre el modelo de elevacion digital.**

**(Elaboracion propia adaptado de HEC-RAS)**

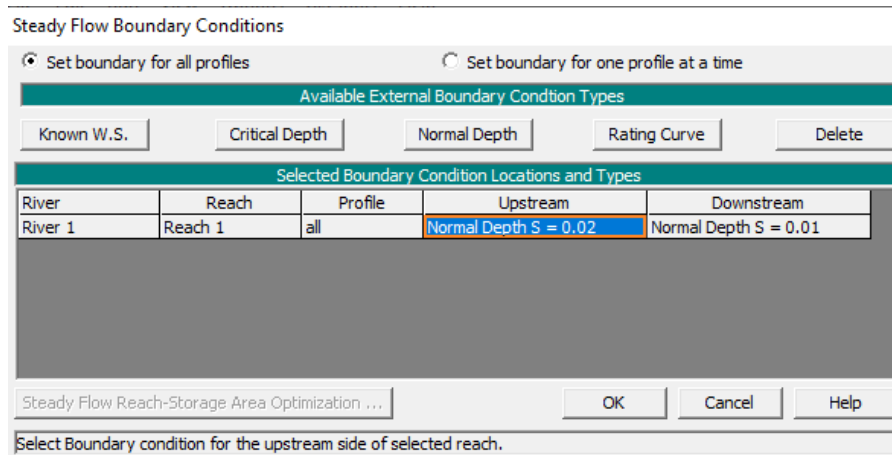
Figura 47 Caudales para los periodos de retorno 50 y 100 años.



**Nota. Asignacion de flujo permanente mediante perfiles para los periodos de retorno con sus caudales respectivos (Elaboracion propia adaptado de HEC-RAS)**

Para las condiciones de borde de río se estableció pendientes de 0.02 para el punto de inicio del cauce y 0.01 al final de cauce obtenidos del modelo de elevacion digital.

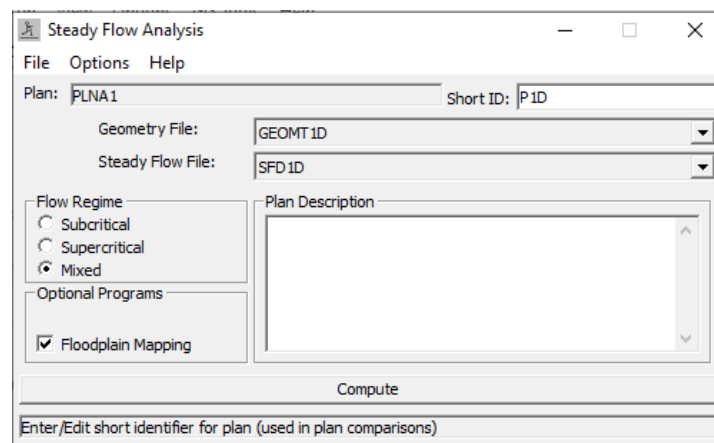
Figura 48 Condiciones de borde para flujo permanente



**Nota. Condiciones de contorno para los periodos de retorno 50 y 100 años.**

Para iniciar con la simulación debemos establecer el régimen de flujo (subcrítico, supercrítico o mixto) asignamos el régimen mixto para que considere ambos de acuerdo a la topografía en las distintas secciones.

Figura 49 Condiciones de simulación.

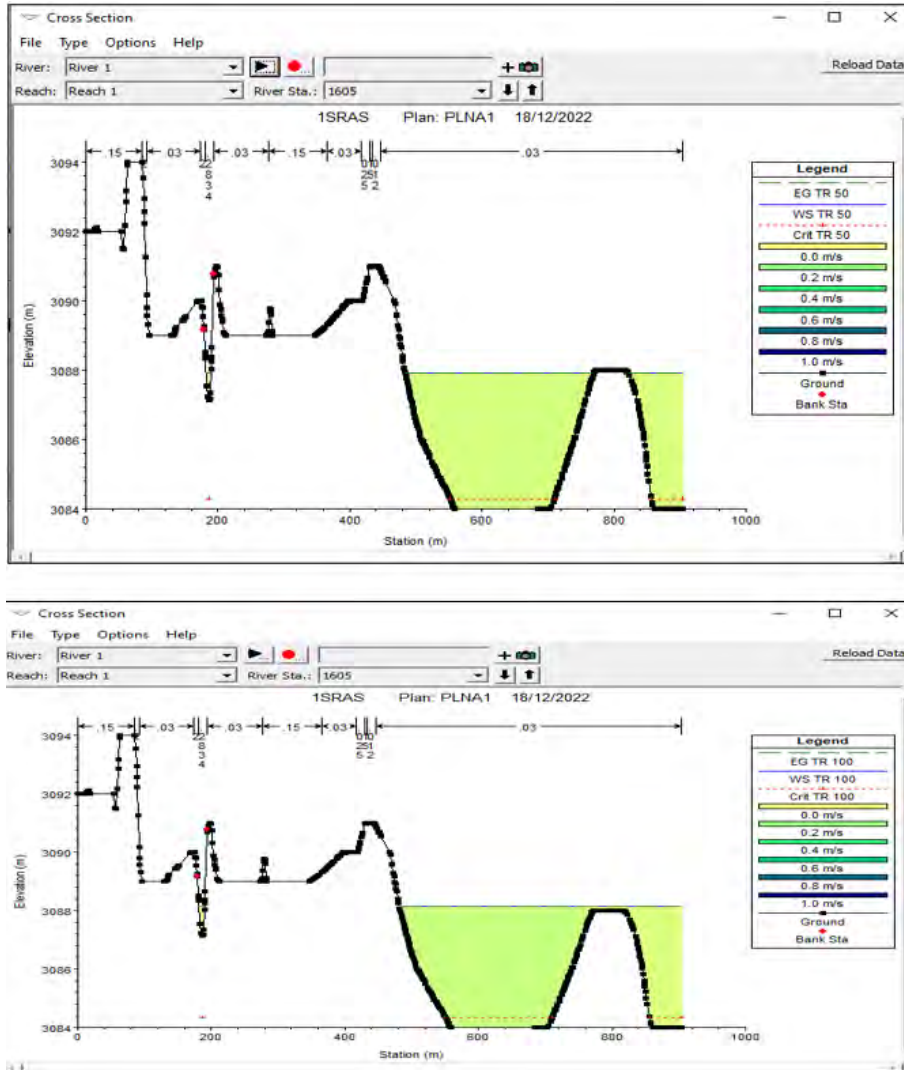


**Nota. Regimen de flujo para TR=50 años y TR = 100 años (Elaboracion propia adaptado de HEC-RAS)**

## 5.2.2 VISUALIZACION DE RESULTADOS

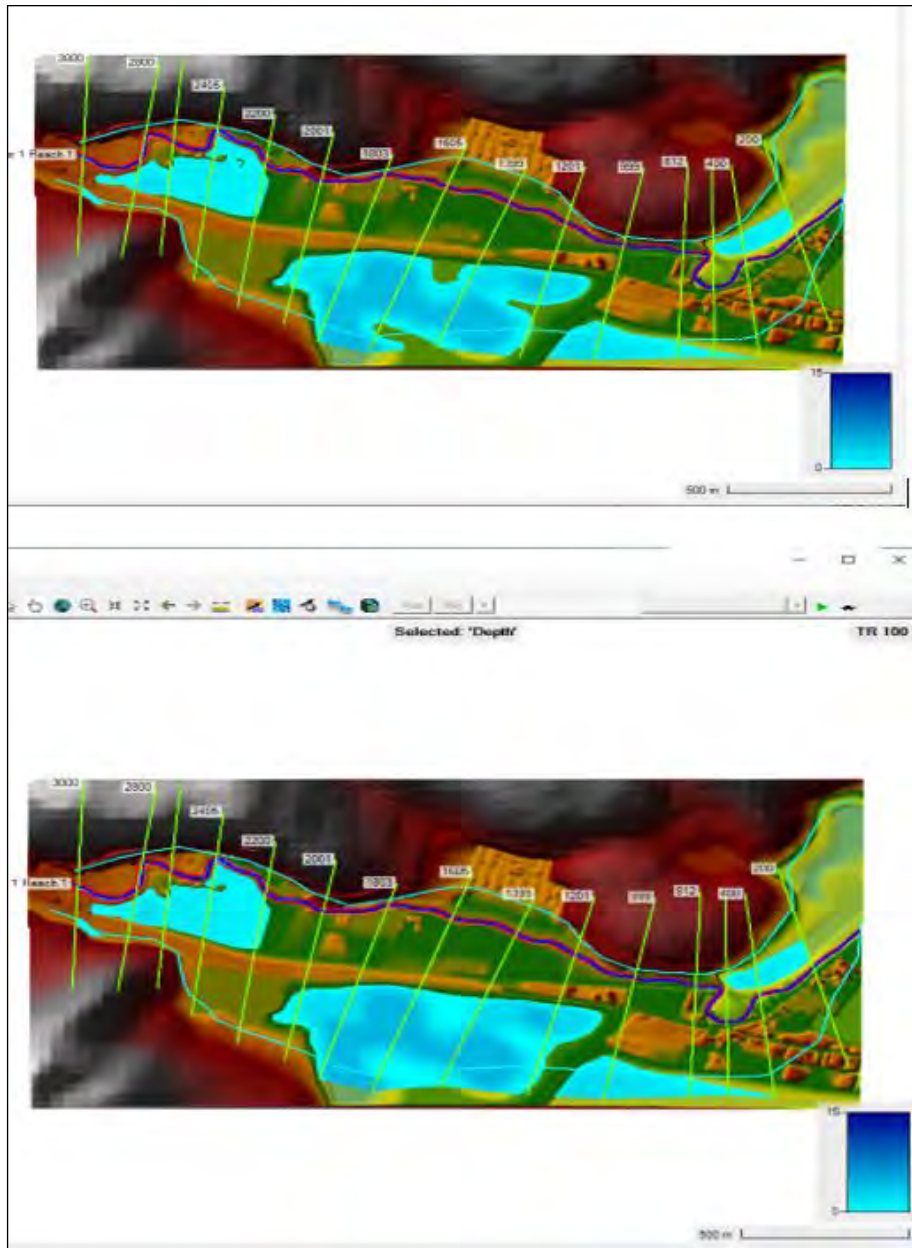
El modelo hidráulico HEC- RAS en su modulo unidimensional nos permite observar los resultados mediante las secciones generadas a lo largo del cauce de rio.

Figura 50 Sección 1605 (TR= 50 y 100 años)



**Nota.** Cota de agua para la sección 1605 con velocidades de 0.0 m/s para ambos periodos de retorno.

Figura 51 Áreas inundables modelo unidimensional HEC-RAS



**Nota. Simulación unidimensional de áreas inundables para periodos de retorno 50 años y 100 años (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS)**

### 5.3 MODELO BIDIMENSIONAL DE HEC – RAS

El modelo hidráulico HEC-RAS actualmente nos brinda su modulo bidimensional mediante la herramienta Ras Mapper, que nos permite la creación de la geometría dentro del propio modelo hidráulico realizando la configuración, modificación y posterior verificación de la geometría del terreno.

#### 5.3.1 PRE PROCESAMIENTO

Previamente a iniciar nuestro modelamiento se requiere tener archivos de trabajo anteriormente elaborados u obtenidos de trabajo de campo.

##### 5.3.1.1 MODELO DE TERRENO

Para la obtención del terreno se requiere un modelo de elevación digital (DEM) el cual se obtuvo de un levantamiento fotogramétrico en campo con un dron que adquirió la ortofoto de la zona de estudio mediante procesamiento de data del dron en el software Agisoft Metashape. De la ortofoto conseguimos las curvas de nivel a detalle para posteriormente crear un modelo digital de elevación en ArcGIS.

*Figura 52 Ortofoto*



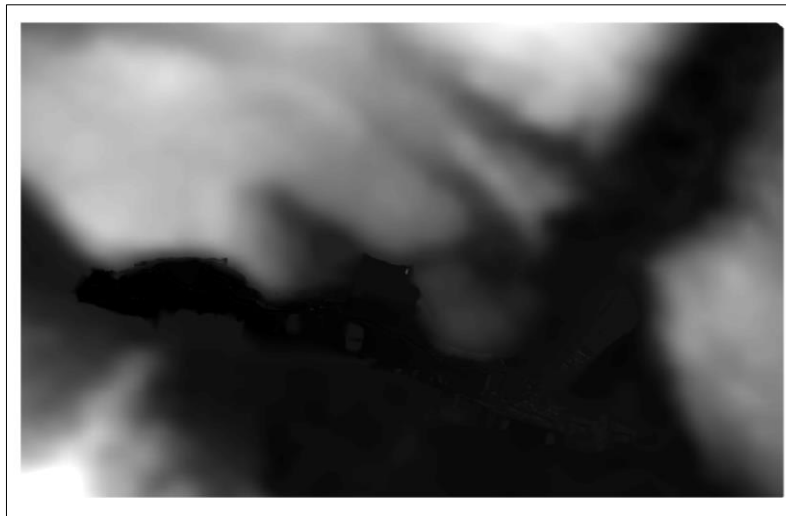
**Nota. Ortofoto obtenida del levantamiento fotogramétrico mediante Dron (elaboración propia).**

*Figura 53 Curvas de Nivel*



**Nota. Curvas de nivel obtenidas de la ortofoto en Agisoft Metashape (elaboración propia)**

*Figura 54 Modelo digital de elevación (DEM)*



**Nota. DEM obtenido de las curvas de nivel en el software ArcGIS 10.5 (elaboración propia)**

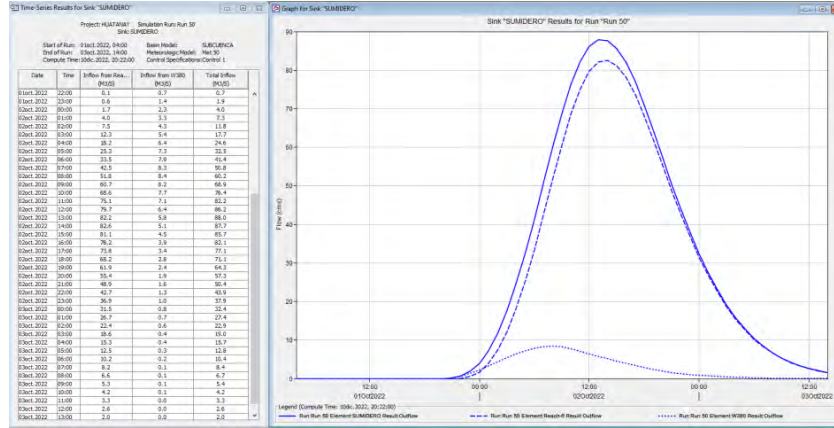
### **5.3.1.2 CAUDALES DE ENTRADA**

Para la generación del modelo se hará uso de los datos hidrológicos obtenidos en el estudio hidrológico para obtener el hidrograma en el software HEC-HMS asociado a un determinado



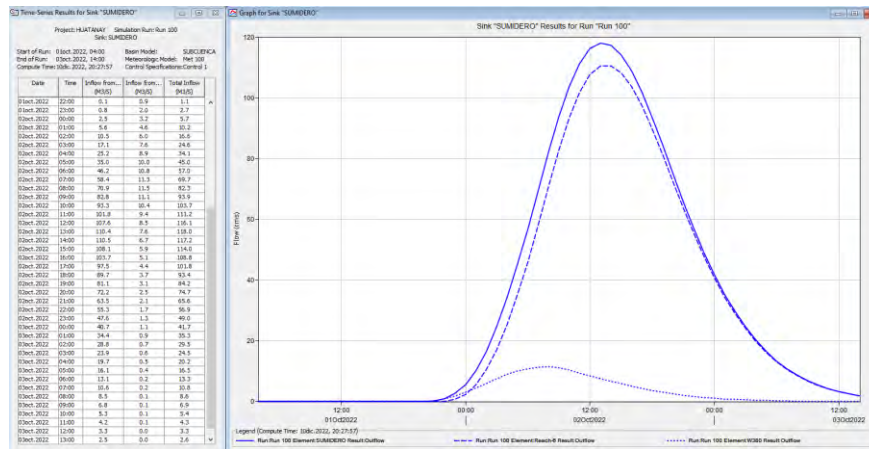
periodo de retorno. La zonificación de áreas inundables se generó para 2 periodos de retorno; TR = 50 y 100 años.

Figura 55 Hidrograma de entrada de 50 años



Nota. Datos de caudal obtenidos para periodo de retorno de 50 años (Elaboración adaptado de HEC-HMS)

Figura 56 Hidrograma de entrada de 100 años



Nota. Datos de caudal obtenidos para periodo de retorno de 100 años (Elaboración adaptado de HEC-HMS)

### 5.3.1.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

#### 5.3.1.3.1 *Para el Cauce de río:*

Para la asignación del coeficiente de rugosidad de Manning al tratarse de un cauce de tipo natural empleamos el método de Cowan (1956), el cual considera los factores de mayor influencia en el coeficiente de Manning.

*Fotografía 10 Vista superior de un tramo de río.*



**Nota. Se observa condiciones meándricas vista desde la parte superior obtenida con el dron (elaboración propia).**

*Fotografía 11 Sección del río.*



**Nota. Presencia de vegetación en el margen izquierdo del río (elaboración propia).**

Con las observaciones en campo y los datos de las tablas parametrizadas obtenemos los siguientes valores para realizar la caracterización del cauce de río.

- Material involucrado: Grava gruesa ( $n_0 = 0.028$ )
- Grado de irregularidad: Severo ( $n_1 = 0.020$ )
- Variaciones de la sección transversal: Frecuentemente alternante ( $n_2 = 0.010$ )
- Efecto relativo de las obstrucciones: Severo ( $n_3 = 0.060$ )
- Vegetación: Muy Alta ( $n_4 = 0.100$ )
- Grado de los efectos por meandros: Severo ( $m = 1.30$ )

Reemplazando los valores en la fórmula de Cowan para obtener “n”:

$$n = (0.028 + 0.020 + 0.010 + 0.060 + 0.100) 1.30$$

$$\mathbf{n = 0.2834}$$

#### 5.3.1.3.2 Para zonas aledañas.

Para la asignación del coeficiente de rugosidad de Manning en las zonas aledañas al río se realizó mediante los valores propuestos en la tabla 3, recomendados por Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y HEC-RAS respectivamente; que han sido obtenidas de distintos estudios y situaciones previas donde se han recabado valores de coeficiente de Manning según sus características y distintas situaciones observadas.

*Tabla 30 Coeficiente de Rugosidad de Manning según el uso de suelo.*

Uso del suelo	Descripción	Coefficiente de rugosidad de Manning (n)
Bosques	Áreas caracterizadas por cobertura arbórea (vegetación boscosa natural o semi-natural, generalmente de alturas mayores a 6 m)	0.600
Matorrales	Áreas dominadas por matorrales. La cobertura será del 25 – 100% del total	0.055
Urbano Intensidad Baja	Áreas con mezcla entre urbanización y vegetación, mayoritariamente esta última. Se tendrá áreas impermeable del 20%.	0.120
Urbano Intensidad Media	Áreas con mezcla entre urbanización y vegetación. La superficie impermeable será de alrededor del 50 -79 % del total de la cobertura.	0.150

**Nota. Coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Fuente: Multi Resolution Land Characteristics)**

Con el software ArcGIS 10.5 se ha realizado la caracterización de las zonas tomando los valores de las tablas 4 y 30 se ha definido 7 zonas bien diferenciadas que adoptaron los respectivos coeficientes de rugosidad.

*Figura 57 Caracterización de los valores de Manning*



**Nota. Valores de Manning para la zona de estudio (Elaboración adaptado de ArcGIS 10.5)**

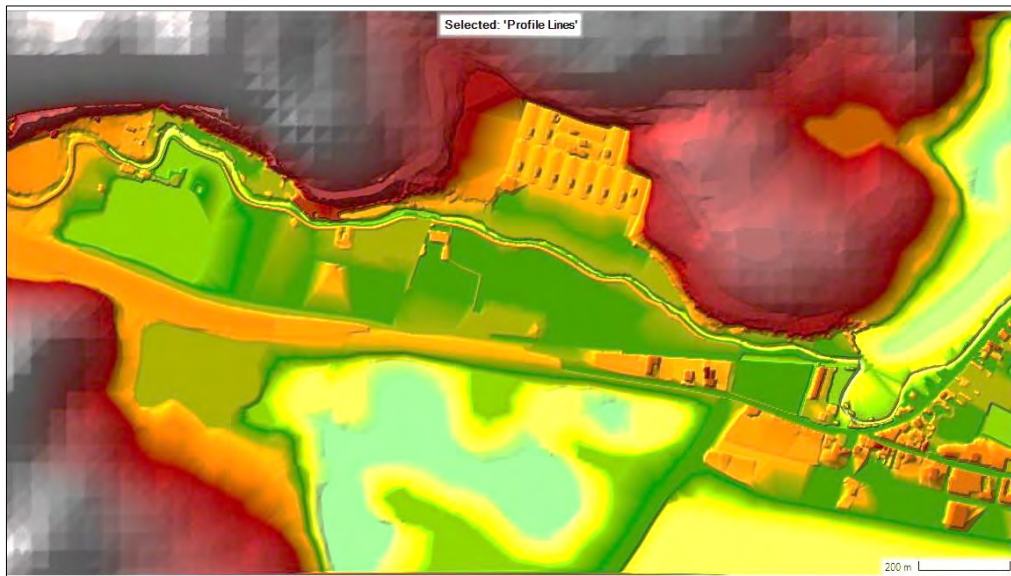
### **5.3.2 PROCESAMIENTO**

#### **5.3.2.1 DATOS GEOMETRICOS (GEOMETRIC DATA)**

Para la asignación de geometría el modelo hidráulico HEC -RAS nos presenta tres posibles alternativas: introducción de datos .dxf generados previamente en AUTOCAD, la herramienta HEC GEO RAS que es utilizado mediante el interfaz de Arcgis y finalmente la herramienta Ras – Mapper dentro del interfaz de HEC -.RAS. Para este estudio se ha empleado la herramienta Ras – Mapper por ser su uso netamente dentro del modelo hidráulico HEC-RAS.

En Ras- Mapper se hace la inserción del DEM en formato .tiff del cual se generará el terreno.

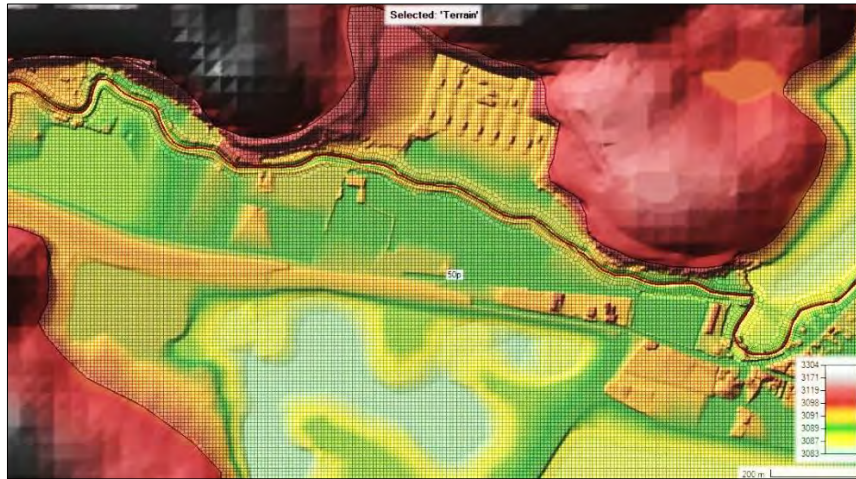
Figura 58 Terreno



**Nota. Terreno generado en Ras – Mapper del modelo digital de elevación (elaboración propia adaptado de HEC-RAS)**

Posteriormente se efectúa el mallado de la zona exacta donde requerimos la modelación. Se tuvo que establecer un tamaño de malla distinto para cada periodo de retorno para la estabilidad de los modelos, para el periodo de retorno de 50 años se trabajó con una malla de 10 m para la llanura y de 8 m para el cauce del río; el periodo de retorno de 100 años con una malla de 5 m para el cauce y 7 m para la llanura, el mallado es menor en el cauce en ambos modelos debido a que requerimos mayor detalle en esta zona.

*Figura 59 Malla en Ras Mapper*

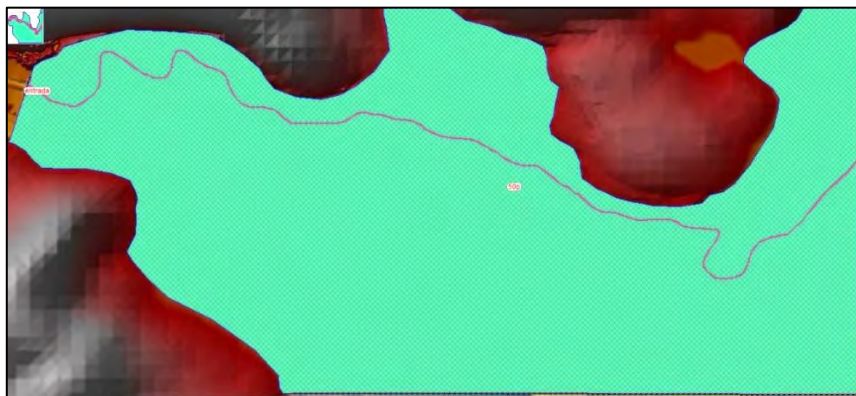


**Nota. Malla generada en la zona de estudio con dimensiones de 8m y 10 m en el cauce de río y vegetación respectivamente, (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS)**

### **5.3.2.2 CONDICIONES DE CONTORNO (BOUNDARY CONDITIONS)**

En lo concerniente a las condiciones de contorno relacionados al flujo no permanente (Unsteady flow data), se asignó condiciones de ENTRADA en Aguas arriba (Upstream) y SALIDA en aguas abajo (Down stream) los cuales condicionan los límites de la simulación concernientes al recorrido que hará el hidrograma como punto de inicio y fin.

*Figura 60 Condiciones de contorno*



**Nota. Asignación de condición de entrada y salida del caudal. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS)**

### 5.3.2.2.1 DATOS DE FLUJO

En el modelo hidráulico HEC-RAS la simulación bidimensional se debe trabajar netamente en flujo no permanente, para lo cual requerimos un hidrograma de caudales de entrada, de debe asignar el hidrograma obtenido del estudio hidrológico en las condiciones de entrada y salida del modelo, en la ENTRADA introducimos el hidrograma y en la SALIDA asignamos el régimen de flujo y una pendiente de 0.01 según la data topográfica obtenida.

Figura 61 Condiciones de contorno.

Select Location in table then select Boundary Condition Type			
River	Reach	RS	Boundary Condition
<b>Storage/2D Flow Areas</b>			<b>Boundary Condition</b>
1	50p BCLine: entrada		Flow Hydrograph
2	50p BCLine: SALIDA		Normal Depth

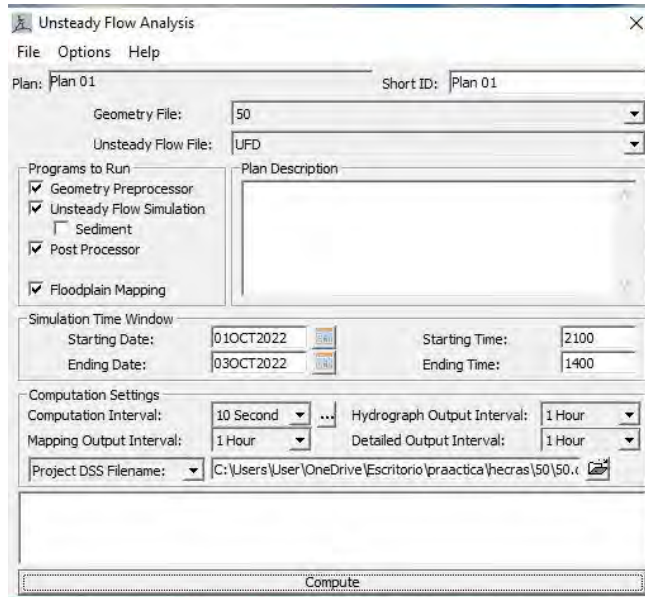
**Nota: Asignación de entrada y salida del hidrograma. (Elaboración propia ADAPTADO DE HEC-RAS)**

### 5.3.2.3 PARAMETROS DE TIEMPO

Para la simulación en HEC-RAS debemos asignar los valores de tiempo de cómputo para iniciar el modelo. El tiempo de cómputo está relacionado con los valores de la malla, el caudal asignado y el área de trabajo, se trabajó con los siguientes valores:

- Intervalo computacional (Computation Interval): 10segundos
- Intervalo de salida de cartografiado (mapping output Interval): 1 hora
- Intervalo de salida del hidrograma (hydrograph output Interval): 1 hora
- Intervalo de detalle de salida (detailed output Interval): 1 hora

Figura 62 Intervalo de tiempo de computo.



**Nota: Parámetros de tiempo asignados para el inicio de la simulación. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS)**

### 5.3.3 POST PROCESO

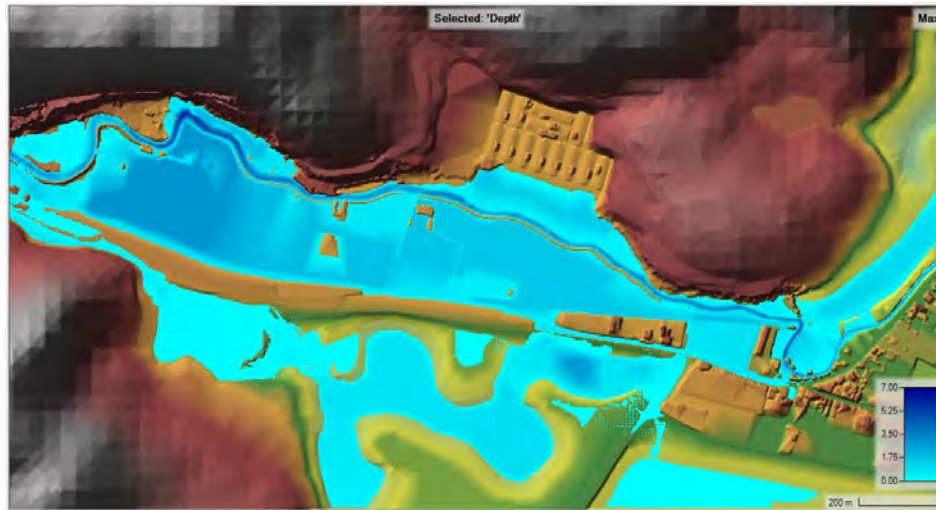
Terminada la simulación del modelo HEC RAS nos permite la visualización de resultados en la herramienta Ras Mapper.

#### 5.3.3.1 VISUALIZACION DE RESULTADOS

Los resultados dinámicos que podemos ver en el modelo son Depth (Profundidad), Velocity (velocidad de flujo) y Water Surface Elevation (WSE: Elevación superficial de agua).

