



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO**

**ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO**

**TEMA:**

**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO  
CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA  
PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022.**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Administración para Desastres y Gestión del Riesgo.

**Autores:**

Martha Alexandra Ramírez Guamán

José Andrés Gordon Morillo

**Director del Proyecto:**

Ing. Paúl Sánchez Franco

**GUARANDA – ECUADOR**

2022



**Notaria Tercera del Cantón Guaranda**  
**Msc. Ab. Henry Rojas Narvaez**  
**Notario**

No. ESCRITURA	20230201003P00245
---------------	-------------------



**DECLARACION JURAMENTADA**  
**OTORGADA POR:**

**MARTHA ALEXANDRA RAMIREZ GUAMAN Y**  
**JOSE ANDRES GORDON MORILLO**

**CUANTIA: INDETERMINADA**

**FACTURA: 001-002-000011163**

**DI: 2 COPIAS**

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día veintisiete de enero de dos mil veintitrés, ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparecen los señores MARTHA ALEXANDRA RAMIREZ GUAMAN, soltera, domiciliada en la parroquia Santiago del cantón San Miguel, provincia Bolívar y de paso por este lugar, con celular número 0978698800, correo electrónico [ramirezalexita@gmail.com](mailto:ramirezalexita@gmail.com); JOSE ANDRES GORDON MORILLO, soltero, domiciliado en la ciudad de Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y de paso por este lugar, con celular número 0995259040, correo electrónico [jogordon@mailes.ueb.edu.ec](mailto:jogordon@mailes.ueb.edu.ec), por sus propios derechos. Los comparecientes son de nacionalidad ecuatoriana, mayores de edad, hábiles e idóneas para contratar y obligarse a quienes de conocerlos doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana, bien instruidos por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertidas de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presentan su declaración Bajo Juramento que dicen: Declaramos que la tesis: "MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022" previo la obtención del título de Ingenieros en Administración para Desastres Y Gestión del Riesgo, a través de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano de la Universidad Estatal de Bolívar, es de nuestra autoría, este documento no ha sido previamente presentado por ningún grado de calificación profesional y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas por los autores. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hacemos para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue a la compareciente por mí el Notario en unidad de acto, aquella se afirma y se ratifica de todo lo expuesto y firma conmigo en unidad de acto, quedando incorporado al protocolo de esta Notaria, la presente declaración, de todo lo cual doy fe.-

**MARTHA ALEXANDRA RAMIREZ GUAMAN**  
**C.C. 0202468476**

**JOSE ANDRES GORDON MORILLO**  
**C.C. 1724952518**



**AB. HENRY ROJAS NARVAEZ**  
**NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA**



Universidad Estatal de Bolívar  
 Facultad Ciencias de la Salud y el Ser Humano  
 Carrera Administración para Desastres y Gestión del Riesgo



Guaranda, 27 de enero, 2023

**Hoja de responsabilidad por los autores de la tesis**

Yo, **RAMIREZ GUAMAN MARTHA ALEXANDRA**, con cédula de ciudadanía No. **0202468476**, y **GORDON MORILLO JOSE ANDRES**, con cedula de ciudadanía No. **1724952518**, autores de la tesis:

**“Modelamiento hidráulico del río Blanco y el río Cristal para el análisis de inundaciones en la cabecera parroquial de Valle Hermoso, cantón Santo Domingo, 2022”**

El presente proyecto de investigación presentado para la obtención del título: Ingeniería en Administración para Desastres y Gestión de Riesgos, es original obtenido de la investigación personal, dando honorabilidad a la ejecución propia del proyecto, eximiendo a la Universidad Estatal de Bolívar y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente, aceptamos y autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar la publicación de la tesis en el repositorio – Biblioteca Virtual.

**RAMÍREZ GUAMÁN MARTHA**

No. 0202468476

**GORDON MORILLO JOSE**

No. 1724952518

## **I. TEMA**

**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL  
PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL  
DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022.**

## **II. CERTIFICACIÓN**

**UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**  
**CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO**  
**ADMINISTRACIÓN PARA DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO**

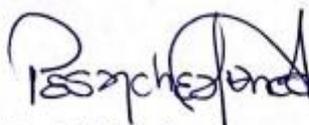
Guaranda, 24 de Noviembre 2022

**MSC. Paúl Sánchez Franco.**

**CERTIFICO**

Yo, **Paúl Sánchez Franco**, en calidad de tutor del trabajo de titulación mediante la modalidad proyecto de investigación titulado: **“MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022”**, elaborado por la Srta. Ramírez Guamán Martha Alexandra y el Sr. Gordon Morillo José Andrés, previo a la obtención del título de Ingenieros en Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, el cual ha sido revisado y reúne todos los requisitos académicos y legales establecidos en el reglamento de titulación de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados el trámite correspondiente para su revisión, calificación y sustentación.



Ing. Paúl Sánchez Franco

**DOCENTE TUTOR**

### **III. DEDICATORIA**

Este trabajo dedico a Dios, por permitirme cumplir cada una de mis aspiraciones, a mis padres, quienes han estado en cada momento y situación de la vida apoyándome constantemente en mi proceso de estudio, a mi compañero de clase y lucha constante José Andrés Gordon, que por situaciones de la vida Dios nos puso a caminar juntos de la mano, y a mi hijo Joan, que ha sido la inspiración y el motor fundamental en esta etapa de culminación, en donde empieza nuevos retos y desafíos.

**Alexandra Ramírez**

Este trabajo se lo dedico a Dios por permitirme vivir este momento, a mi padre que está en el cielo y que cuida de mi familia en todo momento, a mi madre quien ha estado presente en todas las etapas de mi vida, a mi pareja de tesis y compañera de vida, a mi hijo Joan, a mis hermanos y a toda mi familia.

