

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



**TESIS**

**“IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR DESBORDE DEL  
RÍO LA QUISPA EN EL CENTRO POBLADO ROSARIO DE POLLOC  
DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA-CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA HIDRÁULICA**

**PRESENTADO POR LA TESISISTA:  
Bach. MARILÚ GUTIÉRREZ BAUTISTA**

**ASESOR:  
Dr. Ing. LUIS VASQUEZ RAMIREZ**

**Cajamarca – Perú**

**- 2024 -**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: MARILÚ GUTIÉRREZ BAUTISTA  
DNI: 45702160  
Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
2. Asesor: LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ  
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR DESBORDE DEL RÍO LA QUISPA EN EL CENTRO POBLADO ROSARIO DE POLLOC DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA-CAJAMARCA"
6. Fecha de evaluación: 18/03/2024
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 19%
9. Código Documento: oid: 3117:340689450
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 22/03/2024

 <hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b> Nombres y Apellidos <b>LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ</b> DNI: 26693344</p>	 <p>Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258601 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 22/03/2024 09:37:43-0500</p> <hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>
--	--



## ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR DESBORDE DEL RÍO LA QUISPA EN EL CENTRO POBLADO ROSARIO DE POLLOC DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA - CAJAMARCA."

ASESOR : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0614-2024-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 30 de setiembre de 2024, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **diez días del mes de octubre de 2024**, siendo las diez (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Secretario : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR DESBORDE DEL RÍO LA QUISPA EN EL CENTRO POBLADO ROSARIO DE POLLOC DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA - CAJAMARCA", presentado por la Bachiller en Ingeniería Hidráulica **MARILÚ GUTIÉRREZ BAUTISTA**, asesorado por el Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron a la sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y la evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : .....<sup>07</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : .....<sup>11</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : .....<sup>18</sup>..... PTS ..... **Dieciocho**..... (En letras)

En consecuencia, se la declara .... **APROBADA**..... con el calificativo de .... **Dieciocho**..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las .... **DOCE**..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Vocal

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.  
Secretario

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado una nueva oportunidad de vivir, fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida y acompañarme todos los días.*

*Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres, que sin duda alguna me apoyaron en el trayecto de mí vida demostrando su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.*

*A mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Hidráulica por todo el conocimiento impartido, dentro y fuera de sus aulas.*

*A mi docente y asesor Ing. Luis Vásquez Ramírez por sus conocimientos que me compartió, por sus consejos y correcciones, que ayudan a formarte como persona e investigador y apoyo en el presente estudio.*

*También me gustaría agradecer a mis profesores a los que aún continúan laborando en la universidad, y aquellos que ya no están y que aún recuerdo con cariño y agradecimiento porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación durante toda mi carrera profesional.*

*A las personas que contribuyeron con sus conocimientos y me orientaron en este estudio.*

**Marilú Gutiérrez Bautista**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por haberme dado la oportunidad de vivir y disfrutar de su majestuosa creación y que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer.*

*Con todo mi cariño a mis padres, Jesús Gutiérrez Flores y Narcisa Bautista Tacilla, por ser quienes me han enseñado con su ejemplo a rebasar todas las barreras que la vida nos presenta, a querer ser mejor cada día, a entender que no hay nada imposible y que sólo hay que esmerarse y sacrificarse, si es necesario, también por todo su apoyo incondicional, lucha constante y amor infinito.*

*A mi hija Alessia por llenar mi vida de color, por ser mi inspiración y motivación para seguir adelante; mi esposo Cristian por acompañarme y apoyarme en todo momento.*

*A mis hermanas Gladis, Elsy y a mi sobrina Emily Ivanna porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.*

*A mi gran amiga Isabel Rodríguez Ortiz, por el tiempo de amistad y su apoyo incondicional.*

**Marilú Gutiérrez Bautista**

## Contenido

ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTO.....	1
1.2. PROBLEMA .....	2
1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION .....	2
1.4. ALCANCES .....	2
1.5. OBJETIVOS.....	4
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación.....	5
2.2. Bases teóricas.....	5
A. Inundaciones .....	5
B. Hidrología .....	8
C. Hidráulica fluvial .....	22
D. Modelamiento Hidráulico .....	25
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1. Ubicación de área de estudio .....	35
3.2. Materiales.....	39
3.3. Procedimiento .....	39
a. Caracterización de la Cuenca de estudio.....	39
b. Procedimiento para modelamiento hidrológico .....	48
c. Procedimiento para el modelamiento hidráulico.....	49
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
4.1. Identificación y selección de las unidades de análisis .....	55

4.2. Análisis hidrológico de la cuenca .....	55
4.3. Análisis del Modelamiento Hidráulico .....	67
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
5.1. Conclusiones .....	82
5.2. Recomendaciones .....	84
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de intensidad para Inundaciones .....	8
Tabla 2: Clasificación de tamaños de cuencas. ....	10
Tabla 3: Valores Interpretativos del Factor forma. ....	13
Tabla 4 : Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov.....	17
Tabla 5: Condición de humedad antecedente propuesto por SCS.....	19
Tabla 6: Condición Hidrológica .....	20
Tabla 7: Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e Ia = 0.2S) .....	20
Tabla 8: Valores de los grupos hidrológicos .....	21
Tabla 9: Reclasificación del Mapa de suelo .....	22
Tabla 10: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning (n) del río.....	31
Tabla 11 : Valores de Rugosidad “n” .....	32
Tabla 12: Condiciones de contorno para el tipo de régimen. ....	33
Tabla 13: Ubicación geográfica.....	36
Tabla 14: Ubicación del punto emisor del tramo estudiado. ....	40
Tabla 15: Método de Cowan para la selección de rugosidad de río. ....	50
Tabla 16: Uso de suelos.....	51
Tabla 17: Precipitación mensual y anual.....	55
Tabla 18: Área, perímetro y longitud de cauce de la subcuenca. ....	57
Tabla 19: Altitudes de la Subcuenca.....	57
Tabla 20: Distribución de la pendiente de la Subcuenca La Quispa. ....	57
Tabla 21: Datos obtenidos para la generación de la curva hipsométrica.....	58
Tabla 22: Resumen de la Caracterización Geomorfológica de las Subcuenca La Quispa. ....	60
Tabla 23: Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Encañada .....	61
Tabla 24: Parámetros estadísticos de intensidades transpuestos a la zona de estudio.....	62
Tabla 25: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....	63
Tabla 26: Prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov.....	63
Tabla 27: Cuadro de parámetros estadísticos para distribución Gumbel. ....	64
Tabla 28: Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para el caudal encontrado según huella hídrica, de 281 m <sup>3</sup> /s.....	64
Tabla 29: Cálculo de precipitaciones máximas con distribución Gumbel.....	64
Tabla 30: Cuadro resumen para el modelamiento de intensidades para el caudal encontrado según huella hídrica de 281 m <sup>3</sup> /s.....	65
Tabla 31: Cuadro resumen para el modelamiento de intensidades para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.....	65
Tabla 32: Cálculo del coeficiente de escorrentía para Método Racional Modificado. ....	65
Tabla 33: Coeficiente de Escorrentía para el caudal encontrado según huella hídrica .....	66
Tabla 34: Coeficiente de Escorrentía para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.....	66
Tabla 35: Caudal máximo según huella hídrica .....	66
Tabla 36: Caudales máximos para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.....	67
Tabla 37: Áreas inundables para un Q = 256.76 m <sup>3</sup> /s .....	71
Tabla 38: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 50 años .....	71
Tabla 39: Áreas inundables para un Q = 280.64 m <sup>3</sup> /s .....	75
Tabla 40: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 92 años .....	76
Tabla 41: Áreas inundables para un Q = 283.93 m <sup>3</sup> /s .....	80
Tabla 42: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 100 años .....	80



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Zonificación de la cuenca, por Pladeyra, 2003. ....	9
<i>Figura 2:</i> Componentes en una cuenca, por Córdova, 2015. ....	9
<i>Figura 3:</i> Perímetro de una cuenca, por Máximo Villón, 2012. ....	10
<i>Figura 4:</i> Longitud y perímetro de una cuenca, por Ibañez, Moreno, Gisbert, 2017. ....	11
<i>Figura 5:</i> Influencia de la forma, por Ibañez, Moreno, Gisbert, 2017. ....	11
<i>Figura 6:</i> Comparación de la forma de cuencas según valores del Coeficiente de Compacidad. ...	12
<i>Figura 7:</i> Ramificación de un cauce principal según el modelo de Strahler. ....	15
<i>Figura 8:</i> Clasificación de ríos según su forma, por Arturo Rocha, 1998. ....	23
<i>Figura 9:</i> Parámetros de una planta sinuosa, por Martín Vide- Ingeniería de Ríos. ....	24
<i>Figura 10:</i> Mallas no-estructuradas formadas por elementos de 3 o 4 lados, por Guarniz, 2014. ....	29
<i>Figura 11:</i> Ubicación Nacional y Regional Cajamarca, tomado de Fuente: Equipo Consultor PGM-MIRHAC. ....	37
<i>Figura 12:</i> Ubicación de cuenca en estudio. ....	37
<i>Figura 13:</i> Imagen satelital de la zona de estudio en el tramo del Río La Quispa en el CC.PP Rosario de Polloc, Distrito de Cajamarca. ....	38
<i>Figura 14:</i> Raster del levantamiento topográfico de la zona de estudio en el tramo del Río La Quispa en el CC.PP Rosario de Polloc, Distrito de Cajamarca. ....	38
<i>Figura 15:</i> Selección del punto emisor. ....	40
<i>Figura 16:</i> Accesos para llegar a la zona de estudio. ....	41
<i>Figura 17:</i> Zonas agrícolas y ganaderas del área de estudio. ....	41
<i>Figura 18:</i> Canales de irrigación que serían afectados. ....	42
<i>Figura 19:</i> Visita de aguas arriba del tramo en estudio. ....	42
<i>Figura 20:</i> Ubicación de infraestructura de un puente en el tramo en estudio. ....	43
<i>Figura 21 :</i> Vestigios de inundación observados en el recorrido del río la Quispa. ....	43
<i>Figura 22 :</i> Presencia de arena, indicativo de un desborde del río la Quispa. ....	44
<i>Figura 23 :</i> Daños ocasionados a un puente del río la Quispa. ....	44
<i>Figura 24 :</i> Vestigios de inundación observados en el río la Quispa. ....	45
<i>Figura 25 :</i> Colapso de un puente por una máxima avenida. ....	45
<i>Figura 26 :</i> Colapso de muros laterales en puente existente en la zona de estudio. ....	46
<i>Figura 27:</i> DEM de la Zona de estudio. ....	47
<i>Figura 28:</i> Delimitación del Río La Quispa para obtención de principales parámetros. ....	48
<i>Figura 29:</i> Generación de malla del río La Quispa. ....	50
<i>Figura 30:</i> Asignación de Rugosidad. ....	51
<i>Figura 31:</i> Exportación de puente. ....	52
<i>Figura 32:</i> Visualización de puente con animación de calado. ....	52
<i>Figura 33:</i> Proceso o cálculo Iber. ....	53
<i>Figura 34:</i> Variación pluviométrica mensual. ....	56
<i>Figura 35:</i> Curva hipsométrica de la Subcuenca del Río La Quispa. ....	59
<i>Figura 36:</i> Frecuencia de altitudes de la subcuenca del río La Quispa. ....	60
<i>Figura 37:</i> Tirantes máximos para un $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	68
<i>Figura 38:</i> Velocidad de flujo para un $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	69
<i>Figura 39:</i> Máxima peligrosidad para un $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	70
<i>Figura 40:</i> Perfil para un $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	72
<i>Figura 41:</i> Tirantes máximos para un $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	73
<i>Figura 42:</i> Velocidad de flujo para un $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	74
<i>Figura 43:</i> Máxima peligrosidad para un $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$ . ....	75

<i>Figura 44:</i> Perfil para un $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	76
<i>Figura 45:</i> Tirantes máximos para un $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	77
<i>Figura 46:</i> Velocidad de flujo para un $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	78
<i>Figura 47:</i> Máxima peligrosidad para un $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ . .....	79
<i>Figura 48:</i> Perfil para un $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	81
<i>Figura 49:</i> Vista de las áreas propensas a ser inundables del Rio La Quispa .....	88
<i>Figura 50:</i> Levantamiento topográfico del tramo estudiado del Rio La Quispa .....	88

## **DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **Precipitación**

Villón (2012, p. 147) La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

### **Cuenca**

Villón (2011, p. 21) La cuenca hidrológica, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido.

### **Subcuencas**

SENAMHI (2011, p. 9) Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.

### **Microcuencas**

SENAMHI (2011, p. 9) Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenta; es decir, que una Subcuenta está dividida en varias microcuencas

### **Inundación**

INDECI (2006, p. 11). Es el desborde lateral del agua de los ríos, lagos, mares y/o represas, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y maremotos (tsunami).

## RESUMEN

El objetivo principal para la presente investigación fue la obtención de áreas de inundaciones de áreas agrícolas de 1,152 metros del tramo en estudio del río La Quispa del Centro Poblado Rosario de Polloc, del distrito de La Encañada, Cajamarca, para dicho fin se determinó parámetros geomorfológicos de la cuenca; obteniendo un área de 159 km<sup>2</sup>, perímetro de 64.6 km y tiempo de concentración de 5.3 hr; en la visita de campo realizada se logró obtener vestigios de inundación, probando diferentes caudales y con ayuda del programa IBER obtuvimos un caudal de 280.64 m<sup>3</sup>/s, a partir de los datos medidos en campo, el método Racional Modificado y con ayuda de la estación meteorológica La Encañada, se encontró el tiempo de retorno de 92 años, posteriormente, se procedió a comparar con los caudales encontrados para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años, verificando y eligiendo el más adecuado para realizar nuestro modelamiento hidráulico, eligiendo así el caudal de 283.93 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 100 años. Finalmente, se realizó el modelamiento hidráulico con el modelo bidimensional IBER, generando mapas de profundidad y velocidad; determinando así áreas inundables de 4.19, 2.14 y 3.19 Ha, para un índice de peligrosidad bajo, medio y alto respectivamente de acuerdo con la clasificación por índice de peligrosidad de acuerdo al calado (H) según la norma de INETER y COSUDE. Se observó claramente que el margen derecho posee mayor área de inundación, afectando en ello pastos, áreas cultivadas, caminos, carreteras y un puente de concreto.

**Palabras claves:** Modelamiento hidrológico, modelamiento hidráulico, inundación, SIG.

## ABSTRACT

The main objective of this research was to obtain the flooding areas of agricultural areas of 1,152 meters of the section of the La Quispa river under study in the Rosario de Polloc settlement in the district of La Encañada, Cajamarca, for this purpose geomorphological parameters of the basin were determined; obtaining an area of 159 km<sup>2</sup>, perimeter of 64.6 km and time of concentration of 5.3 hr; during the field visit we managed to obtain traces of flooding, testing different flows and with the help of the IBER program we obtained a flow of 280.64 m<sup>3</sup>/s, from the data measured in the field, the Modified Rational method and with the help of the meteorological station La Encañada, we found the return time of 92 years, then, we proceeded to compare with the flows found for return times of 50, 100, 200 and 500 years, verifying and choosing the most appropriate for our hydraulic modeling, thus choosing the flow of 283.93 m<sup>3</sup>/s for a return time of 100 years. Finally, hydraulic modeling was performed with the IBER two-dimensional model, generating depth and velocity maps; thus determining floodable areas of 4.19, 2.14 and 3.19 Ha, for a low, medium and high hazard index respectively according to the classification by hazard index according to the draft (H) according to the INETER and COSUDE standard. It was clearly observed that the right margin has a greater area of flooding, affecting pastures, cultivated areas, and other areas.

**Translated with DeepL.com (free version)**

**Keywords:** Hydrological modeling, hydraulic modeling, flooding, GIS.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. CONTEXTO**

En los últimos tiempos, se ha manifestado preocupación por la variabilidad climática en varios sectores debido a que; la existencia de agua, que fluctúa en función de una serie de factores como la latitud, la altura, la vegetación, la orografía, la temperatura, el efecto de los mares, el clima y la actividad humana, es la base del ciclo hidrológico; esta variabilidad complicado de cuantificar la disponibilidad del agua o el exceso de agua, cuando es causado por inundaciones, deslizamientos de terreno, huaycos, etc. Para superar estos problemas se necesitan estudios sobre la evaluación suficiente y fiable de los recursos hídricos.

Los sucesos recientes en Perú han demostrado que el norte del país es propenso a inundaciones y que no se toman las precauciones adecuadas debido a la falta de estudios confiables.

Situado en la región y provincia de Cajamarca, al norte del Perú, el distrito de la Encañada se encuentra a una altitud de 3,098 metros sobre el nivel del mar. Su territorio se compone de una banda que se extiende desde el sureste hacia el noreste y mide 49,7 km de largo y 16,8 km de ancho.

La economía de La Encañada y Rosario de Polloc se basa en actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería, el comercio y el turismo. Actualmente, la mayoría de las áreas de este distrito están dedicadas a la agricultura y la ganadería.

El clima de la subcuenca en el valle de Quispa experimenta un clima frío, templado subhúmedo con una precipitación media de unos 900 mm, pero la región de Jalca experimenta un ambiente frío y húmedo con precipitaciones superiores a los 1000 m.

Sin embargo, de momento está mal distribuido. Las heladas suelen ocurrir en las planicies y valles, donde la precipitación varía significativamente entre años. La temporada de lluvias, que ocurre de octubre a abril, presenta un alto riesgo de inundaciones de las áreas agrícolas debido a las corrientes extraordinarias del río, y la temporada de sequía, que ocurre de mayo a septiembre.

Con el fin de proporcionar información para futuros estudios orientados a mejorar las zonas susceptibles a inundaciones, este estudio ha identificado las zonas propensas a inundaciones, teniendo en cuenta el caudal máximo extraordinario en la confluencia de los ríos La Quispa y Encañada. Asimismo, ha elaborado mapas de inundación y peligrosidad para las zonas

agrícolas y ganaderas del centro poblado Rosario de Polloc, en el distrito de La Encañada-Cajamarca.

## **1.2. PROBLEMA**

El centro poblado de Rosario de Polloc, ubicado el distrito de La Encañada, alberga tierras de cultivo y ganadería, valles que convierten en un lugar propicio para las inundaciones. Este estudio permitió identificar y cuantificar estos lugares debido a las mayores crecidas del río La Quispa. Debido elevado caudal del río, estas zonas agrícolas y ganaderas en ambos márgenes del río hace que las inundaciones sean motivo de preocupación, ya que una crecida máxima supondría importantes y cuantiosas pérdidas económicas para la población local; sin embargo, no existen estudios de zonificación que consideren el alto riesgo de inundación. Es por ello que se hizo un recorrido por el tramo en estudio del río La Quispa para buscar evidencias de inundaciones y observar los daños que el río causó a un puente. Con esta información se calculó el caudal de crecida y el tiempo de retorno, y se crearon mapas de peligrosidad que mostraban las zonas con mayor probabilidad de inundación.

Por lo cual la presente investigación tuvo como pregunta principal ¿Cuáles con las áreas inundables en la subcuenca del Río La Quispa, tramo Centro Poblado Rosario De Polloc del distrito de La Encañada-Cajamarca, frente a fenómenos pluviométricos extraordinarios?

## **1.1. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION**

### **1.1.1. Justificación Científica**

Ante las innumerables inundaciones que vienen ocurriendo en nuestro país, y la falta de información que se tiene de las posibles zonas afectadas por máximas avenidas, es que se ha tenido a bien realizar la presente investigación, para así dejar una propuesta de solución a los posibles daños que pueda causar el desborde del río La Quispa, mitigando así el impacto negativo que pueda tener hacia la población del centro poblado de Rosario de Polloc, para dicho fin se utilizó un modelamiento hidráulico a detalle, este modelamiento aplica métodos geomorfológicos e hidráulicos con un conocimiento científico y un correcto uso de información hidrológica con diferentes tiempos de retorno, prevé dotar un modelo de mapa de inundaciones aplicada al análisis de peligrosidad para las áreas agrícolas.

### **1.1.2. Justificación Técnica Practica**

Con la identificación de áreas inundables provocadas por el posible desborde del río y la propuesta de solución se busca beneficiar a toda la población aledaña al río La Quispa del centro poblado de Rosario de Polloc, la cual se verá enormemente beneficiada ya que los terrenos aledaños a mencionado serán afectados mínimamente por máximas avenidas de dicho río, la presente investigación se presentará a las autoridades correspondientes, con lo cual se brindará información de áreas afectadas y propuestas de solución, que serán de gran utilidad al momento de concretizar los respectivos proyectos, siendo una herramienta útil para la planificación de las estrategias de mitigación ante inundaciones

### **1.1.3. Justificación Personal e Institucional**

En el ámbito personal e institucional el presente estudio tiene por finalidad el poder aportar de manera personal con estudios e investigación de las zonas propensas a ser inundadas que es uno de los principales problemas de la sociedad actual que carece de información sobre planificación urbanística. Conociendo el problema principal se estima que el presente estudio está plenamente justificado, que gracias a esta investigación se podrá utilizar para estudios de diferentes proyectos a realizar, logrando así contribuir con la sociedad, cabe mencionar que también servirá como ayuda literaria para incentivación de estudios de dicha índole.

## **1.2. ALCANCES**

En este estudio se identificó las áreas bajo riesgo de inundación de un tramo del río La Quispa que permitió simular el desplazamiento del cauce mediante un modelo matemático bidimensional Iber, desarrollado por el equipo de investigación FLUMEN del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La investigación contó con datos de la estación pluviométrica La Encañada, desde el año 1998 hasta el año 2021.

Con la finalidad de facilitar estudios para una mejor toma de decisiones a futuro aplicando medidas de prevención, protección en áreas aledañas al río y en la planificación en el ordenamiento territorial.



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Identificar las áreas inundables mediante el Modelamiento Hidráulico del Río La Quispa, tramo Centro Poblado Rosario de Polloc del distrito de La Encañada-Cajamarca, bajo diversas probabilidades de certidumbre.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Estimar el caudal de máxima avenida teniendo en cuenta la huella hídrica encontrada en campo y determinar su período de retorno.
- Reunir y analizar datos hidrológicos (intensidades máximas de precipitaciones).
- Caracterizar la subcuenca del río La Quispa.
- Determinar el caudal que afectó dicha zona en estudio
- Determinar los puntos críticos de desbordamiento mediante el modelado hidráulico en las zonas propensas a inundaciones.

En los capítulos siguientes se describirá brevemente lo que se realizó:

Capítulo II. El marco teórico consta de antecedentes teóricos que incluyen revisiones de trabajos previos que proporcionan información sobre el tema; las bases teóricas son un conjunto de conceptos y propuestas destinados a explicar el problema planteado.

Capítulo III. Materiales y Métodos que describen el lugar donde se llevó a cabo la investigación y el procedimiento que es cómo se implementó la metodología utilizando los instrumentos y equipos adecuados.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados, mediante el cual los resultados de la investigación proyectada se conectan con la descripción del problema para obtener conclusiones pertinentes.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: Cuando los objetivos predeterminados proporcionan resultados, se hacen sugerencias o peticiones para mejorar una investigación valiosa. Finalmente, los anexos, que son los documentos adjuntos de la investigación, y las referencias bibliográficas, que incluyen una reseña de cada fuente utilizada en la investigación. Para llegar a las conclusiones correspondientes, se analizan y discuten los hallazgos de la investigación y se relacionan con el planteamiento del problema.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación**

1. El Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] (2014, p. 9) en el libro *“Metodologías Para La Determinación De Riesgos De Desastres A Nivel Territorial”* Analiza cómo las fuertes lluvias combinadas con la geografía física del área, como la permeabilidad y degradación del suelo, la topografía, la vegetación y el uso de la tierra en general, pueden causar que la escorrentía de las inundaciones aumente la superficie terrestre. Estas inundaciones pueden ser inundaciones por lluvia e inundaciones de ríos. Cuanto más cerca esté la red de drenaje, más catastrófico será el evento.

2. Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2016, p.7) En la publicación *Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2015-2016”* Se habla de comunidades en peligro y se indica que durante el período de 2003 a 2013, se han registrado 1,735 inundaciones y 613 huaicos, en los departamentos de Cusco, Huánuco, Huancavelica, Junín, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca y Lima, los cuales han sido los más afectados. En este período, estos eventos han causado 80 muertes, 756,724 daños, 85,962 viviendas destruidas, 371 instituciones educativas destruidas y 137 centros de salud destruidos.

3. Quiliche (2014, p.1) Según la tesis *“Mitigación del riesgo por inundación del caserío Huaquillo mediante la construcción de gaviones tipo caja en la quebrada Timaruca - San Ignacio”*, Se utilizó el estudio hidrológico y la modelación hidráulica de la quebrada Timaruca para evaluar el peligro de inundación, y el resultado fue que la zona de estudio presentaba un alto peligro de inundación. Encuestando a 20 viviendas al margen de la ribera, donde la zona de estudio mostró un alto grado de vulnerabilidad, se evaluó el grado de vulnerabilidad física elaborado en función de sus indicadores. El caserío de Huaquillo tenía un alto riesgo de inundación según la matriz de doble entrada, peligro y vulnerabilidad. Se determinó que se debería reducir el riesgo mediante la construcción de gaviones tipo caja para proteger la zona rural expuesta a inundaciones.

### **2.2. Bases teóricas**

#### **A. Inundaciones**

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], (2011, p. 11-13) Ha realizado un manual en el cual define que “las inundaciones se producen cuando se alcanza el volumen máximo de

transporte de un río, el cauce principal se desborda y la zona circundante se inunda debido a unas precipitaciones elevadas o continuas que superan la capacidad de campo del suelo”.

“Además de causar daños a la vida de las personas, a sus propiedades y a las infraestructuras, las inundaciones también perjudican gravemente al ecosistema y al suelo de las terrazas fluviales. Las fuentes de agua se erosionan y sedimentan como consecuencia de las inundaciones”.

“Todos estos factores son evidentemente observables y, por lo tanto, predecibles; sin embargo, no es fácil controlarlos. La ocupación humana de las llanuras aluviales, que busca constantemente aprovechar los recursos naturales y construir sus hogares cerca de ellos, ha sido crucial y ha aumentado la gravedad del peligro. Las implicaciones detalladas se enumeran a continuación. De acuerdo con la definición del INDECI, el grado o nivel de peligro de inundación puede determinarse utilizando determinados parámetros.

## **A.1. Tipos de Inundaciones**

### **A.1.1 Según su duración**

- **Inundaciones dinámicas o rápidas:**

“Debido al exceso de precipitaciones, se producen en cuencas de fuerte pendiente. Las crecidas fluviales se producen rápidamente y sin previo aviso. Como su tiempo de reacción es casi nulo, son las que más daño causan a las infraestructuras y a la población.”.

- **Inundaciones estáticas o lentas:**

“Si las precipitaciones son persistentes y generalizadas, hacen que los arroyos y ríos aumenten gradualmente hasta exceder su capacidad de carga, lo que provoca que los ríos se desborden de sus orillas e inunden las zonas planas cercanas”.

### **A.1.2 Según su origen**

- **Inundaciones pluviales:**

“Se produce cuando la precipitación se acumula en un lugar o región específicos; no tiene por qué ocurrir simultáneamente con el desbordamiento del cauce de un río. Este tipo de inundación se produce por un régimen de precipitaciones intenso o prolongado, que puede ser causado por un gran volumen de precipitaciones que caen sobre un suelo no permeable en un corto espacio de tiempo, o por precipitaciones moderadas y persistentes que caen durante un largo periodo de tiempo”.

- **Inundaciones fluviales:**

“Resultado de la crecida de ríos y arroyos. Está relacionado con el fenómeno conocido como inundación, que se produce cuando hay un aumento brusco del volumen de agua por encima de lo que un lecho o cauce puede contener sin desbordarse (consecuencia de un exceso de precipitaciones)”.