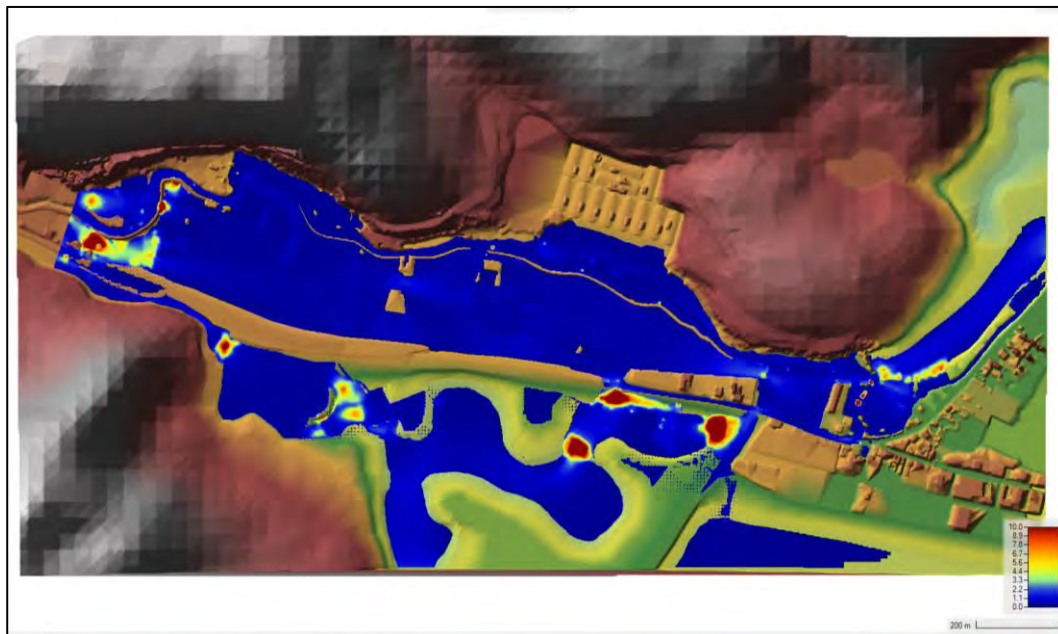


Figura 63 Tirante de agua (Depth)



**Nota. Resultados de los niveles de agua máxima alcanzado (Elaboración propia adaptado de HEC RAS)**

Figura 64 Velocidad de Flujo (Velocity)



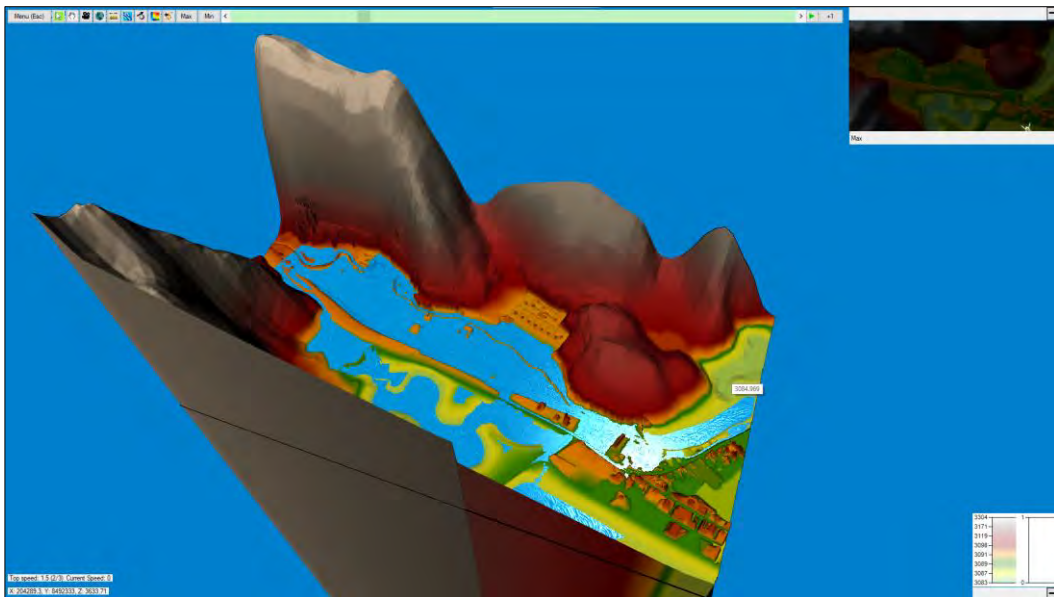
**Nota. Resultados de velocidad de flujo. (Elaboración propia adaptado de HEC RAS)**

Figura 65 Elevación superficial de agua.



Nota. Resultados WSE. (Elaboración propia adaptado de HEC RAS)

Figura 66 Visualización 3D



Nota. Resultados en la extensión 3D visualizar de HEC-RAS (Elaboración propia adaptado de HEC RAS)

## **6. CAP VI: MODELO HIDRAULICO IBER**

### **6.1 GENERALIDADES**

En este capítulo abarcaremos la simulación realizada con el modelo hidráulico IBER versión 2.6. detallando la obtención de datos, inserción de los mismos al modelo y la verificación en cada uno de sus procesos primordiales de simulación.

- Pre-procesamiento
- Procesamiento
- Post -procesamiento

### **6.2 MODELO BIDIMENSIONAL DE IBER**

El modelo hidráulico IBER siendo netamente un modelo de naturaleza bidimensional nos permite, desde sus primeras versiones, realizar la simulación mediante el uso de herramientas inherentes al propio modelo y trabajarlos dentro de este, obtener la representación matemática del comportamiento del flujo en un cauce, las llanuras de inundación y los niveles de agua alcanzados.

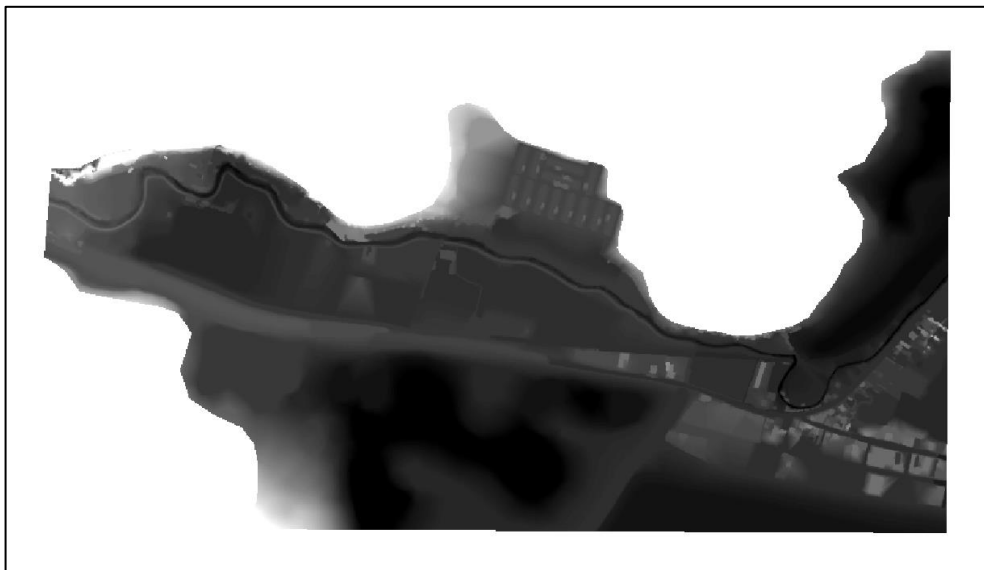
### **6.2.1 PRE PROCESAMIENTO**

Se requiere un tratado y obtención de datos previos que se introducirán al modelo hidráulico para realizar la simulación.

#### **6.2.1.1 MODELO DE TERRENO**

Al realizarse la modelización bidimensional el modelo IBER admite una gran variedad de formatos (dxf, ascii, shapefile, raster, etc) sin embargo al tratarse de una modelación de un cauce de tipo natural es necesario un modelo de elevación digital a precisión para poder realizar el mallado. Se hará empleo del DEM que se obtuvo a partir de las curvas de nivel y la ortofoto adquiridos del levantamiento fotogramétrico realizado en campo.

*Figura 67 Modelo de Elevación Digital*

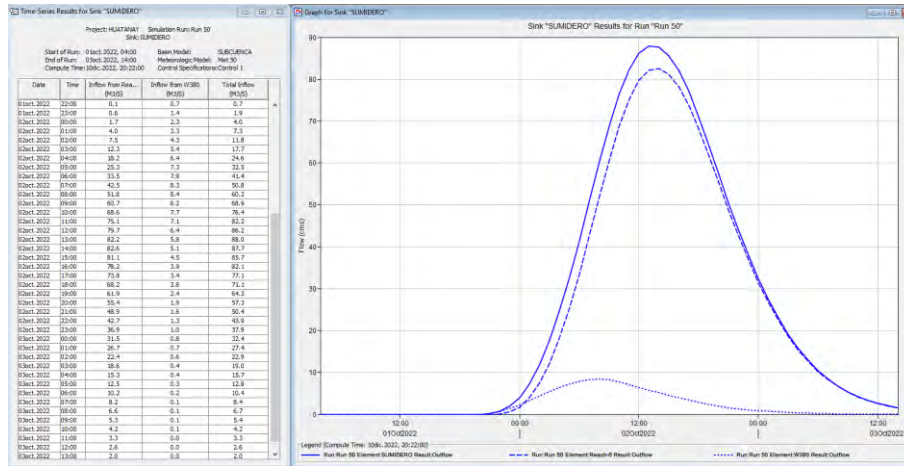


**Nota. DEM obtenido del levantamiento fotogramétrico. (Elaboración Propia)**

#### **6.2.1.2 CAUDALES DE ENTRADA**

Los datos que emplearemos para la simulación del modelo hidráulicos serán los mismos obtenidos del capítulo de hidrología, donde tomaremos los distintos caudales para cada uno de los periodos de retorno  $TR = 50$  y  $100$  años.

Figura 68 Hidrograma del periodo de retorno de 50 años

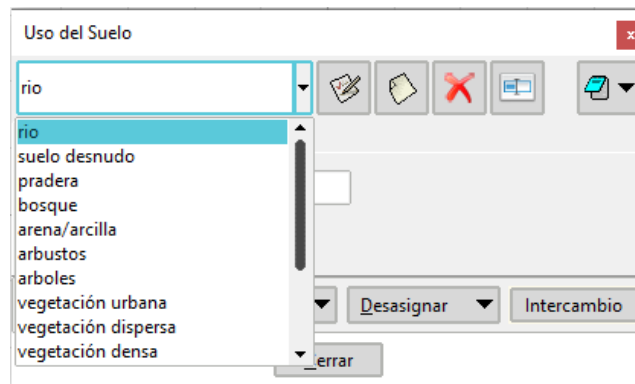


**Nota. Caudales obtenidos para la cuenca 49949776. (Elaboración propia adaptado de HEC-HMS)**

### 6.2.1.3 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

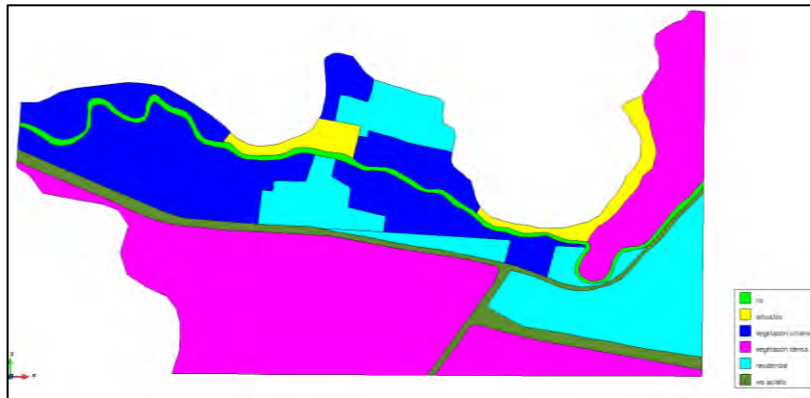
Para la asignación de del valor de rugosidad de Manning, IBER nos permite dos maneras de realizarlo: la primera de forma Manual y la segunda de manera automática. Para este estudio optaremos por el método manual, para emplear la base de datos que posee IBER dentro de lo cual encontramos valores predeterminados del coeficiente de rugosidad de Manning, así como su correspondiente uso de suelo y para el cauce del río.

Figura 69 Coeficiente de Rugosidad de Manning.



**Nota. Valores de rugosidad y uso de suelo establecidos en IBER (obtenido de IBER)**

Figura 70 Caracterización de zonas con los valores de manning.



**Nota. Asignación de valores Manning con los otorgados por el modelo IBER. (Elaboración propia adaptado de IBER)**

## 6.2.2 PROCESAMIENTO

### 6.2.2.1 GEOMETRIA

La generación de la geometría para la simulación la podemos generar automáticamente del modelo de elevación digital (DEM) o generarlo de un archivo shapefile elaborado anteriormente mediante el software ArcGIS 10.5, se optó por la segunda opción para poder caracterizar de mejor manera la zona de estudio y el posterior mallado.

Figura 71 Data geométrica.

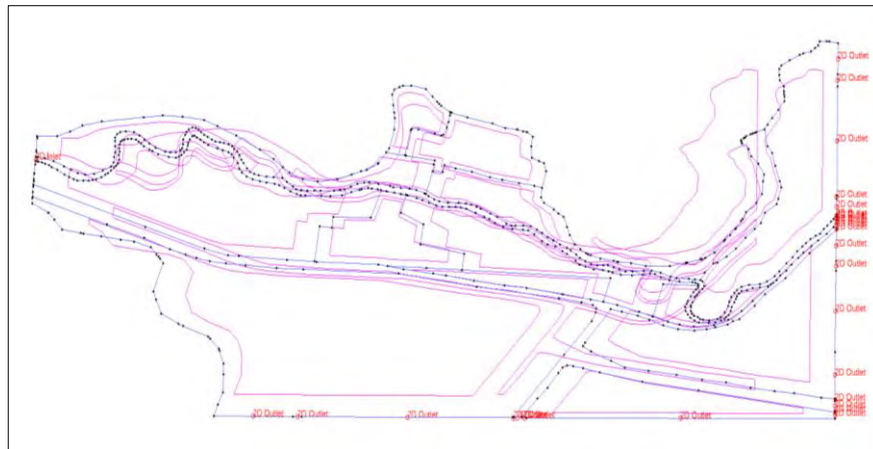


**Nota. Superficies geométricas generadas a partir del archivo shapefile. (Elaboración propia adaptado de IBER)**

### 6.2.2.2 CONDICIONES DE CONTORNO

Iber trabaja dos tipos de contorno, los cerrados (tipo pared) y los contornos abiertos (entra y sale agua del área de influencia). En este modelo se empleará el contorno abierto, para el tránsito del fluido; asignaremos una o más líneas de la malla donde deseamos que se tenga nuestra condición de entrada(inlet), de la misma manera se asignará la condición de salida (outlet) en la malla.

*Figura 72 Asignación de condiciones de contorno.*



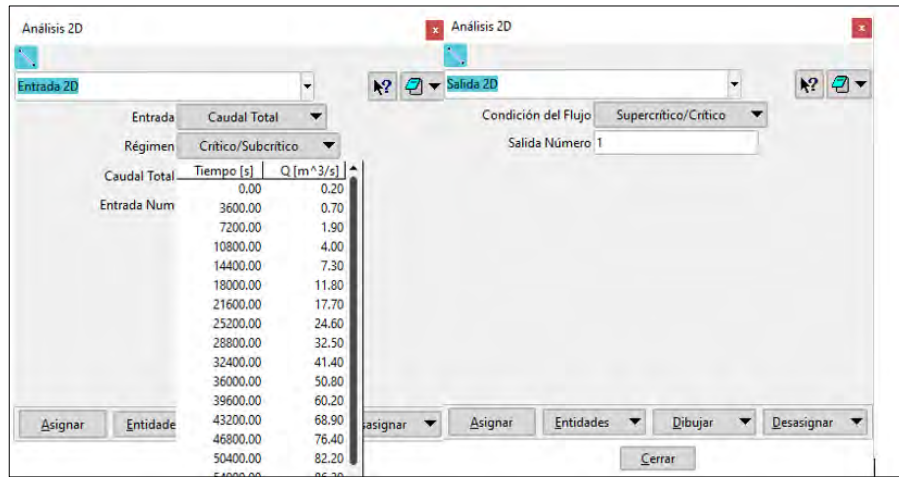
**Nota. Condiciones de entrada y salida del flujo. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6)**

#### 6.2.2.2.1 DATOS DE FLUJO

El modelo hidráulico IBER nos permite ingresar un caudal total constante o específico (hidrograma). Primeramente, se debe definir el tipo de régimen de flujo, que puede ser supercrítico o critico/subcrítico; en el primer caso IBER nos pide tres condiciones que son el tiempo, caudal y la velocidad de flujo, en el segundo únicamente caudal y tiempo (Calzas Pérez, 2013; Geama & Flumen, 2012).

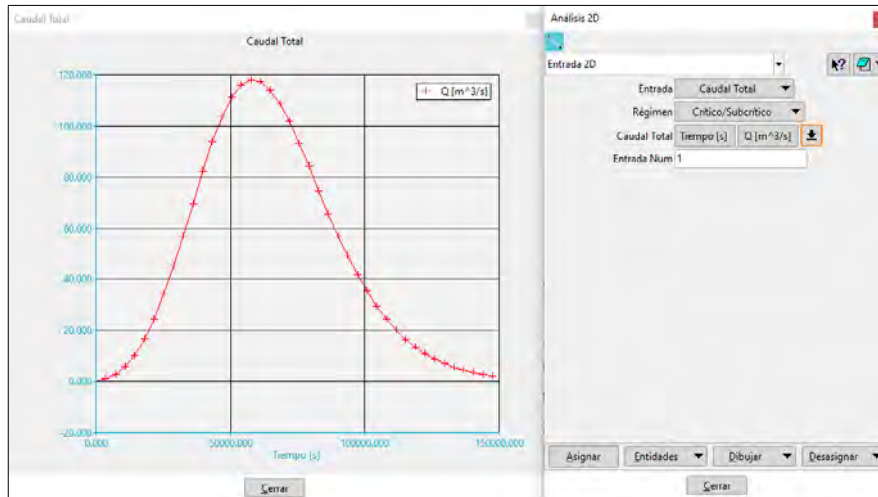
Para este estudio se asumió el régimen critico/subcrítico e ingresamos el hidrograma en las condiciones de entrada, asimismo en las condiciones de salida se asignó un régimen supercrítico/critico que únicamente nos pide definir la salida del flujo o fin de la zona de estudio.

Figura 73 Condiciones de contorno salida y entrada.



**Nota. Asignación de los regímenes de flujo en las condiciones de entrada y salida**  
**(Elaboración propia adaptado de IBER)**

Figura 74 Hidrograma de entrada.



**Nota. Datos de caudal asignado en las condiciones de entrada del flujo. (Elaboración propia adaptado del software IBER)**



### 6.2.2.3 GENERACION DE LA MALLA DE CALCULO

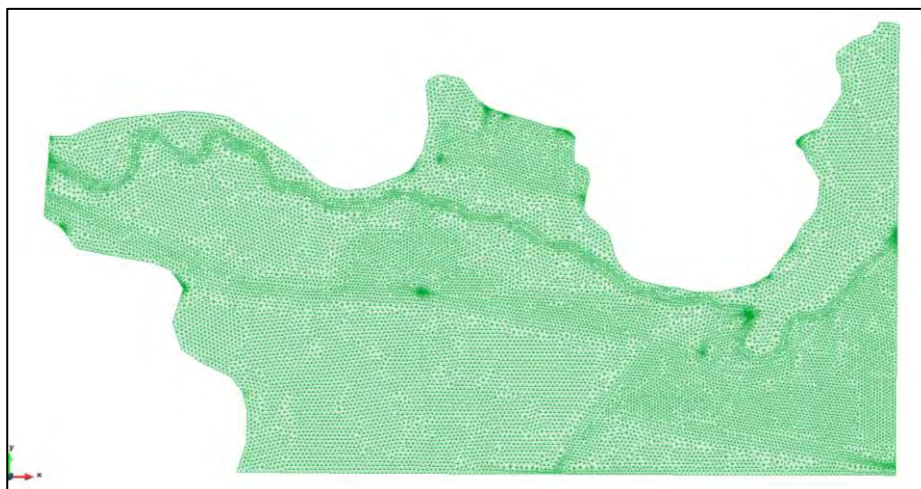
IBER necesita de un orden restrictivo para La generación del modelo, previo al mallado obligatoriamente se ha de definir las condiciones de contorno, de lo contrario la malla no considerará los datos impuestos posteriormente, de ser el caso se debe volver a generar la malla para las nuevas condiciones.

Para el mallado se consideró que al tratarse de una superficie de tipo irregular lo más adecuado es una malla no estructurada que se adapta de mejor manera a la topografía al ser no uniforme.

Finalmente se define el tamaño de la malla, teniendo en consideración que a menor tamaño obtenemos mayor precisión en nuestro modelo, sin embargo, para esto también se generan mayores números de elementos en la malla lo cual eleva el valor computacional y de la misma manera el tiempo de procesado del modelo pudiendo variar entre minutos, horas o días. Para ello se busca un equilibrio entre los parámetros de tiempo, precisión y el coste computacional.

Realizando pruebas se otorgó una malla de 8 m para el cauce, 10 m para la zona residencial y 12 m para las zonas con vegetación.

*Figura 75 Malla de cómputo.*



**Nota. Malla generada sobre las superficies geométricas. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6)**

#### 6.2.2.4 PARAMETROS DE TIEMPO

El modelo hidráulico IBER requiere definir los siguientes estadios de tiempo:

- Instante inicial (Tiempo del inicio del cálculo): 0 segundos
- Tiempo máximo de simulación (Duración de la simulación): 147600 segundos
- Intervalo de resultados (Intervalo de tiempo en que se guardan los resultados del cálculo): 3600 segundos.

Figura 76 Parámetros de tiempo.

Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Peligrosidad personalizada | Turbulencia | Sedimentos

Simulación Nueva ▼

Instante Inicial [s] 0

Tiempo máximo de simulación [s] 147600.00

Intervalo de Resultados [s] 3600

Aceptar Cerrar

**Nota. Valores de tiempo asignados para la simulación. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6)**

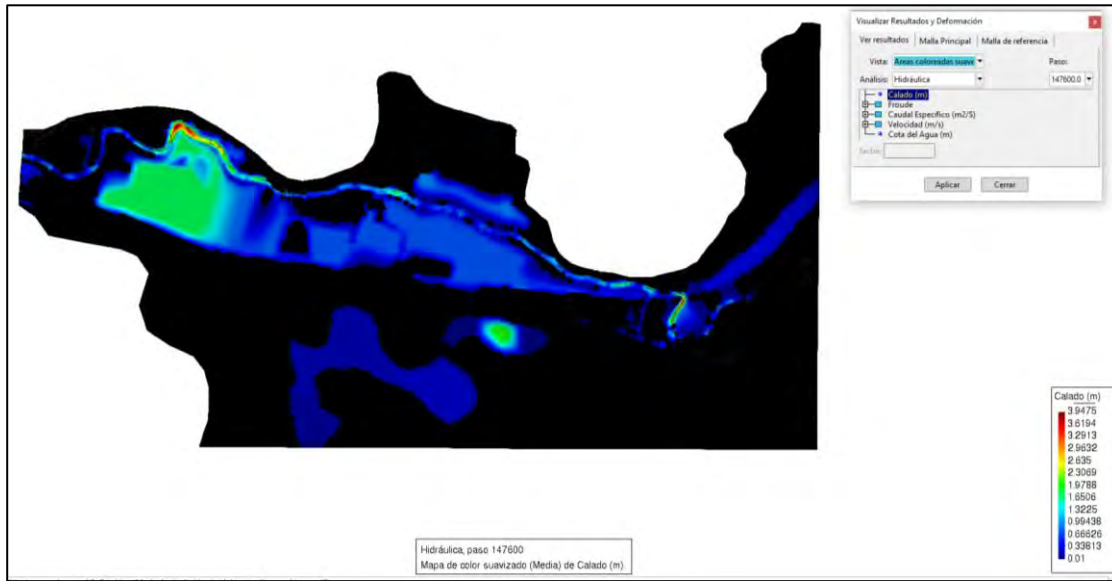
#### 6.2.3 POST PROCESO

Finalizada la simulación el modelo IBER nos presenta los resultados en una ventana nueva de post proceso, con los valores obtenidos de la simulación.

##### 6.2.3.1 VISUALIZACION DE RESULTADOS

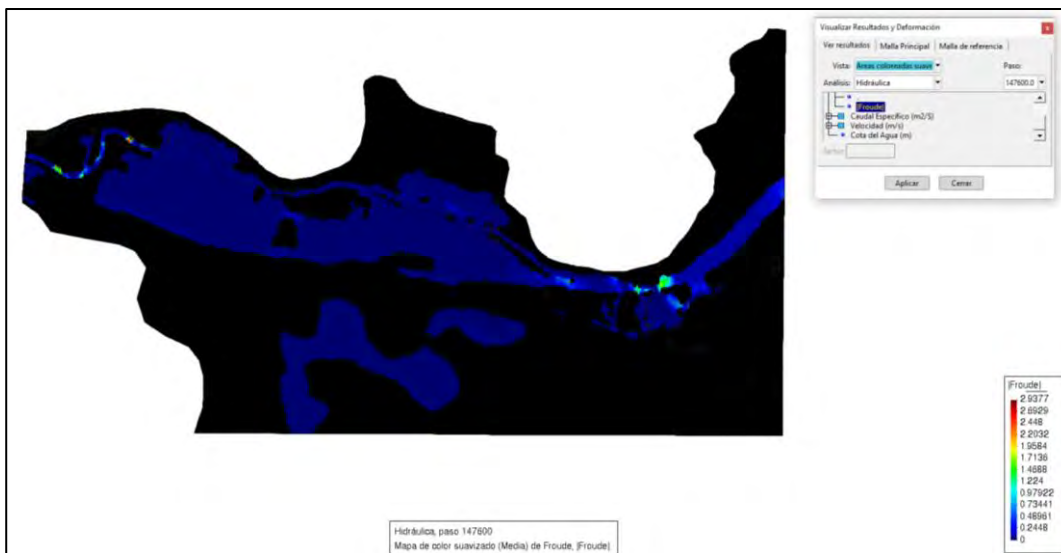
IBER nos permite la visualización de los datos de Calado o Tirante de agua, Numero de Froude, Caudal, Velocidad de flujo y cota de agua de manera dinámica.

Figura 77 Calado o tirante de agua



Nota. Valores de calado máximo de agua. (Elaboración propia adaptado de IBER)

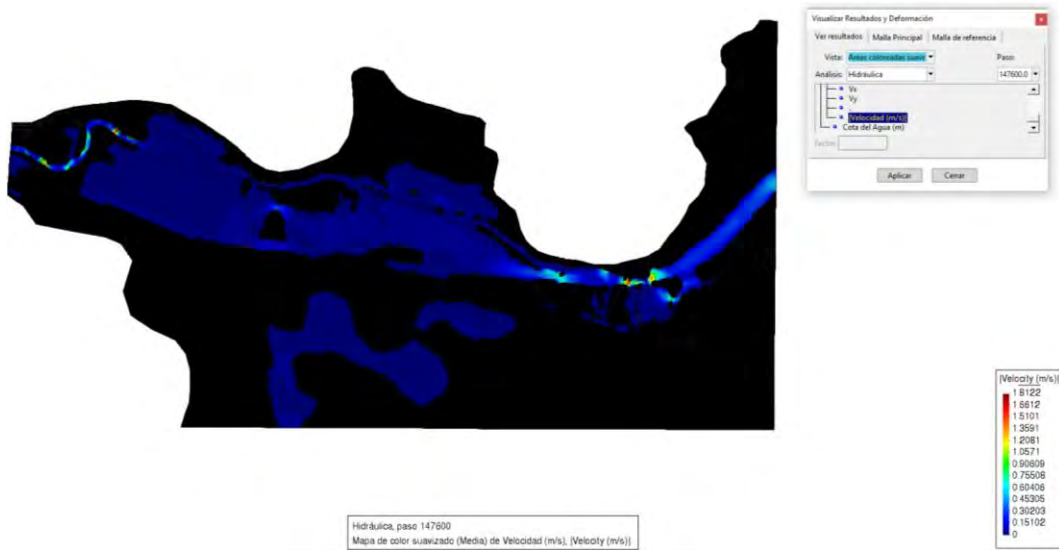
Figura 78 Número de Froude.



Nota. Variación de los valores de número de Froude. (Elaboración propia adaptado de

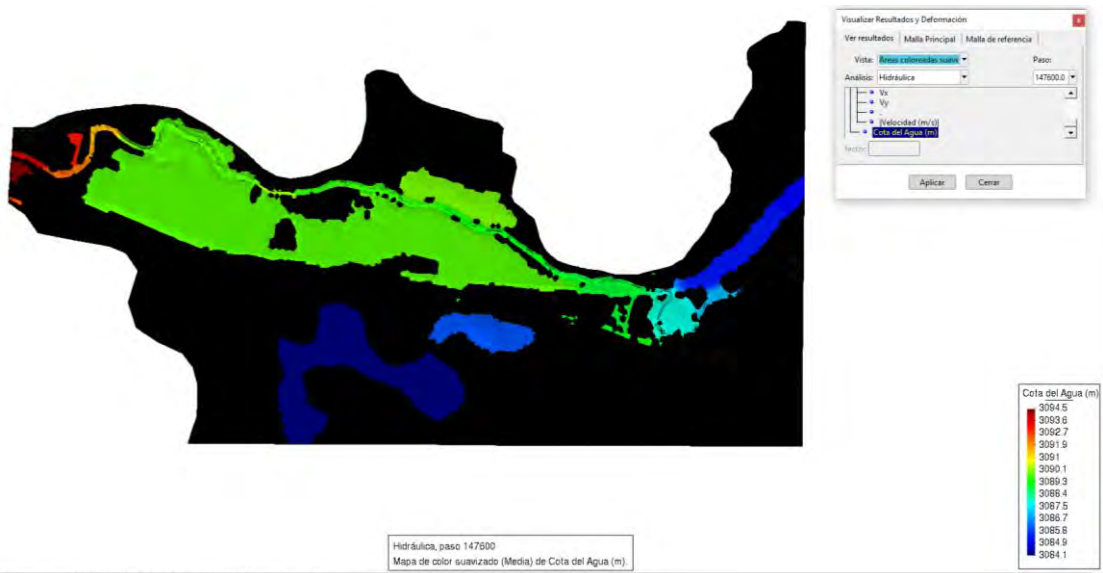
IBER)

Figura 79 Velocidades de flujo.



**Nota. Valores de velocidad de flujo a través de la superficie. (Elaboración propia adaptado de IBER)**

Figura 80 Cota de agua.



**Nota. Altura de nivel de agua en m.s.n.m. (Elaboración propia adaptado de IBER)**

## **7. CAP VII: ANALISIS COMPARATIVO**

### **7.1 GENERALIDADES**

En este capítulo se realizó la observación y análisis de los dos modelos hidráulicos bidimensionales, en sus tres etapas (preproceso, procesado y post proceso). Se comparó las condiciones iniciales brindadas a los modelos como la malla, intervalos de tiempo de simulación. Así mismo los resultados que obtuvimos: número de froude, hidrogramas de salida, tirante de agua, cota de agua y velocidad de flujo principalmente.

### **7.2 ANALISIS HIDRAÚLICO**

Los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER como herramientas de simulación para resolución de problemas asociados a la dinámica fluvial se basan en ecuaciones que les permiten realizar cálculos con las variables que introducimos y generando data para la simulación. Ambos modelos están basados y se centran en resolver las principales ecuaciones de flujo para la modelación.

Entre las ecuaciones hidrodinámicas que son base de los modelos tenemos los siguientes:

- Ecuaciones de Navier Stokes
- Ecuación de Reynolds
- Ecuaciones de Saint Venant

Estas ecuaciones vienen dadas a partir de las leyes de conservación de movimiento y conservación de la masa aplicados a los fluidos. Para resolver estas ecuaciones ambos modelos consideran

principalmente la escala horizontal más significativa y desprecian las componentes verticales, considerando únicamente el comportamiento bidimensional del fluido. Sin embargo, cada modelo aplica distinto método para dar solución a dichas ecuaciones. El modelo hidráulico HEC-RAS aplica el método de diferencias finitas centrándose principalmente en la resolución en los vértices de las celdas, por otro lado, IBER utiliza el método de volúmenes finitos haciendo los cálculos del flujo en las caras de las celdas asociando los valores de celdas adyacentes en los lados comunes.