**José Andrés Gordon**

#### **IV. AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mis padres, a mi pequeña familia (Joan y José Andrés), a todos quienes han compartido conmigo un poquito de su tiempo, llenando mi vida de mucha alegría y satisfacción, apoyándome física y moralmente; a mi tutor de tesis, ing. Paúl Sánchez, que siempre me impartió su conocimiento sin ninguna negación, y cuando más lo necesitaba siempre estaba para mí, Él sabe todo el cariño y aprecio que le tengo; para terminar, me agradezco infinitamente por nunca dejar de confiar en mí y en mis capacidades como ser humano, pues la vida me ha enseñado que para lograr algo se debe luchar constantemente con uno mismo, todo por ser cada día mejor. Que satisfacción y placer más grande saber que todo lo has logrado a base de mucho esfuerzo y dedicación, que tal vez tuviste tropezones en la vida, pero esos tropezones te enseñaron a ser cada día más fuerte y constante.

**Alexandra Ramírez**

Quiero agradecer a Dios por todas las situaciones que he vivido, a mis padres, mi hogar que he construido, a mi familia en general, a mi tutor de tesis ing. Paúl Sánchez y a todos los docentes por impartir su conocimiento y ayudarnos a mejorar como personas y como profesionales, a mis compañeros de clase, amigos y a la UEB.

**José Andrés Gordon**

## ÍNDICE

<b>I. Tema.....</b>	<b>4</b>
<b>II. Certificación .....</b>	<b>5</b>
<b>III. Dedicatoria .....</b>	<b>7</b>
<b>IV. Agradecimiento .....</b>	<b>8</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>13</b>
<b>Capitulo I.....</b>	<b>14</b>
<b>1. El problema.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Descripción del problema.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Justificación.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. Limitaciones .....</b>	<b>17</b>
<b>Capitulo II .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Marco referencial .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1. Historia de la parroquia Valle Hermoso.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2. Antecedentes de la investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Bases teóricas .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.1. Ciclo hidrológico: .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2. Cuenca hidrográfica:.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.3. Microcuenca: .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.4. Subcuenca:.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.5. Modelamiento hidráulico: .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.6. Análisis de la amenaza de inundación: .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4. Definiciones de términos (glosario).....</b>	<b>31</b>
<b>2.5. Marco legal.....</b>	<b>34</b>
<b>2.6. Sistemas de variables .....</b>	<b>38</b>
<b>Capitulo III.....</b>	<b>40</b>
<b>3. Metodología.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Nivel de la investigación .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2. Esquema del análisis hidrológico e hidráulico.....</b>	<b>41</b>
<b>3.3. Población universo .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.1. Fichas de observación.....</b>	<b>43</b>
<b>3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>46</b>

Capítulo IV .....	49
<b>4. Análisis e interpretación de resultados.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1. Resultados del objetivo 1: .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.1. Microcuenca del río Cristal.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.2. Subcuenca río Blanco Dj Toachi.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Resultados del objetivo 2: .....</b>	<b>67</b>
<b>4.3. Resultados del objetivo 3: .....</b>	<b>90</b>
Capítulo V.....	95
<b>5. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>95</b>
<b>5.1. Conclusiones.....</b>	<b>95</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>97</b>
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>98</b>
<b>7. Anexos .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generalidades de la Parroquia de Valle Hermoso	19
Tabla 2. Cronología de los eventos adversos dados por inundaciones	21
Tabla 3. Nivel de amenaza	30
Tabla 4. Marco legal de la Gestión de Riesgos en el Ecuador	35
Tabla 5. Operacionalización de las variables	39
Tabla 6. Ficha de observación para el coeficiente de rugosidad de Manning	44
Tabla 7. Niveles de amenaza por inundaciones	48
Tabla 8. Máximas intensidades en 24 horas de la estación La Concordia	50
Tabla 9. Intensidades máximas para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años	51
Tabla 10. Intensidades de las precipitaciones ITR	52
Tabla 11. Grupo de suelos de la microcuenca Blanco DJ Toachi	53
Tabla 12. Condiciones de humedad	54
Tabla 13. Usos de suelo para la microcuenca río Cristal	54
Tabla 14. Cálculo del CN para condiciones de humedad normal	55
Tabla 15. Cálculo de las precipitaciones totales	56
Tabla 16. Resultados del coeficiente de escorrentía	57
Tabla 17. Caudales máximos para diferentes tr (método Racional Modificado)	58
Tabla 18. Caudales máximos para diferentes tr (método de HT del SCS)	59
Tabla 19. Características morfológicas	61
Tabla 20. Registros históricos de caudales máximos	62
Tabla 21. Comparación de datos.	64
Tabla 22. Distribución de Gumbel EVI	65
Tabla 23. Cálculo de caudales para Tr	65
Tabla 24. Resumen de cálculo de caudales por el método Racional Modificado y el método del Hidrograma Triangular del SCS para el río Cristal, Río Blanco método probabilístico de Gumbel.	67
Tabla 25. Estimación de la rugosidad de Manning en el río Blanco	68
Tabla 26. Antecedente histórico	76
Tabla 27. Estación La Concordia (M0025)	78
Tabla 28. Nivel de amenaza para un TR de 50 años	81
Tabla 29. Nivel de amenaza para un TR de 100 años	84
Tabla 30. Nivel de amenaza para un TR de 500 años	87
Tabla 31. Medidas estructurales en sitios críticos	91
Tabla 32. Medidas no estructurales	93

## ÍNDICE DE MAPAS

<i>Mapa 1. Representación de la Parroquia Valle Hermoso</i>	20
<i>Mapa 2. Contexto de estudio</i>	43
<i>Mapa 3. Microcuencas de Valle Hermoso</i>	49
<i>Mapa 4. Subcuenca del río Blanco</i>	60
<i>Mapa 5. Uso de Suelo</i>	70
<i>Mapa 6. Escenarios de Inundación del río Blanco 2011</i>	77
<i>Mapa 7. Validación del modelo Río Cristal</i>	79
<i>Mapa 8. Escenario de inundación para periodos de retorno de 50</i>	83
<i>Mapa 9. Escenario de inundación para periodos de retorno de 100 años</i>	86
<i>Mapa 10. Escenario de inundación para periodos de retorno de 500 años</i>	89