- **Inundaciones por operaciones incorrectas de obras de infraestructura hidráulica o rotura:**

Por pequeña que sea, la rotura de una presa puede tener efectos desastrosos para el medio ambiente, las infraestructuras y las personas, además de la población. En este escenario, cuanto mayor sea el caudal, menor sea el tiempo de propagación y más significativos sean los elementos ya presentes en la zona impactada (infraestructuras comunitarias que prestan servicios esenciales, núcleos de población, espacios naturales protegidos, explotaciones agrícolas, etc.), más perjudicial será la propagación de la onda de agua. Los desbordamientos también pueden producirse cuando la acumulación de troncos y sedimentos obstruye cursos de agua naturales o artificiales.

## **A.2. Criterios para la determinación del nivel o grado de Peligrosidad**

### **A.2.1 Criterios Recomendados para Determinar el Grado de Peligrosidad.**

#### **Metodología**

“La peligrosidad viene determinada por la intensidad del fenómeno y la probabilidad de que se produzca. La intensidad propiamente dicha puede describirse en función de la duración de la inundación, la profundidad y la velocidad del agua”.

$$\text{Peligro por inundación} = f (\text{Intensidad} \times \text{Probabilidad de ocurrencia})$$

#### **Donde:**

**Intensidad** =  $f$  (profundidad de agua, duración, velocidad)

**Probabilidad** =  $f$  (precipitaciones, eventos desencadenantes (tormentas), cambios climáticos).

### **A.3. Criterios recomendados para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación.**

El Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [INETER y COSUDE], (2005, p. 15-17) menciona que “las normas sugeridas para determinar la gravedad de una inundación varían en función de su tipo. La profundidad o altura del flujo se tiene en cuenta para las inundaciones estáticas, pero; sin embargo, se aconseja utilizar el producto de la profundidad y la velocidad del flujo para las inundaciones

dinámicas (siempre que esta fórmula produzca valores de intensidad mayores que la anterior)”).

Al definir los umbrales entre los niveles de intensidad muy alta, alta, media y baja, se ha tenido en cuenta la amenaza que una determinada columna de agua puede suponer para las viviendas, las infraestructuras y la vida de sus ocupantes.

En la siguiente tabla se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

Tabla 1 Niveles de intensidad para Inundaciones

<b>Niveles de intensidad</b>	<b>Profundidad del flujo (H)(m) (Inundaciones estáticas)</b>	<b>Profundidad x vol. Del flujo (m<sup>2</sup>/s) (Inundaciones dinámicas)</b>
Alta	$H \geq 1.0$	$H * V \geq 1.5$
Medio	$0.5 \leq H \leq 1.1$	$0.5 \leq H * V \leq 1.5$
Bajo	$0.25 \leq H \leq 0.5$	$H * V < 0.5$ y $H \geq 0.25m$

Fuente: Tomado de INETER/COSUDE, 2005

## **B. Hidrología**

Chow et al. (1994, p. 14) La hidrología estudia cómo se distribuye el agua en la Tierra, sus características y su comportamiento. Incluye el recurso natural en todas sus formas superficiales y subterráneas.

### **Cuenca Hidrográfica (Hídrica)**

Es la zona geográfica que se caracteriza naturalmente por los diversos flujos hídricos que se encuentran dentro de ella.

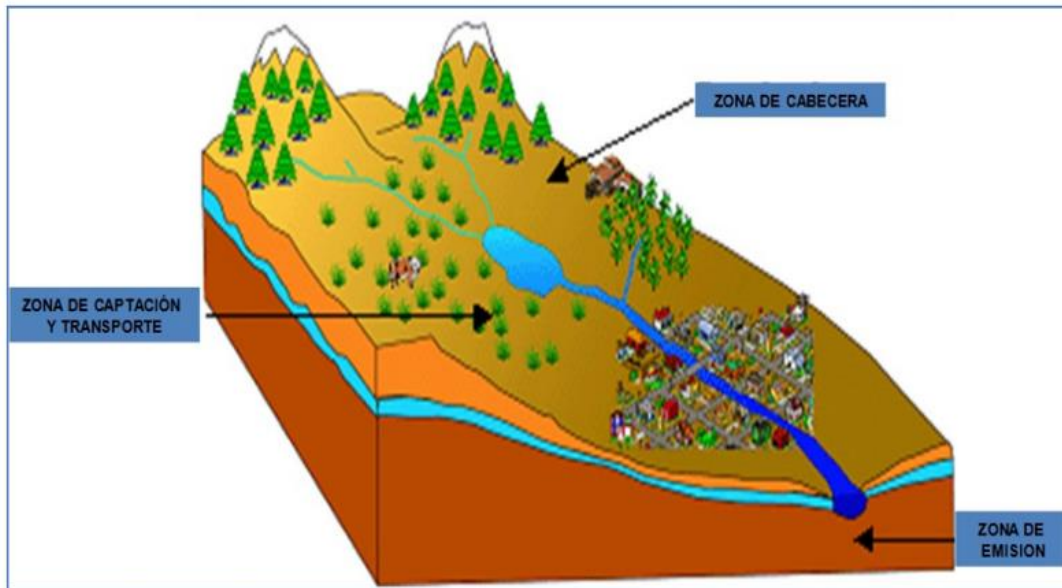


Figura 1: Zonificación de la cuenca, por Pladeyra, 2003.

Tarazona (2016, p. 7) Se puede clasificar una cuenca en función del tipo de agua en circulación para dar una mejor idea de cómo se define. Por lo tanto, las cuencas hidrográficas se consideran una unidad morfológica que solo incluye aguas superficiales, mientras que las cuencas hidrológicas poseen un concepto más integral, más amplia, que incluye aguas superficiales y subterráneas.

### Características físicas de la Cuenca

#### a. Área de la cuenca (A)

Córdova (2015, p. 5) Es el área del suelo donde el agua de lluvia fluye a través de canales secundarios o arroyos que conectan el canal primario a un punto de drenaje común.

A continuación, se muestra los componentes en una cuenca (ver Figura 2).

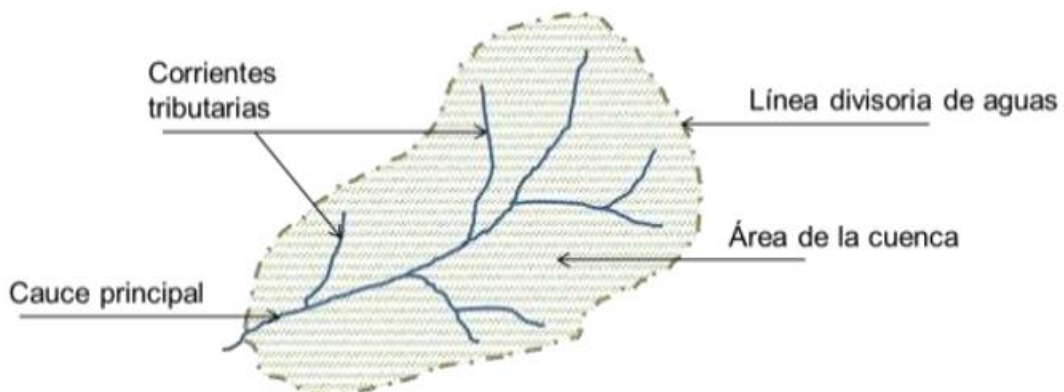


Figura 2: Componentes en una cuenca, por Córdova, 2015.

Basada en la dimensión de la cuenca:

Tabla 2: Clasificación de tamaños de cuencas.

Rango de áreas (Km <sup>2</sup> )	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Nota: Tomado de Campos Aranda 199.

### b. Perímetro de la cuenca (P)

Villón (2002, p. 32) Se refiere al borde de la forma de la cuenca.



Figura 3: Perímetro de una cuenca, por Máximo Villón, 2012.

### c. Longitud de la Cuenca (Lc)

Ibáñez et al. (2017, p. 6) afirma que es la longitud de su cauce principal.

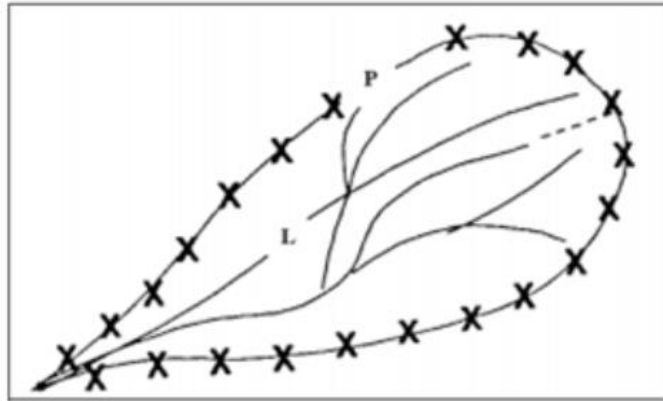


Figura 4: Longitud y perímetro de una cuenca, por Ibañez, Moreno, Gisbert, 2017.

**d. Ancho promedio (B).**

Gaspari et al. (2012, p. 147) afirma que se define como el área de la cuenca y la longitud del cauce principal.

$$B = \frac{A}{L} \quad (1)$$

Donde:

B= Ancho de promedio km

A= Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

L= Longitud del cauce principal en km.

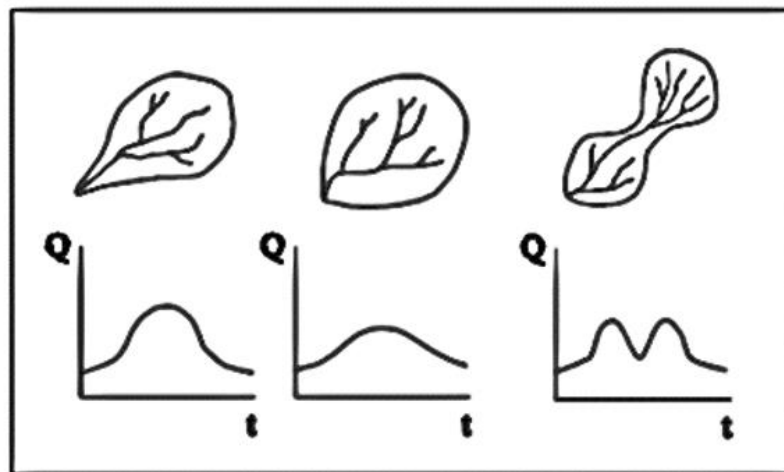


Figura 5: Influencia de la forma, por Ibañez, Moreno, Gisbert, 2017.

En la Figura 5, ante una lámina precipitada igual, vemos varios hidrogramas para cuencas con la misma área y formas; demuestra una alta probabilidad en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros.



**a. Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)**

SENAMHI (2011, p. 20) También denominado coeficiente de compacidad o de Graveliús, definida como la relación entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de un círculo de área “A” de la cuenca hidrográfica, es decir, equivalente.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Kc = Coeficiente de compacidad.

P = Perímetro de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

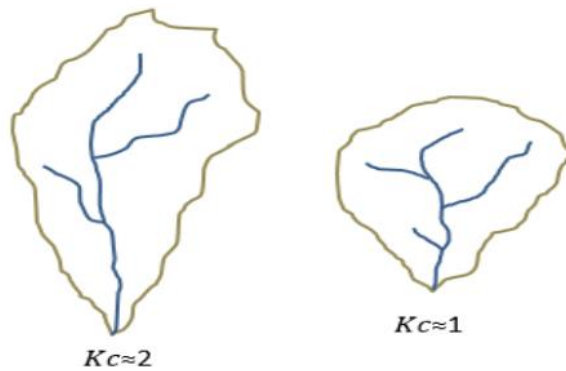


Figura 6: Comparación de la forma de cuencas según valores del Coeficiente de Compacidad.

**b. Rectángulo equivalente**

Ibáñez et al. (2017, p. 7) afirma que la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular con lados L y l del mismo perímetro de tal manera que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo.

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (3)$$

$$l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (4)$$

Donde

L = altura del rectángulo en km

l = base del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A = superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

### c. Factor de forma

Gaspari et al. (2012, p. 147) “se relaciona el ancho promedio de una cuenca y la longitud del río en el punto más alto”:

$$Ff = \frac{B}{L_c} \quad (5)$$

Donde:

Ff = Factor de la forma.

A = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

B= Ancho promedio de la cuenca

L = Longitud de la cuenca en Km.

Villón (2011, p. 40) afirma que, “si una cuenca tiene un F mayor que otra, es más probable que haya una tormenta intensa en toda el área de la cuenca. Por otro lado, si la cuenca tiene un F menor, es menos probable que las intensidades de lluvia se concentren en un área similar, pero con un F mayor”.

Tabla 3: Valores Interpretativos del Factor forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada, ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Nota: Tomado de Sellers, 2017.

## Parámetros de relieve

### a. Altitud Media (H)

Villón (2011, p. 37-38) afirma que es la curva hipsométrica ordenada media.

$$H = C * \frac{\sum(Hi * Ai)}{A} \quad (6)$$

Donde:

Hi = i-ésima altura correspondiente al área parcial Ai

A = área de la cuenca

Ai = áreas parciales

N = número de áreas parciales de la cuenca

### b. Pendiente de la cuenca (Sc).

Villón (2011, p. 49-52) Es uno de los componentes que regulan el tiempo de escurrimiento y la cantidad de lluvia presentes en los canales de drenaje, y tiene un impacto directo en la relación entre la magnitud de las crecidas y la cantidad total de lluvia.

$$Sc = C * \frac{\sum Li}{A} \quad (7)$$

## Parámetros de la red hidrográfica

### a. Sistema de drenaje

Un cauce principal y sus cauces tributarios componen el sistema de drenaje. La red de drenaje tiene más ramificaciones cuanto más largo sea el cauce principal de agua.

### b. Orden de los cauces

Aparicio (1996, p.21) Hay diversos criterios para obtener el orden de cauces y poder cuantificar la magnitud de la red de drenaje en la esorrentía superficial. En este artículo se utilizará el modelo de Strahler consiste en asignarle un número a cada cause desde la parte superior de la cuenca hasta llegar al cause principal. (ver Figura 7).

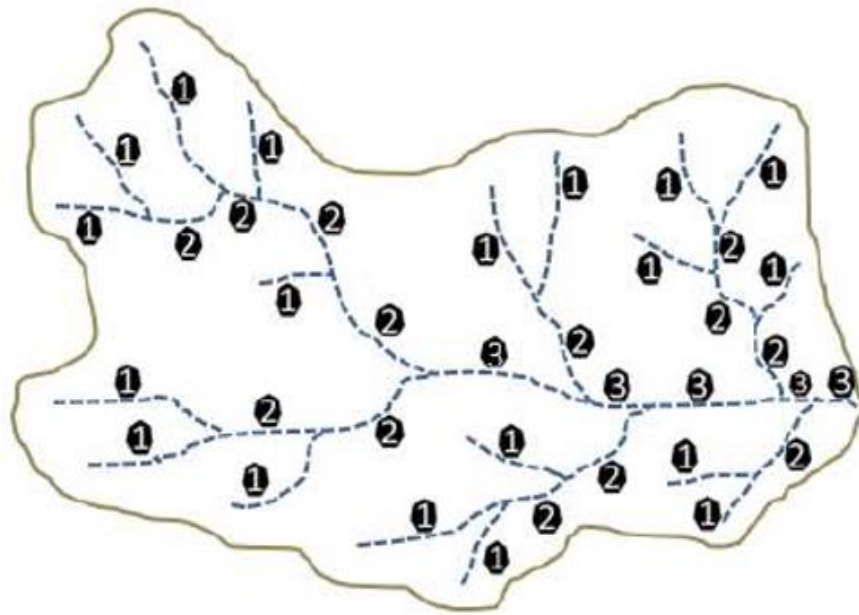


Figura 7: Ramificación de un cauce principal según el modelo de Strahler.

### Selección del Período de Retorno

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2011, p. 17-18) afirma que el período de retorno "T" es el tiempo promedio, en años, en el que el valor del caudal pico de una creciente específica es igual o superior una vez cada "T" años.

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (8)$$

Donde:

R: riesgo de falla admisible

T: período de retorno en años

N: vida útil en años

### Análisis estadístico de datos Hidrológicos

#### Modelos de distribución

MTC (2011, p. 20-25) Nos dice que, mediante el uso de modelos probabilísticos, que pueden ser discretos o continuos, el análisis de frecuencias pretende estimar las precipitaciones, las intensidades o los caudales máximos, según proceda, para varios periodos de retorno. Existen varias funciones teóricas de distribución de probabilidad en estadística. Se recomienda utilizar las siguientes:

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

### **Distribución Gumbel**

“La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión”:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (9)$$

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

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (10)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (11)$$

Donde:

$\alpha$ : Parámetro de concentración.

$\beta$ : Parámetro de localización.

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

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad (12)$$

Donde:

$\chi$ : Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$ : Media de la serie.

k: Factor de frecuencia.

### Pruebas de bondad de ajuste

Se utilizan para determinar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

#### Prueba Kolmogorov – Smirnov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$ :

$$D = \text{máx} / F_o(x_m) - F(x_m) / \quad (13)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 4). Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de  $X^2$  de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(x_m) = 1 - m / (n+1) \quad (14)$$

Donde:

m = número de orden de dato

$x_m$  = lista de mayor a menor

n = número total de datos.

(Aparicio, 1992)

Tabla 4 : Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov

Tamaño de la Muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32

Nota: Tomado de Aparicio, 1999.

### **Estimación de Caudales**

MTC (2011, p. 36-41) afirma que cuando hay suficientes datos de aforo, se realiza un análisis estadístico de los flujos máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Los caudales se calculan utilizando la distribución más ajustada para períodos de retorno de interés estándar de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años.

### **Método Racional Modificado**

Para cuencas menores de 770 km<sup>2</sup> y cuyos tiempos de concentración (Tc) este entre 0.25 y 24 horas se puede utilizar la siguiente formula:

$$Q = 0.278 CIAK \quad (15)$$

Donde:

Q = Caudal máximo, en m<sup>3</sup>/s

C = Coeficiente de escorrentía, para el intervalo en el que produce I, sin dimensiones

I = Intensidad de precipitación máxima horaria, en mm/h

A = Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

k = Coeficiente de uniformidad

### **Tiempo de Concentración (Tc)**

Según el MTC (2011, p. 30) define “el tiempo que toma una gota para viajar desde el punto hidráulico más lejano hasta la salida de la cuenca”.

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (16)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, en min

L = Longitud del cauce mayor, en km

S = Pendiente promedio del cauce mayor, en m/m

### **Coeficiente de Uniformidad**

$$K_A = 1 - \left( \text{Log} \frac{A}{15} \right) \quad (17)$$

Donde:

A = Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d \quad (18)$$

Donde:

$K_A$  = Factor reductor

$P_d$  = Precipitación máxima diaria, en mm

### Intensidad de precipitación (I)

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) * (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (19)$$

Donde:

$P$  = Precipitación máxima corregida, en mm

$T_c$  = Tiempo de concentración, en horas

### Coefficiente de Escorrentía (C)

“Es el agua que llega al cauce de evacuación, representa una fracción de la precipitación total. Esta proporción, denotada por el símbolo  $C$  y conocida como coeficiente de escorrentía, es adimensional”

“Para obtener el valor de  $C$  se utiliza la media ponderada de las superficies de características variables que componen la cuenca”.

$$C = \frac{(P_d - P_0) * (P_d + 23 * P_0)}{(P_d + 11 * P_0)^2} \quad (20)$$

Donde:

$P_d$  = Precipitación máxima diaria, en mm

$P_0$  = Umbral de escorrentía =  $\left(\frac{5000}{CN}\right) - 50$

$CN$  = Número de curva

Tabla 5: Condición de humedad antecedente propuesto por SCS

Condición de humedad antecedente (CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	menor de 1.3	menor de 3.5
II (media)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III (húmeda)	más de 2.5	más de 5

Nota: Tomado de Villon, 2011.



Tabla 6: Condición Hidrológica

Cobertura Vegetal	Condición Hidrológica
> 75 % del área	buena
entre 50% y 75% del área	regular
< 50 % del área	pobre

Nota: Tomado de Villon, 2011.

Tabla 7: Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e Ia = 0.2S)

Cobertura			Número de Curva			
Tipo de vegetación	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivo	Surcos rectos	-	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	buena	65	75	82	86
Pequeños granos	Surcos rectos	pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80

Continuación tabla 7

Cobertura			Número de Curva			
Tipo de vegetación	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Pastizales o similares	-	pobre	68	79	86	89
	-	regular	49	69	79	84
	-	buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
Pradera	-	buena	30	58	71	78
Bosques	-	pobre	45	66	77	83
	-	regular	36	60	73	79
	-	buena	25	55	70	77
Patio	-	-	59	74	82	86
Caminos, incluyendo derecho de vía	Cieno	-	72	82	87	89
	Superficie firme	-	74	84	90	92

Nota: Tomado de Villon, 2011.

Tabla 8: Valores de los grupos hidrológicos

Descripción del uso de la Tierra	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frío	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83

Nota: Tomado de ANA, 2015

Tabla 9: Reclasificación del Mapa de suelo

Descripción De Suelos	Simbología	Grupo Hidrológico
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístrico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístrico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Regosol dístrico - Cambisol dístrico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico - Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éutrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éutrico - Cambisol éutrico	CMd-ACh-LXh	C

Nota: Tomado de ANA, 2015

### C. Hidráulica fluvial

“El estudio de la hidráulica fluvial examina el comportamiento hidráulico de los ríos en relación con los caudales y niveles medios y extremos, velocidades de flujo, variaciones del fondo causadas por la socavación y la sedimentación, la capacidad del río para transportar sedimentos y los asaltos en los márgenes”.

#### a) Corrientes Naturales

Espinoza et al. (2013, p. 17-18) “Caracterizados por flujo variable, el transporte de sedimentos, los procesos de erosión, los cambios morfológicos y el potencial para causar inundaciones en regiones cercanas son algunas de sus características”.

#### b) Clasificación de ríos

“Los ríos pueden clasificarse en función de diversos factores, como los siguientes:

**Según periodo de Actividad.** - Pueden ser perennes, estacionales, transitorios, o alóctonos.

**Según su edad.** - Se clasifican en jóvenes, maduros y viejos.

**Según su geomorfología.** - Pueden ser rectos, trenzados o meándricos.

**Según sus grados de libertad.** - Pueden clasificarse en ríos de uno, dos, o tres grados de libertad.

**Por tramos.** - Pueden ser de alta montaña, montaña, falda de montaña, intermedio y de planicie”.

### c) **Morfología Fluvial**

Encargada del estudio de la variación geométrica de los ríos en sus tres dimensiones: perfil longitudinal, la sección transversal y el alineamiento del canal, y el mecanismo mediante el cual el río ha llegado a estas formas.

La topografía y la geología de un río determinan su comportamiento fluvial. Las formas de los ríos son infinitas, pero una clasificación para su estudio es la siguiente: Meándricos, arteriales y anastomosados. La forma de estos ríos se puede ver en la Figura 8.

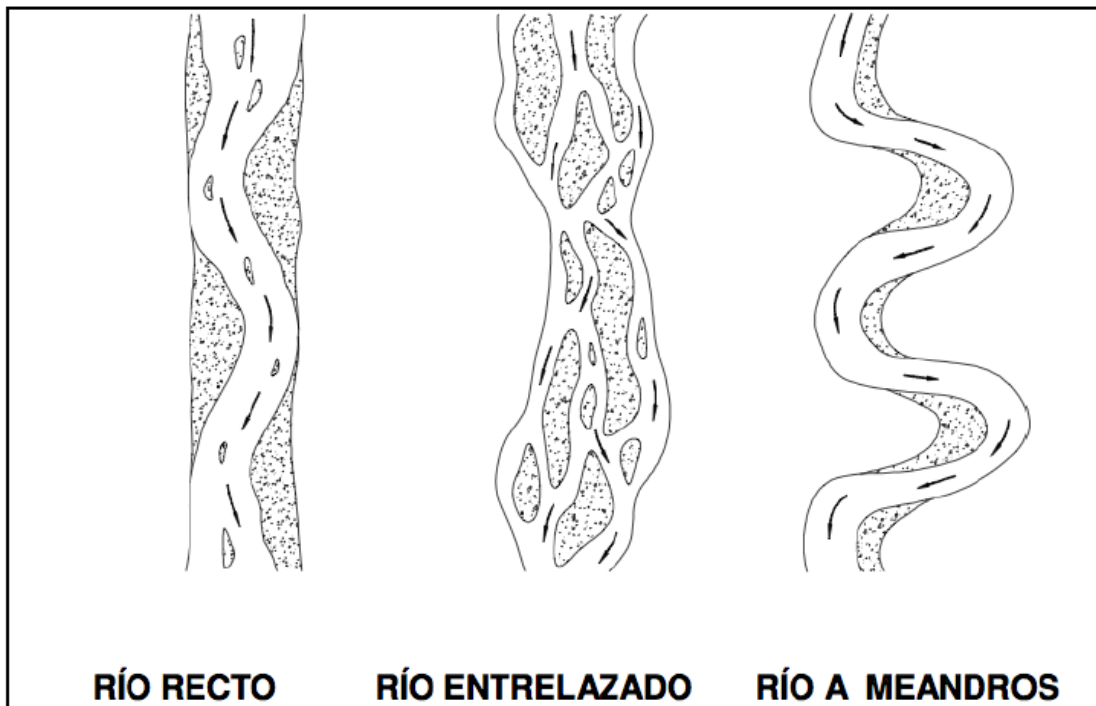


Figura 8: Clasificación de ríos según su forma, por Arturo Rocha, 1998.

**Ríos Rectos.** –“Presentan una baja sinuosidad y son de un canal, tanto la capacidad erosiva como el flujo de energía son elevados”.

**Ríos Anastomosados.** – “Tienen una gran capacidad tanto de transporte como de sedimentación, al carecer de la energía de las corrientes rectilíneas, tienden a alterar su curso en respuesta a los obstáculos, teniendo en cuenta el relieve y los sedimentos del fondo del canal dando como resultado, crear vastas llanuras aluviales e islas”.

“Los ríos entrecruzados son variables e impredecibles. Pueden formar islas transitorias porque contienen una gran cantidad de sólidos”.

**Ríos Meándricos.** – “Son de un canal y de alta sinuosidad. La unidad geométrica conocida como meandro es su característica principal. Las curvas en el canal producen dos velocidades diferentes en ambas orillas”.

#### d) Geometría Hidráulica

Martin (2003, p. 29) “Las características geométricas de los ríos se pueden contar con observaciones bastante básicas que indican conexiones empíricas entre ellos. Este es el ejemplo del motivo detrás de los meandros”.

En los ríos con meandros, se reconocen algunas relaciones empíricas entre la longitud de onda de la forma  $\lambda$  (Figura 9), su amplitud  $a$ , el caudal  $Q$  y la anchura del cauce en la superficie libre  $B$ , a pesar de la lógica dispersión de los datos de campo.

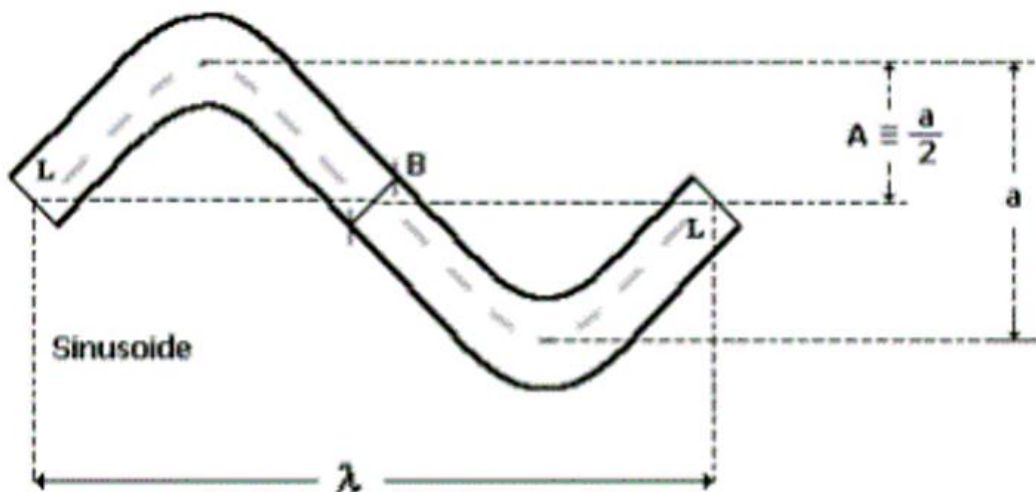


Figura 9: Parámetros de una planta sinuosa, por Martín Vide- Ingeniería de Ríos

- La longitud  $\lambda$  es de 7 a 11 veces la anchura del río  $B$  siendo lo más común  $\lambda/B=10$ .
- La amplitud  $a$  es unas 3 veces la anchura  $B$ , aunque esta última relación tiene menos fundamento, debido a que cambia durante la evolución de un meandro, mientras que por el contrario la relación  $\lambda/B$  puede permanecer invariable.
- $\lambda$  es proporcional a  $Q^{0.5}/D^{0.3}$ .