### 7.3 COEFICIENTE DE MANNING

Los coeficientes de Manning asignados en cada modelo según los métodos utilizados, HEC-RAS se utilizó el método de Cowan para el cauce de río y valores de tablas parametrizadas y recomendadas por el propio software. El modelo IBER nos brinda los valores de Manning que tiene implementados para cada uso de suelo.

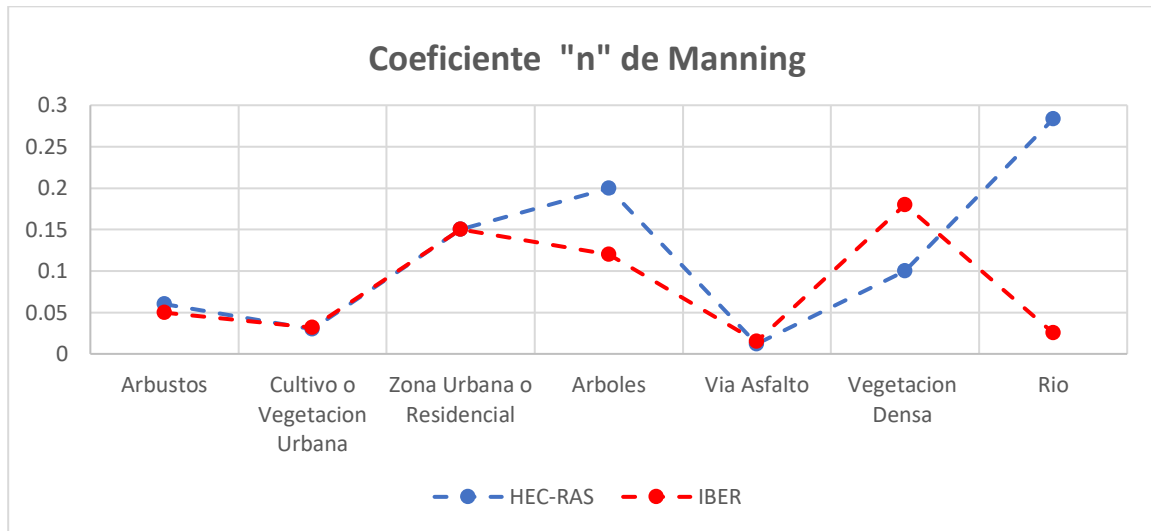
*Tabla 31 Comparación de los valores de Manning*

<b>Coeficiente "n" de Manning</b>		
<b>Cobertura de uso de suelo</b>	<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>
<b>Arbustos</b>	0.06	0.05
<b>Cultivo o Vegetación Urbana</b>	0.03	0.032
<b>Zona Urbana o Residencial</b>	0.15	0.15
<b>Arboles</b>	0.2	0.12
<b>Vía Asfalto</b>	0.012	0.015
<b>Vegetación Densa</b>	0.1	0.18
<b>Río</b>	0.28	0.025

**Nota. Valores de Manning asignados en las distintas zonas de uso de suelo. (Elaboración propia)**

En la tabla 31 apreciamos una gran similitud en los valores que se utilizaron para ambos casos, dándonos una diferencia más significativa en el cauce de río, vegetación y la zona con presencia de árboles.

Figura 81 Coeficiente "n" de Manning.



**Nota. Gráfico de comparación de los valores de Manning.**

#### 7.4 MALLADO

El mallado en cada modelo se realizó principalmente realizando repeticiones de modelos para encontrar el más estable tomando principalmente en consideración los valores caudales y el tiempo de cómputo con el fin de equilibrar el coste computacional y la estabilidad de modelo. Trabajando con los valores de las tablas 32 y 33.

Tabla 32 Mallado para periodo de retorno 50 años.

MALLA (T =50)			
MODELO	Cauce de Río (m)	Zona Residencial (m)	Vegetación (m)
HEC-RAS	6	8	8
IBER	8	10	12

**Nota. Valores de malla asignado en distintas zonas del área de estudio para el periodo de retorno e 50 años. (Elaboración propia)**

Tabla 33 Mallado para periodo de retorno 100 años.

<b>MALLA (T=100)</b>			
<b>MODELO</b>	<b>Cauce de Río (m)</b>	<b>Zona Residencial (m)</b>	<b>Vegetación (m)</b>
<b>HEC-RAS</b>	4	6	6
<b>IBER</b>	8	10	12

**Nota. Valores de malla asignado en distintas zonas del área de estudio para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

Así mismo se trabajó con distintos tipos de malla en ambos modelos. En el modelo HEC-RAS trabajó con una malla estructurada (cuadriláteros) y el modelo IBER con una malla de tipo no estructurada (alternancia entre triángulos y cuadriláteros).

## 7.5 HIDROGRAMAS

Los hidrogramas que se obtienen al finalizar la simulación con los modelos hidráulicos deben tener un comportamiento similar al hidrograma inicial o de entrada con el que hizo la simulación, para ello ambos modelos realizan iteraciones a través de toda la malla tratando de conservar el balance de la masa de fluido y el comportamiento de hidrograma inicial.

Tabla 34 Caudal máximo en los hidrogramas.

<b>Periodo de retorno</b>	<b>CAUDAL MAXIMO</b>			
	<b>ENTRADA</b>	<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>	<b>Diferencia</b>
50 años	88	77.287	76.9806	0.3064
100 años	117	108.737	99.32	9.417

**Nota. Valores de caudales pico de los hidrogramas de entrada y salida de los modelos hidraulicos. (Elaboracion propia).**

De la tabla 34 se observa que el modelo hidraulico HEC-RAS muestra mayor aproximación a los valores iniciales introducidos a diferencia de IBER que presente una leve diferencia en el periodo de 50 años y aumenta considerablemente para el periodo de 100 años.

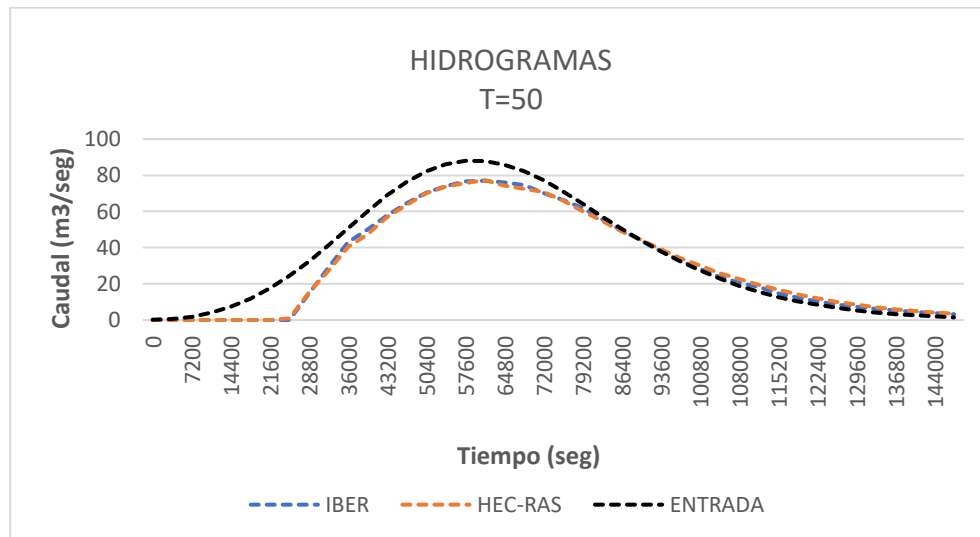


Tabla 35 Caudal máximo y mínimo para periodo de retorno de 50 años.

<b>TR= 50 años</b>				
<b>Caudal</b>		<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>	<b>Diferencia</b>
Máxima	88.00	77.29	76.98	0.31
Mínima	0.20	0.00	0.00	0.00

**Nota. Valores extremos en los hidrogramas para el periodo de 50 años. (Elaboracion Propia)**

Figura 82 Hidrogramas del periodo de retorno de 50 años.



**Nota. Hidrogramas de entrada y salida de los modelos HEC-RAS e IBER implementados al periodo de retorno 50 años.(Elaboracion propia)**

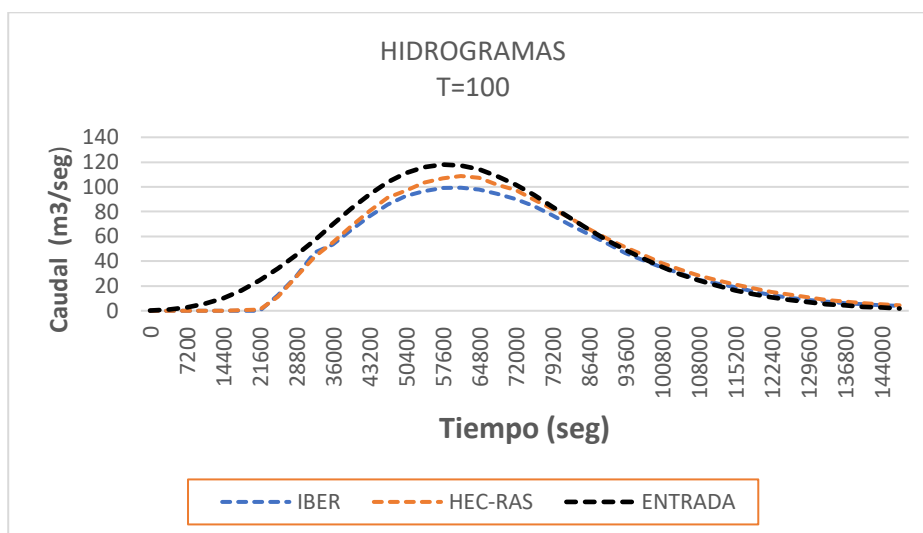
Para el periodo de retorno de 50 años ambos modelos presentan una variacion minima casi inapreciable desde el inicio donde ambos nos muestran valores itinerados iguales a 0 durante los primeros 21600 segundos y manteniendo un comportamiento similar a traves del tiempo,

Tabla 36 Caudal máximo y mínimo para periodo de retorno de 100 años.

<b>TR= 100 años</b>				
<b>Caudal</b>		<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>	<b>Diferencia</b>
Máxima	118.00	108.74	99.3215332	9.42
Mínima	0.20	0.00	0.00	0.00

**Nota. Valores extremos en los hidrogramas para el periodo de 100 años. (Elaboracion Propia)**

Figura 83 Hidrogramas del periodo de retorno de 100 años.



**Nota. Hidrogramas de entrada y salida de los modelos HEC-RAS e IBER implementados al periodo de retorno 100 años.(Elaboracion propia)**

Los hidrogramas de salida para el periodo de retorno de 100 años se observa una leve diferencia en los picos de los hidrogramas, donde HEC-RAS nos brinda una mayor aproximacion al hidrograma de entrada a comparacion del modelo IBER, considerando los valores mas bajos ambos presentan el mismo comportamiento de inicio a fin.

### 7.6 NUMERO DE FROUDE

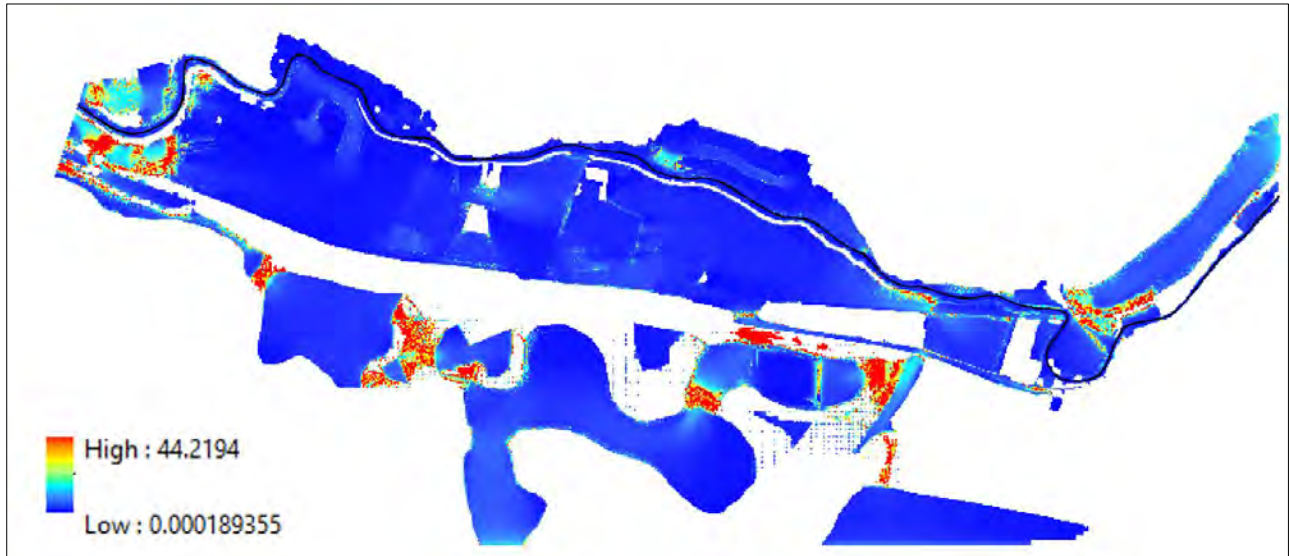
El número de froude nos da a conocer el régimen de flujo clasificándolo como subcrítico, critico o supercrítico, dado por la relación entre la velocidad de flujo, gravedad y el tirante de agua. Los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER realizan el cálculo de este parámetro con ello nos permiten conocer el comportamiento del flujo en las distintas zonas del área de estudio.

Tabla 37 Numero de Froude periodo de retorno 50 años.

TR= 50 años			
FROUDE	HEC-RAS	IBER	Diferencia
Máxima	44.219	5.3	38.919
Medio	0.41	0.16	0.25
Mínima	0.0001	0.28	0.0001

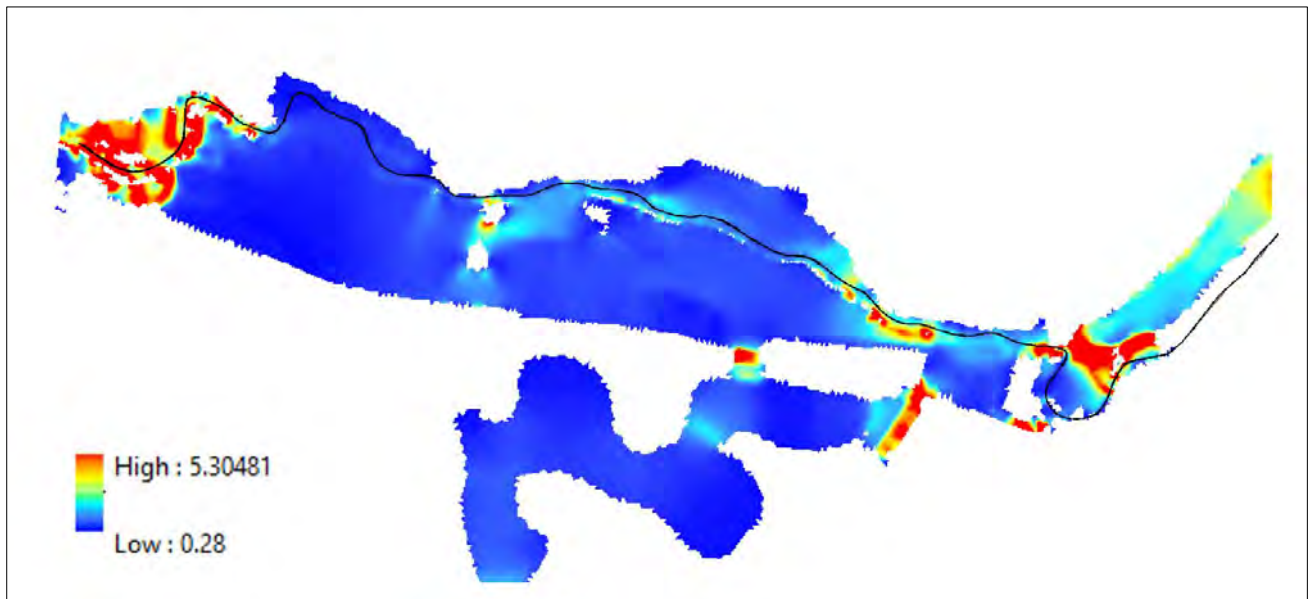
**Nota. Valores extremos y medios de Froude calculados por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

Figura 84 Valores de Froude periodo de retorno 50 años modelo HEC-RAS



**Nota. Variación del valor de Froude en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS).**

Figura 85 Valores de Froude periodo de retorno 50 años modelo IBER



**Nota. Variación del valor de Froude en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de IBER).**

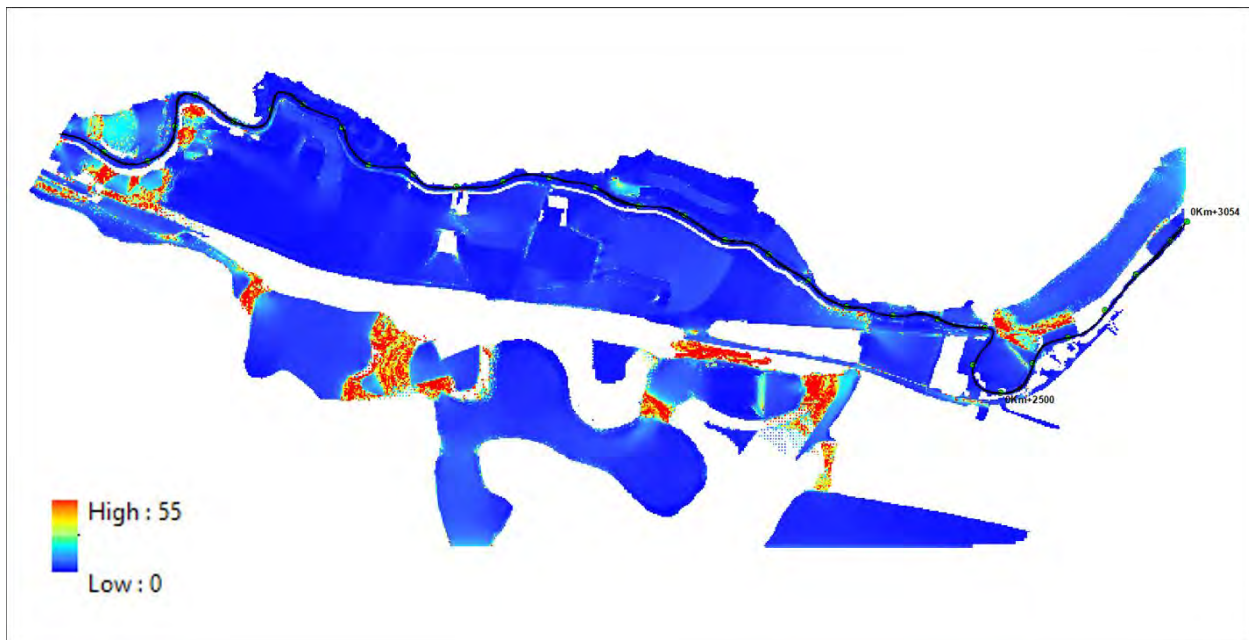
Para el periodo de 50 años podemos apreciar en la tabla 31 una diferencia bastante significativa en ambos modelos sobre todo en los valores máximos obtenidos con una diferencia de 38.19 del modelo HEC-RAS sobre el modelo IBER, según la naturaleza del número de froude que varía entre valores menores, iguales o cercanos a 1; permitiéndonos conocer el régimen de flujo. Los dos modelos presentan datos que consideran un flujo de régimen supercrítico ( $Fr > 1$ ) en zonas específicas similares en ambos casos.

Tabla 38 Número de Froude periodo de retorno 100 años

TR= 100 años			
FROUDE	HEC-RAS	IBER	Diferencia
Máxima	54.97	3.98	50.99
Medio	1.22	0.16	1.06
Mínima	0.49	0.00001	0.48999

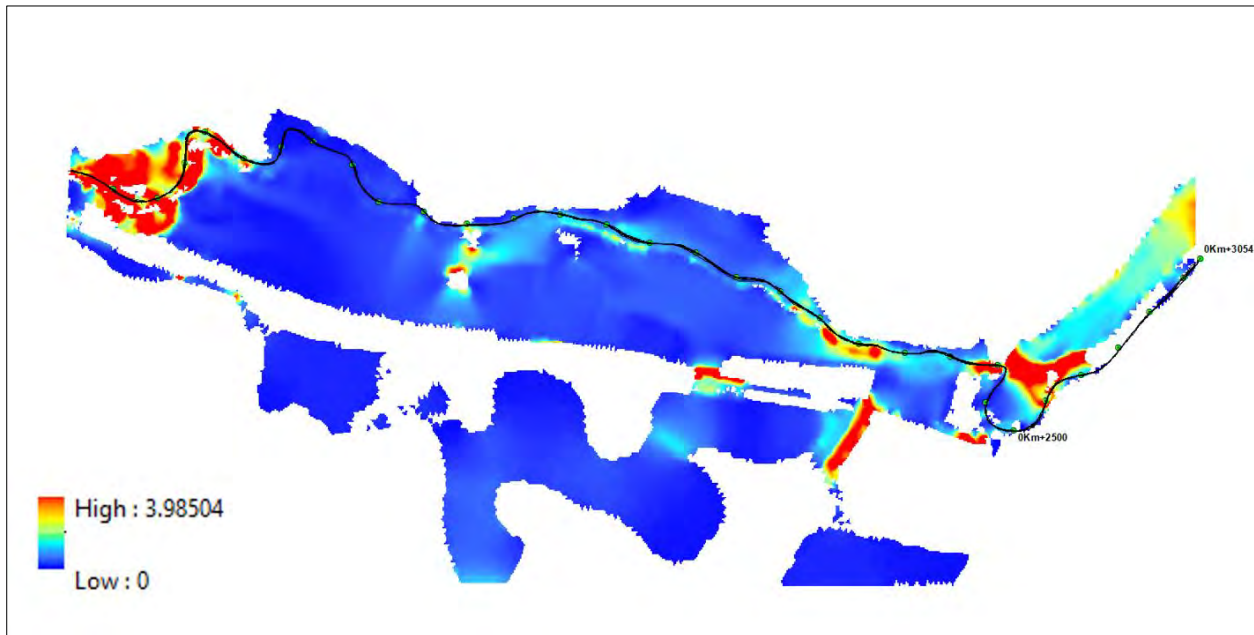
**Nota. Valores extremos y medios de Froude calculados por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

Figura 86 Valores de Froude periodo de retorno 100 años modelo HEC-RAS



**Nota. Variación del valor de Froude en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2).**

Figura 87 Valores de Froude periodo de retorno 100 años modelo IBER



**Nota. Variación del valor de Froude en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6).**

Los valores de Froude para el periodo de retorno de 100 años presentan también una gran variación entre ambos modelos hidráulicos, siendo de la misma manera el modelo HEC-RAS el que obtuvo valores muy por encima de los valores de IBER, así mismo ambos modelos nos indican que mayormente tenemos un flujo de comportamiento subcrítico a crítico en mayor parte del área inundable.

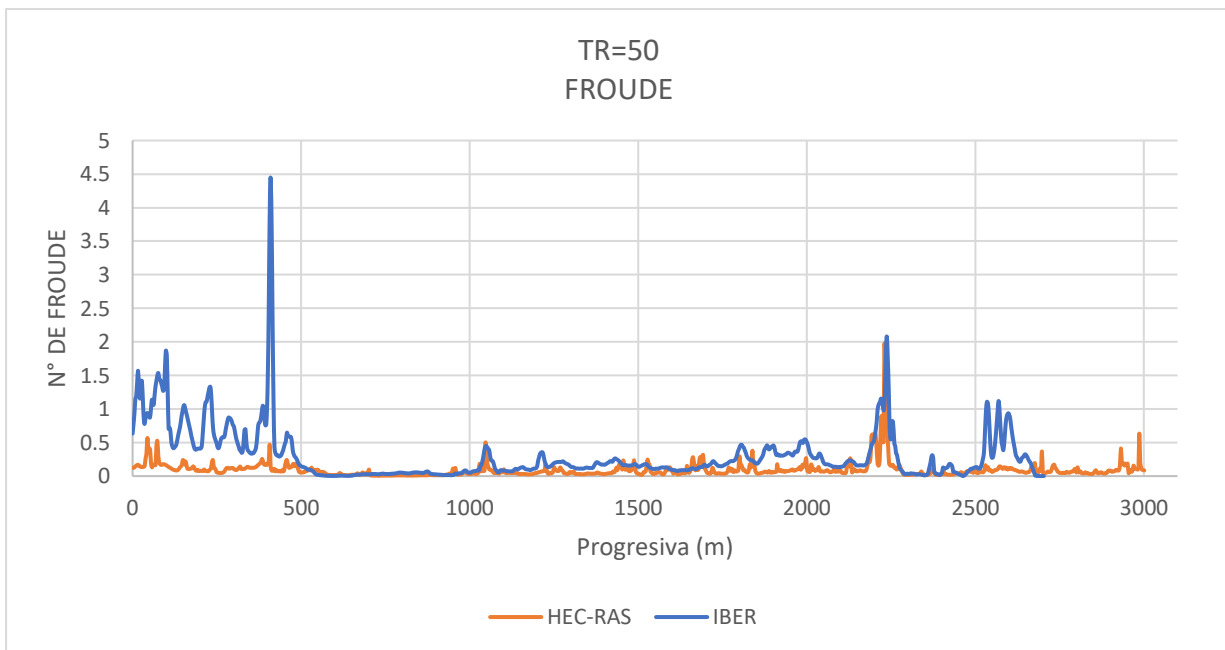
Los valores máximos en ambos modelos nos representan los saltos hidráulicos que se dan en esas zonas, donde se presenta un cambio de régimen de supercrítico a crítico, estos resaltos se están presentando principalmente en los meandros del río (figura 86 y 87) generando una mayor complejidad para los modelos hidráulicos al momento de simular, cada uno por los métodos de resolución que realizan en las celdas de la malla lo que genera esa gran diferencia entre ambos modelos. Podemos apreciar que el modelo hidráulico HEC-RAS presenta una mayor dificultad para realizar esos cálculos sobreestimando los valores para mantener la estabilidad del modelo en general, a diferencia de IBER que presenta valores considerablemente más adecuados.

Tabla 39 Valores de Froude en el cauce de río.

Periodo de retorno	FROUDE		
	HEC-RAS	IBER	Diferencia
50 años	1.95	4.448	2.498
100 años	1.21	2.59	1.38

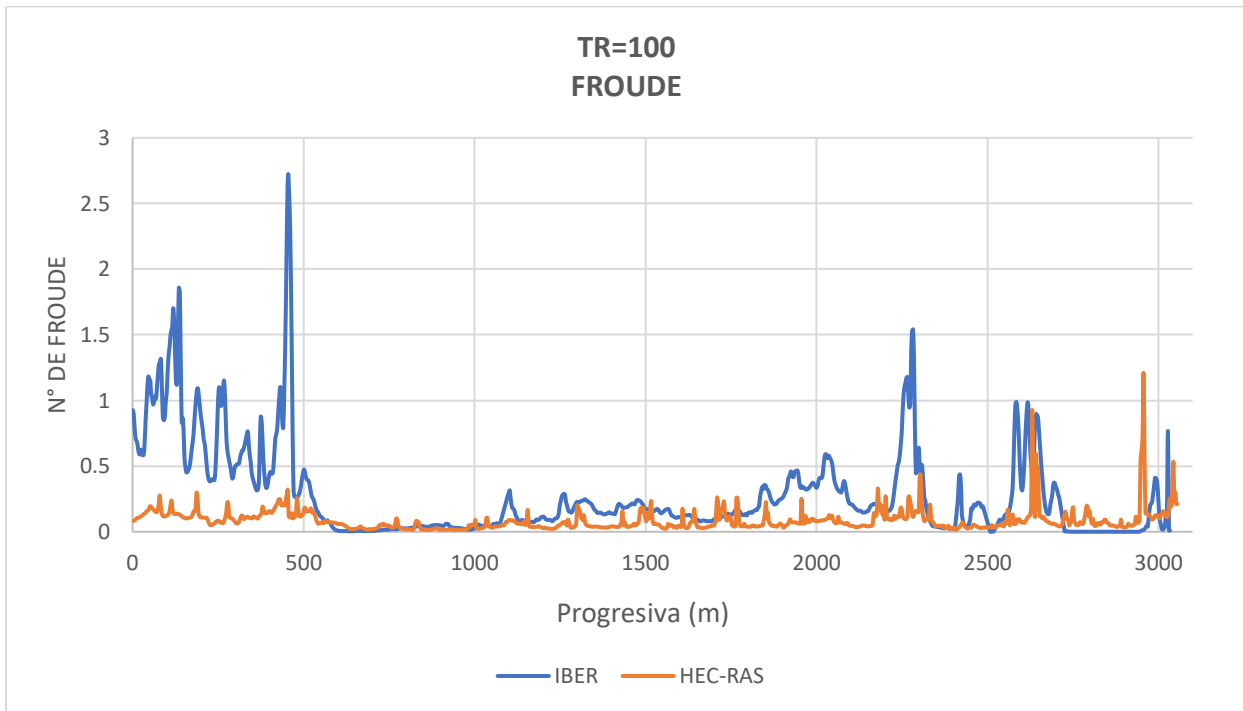
**Nota. Valores máximos de Froude obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER a lo largo del cauce del río. (Elaboración propia)**

Figura 88 Valores de Froude en al cauce de río para periodo de 50 años.



**Nota. Comportamiento del número de Froude en ambos modelos a lo largo del cauce de río para un periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

Figura 89 Valores de Froude en el cauce de río para periodo de 100 años.



**Nota. Comportamiento del número de Froude en ambos modelos a lo largo del cauce de río para un periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

Como podemos observar en las figuras 88 y 89 el comportamiento del número de Froude para ambos periodos de retorno es muy similar, sin embargo, se aprecia que el modelo IBER obtuvo valores mayores en contraste al modelo HEC-RAS a lo largo del cauce. En lo concerniente al régimen de flujo se encuentra discrepancias en los primeros 500 metros del río, donde el modelo IBER nos brinda un régimen constantemente variable entre supercrítico a subcrítico, y el modelo HEC-RAS un régimen netamente subcrítico.