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Hidrograma triangular del scs</i>	59
<i>Ilustración 2. Perfil del río Blanco</i>	69
<i>Ilustración 3. Modelo digital del terreno</i>	71
<i>Ilustración 4 . Final MDT de Valle Hermoso</i>	72
<i>Ilustración 5. Mallas computacionales y edición de puentes</i>	74
<i>Ilustración 6. Plan de simulación</i>	75
<i>Ilustración 7. Niveles de agua registrado en la parroquia por antecedentes históricos</i>	80

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación denominado “**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022**”, se elaboró un modelamiento hidráulico del río Blanco y río Cristal para identificar zonas de inundaciones en el contexto de estudio, para lo cual, se aplicó una metodología mixta (enfoque cualitativo y cuantitativo) para la recolección, análisis y sistematización de la información distribuidos en lo siguiente: para el primer objetivo se obtuvieron los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años de la microcuenca del río Cristal y de la sub cuenca Blanco DJ Toachi; por consiguiente, se generó un MDT y orto mosaico mediante un Dron DJI Mavic, se realizó un análisis de sensibilidad del coeficiente de rugosidad de Manning para calibrar el modelo con eventos reales suscitados en la cabecera Parroquial de Valle Hermoso, de esta manera se validó el modelo y se realizó las simulaciones para los TR analizados donde se identificaron las zonas de inundación al multiplicar el calado y velocidad, siendo los asentamientos a riberas de los dos ríos las más afectadas, entre ellas se encuentra la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso; por último, se elaboraron medidas estructurales y no estructurales que contribuyan en la reducción del riesgo de inundaciones en el territorio.

**Palabras claves:** Modelamiento hidráulico, caudales máximos, coeficiente de rugosidad, ortofoto, MDT, calado y velocidad.

## CAPITULO I

### 1. EL problema

#### 1.1. Descripción del problema

La parroquia Valle Hermoso, perteneciente al Cantón Santo Domingo de los colorados, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, se ve afectada por los desbordamiento de los ríos Blanco y Cristal, a causa de las fuertes precipitaciones que presenta esta región y debido a que al río Blanco aguas arriba del centro poblado en un sitio conocido como La Bocana, se une con el río Toachi y forma un solo río de gran extensión y magnitud, por tal motivo, las autoridades toman las medidas correspondientes al río Blanco reduciendo su impacto, sin embargo, los asentamientos en el centro poblado se encuentran a orillas de uno de los principales afluentes que alimenta al río Esmeraldas, donde si no se dan mantenimiento y reforzamientos de las obras de defensa ribereña, los resultados serian catastróficos para la parroquia. Por otro lado, el río Cristal no cuenta con la protección de diques, sobre todo en el sector de la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso, es por ello que en épocas lluviosas el río Cristal se desborda dejando gran repercusión en la sociedad.

Por consiguiente, la ausencia de un estudio basado en modelamientos hidráulicos en cauces naturales contribuye al desconocimiento sobre el comportamiento de los ríos, esto se debe a que, existe poca información a nivel nacional, provincial y local sobre estudios de inundabilidad considerando una topografía a escala local. Las principales causas de la problemática en cuestión confieren al desconocimiento de los factores hidrológicos tanto del río Blanco como del río Cristal, para definir los caudales máximos se consideró periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Seguido del poco uso de softwares para modelamientos hidráulicos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales de cauces de diferentes caudales, rugosidades, pendientes, /entre otros factores que inciden

en el cálculo de velocidades y tirantes críticos, donde a nivel parroquial no se ha desarrollado este tipo de escenarios.

Por otro lado, el GAD parroquial, no dispone de un asesoramiento técnico con expertos en el área de la gestión de riesgo, en cuanto a medidas estructurales y no estructurales, para reducir el impacto de las inundaciones.

Por último, las consecuencias se resumen en el desorden y conmoción social en la cabecera parroquial ante la presencia de inundaciones del río Blanco y Cristal, así como también en las afectaciones de la integridad física de las personas y de sus medios de vida, que influyen directamente en la toma de decisiones de las autoridades competentes, dando lugar a sociedades inseguras y no resilientes.

## **1.2.Planteamiento del problema**

¿El modelamiento hidráulico del río Blanco y el río Cristal ayuda a determinar las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso?

## **1.3.Objetivos**

### **❖ Objetivo general:**

Realizar un modelamiento hidráulico el río Blanco y río Cristal para el análisis de inundaciones en la cabecera parroquial de Valle Hermoso, cantón Santo Domingo, 2022.

### **❖ Objetivos específicos:**

- Determinar los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años del río Cristal y del río Blanco mediante el método racional y la distribución de probabilidad de Gumbel respectivamente.
- Identificar el nivel de amenaza por inundaciones en el contexto de estudio mediante el modelamiento hidráulico con el software Hec-Ras 2D, del río Blanco y el río Cristal.

- Proponer medidas estructurales y no estructurales, en el contexto de estudio.

#### **1.4. Justificación**

El presente trabajo de investigación sujeto al tema “**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022**” se articula con el Plan Nacional Creando Oportunidades 2021-2025, con el eje de seguridad integral, en su objetivo 9 “Garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgo”; en su política 9.3 “impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna ante emergencias de origen natural o antrópico en todos los niveles de territorialidad”; por último en los lineamientos territoriales E1 “mejorar e impulsar el conocimiento del riesgo de desastre en todo el territorio nacional, con la participación de la academia e instituciones técnico-científicas, para la toma de decisiones que promuevan el desarrollo sostenible” y G3 “Incluir la variable de gestión de riesgos de desastres en todos los niveles de acción del territorio” (Secretaría Nacional de Planificación, 2021)

Por otro lado, el proyecto surge por la exposición de la población de la cabecera parroquial de Valle hermoso frente a las inundaciones en épocas lluviosas, por lo cual se pretende elaborar un modelamiento hidráulico en el software HEC-RAS 2D tanto del río Cristal como del río Blanco, para poder visualizar de una manera digitalizada las zonas con mayor peligro a inundaciones, con respecto al calado y velocidad para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años de los cauces analizados. En función de la información del modelamiento hidráulico bidimensional se propondrá medidas estructurales y no estructurales a partir de la identificación del nivel de la amenaza de carácter socio natural.