#### e) Caudal Dominante

Espinoza et al. (2013, p. 19) explica que hay que emplear el caudal que da origen a la geometría hidráulica estudiada porque el caudal de un río no es continuo.

Si una geometría es permanente, es porque algunos caudales pueden ser decisivos por su frecuencia, amplitud o una mezcla de ambas.

Debido a esto, se le conoce también como caudal formativo o dominante a este caudal de cauce lleno.

## **D. Modelamiento Hidráulico**

### **1) Modelamiento numérico**

#### **Modelo Bidimensional Iber**

Bladé et al. (2014, p. 1-2) menciona que “Iber es un modelo matemático en 2 dimensiones para la simulación de caudales en ríos y estuarios. Iber es un modelo numérico desarrollado con el objetivo de promover las necesidades técnicas específicas de la hidrografía mediante la aplicación de la legislación vigente del sector del agua. Algunas áreas de uso de la versión actual de Iber son:

- Simular el flujo libre de lámina en cauces naturales.
- Evaluación de áreas vulnerables a inundaciones.
- Calcular las áreas de flujo preferentes.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Calcular redes de canales en lámina libre con hidráulica.
- Calcular los flujos de marea en estuarios.
- La estabilidad de los sedimentos que se encuentran en la cama.
- Procesos de sedimentación y erosión causados por el transporte de material granular.

“El modelo Iber tiene múltiples módulos de cálculo integrados. Estos módulos serán ampliados y complementados en futuras versiones del modelo, y se crearán otros nuevos. El modelo es gratuito y se puede descargar de su página web.”.

“Actualmente, el modelo Iber tiene cuatro módulos principales de cálculo: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia, un módulo de transporte de sedimentos y un módulo de calidad de agua. El resultado es una herramienta para la modelización numérica del flujo de agua y sedimentos en ríos y estuarios”.

#### **Ecuaciones**

Las ecuaciones de St.Venant bidimensionales resuelven el módulo hidrodinámico en Iber.

Estas son descritas como:

$$u_x = \frac{1}{h} \int_{Z_0}^{Z_S} \overline{u_x} dz \quad (21)$$

$$u_y = \frac{1}{h} \int_{Z_0}^{Z_S} \overline{u_y} dz \quad (22)$$

$$h = Z_S - Z_0 \quad (23)$$

Dónde:

$h$  Tirante en el punto del dominio estudiado.

$\overline{u_x}$  y  $\overline{u_y}$  Componentes horizontales de la velocidad tridimensional.

$u_x$  y  $u_y$  Componentes de la velocidad horizontal promediada en profundidad.

$Z_0$  Elevación del fondo.

$Z_S$  Elevación de la superficie de agua.

Por lo tanto, en los modelos bidimensionales trabajamos sobre un dominio bidimensional con 3 variables definidas en cada punto del dominio: el tirante y las dos componentes de la velocidad horizontal.

Con esta integración de las ecuaciones de Reynolds en la profundidad, se obtienen las ecuaciones bidimensionales del flujo en lámina libre o ecuaciones de Saint-Venant bidimensionales completas.

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_y)}{\partial y} = 0 \quad (24)$$

$$\frac{\partial(hu_x)}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x^2)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_x u_y)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(h + Z_0)}{\partial x} - \frac{\tau_{0x} + \tau_{sx}}{\rho} +$$

$$fhu_y + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} \quad (25)$$

$$\underbrace{\frac{\partial(hu_y)}{\partial t}}_{\text{Aceleración local}} + \underbrace{\frac{\partial(hu_x hu_y)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_y^2)}{\partial y}}_{\text{Aceleración Convectiva}} = \underbrace{-gh \frac{\partial(h + Z_0)}{\partial y}}_{\text{Fuerzas de Presión y gravedad}} - \underbrace{\frac{\tau_{0y} + \tau_{sy}}{\rho}}_{\text{Tensión de fondo y superficie}} +$$

$$\underbrace{fhu_x}_{\text{Fuerza de coriolis}} + \underbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y}}_{\text{Tensiones efectivas términos turbulentos otros términos del promedio en la vertical}} \quad (26)$$

Fuerza de coriolis

Tensiones efectivas términos turbulentos otros términos del promedio en la vertical

Donde:

$u_x, u_y$  Son las componentes de la velocidad integrada en la profundidad según  $x$  y  $y$ .

$z_0$  Es el eje de coordenadas vertical y

$h$  Es la profundidad de la lámina.

$\tau_0$  y  $\tau_s$  Son los tensores de tensiones contra el fondo y la superficie libre respectivamente.

$f$  El coeficiente de Coriolis para tener en cuenta la rotación de la tierra.

$T_{xy}$  Tensiones efectivas, ver ecuación (25)

$$T_{xy} = \frac{1}{h} \int_{z_0}^{z_0+h} \left( \rho v \left[ \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial x} \right] - \rho \overline{u'_x u'_y} - \rho (\bar{u}_x - u_x)(\bar{u}_y - u_y) \right) dz \quad (27)$$

En esta última expresión  $u'_x$  y  $u'_y$  son las fluctuaciones turbulentas de Reynolds de  $u_x$  y  $u_y$ , mientras que  $\bar{u}_x$  y  $\bar{u}_y$  son la variable promediada según:

$$\bar{u} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u dt \quad (28)$$

$$u = \bar{u} + u' \quad (29)$$



En su forma más general, las ecuaciones de aguas poco profundas bidimensionales pueden incluir los siguientes efectos:

- Presión hidrostática
- Pendiente del fondo
- Rozamiento del fondo
- Tensiones tangenciales viscosas
- Tensiones tangenciales turbulentas
- Rozamiento superficial por viento
- Fuerza de Coriolis
- Aportaciones puntuales o distribuidas de caudal

Si no se considera la fuerza de Coriolis, que para cauces de ríos no suele ser significativa, ni las tensiones efectivas, que tienen poca importancia con respecto a los otros términos, ni las tensiones producidas por el viento en la superficie libre, se pueden escribir las ecuaciones de Saint-Venant bidimensionales como:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_y)}{\partial y} = 0 \quad (30)$$

$$\frac{\partial(hu_x)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hu_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial x} + \frac{\partial(hu_x u_y)}{\partial y} = gh(S_{0x} - S_{fx}) \quad (31)$$

$$\frac{\partial(hu_y)}{\partial t} + \frac{\partial(hu_x u_y)}{\partial x} + \frac{\partial\left(hu_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial y} = gh(S_{0y} - S_{fy}) \quad (32)$$

### Proceso

Sanchez (2015, p. 6) afirma que “Para realizar simulaciones hidráulicas bidimensionales se debe tener una base sólida en hidráulica, dinámica de ríos y modelación numérica”.

Para realizar cálculos con Iber se deben seguir el siguiente procedimiento:

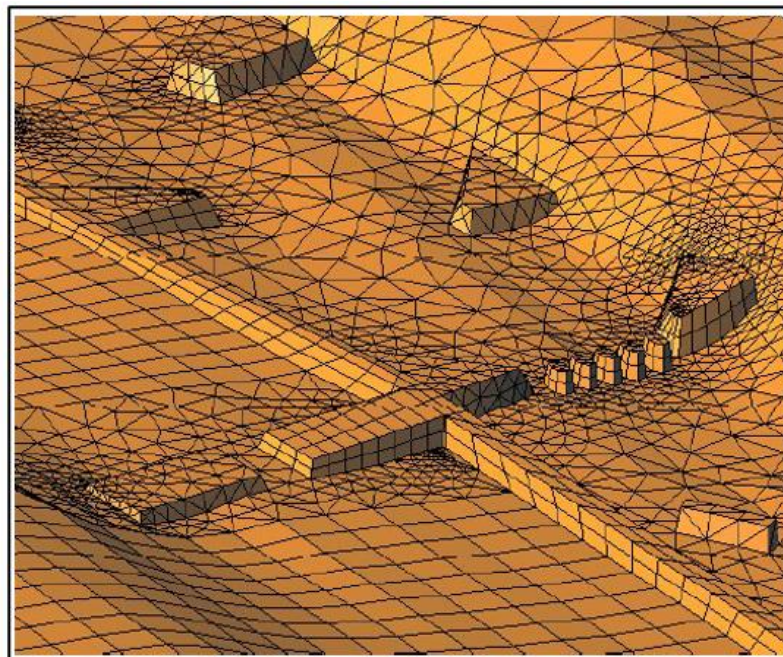
- Crear o importar geometrías
- Designar múltiples parámetros de entrada (rugosidad del fondo, modelo de turbulencia, etc.)
- Especificar restricciones y condiciones de inicio.

- Asignar opciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, activación de módulos adicionales)
- Crear una cuadrícula o malla de cálculo
- Iniciar el cálculo

### **Malla De Cálculo**

Guarniz (2014, p. 77) indica que “para resolver ecuaciones diferenciales mediante el método de volúmenes finitos, el dominio estudiado debe estar previamente discretizado espacialmente. Para ello, el dominio de investigación se divide en celdas de tamaño relativamente pequeño (cuadrícula computacional). Iber utiliza una cuadrícula no estructurada que consta de 3 o 4 elementos de borde. Los elementos irregulares de 3 y 4 lados se pueden combinar en una cuadrícula”.

“Trabajar con mallas no estructuradas tiene muchas ventajas, entre las que destaca su flexibilidad para adaptarse a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga una organización o estructura interna”.



*Figura 10:* Mallas no-estructuradas formadas por elementos de 3 o 4 lados, por Guarniz, 2014.

### **Condiciones de contorno**

Bladé et al. (2014, p. 3-4) afirma que “en problemas 2D es importante entender las diferencias entre contornos abiertos y cerrados. Los contornos de pared, también conocidos como contornos cerrados, son impermeables e impiden el paso de líquidos a través de ellos. Además, la presencia de perfiles en forma de pared en el fluido crea una fricción lateral

similar a la fricción causada por la fricción inferior. Debido a la separación de escalas horizontales y verticales, el área de contacto con el perfil lateral suele ser mucho menor que el área de contacto con la base, por lo que se puede despreciar la fricción del perfil de pared. En este caso, se impone una condición de deslizamiento libre en el circuito cerrado. En cualquier caso, si se considera el efecto de la fricción transversal, se pueden introducir condiciones de contorno similares a la fricción, consistentes en aplicar una fuerza tangencial en la frontera opuesta a la dirección del flujo. Hay varias formas de estimar e implementar esta fuerza, un método simple es aumentar artificialmente el coeficiente de Manning del área adherida a la pared para que la fricción total en esa área aumente”.

Chow (1994, p. 104) nos muestra la siguiente expresión:

$$n_{pared} = \left(1 + \frac{h}{\Delta x}\right)^{2/3} \quad (33)$$

Donde:

$n$ : es el coeficiente de Manning.

$n_{pared}$ : es el coeficiente de Manning mayorado.

$\Delta x$  : es la anchura de la zona influenciada por el rozamiento de la pared.

Cowan desarrolló un procedimiento para estimar el valor de Manning ( $n$ ) de un río, que es afectado por varios factores primarios. Se calcula mediante la ecuación 33.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (34)$$

Donde:

$n_0$  = valor básico de  $n$  para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales comprendidos

$n_1$  = valor agregado

$n_2$  = para corregir el efecto de irregularidades de superficie

$n_2$  = valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

$n_3$  = valor de obstrucciones

$n_4$  = valor para la vegetación y condiciones de flujo

$m_5$  = factor de corrección para los meandros del canal. Estos valores se seleccionan de la tabla 10.

Tabla 10: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning (n) del río

Condiciones de canal		Valores	
Material considerado	Tierra	<b>n0</b>	0.020
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	<b>n1</b>	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del canal	Gradual	<b>n2</b>	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015
Efectivo relativo de obstrucciones	Despreciable	<b>n3</b>	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	<b>n4</b>	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
Cantidad de meandros	Menor	<b>m5</b>	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Nota: Chow, V. 1994

### Tabla del coeficiente de rugosidad de Manning

Chow (1994, p. 108-111) nos enseña “la siguiente tabla en la que se observa una lista de valores de n para diferentes clases de canales.”

Tabla 11 : Valores de Rugosidad “n”

Tipo de Canal y Descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Corrientes Naturales			
B.1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
6. Tramos lentos con malezas pozos profundos	0.050	0.070	0.080
7. Tramos con mucha maleza, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
B.2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
d. Arboles			

Continuación tabla 11

Tipo de Canal y Descripción	Mínimo	Normal	Máximo
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual al anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
5. Igual al anterior, pero con nivel decreciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160

Fuente: (Chow, 1994)

Bladé et al. (2014, p. 22) manifiesta que “el número de condiciones impuestas al perfil abierto depende de si es un perfil de flujo de entrada o de salida y del tipo de régimen de flujo. En el límite (rápido/lento), demuestre matemáticamente el número de condiciones de límite que deben imponerse para que el problema esté bien planteado.”, (ver Tabla 12):

Tabla 12: Condiciones de contorno para el tipo de régimen.

Tipo de contorno	Régimen	Nº condiciones
Contorno entrada	Supercrítico	3
	Subcrítico	2
Contorno salida	Subcrítico	1
	Supercrítico	0

Nota: Tomado de CEA, L. & BLADÉ, E. 2014.

“Generalmente también se ingresa el caudal total de entrada aguas arriba (m<sup>3</sup>/s) en lugar del módulo de velocidad. En este caso, a falta de datos más precisos, la distribución de caudales unitarios (m<sup>2</sup>/s) se suele realizar en el perfil de entrada.”, según la ecuación 35:

$$q_n = \frac{h^{5/3}}{\int h^{5/3} dy} Q \quad (35)$$

Donde:

$q_n$ : es el caudal unitario normal en cada punto del contorno de entrada.

$Q$ : es el caudal total de entrada por dicho contorno.

La integral en el denominador se extiende a lo largo de todo el contorno considerado. Otras condiciones utilizadas habitualmente en los contornos abiertos son las siguientes:

- Calado constante en espacio y variable tiempo.
- Altura de la superficie libre constante en espacio y variable tiempo.
- Gradiente del calado nulo en dirección perpendicular al contorno.
- Gradiente de la superficie libre nulo en dirección perpendicular al contorno.
- Calado crítico.

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación de área de estudio

“El área de estudio se ubica en el distrito de Encañada, provincia de Cajamarca, al norte del Perú. El territorio se forma en forma de una franja sureste-noreste, de 16.8 kilómetros de ancho y 49.7 kilómetros de largo.

La capital distrital se ubica al noreste de la ciudad de Cajamarca a 34 km de la carretera Cajamarca-Celendín (asfaltada) sus coordenadas son: 07° 04' 54" latitud sur y 78° 20' 30" longitud oeste”.

#### Ubicación Política

Región/Dpto. : Cajamarca.  
Provincia : Cajamarca.  
Distrito : La Encañada.  
Comunidad : Rosario de Polloc.

#### Ubicación Hidrográfica

Vertiente : Atlántico.  
Cuenca : Crisnejas.  
Subcuenca : La Quispa

Unidad hidrográfica: Crisnejas.

#### Descripción General de la Cuenca, Ubicación y Demarcación de la Unidad Hidrográfica.

“El río La Quispa pertenece a la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) VI Maraón y se extiende por los departamentos de Amazonas, Ancash, **Cajamarca**, Huánuco, La Libertad, Lambayeque y Piura, en la zona nororiental del país; incluyendo ciudades como Bagua, Cajamarca, Celendín, Chota, Cutervo, Huari, Jaén, Pomabamba, San Marcos, Sihuas; abarca una superficie de 85 599 km<sup>2</sup>, limitando por el norte con la República del Ecuador, por el sur con la AAA VIII Huallaga, por el este con la AAA VIII Huallaga, y por el oeste con la AAA Huarney- Chicama y AAA Jequetepeque-Zarumilla”.

La Administración Local del Agua es una de las unidades administrativas de menor jerarquía que componen su área.



### Ubicación de tramo de estudio

El área estudio se llevó a cabo el valle de las zonas agrícolas en la parte baja del Centro Poblado de Polloc, en el tramo del río La Quispa en el centro poblado de Rosario de Polloc, en el distrito de La Encañada, comienza en la progresiva Km 0+00 m y termina en la progresiva 1+150 m. Se esta tomado como referencia de la ubicación geográfica de la confluencia de dos ríos (Encañada y La Quispa) con coordenadas UTM, Datum WGS 84, huso 17, zona Sur m. 9212063.79 N, 795938.39 E, en la tabla 13 se detalla el sistema WGS84 UTM.

Tabla 13: Ubicación geográfica.

PUNTO	TRAMO EN ESTUDIO	COORD. ESTE	COORD. NORTE	ALTITUD	DESCRIPCION
1	RÍO LA QUISPA	795938.39	9212063.79	2980	P. EMISOR

La investigación se llevó a cabo en el segundo semestre de 2023, primero recopilando información cartográfica y topográfica de la región en cuestión. Después, se procesaron datos para obtener parámetros geomorfológicos de la cuenca La Quispa del Centro Poblado Rosario de Polloc, y luego se realizó un modelado para identificar áreas que podrían verse afectadas por inundaciones.

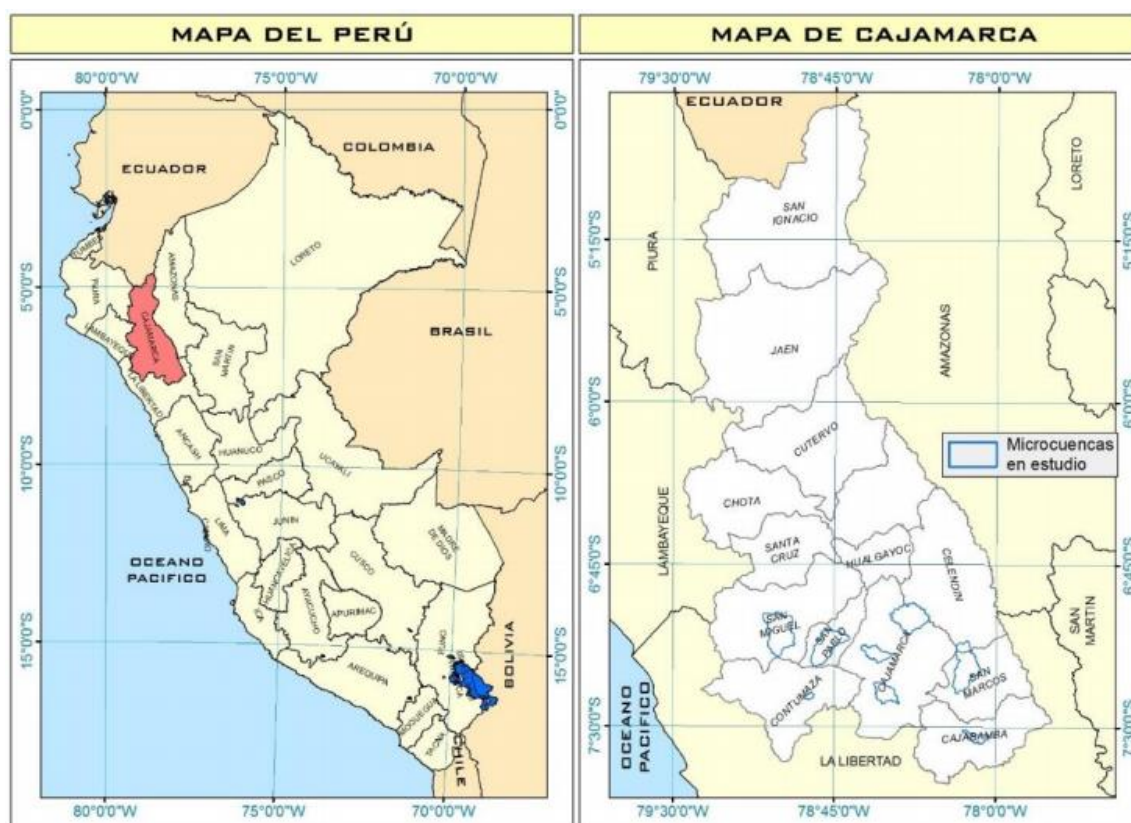


Figura 11: Ubicación Nacional y Regional Cajamarca, tomado de Fuente: Equipo Consultor PGM-MIRHAC

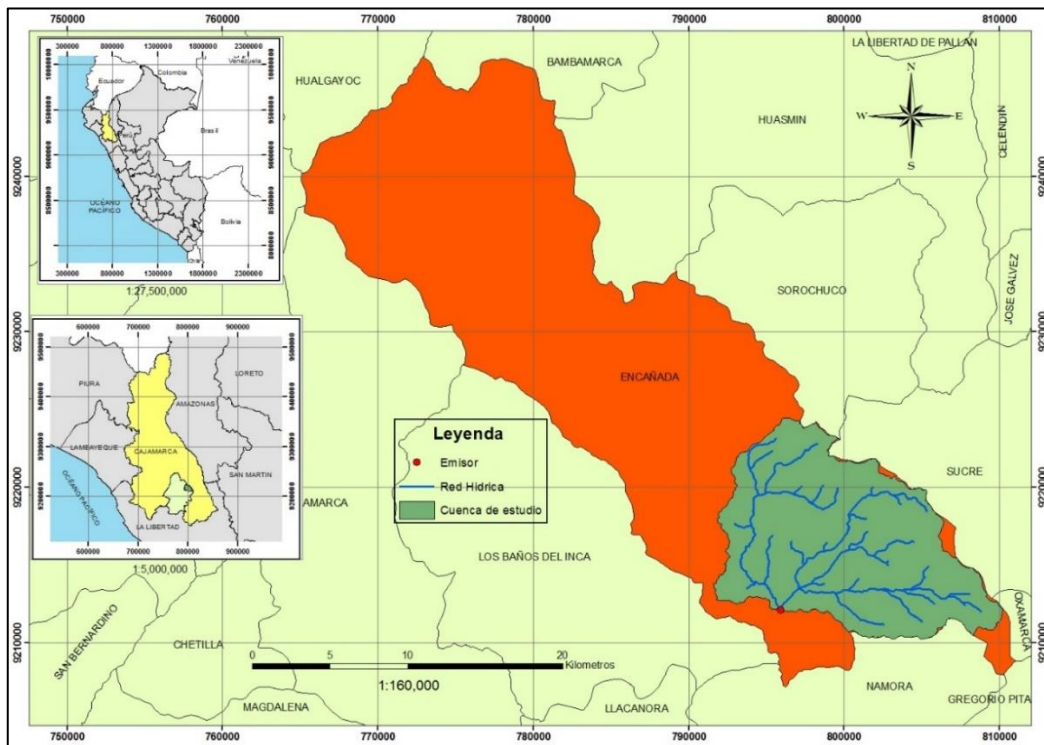


Figura 12: Ubicación de cuenca en estudio.



Figura 13: Imagen satelital de la zona de estudio en el tramo del Río La Quispa en el CC.PP Rosario de Polloc, Distrito de Cajamarca.

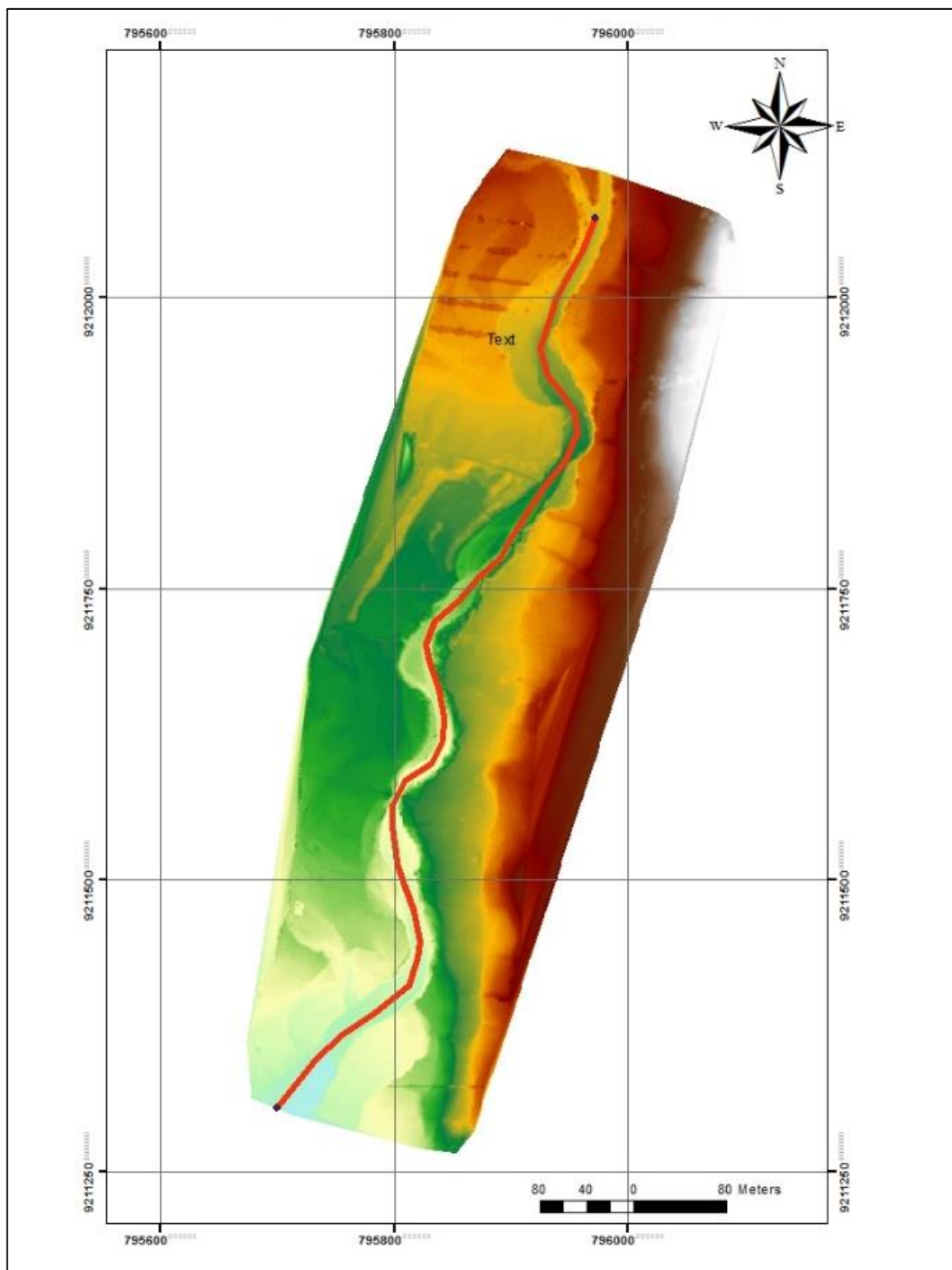


Figura 14: Raster del levantamiento topográfico de la zona de estudio en el tramo del Río La Quispa en el CC.PP Rosario de Polloc, Distrito de Cajamarca.

### **3.2. Materiales**

- Carta Nacional, cuadrante 15g, escala 1:100.000, trazada por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) en UTM (Universal Transverse Mercator), datum WGS84, al sur de la Zona 17.
- DEM descargado del satélite de la Nasa AP\_07367\_FBD\_F7040\_RT1.dem.tif, el cual tiene una resolución de 12.5 m por pixel.
- Registro Históricos de precipitaciones máximas en 24 horas de 20 años de la Estaciones meteorológica La Encañada a la zona del proyecto, reportados por el SENAMHI.
- Estacas, arena, cemento, esmalte y agua.
- Papel bond, block de notas y lapiceros.