### 7.7 NUMERO DE COURANT (Courant-Friedrichs-Levy)

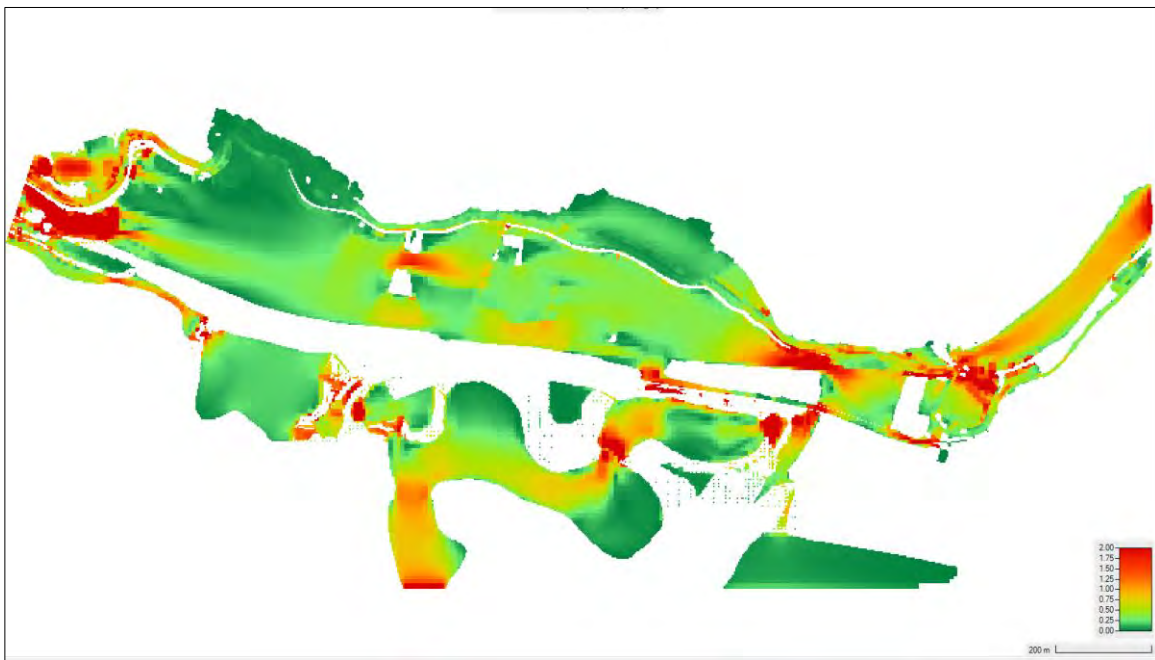
El número de Courant o Condición de Courant-Friedrich-Levy (CFL) es el parámetro que nos condiciona el tamaño de malla a emplear, así como el intervalo de tiempo de cómputo. Este parámetro no debe alejarse del valor de 1 para considerar que nuestro modelo es estable.

Tabla 40 Numero de Courant-Friedrich-Levy.

Periodo de retorno	CFL	
	HEC-RAS	IBER
50 años	0-2	0.45
100 años	0-2	0.45

**Nota. Valores de Courant para los periodos de retorno de 50 y 100 años en ambos modelos hidráulicos.**

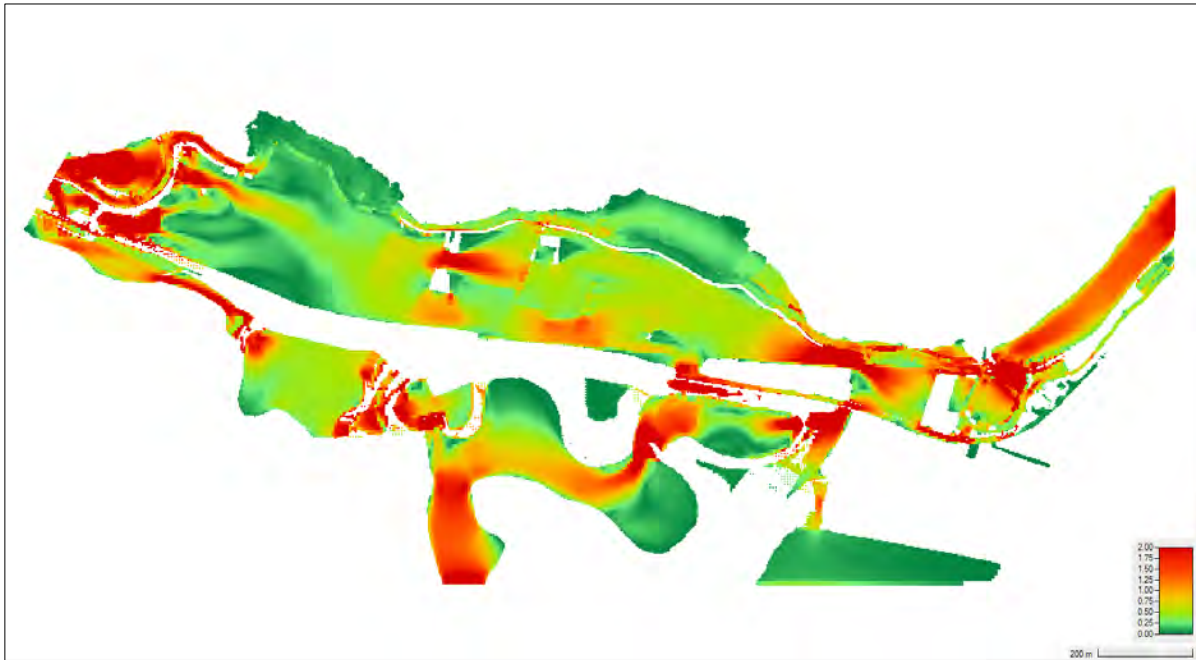
Figura 90 Numero de Courant periodo de 50 años en HEC-RAS



**Nota. Variación del número de Courant en la superficie de agua para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2)**



Figura 91 Numero de Courant periodo de 100 años en HEC-RAS



**Nota. Variación del número de Courant en la superficie de agua para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2)**

El valor de Courant en el modelo hidráulico IBER es un parámetro que se debe establecer previo al inicio de la simulación, IBER nos brinda por defecto el valor de 0.45 en toda la malla como valor recomendado para las simulaciones, por el contrario, HEC-RAS realiza el cálculo de este valor en cada celda según el tamaño de malla y el intervalo de tiempo asignado para la simulación.

## 7.8 VELOCIDAD DE FLUJO

La velocidad se encuentra relacionado a la declividad del terreno, presentándose una mayor velocidad en zonas donde la pendiente es mayor. Las tablas 41 y 42 muestra los resultados obtenidos de velocidad de flujo en el área de estudio.

Tabla 41 Velocidad de flujo periodo de retorno de 50 años.

TR=50años			
Velocidad(m/s)	HEC-RAS	IBER	Diferencia
Máxima	54.174	7.38042	46.79358
Medio	0.712	0.392	0.32
Mínima	0.00055	0.0001	0.00045

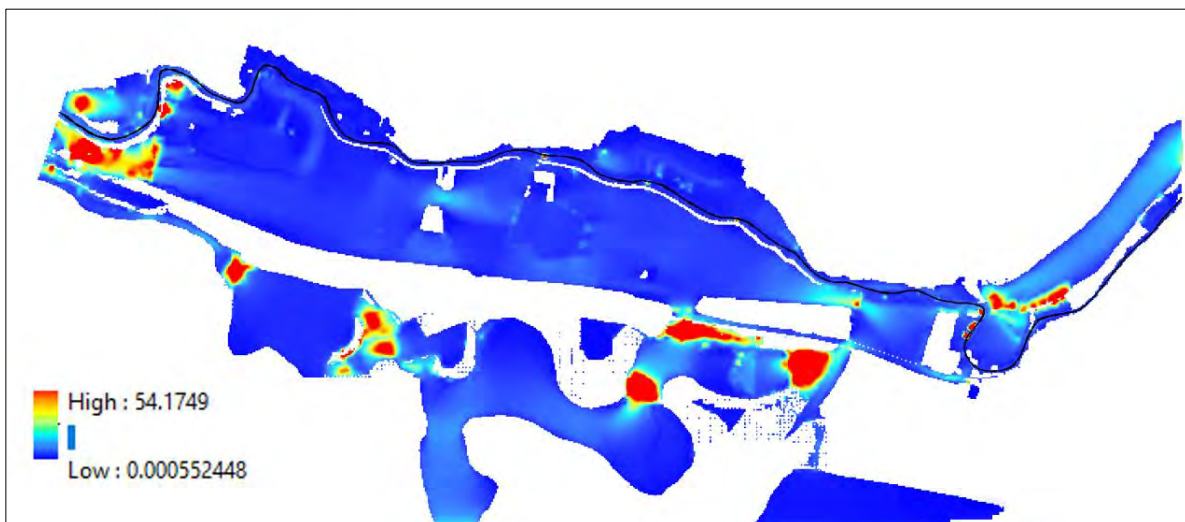
Nota. Valores

de velocidad de

**flujo extremos y medios calculados por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

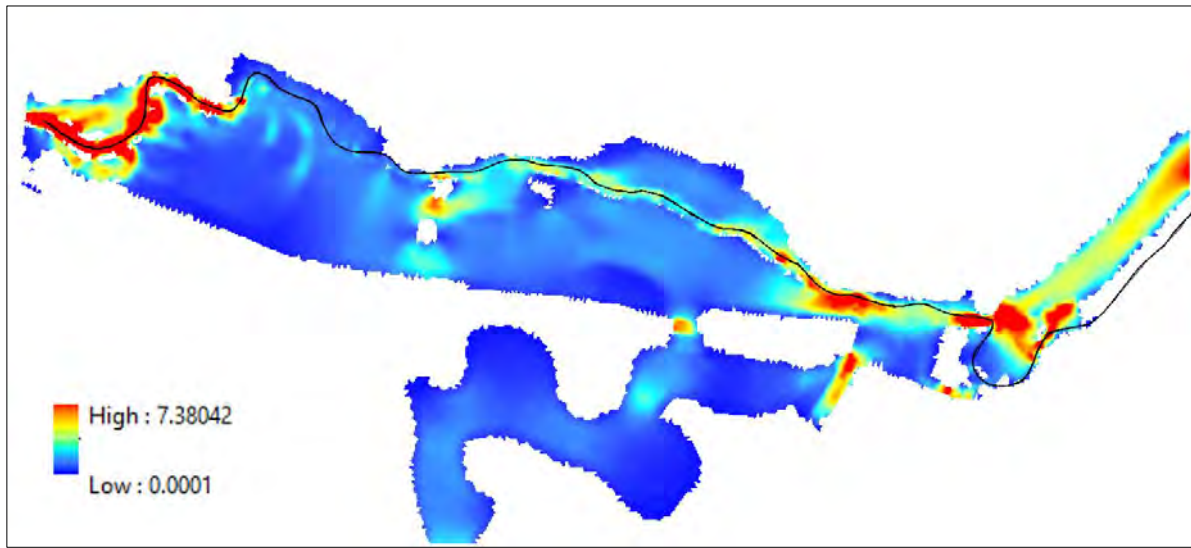
Los valores de velocidad de flujo obtenidos por ambos modelos presentan una gran diferencia, el modelo HEC-RAS supera en 46.79 m/s al modelo IBER, estas discrepancias se atribuyen principalmente a los distintos métodos de simulación que aplican ambos modelos, de la misma manera que se presentaron en el número de Froude al estar directamente relacionado al valor de la velocidad. Sin embargo, se observa en las figuras 92 y 93 que las zonas donde se presentan estas variaciones de velocidades son similares en ambos modelos.

Figura 92 Velocidad de flujo para el periodo de 50 años en HEC-RAS



**Nota. Variación de la velocidad de flujo en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2).**

Figura 93 Velocidad de flujo para el periodo de 50 años en IBER



**Nota. Variación de la velocidad de flujo en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6).**

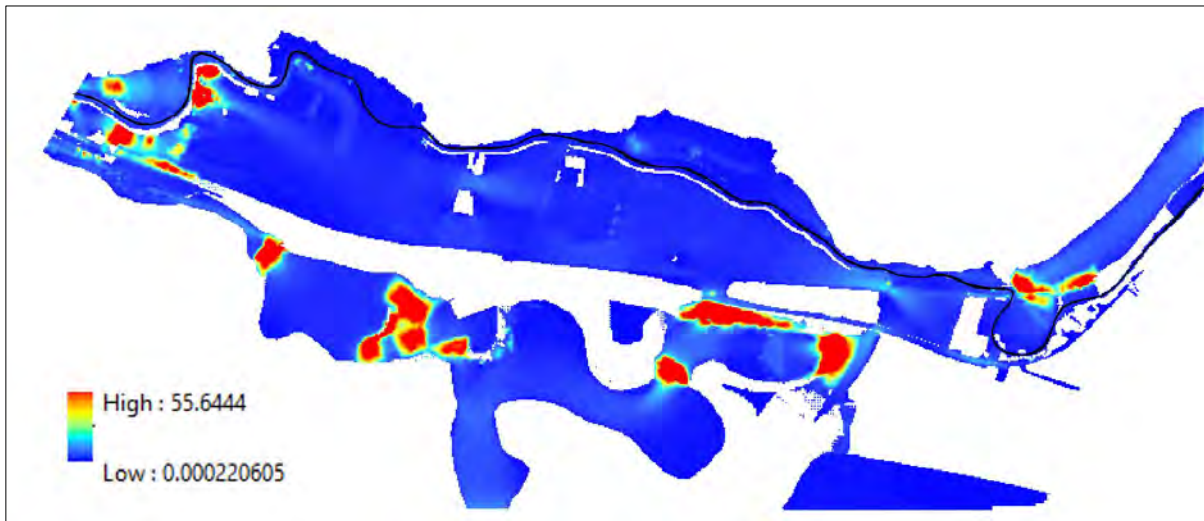
Tabla 42 Velocidad de flujo periodo de retorno de 100 años.

<b>TR=100 años</b>			
<b>Velocidad(m/s)</b>	<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>	<b>Diferencia</b>
Máxima	55.643	8.0508	47.5922
Medio	1.265	0.3982	0.8668
Mínima	0.0002	0.0003	0.0001

**Nota. Valores de velocidad de flujo extremos y medios calculados por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

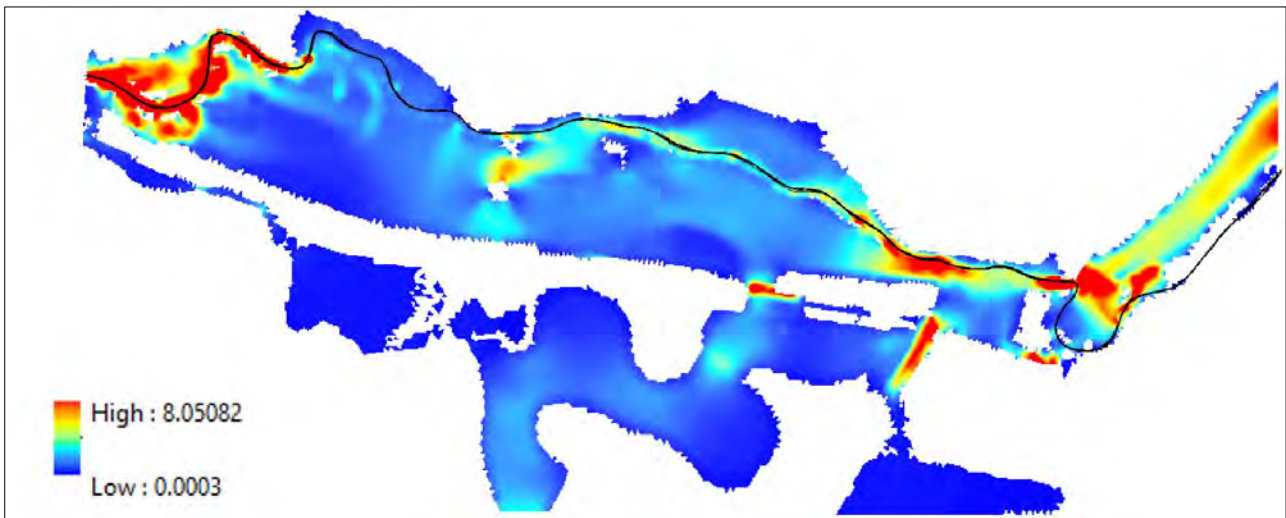
Para el periodo de retorno de 100 años se aprecia discrepancias similares a la del periodo de 50 años, dándose la principal diferencia en los valores máximos. Los resultados que presenta el modelo IBER se consideran más validos por los valores de froude que se apreciaron previamente, puesto que se encuentran más coherentes en relación a los valores que comúnmente se debe encontrar este parámetro.

Figura 94 Velocidad de flujo para el periodo de 100 años en HEC-RAS



**Nota. Variación de la velocidad de flujo en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2)**

Figura 95 Velocidad de flujo para el periodo de 100 años en IBER



**Nota. Variación de la velocidad de flujo en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6).**

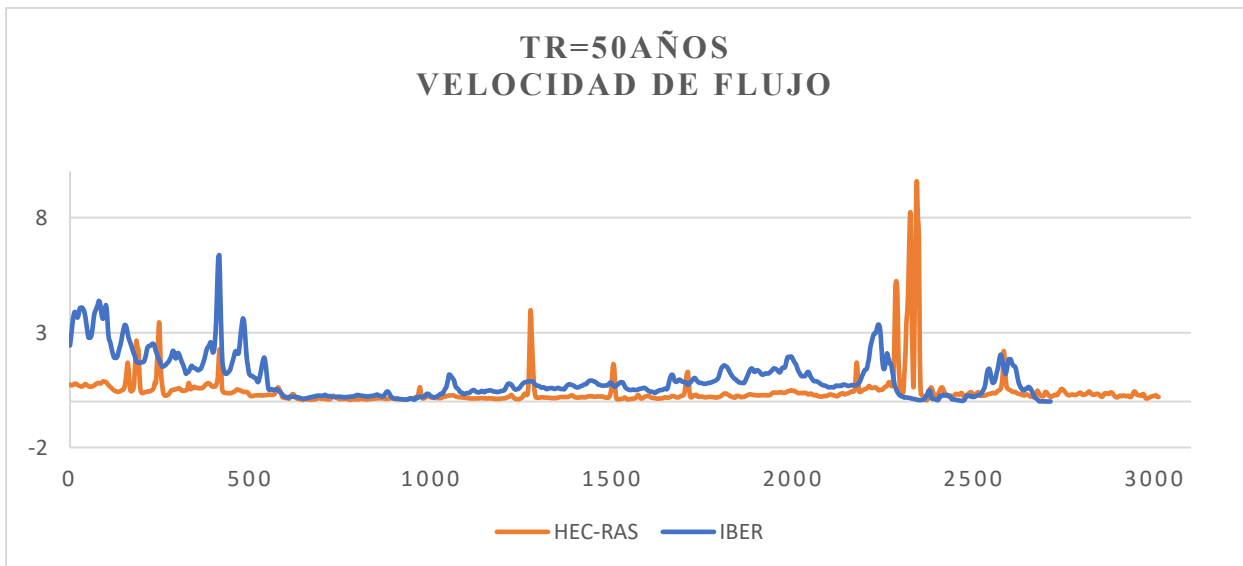
Los resultados obtenidos al o largo del cauce de río presentan una menor diferencia, al tratarse de un pendiente relativamente homogénea no se presentan grandes variaciones de velocidad, en la tabla 39 podemos apreciar los valores máximos de flujo de ambos modelos con una diferencia de 3.23 m/s para el periodo de 50 años y de 5.99 m/s para el periodo de 100 años. Así mismo en las figuras 94 y 95 vemos el comportamiento de la velocidad de flujo a lo largo del cauce presentando los valores máximos en las mismas zonas del cauce.

Tabla 43 Velocidad de flujo en el cauce de río.

Periodo de retorno	Velocidad de flujo Máximo		
	HEC-RAS	IBER	Diferencia
50 años	9.583	6.35	3.233
100 años	11.66	5.67	5.99

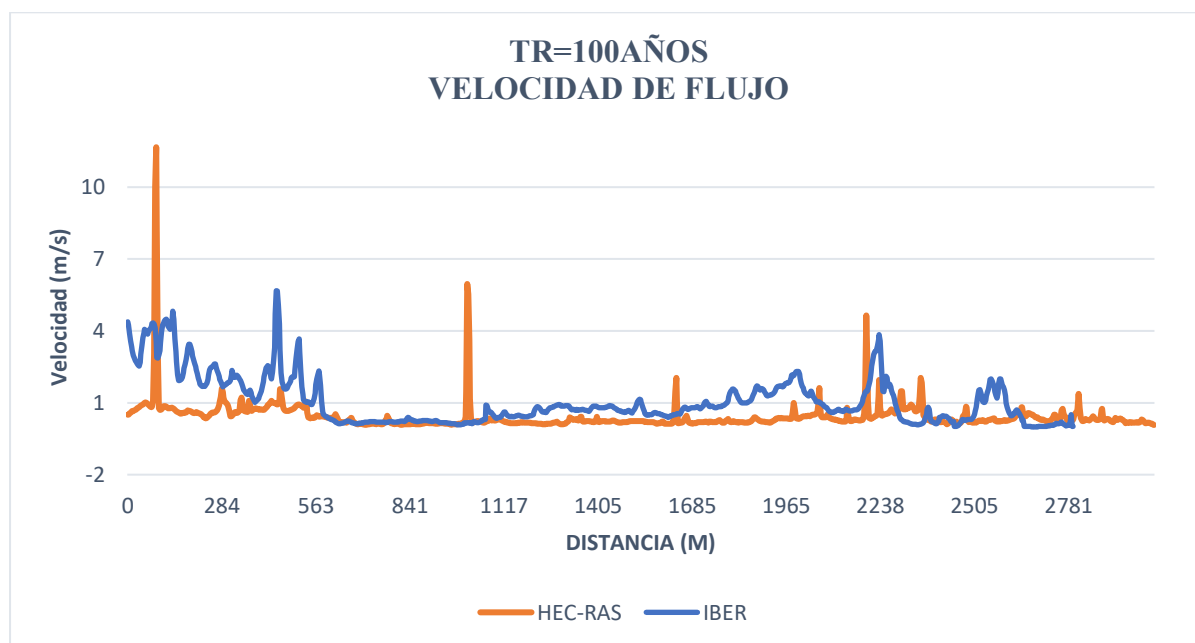
**Nota. Valores de velocidad de flujo máximos obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER a lo largo del cauce del río. (Elaboración propia)**

Figura 96 Velocidad de flujo en el cauce de río para periodo de 50 años.



**Nota. Comportamiento de la velocidad de flujo en ambos modelos a lo largo del cauce de río para un periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

Figura 97 Valores velocidad de flujo en al cauce de rio para periodo de 100 años.



**Nota. Comportamiento de la velocidad de flujo en ambos modelos a lo largo del cauce de rio para un periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

### 7.9 TIRANTE DE AGUA

Los resultados de tirante de agua obtenidos nos indican la altura de agua que alcanzan en las distintas zonas del área de estudio. En la tabla 44 podemos observar la variación de tirantes para el periodo de retorno de 50 años, donde principalmente se aprecia que el modelo hidráulico HEC-RAS obtuvo valores mayores al del modelo IBER con una variación de 1.41 metros de altura máxima y diferencias más pequeñas en los valores medios y mínimos.

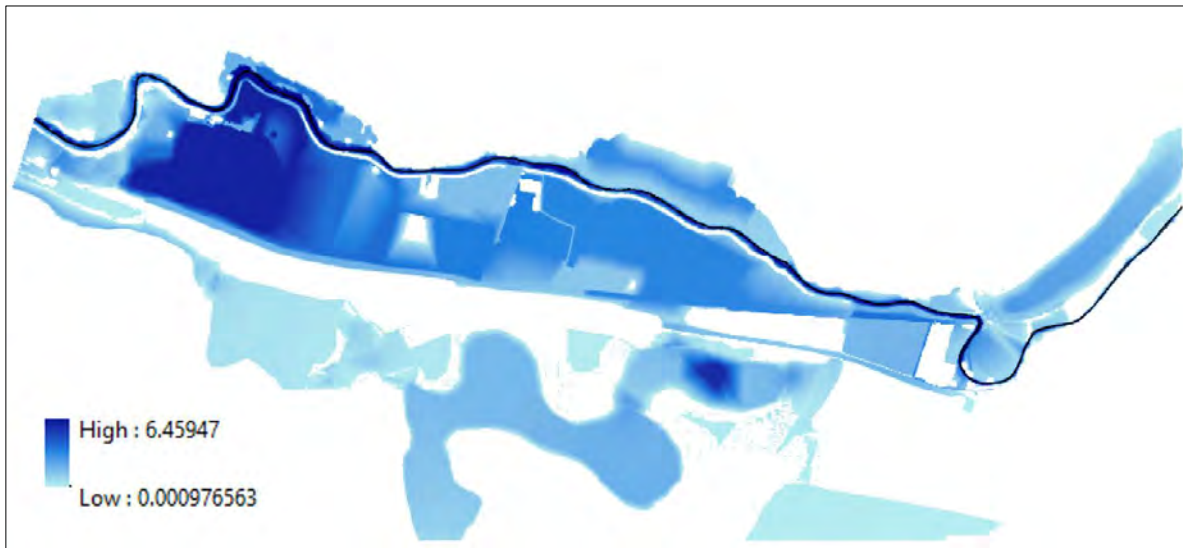
Así mismo podemos observar en las figuras 98 y 99 las zonas con mayor tirante de agua son muy similares en ambos modelos.

Tabla 44 Tirante de agua periodo de retorno de 50 años

TR= 50 años			
Tirante	HEC-RAS	IBER	Diferencia
Máxima	6.459	5.018	1.441
Medio	1.007	1.22	0.213
Mínima	0.867	0.75	0.117

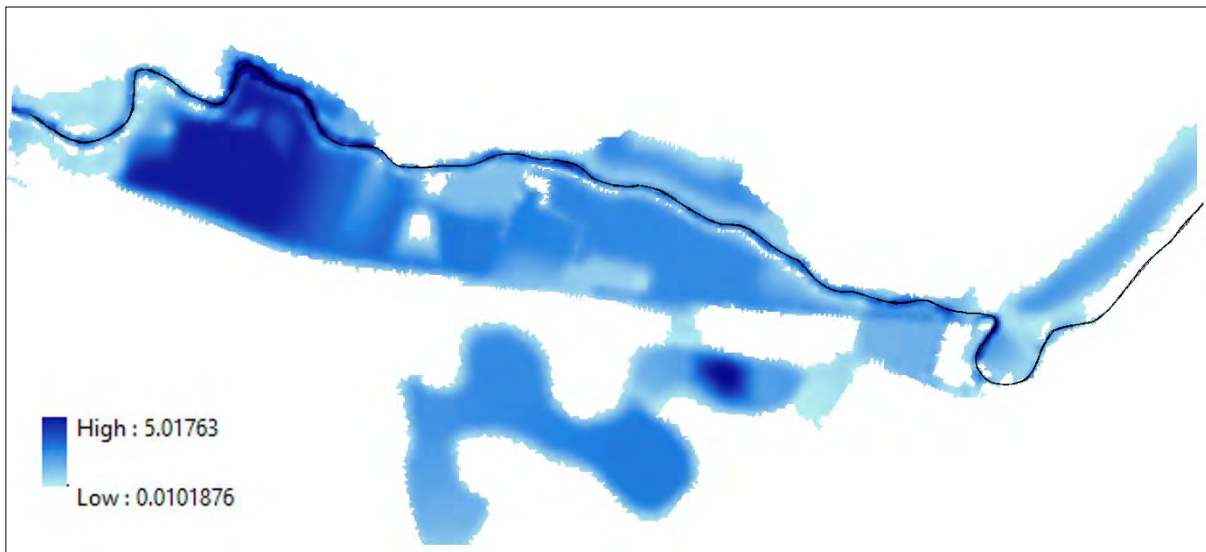
**Nota. Valores de tirante de extremos y medios obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

Figura 98 Tirante de agua para el periodo de 50 años en HEC-RAS



**Nota. Variación del tirante de agua en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2).**

Figura 99 Tirante de agua para el periodo de 50 años en IBER



**Nota. Variación del tirante de agua en el área inundada para el periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6).**

Podemos apreciar en la tabla 45 que los tirantes de agua para el periodo de retorno de 100 años alcanzan un nivel muy ligeramente mayor al de los valores del periodo de 50 años, de la misma

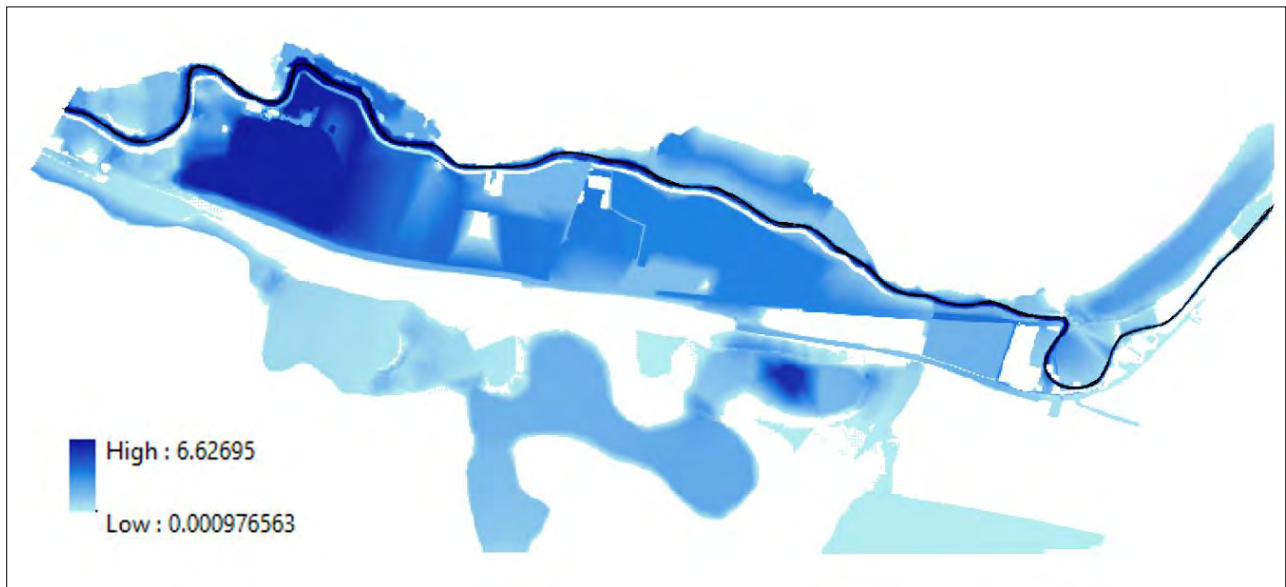
manera el modelo hidraulico HEC-RAS tiene mayores resultados de tirantes máximos que el modelo IBER, asi como diferencias casi inapreciables en los tirenstes medios y minimos. Las figuras 100 y 101 una variación semejante en los niveles de agua que se presentan, donde los mayores y menores valores estan ubicados en los mismos sectores de la zona de estudio.

*Tabla 45 Tirante de agua para el periodo de retorno de 100 años.*

<b>TR= 100 años</b>			
<b>Tirante</b>	<b>HEC-RAS</b>	<b>IBER</b>	<b>Diferencia</b>
Máxima	6.626	5.177	1.449
Medio	1.092	1.182	0.09
Mínima	0.0009	0.01	0.0091

**Nota. Valores de velocidad tirante de agua extremos y medios calculados por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

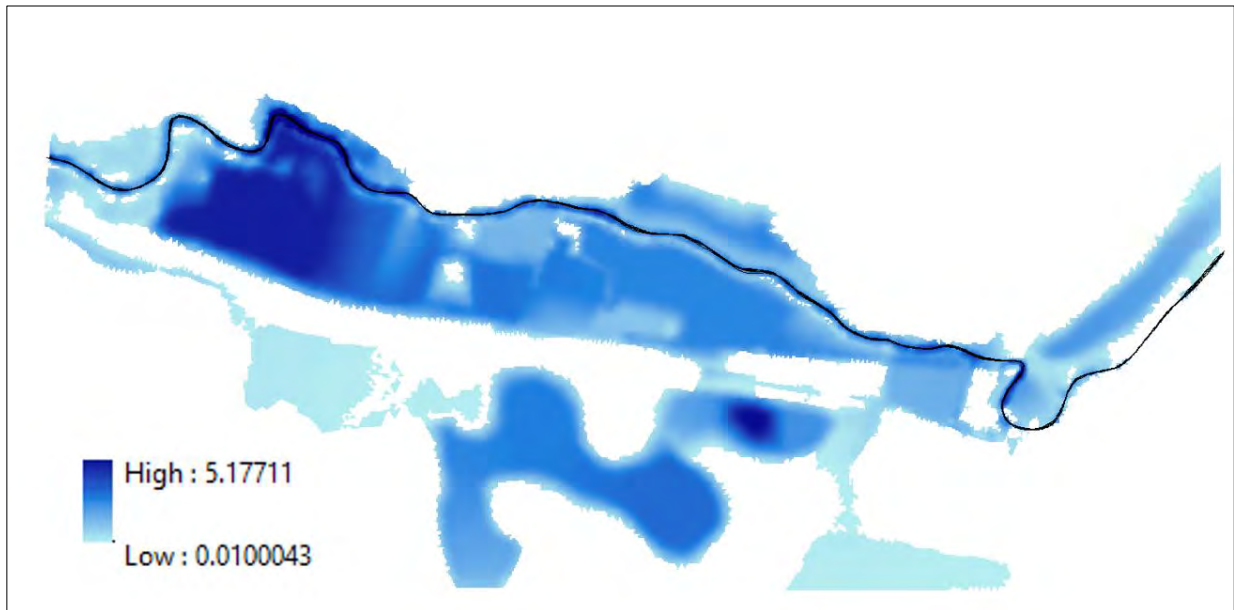
*Figura 100 Tirante de agua para el periodo de 100 años en HEC-RAS*



**Nota. Variación del tirante de agua en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de HEC-RAS 6.2)**



Figura 101 Tirante de agua para el periodo de 100 años en IBER



**Nota. Variación del tirante de agua en el área inundada para el periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia adaptado de IBER 2.6).**

En lo concerniente al cauce del río se observa que ambos modelos presentan tirantes de agua con tendencia muy similar en las subidas y bajadas del nivel de agua, en la tabla 46 se puede apreciar una diferencia de 1.29 m para el periodo de retorno de 50 años y de 1.164 m para el periodo de retorno de 100 años.