La parroquia Valle Hermoso es uno de los principales sitios turísticos de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, especialmente por los deportes extremos en los ríos Blanco y Cristal, por tal motivo, la identificación de las zonas de inundación es de vital importancia para que las autoridades del GAD parroquial tomen las decisiones correctas en cuanto a obras de defensa ribereña, y de esta manera proteger a los pobladores; así como también, promocionar el turismo en el sector.

El estudio cuenta con el aporte técnico de los profesionales del GAD de la parroquia Valle Hermoso, así como también del tutor de tesis de la Universidad Estatal de Bolívar, con el afán de solucionar la problemática existente en el centro poblado de Valle Hermoso.

### **1.5. Limitaciones**

- a. El GAD Municipal de Santo Domingo facilitó los datos de microcuencas, sin embargo, no estaba definida la microcuenca del río Cristal. Por otro lado, en el DEM de 12,5 metros de Alos Palsar no representaba la realidad del territorio, por tal motivo no se realizó el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS.
- b. Los drones de la Escuela de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, se encontraban en mantenimiento por lo que no se pudo tener acceso a estos, lo que conllevó a alquilar un dron mediante recursos propios, sin embargo, se presentaron más dificultades, ya que la fotogrametría se hizo a 200 m de altura debido a la extensión del terreno; el agotamiento de la batería fue otra limitante para realizar una buena planificación de vuelo.
- c. En el software Agisoft Metashape, la nube de puntos densa se vio afectada por la sombra que generaban las estructuras y la vegetación, lo que implicó realizar una

depuración del MDT aplicando otras técnicas, para mejorar la resolución y la calidad del mismo.

- d. Las imágenes de radar de apertura sintética en Google Earth Engine no contienen información de un evento después de la inundación en la Parroquia de Valle Hermoso, razón por la cual no se logró mediante este software validar los resultados del modelamiento hidráulico con un evento real, considerando este enfoque.

## CAPITULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1.Marco referencial

La parroquia Valle hermoso tiene una superficie de 309.76 Km<sup>2</sup>, se encuentra situada al norte de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en el kilómetro 25 de la vía santo Domingo – Quindé. Su nombre se debe a la maravillosa vegetación y numerosos ríos que dan belleza a la parroquia. Los habitantes de Valle Hermoso dedican su tiempo a actividades como la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Está atravesado por dos hermosos y grandes ríos, que, a más de representar la belleza natural de Valle Hermoso, representan el mayor riesgo para la población. (GAD ParroquialL de Valle Hermoso, 2020)

**Tabla 1. Generalidades de la Parroquia de Valle Hermoso**

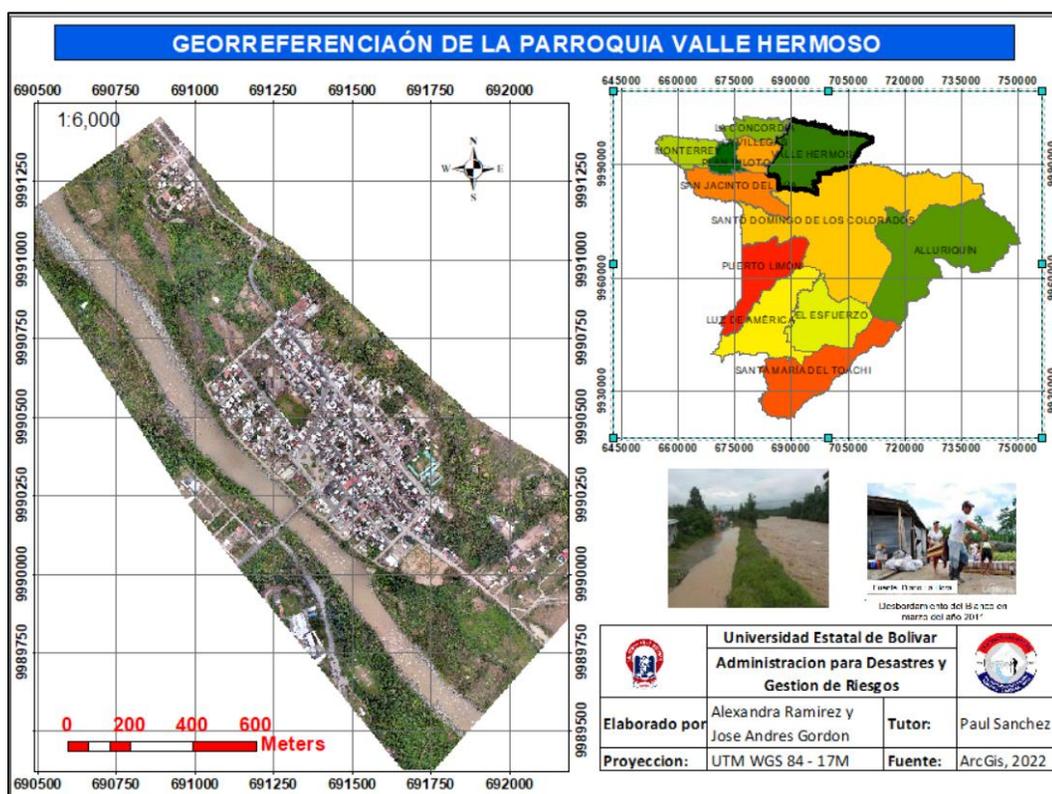
<b>Cabecera parroquial de Valle Hermoso</b>	
<b>Fecha de creación</b>	9 de Julio del año 2000
<b>Superficie</b>	309,76 km <sup>2</sup>
<b>Representación</b>	8,96% del territorio de Santo Domingo
<b>Altitud</b>	260 msnm
<b>Límites</b>	<b>Norte:</b> Cantón Puerto Quito <b>Sur:</b> Parroquia Santo Domingo <b>Este:</b> Cantón los Bancos <b>Oeste:</b> Cantón la Concordia
<b>Clima</b>	Húmedo Tropical
<b>Temperatura</b>	23° a 26° C
<b>Humedad</b>	90,9%
<b>Población</b>	12304 habitantes