#### **a. EQUIPOS**

- Laptop Qosmio, intel Core I7, 16 gb de ram y ssd de 750 gb.
- Drone Phantom 3.
- GPS Garmin GPSmap 62sc.
- Cinta métrica marca Redline (50 m).
- Cinta métrica marca Redline de aluminio (5 m).

#### **b. SOFTWARES**

- ArcGIS 10.3, SAS planet, Google Earth Pro, Microsoft Office 2013, Autocad Civil 2016.
- HydroCALC, programa para la calcular los parámetros geomorfológicos de la cuenca.
- Software de Modelamiento Hidráulico Bidimensional IBER v2.4.3.

### **3.3.Procedimiento**

El estudio empleó modelaciones hidrológicas e hidráulicas para recopilar datos de campo y medir la huella hídrica generada por una avenida máxima. Esta huella se envió al programa IBER v2.4.3. donde se determinó el caudal que la generó.

#### **a. Caracterización de la Cuenca de estudio**

La investigación comenzó con un trabajo de campo detallado para examinar las condiciones en la sección del río La Quispa. Estas visitas fueron necesarias para recolectar información de los residentes alrededor del sitio de estudio, especialmente los ancianos, para obtener información sobre las principales vías de comunicación de la zona. Se observa socavación en la margen izquierda del río, mayor concentración de sedimentos en la margen derecha del río también se acumula aguas abajo.



Se observaron algunas zonas ligeramente inundadas en la margen derecha del río, donde se observaron restos de agua de la crecida principal, provocando daños en los cultivos de los vecinos de la zona y provocando daños en el puente existente. Se recopiló información básica relacionada con aspectos hidrometeorológicos, topográficos, morfológicos y otros disponibles en campo y oficina, que permitieron proponer métodos de trabajo adecuados para estudios hidrometeorológicos y determinación de caudales en lugares de interés.

Tabla 14: Ubicación del punto emisor del tramo estudiado.

<b>ITEM</b>	<b>TRAMO EN ESTUDIO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>
1	RÍO LA QUISPA	795938.39	9212063.79	P. EMISOR



Figura 15: Selección del punto emisor.



*Figura 16:* Accesos para llegar a la zona de estudio.



*Figura 17:* Zonas agrícolas y ganaderas del área de estudio.





*Figura 18:* Canales de irrigación que serían afectados.



*Figura 19:* Visita de aguas arriba del tramo en estudio.



*Figura 20:* Ubicación de infraestructura de un puente en el tramo en estudio.



*Figura 21 :* Vestigios de inundación observados en el recorrido del río la Quispa.





*Figura 22* : Presencia de arena, indicativo de un desborde del río la Quispa.



*Figura 23* : Daños ocasionados a un puente del río la Quispa.





*Figura 24 : Vestigios de inundación observados en el río la Quispa.*



*Figura 25 : Colapso de un puente por una máxima avenida.*



*Figura 26 : Colapso de muros laterales en puente existente en la zona de estudio.*

#### ✓ **Información Cartográfica y Topográfica**

Mediante drones y GPS diferencial se hizo una recopilación de información topográfica del segmento seleccionado del río La Quispa; Se realizaron diagnósticos a lo largo del río, investigando unos 1152 ml, utilizando el siguiente punto de desembocadura (emisor): E 795938.39 y N 9212063.79.

La información cartográfica utilizada se puede obtener de diferentes formas, por ejemplo, de los mapas nacionales elaborados por el IGN en UTM WGS84 17S en escala 1:100.000, cuadrante 15-g o el servidor de la NASA, se utilizó imágenes satelitales para obtener "parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrológica" que describen la forma de la cuenca, la geomorfología, el factor de calidad, la densidad del drenaje, el tiempo y otros parámetros relacionados. Concentración y secuencia de la cuenca estudiada. También se consiguió datos sobre el uso y tipo de suelo correspondiente al área de estudio.

#### ✓ **Evaluación Hidrológica**

El récord histórico de precipitaciones máximas en 24 horas utiliza 20 años de registros de la estación La Encañada, reportados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, y un informe técnico de la Agencia Nacional del Agua fueron utilizados en la investigación.



## Modelo digital de elevación (DEM) y ortofoto

Para delimitar la cuenca se obtuvo un DEM descargado del satélite de la NASA AP\_07367\_FBD\_F7040\_RT1.dem.tif con una resolución de 12,5 m por píxel, que es más precisa que los contornos. Además, mediante el software SASplanet se descargaron ortofotografías del área de estudio, lo que ayudó a georreferenciar con mayor precisión los puntos de partida al inicio del tramo estudiado.

Luego se eliminaron todas las depresiones o huecos existentes en el DEM para garantizar un funcionamiento sin problemas. Se obtuvieron la dirección del flujo, el caudal acumulado y el escurrimiento. Luego se define la cuenca para obtener los parámetros geomorfológicos necesarios.

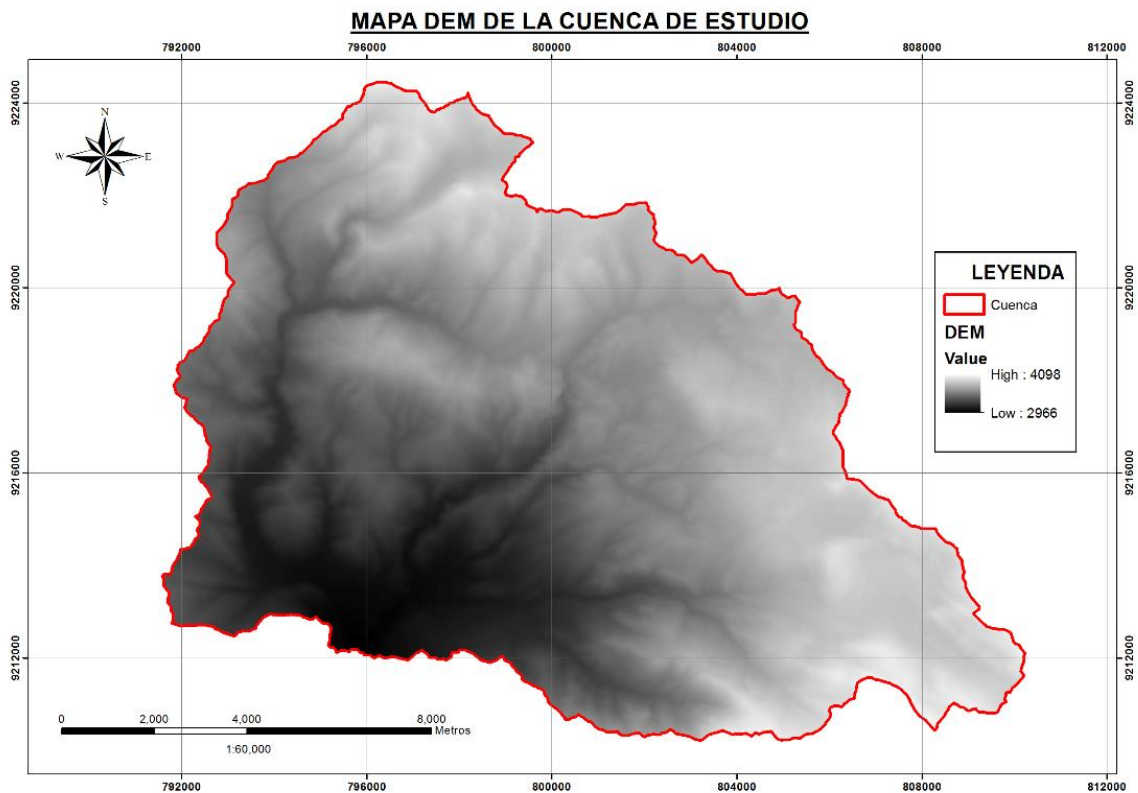


Figura 27: DEM de la Zona de estudio

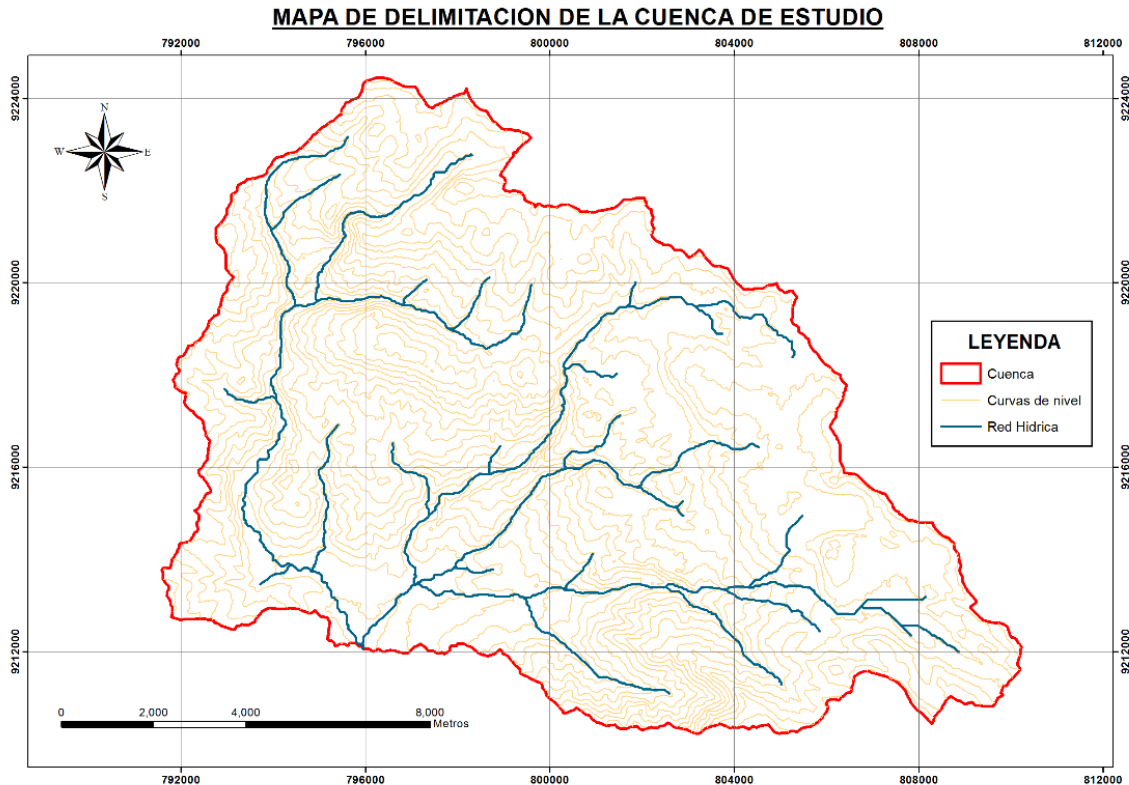


Figura 28: Delimitación del Río La Quispa para obtención de principales parámetros.

## **b. Procedimiento para modelamiento hidrológico**

### **Parámetros geomorfológicos de la cuenca**

Para caracterizar la cuenca de estudio, se necesitaron datos como el área, el perímetro, la pendiente, la longitud del recorrido máximo y la altitud media mediante arc gis.

Para calcular todos los parámetros necesarios para este estudio, se utilizó el programa HIDROCALC.

### **Información hidrometeorológica, análisis y tratamiento**

En términos de calidad y cantidad, la recopilación, concentración y manejo de datos hidrometeorológicos son cruciales. Se llevó a cabo el análisis correspondiente debido a que la subcuenca del río La Quispa posee datos hidrometeorológicos cercanos.

### **Intensidades máximas de precipitación**

Se transfirió los datos a la altura media de la cuenca utilizando las intensidades más altas obtenidas de la Estación hidrometeorológica La Encañada.

El modelo de distribución Gumbel fue el más adecuado para las intensidades obtenidas.

### **Estimación del Coeficiente de escorrentía**

Para calcular el coeficiente de escorrentía, se utilizaron los rasgos hidrológicos y geomorfológicos de la cuenca, utilizando los mapas de tipo de suelo y cobertura vegetal de la cuenca en estudio.

Los valores se obtuvieron en el programa ArcGis y luego se exportaron al programa Excel.

Para obtener el coeficiente de escurrimiento ponderado de la cuenca se toma en cuenta el promedio ponderado del área total de la cuenca.

### **Caudal de máximas avenidas de río La Quispa**

Utilizando información in situ y utilizando el programa IBER v 2.4.3, las pruebas transversales revelaron la huella hídrica de inundación máxima que causó daños a la infraestructura del puente existente en el área de estudio. Se encontraron los caudales responsables de la huella hídrica especificada, los caudales más importantes se presentan en este trabajo, y luego, utilizando el método racional modificado, se encontraron los caudales buscados y se calcularon sus períodos de retorno.

#### **c. Procedimiento para el modelamiento hidráulico**

##### **Simulación hidráulica del río La Quispa**

Se empleó el programa Iber V 2.4.3 para llevar a cabo el modelamiento hidráulico, utilizando los datos hidrológicos previamente calculados y el levantamiento topográfico. El preproceso, el proceso y el postproceso fueron los pasos utilizados para simular la hidráulica del río La Quispa. Los pasos utilizados se detallan a continuación.

##### **1. Preproceso.**

El modelo geométrico fue creado y modificado para procesar la información. Para ello, se realizó los archivos para su importación a Iber, incluyendo la proyección de la ortofoto descargada del SAS planet, la creación de un polígono de uso de suelo que se convertirá a raster y luego se convertirá a formato ASSI para su importación a Iber.

En el preprocesamiento, se creó una cuadrícula computacional no estructurada con 6 cuadrículas asignadas a áreas propensas a inundaciones, cuadrículas de 2 m para puentes y cuadrículas de 4 m para secciones de ríos.

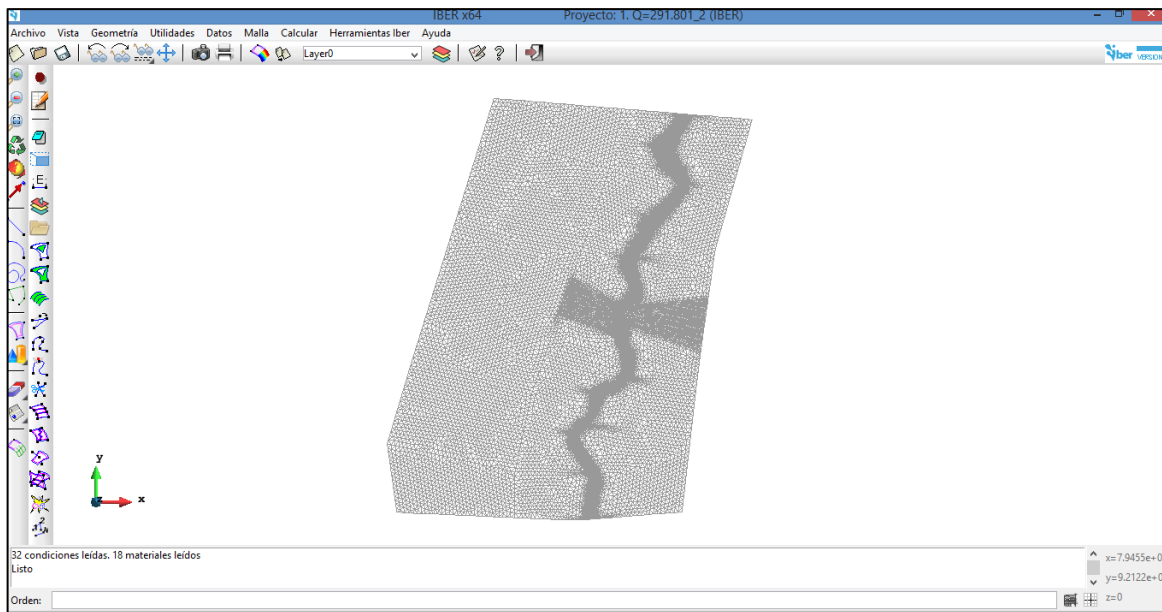


Figura 29: Generación de malla del río La Quispa

Luego se determinó la rugosidad mediante el coeficiente de Manning. Utilizando el factor de rugosidad para cada uso de suelo según los valores de la Tabla 15. Utilizamos el software Arcgis para crear trazados que indican la rugosidad correspondiente a cada zona. La rugosidad se cuadrícula utilizando el formato ASCII creado en Arcgis, la rugosidad del río se estableció utilizando el método Cowan.

Tabla 15: Método de Cowan para la selección de rugosidad de río.

Condiciones de canal		Valores	
<b>1. Material considerado</b>	Tierra	<b>n0</b>	0.02
	Roca cortada		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
<b>2. Grado de irregularidad</b>	Liso	<b>n1</b>	0
	Menor		0.005
	Moderado		0.01
	Severo		0.02
<b>3. Variaciones de la sección transversal del canal</b>	Gradual	<b>n2</b>	0
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015    0.0125
<b>4. Efectivo relativo de obstrucciones</b>	Despreciable	<b>n3</b>	0
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030    0.025
	Severo		0.040 - 0.060
<b>5. Vegetación</b>	Baja	<b>n4</b>	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025    0.0175

	Alta		0.025 - 0.050
	Muy alta		0.050 - 0.100
<b>6. Cantidad de meandros</b>	Menor	<b>m5</b>	1
	Apreciable		1.15      1.1534
	Severo		1.3
		<b>n =</b>	<b>0.107</b>

Tabla 16: Uso de suelos

Uso de Suelo	Manning	
Río	0.107	(Chow, 1994)
Arboles	0.050	(Chow, 1994)
Pastos	0.035	(Chow, 1994)

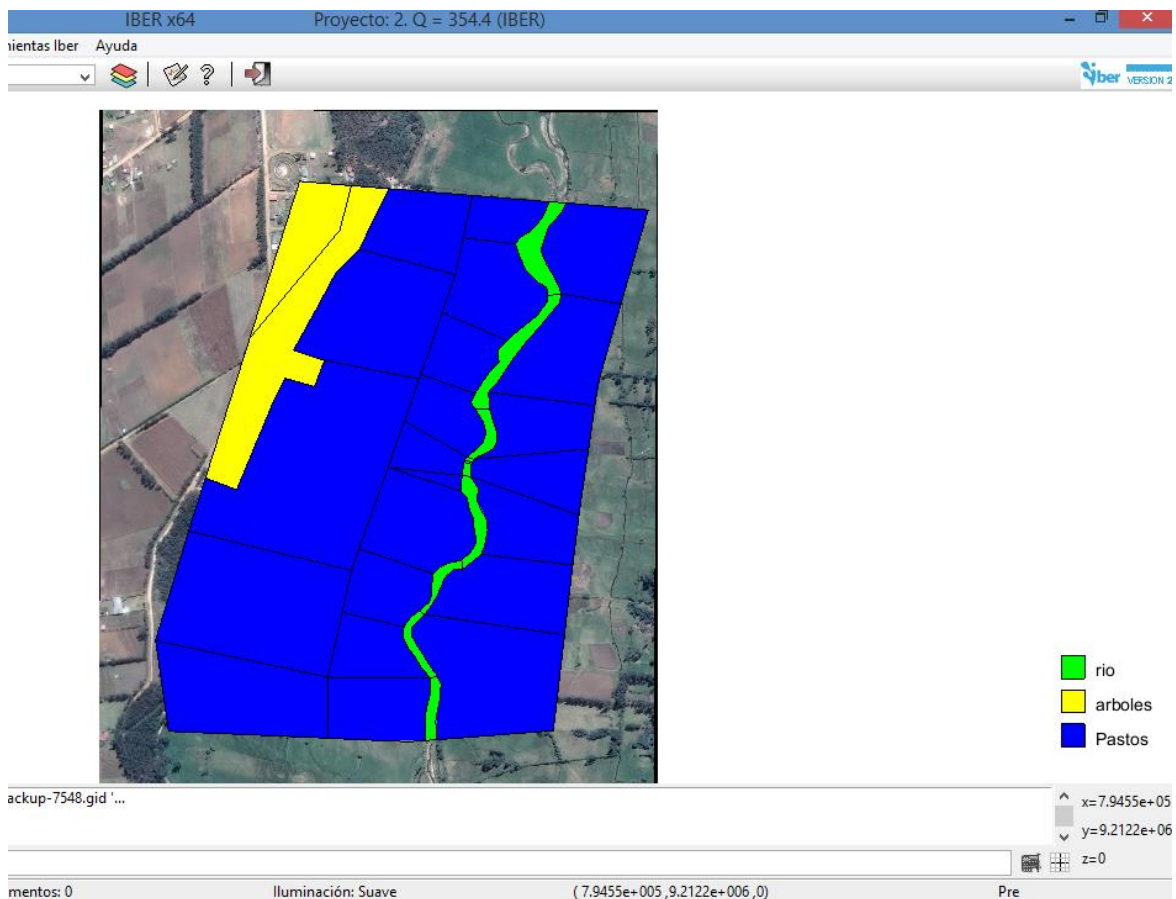


Figura 30: Asignación de Rugosidad

El modelo digital del terreno se procesa utilizando el ArcGis y se guarda en formato ASCII.

El lapso máximo de simulación es de 1000 segundos, los resultados se espacian en intervalos de 10 segundos.



El puente ubicado en la sección de estudio también se colocó en 3D, se le asignaron las coordenadas apropiadas y se exportó desde CAD en formato dxf.

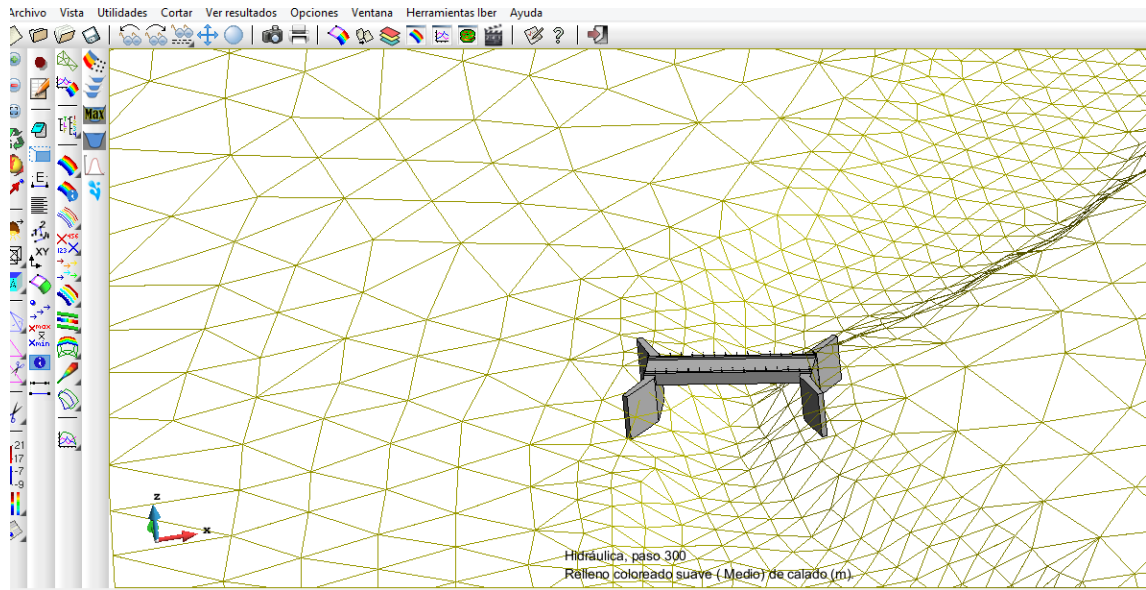


Figura 31: Exportación de puente

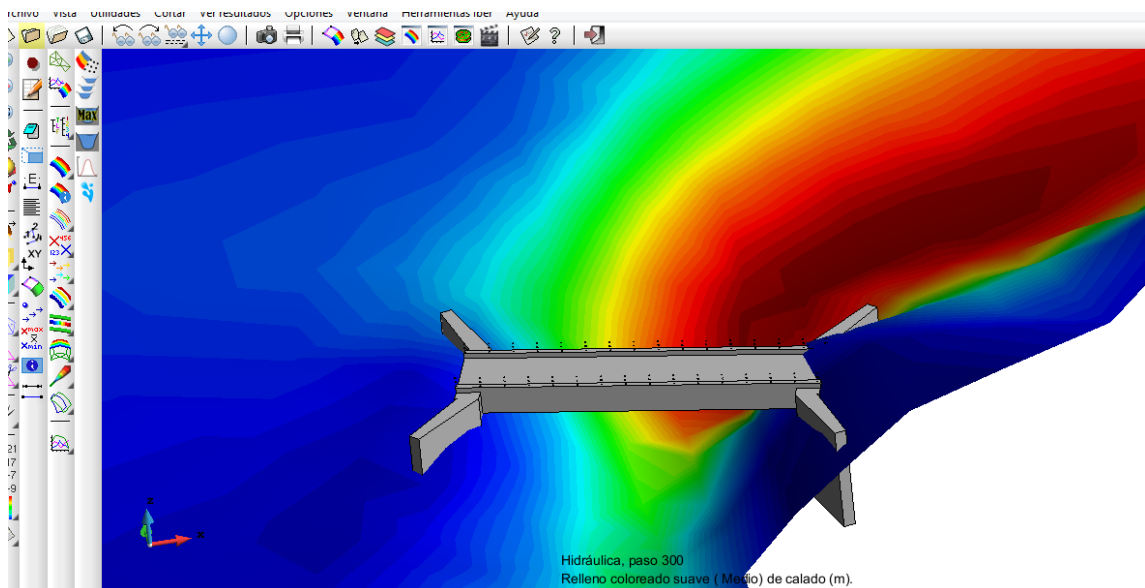


Figura 32: Visualización de puente con animación de calado

**Condiciones de contorno.** Las condiciones iniciales se eligen entre determinados objetos o niveles de agua. Por defecto, Iber asigna un modelo sin calado o seco entre las condiciones de contorno de entrada del modelo, la condición crítica/subcrítica y el flujo de entrada igual al flujo máximo. Las condiciones límite de salida se especifican como críticas/subcríticas.

## 2. Proceso

Cuando se completa el cálculo o durante el cálculo, se determinan los parámetros del cálculo o los detalles del problema. El cálculo se inicia desde el menú Cálculo, que se puede iniciar directamente (Cálculo > Cálculo).

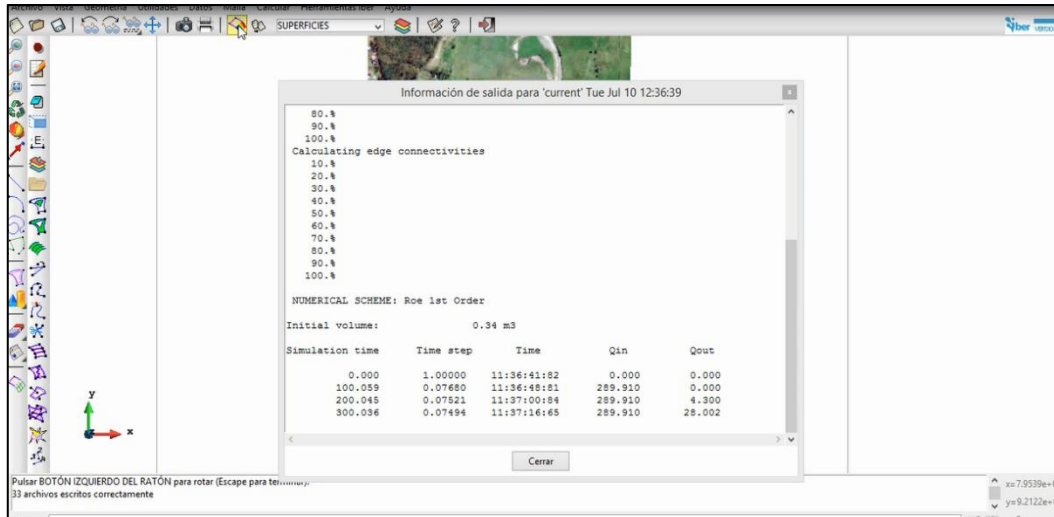


Figura 33: Proceso o cálculo Iber

## 3. Postproceso

Una vez completado el cálculo o durante el cálculo, puede acceder al posprocesamiento para ver y analizar los resultados. Puede cambiar entre las interfaces de preprocesamiento y posprocesamiento usando el menú "Archivo > Postprocesamiento" y "Archivo > Preprocesamiento" o usando las determinadas opciones dadas por el software.