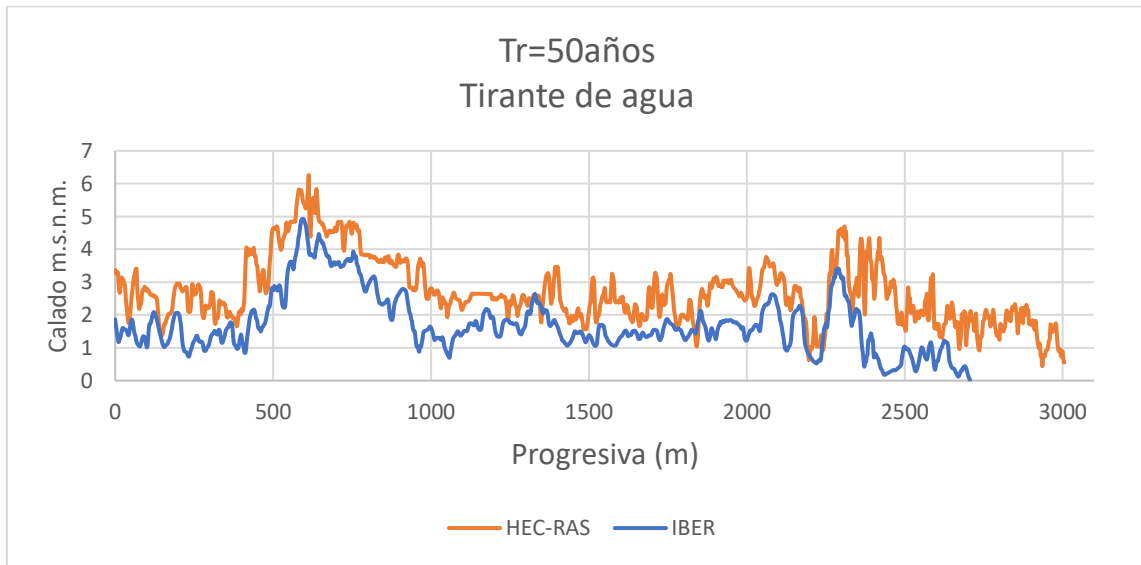
En las figuras 102 y 103 podemos apreciar que los resultados del modelo hidráulico son mayores a los valores del modelo IBER a lo largo de río, presentando un notable paralelismo entre las gráficas de tendencia, esto podemos apreciarlo tanto para el periodo de 50 años como para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 46 Tirante de agua en el cauce de río.

Periodo de retorno	Tirante de agua		
	HEC-RAS	IBER	Diferencia
50 años	6.1122	4.177	1.19
100 años	6.1675	5.0027	1.164

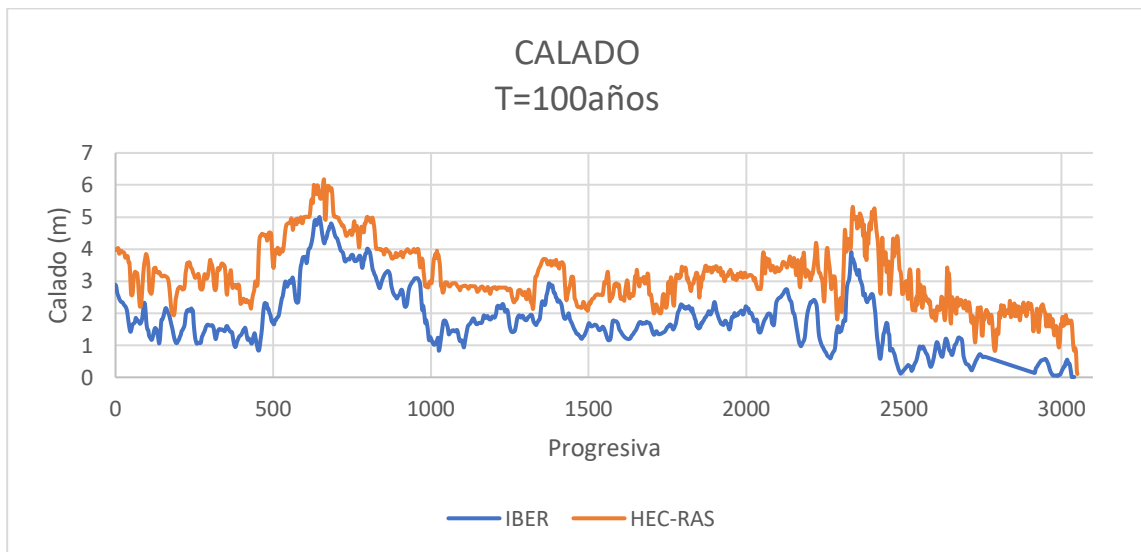
**Nota. Valores de tirante de agua máximos obtenidos por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER a lo largo del cauce del río. (Elaboración propia)**

Figura 102 Tirante de agua en el cauce de rio para periodo de 50 años.



**Nota. Comportamiento del tirante de agua en ambos modelos a lo largo del cauce de rio para un periodo de retorno de 50 años. (Elaboración propia)**

Figura 103 Tirante de agua en al cauce de rio para periodo de 100 años.



**Nota. Comportamiento del tirante de agua en ambos modelos a lo largo del cauce de rio para un periodo de retorno de 100 años. (Elaboración propia)**

## 7.10 COTA DE AGUA

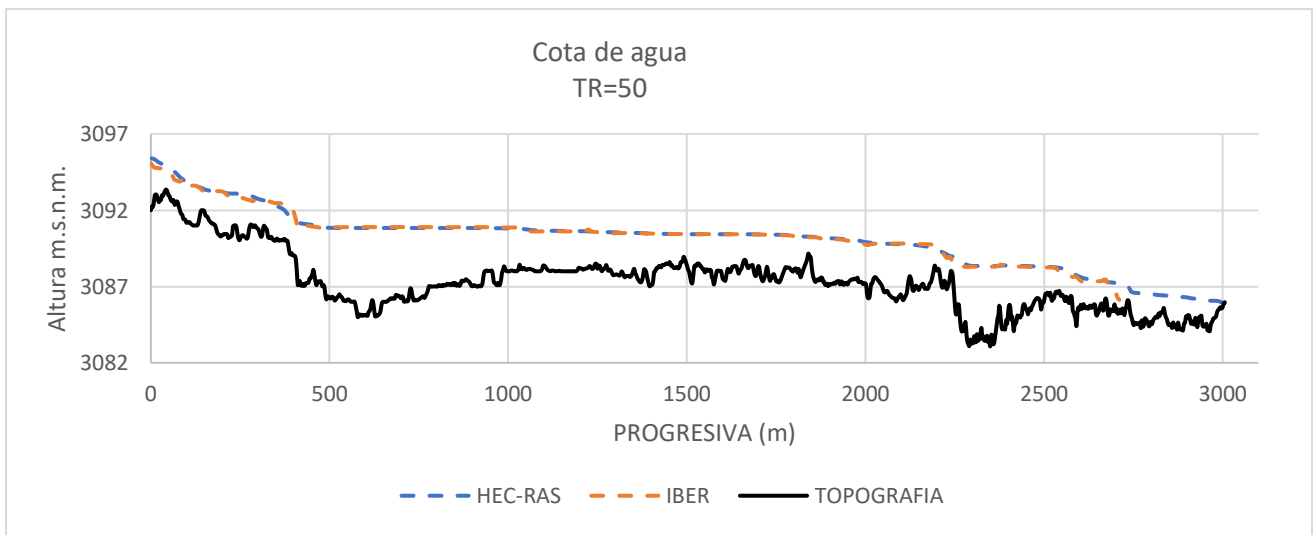
Los modelos hidráulicos HECRAS e IBER nos presentan resultados de cota de agua (m.s.n.m.) con respecto a la topografía que presenta el río. En la tabla 40 podemos apreciar los valores de cota máxima obtenidos por ambos modelos, donde el modelo HEC-RAS es ligeramente mayor al modelo IBER con una diferencia de 0.321 m para el periodo de retorno de 50 años y 0.674m para el periodo de retorno de 100 años; sin embargo, en las figuras 104 y 105 podemos observar que las cotas de agua a lo largo del río están aproximadamente superpuestas uno sobre otro para ambos periodos de retorno.

Tabla 47 Cota de agua a lo largo de río.

Periodo de retorno	COTA MAXIMA DE AGUA		
	HEC-RAS	IBER	Diferencia
50 años	3095.4028	3095.0816	0.321
100 años	3096.054	3095.38	0.674

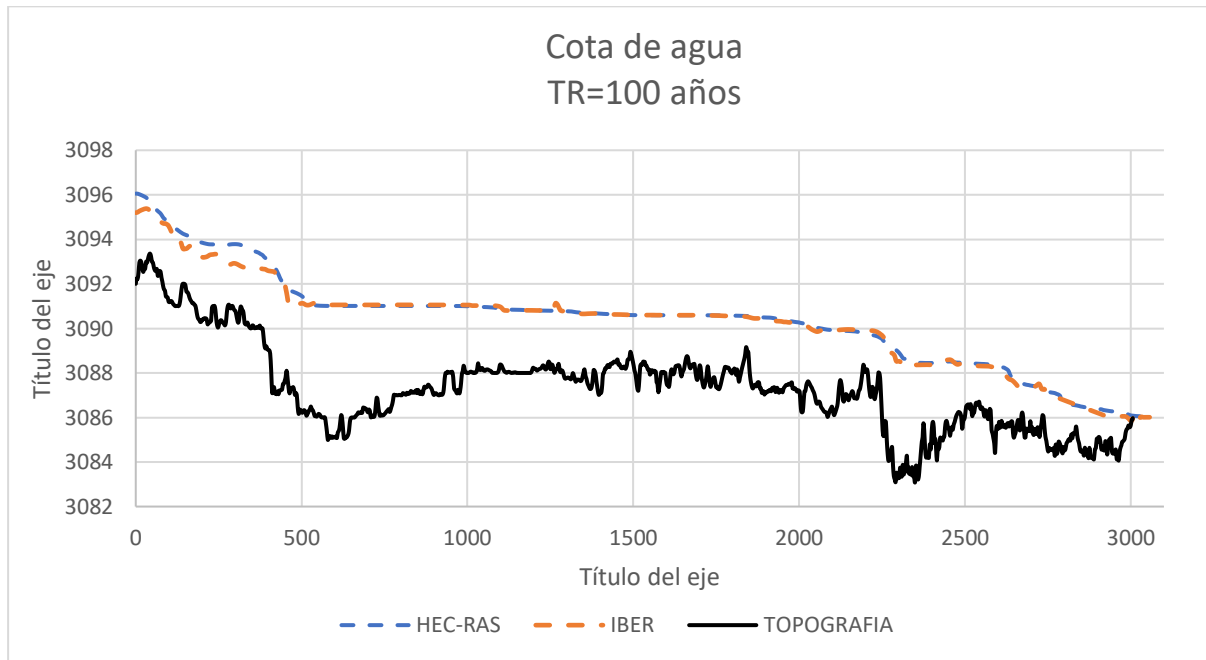
**Nota. Valores máximos de cota de agua de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER para periodos de retorno de 50 y 100 años. (Elaboración propia)**

Figura 104 Cotas de agua a lo largo del cauce del río periodo de retorno 50 años.



**Nota. Valores de cota de agua obtenidos de los modelos HEC-RAS e IBER relacionado a la topografía del río para periodo de retorno de 50 años.**

Figura 105 Cotas de agua a lo largo del cauce del rio periodo de retorno 100 años.



**Nota. Valores de cota de agua obtenidos de los modelos HEC-RAS e IBER relacionado a la topografía del rio para periodo de retorno de 100 años.**

## 7.11 ZONIFICACION DE AREAS INUNDABLES

Los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER nos dan la zonificación de áreas inundables como resultado final de la simulación, en la tabla 84 presentamos los valores de las áreas inundables de ambos modelos, donde HEC-RAS presenta una mayor área con una diferencia de 125 109 m<sup>2</sup> con respecto al modelo IBER para el periodo de retorno de 50 años, de la misma manera para el periodo de retorno de 100 años el modelo HEC-RAS presenta una mayor área inundable superando al modelo IBER en 41 928 m<sup>2</sup>. Sin embargo, esta diferencia es menor a comparación al periodo de retorno de 50 años.

En la figura 107 podemos apreciar una marcada diferencia para el periodo de retorno de 50 años entre ambas áreas inundables obtenidas, el modelo HEC-RAS muestra que se tuvo un mayor alcance con el caudal introducido inundando las zonas más alejadas al cauce en la parte superior

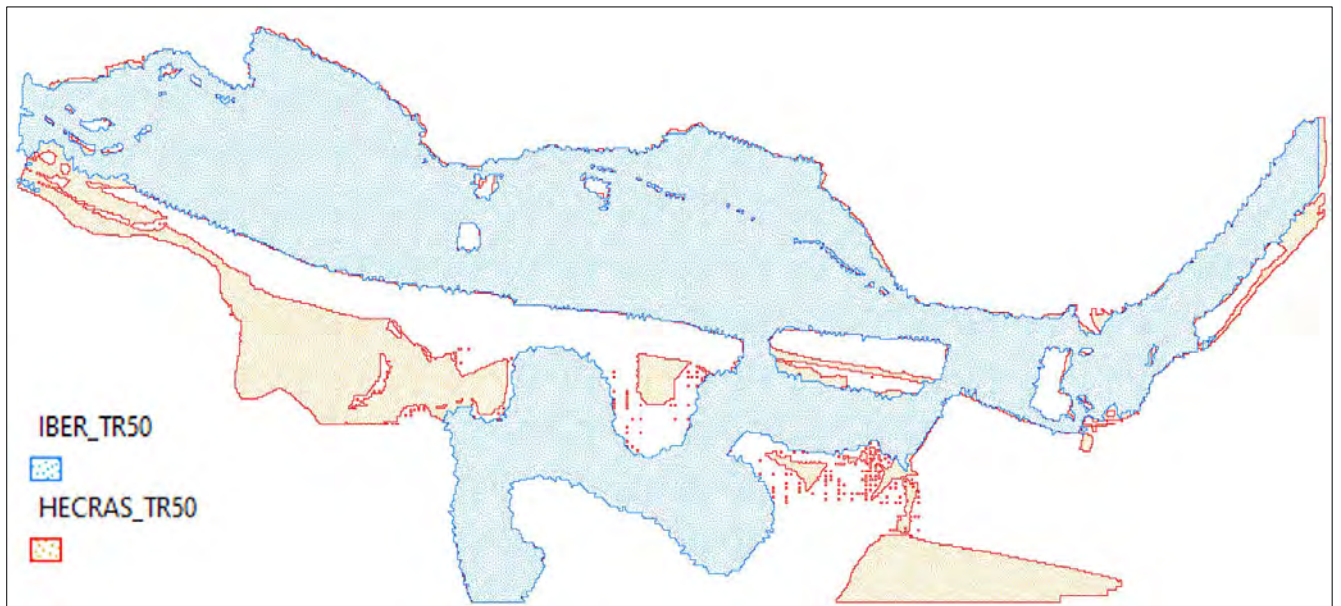
de área de estudio. Para el periodo de retorno de 100 años en la figura 108 las áreas inundables en ambos modelos son muy similares destacando áreas mínimas en las que el modelo HEC-RAS muestra niveles de agua someros donde el modelo IBER no presenta presencia de agua.

Figura 106 Áreas inundables.

PERIODO DE RETORNO	AREA INUNDABLE		DIFERENCIA (m2)
	HEC-RAS(m2)	IBER(m2)	
50 años	815418	690309	125109
100 años	867528	825599.99	41928

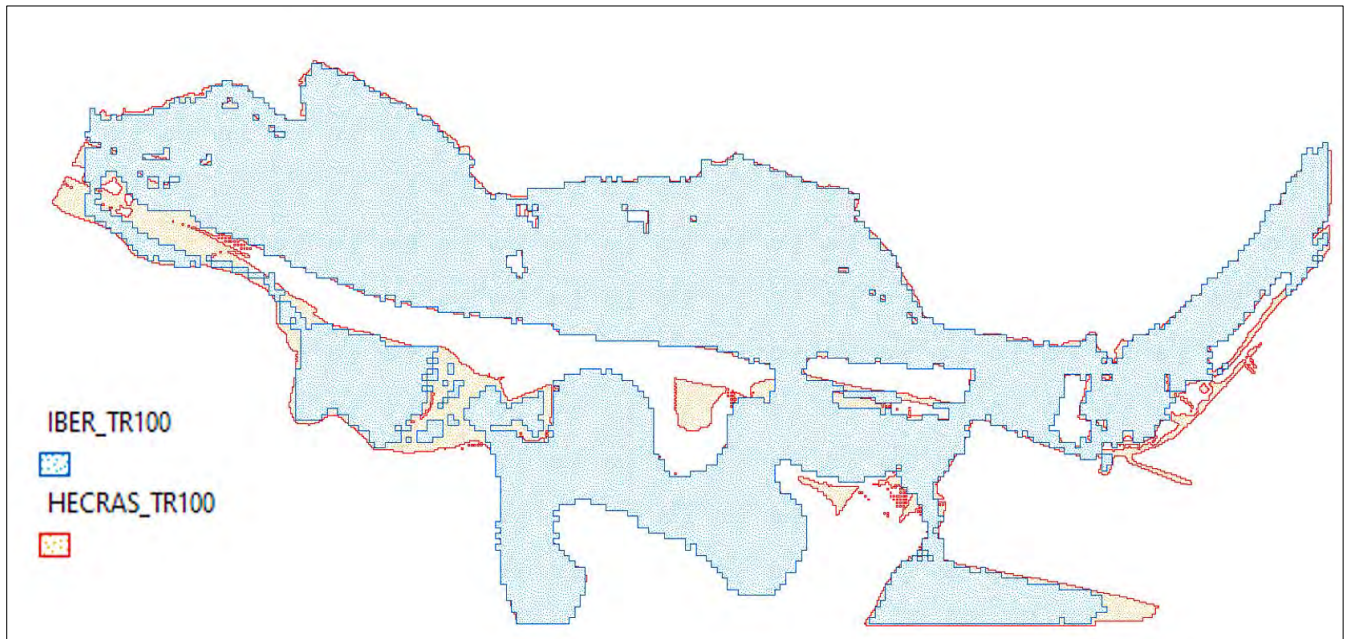
**Nota. Resultados obtenidos para la zonificación de áreas inundables con las modelos hidráulicas HEC-RAS e IBER en periodos de retorno de 50 y 100 años.**

Figura 107 Zonificación de áreas inundables periodo de retorno de 50 años



**Nota. Superposición de áreas inundables de los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER periodo de retorno de 50 años.**

Figura 108 Zonificación de áreas inundables periodo de retorno de 100 años



**Nota. Superposición de áreas inundables de los modelos hidraulicos HEC-RAS e IBER periodo de retorno de 100años.**

## 7.12 TIEMPO DE SIMULACION

La diferencia de tiempo que demoran los modelos en mostrarnos resultados va variando conforme sea la precisión del modelo que deseamos, y las características del equipo computacional que utilizaremos, para realizar las simulaciones se utilizó una computadora Core i5 con 12 procesadores y 8GB de RAM. Adicionalmente debemos tener en cuenta previo al modelado, el tamaño de la malla, intervalo de cómputo y la dimensión del área de estudio. La tabla 44 muestra valores de tiempo de simulaciones que se realizaron para distintos mallados presentándose una mayor brecha de tiempo a menor tamaño de malla.

Para la primera instancia, donde se apreció una mayor diferencia (45 horas con 36 min), con tamaños de malla de 1 m y 3 m el modelo HEC-RAS muestra los resultados a las 6 horas, por el contrario, IBER demoró 52 horas, un poco más de 2 días (tabla 48), en realizar la simulación y mostrar los resultados. Si bien a menor malla obtenemos mayor precisión en los modelos debe

considerarse que esto implica un mayor coste computacional por el aumento de tiempo en la simulación, durante todo este periodo de tiempo el equipo debe mantenerse en funcionamiento para no detener el proceso, por ello, lo que se busca es un equilibrio entre la estabilidad del modelo, el coste computacional y obtener resultados adecuados en un menor tiempo.

*Tabla 48 Tiempos de simulación con los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER*

Tamaño de malla		Duración		
Cauce (m)	Llanura (m)	HEC-RAS	IBER	Diferencia
1	3	6h 39min	52h 15min	45h 36min
6	8	4h 10min	12h 26min	8h 16min
8	10	38min	2h 2min	1h 24min

**Nota. Variación de los tiempos de simulación con los modelos HEC RAS e IBER para distintos tamaños de malla. (Elaboración propia)**

En las tablas 49 y 50 podemos observar los tiempos empleados para los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER. Como podemos observar en ambos periodos de retorno el modelo IBER empleo un poco más de 2 horas mientras HEC-RAS obtuvo resultados en tiempos menores a 1 hora.

*Tabla 49 Tiempo de simulación para periodo de retorno de 50 años.*

Modelo hidráulico	Tamaño de malla		Duración	Diferencia
	Cauce (m)	Llanura (m)		
HEC-RAS	6	8	38min	1h 24min
IBER	8	10-12	2h 2min	

**Nota. Valores de tiempo de simulación empleados por los modelos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 50 años (Elaboración propia).**

*Tabla 50 Tiempo de simulación para periodo de retorno de 100 años.*

Modelo hidráulico	Tamaño de malla		Duración	Diferencia
	Cauce (m)	Llanura (m)		
HEC-RAS	4	6	54min	1hr 16min
IBER	8	10-12	2h 10min	

**Nota. Valores de tiempo de simulación empleados por los modelos HEC-RAS e IBER para periodo de retorno de 100 años (Elaboración propia).**

## 8. CONCLUSIONES

1. Se realizó el análisis comparativo entre los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER determinando una discrepancia en la zonificación de áreas inundables, siendo HEC-RAS el modelo que abarco mayores áreas para ambos periodos, excepcionalmente para TR=50 años con una diferencia de 125 109 m<sup>2</sup> y para TR=100 de 41 928 m<sup>2</sup>.
2. Se identificó los métodos y las ecuaciones empleados para la simulación por los modelos hidráulicos HEC-RAS e IBER están basados principalmente en ecuaciones hidrodinámicas; ecuaciones de Navier Stokes, ecuación de Reynolds y de Saint Venant. HEC-RAS emplea el método de diferencias finitas e IBER emplea el método de volúmenes finitos.
3. Se determinó los parámetros de simulación; tanto HEC-RAS como IBER se estableció como parámetros el flujo de tipo no permanente, parámetros de tiempo para una simulación de 41 hrs, en HEC-RAS un intervalo de cómputo de 10 seg, mapeo de 1 hr, hidrograma de salida de 1 hr para ambos periodos de retorno, en IBER únicamente un intervalo de simulación de 3600 seg (1 hr).



4. Se determinó las diferencias en la forma y caudal pico de los hidrogramas generados por los modelos hidráulicos HEC- RAS e IBER, obtuvimos una diferencia de 0.31 m<sup>3</sup>/s (TR = 50 años) y una diferencia de 9.42m<sup>3</sup>/s (TR = 100 años). Se observa una mayor diferencia de caudales pico en el TR = 100 años donde HEC-RAS presenta un valor más aproximado a del caudal de entrada.

5. Se determinó las diferencias entre los valores de los parámetros de rugosidad de Manning. Los valores de rugosidad en ambos modelos son muy aproximados a excepción del cauce del río donde HEC-RAS presenta un valor mayor al de IBER con una diferencia de 0.255.

6. Se determinaron las diferencias entre los parámetros hidrodinámicos. Velocidad de flujo HEC-RAS presenta valores más elevados que IBER con diferencias de 46.79 m/s (50 años) y 47.59 m/s (100 años). Número de Courant IBER establece el valor de 0.45, mientras que HEC-RAS obtuvo valores entre 0 a 2. Por último el tiempo de procesamiento de HEC-RAS fue alrededor de los 45min mientras IBER supero las dos horas en ambos periodos de retorno.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda tener un levantamiento topográfico o fotogramétrico bien detallado para obtener mejores resultados, de igual manera con el mallado en áreas significativamente grandes como nuestra zona de estudio, no se recomienda utilizar medidas muy pequeñas.
2. Para ríos con morfología muy variada se recomienda el uso del modelo IBER puesto que HEC-RAS al emplear una malla estructurada no se adapta muy bien a esas irregularidades, y sobre estima valores como velocidad y froude.
3. En el modelo hidráulico HEC-RAS se recomienda hacer varias simulaciones para encontrar el modelo más estable, variando el tamaño de malla e intervalo de tiempo observando el comportamiento del hidrograma de salida.

4. Se debe tener en cuenta el tamaño del área para elegir qué modelo usar, HEC-RAS resulta ser mucho más eficiente al modelar áreas menores, pudiendo obtener resultados en cuestión de minutos, e incluyendo su modulo unidimensional nos permite obtener resultados a priori aproximados a su modulo bidimensional.

5. Para el modelo hidráulico IBER se debe considerar el espacio de almacenamiento y capacidad de cómputo en el equipo elevada debido a que los resultados que se obtienen suelen sobrepasar el tamaño de Gigabytes por el gran volumen de datos que produce.

6. Se recomienda realizar un estudio complementario para el análisis de simulación de flujo con la interacción de estructuras hidráulicas (canales, puentes, muros, entre otros) que realizan ambos modelos.

7. Se recomienda hacer un modelamiento tridimensional como el software Flow 3D para poder analizar más a detalle el movimiento del flujo complejo y el comportamiento de este mismo a lo largo de un cauce, preferentemente un rio con condiciones meándricas.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrade, J. M., Escobar, G. M., & Paredes, D. F. (2019). *Análisis en Flujo Permanente de los Factores que Inciden en la Disminución de la Capacidad Hidráulica de la Línea de Conducción del Sistema La Mica-Quito Sur*. *INGENIO*, 2(2), 46–57. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1703>

Anexo 1: Coeficientes de rugosidad  $n$  de Manning y rugosidad equivalente  $k$ . (2021). En *Socavación en puentes* (pp. 301–312). Universidad del Cauca.

Alcántara Boza, F. A., Torres Rojas, C., Lucas Vidal, L. R., & Bravo Looor, J. D. (2021).

Simulación y análisis de inundaciones en cabeceras de cuenca, utilizando el software IBER en diferentes tramos. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad nacional mayor de San Marcos (Impresa)*, 24(47), 3–12. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20637>

Alencar da Silva Alves, K. M., Contreras Franco, C. B., & Parodi Dávila, M. C. (2021). *Modelación de áreas inundables en un sector minero de la cuenca Quebrada el Arrayán –*

*Región de Coquimbo - Chile. Cuadernos del CURIHAM*, 27, 59–68.  
<https://doi.org/10.35305/curiham.v27i.170>

Banda, J. (2019). *Determinación de zonas inundables de caña de azúcar por el río Chicama utilizando el software HEC-RAS tramo progresiva 26+500-39+000, valle Chicama, 2018*. Universidad Nacional de Trujillo.

Béjar, M. V. (2007). *Hidráulica de Canales*. Lima: Tecnológica de Costa Rica.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., & Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(1), 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004>

Bladé, E., Sánchez, M., Sánchez, T., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). *Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable: una visión a partir del modelo HEC-RAS*. Edicions UPC.

Briongos, G. (2016). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre mediante la nueva herramienta Hec-Ras 5.0*. UPC BARCELONA TECH.

Brunner, G. (2016). *HEC-RAS River Analysis System*.

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

Carballo, C. J. (2017). *Mecánica de fluidos: Viscosidad y Turbulencia*. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.

Cárdenas, J., Concha, R., García, B., Astete, I., Borda, M., & Villafuerte, J. (2010).

*EVALUACIÓN GEODINÁMICA Y SU CONTRIBUCIÓN A LA ACTUALIZACIÓN DEL*

*MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DEL VALLE DEL WATANAY-CUSCO AL*

2010. *Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. N° 9, 979–983.*

Castro Malca, P., & García Alvarado, C. (2021). *Propuesta de modelamiento bidimensional para la estimación del tamaño de malla y el tiempo computacional en canales anchos de 100 metros usando IBER 2.5.2. Y HEC-RAS 5.0.7.* Universidad Privada de Antenor Orrego.

Cervantes, V., & Jiménez, J. (2018). Comparación De Modelos 1d, 2d Y 3d Para Flujo En Estructuras Hidráulicas Complejas Y Lámina Libre. *XXVIII Congreso Latinoamericano De Hidráulica Buenos Aires.*

Chagua, J. (2018). *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS.* Pontificia Universidad Católica del Perú.

Chero, L. (2015). *Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos.* Escola de Camins UPC Barcelona TECH.

Chiarito, E., Zimmermann, E., & Méndez Zacarías, S. (2018). Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección. *Cuadernos del CURIHAM, 24, 25–36.* <https://doi.org/10.35305/curiham.v24i0.126>

Choque Huanca, R., Mamani Ccantuta, D. R., & Vilcanqui Alarcón, A. N. (2020). *Determinación de la faja marginal del rio Caplina en el distrito de Pachia y Calana mediante modelamiento hidráulico.* *INGENIERÍA INVESTIGA, 2(2), 388–404.* <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.413>

Chow, V. T. (1999). *Hidráulica de Canales abiertos.* McGraw-Hill Companies.

Corrales, A. V. (2008). <https://avdiaz.files.wordpress.com/>. Obtenido de <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/clase3-numero-de-reynolds.pdf>

Correa, T. (2019). *Análisis de las capacidades de HEC-RAS en la resolución de pilas de puentes*.  
Universidad Politécnica de Cartagena.

Cuervo, A. (2012). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos*. Universidad Politécnica de Catalunya.

De La Quintana, J., Gómez, J. C., Jiménez, G., Morales, J., & Quispe, R. (2018). *EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN PLUVIAL EN EL DISTRITO DELUCRE Y CENTRO POBLADO DE HUACARPAY DE LA PROVINCIA DE QUISPICANCHIS-REGION CUSCO*. *Revista Mast'ariy*, 1(2018).  
<https://revistas.uandina.edu.pe/index.php/mastariy/article/view/178>

De Vehi, J. (2016). *Mallado de geometrías complejas mediante CFD*. Universidad Politécnica de Catalunya.