<b>Recintos</b>	Cristóbal Colón, San Vicente, Marianitas, El Salazar, La Asunción, Blanquito, La Primavera, Chigüilpe, Pambilandia, La Bocana, El Cristal, Auténticos Campesinos, Cuatro de Febrero, Bella Esperanza, Recinto 9 de Octubre, Unión Ganadera, Nuevo Amanecer, El Sábado, El Triunfo, El Descanso, Mirador de la Selva, El Recreo.
-----------------	---

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordón J.

**Fuente:** (GAD Parroquial de Valle Hermoso, 2020)

**Mapa 1. Representación de la parroquia Valle Hermoso**



**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordón J.

### 2.1.1. Historia de la parroquia Valle Hermoso

El nombre de esta maravillosa parroquia se debe a la gustosa vista paisajística que tiene, sus exuberantes planicies y valles hicieron que los primeros asentamientos llegados desde Loja lo llamaran “Valle Hermoso”. (GAD Parroquial de Valle Hermoso, 2020)

La parroquia está atravesada por dos ríos, el primero y el más extenso es el Río Blanco, el cual nace de las faldas occidentales de la provincia de Pichincha, baja por las montañas de Mindo y recibe el caudal del Río Toachi, lo que enmarca el aumento progresivo del mismo, sobre todo en épocas lluviosas. El segundo es el río Cristal, es menos extenso que el primero, pero es considerado como el más peligroso para la población que se asienta en sus riveras. (Bravo, 2019)

A lo largo de los años se han dado diferentes eventos adversos por la presencia de estos ríos en la cabecera parroquial y sus recintos. A continuación, se presenta una tabla cronológica desde 1998 hasta la actualidad de todos los acontecimientos que se han presentado en esta Parroquia y sus alrededores.

**Tabla 2. Cronología de los eventos adversos dados por inundaciones**

Fecha	Eventos	Descripción
1998	Desbordamiento del río Blanco	Los escombros que bajaron desde lo alto de la montaña, trayendo consigo palizada, piedras y otros materiales que produjeron el desbordamiento de uno de los brazos del río Blanco que antiguamente existía en la Parroquia de Valle Hermoso, esto dejó una serie de pérdidas económicas e infraestructurales.
2004	Desbordamiento del río Blanco	Esta vez los desbordamientos del río blanco afectó el Suroeste del poblado, y dejó pérdidas económicas e infraestructurales.
2006	Desbordamiento del río Blanco	El río puso en alerta a la población, pues a la altura del recinto ferial ya se podía visualizar y escuchar la fuerza con la que el

		río bajaba, destruyó una pared de esta zona. El estruendo fue tan grande que los habitantes urbanos comenzaron a salir de sus viviendas para ubicarse a salvo.
2008	Desbordamiento del río Cristal	El río Cristal no es grande, pero en épocas lluviosas crece progresivamente y aumenta su caudal, lo que hizo que se desbordara destruyendo sembríos, el agua se filtró en una de las pilladoras llevándose las cosechas de pimienta y café que existía en aquel año.
2010	Desbordamiento del río Blanco	Esta vez el caudaloso río Blanco sorprendió a los habitantes a las 5 de la mañana, pues el río aumentó dos metros más de su nivel normal, desbordándose por las orillas y perjudicando a los habitantes de Valle Hermoso que viven en sus riberas.
2011	Desbordamiento del río Blanco	Las fuertes lluvias produjeron el incremento del caudal del río Blanco, el cual arrasó con un muro de piedras que contenía el brazo derecho del río, ocasionó el colapso de algunas viviendas en los barrios Virgen del Cisne y en el sector conocido como La Isla.
2012	Desbordamiento del río Cristal	En esta ocasión el desbordamiento del río Cristal afectó al noroeste de la población de Valle Hermoso.
2015	Desbordamiento del río Cristal y río Blanco	El 8 de febrero del 2015, el río blanco se desbordó y sus aguas ingresaron al centro poblado de la Parroquia, afectó principalmente al barrio Virgen del Cisne. El 22 de abril del mismo año, 4 viviendas fueron afectadas considerablemente como consecuencia del desbordamiento del río Cristal.
2017	Desbordamiento del río Cristal	El río Cristal aumentó su caudal e ingresó a varias viviendas del barrio El Rosario, los organismos de respuesta se activaron inmediatamente para ayudar a las personas afectadas.
2021	Desbordamiento del río	Varias familias perdieron sus pertenencias debido a las inundaciones, incluso existió el colapso de una vía que dejó

		incomunicada a 300 familias por más de 8 horas en el recinto el Recreo, perteneciente a la Parroquia de Valle Hermoso.
--	--	--

**Fuente:** (Carrión, 2016)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordón J.

## **2.2. Antecedentes de la investigación**

El autor (Bolívar, 2020), en su trabajo de investigación de **“Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río Marañon sector puente Tingo Chico. Carretera Huánuco – Conococha”**, realizó un análisis hidrológico que consistió en el procesamiento de información sobre las precipitaciones máximas en 24 horas y caudales máximos anuales, se seleccionó el periodo de retorno en base a la vida útil y el nivel de riesgo con respecto al puente Tingo Chico, para realizar el modelamiento hidrológico el autor emplea el software HEC-HMS, en donde los resultados obtenidos de la primera simulación fueron: ( $Q_p$  1era simulación = 1169.2 m<sup>3</sup>/s) y el caudal pico de diseño de la estación de aforo fue ( $Q_p$  diseño = 1003.33 m<sup>3</sup>/s), estos resultados obtenidos fue para un TR de 200 años, además se realizó la optimización del CN y IA de la primera simulación en HEC-HMS. Por otro lado, la parte hidráulica se llevó a cabo mediante un modelamiento en HEC-RAS 2D y en IBER, aquí se observa que el comportamiento del flujo simulado para los dos modelos muestra una gran similitud en el perfil de flujo, en dicho modelo se observa que aguas arriba del puente Tingo Chaco predomina el régimen subcrítico, donde los tirantes son más altos y las velocidades más bajas.