**Visualización de Resultados.** Iber ofrece una amplia gama de alternativas para visualizar y analizar los resultados, incluida la personalización de colores, leyendas y etiquetas de valores. El menú Ventana > Ver resultados nos permite ver diferentes grupos de resultados en cualquier momento.

**Creación de gráficos.** Puede utilizar los distintos botones de trazado en la barra de visualización de resultados para crear gráficos, y los gráficos que cree se pueden utilizar en la ventana del gráfico (Ventana > Mostrar gráfico).

**Exportar resultados en formato raster.** Iber le permite exportar la mayoría de los resultados de Are Info en formato de cuadrícula ASCII a través del menú Herramientas de Iber > Resultados de cuadrícula. Simplemente seleccione los resultados, el tiempo de entrada y el tamaño de celda, e Iber creará un archivo de resultados en formato ASCII.

#### **4. Determinación de áreas de inundación**

Tras el cálculo del modelo, pudimos determinar los resultados de la altura de la lámina. Estos datos se exportaron en formato ASCII desde el programa Iber, y se utilizó la tabla de peligro de inundación para determinar la clasificación.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Identificación y selección de las unidades de análisis

Como parte de la evaluación de riesgos del tramo del Río La Quispa, la identificación de los peligros de inundación se divide en dos partes principales:

- El objetivo de la modelación hidrológica es determinar el caudal máximo generado por una huella hídrica y luego encontrar su período de retorno.
- El modelado hidráulico nos define el comportamiento hidráulico del cauce del río y de la zona o zonas de inundación durante cada período de retorno.

### 4.2. Análisis hidrológico de la cuenca

#### Climatología

Considerando la estación meteorológica de La Encañada, la temperatura máxima promedio en el área de La Encañada y el área de estudio es de 21.8 °C, la temperatura mínima es de 7.7 °C y la temperatura promedio mensual es de 14.7 °C. Se espera que la zona tenga una precipitación media anual de 649,9 mm y una humedad relativa del 60% al 70%. Los datos del SENAMHI se observan en el Cuadro 17.

Tabla 17: Precipitación mensual y anual.

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1998	20.2	35.7	27.7	35.3	19.4	4.3	0.4	4.5	18.7	37.3	10.1	25.1
1999	22.5	30.1	39.6	18.7	31.4	18.3	7.3	4.7	22.6	11.1	26.1	17.8
2000	11.2	19.5	30.6	18.3	16.4	8.3	0.5	6.1	14.0	1.6	14.1	24.3
2001	43.8	26.3	24.6	26.2	12.8	0.3	1.4	0.8	11.8	28.0	17.7	17.8
2002	16.7	33.4	36.0	27.1	5.7	5.0	1.9	1.1	13.1	S/D	S/D	S/D
2003	9.4	27.9	28.0	18.6	13.4	18.7	0.0	6.8	7.7	21.9	30.5	23.3
2004	27.3	20.9	18.0	23.4	10.9	3.0	9.4	0.5	10.8	42.6	22.5	26.0
2005	20.9	17.4	38.0	13.7	19.8	4.7	1.2	4.7	4.6	28.3	11.1	22.0
2006	35.1	22.2	32.9	47.5	4.8	9.7	8.6	4.9	14.1	20.5	19.7	16.3
2007	20.7	14.6	44.6	18.6	16.0	0.0	8.0	1.7	16.5	26.8	23.7	20.1
2008	29.2	32.5	28.2	30.1	8.3	10.9	5.8	6.7	21.4	32.3	41.3	15.4
2009	27.4	10.0	42.3	24.6	40.2	3.0	4.5	5.4	6.7	16.7	23.7	23.7
2010	19.9	42.3	35.6	37.5	13.2	6.2	4.4	0.0	12.5	31.1	32.8	29.4
2011	17.3	28.9	21.6	25.0	22.2	0.4	7.7	0.0	12.5	10.9	17.9	14.2
2012	28.4	24.0	22.2	17.6	20.4	10.0	0.0	7.5	1.5	21.6	37.2	18.5
2013	14.0	25.5	28.6	12.9	27.2	9.6	2.5	5.2	0.0	36.6	14.1	14.4
2014	22.7	41.1	37.6	19.3	12.6	0.0	0.2	0.4	14.5	23.8	27.7	27.8
2015	31.5	20.5	37.7	20.0	19.0	1.9	5.3	0.0	2.3	6.8	32.8	3.0
2016	21.0	17.0	31.9	21.5	2.1	9.3	0.5	0.6	21.3	24.8	4.8	31.8
2017	19.2	22.5	30.1	24.5	12.5	9.9	3.2	15.7	4.7	22.0	13.2	19.9
2018	17.3	28.3	18.3	21.4	28.7	3.8	0.0	0.0	20.2	21.2	27.0	15.0
2019	12.4	30.4	27.5	30.6	16.3	12.0	3.1	0.0	8.7	17.3	20.9	28.2
2020	14.9	11.4	22.9	17.1	25.8	12.4	17.6	0.9	12.2	26.2	20.8	36.1

2021	19.0	37.0	50.9	19.1	21.2	10.7	0.9	5.2	6.8	33.3	48.0	21.8
------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	------	------	------

Nota: Tomado de SENAMHI

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual (mm)
PREC.	52.20	50.41	60.66	56.61	47.91	22.28	20.97	18.71	26.93	50.77	57.20	43.02	60.66

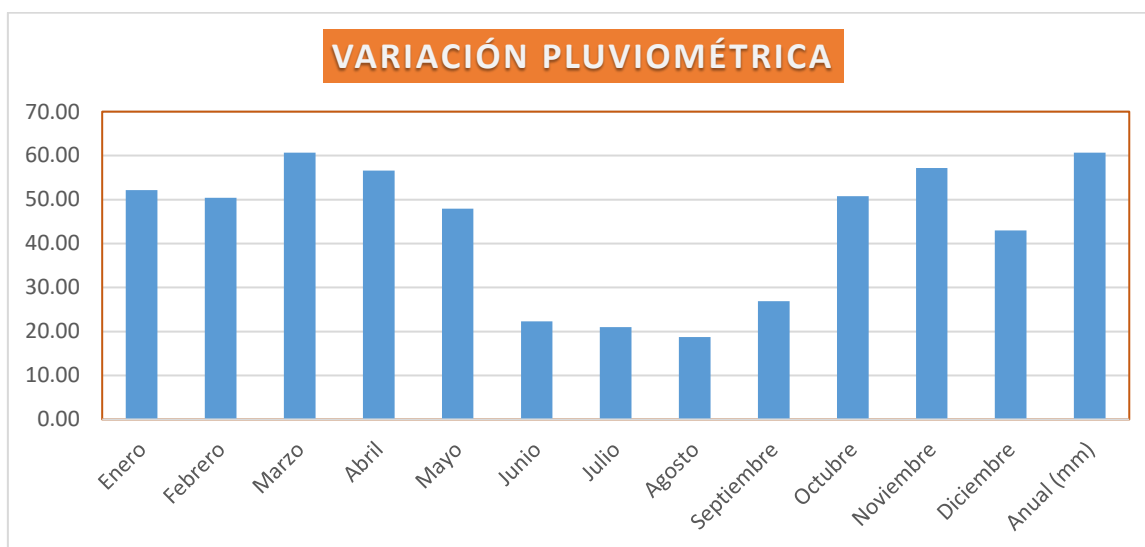


Figura 34: Variación pluviométrica mensual

Las siguientes características geográficas físicas afectan a la capacidad de respuesta de las cuencas hidrográficas: superficie, tipo y uso del suelo, forma, orientación, elevación, drenaje y pendiente. La identificación de diversas características del terreno se logró mediante fotografías aéreas (fotointerpretación) y mapas topográficos.

#### **Análisis de eventos Hidrometeorológicos**

La subcuenca del río Encañada-La Quispa está sujeta a una gran variación climática y a fenómenos relacionados con cambios climáticos durante todo el año, como inundaciones, huaycos y deslizamientos, los cuales ponen en peligro las actividades productivas, en particular la agrícola y pecuaria. Además, debido a las lluvias abundantes, ocurre la erosión, especialmente en las laderas con elevaciones pronunciadas, lo que resulta en una degradación del suelo y, por lo tanto, en una disminución gradual de la productividad de los cultivos, necesidad de cambios de uso y abandono de tierras, donde la erosión ha alcanzado niveles extremos como la creación de surcos y cárcavas.

## Factor Relieve de la Subcuenca

### a) Área, Perímetro

El perímetro y el área de la cuenca se calcularon utilizando Arc GIS y Autocad.

Tabla 18: Área, perímetro y longitud de cauce de la subcuenca.

Ítem	Tramo en estudio	Área Km <sup>2</sup>	Perímetro Km	Long. Cauce Km
1	Río La Quispa	159.081	64.66	19.42

### b) Altura Media de la Cuenca

Tabla 19: Altitudes de la Subcuenca.

Ítem	Fuente de agua	Altitudes de subcuenca (m.s.n.m.)		
		alta	baja	media
1	Río La Quispa	4098	2966	3551.235

### c) Características de relieve

La topografía de la cuenca es promedio, con una pendiente mayormente alrededor del 7%, lo que corresponde al 9% del área de la cuenca, la pendiente promedio de la cuenca es 24. La distribución de pendientes se muestra en la Tabla 20 de la cuenca del río la Quispa.

Tabla 20: Distribución de la pendiente de la Subcuenca La Quispa.

Cota inf.	Cota sup.	Área parcial Km <sup>2</sup>	$h(i)*A(i)$	$\frac{L(i)}{KM}$	S(i)	$(L(i)^2)/S(i)^{0.5}$	Área sobre la cota	% del total
2966	3000	0.965	2.879	1.641	0.02072	11.4	158.119	0.61%
3001	3050	4.384	13.264	1.894	0.02587	11.776	153.735	2.76%
3051	3100	4.766	14.658	1.853	0.02644	11.396	148.969	3.00%
3101	3150	5.599	17.5	1.83	0.02678	11.183	143.37	3.52%
3151	3200	5.671	18.008	1.158	0.04231	5.63	137.699	3.57%
3201	3250	6.319	20.382	0.811	0.06042	3.299	131.38	3.97%
3251	3300	6.949	22.761	1.344	0.03646	7.039	124.431	4.37%
3301	3350	7.607	25.297	0.936	0.05235	4.091	116.824	4.78%
3351	3400	7.149	24.131	1.047	0.0468	4.84	109.675	4.49%
3401	3450	6.571	22.509	0.976	0.0502	4.356	103.104	4.13%
3451	3500	6.305	21.913	0.848	0.05778	3.528	96.799	3.96%
3501	3550	8.614	30.369	1.016	0.04823	4.626	88.185	5.42%
3551	3600	11.229	40.149	1.305	0.03755	6.735	76.956	7.06%

<b>3601</b>	3650	11.005	39.899	0.533	0.09193	1.758	65.951	6.92%
<b>3651</b>	3700	9.94	36.534	0.297	0.16498	0.731	56.011	6.25%
<b>3701</b>	3750	8.72	32.486	0.466	0.10515	1.437	47.291	5.48%
<b>3751</b>	3800	11.713	44.222	0.531	0.09228	1.748	35.578	7.36%
<b>3801</b>	3850	14.425	55.183	0.616	0.07955	2.184	21.153	9.07%
<b>3851</b>	3900	10.591	41.045	0.266	0.18421	0.62	10.562	6.66%
<b>3901</b>	3950	6.25	24.534	0.053	0.92453	0.055	4.312	3.93%
<b>3951</b>	4000	3.051	12.129	0	0	0	1.261	1.92%
<b>4001</b>	4050	1.145	4.609	0	0	0	0.116	0.72%
<b>4051</b>	4098	0.116	0.473	0	0	0	0	0.07%
<b>Totales</b>	<b>:</b>	<b>159.084</b>	<b>564.934</b>	<b>19.421</b>		<b>98.432</b>		<b>100.00%</b>

#### d) Curva Hipsométrica

Para calcular la curva hipsométrica de la cuenca del río La Quispa se empleó el programa HIDROCALC, que está disponible gratuitamente en la página web. Esta aplicación ha sido creada por Luis Felix Vásquez Paredes, director de UNU Ingenieros, y nos permite encontrar los parámetros geomorfológicos de la cuenca.

Tabla 21: Datos obtenidos para la generación de la curva hipsométrica.

<b>Cota inf.</b>	<b>Cota sup.</b>	<b>Área parcial (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área parcial (%)</b>
<b>2966</b>	3000	0.965	0.607
<b>3001</b>	3050	4.384	2.756
<b>3051</b>	3100	4.766	2.996
<b>3101</b>	3150	5.599	3.52
<b>3151</b>	3200	5.671	3.565
<b>3201</b>	3250	6.319	3.972
<b>3251</b>	3300	6.949	4.368
<b>3301</b>	3350	7.607	4.782
<b>3351</b>	3400	7.149	4.494
<b>3401</b>	3450	6.571	4.131
<b>3451</b>	3500	6.305	3.963
<b>3501</b>	3550	8.614	5.415
<b>3551</b>	3600	11.229	7.059
<b>3601</b>	3650	11.005	6.918
<b>3651</b>	3700	9.94	6.248
<b>3701</b>	3750	8.72	5.481

<b>3751</b>	3800	11.713	7.363
<b>3801</b>	3850	14.425	9.068
<b>3851</b>	3900	10.591	6.657
<b>3901</b>	3950	6.25	3.929
<b>3951</b>	4000	3.051	1.918
<b>4001</b>	4050	1.145	0.72
<b>4051</b>	4098	0.116	0.073
<b>Suma</b>	<b>:</b>	<b>159.084</b>	<b>100</b>

La curva hipsométrica se obtiene en función a los resultados obtenidos.

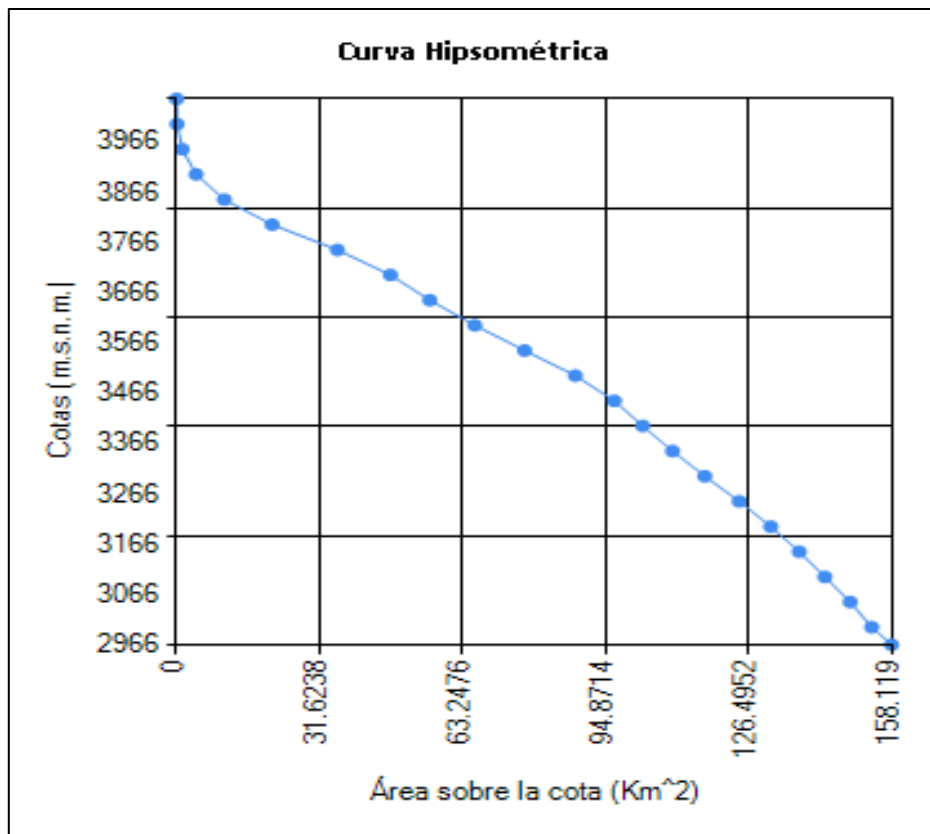


Figura 35: Curva hipsométrica de la Subcuenca del Río La Quispa.



e) Frecuencia de altitudes

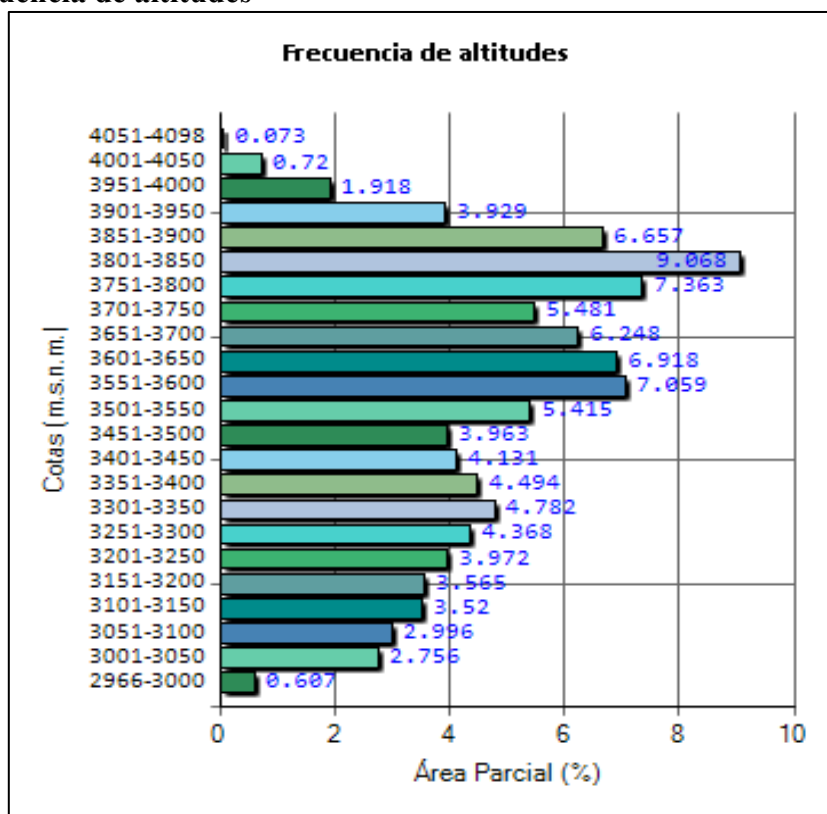


Figura 36: Frecuencia de altitudes de la subcuenca del río La Quispa.

**Resumen de parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica**

La delimitación de la cuenca y los parámetros del estudio se obtuvieron utilizando ARC GIS y HIDROCALC.

La Tabla 22 muestra los resultados de la caracterización geomorfológica de las subcuencas La Quispa.

Tabla 22: Resumen de la Caracterización Geomorfológica de las Subcuenca La Quispa.

CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE CUENCA				
<b>UBICACIÓN:</b>	CC.PP. ROSARIO DE POLLOC			
<b>ELABORADO:</b>	ENCAÑADA MARILÚ GUTIERREZ BAUTISTA			
ITEM	PARAMETRO GEOMORFOLÓGICO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
A.01	Área de la cuenca	A =	159.081	Km2
A.02	Perímetro de la cuenca	P=	64.666	km
A.03	Longitud del Cauce principal	L=	19.422	km
A.04	Ancho promedio	B=	8.191	Km
A.05	Coef. De Compac. Ó índice de Gravelius	Kc=	1.436	Adim
A.06	Rectángulo Equivalente: Lado mayor	a=	26.288	Km
A.07	Rectángulo Equivalente: Lado menor	b=	6.053	Km
A.08	Factor de forma	Ef=	0.422	Adim

<b>A.09</b>	Altitud más baja de la cuenca	<b>CM=</b>	<b>2966</b>	m.s.n.m.
<b>A.10</b>	Altitud más alta de la cuenca	<b>Cm=</b>	<b>4098</b>	m.s.n.m.
<b>A.11</b>	Altitud media simple de la cuenca	<b>HMS=</b>	<b>3551.235</b>	m.s.n.m.
<b>A.12</b>	Desnivel de la cuenca	<b>Hc=</b>	<b>1132</b>	m
<b>A.13</b>	Pendiente de la cuenca:	<b>S=</b>	<b>0.2498</b>	m/m
<b>A.14</b>	Pendiente de la cuenca:	<b>S=</b>	<b>24.98</b>	%
<b>A.15</b>	Pendiente del cauce principal	<b>Sc=</b>	<b>0.0389</b>	m/m
<b>A.16</b>	Tiempo de concentración: Método de Kirpich	<b>Tc1=</b>	<b>2.27</b>	Hr
<b>A.17</b>	Tiempo de concentración: Método de Temez	<b>Tc2=</b>	<b>5.3</b>	Hr
<b>A.18</b>	Orden de cuenca:	<b>Oc=</b>	<b>4</b>	

### Análisis de máximas avenidas

El aspecto más importante de este estudio es la determinación de las máximas inundaciones y zonas de inundación para un modelo hidráulico apropiado, por lo que se optó por utilizar información hidrometeorológica de estaciones como La Encañada registradas en el SENAMHI. En la estación meteorológica La Encañada se solicitó al SENAMHI la precipitación máxima de 24 horas ya que tiene más datos y es la estación meteorológica más confiable; Se obtuvieron datos históricos de los años 1998-2021.

Tabla 23: Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Encañada

AÑO	EN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1998	20.2	35.7	27.7	35.3	19.4	4.3	0.4	4.5	18.7	37.3	10.1	25.1
1999	22.5	30.1	39.6	18.7	31.4	18.3	7.3	4.7	22.6	11.1	26.1	17.8
2000	11.2	19.5	30.6	18.3	16.4	8.3	0.5	6.1	14	1.6	14.1	24.3
2001	43.8	26.3	24.6	26.2	12.8	0.3	1.4	0.8	11.8	28	17.7	17.8
2002	16.7	33.4	36	27.1	5.7	5	1.9	1.1	13.1	23.59	23.37	21.39
2003	9.4	27.9	28	18.6	13.4	18.7	0	6.8	7.7	21.9	30.5	23.3
2004	27.3	20.9	18	23.4	10.9	3.0	9.4	0.5	10.8	42.6	22.5	26
2005	20.9	17.4	38	13.7	19.8	4.7	1.2	4.7	4.6	28.3	11.1	22
2006	35.1	22.2	32.9	47.5	4.8	9.7	8.6	4.9	14.1	20.5	19.7	16.3
2007	20.7	14.6	44.6	18.6	16	0	8	1.7	16.5	26.8	23.7	20.1
2008	29.2	32.5	28.2	30.1	8.3	10.9	5.8	6.7	21.4	32.3	41.3	15.4
2009	27.4	10	42.3	24.6	40.2	3	4.5	5.4	6.7	16.7	23.7	23.7
2010	19.9	42.3	35.6	37.5	13.2	6.2	4.4	0	12.5	31.1	32.8	29.4
2011	17.3	28.9	21.6	25	22.2	0.4	7.7	0	12.5	10.9	17.9	14.2
2012	28.4	24	22.2	17.6	20.4	10	0	7.5	1.5	21.6	37.2	18.5
2013	14	25.5	28.6	12.9	27.2	9.6	2.5	5.2	0	36.6	14.1	14.4
2014	22.7	41.1	37.6	19.3	12.6	0	0.2	0.4	14.5	23.8	27.7	27.8
2015	31.5	20.5	37.7	20	19	1.9	5.3	0	2.3	6.8	32.8	3
2016	21	17	31.9	21.5	2.1	9.3	0.5	0.6	21.3	24.8	4.8	31.8
2017	19.2	22.5	30.1	24.5	12.5	9.9	3.2	15.7	4.7	22	13.2	19.9

2018	17.3	28.3	18.3	21.4	28.7	3.8	0	0	20.2	21.2	27	15
2019	12.4	30.4	27.5	30.6	16.3	12	3.1	0	8.7	17.3	20.9	28.2
2020	14.9	11.4	22.9	17.1	25.8	12.4	17.6	0.9	12.2	26.2	20.8	36.1
2021	19	37	50.9	19.1	21.2	10.7	0.9	5.2	6.8	33.3	48	21.8

**Datos transpuestos a la zona de estudio con una altitud media:**

H=3551.24 m

Tabla 24: Parámetros estadísticos de intensidades transpuestos a la zona de estudio.

AÑO	EN.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1998	24.07	42.54	33.01	42.07	23.12	5.12	0.48	5.36	22.28	44.45	12.04	29.91
1999	26.81	35.87	47.19	22.28	37.42	21.81	8.70	5.60	26.93	13.23	31.10	21.21
2000	13.35	23.24	36.47	21.81	19.54	9.89	0.60	7.27	16.68	1.91	16.80	28.96
2001	52.20	31.34	29.32	31.22	15.25	0.36	1.67	0.95	14.06	33.37	21.09	21.21
2002	19.90	39.80	42.90	32.29	6.79	5.96	2.26	1.31	15.61	23.6	23.4	21.4
2003	11.20	33.25	33.37	22.17	15.97	22.28	0.00	8.10	9.18	26.10	36.35	27.77
2004	32.53	24.91	21.45	27.89	12.99	3.58	11.20	0.60	12.87	50.77	26.81	30.98
2005	24.91	20.74	45.28	16.33	23.60	5.60	1.43	5.60	5.48	33.72	13.23	26.22
2006	41.83	26.46	39.21	56.61	5.72	11.56	10.25	5.84	16.80	24.43	23.48	19.42
2007	24.67	17.40	53.15	22.17	19.07	0.00	9.53	2.03	19.66	31.94	28.24	23.95
2008	34.80	38.73	33.61	35.87	9.89	12.99	6.91	7.98	25.50	38.49	49.22	18.35
2009	32.65	11.92	50.41	29.32	47.91	3.58	5.36	6.44	7.98	19.90	28.24	28.24
2010	23.71	50.41	42.42	44.69	15.73	7.39	5.24	0.00	14.90	37.06	39.09	35.04
2011	20.62	34.44	25.74	29.79	26.46	0.48	9.18	0.00	14.90	12.99	21.33	16.92
2012	33.84	28.60	26.46	20.97	24.31	11.92	0.00	8.94	1.79	25.74	44.33	22.05
2013	16.68	30.39	34.08	15.37	32.41	11.44	2.98	6.20	0.00	43.62	16.80	17.16
2014	27.05	48.98	44.81	23.00	15.02	0.00	0.24	0.48	17.28	28.36	33.01	33.13
2015	37.54	24.43	44.93	23.83	22.64	2.26	6.32	0.00	2.74	8.10	39.09	3.58
2016	25.03	20.26	38.01	25.62	2.50	11.08	0.60	0.72	25.38	29.55	5.72	37.90
2017	22.88	26.81	35.87	29.20	14.90	11.80	3.81	18.71	5.60	26.22	15.73	23.71
2018	20.62	33.72	21.81	25.50	34.20	4.53	0.00	0.00	24.07	25.26	32.18	17.88
2019	14.78	36.23	32.77	36.47	19.42	14.30	3.69	0.00	10.37	20.62	24.91	33.61
2020	17.76	13.59	27.29	20.38	30.75	14.78	20.97	1.07	14.54	31.22	24.79	43.02
2021	22.64	44.09	60.66	22.76	25.26	12.75	1.07	6.20	8.10	39.68	57.20	25.98

a) **DISTRIBUCION DE GUMBEL**

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel Doble Exponencial.

Tabla 25: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.

Nº	Precipitación (mm)	
	$x_i$	$(x_i - x)^2$
1	60.66	245.26
2	56.61	134.77
3	53.15	66.47
4	52.20	51.84
5	50.77	33.29
6	50.41	29.29
7	50.41	29.29
8	49.22	17.81
9	48.98	15.86
10	47.19	4.82
11	45.28	0.08
12	44.93	0.00
13	44.45	0.30
14	44.33	0.44
15	43.62	1.91
16	43.02	3.91
17	42.90	4.39
18	38.01	48.74
19	36.47	72.77
20	36.47	72.77
21	36.35	74.82
22	35.87	83.29
23	34.44	111.44
24	34.20	116.53
<b>24</b>	<b>1079.9</b>	<b>1220.1</b>

**PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE P**

Tabla 26: Prueba de bondad de ajuste de Smirnov Kolmogorov.