*Determinación de parámetros hidrológicos mediante clasificación usando números primos. Aplicación para el Número de Curva y el número de Manning*. (2016).  
[www.conama2016.org](http://www.conama2016.org)

Deyman, P. (2010). *Evaluación de la fórmula de Manning en el Rio Ostua*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

E. Bladé, L. Cea, G. Corestein. (2012). *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos Iber - River modelling simulation tool*. Science Direct.

Espejo, O., & Zabaleta, Y. (2021). *Comparación del modelamiento hidráulico de una poza disipadora inclinada mediante el uso de los modelos IBER y HEC-RAS*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- Espinoza, A. (2020). *Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional*. Universidad de Cuenca.
- Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palgrande*. (s/f).
- Fe Márquez, J. (2005). *Aplicación del Método de Volúmenes Finitos a la Resolución Numérica de las Ecuaciones de Aguas Someras con Incorporación de los Esfuerzos debidos a la Turbulencia*. Universidad da Coruña.
- Feldman, A. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*
- Fernández de Córdova, C., León, A., & Rodríguez, Y. (2020). *Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del río Yanuncay en Cuenca*. riha vol.41 no.1 La Habana.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., & Denegri, G. (2013). Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande. *Revista Electrónica del comité de Medio Ambiente*, 4(2013).
- García Cuevas, L. M., Gil Mejías, A., Navarro García, R., & Quintero Igeño, P. M. (2017). *MECANICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL: TIPOS DE MALLADO Y CALIDAD DE MALLADO*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gobierno de España, G., CEDEX, Flumen, & GIMNE. (2014). *Two-dimensional modelling of free surface shallow water flow Hydraulic Reference Manual Iber v1.0 19.07.2014*.
- González-Aguirre, J. C., Vázquez-Cendón, M. E., & Alavez-Ramírez, J. (2016). Simulación numérica de inundaciones en Villahermosa México usando el código IBER. *Ingeniería del agua*, 20(4), 201. <https://doi.org/10.4995/ia.2016.5231>



- Goswami, G., Prasad, R. K., & Kumar, D. (2022). *Hydrodynamic flood modeling of Dikrong River in Arunachal Pradesh, India: a simplified approach using HEC-RAS 6.1. Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01507-2>
- Gutiérrez, G. E. (2013). *Laboratorio de Hidráulica de Canales*. México. Obtenido de [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual\\_de\\_Hidraulica\\_de\\_Canales.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual_de_Hidraulica_de_Canales.pdf)
- Hernández Sampieri, R. (2006). *Metodología de La Investigación*. McGraw-Hill Companies.
- Hernández, S., & Jurado Albarracín, J. A. (2009). *Análisis Aero elástico de puentes soportados por cables en el dominio del tiempo y de la frecuencia*. España: Universidad da Coruña.
- Hidráulica. (2018). *cueva del Ingeniero Civil*. Obtenido de <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/resalto-hidraulico.html>
- HidroING. (22 de febrero de 2016). *HidroING*. Obtenido de <https://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>
- Katopodes, N. (2019). *Free-Surface Flow*. Butterworth-Heinemann.
- Marbello Pérez, R. (2018). *repositorio.unal.edu.co*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, L. (2015). *Academia edu*. Obtenido de [https://www.academia.edu/28518118/Ecuaci%C3%B3n\\_de\\_continuidad\\_de\\_fluidos](https://www.academia.edu/28518118/Ecuaci%C3%B3n_de_continuidad_de_fluidos)
- Miguel, E. R. L., & Lopez Karla, A. (2011). *Geomorfología En México. Una Visión Histórica, Metodológica y Aplicada*. Eae Editorial Academia Española.
- Millán, R. (2015). *Academiaedu*. Obtenido de [https://www.academia.edu/19067882/Microsoft\\_PowerPoint\\_-\\_Movimiento\\_fluidos](https://www.academia.edu/19067882/Microsoft_PowerPoint_-_Movimiento_fluidos)

- Montero, A. & Fiamma, G. (s. f.). *Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura* [Tesis de grado]. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Mora, B. D.; & Ávila, C. V., (2019). *Afectación del coeficiente de rugosidad para la Ecuación de Manning con el envejecimiento de tuberías de diferentes materiales*. Universidad Católica De Colombia.
- Mora, X. (2017). *Las Ecuaciones de Navier-Stokes*. Valencia: Metode Science Studies Journal.
- Morcillo, A. D. (2000). *Métodos de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos*. Universidad Politécnica De Valencia.
- Lluen, W. (s. f.). *Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos* [Tesis de maestría]. Escuela de Camins UPC Barcelona.
- Lohner, R. (2008). *Applied CFD Techniques. An introduction based on Finite Element Methods*. Virginia USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Lucía Ocampo, O., & Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(24), 43–58.  
<https://doi.org/10.22395/rium.v13n24a3>
- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. oai:  
[www.repositorio.usac.edu.gt:4482](http://www.repositorio.usac.edu.gt:4482), 8.

- Ochoa, A. (2014). *Evaluación De Modelos Hidrodinámicos Para Representar Flujos En Cauces Naturales. Aplicación en un tramo del Río Suquía que incluye la confluencia con el arroyo La Cañada, Provincia De Córdoba*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Orduz, S. (2021). *El modelo IBER como herramienta en el análisis de casos de riesgo por inundación*.
- Osma, M. F. (12 de octubre de 2020). *Aerodinámica FI*. Obtenido de <https://www.aerodinamicaf1.com/2020/10/que-es-el-numero-de-reynolds/>
- Potter, M. C., & Wiggert, D. C. (2002). *Mecánica De Fluidos (3a ed.)*. Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Rey Valencia, D. M., Universidad Nacional De Colombia, Zambrano Nájera, J. D. C., & Universidad Nacional de Colombia. (2018). Estudio de la respuesta hidrológica en la cuenca urbana de montaña San Luis-Palogrande. *Revista UIS ingenierías*, 17(1), 115–126. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018011>
- Rincón, J., Pérez, M., Delfín, C., Freitez, C., & Martínez, F. (2017). Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes. *Revista Gaceta Técnica*, 17(2017). <https://doi.org/ISSN2477-9539>
- Romero, D., & Gómez, D. (2021). *IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE IBER PARA REALIZAR UN MODELO DE CALIDAD DEL AGUA Y EVALUAR ESCENARIOS EN EL RÍO RANCHERÍA, GUAJIRA*. Universidad Católica de Colombia.
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2015). *Hidrología Aplicada: Escorrentía*. Open Course Ware.
- Sandoval, M. V., Solano, N. M., Sánchez, J. D., & Jones, M. A. (2020). *Validación del coeficiente de rugosidad de Manning en un canal a flujo libre bajo condición de flujo uniforme*. *Revista Agunkuyâa*, 10(2), 26–36. <https://doi.org/10.33132/27114260.1935>

- Sanz-Ramos, M., Bladé, E., Torralba, A., & Oller, P. (2020). *Las ecuaciones de Saint Venant para la modelización de avalanchas de nieve densa. Ingeniería del agua*, 24(1), 65. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.12302>
- Sau Soto, N. (2015). *Estudio topohidráulico e hidrológico para el cruce del km .0 + 20 sobre el río Altar estado de Sonora, México.*
- Sequeiros, M., & Farfán, S. (2017). *Evaluación Hidrológico E Hidráulico Con El Modelo Iber Para Determinar El Riesgo Por Inundación En La Población Ribereña Al Rio Qochoq, Provincia Calca - Región Cusco 2017.* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- text Wiki. (s.f.). *hmong.es*. Obtenido de [https://hmong.es/wiki/Hydraulic\\_radius](https://hmong.es/wiki/Hydraulic_radius)
- US Army Corps of Engineers. (2006). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.*
- Velasco, F. (2000). *Formulación de volúmenes finitos para la simulación de flujo compresible bidimensional en estado estacionario.* Universidad Técnica de Oruro.
- Villón Bejar, M. (2002). *Hidrología*
- Webster, C. J., León Méndez, A., & Rodrigues Lopez, Y. (2018). *Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. 10.*
- Wicander R. & Monroe, J., (2000). *Fundamentos de la Geología – Segunda Edición.* México: International Thomson Editores

## ANEXOS

### ANEXO 1: SIMULACION

Figura 109 Entorno del modelo hidráulico HEC-RAS (TR=50 años)

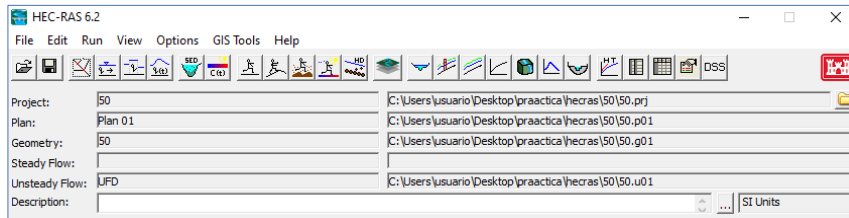


Figura 110 Condiciones de flujo no permanente (TR= 50 años)

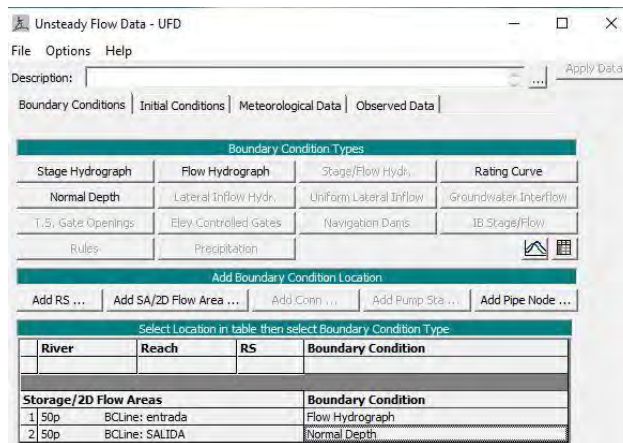


Figura 111 Hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 50 años)

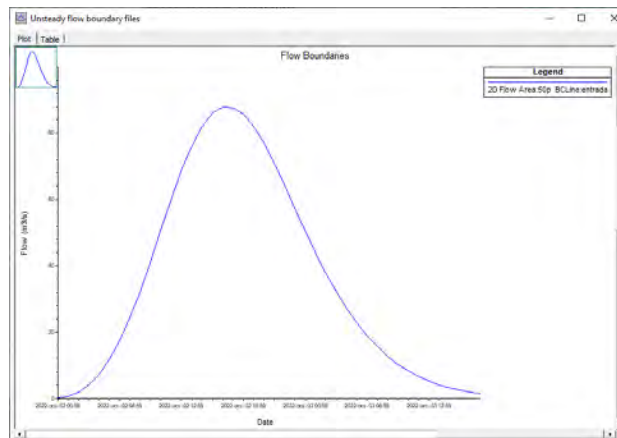


Figura 112 Volumen total del hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 50 años)

Inflow summary

	Boundary Condition Location	Minimum (m3/s)	Maximum (m3/s)	Volume(1000 m3)	Comments
1					
2					
3					
4	2D Flow Area:50p BCLine:entrada	0.2	88	5350.14	
5	2D Flow Area:50p BCLine:SALIDA				

Clipboard Print ... File ... Close

Figura 113 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=50 años)

2D Flow Areas - Layer Properties (50)

Visualization and Information Features Source Files

Source: C:\Users\usuario\Desktop\practica\hecras\50\50.g01.hdf

FID	Name	Manning's n	Multiple Face Mann n	Cell Volume Tolerance	Cell Minimum Area Fraction	Face Profile Tolerance	Face Area Elevation Tolerance	Face Area Conveyance Ratio	Laminar Depth	Cell Size X	Cell Size Y	Cell Shift DX
0	50p	0.05	<input type="checkbox"/>	0.003	0.01	0.003	0.003	0.02	0.06	5	5	

Figura 114 Tamaño de malla cauce de rio HEC-RAS (TR=50 años)

Breaklines - Layer Properties (50)

Visualization and Information Features Source Files

Source: C:\Users\usuario\Desktop\practica\hecras\50\50.g01.hdf

FID	Name	Near Spacing	Near Repeats	Far Spacing	Enforce 1 Cell Protection Radius
0	50bl	6	2	7	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 115 Velocidad de flujo en HEC-RAS (TR=50 AÑOS)

Velocity - Layer Properties

Visualization and Information Features Source Files

Source: C:\Users\usuario\Desktop\practica\hecras\50\Plan 01\Velocity (Max).vrt

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Velocity (Max).vrt	0.000552447...	54.17494964...	0.716952487...	1.649120159...		
Velocity (Max).Terrain.dem0...	0.000552447...	54.17494964...	0.712747607...	1.649950747...		

Figura 116 Tirante de agua en HEC-RAS (TR=50 AÑOS)

Depth - Layer Properties

Visualization and Information Features Source Files

Source: C:\Users\usuario\Desktop\practica\hecras\50\Plan 01\Depth (Max).vrt

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Depth (Max).vrt	0.0009765625	6.459472656...	1.006930783...	0.867018777...		
Depth (Max).Terrain.dem06...	0.0009765625	6.459472656...	1.007394964...	0.867798583...		

Figura 117 Cota de agua en HEC-RAS (TR=50 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
WSE (Max).vrt	3084.286621...	3095.416992...	3089.068971...	2.531133991...		
WSE (Max).Terrain.dem061...	3084.286621...	3095.416992...	3089.069643...	2.531513591...		

Figura 118 Numero de Froude en HEC-RAS (TR=50 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Froude (Max).vrt	0.000189355...	44.21938705...	0.422681360...	1.071355121...		
Froude (Max).Terrain.dem061...	0.000189355...	44.21938705...	0.414356245...	1.074095783...		

Figura 119 Número de Courant en HEC-RAS (TR=50 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Length) (02OCT2022 14 00 ...	1.122409048...	15.71346187...	0.497213909...	0.711500672...		
Length) (02OCT2022 14 00 ...	1.122409048...	15.71346187...	0.497253808...	0.711720981...		

Figura 120 Condiciones de flujo no permanente (TR = 100 años)

River	Reach	RS	Boundary Condition
<b>Storage/2D Flow Areas</b>			<b>Boundary Condition</b>
1	100p	BCLine: ENTRADA	Flow Hydrograph
2	100p	BCLine: SALIDA	Normal Depth

Figura 121 Hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 100 años)

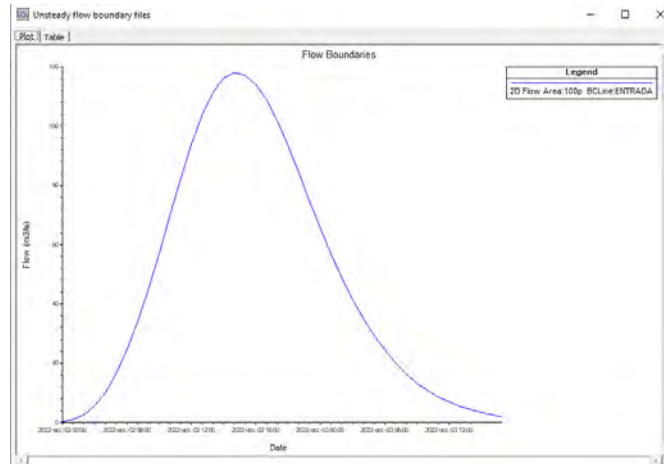


Figura 122 Volumen total del hidrograma de entrada en HEC-RAS (TR= 100 años)

Inflow summary

	Boundary Condition Location	Minimum (m3/s)	Maximum (m3/s)	Volume(1000 m3)	Comments
1					
2					
3					
4	2D Flow Area: 100p BCLine:ENTRADA	0.2	118	7133.22	
5	2D Flow Area: 100p BCLine:SALIDA				

Clipboard Print ... File ... Close

Figura 123 Condiciones de contorno HEC-RAS

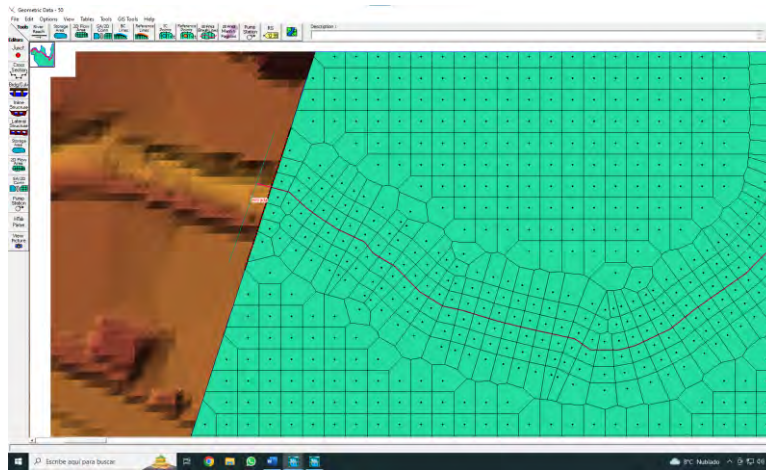


Figura 124 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=100 años)

2D Flow Areas - Layer Properties (100g)

Visualization and Information Features | Source Files |

Source: C:\Users\causano\Desktop\practica\hec\ras\100\100.g01.hdf

FID	Name	Manning's n	Multiple Face Mann'n	Cell Volume Tolerance	Cell Minimum Area Fraction	Face Profile Tolerance	Face Area Elevation Tolerance	Face Area Conveyance Ratio	Laminar Depth	Cell Size X	Cell Size Y	Cell Shift DX
0	100p	0.05		0.003	0.01	0.003	0.003	0.02	0.06	6	6	

Select Columns



Figura 125 Tamaño de malla para la llanura de inundación HEC-RAS (TR=100 años)

FID	Name	Near Spacing	Near Repeats	Far Spacing	Enforce 1 Cell Protection Radius
0	BL100	4	3	5	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 126 Velocidad de flujo en HEC-RAS (TR=100 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Velocity (Max).vrt	0.000220472...	53.15666961...	1.256631209...	3.325451685...		
Velocity (Max).Terrain.dem0...	0.000220472...	53.15666961...	1.253823193...	3.326428676...		

Figura 127 Tirante de agua en HEC-RAS (TR=100 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Depth (Max).vrt	0.0009765625	6.629150390...	1.093797947...	0.900943336...		
Depth (Max).Terrain.dem06...	0.0009765625	6.629150390...	1.093408391...	0.900650848...		

Figura 128 Cota de agua en HEC-RAS (TR=100 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
WSE (Max).vrt	3084.376464...	3096.119628...	3089.247096...	2.608773106...		
WSE (Max).Terrain.dem061...	3084.376464...	3096.119628...	3089.248338...	2.608300114...		

Figura 129 Numero de Froude en HEC-RAS (TR=100 AÑOS)

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Froude (Max).vrt	0.000116636...	42.85415649...	0.285494275...	0.701654871...		
Froude (Max).Terrain.dem06...	0.000116636...	42.85415649...	0.270671170...	0.706103223...		

Figura 130 Número de Courant en HEC-RAS (TR=100 AÑOS)

Courant (Velocity/Length) - Layer Properties

Visualization and Information | Features | Source Files

Source: C:\Users\usuario\Desktop\practica\hecras\100\100PN\Courant (Velocity/Length) (02OCT2022 14 00 00).vrt

Filename	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation	Cell Size	Rounding
Length) (02OCT2022 14 00 ...	0	28.81356239...	0.786854830...	1.073920240...		
Length) (02OCT2022 14 00 ...	0	28.81356239...	0.786318030...	1.074329381...		

Figura 131 Mallado estructurado en HEC-RAS

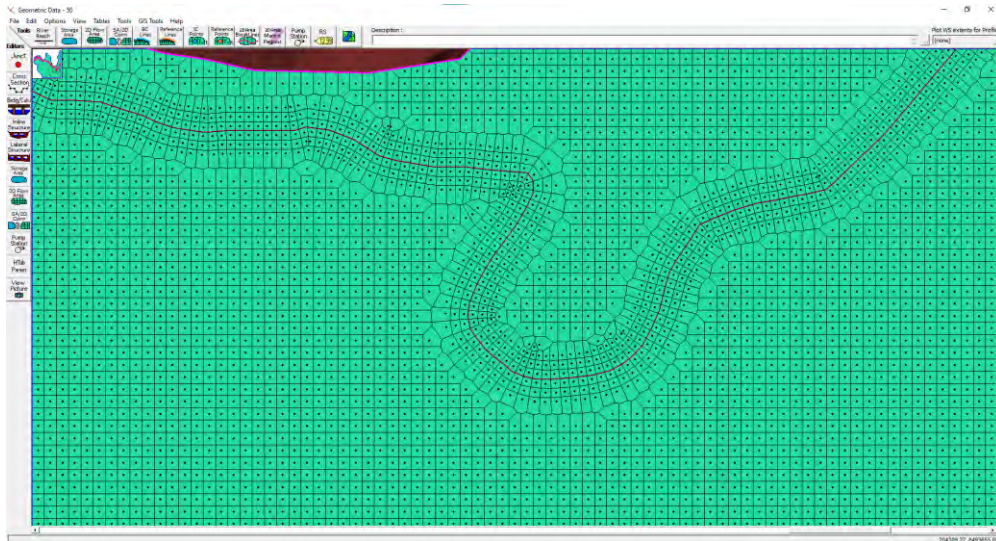


Figura 132 Generación de malla en IBER.

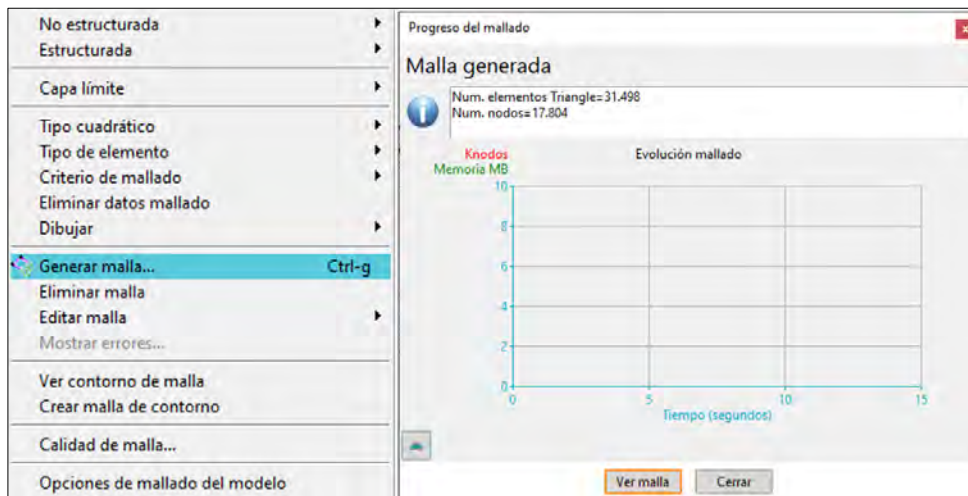


Figura 133 Tiempo y proceso de simulación (TR=50 años).

Información de salida para 'current'				
90.%				
100.%				
NUMERICAL SCHEME: Roe 1st Order				
Initial volume:		0.24 m3		
Simulation time	Time step	Time	Qin	Qout
0.000	1.00000	8:56:47:64	0.000	0.000
3600.051	0.23718	8:57:00:13	0.700	0.000
7200.109	0.22097	8:57:15:31	1.900	0.000
10800.041	0.19885	8:57:34:06	4.000	0.000
14400.140	0.18140	8:57:57:56	7.300	0.000
18000.064	0.16488	8:58:24:83	11.800	0.000
21600.075	0.15126	8:58:57:50	17.700	0.000
25200.051	0.13927	8:59:38:20	24.600	0.000
28800.108	0.13002	9:00:29:33	32.498	0.000
32400.079	0.11234	9:01:35:44	41.301	5.483
36000.027	0.09851	9:03:02:99	50.819	25.962
39600.034	0.08777	9:04:44:84	60.200	37.223
43200.046	0.07285	9:06:53:91	68.900	49.977
46800.029	0.06541	9:09:24:85	76.400	63.283
50400.002	0.06088	9:12:08:10	82.204	72.802
54000.027	0.07227	9:14:38:94	86.219	79.688
57600.056	0.07065	9:17:01:53	88.001	84.442
61200.014	0.06952	9:19:26:04	87.700	86.955
64800.004	0.07134	9:21:48:64	85.700	87.233
68400.049	0.07220	9:24:09:70	82.100	85.708
72000.007	0.07294	9:26:23:01	77.100	82.726
75600.052	0.07552	9:29:14:38	71.100	78.219
79200.039	0.07869	9:31:54:60	64.319	72.735
82800.057	0.08313	9:34:35:52	57.300	66.639
86400.060	0.09107	9:36:49:95	50.400	60.016
90000.020	0.09180	9:39:04:85	43.900	53.881
93600.075	0.09593	9:41:06:60	37.865	46.632
97200.025	0.09769	9:43:11:39	32.398	42.519
100800.012	0.10224	9:45:13:50	27.400	35.463
104400.054	0.11284	9:47:05:48	22.900	30.229
108000.004	0.06076	9:48:45:49	19.000	26.040
111600.019	0.10731	9:50:28:92	15.706	22.037
115200.083	0.10761	9:52:14:92	12.800	18.947
118800.087	0.11034	9:54:00:27	10.400	15.900
122400.108	0.11445	9:55:46:73	8.400	13.598
126000.031	0.11768	9:57:23:21	6.700	11.800
129600.006	0.11889	9:58:58:32	5.400	10.332
133200.030	0.11993	10:00:30:34	4.200	8.945
136800.044	0.12117	10:02:00:24	3.300	7.707
140400.018	0.12223	10:03:28:57	2.603	6.657
144000.116	0.12299	10:04:56:70	2.002	5.742
147600.028	0.12379	10:06:23:98	1.500	4.571
COMPUTATION FINISHED SUCCESSFULLY!				
11:12:2022				
10:06:24				

Figura 134 Tiempo y proceso de simulación (TR=100 años).

NUMERICAL SCHEME: Roe 1st Order				
Initial volume:		0.24 m3		
Simulation time	Time step	Time	Qin	Qout
0.000	1.00000	14:31:42:85	0.000	0.000
3600.028	0.23207	14:31:56:77	1.100	0.000
7200.135	0.20980	14:32:15:47	2.700	0.000
10800.187	0.18834	14:32:35:45	5.700	0.000
14400.061	0.17040	14:33:00:23	10.200	0.000
18000.077	0.15390	14:33:30:40	16.600	0.000
21600.108	0.13898	14:34:09:49	24.600	0.000
25200.058	0.12812	14:34:59:00	34.076	0.000
28800.101	0.11361	14:36:00:67	45.000	0.000
32400.056	0.09705	14:37:25:23	57.000	26.333
36000.062	0.08034	14:39:08:88	69.700	39.553
39600.045	0.06585	14:41:25:53	82.300	58.911
43200.008	0.07757	14:44:08:18	93.912	76.403
46800.000	0.06931	14:46:32:28	103.720	90.679
50400.045	0.04733	14:49:24:89	111.200	101.134
54000.011	0.03115	14:54:18:92	116.151	109.090
57600.021	0.02685	15:00:46:33	118.000	114.487
61200.005	0.02647	15:07:55:60	117.247	116.765
64800.021	0.02859	15:14:56:03	114.049	116.515
68400.012	0.03425	15:21:05:81	108.851	113.761
72000.012	0.05378	15:25:44:32	101.850	109.041
75600.046	0.06834	15:28:42:70	93.418	102.552
79200.048	0.07159	15:31:23:31	84.216	94.654
82800.048	0.07586	15:33:54:70	74.700	85.884
86400.031	0.08023	15:36:16:96	65.600	77.302
90000.063	0.08708	15:38:30:44	56.920	68.874
93600.074	0.08909	15:40:32:94	49.016	60.681
97200.041	0.09494	15:42:30:49	41.624	52.623
100800.086	0.09577	15:44:24:23	35.276	47.244
104400.056	0.10051	15:46:13:41	29.516	38.511
108000.103	0.11001	15:47:54:65	24.686	32.785
111600.095	0.11916	15:49:24:33	20.216	28.055
115200.093	0.12019	15:50:51:63	16.512	23.539
118800.100	0.10846	15:52:24:57	13.300	20.026
122400.015	0.11196	15:53:56:11	10.816	16.644
126000.015	0.11415	15:55:25:86	8.616	14.068
129600.054	0.11755	15:56:49:20	6.916	12.101
133200.116	0.11878	15:58:10:03	5.416	10.542
136800.037	0.11992	15:59:28:86	4.300	9.084
140400.114	0.12122	16:00:45:96	3.300	7.840
144000.011	0.12224	16:02:00:17	2.616	6.736
147600.055	0.12311	16:03:12:73	1.916	5.803
COMPUTATION FINISHED SUCCESSFULLY!				
11:12:2022				
16:03:12				

Figura 135 Ventana de Postproceso en IBER

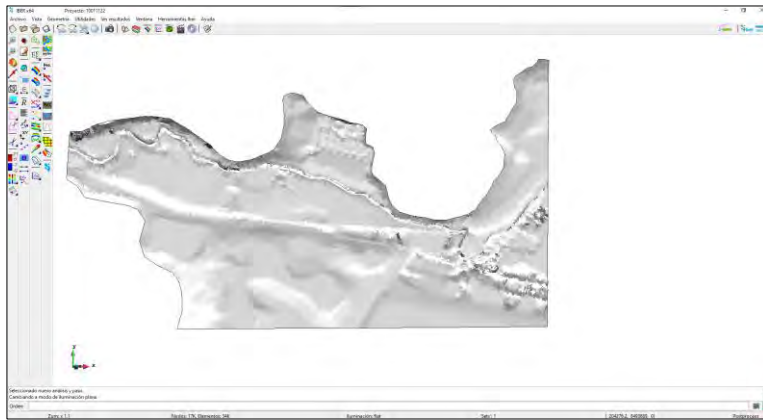
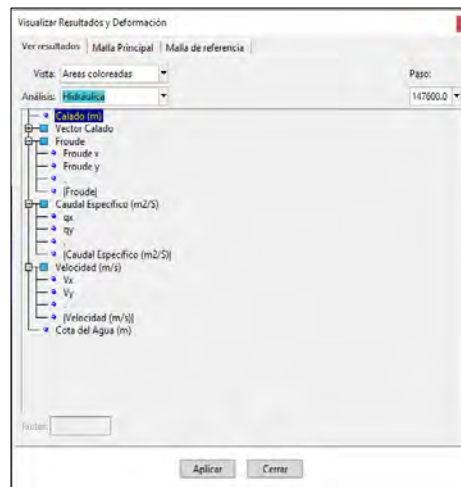
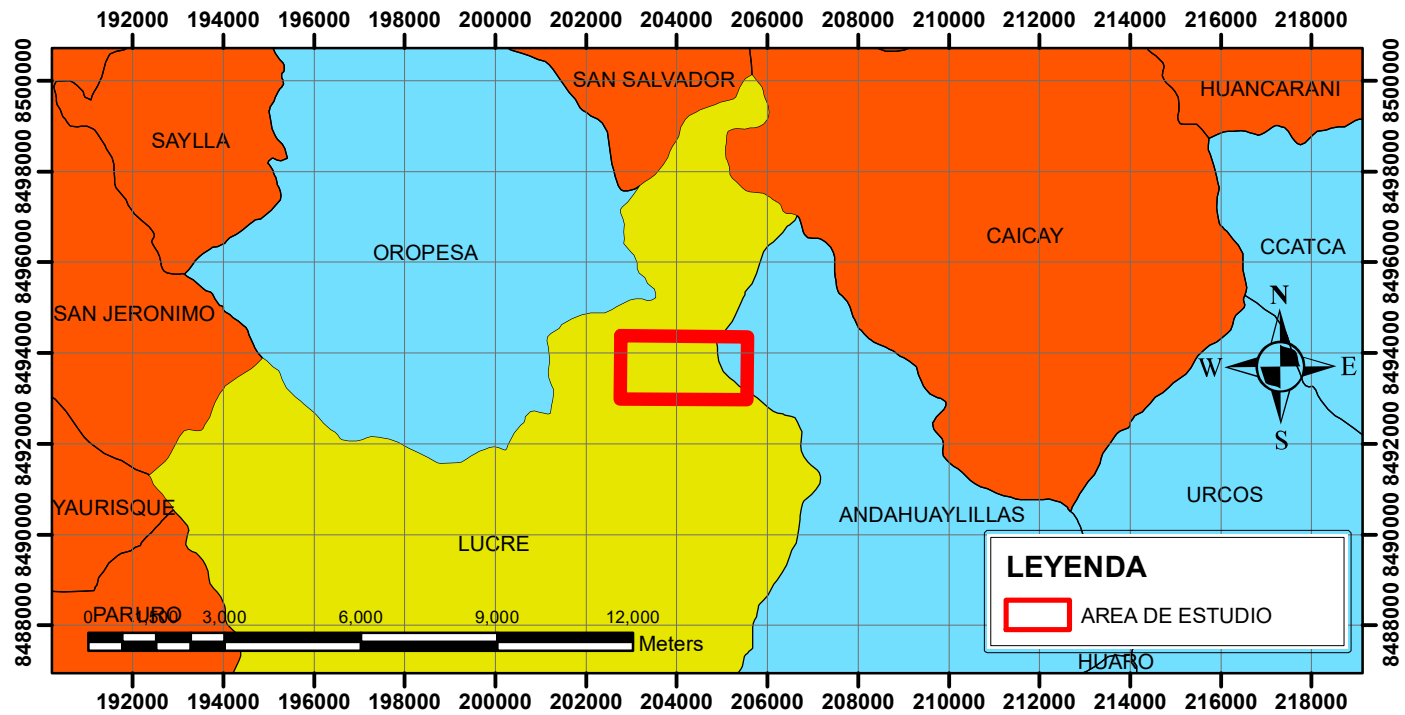