(Camargo, 2016), realizó un artículo científico que fue publicado en la **“Revista ambiental agua aire y suelo”** en Colombia, sobre una **“Modelación hidrológica – hidráulica de eventos de inundación en el río Bogotá (sector Tocanzipa-Chis) usando HEC-RAS”**, en donde todos los cálculos realizados en esta investigación fueron proporcionados por la Corporación Autónoma

Regional de Cundinamarca (CAR), a partir de esto se modeló la cuenca media en la cual se evidencia el rebose del nivel del río sobre algunos diques en la condición de caudal máximo en la zona alta, media y baja del territorio. Por consiguiente, se hizo un modelamiento 3D de diferentes secciones de la parte media de la cuenca en una condición inicial del caudal mínimo, se observa a mayor detalla que no existe rebose por parte del nivel del río en ningún tramo. Para ello el autor usó el programa HEC-RAS y ArcGis, para realizar una vista sobre la primera y última sección transversal en estudio de las aguas arriba del río respecto al nivel inicial; así como también de las estaciones hidrológicas cercanas al territorio de estudio.

A nivel del Ecuador se han realizado varios estudios hidráulicos y uno de ellos corresponde al autor (Pérez, 2019), con su trabajo de investigación titulado: **“Frente de Pareto de la calibración en régimen impermanente de un modelo hidráulico del río Yanuncay, de la ciudad de Cuenca”**, en donde obtuvo el coeficiente de rugosidad inicial para la calibración del régimen impermanente para el modelamiento hidráulico del río Yanuncay usó el software HEC-RAS, mediante el cual obtuvo los valores de calado de agua simulados en el río, para posteriormente compararlos con los datos observados del mismo. Para ello el autor calculó varios frentes de Pareto aplicó diferentes funciones, además de usar algunas pruebas de bondad de ajuste. Todo el proceso consistió en la generación de varios escenarios de simulación con el modelo hidráulico del río Yanuncay mediante HEC-RAS, con una rugosidad inicial de 0,04 hasta 0,11, lo que permitió hacer la respectiva comparación de los niveles simulados anteriormente con los niveles observados, para de esta manera determinar el escenario que más se aproxime a la realidad.

Otra de las pocas investigaciones sobre modelamiento hidráulico usando el software HEC-RAS fue desarrollado por los autores (Ochoa, Timbe, & Vázquez, 2018), en un trabajo titulado como **“Modelo unidimensional no estacionario en un río de alta montaña en el sur de**

**Ecuador**”, mediante el cual analizan la importancia de tener un modelamiento hidráulico para el análisis de las inundaciones, con el fin de dar la preparación adecuada a todos los actores involucrados en este tipo de escenarios. Este estudio evalúa dos modelos unidimensionales: Mike11 y HEC-RAS, bajo las condiciones topográficas complejas, para realizar la posterior calibración y validación respectiva de cada uno. Los resultados obtenidos para el modelo Mike11 son más precisos que los resultados en HEC-RAS, pues en este último software los autores manifiestan, que no es capaz de encontrar una solución estable durante el modelamiento hidrodinámico del río; sin embargo, HEC-RAS, calcula el flujo unidimensional de canales artificiales y naturales, resuelve también ecuaciones de continuidad y cantidad de movimientos con una solución, es desarrollado principalmente para el manejo del flujo subcrítico.

Por otro lado, cabe mencionar que a nivel local no existe ningún análisis de inundaciones mediante un modelamiento hidráulico, por lo que se realiza la presente investigación con el fin de expresar acciones de prevención y mitigación, para las zonas con mayor exposición a inundaciones. El trabajo se realizó mediante el software HEC-RAS, en donde los resultados obtenidos para un periodo de retorno de 50, 100 y 500 años el porcentaje de inundación en el territorio va en aumento. Por lo que se recomienda al GAD de valle Hermoso, optar por medidas de reducción de riesgos y trabajar arduamente con la población para fomentar una cultura basada en la gestión de riesgos.

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Ciclo Hidrológico:

El ciclo hidrológico es la sucesión de fases por donde el agua pasa en su recorrido por la atmósfera a la tierra y viceversa. El ciclo está compuesto por la evaporación del agua del suelo, mar, ríos y aguas continentales, seguido de la condensación del agua en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y nuevamente comienza o da inicio al ciclo con la evaporación. (Ordoñez, 2017)

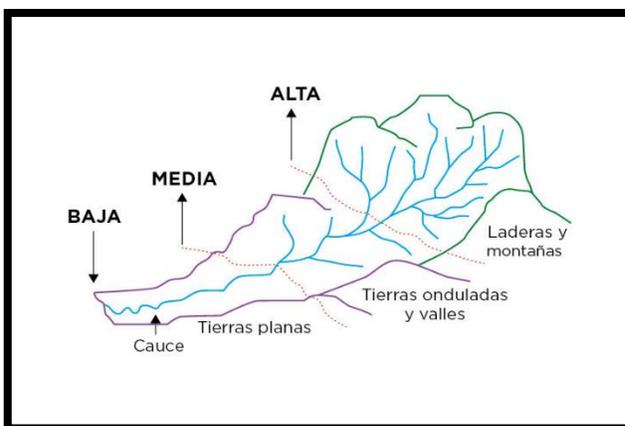


**Fuente:** (Ordoñez, 2017)

Para el autor (Ordoñez, 2017), el ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte circulatorio e indefinido, este movimiento permanente del ciclo se debe a dos causas, la primera es porque el sol proporciona la energía para elevar el agua, esto se conoce como evaporación; la segunda es por la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda, lo que se conoce como precipitación y escorrentía.