Distribución teórica de probabilidades	Estimación de parámetros		
	$\Delta$ teórico	$\Delta$ tabular	¿Se ajustan los datos?
Gumbel	0.16	0.29	Si

## MODELAMIENTO DE INTENSIDADES

Tabla 27: Cuadro de parámetros estadísticos para distribución Gumbel.

Parámetros	Variables probabilísticas
<b>Sd</b>	7.28
<b>Xp</b>	45
<b><math>\alpha</math></b>	5.68
<b><math>\beta</math></b>	41.72

### CÁLCULO DE LAS PRECIPITACIONES DIARIAS MÁXIMAS PROBABLES

Se calculó la precipitación máxima corregida (Tabla 28 y 29), para el caudal encontrado según huella hídrica (281 m<sup>3</sup>/s) y para los tiempos de retorno conocidos de 50, 100, 200 y 500 años, como se muestra a continuación.

Tabla 28: Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para el caudal encontrado según huella hídrica, de 281 m<sup>3</sup>/s.

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Precipitación máxima corregida
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
92	4.52	67.37	0.99	57.48

Tabla 29: Cálculo de precipitaciones máximas con distribución Gumbel.

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de ocurrencia	Precipitación máxima corregida
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
50	3.90	63.88	0.98	54.50
100	4.60	67.84	0.99	57.88
200	5.30	71.79	1.00	61.25
500	6.21	77.00	1.00	65.70

Posteriormente se obtuvo las intensidades de lluvia a partir de las precipitaciones diarias, según duración de precipitación y frecuencia, para el tiempo de retorno asignados como se muestra a continuación.

Tabla 30: Cuadro resumen para el modelamiento de intensidades para el caudal encontrado según huella hídrica de 281 m<sup>3</sup>/s.

<b>Tiempo de duración</b>	<b>Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el período de Retorno</b>
<b>Hr</b>	<b>92 años</b>
<b>24 hr</b>	<b>8.77</b>

Tabla 31: Cuadro resumen para el modelamiento de intensidades para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

<b>Tiempo de duración</b>	<b>Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el período de Retorno</b>			
<b>Hr</b>	<b>50 años</b>	<b>100 años</b>	<b>200 años</b>	<b>500 años</b>
<b>24 hr</b>	8.31	8.83	9.34	10.02

## **COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA PARA SER USADOS EN EL MÉTODO RACIONAL MODIFICADO**

Para utilizar el método del número racional modificado para calcular el caudal máximo, el coeficiente de escorrentía también debe calcularse utilizando la siguiente tabla.

Tabla 32: Cálculo del coeficiente de escorrentía para Método Racional Modificado.

<b>Cobertura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área km<sup>2</sup></b>	<b>Área %</b>	<b>Número de Curva</b>	
				<b>C</b>	<b>A*C</b>
Cultivos	Regosol éutrico - Andosol móllico	47.597	29.9%	78	23.34
Cultivos	Regosol éutrico - Cambisol éutrico	11.511	7.2%	78	5.64
Centros poblados	Regosol éutrico - Cambisol éutrico	0.374	0.2%	90	0.21
Bofedal	Regosol éutrico - Andosol móllico	1.685	1.1%	98	1.04
Cuerpos de agua	Regosol éutrico - Andosol móllico	0.048	0.0%	100	0.03
Matorral arbustivo	Regosol éutrico - Andosol móllico	29.372	18.5%	77	14.22

Matorral arbustivo	Regosol éutrico - Cambisol éutrico	6.630	4.2%	77	3.21
Pastizales o similares	Regosol éutrico - Andosol móllico	59.242	37.2%	86	32.03
Pastizales o similares	Regosol éutrico - Cambisol éutrico	0.738	0.5%	86	0.40
Plantación Forestal	Regosol éutrico - Andosol móllico	1.520	1.0%	77	0.74
Plantación Forestal	Regosol éutrico - Cambisol éutrico	0.365	0.2%	77	0.18
		159.08	100%		81.02

El número de curva ponderado es 81.02

Tabla 33: Coeficiente de Escorrentía para el caudal encontrado según huella hídrica de 281 m<sup>3</sup>/s.

<b>Tr (años)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>P<sub>0</sub></b>	<b>C</b>
92	57.48	8.33	0.53

Tabla 34: Coeficiente de Escorrentía para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

<b>Tr (años)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>P<sub>0</sub></b>	<b>C</b>
50	54.50	8.33	0.51
100	57.88	8.33	0.53
200	61.25	8.33	0.55
500	65.70	8.33	0.58

Para la obtención del caudal máximo del río La Quispa, se midió en campo la huella hídrica dejada por un evento máximo, dicho caudal se obtuvo con ayuda del software Iber 2.4.3., y el método Racional Modificado, dicho caudal fue de 281 m<sup>3</sup>/s con un tiempo de retorno de 92 años, como se muestra a continuación.

Tabla 35: Caudal máximo según huella hídrica

<b>Tr (años)</b>	<b>C</b>	<b>I (mm/hr)</b>	<b>K</b>	<b>Q m<sup>3</sup>/s</b>
92	0.53	8.77	1.36	280.64

Luego se modelamiento hidrológico para tiempos de retorno conocidos como son de 50, 100, 200 y 500 años, se logró encontrar los siguientes caudales.

Tabla 36: Caudales máximos para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

Tr (años)	C	I (mm/hr)	K	Q m <sup>3</sup> /s
50	0.51	8.31	1.36	256.76
100	0.53	8.83	1.36	283.93
200	0.55	9.34	1.36	311.56
500	0.58	10.02	1.36	348.76

Habiendo encontrado los caudales para tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años, se eligió el más conveniente para realizar nuestro modelamiento hidráulico, con lo cual, se procedió a comparar el caudal encontrado según la huella hídrica con los caudales para tiempos de retorno ya conocidos. Para encontrar el caudal según la huella hídrica se utilizó el programa Iber 2.4.3., dicho caudal fue de 281 m<sup>3</sup>/s, para un tiempo de retorno de 92 años, para elegir el caudal más adecuado para nuestro estudio, se realizó el modelamiento hidráulico de dos caudales, siendo elegidos por ser los más cercanos a nuestro caudal hallado según huella hídrica, dichos caudales fueron de 256.76 m<sup>3</sup>/s, 283.93 m<sup>3</sup>/s para tiempos de retorno de 50 y 100 años, después de modelar hidráulicamente los caudales elegidos se llegó a la conclusión que el más idóneo sería elegir el caudal generado para un tiempo de retorno de 100 años, siendo este el más adecuado para nuestra zona de estudio, pues nuestra zona de estudio presenta zonas agrícolas y ganaderas. Teniendo en cuenta estas consideraciones.

#### 4.3. Análisis del Modelamiento Hidráulico

##### Áreas inundables de acuerdo a la profundidad de flujo

Se utilizaron los tres procesos: preproceso, proceso y postproceso.

##### 1. Resultados de modelamiento para un Q = 256.76 m<sup>3</sup>/s

El caudal encontrado según huella hídrica fue de Q = 256.76 m<sup>3</sup>/s y un TR= 50 años, dieron como resultado un calado máximo de 4.83 m y calado mínimo 0.01 m, también se observó velocidades máximas de 8.51 m/s y mínimas de 0.0007 m/s, a continuación, se muestran los siguientes resultados.



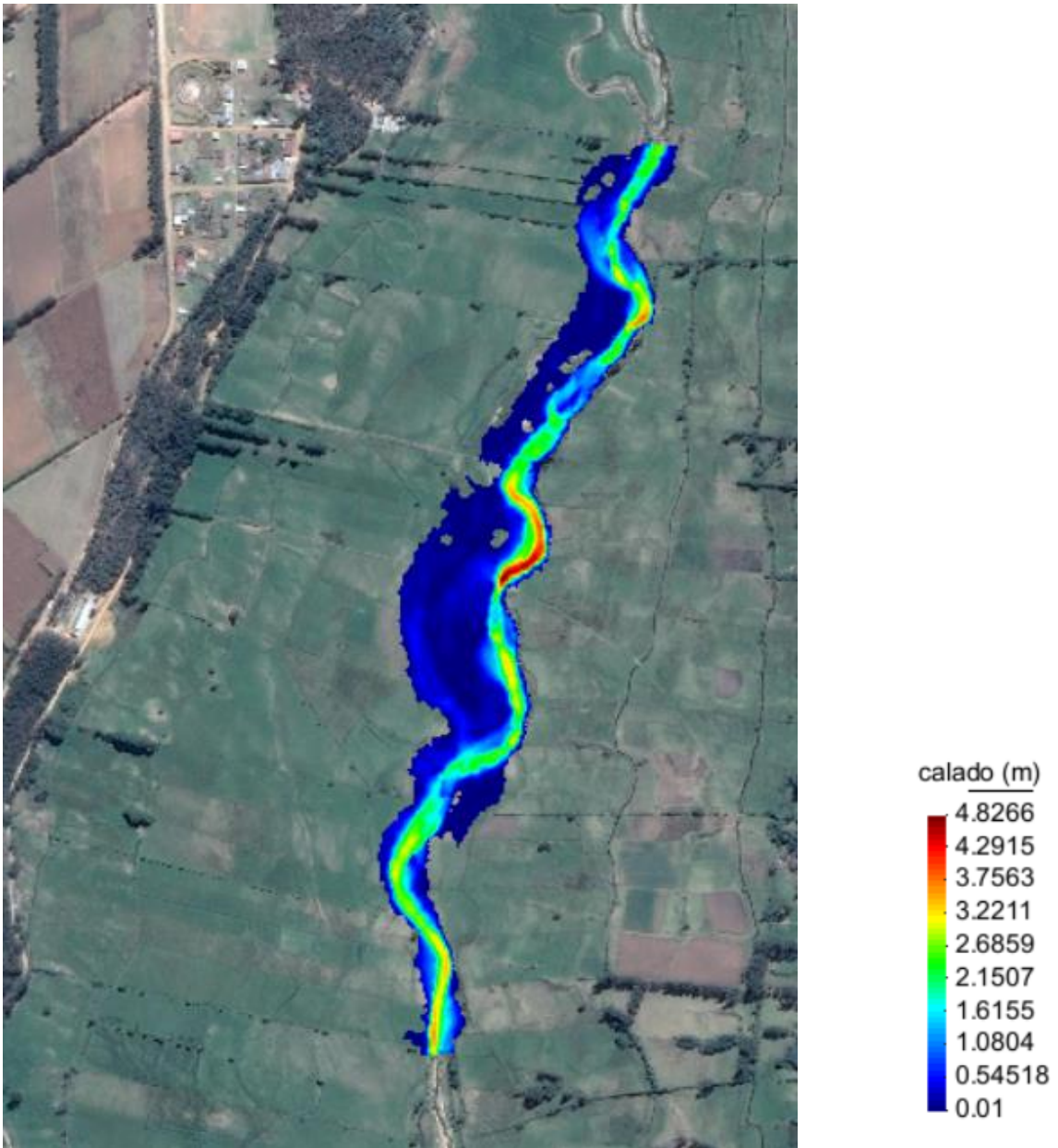


Figura 37: Tirantes máximos para un  $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$

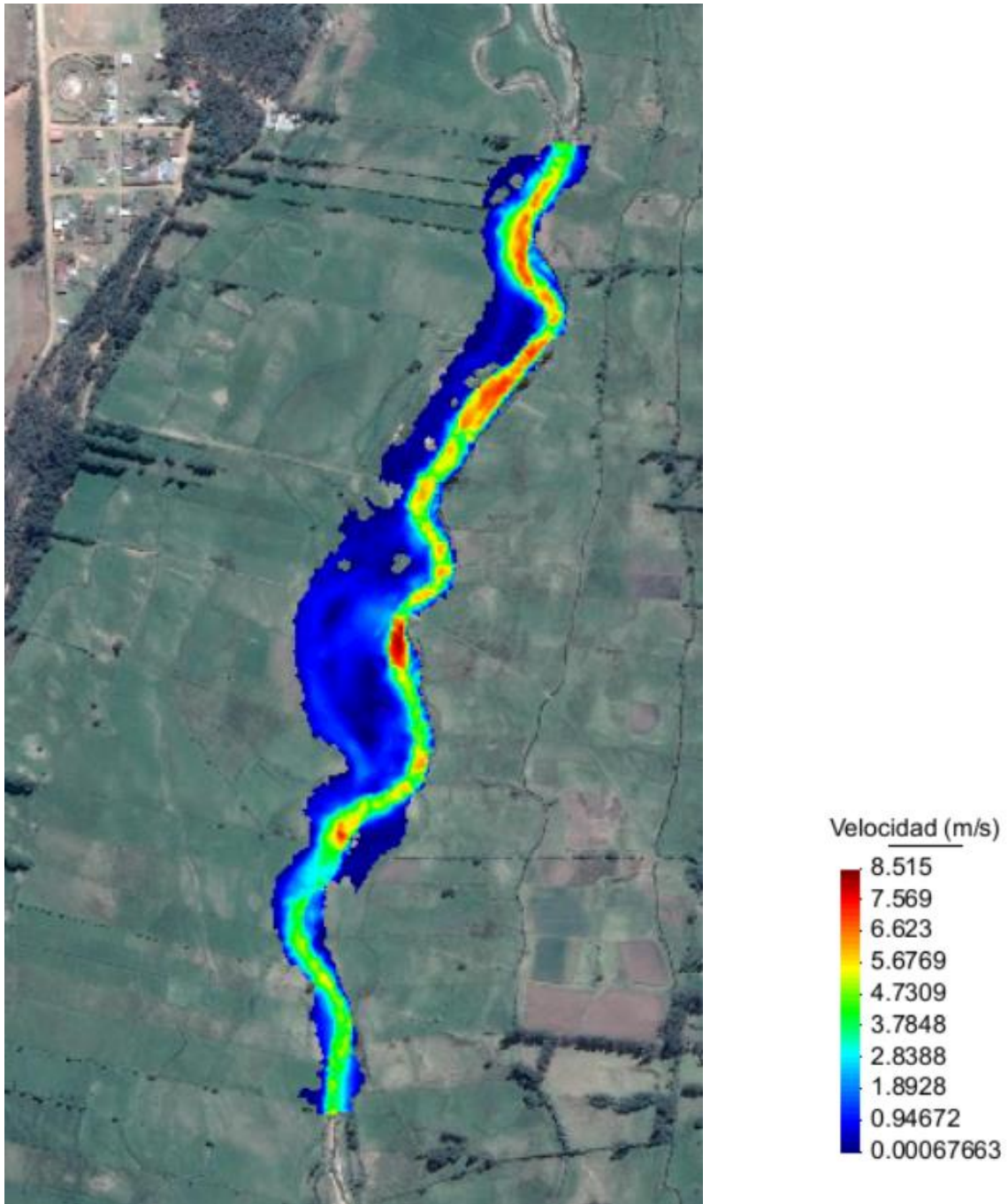


Figura 38: Velocidad de flujo para un  $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$

### Mapa de Peligrosidad

En la siguiente imagen se refleja las zonas críticas de las áreas de inundación de un  $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$  de las áreas inundables de acuerdo a un nivel de intensidad de acuerdo a la profundidad de flujo.

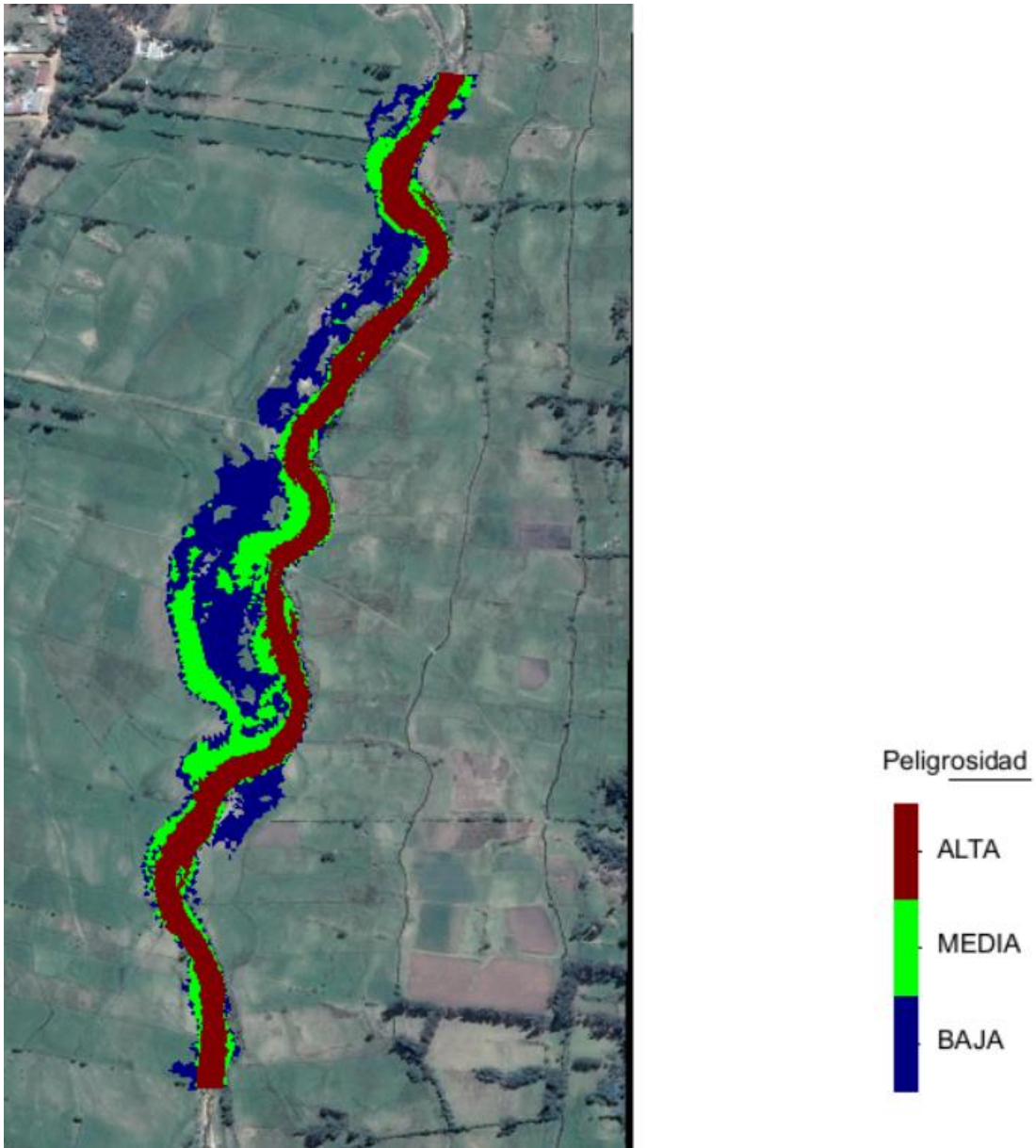


Figura 39: Máxima peligrosidad para un  $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la figura 39 se observa la peligrosidad por el desborde del río la Quispa, siendo mayor el área de Peligrosidad alta, en la siguiente tabla se cuantifica las áreas del nivel de peligrosidad.

Tabla 37: Áreas inundables para un  $Q = 256.76 \text{ m}^3/\text{s}$

<b>Niveles de intensidad</b>	<b>Margen Derecha (Ha)</b>	<b>Margen Izquierda (Ha)</b>	<b>Área Total (Ha)</b>
Peligrosidad Baja	2.33	0.39	2.72
Peligrosidad Media	1.54	0.29	1.83
Peligrosidad Alta	1.84	0.93	2.77
<b>Total</b>	<b>5.71</b>	<b>1.61</b>	<b>7.32</b>

Las áreas inundadas corresponden tanto al margen derecho como el izquierdo, donde se observó claramente que el margen derecho es el que posee la mayor área de inundación, afectando en ello pastos, áreas cultivadas, caminos, carreteras y un puente de concreto.

Tabla 38: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 50 años

<b>Peligrosidad</b>	<b>Área (Ha)</b>
Río	2.39
Pastos cortos	2.06
Arbustos	0.30
Tierra labrada	0.93
Árboles	0.88
Arena	0.79
Total	7.32

### **Perfil hidráulico del tramo de río en estudio con la presencia de Máximas Avenidas**

Mediante los perfiles se logró observar la de la lámina de agua y la cota del terreno con la variabilidad de los caudales máximos modelados.

**Q = 256.76 m<sup>3</sup>/s**

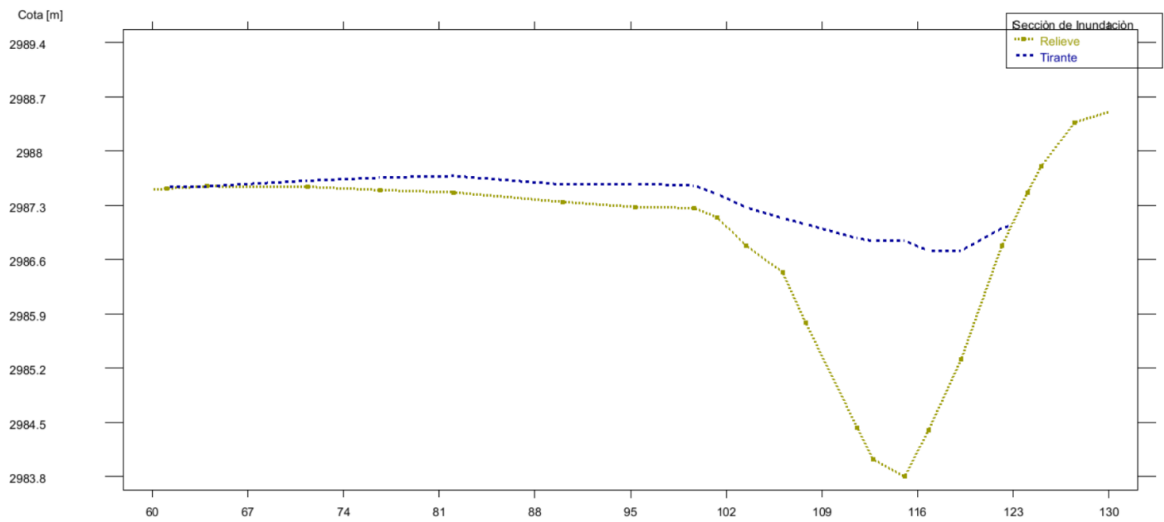


Figura 40: Perfil para un Q = 256.76 m<sup>3</sup>/s.

## 2. Resultados de modelamiento para un Q = 280.64 m<sup>3</sup>/s

Con el caudal Q = 280.64 m<sup>3</sup>/s y un TR= 92 años, dieron como resultado de calado máximo 4.48 m y calado mínimo 0.01 m, mientras que las velocidades varían desde 0.0013 m/s hasta 8.71 m/s, como se muestran a continuación.



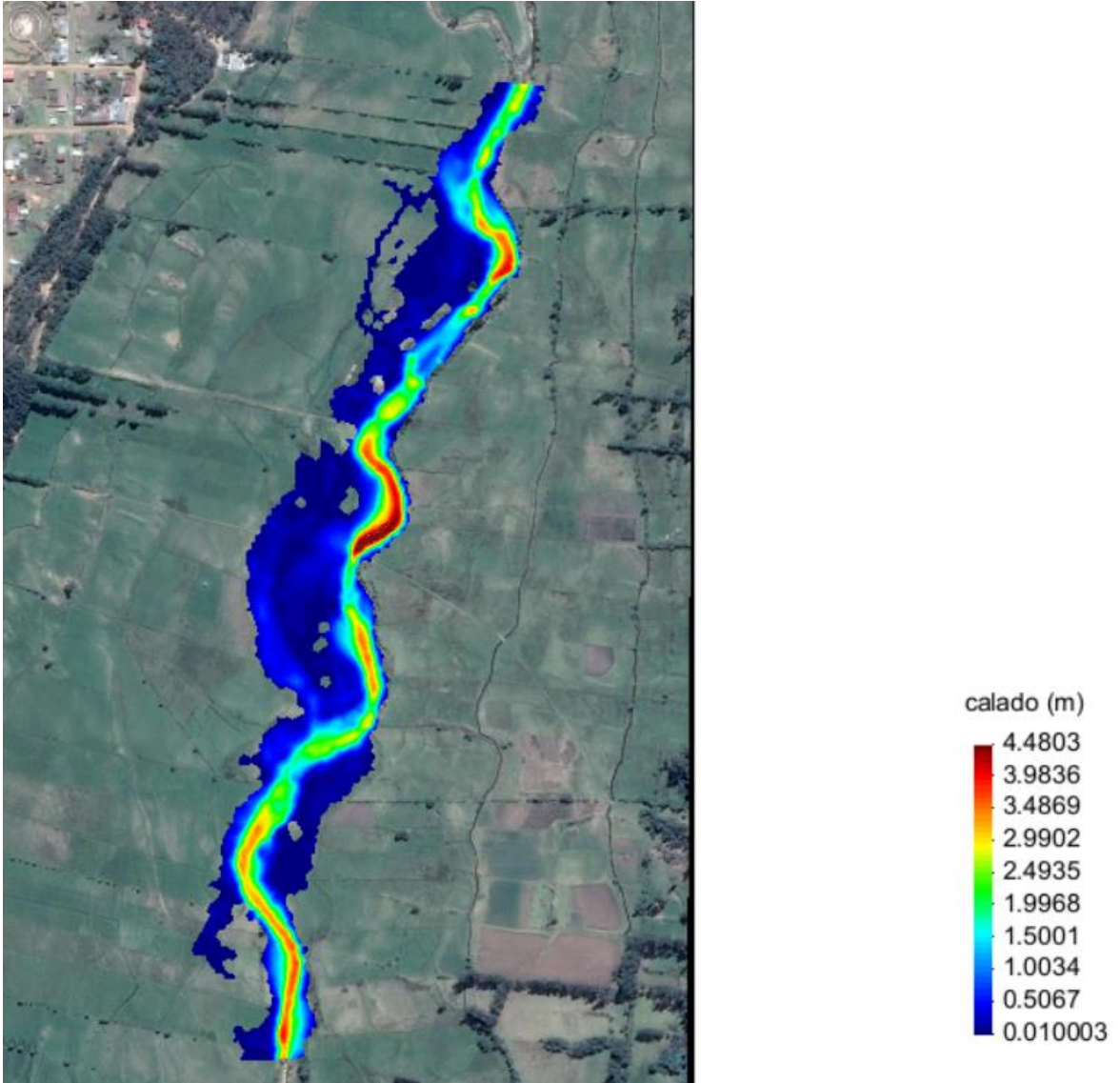


Figura 41: Tirantes máximos para un  $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$

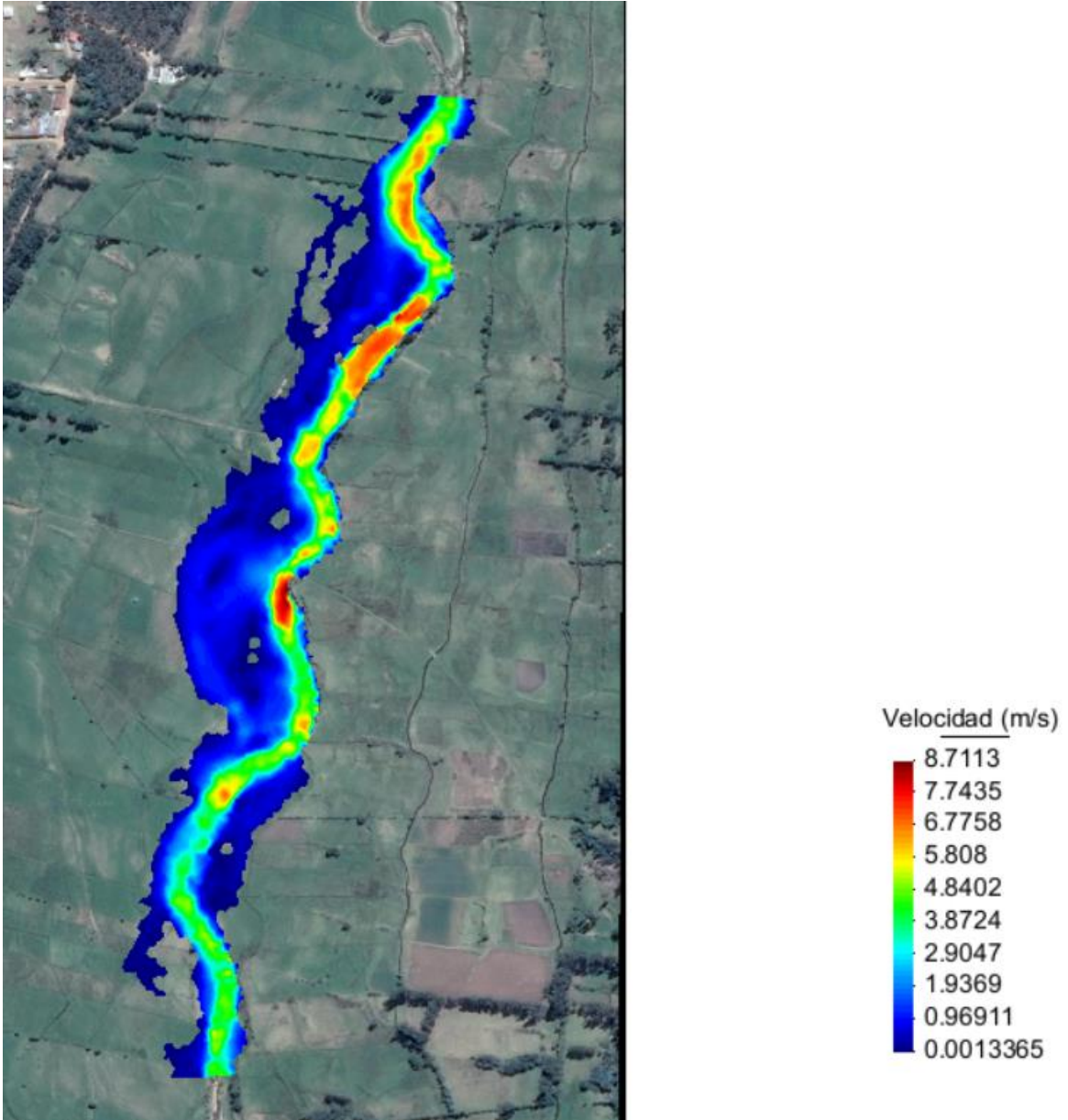


Figura 42: Velocidad de flujo para un  $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$

### Mapa de Peligrosidad

En la siguiente imagen se refleja las zonas críticas de las áreas de inundación de un  $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$  de las áreas inundables de acuerdo a un nivel de intensidad de acuerdo a la profundidad de flujo.