Figura 136 Visualizador de resultados en IBER



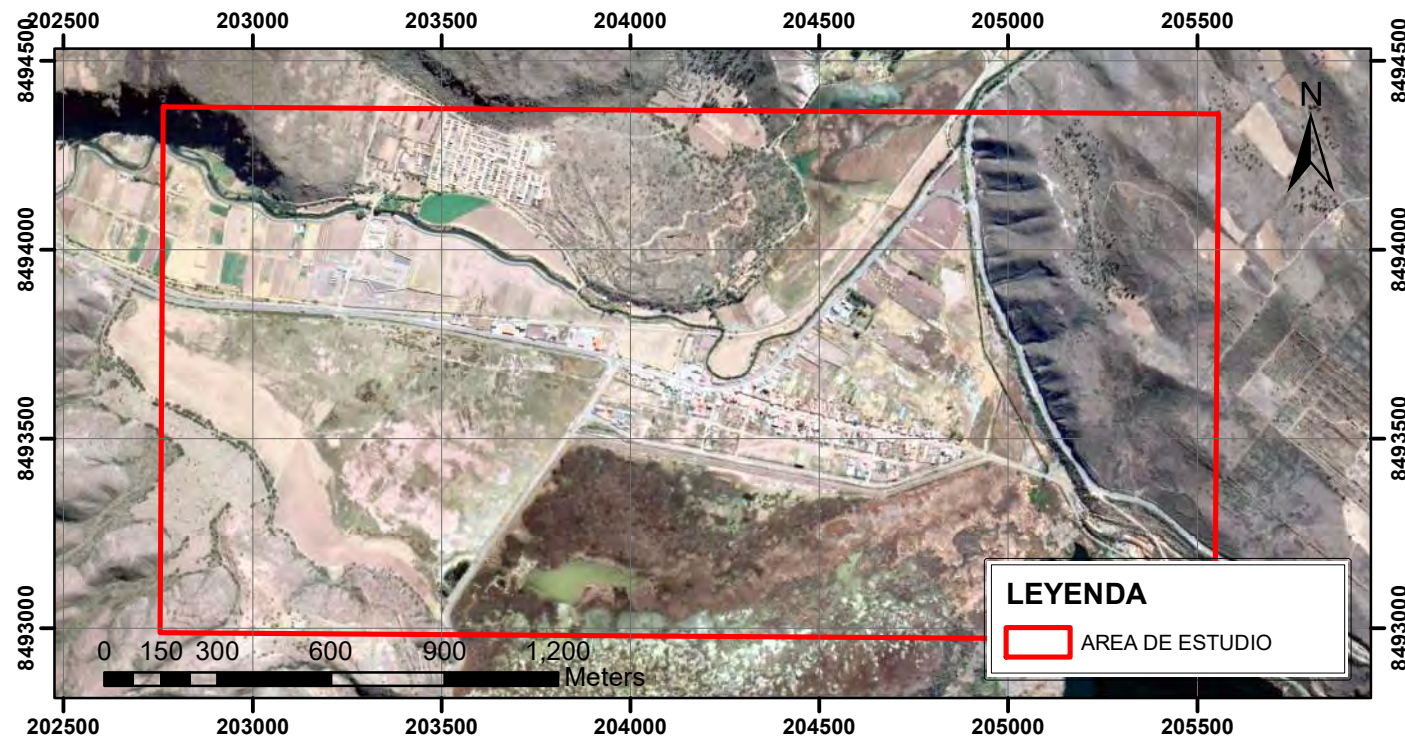
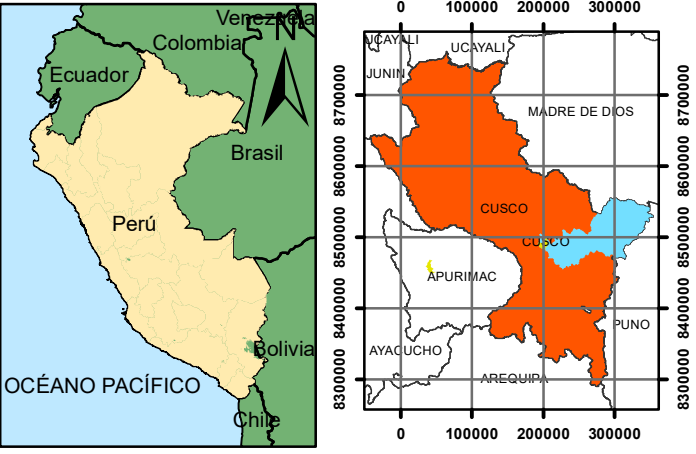
## ANEXO 2: PLANOS



**LEYENDA**

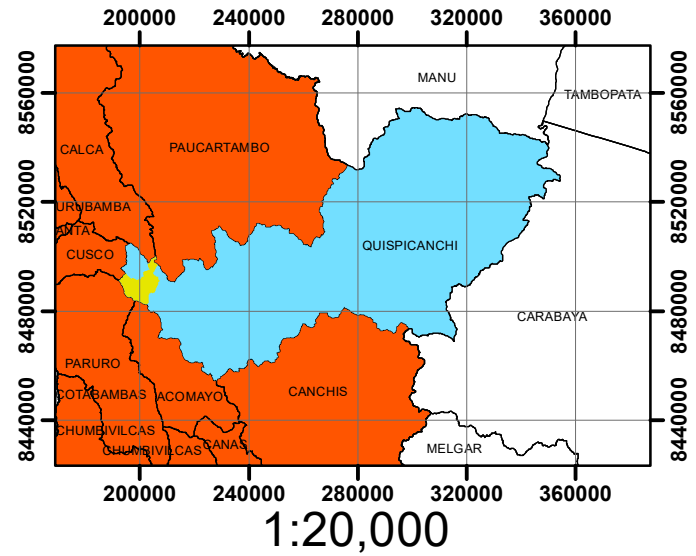
AREA DE ESTUDIO

# PLANO DE UBICACION



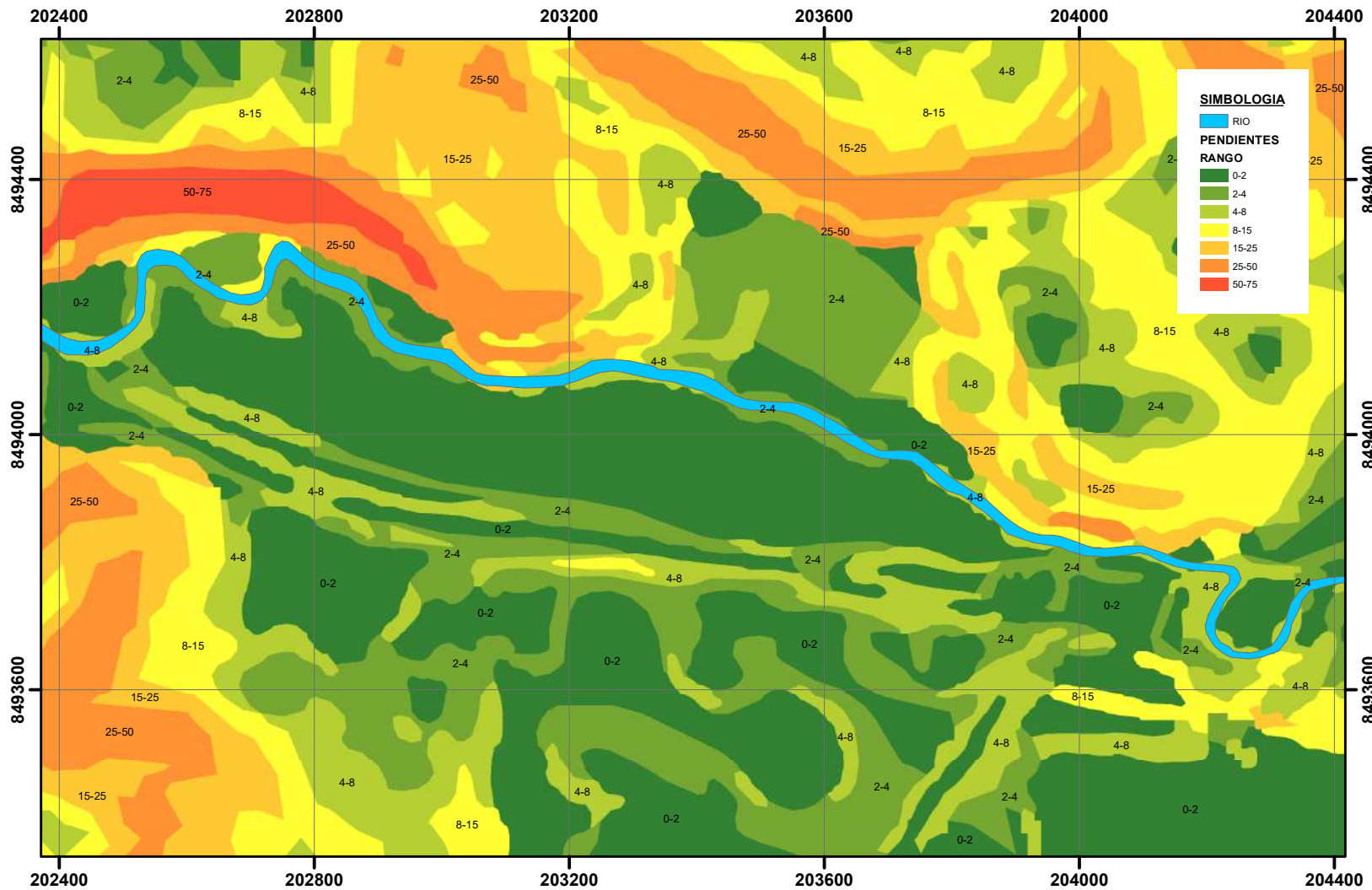
**LEYENDA**

AREA DE ESTUDIO



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>	
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS - CUSCO, 2022"		
PLANO:	PLANO DE UBICACION	
ELABORADO POR:	Bach. Vargas Yana Selene Judith	
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA
ARC MAP	1:20000	25/10/2022
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S
SASPLANET	Projection: Transverse_Mercator	
		<b>N° 01</b>

# MAPA DE PENDIENTES



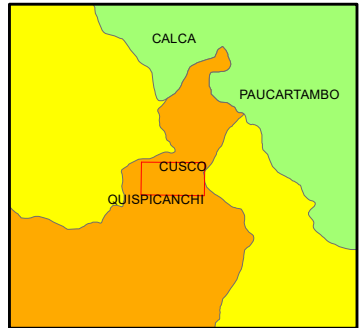
**SIMBOLOGIA**

**RIO**

**PENDIENTES**

**RANGO**

- 0-2
- 2-4
- 4-8
- 8-15
- 15-25
- 25-50
- 50-75



**LEYENDA**

**DISTRITO**

- LUCRE
- QUISPICANCHI

**PROVINCIA**

- QUISPICANCHI

**DISTRITO**

- CUSCO

**Sudamérica**

**PAÍS**

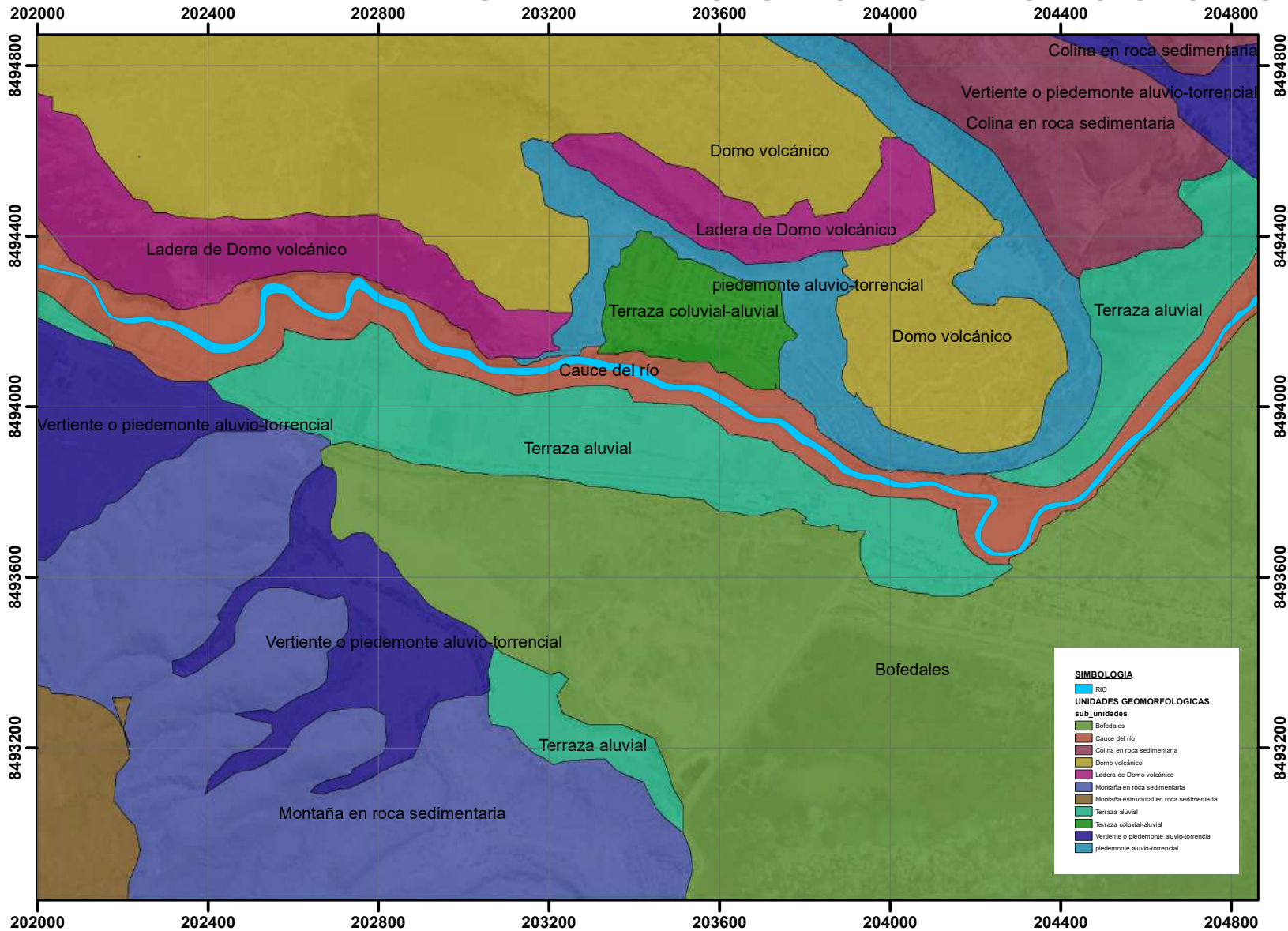
- Perú

1 cm = 4 km

0 4 8 16 24 32 kilómetros

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>		
		FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"				
PLANO:		MAPA DE PENDIENTES		
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO	
ARC MAP	1:10000	18/12/2022	<b>N° 02</b>	
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S Projection: Transverse_Mercator		
SASPLANET				

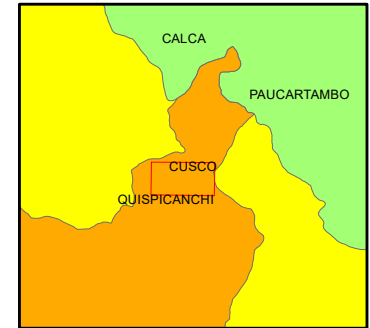
# MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLOGICAS



**SIMBOLOGIA**

**UNIDADES GEOMORFOLOGICAS**

- rio
- sub\_unidades
- Bofedales
- Cauce del río
- Colina en roca sedimentaria
- Domo volcánico
- Ladera de Domo volcánico
- Montaña en roca sedimentaria
- Montaña estructural en roca sedimentaria
- Terraza aluvial
- Terraza coluvial-aluvial
- Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
- piedemonte aluvio-torrencial



**LEYENDA**

**DISTRITO**

- LUCRE
- QUISPICANCHI

**DISTRITO**

- CUSCO

**Sudamérica**

**PAÍS**

- Perú

Compass rose showing North (N), South (S), East (E), and West (W).

Scale: 1 cm = 4 km

Graphic scale bar: 0, 4, 8, 16, 24, 32 Kilometros

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"

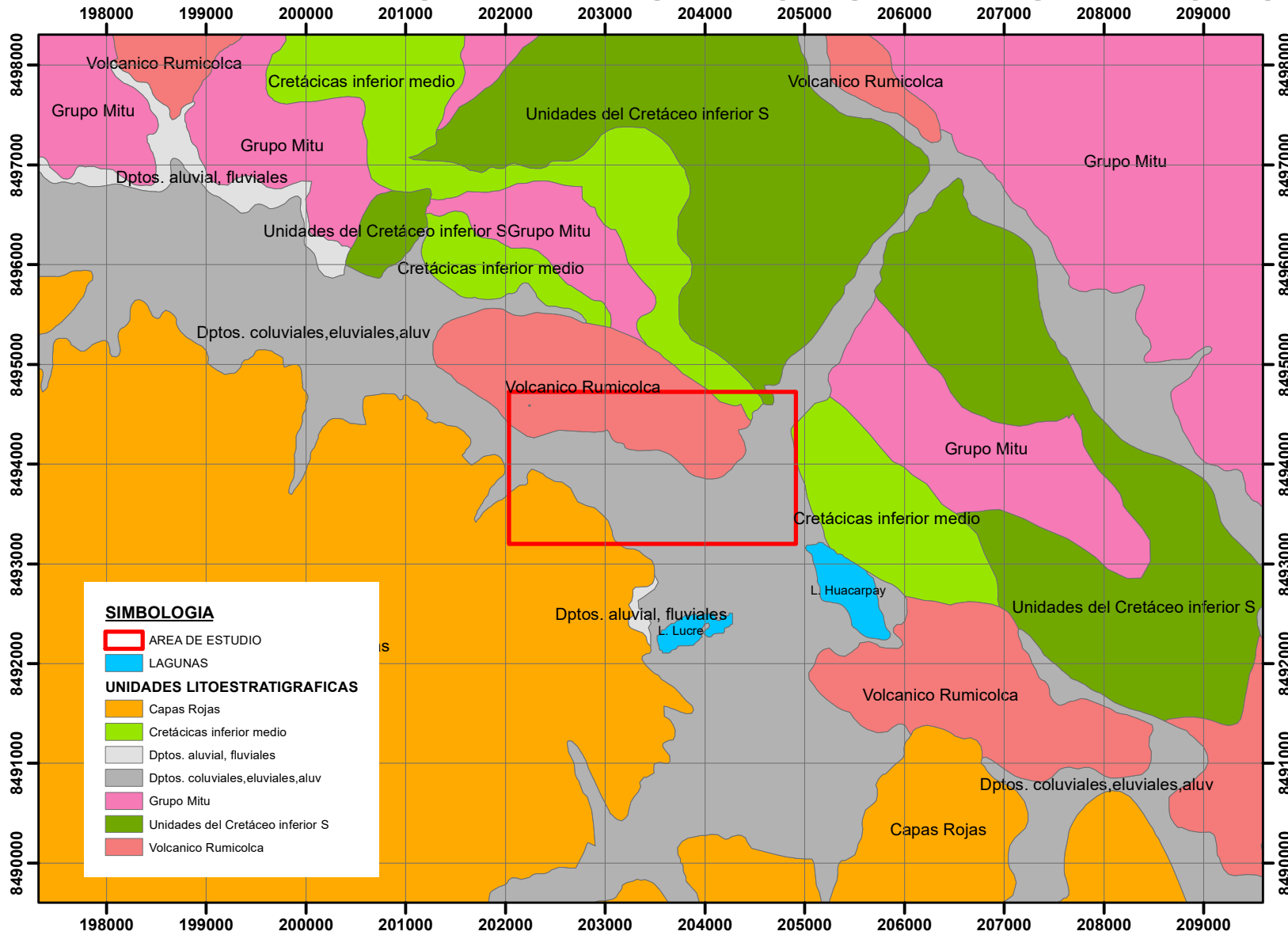
PLANO: MAPA GEOMORFOLOGICO LOCAL

ELABORADO POR: Bach. Vargas Yana Selene Judith

PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO
ARC MAP	1:14000	18/12/2022	N° 03
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S Projection: Transverse_Mercator	



# MAPA DE UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS

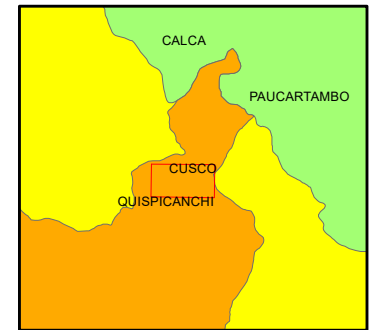


**SIMBOLOGIA**

- AREA DE ESTUDIO
- LAGUNAS

**UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS**

- Capas Rojas
- Cretácicas inferior medio
- Dptos. aluvial, fluviales
- Dptos. coluviales, eluviales, aluv
- Grupo Mitu
- Unidades del Cretáceo inferior S
- Volcanico Rumicolca



**LEYENDA**

**DISTRITO**

- LUCRE

**PROVINCIA**

- QUISPICANCHI

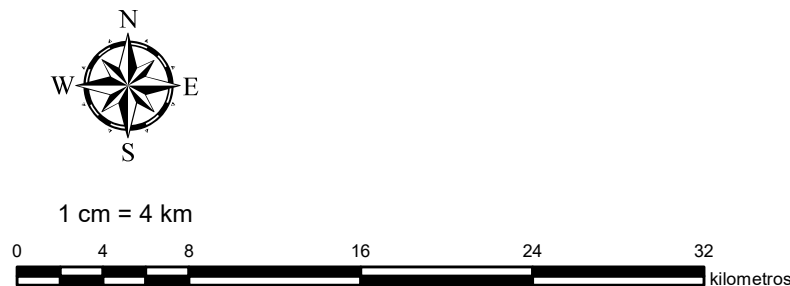
**DISTRITO**

- CUSCO

**Sudamérica**

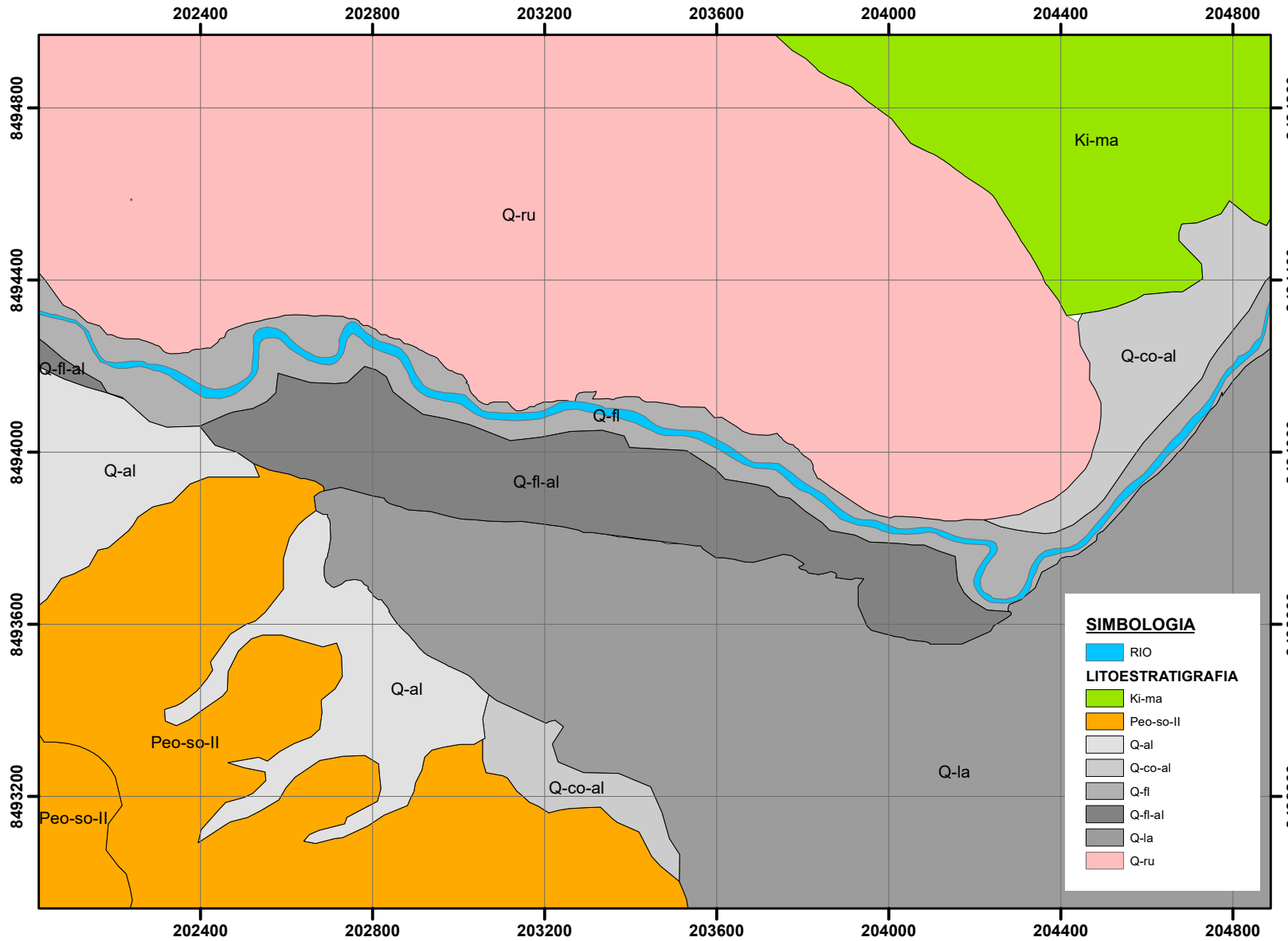
**PAÍS**

- Perú



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO</b>			
	FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"				
PLANO:		MAPA DE UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS REGIONALES		
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO	
ARC MAP	1:60000	18/12/2022	N° 04	
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S Projection: Transverse_Mercator		
SASPLANET				

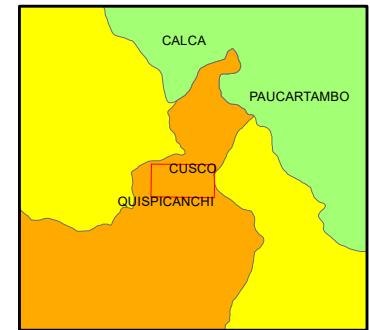
# MAPA DE UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS LOCALES



**SIMBOLOGIA**

**LITOESTRATIGRAFIA**

- RIO
- Ki-ma
- Peo-so-II
- Q-al
- Q-co-al
- Q-fl
- Q-fl-al
- Q-la
- Q-ru



**LEYENDA**

**DISTRITO**

- LUCRE
- QUISPICANCHI

**DISTRITO**

- CUSCO

**Sudamérica**

**PAÍS**

- Perú

N  
W —+— E  
S

1 cm = 4 km

kilometros

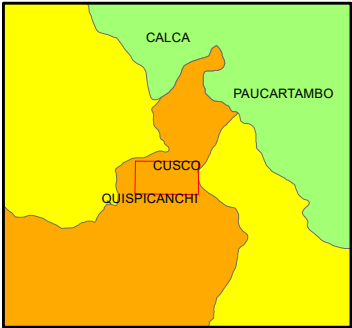
		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO</b>			
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"					
PLANO:		MAPA DE UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS LOCALES			
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith			
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO		
ARC MAP	1:14000	18/12/2022	<b>N° 05</b>		
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S			
SASPLANET		Projection: Transverse_Mercator			

# MAPA DE IMAGEN SATELITAL



**SIMBOLOGIA**

■ RIO



**LEYENDA**

**DISTRITO**

■ LUCRE

**PROVINCIA**

■ QUISPICANCHI

**DISTRITO**

■ CUSCO

**Sudamérica**

**PAÍS**

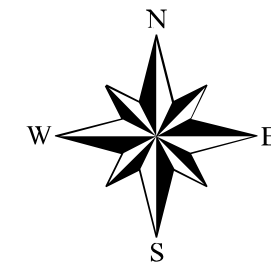
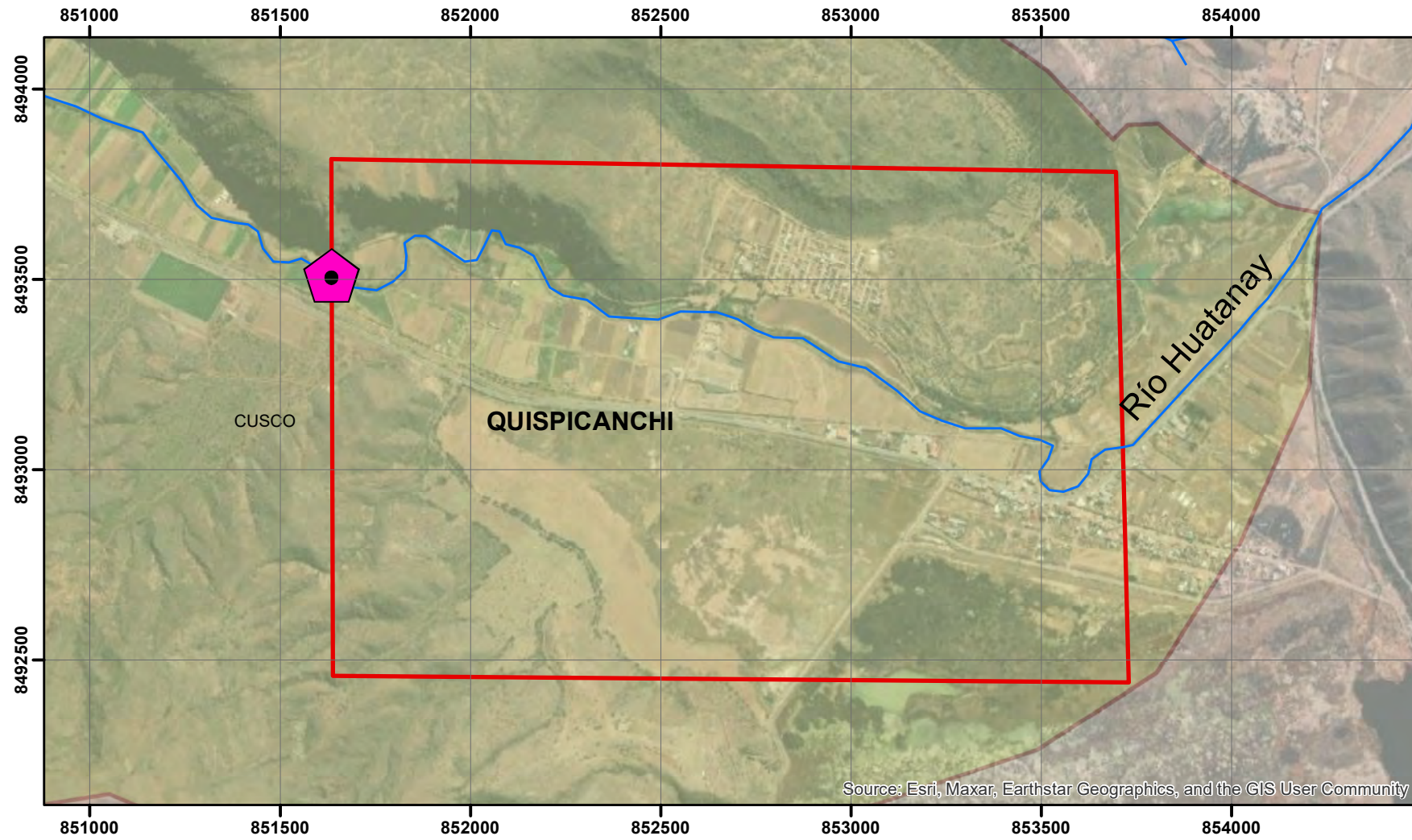
■ Perú