### 2.3.2. Cuenca Hidrográfica:

Las características más relevantes de una cuenca hidrográfica corresponden al área de drenaje, la forma de la cuenca, la pendiente, el tiempo de concentración y el sistema de drenaje. (Torres, 2019). Para ( Choque & Mamani, 2020), la cuenca hidrológica es



definida como una superficie natural que recoge las precipitaciones para posterior a ella drenarlas hacia un punto en común que se lo conoce como ríos de primero orden.

### **2.3.3. Microcuenca:**

La microcuenca es definida según su tamaño, es aquella cuya área de drenaje es menor a 500 km<sup>2</sup>. Estas microcuencas son indispensables en zonas productoras o captadoras de agua, estas regulan y favorecen las condiciones del clima, producen oxígeno y sirve principalmente para la agricultura, mediante sistemas de riegos. (FAO, 2018)

### **2.3.4. Subcuenca:**

Una subcuenca es la porción de una cuenca hidrográfica dividida en unidades de drenaje. Abarca un territorio entre 5 000 y 50 000 hectáreas. (Cedeño, 2015)

### **2.3.5. Modelamiento hidráulico:**

Un estudio hidráulico consta de varios elementos fundamentales como la geometría del cauce y las condiciones del flujo definidas por el caudal y las condiciones del contorno. La combinación de geometrías y las condiciones del flujo dan como producto diferentes resultados que pueden ser analizados por separados o conjuntamente. (Soto, 2020)

Sin embargo (Riquero, 2020), manifiesta que la herramienta más útil y eficientes para modelar el comportamiento de los ríos ante el fenómeno de las inundaciones es el modelamiento informático, cabe mencionar que no implica costos altos para su análisis y simulación. Lo primero es delimitar el área de estudio para posterior a ello aplicar varios métodos probabilísticos con el fin de llegar a la visualización digital del modelamiento hidráulico o hidrológico.

Los programas que se aplican para realizar dichos modelamientos hidráulicos entre los más utilizados están, Hec-Ras e Iber, los cuales son softwares que tienen el mismo objetivo de presentar una simulación real a futuro ante un evento de inundación. (Riquero, 2020)

### 2.3.5.1. HEC-RAS

(Hydrological Engineering Center – River Analysis System), se trata de un software gratuito que permite simular flujos en cauces naturales o artificiales para determinar el nivel del agua, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad; está compuesto por 4 tipos de análisis de ríos:

- ✓ Modelo de flujo en régimen permanente
- ✓ Modelo de flujo en régimen no permanente
- ✓ Modelo de transporte de sedimentos
- ✓ Análisis de calidad de agua

Para (Lluén, 2017), HEC-RAS es una herramienta que ha evolucionado con nuevas versiones, cuenta con una extensión que permite simular el flujo de agua, al combinar modelos 1D/2D; para su respectivo cálculo se usa las ecuaciones de onda difusiva y las de San Venant (criterio del usuario), las cuales se resuelve mediante algoritmos de volúmenes finitos implícitos. La evaluación nos permite entender las capacidades y limitaciones que puedan encontrarse al desarrollar alguna simulación hidráulica.

#### ❖ Características del modelo HEC-RAS:

- **Mapas detallados de inundación y animaciones:** HEC-RAS, mediante su herramienta Mapper, ofrece la posibilidad de visualizar mapas de zonas inundadas, además de la animación del flujo de agua cuando se suscita la inundación. Este proceso

se basa en función del terreno subyacente, mas no en el tamaño de la celda computacional de la malla generada.

- **Solución del esquema numérico basado en multiprocesadores:** La solución que se obtiene del modelo es programada para que los procesadores que tiene el ordenador aprovechen, esto permite que se ejecute más rápido.
- **Permite trabajar como procesadores de 64 bit y 32 bit:** HEC-RAS puede trabajar ahora en ordenadores que tengan procesadores de 32 y 64 bit, si el procesador es de 64 bit el procesador ejecutará más rápido la gran cantidad de datos que se introducen.

### **2.3.6. Análisis de la amenaza de inundación:**

#### **2.3.6.1.Amenaza**

La autora (Sosa, 2022), menciona que la amenaza constituye un factor objetivo del riesgo, lo que significa una situación totalmente visible en tiempo y espacio real, que trae consigo un sin número de pérdidas económicas, materiales y humanas, que, si no se actúa a tiempo, tiene la probabilidad de convertirse en una catástrofe.

El Manual de Esfera agrega, que si las amenazas pesan sobre una población y las acciones que se han considerado sean de decisiones políticas deliberadas, las organizaciones humanitarias y derechos humanos están en el deber de abogar para que se realicen cambios en estas políticas que ponen en peligro a los derechos de la población afectada. Una de las acciones claves incluidas dentro de este Manual de Esferas es el deber humanitario, el cual invita a todas las organizaciones a nivel mundial a solventar medidas de mitigación a todos los niveles de territorialidad, en cuanto al riesgo. (Manual de Esfera, 2018)

### 2.3.6.2. Amenaza socio natural:

Se llama así a las situaciones en que las actividades humanas pueden desarrollar la ocurrencia de otras amenazas más allá de sus probabilidades naturales. La identificación de la amenaza en un territorio es insustituible, pues al estudiarla se considera el grado de afectación que esta puede ocasionar con la finalidad de buscar las alternativas idóneas para la preparación de la población mediante acciones de reducción y mitigación, en busca de un fin común que es la respuesta inmediata de los individuos. (UNDRR, 2021)

### 2.3.6.3. Amenaza de inundación:

La cabecera parroquial de Valle Hermoso, está atravesada por dos importantes ríos, el primero y el más grande es el río Blanco y el segundo y más peligroso es el río Cristal; estos causan una gran conmoción social en el centro poblado de la parroquia. Por eso, es importante realizar el análisis de inundaciones de los dos ríos, para mantener informados a las autoridades y a la población en general sobre los grandes riesgos que estos representan.