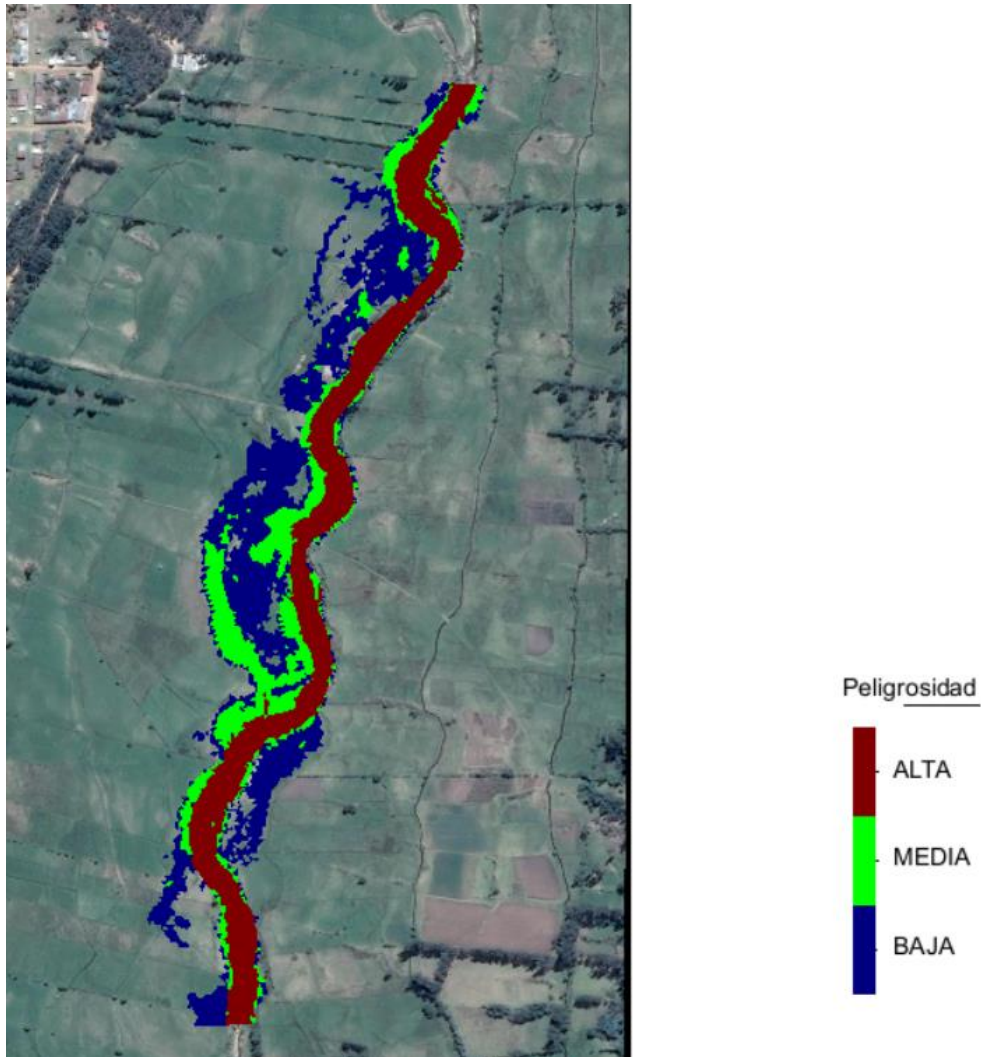


Figura 43: Máxima peligrosidad para un  $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la Figura 43 se observa la peligrosidad por el desborde del río la Quispa, siendo mayor el área de Peligrosidad alta, en la siguiente tabla se cuantifica las áreas del nivel de peligrosidad.

Tabla 39: Áreas inundables para un  $Q = 280.64 \text{ m}^3/\text{s}$

Niveles de intensidad	Margen Derecha (Ha)	Margen Izquierda (Ha)	Área Total (Ha)
Peligrosidad Baja	2.96	0.71	3.67
Peligrosidad Media	1.57	0.29	1.86
Peligrosidad Alta	1.62	1.48	3.10
<b>Total</b>	<b>6.14</b>	<b>2.48</b>	<b>8.62</b>



Las áreas inundadas corresponden tanto al margen derecho como el izquierdo, donde se observó claramente que el margen derecho es el que posee la mayor área de inundación, afectando en ello pastos, áreas cultivadas, caminos, carreteras y un puente de concreto.

Tabla 40: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 92 años

Peligrosidad	Área (Ha)
Río	2.46
Pastos cortos	2.53
Arbustos	0.38
Tierra labrada	1.26
Árboles	0.95
Arena	1.03
Total	8.62

### Perfil hidráulico del tramo de río en estudio con la presencia de Máximas Avenidas

Mediante los perfiles se logró observar la de la lámina de agua y la cota del terreno con la variabilidad de los caudales máximos modelados.

**Q = 280.64 m<sup>3</sup>/s**

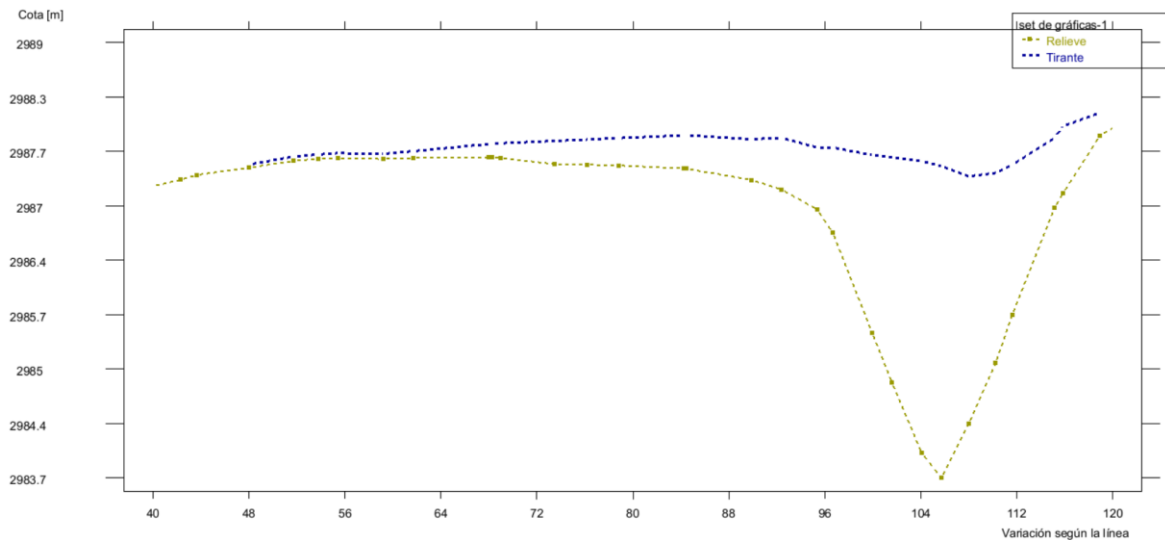


Figura 44: Perfil para un Q = 280.64 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Resultados de modelamiento para un Q = 283.93 m<sup>3</sup>/s

Con el caudal Q = 283.93 m<sup>3</sup>/s y un TR= 100 años, dieron como resultado de calado máximo 4.54 m y calado mínimo 0.01 m, mientras que las velocidades varían desde 0.0014 m/s hasta 10.12 m/s, como se muestran a continuación.

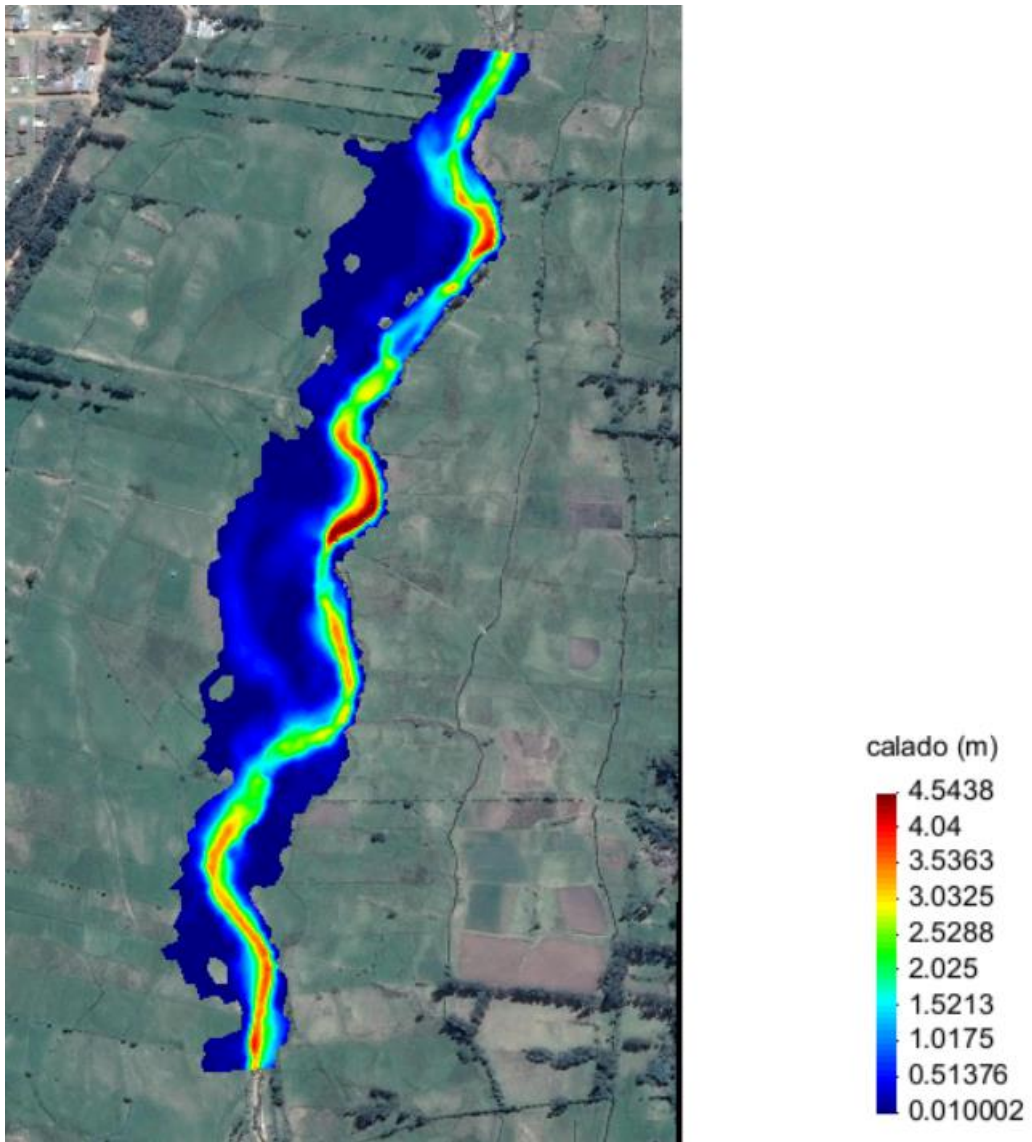


Figura 45: Tirantes máximos para un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$

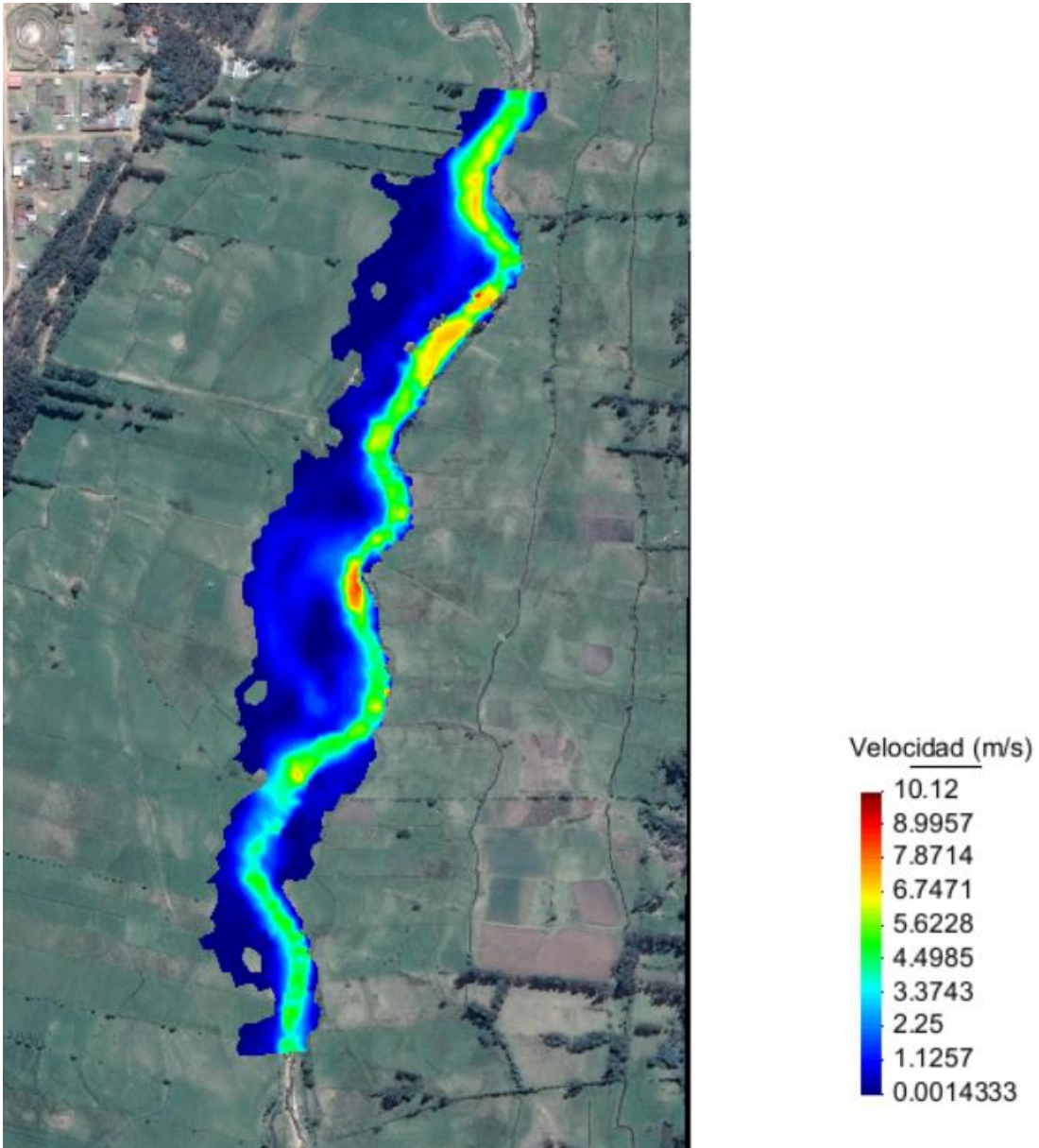


Figura 46: Velocidad de flujo para un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$

### Mapa de Peligrosidad

En la siguiente imagen se refleja las zonas críticas de las áreas de inundación de un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$  de las áreas inundables de acuerdo a un nivel de intensidad de acuerdo a la profundidad de flujo.

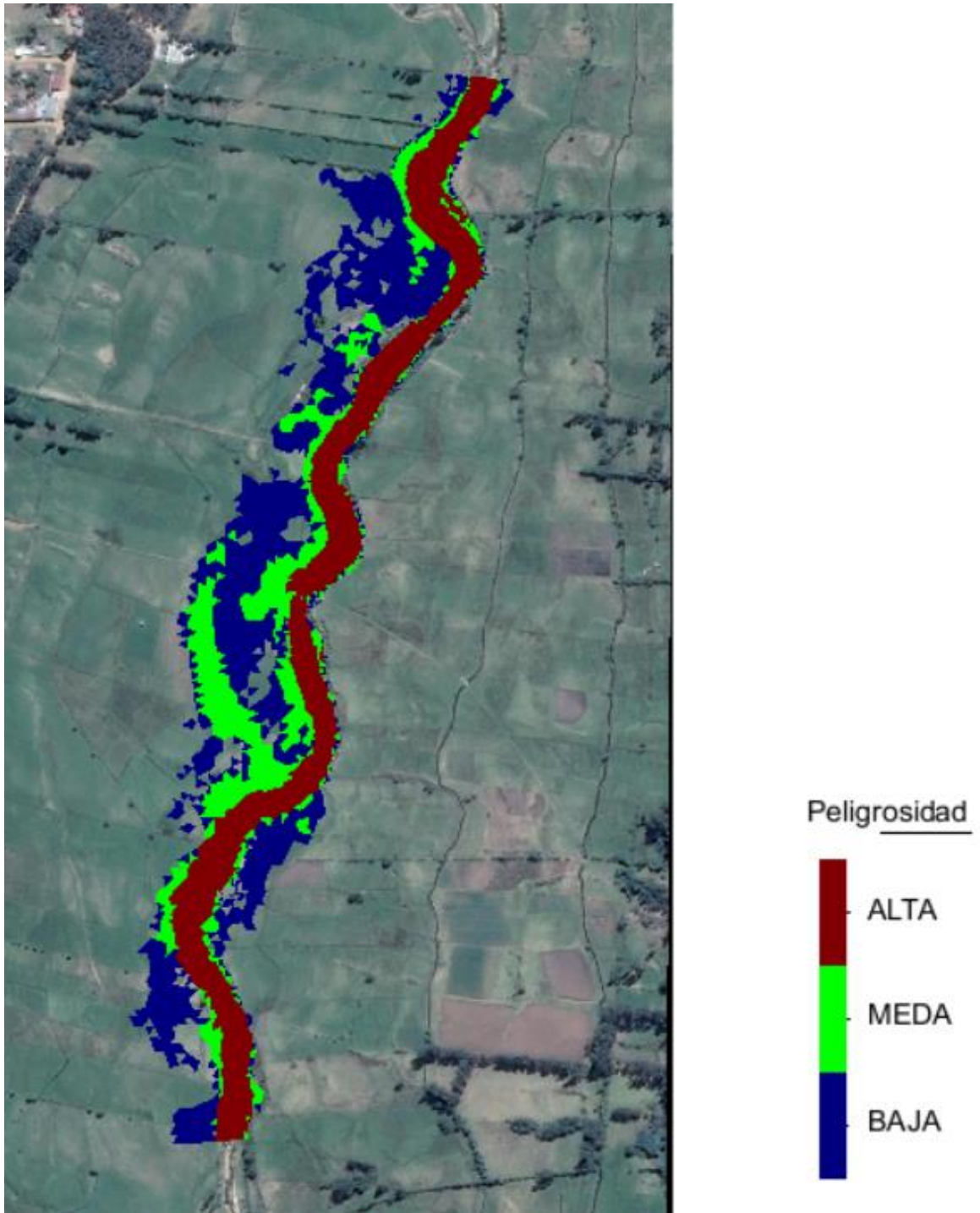


Figura 47: Máxima peligrosidad para un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En la Figura 47 se observa la peligrosidad por el desborde del río La Quispa, siendo mayor el área de peligrosidad alta, en la siguiente tabla se cuantifica las áreas del nivel de peligrosidad.

Tabla 41: Áreas inundables para un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$

<b>Niveles de intensidad</b>	<b>Margen Derecha (Ha)</b>	<b>Margen Izquierda (Ha)</b>	<b>Área Total (Ha)</b>
Peligrosidad Baja	3.55	0.64	4.19
Peligrosidad Media	1.84	0.30	2.14
Peligrosidad Alta	1.72	1.47	3.19
<b>Total</b>	<b>7.11</b>	<b>2.41</b>	<b>9.51</b>

Las áreas inundadas corresponden tanto al margen derecho como el izquierdo, donde se observó claramente que el margen derecho es el que posee la mayor área de inundación, afectando en ello pastos, áreas cultivadas, caminos, carreteras y un puente de concreto.

Tabla 42: Zonificación de áreas inundables por uso de suelo, TR 100 años

<b>Peligrosidad</b>	<b>Área (Ha)</b>
Río	2.45
Pastos cortos	2.81
Arbustos	0.50
Tierra labrada	1.34
Árboles	1.14
Arena	1.25
Total	9.51

### **Perfil hidráulico del tramo de río en estudio con la presencia de Máximas Avenidas**

Mediante los perfiles se logró observar la de la lámina de agua y la cota del terreno con la variabilidad de los caudales máximos modelados.

**$Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$**

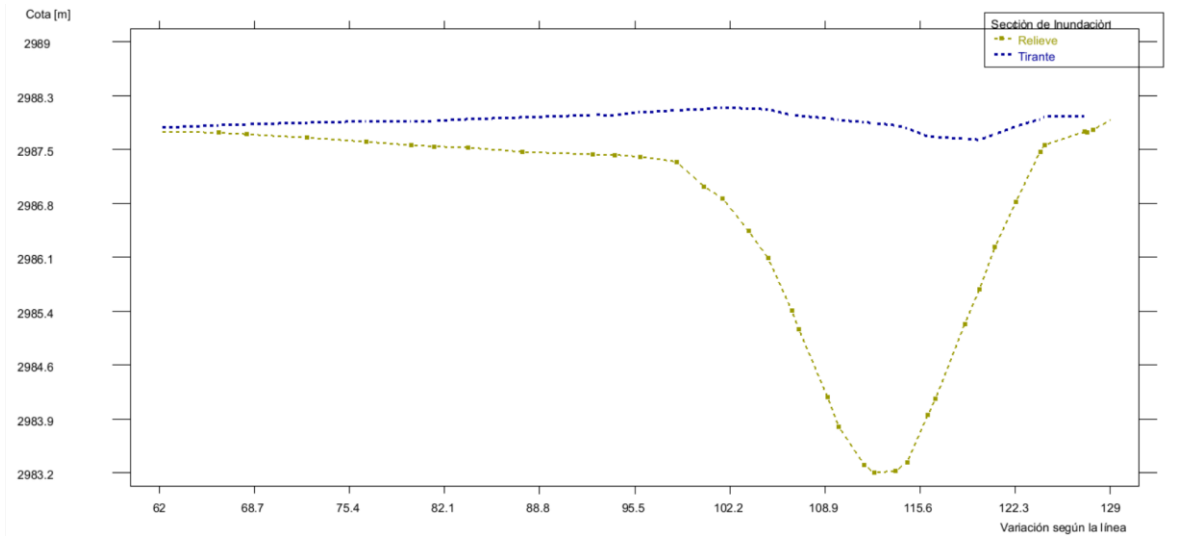


Figura 48: Perfil para un  $Q = 283.93 \text{ m}^3/\text{s}$ .



## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Al realizar el levantamiento topográfico se encontró vestigios de inundación (huella hídrica), dichos datos encontrados en campo fueron tomados como referencia para encontrar el caudal que los generó, el tirante encontrado fue de 1.65 m, teniendo en cuenta esta huella hídrica encontrada en campo se procedió a modelar en el programa IBER con diferentes caudales encontrando así el caudal buscado y fue de 280.64 m<sup>3</sup>/s.
- Para encontrar el caudal idóneo para nuestra cuenca en estudio, se realizó el modelamiento hidrológico para tiempos de retorno conocidos como son de 50, 100, 200 y 500 años, los cuales se comparó con el caudal encontrado en campo según huella hídrica, el cual fue de 280.64 m<sup>3</sup>/s, escogiendo, así como el caudal más apropiado para nuestra cuenca en estudio al caudal de 283.93 m<sup>3</sup>/s, para un tiempo de retorno de 100 años.
- Durante un período de 24 horas, se recopiló información hidrológica sobre las precipitaciones máximas de la Estación Meteorológica La Encañada, ubicada en el distrito de La Encañada; esta información fue procesada y transferida a la cuenca del río La Quispa, lo que resultó en intensidades para calcular los caudales máximos utilizando el método racional modificado. Además, se calculó el coeficiente de escorrentía para la cuenca en estudio, que tuvo un valor de 0.53.
- Se realizó la caracterización de la subcuenca del río La Quispa, iniciado el tramo de estudio o el punto emisor con las coordenadas E 795938.39 y N 9212063.79 y una longitud de estudio de 1152 m; del cual se obtuvo un área de 159.77 km<sup>2</sup>, perímetro de 64.66 km y una longitud del cauce principal de 19.42 km, pendiente media del cauce principal de 3.8 % y un Tc de 5.3 hrs.
- Se procesó correctamente la información cartográfica gracias a las imágenes DEM que, con una resolución de 12 m, se nos hizo más confiable los resultados. El levantamiento topográfico se realizó con un GPS diferencial y un dron, el procesamiento se realizó con la ayuda de programas computacionales que en este caso fue el ArcGis 10.8. El modelamiento hidráulico se realizó con el programa IBER, el cual fue de suma importancia ya que nos ayudó a modelar los diferentes caudales máximos para el cálculo de áreas inundables.

- Se determinó el área inundable originada por el río La Quispa en la longitud de estudio utilizando como herramienta el modelo hidráulico IBER, para un caudal encontrado de 283.93 m<sup>3</sup>/s, con un Tr = 100 años. obteniendo así un área total de inundación de 9.51 Ha, teniendo un índice de peligrosidad, alto, medio y bajo de acuerdo con la clasificación por índice de peligrosidad de acuerdo al calado (H) según la norma de INETER y COSUDE.
- Se obtuvo los calados para el caudal calculado, dando como resultado un máximo de 4.54 m y un mínimo de 0.01m.
- Las áreas con alto riesgo de inundación en su mayoría están en el margen derecho del río, donde se encuentran áreas agrícolas, ganaderas, una carretera y también afectando a un puente de concreto.
- Las áreas afectadas son de 2.81 ha. para pastos cortos, 0.50 ha. para arbustos, 2.45 ha. de lecho de río, 1.34 de tierra labrada, 1.14 ha. de árboles y 1.25 de bancos de arena, dando así un total de 9.51 ha. de área afectada.