1 cm = 4 km

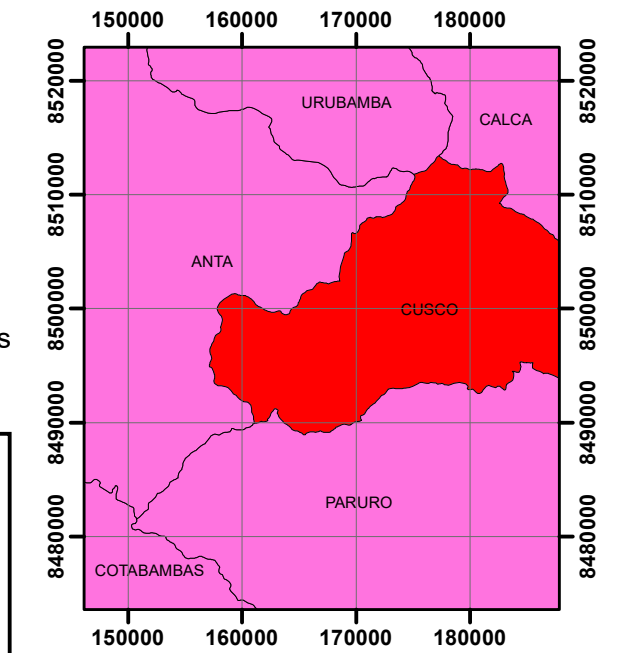
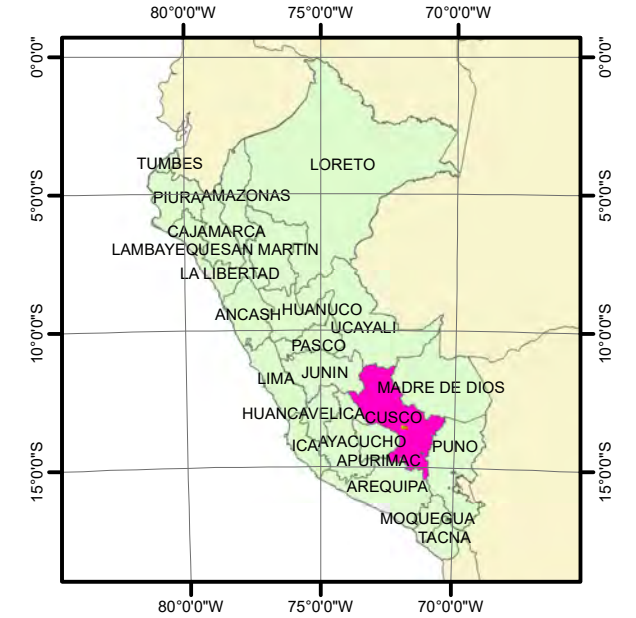
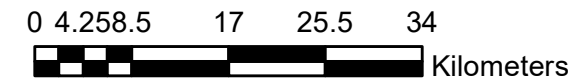
kilometros

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>		
		FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"				
PLANO:		MAPA DE IMAGEN SATELITAL		
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO	
ARC MAP	1:10000	18/12/2022	N° 06	
EXCEL	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19S Projection: Transverse_Mercator		N° 06
SASPLANET				

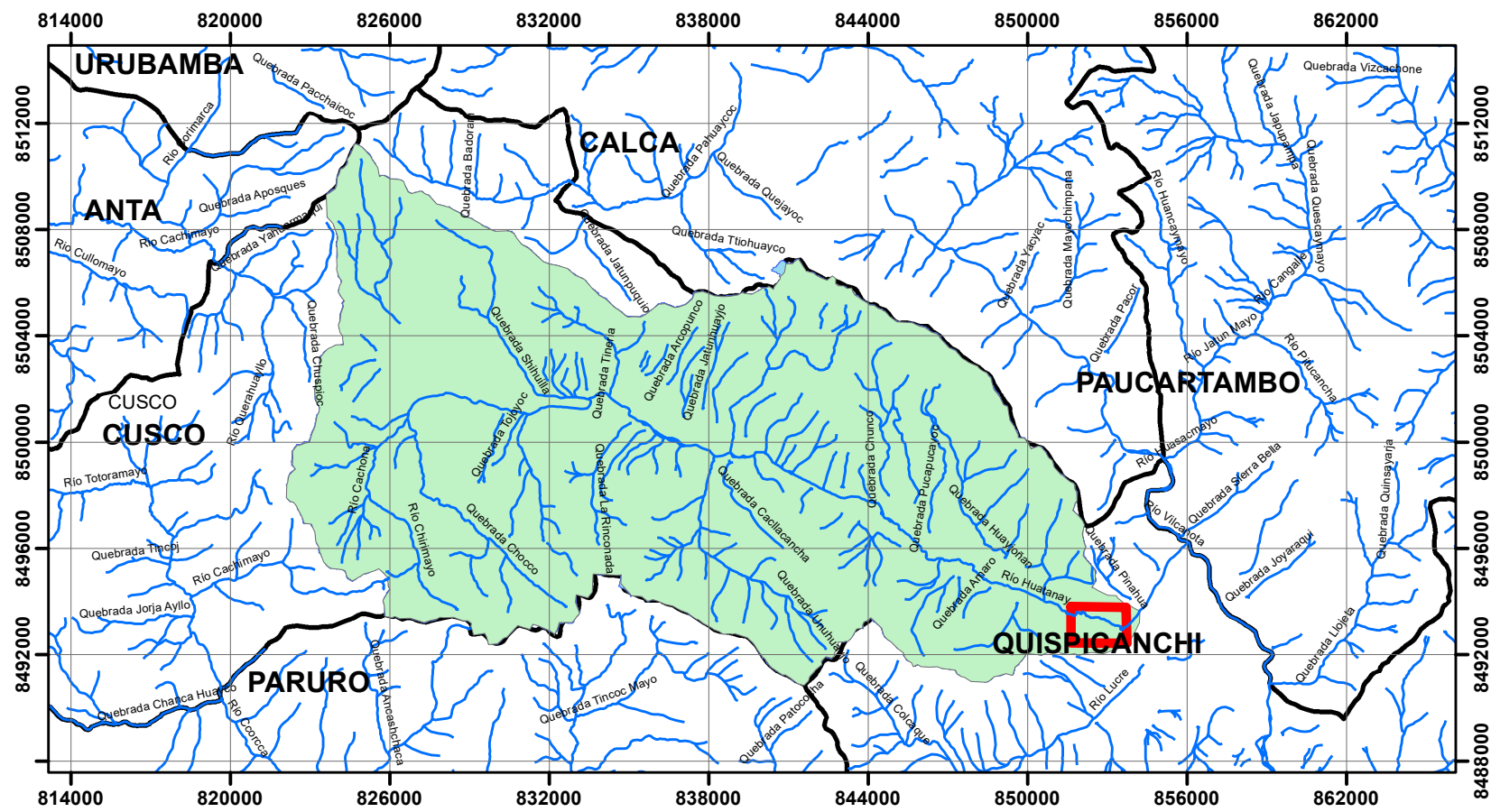
# MAPA BASE DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA 49949776



1:16,000



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

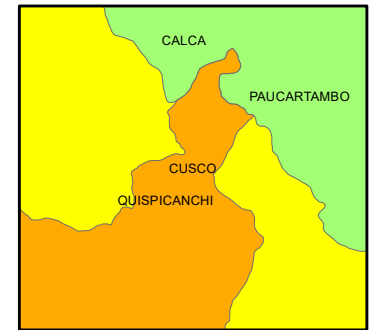
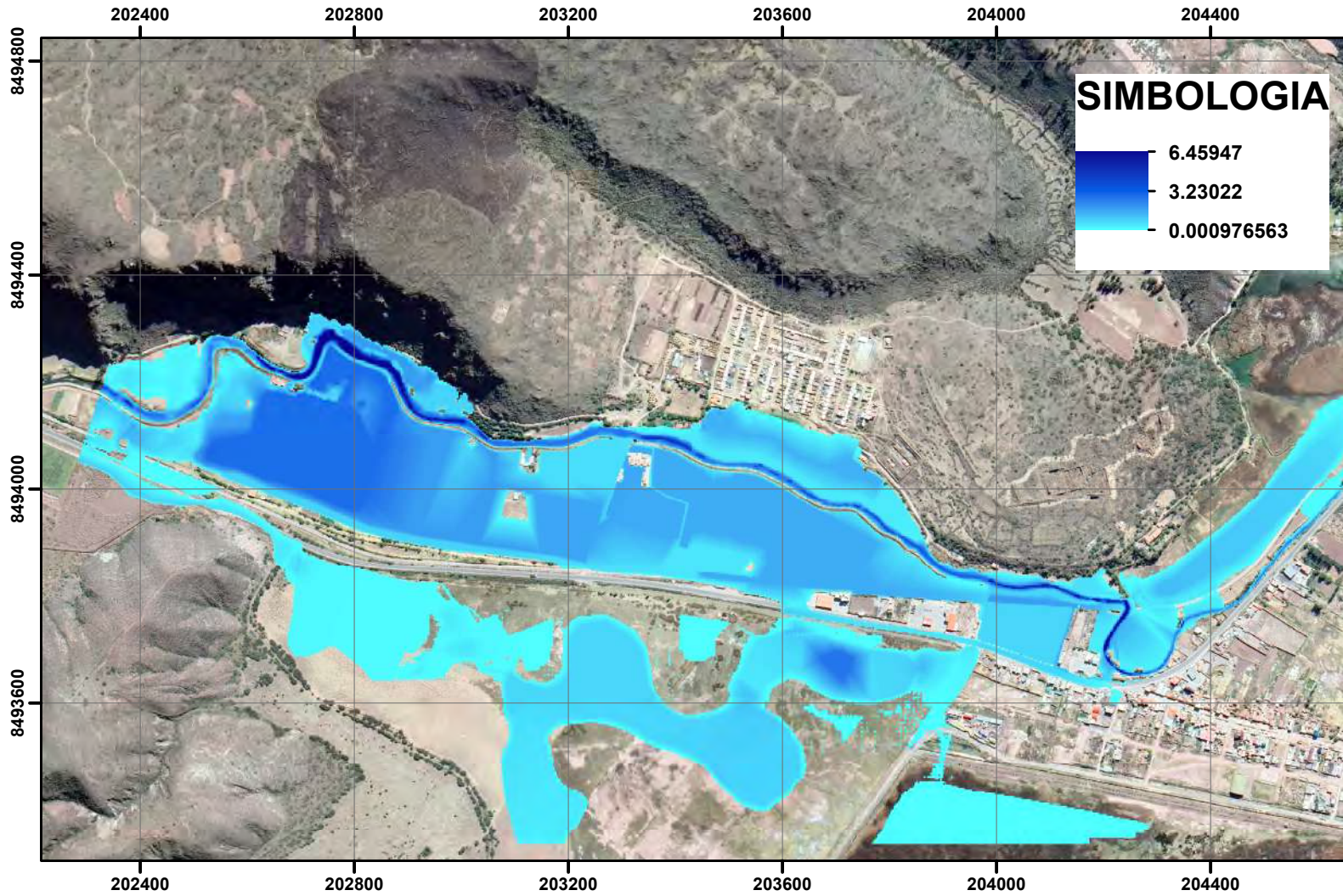


**LEYENDA**

- INICIO DE SIMULACION INUNDACION
- RIOS
- AREA DE ESTUDIO
- UNIDAD HIDROGRAFICA
- DISTRITOS

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO</b>			
<b>ABAD DEL CUSCO</b>			
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS - CUSCO, 2022"			
PLANO:		MAPA BASE UNIDAD HIDROGRAFICA 49949776	
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith	
PROGRAMAS	ESCALA :	FECHA	PLANO
ARC MAP	1:13000	20/06/2023	<b>N° 07</b>
SASPLANET	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_18S Projection: Transverse_Mercator	

# MAPA DE INUNDACIONES HEC-RAS (TR=50 AÑOS)



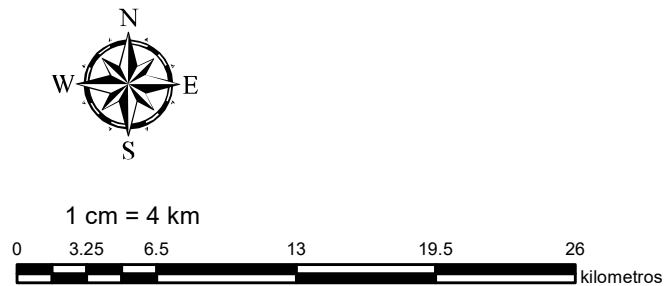
**LEYENDA**

**DISTRITO**  
 LUCRE

**PROVINCIA**  
 QUISPICANCHI

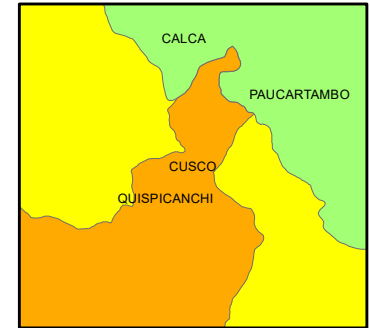
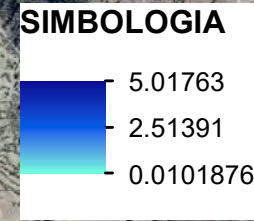
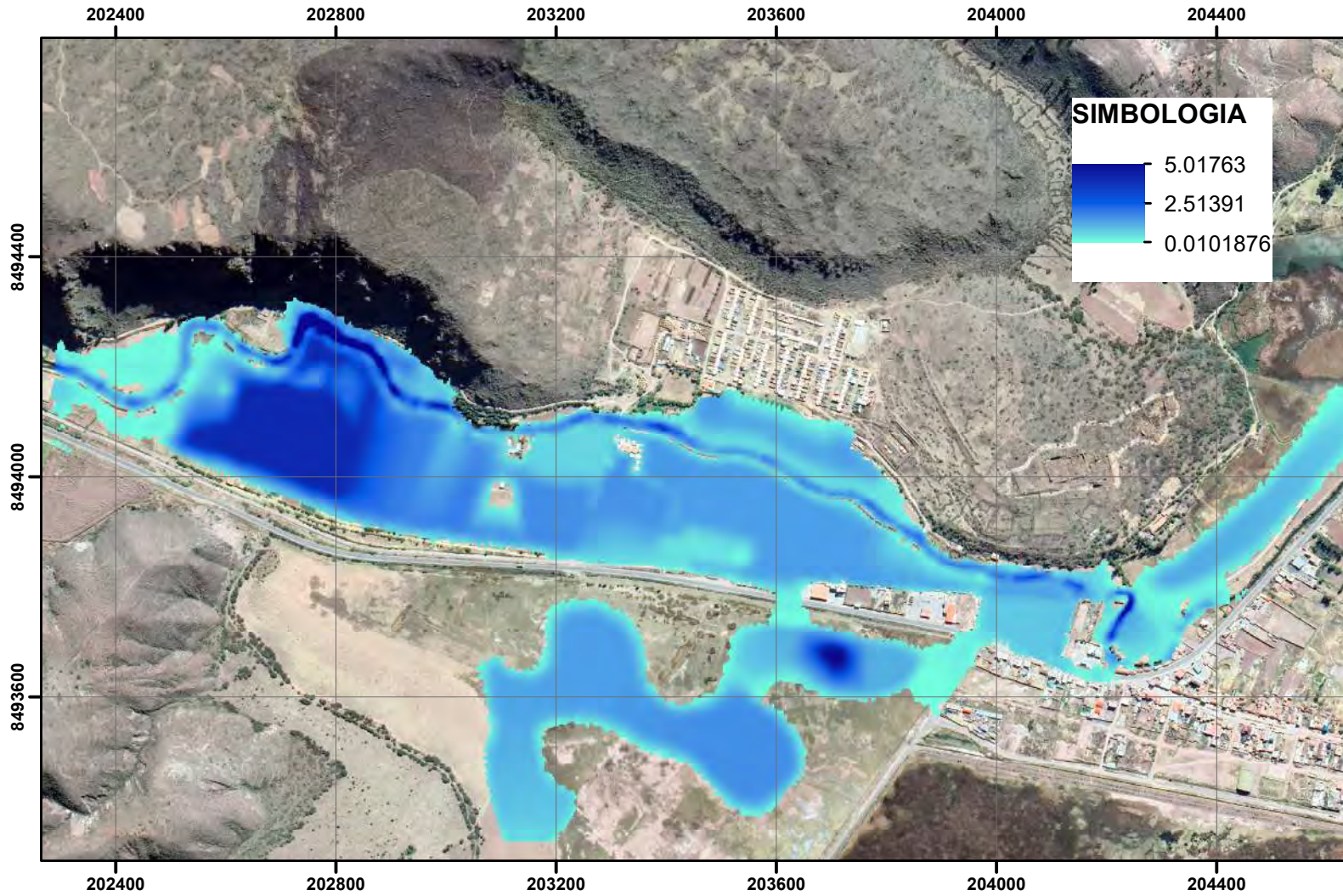
**DISTRITO**  
 CUSCO

**Sudamérica**  
 Perú



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO</b>		
	<b>ABAD DEL CUSCO</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS - CUSCO, 2022"			
PLANO:	MAPA DE INUNDACIONES HEC-RAS (TR=50 AÑOS)		
ELABORADO POR:	Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS:	ESCALA :	FECHA	PLANO
ARC MAP	1:12000	18/12/2022	<b>N° 09</b>
HEC-RAS	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19s	
SASPLANET		Projection: Transverse_Mercator	

# MAPA DE INUNDACIONES IBER (TR=50 AÑOS)



**LEYENDA**

**DISTRITO**

- LUCRE

**PROVINCIA**

- QUISPICANCHI

**DISTRITO**

- CUSCO

**Sudamérica**

**PAÍS**

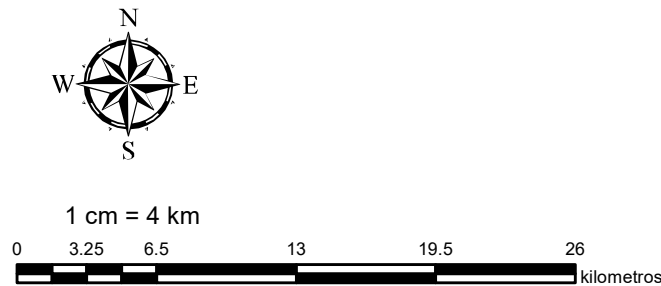
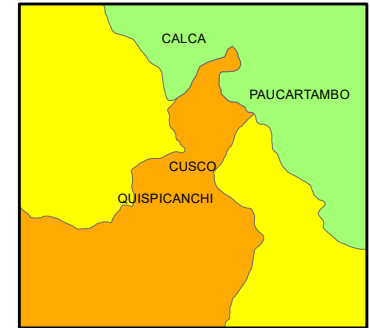
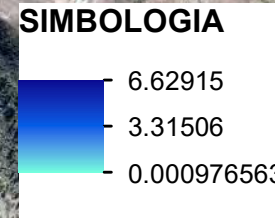
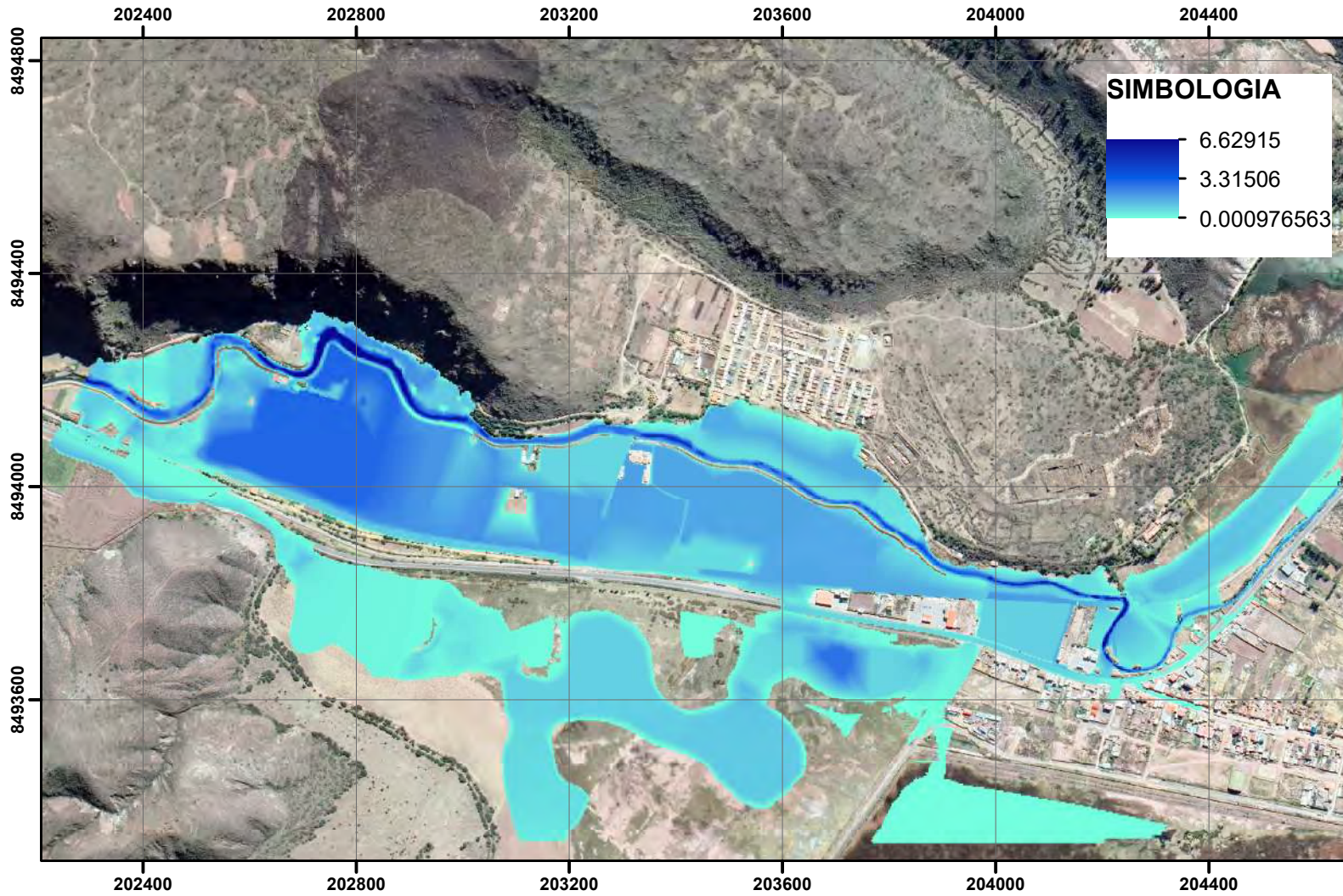
- Perú

1 cm = 4 km

kilometros

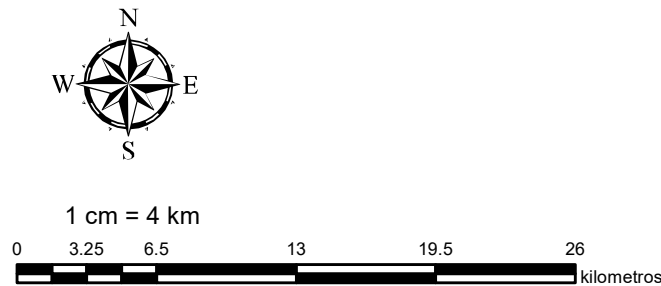
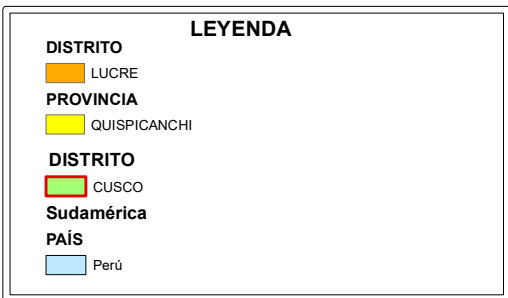
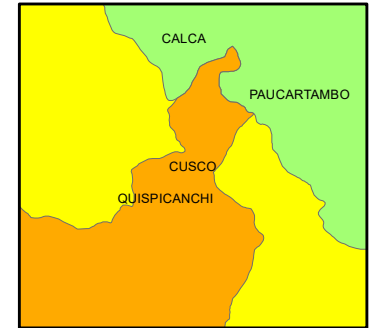
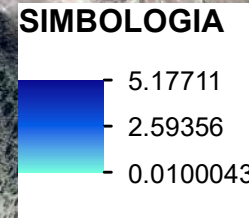
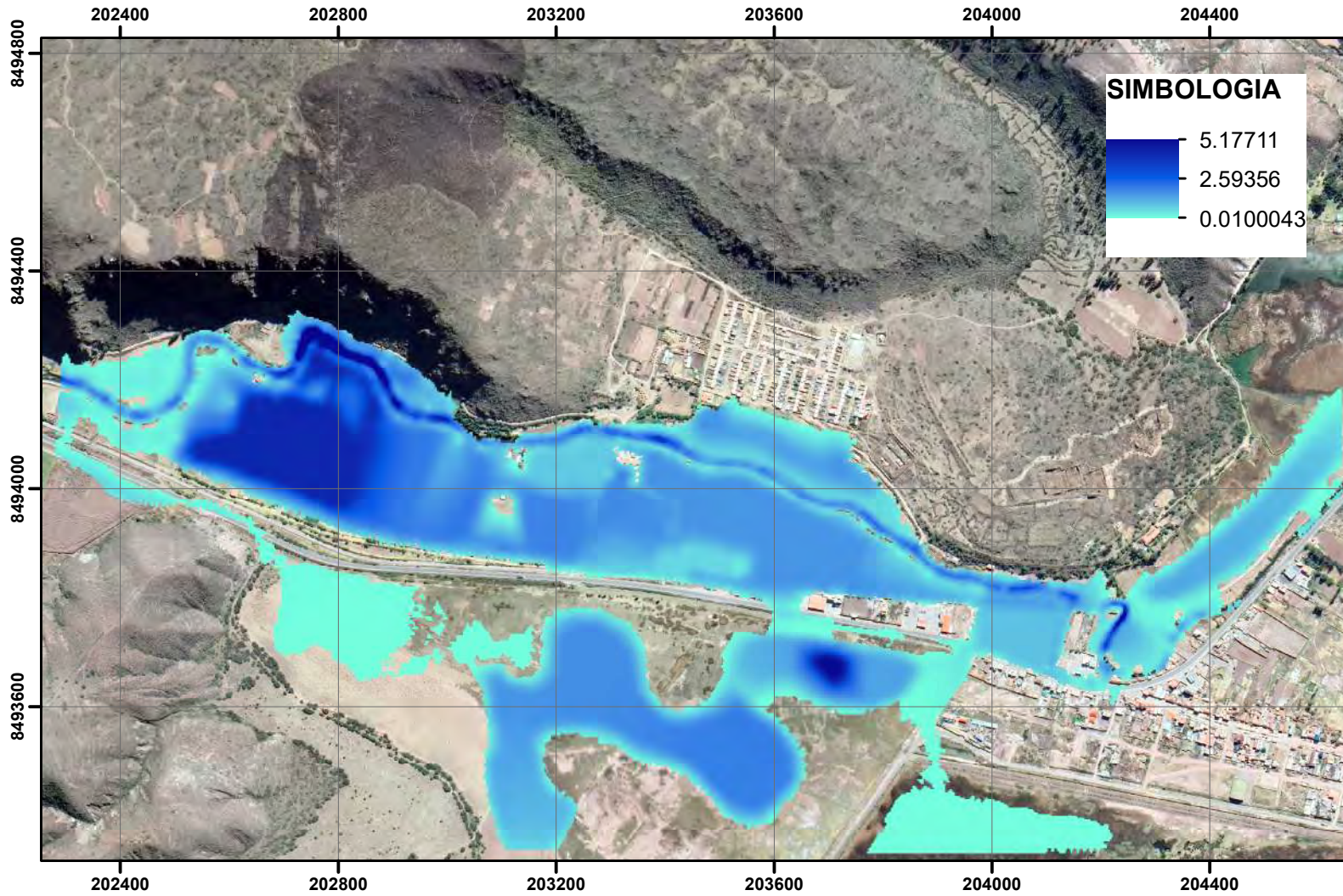
	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO</b>		
	<b>ABAD DEL CUSCO</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS Y IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHIS - CUSCO, 2022"			
PLANO:	MAPA DE INUNDACIONES IBER (TR=50 AÑOS)		
ELABORADO POR:	Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS:	ESCALA :	FECHA	PLANO
ARC MAP	1:12000	18/12/2022	<b>N° 10</b>
IBER	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19s Projection: Transverse_Mercator	
SASPLANET			

# MAPA DE INUNDACIONES HEC-RAS (TR=100 AÑOS)



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO</b>			
	<b>ABAD DEL CUSCO</b>			
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA				
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA				
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS E IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"				
PLANO:		MAPA DE INUNDACIONES HEC-RAS (TR-100 AÑOS)		
ELABORADO POR:		Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS:	ESCALA :	FECHA	PLANO	
ARC MAP	1:12000	18/12/2022	<b>N° 11</b>	
IBER	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19s		
SASPLANET		Projection: Transverse_Mercator		

# MAPA DE INUNDACIONES IBER (TR=100 AÑOS)



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO</b>		
	<b>ABAD DEL CUSCO</b>		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGIA			
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HIDRÁULICOS HEC-RAS Y IBER PARA LA ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL DISTRITO DE LUCRE, PROVINCIA DE QUISPICANCHI - CUSCO, 2022"			
PLANO:	MAPA DE INUNDACIONES IBER (TR-100 AÑOS)		
ELABORADO POR:	Bach. Vargas Yana Selene Judith		
PROGRAMAS:	ESCALA :	FECHA	PLANO
ARC MAP	1:12000	18/12/2022	<b>N° 12</b>
IBER	DATA:	WGS_1984_UTM_Zone_19s Projection: Transverse_Mercator	
SASPLANET			