## **5.2. Recomendaciones**

- Establecer o mejorar estaciones de aforo hidrológico en diferentes áreas de la cuenca para registrar mejor los caudales y así calibrar mejor los modelos matemáticos utilizados para las simulaciones hidrológicas e hidráulicas.
- Se recomienda la construcción de canales hidráulicos y dispositivos de protección ribereña en zonas inundables del río La Quispa para controlar el pico de crecida.
- Realizar un estudio similar en una subcuenca adyacente con datos similares especificados en el documento para regionalizar y determinar caudales en la subcuenca en estudio.
- Compartir información para asegurar la integración de la gestión del riesgo de desastres en los proyectos y programas de desarrollo económico de los gobiernos locales y regionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

**Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).** *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. 1.<sup>a</sup> ed. Lima, Editorial MACRO, 2011. Perú : Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2012. 192 pp. ISBN: 978-612-304-041-3.

**Villón, Máximo. 2011.** *Hidrología*. 3.<sup>a</sup> ed. Lima : Editorial Villón, 2011. 436 pp.

### LINKOGRAFÍA

**Acaro, Jaramillo Mayra.** Determinación de Zonas Propensas a Inundaciones y Deslizamientos en el Área Urbana de Loja Mediante la Utilización de Modelos Digitales de Terreno [en línea]. Tesis (para optar el Título Profesional de Arquitecto). Loja: Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Arquitectura, 2010. 7 pp. [fecha de consulta: 17 de octubre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/1158>.

**Aparicio, Francisco.** *Fundamentos de Hidrología de Superficie* [en línea]. Mexico : Limusa S.A.- Grupo Noriega Editores, 1992. [fecha de consulta: 11 de noviembre de 2023]. ISBN : 968-18-3014-8.

Disponible en: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_-\\_Aparicio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf)

**Autoridad Nacional del Agua (ANA)** *Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2015-2016, 2016 [en línea]* [fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/3823>.

**Bladé, E., et al.** *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería.* [en línea]. julio, 2014 , vol.30(1) pp.1-10 [fecha de consulta: 25 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/175160/RIMNI300105.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Chow, Ven Te,** *Hidráulica de canales abiertos* [en línea]. Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Editorial,1994, [fecha de consulta: 18 de noviembre de 2023]. ISBN : 07-010776-9. Disponible en: <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-aplicada-ven-te-chow.html>

**Chow, Ven Te, et al.** *Hidrología Aplicada* [en línea]. Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A. Editorial,1994, [fecha de consulta: 28 de noviembre de 2023]. ISBN : 0-07-010810-2.. Disponible en: <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-aplicada-ven-te-chow.html>

**Córdova , Manuel A.** Estimación de caudales medios naturalizados en la cuenca del río Mantaro mediante el método de regionalización estadística. Tesis (Título *Profesional de Ingeniero Civil*). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. 116 pp. [fecha de consulta: 19 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6273>

**Espinoza , P. y Vintimilla, G.** *Caracterización del comportamiento hidráulico de un tramo del río calabí en el sector de toma utilizando un modelo matemático.* Tesis (Título Profesional de de Ingeniero Civil). Cuenca : Universidad de Cuenca, 2013. 82 pp. [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4573>

**Gaspari, F. J., et al.** Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista AUGM DOMUS* [en línea]. Marzo-diciembre, 2012, 4, 143–158 [fecha de consulta: 10 de octubre de 2023]. ISSN: 1852-2181. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476>

**Guarniz, C.** Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo [en línea]. Tesis (*Para obtener el título de Ingeniero Civil*). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2014. 82 pp. [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/634>

**Ibáñez, S., Moreno, H. y Gisbert, J.** Morfología de las cuencas hidrográficas[En línea]. *Valencia: Henaos Universidad Pontificia de Valencia, 2017. 12 pp.* [fecha de consulta: 10 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>

**Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).** MANUAL DE ESTIMACIÓN DEL RIESGO ANTE INUNDACIONES FLUVIALES. 2011 [fecha de consulta: 26 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>

**INETER y COSUDE. 2005.** Proyecto MET-ALARN. *INUNDACIONES FLUVIALES.* s.l., Nicaragua : INETER, Agosto de 2005.

**Martín, J.** *Ingeniería de ríos* [en línea]. México : Alfaomega Grupo Editor, 2003. [fecha de consulta: 11 de noviembre de 2023]. ISBN: 978-970-15-0819-X. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/qdownload/ingenieria-de-rios-martin-vid-3-pdf-free.html>

**Pachac, Y.** *Modelamiento hidrológico para avenidas de la sub cuenca Quillcay, con fines de protección del sector nueva Florida , distrito de Independencia 2013.* Tesis ( Título Profesional de Ingeniero Agrícola). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2015. 133 pp. [fecha de consulta: 20 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1192/T%20259%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).** *Metodología Para la Determinación de Riesgos de Desastres a Nivel Territorial* [en línea] Cuba: Juana Serrano, Ida Pedroso, Osvaldo Pérez, Sheila Chang, Ramón Pérez, Elsa Fonseca, Armando Santiago (eds.), 2014. [Consulta:17 de octubre de 2023], ISBN: 978-959-300-033-8. Disponible en: <https://dipecholac.net/docs/files/475-libro-metodologia-riesgo-ama.pdf>, pág. 9.

**Quiliche, J.** *Mitigación del riesgo por inundación del caserío huaquillo mediante la construcción de gaviones tipo caja en la quebrada Timaruca - San Ignacio.* Tesis ( Título Profesional de Ingeniero Civil ). Jaen: Universidad Nacional Cajamarca, 2014. 146 pp.

[fecha de consulta: 20 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/511>

**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). 2011.** *¿Qué es cuenca hidrológica?* [en línea]. Lima : 2011 [fecha de consulta: 20 de noviembre de 2023]. Disponible en: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)

**Tarazona, Hugo. 2016.** *Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Ica con fines de prevención De inundaciones en la Ciudad de Ica.* Tesis (Título Profesional de Ingeniero Agrícola) . Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. 154 pp. [fecha de consulta: 22 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2490>

**Valdivia, Guevera Jimmy. 2014.** Determinación del área de inundación por máxima avenida de la quebrada Amojú, en la zona urbana de la ciudad de Jaén - Cajamarca [en línea] Tesis ( Título Profesional de Ingeniero Civil ). Cajamarca: Universidad Nacional Cajamarca, 2014. 94 pp. [fecha de consulta: 26 de noviembre de 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/512>

## ANEXOS



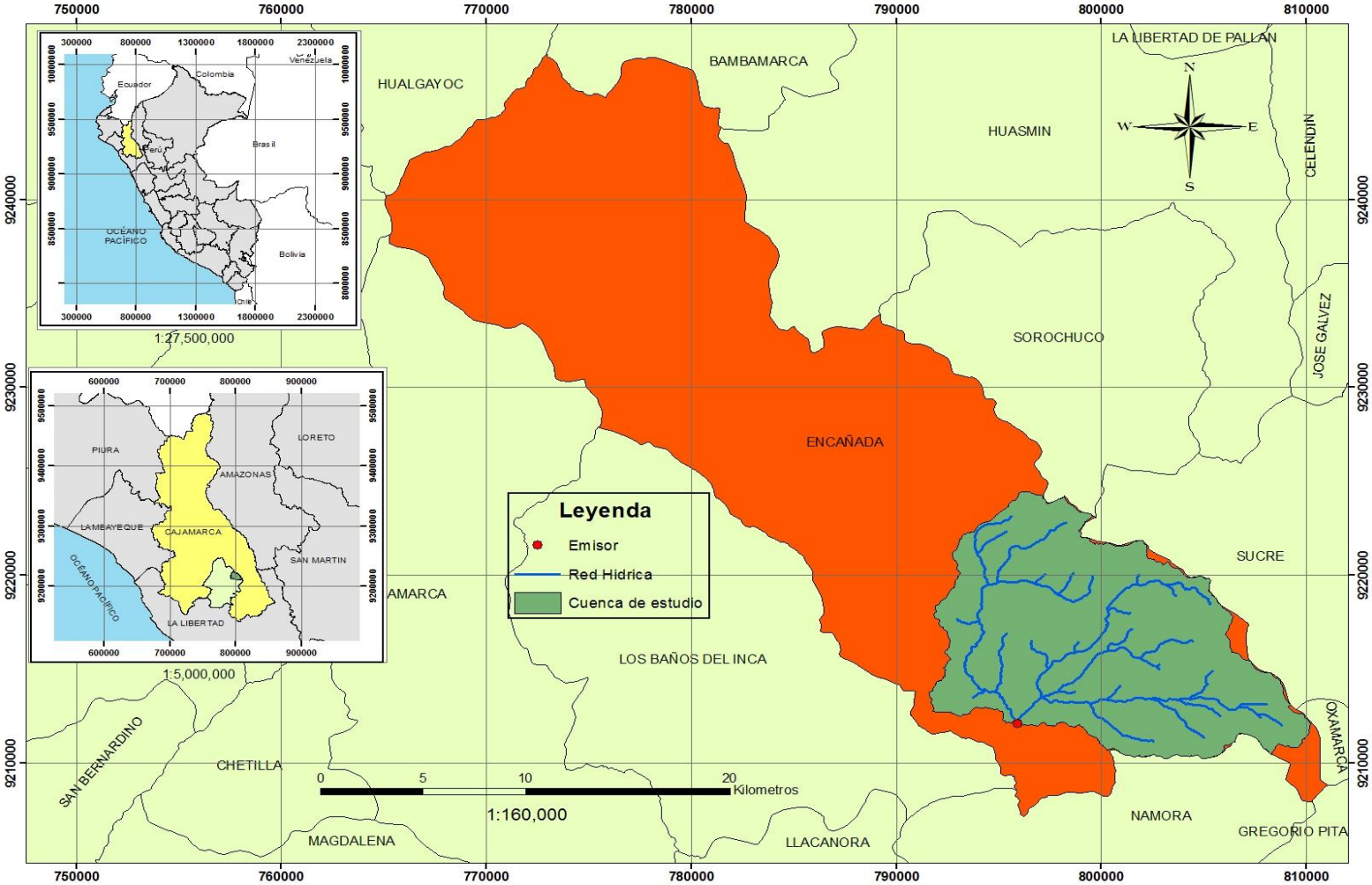
*Figura 49:* Vista de las áreas propensas a ser inundables del Rio La Quispa



*Figura 50:* Levantamiento topográfico del tramo estudiado del Rio La Quispa

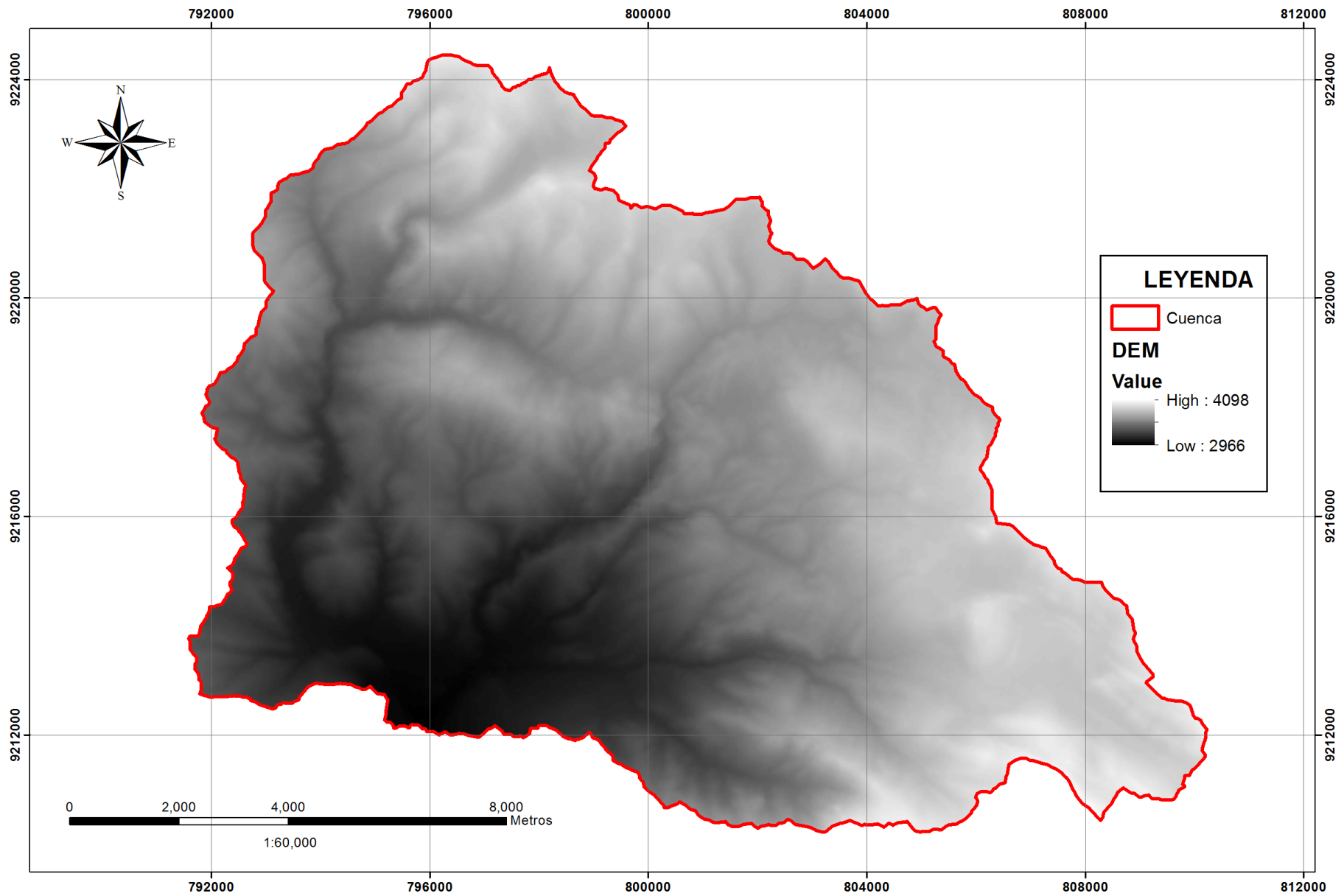
PLANOS

**PLANO DE UBICACIÓN DEL RÍO LA QUISPA**

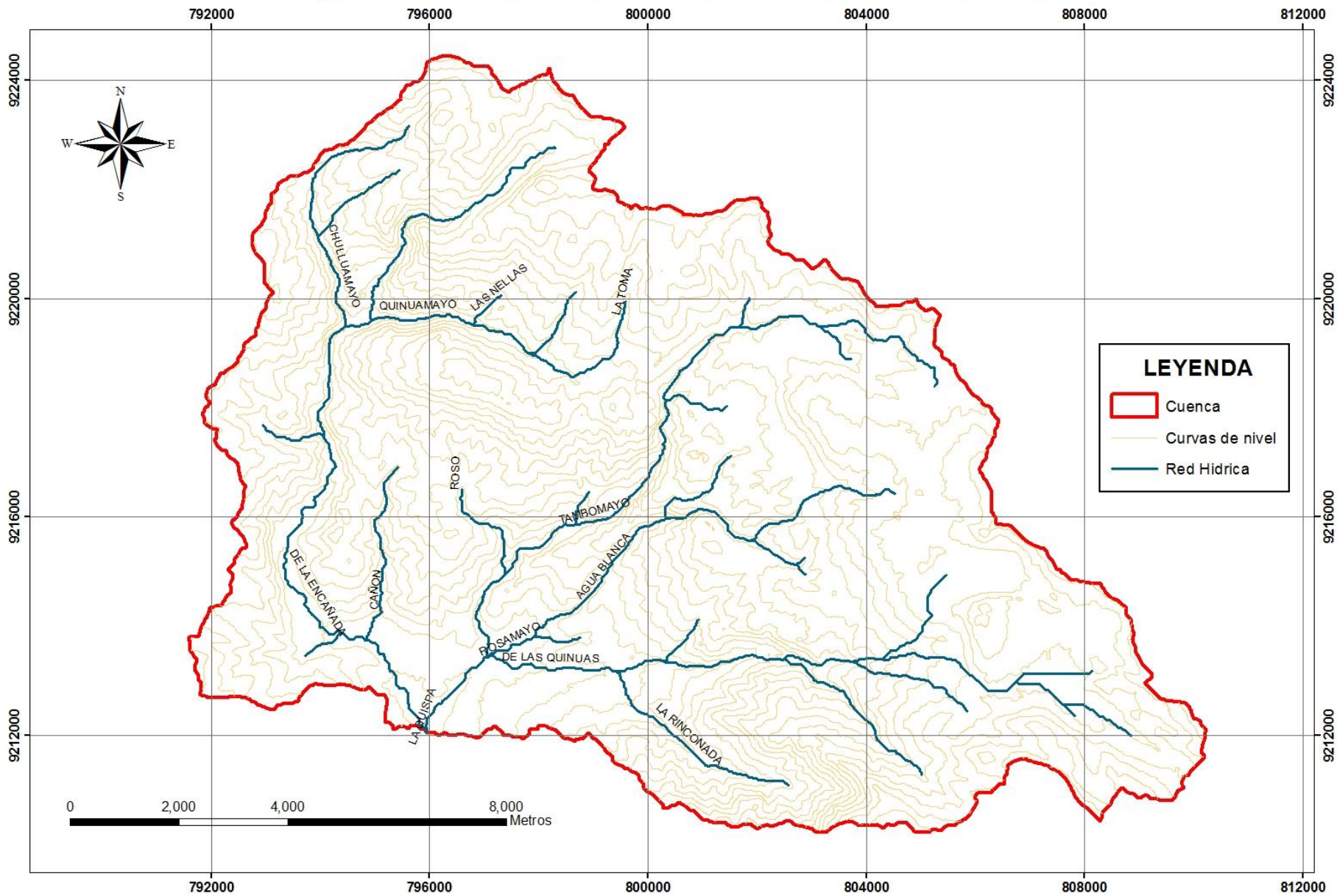




# MAPA DEM DE LA CUENCA DE ESTUDIO

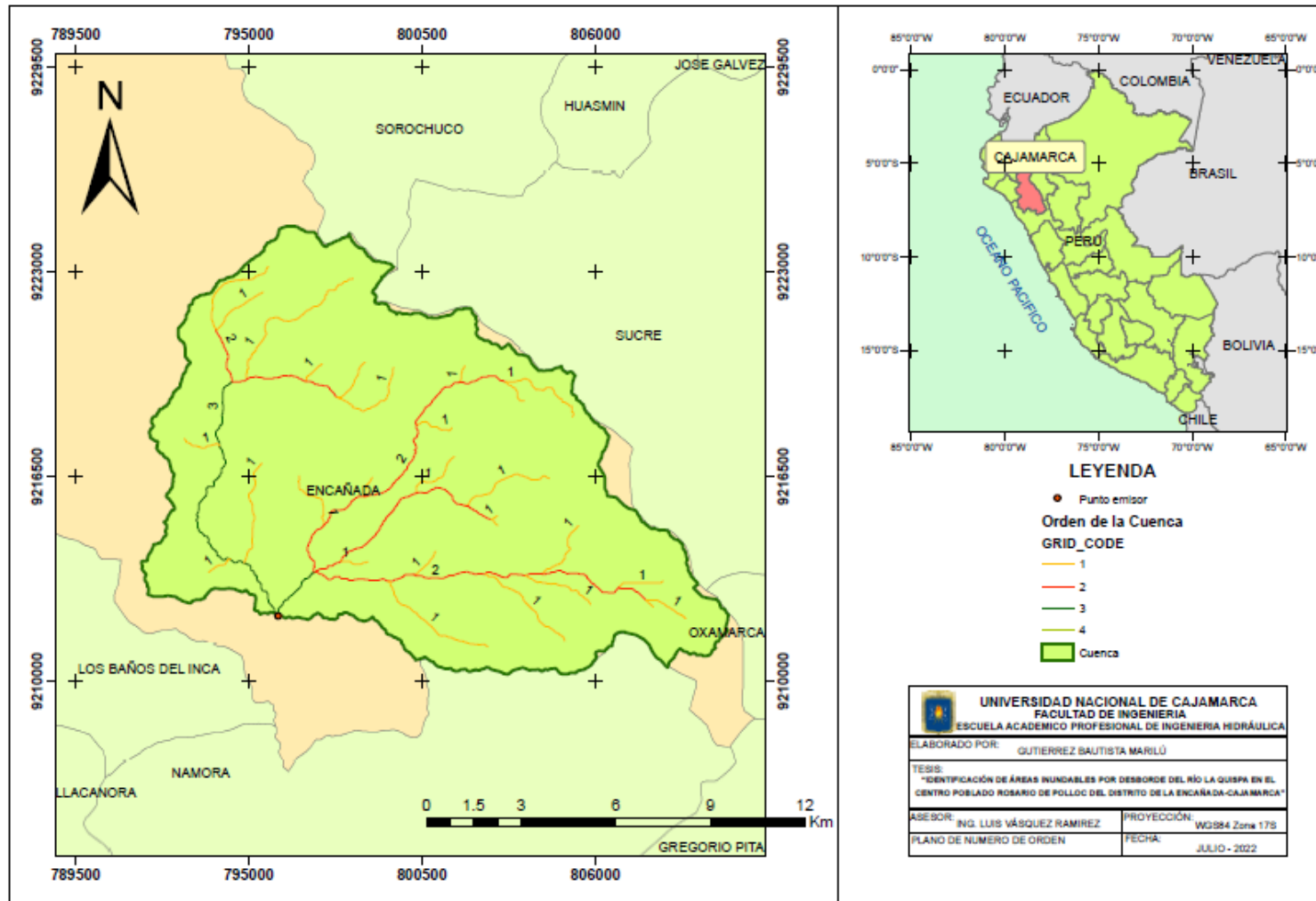


# MAPA DE DELIMITACION DE LA CUENCA DE ESTUDIO

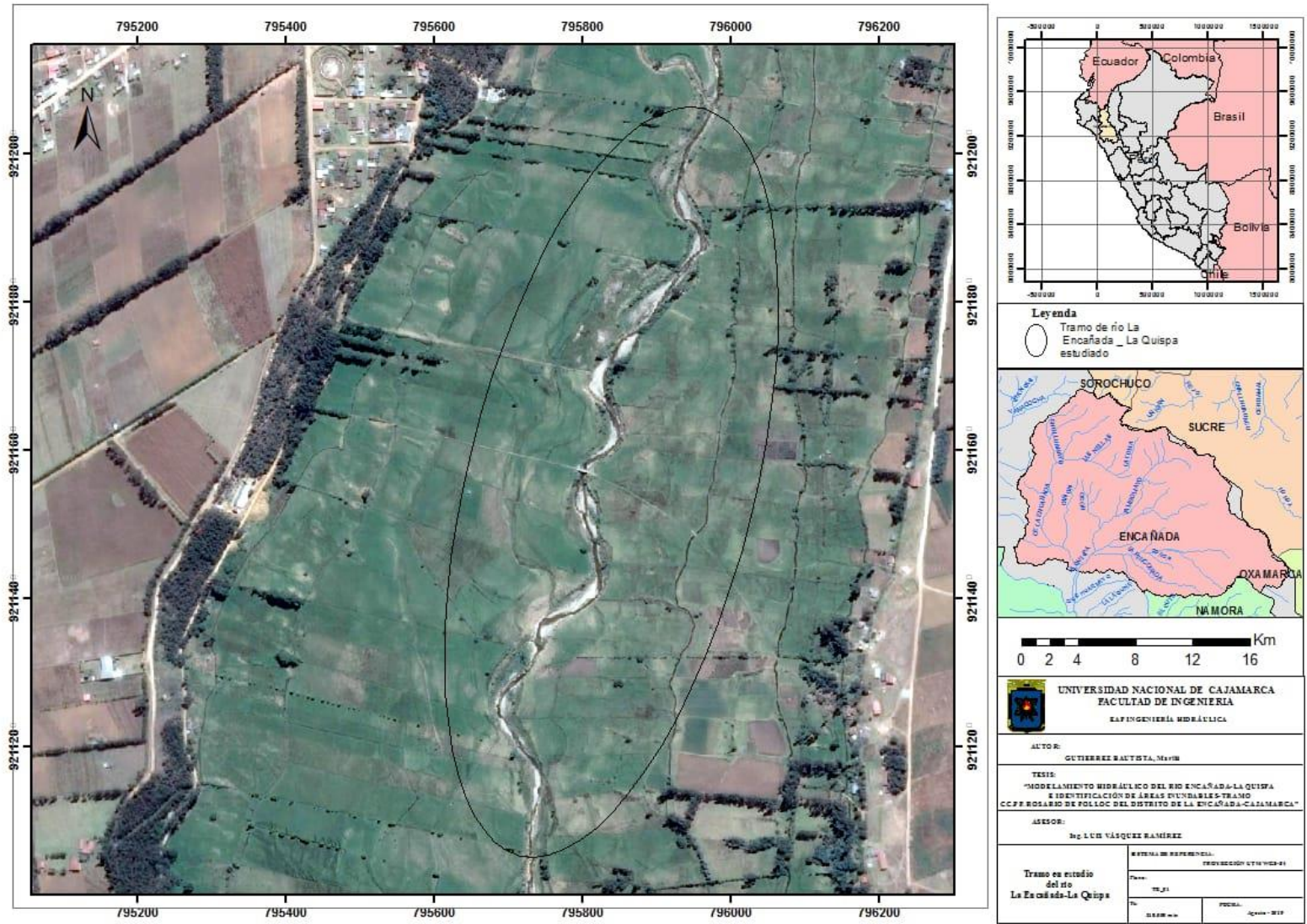




## PLANO DE NUMERO DE ORDEN DE LA CUENCA EN ESTUDIO



## TRAMO EN ESTUDIO CON PELIGRO DE INUNDACIÓN



1. Datos del autor:

Nombres y Apellidos: \_MARILÚ GUTIERREZ BAUTISTA

DNI/Otros N°: 45702160

Correo electrónico: marilugb16@hotmail.com

Teléfono: 970074827

2. Grado académico o título profesional

Bachiller     Título profesional     Segunda especialidad

Maestro     Doctor

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis     Trabajo de investigación     Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Título: "IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES POR DESBORDE DEL RÍO LA QUISPA EN EL CENTRO POBLADO ROSARIO DE POLLOC DEL DISTRITO DE LA ENCAÑADA-CAJAMARCA"

Asesor: Dr. Ing. LUIS VASQUEZ RAMIREZ

Jurados: Presidente: Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.

Vocal : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

Secretario : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.

Fecha de publicación: 10/10/2024

Escuela profesional/Unidad: INGENIERIA HIDRÁULICA

4. Licencias

**Bajo los siguientes términos autorizó el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.**

Con la autorización de depósito de mi trabajo de investigación, otorgó a la Universidad Nacional de Cajamarca una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación, en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de la UNC, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Nacional de Cajamarca podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad,



o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas. La Universidad Nacional de Cajamarca consignará el nombre del(los) autor(es) del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X)

( **X** ) Sí, autorizó que se deposite inmediatamente.

\_ **X** \_ Sí, autorizó que se deposite a partir de la fecha 10/10/2024

\_\_\_\_\_ No autorizo

\_\_\_\_\_  
Firma

05/03/2025

Fecha

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS\_MARILÚ GUTIERREZ BAUTISTA**

AUTOR

**MARILÚ GUTIERREZ BAUTISTA**

RECUENTO DE PALABRAS

**10056 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**53123 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**93 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Mar 18, 2024 11:32 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Mar 18, 2024 11:33 PM GMT-5**

### ● 19% de similitud general

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

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Fuentes excluidas manualmente
- Bloques de texto excluidos manualmente