#### ❖ Niveles de amenaza de inundación:

**Tabla 3. Nivel de amenaza**

Nivel	Descripción
Amenaza Alta	Existe frecuentemente un peligro grave para las personas y bienes debido a la profundidad y velocidad del cauce. La amenaza con alta probabilidad corresponde a un TR de 2 a 9 años.
Amenaza Media	Territorio susceptible al peligro, pero con caudales y tirantes que no suponen peligro para la vida humana. La amenaza con una probabilidad media corresponde a un TR de 100 años.
Amenaza Baja	El territorio estará expuesto a inundaciones con bajas probabilidades de producir daños en la población. La amenaza con probabilidad baja corresponde a un TR de 500 años.

**Fuente:** (Paucar, 2016)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

## 2.4. Definiciones de términos (glosario)

**Alerta:** Es la señal o aviso ante un peligro que aún no ha sucedido, es decir se mantiene en vigilancia. (Manual del COE, 2017)

**Ancho de la cuenca:** Es el cociente entre el área de la cuenca y la longitud de la cuenca, en unidades de km. Existen diferentes letras en su representación, en este caso el autor lo identifica con la letra W. Su fórmula es  $W = A/L$ . (Garay & Agüero, 2018)

**Área de la cuenca:** El autor (Lux, 2019), define al área de la cuenca como la proyección horizontal de la superficie de un drenaje de un sistema de esorrentía que está dirigido directa o indirectamente a un cauce natural.

**Balance hídrico:** Es una herramienta que ayuda a conocer las características de la cuenca. Este balance brinda información detallada acerca de la capacidad que el río posee, así como también los meses del año en el que el afluente aumentará su caudal o por el contrario disminuirá, además de permitir realizar pronósticos hidrológicos. (Díaz & Alarcón, 2018)

**Calado:** Profundidad del flujo, es el trayecto vertical del punto más profundo del canal a la superficie libre de agua. (Cedeño, 2015)

**Caudal:** Es el volumen o la cantidad de agua, que pasa mediante una sección transversal del río, se expresa en metros cúbicos por segundos ( $m^3/s$ ). (ICC, 2017)

**Coefficiente de rugosidad:** Es un índice el cual determina la resistencia del flujo en un determinado canal. En sí, el objetivo de este coeficiente es determinar el grado o porcentaje de resistencia de un canal o tubería a la hora de trasportar cualquier fluido. (Mora & Ávila, 2019)

**Cuenca:** Se la define como el área limitada topográficamente, que esta drenada por un curso de aguas o un sistema de cursos de agua, en donde todo el caudal es descargado mediante una salida simple, que se localiza en el punto más bajo de la cuenca.

**Datos meteorológicos:** Son datos obtenidos de diferentes estaciones meteorológicas registrados durante un largo tiempo, se usan para predecir el tiempo, para definir el clima, para comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas y para realizar trabajos investigativos para la reducción de riesgo de desastre. (IDEAM, 2018)

**Drenaje:** El autor (Vacounte, 2018), manifiesta que drenaje es la forma en que el agua es desalojada por la cuenca, ya sea por una estructura natural o artificial, las mismas que facilitan el escurrimiento y evita que el agua se almacene en un lugar determinado.

**Elevación:** Es la altura o la cota, es el número que indica la elevación del agua en un punto determinado con respecto al nivel del mar, viene expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm). (Bateman, 2018)

**Escorrentía:** Se define como un proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar un sistema de red pluvial. Es el agua excedente de las precipitaciones que transita por el suelo hasta llegar a los cauces superficiales. (García C. , 2020)

**Escorrimento:** Es la parte de la precipitación que recorre sobre el terreno y eventualmente llega hasta los mares u océanos. Se define también como el aguda que circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega a una corriente para finalmente ser drenada por una cuenca hasta desembocar en el mar. (García C. , 2020)

**Estación meteorológica:** Es el lugar en donde se realizan observaciones y mediciones puntuales de los distintos parámetros meteorológicos, usando los instrumentos tecnológicos adecuados para determinar el comportamiento atmosférico. (Barrera, 2017)

**Fotogrametría:** Es la ciencia mediante la cual se obtiene fotografías de un determinado terreno, para a partir de esto formar un plano topográfico del mismo. Dichas fotografías pueden ser tomadas desde el aire o tierra, mediante aparatos tecnológicos como son los drones. (Santamaría & Sanz, 2017)

**Frecuencia:** Es la repetición de los eventos de características similares, en cuanto a la intensidad y duración; mientras más elevado sea una precipitación esta se presentará con menor frecuencia. (Coras, Arteaga, & Vázquez, 2017)

**Flujo:** Es conocido como el volumen del agua líquida que atraviesa mediante una sección transversal. Incluye todo lo que se transporta como arena, sedimentos, piedras, etc. Se expresa en m<sup>3</sup>/s. (Giler, 2020)

**Longitud de la cuenca:** Es una línea recta con dirección paralela al cauce principal. Se define también como la distancia horizontal desde el punto de desfogue de la cuenca hasta otro punto aguas arriba, donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. (Lux, 2019)

**MDT:** Es el conjunto de capas (ráster), que representa las características o alturas de un terreno, derivadas de una capa de elevaciones denominadas MDE (Modelo Digital de Elevación). El MDT incluye la generación y manipulación de un MDE, para obtener otras capas del MDT como pendiente, curvas de nivel, orientación, etc. Se obtiene a partir de fotografías aéreas, tomadas mediante vehículos aéreos. (MAGAP, 2021)

**Ortofoto/ ortofotografía:** Es una foto aérea obtenida mediante tomas con drones, aviones, incluso helicópteros. Mediante este proceso fotogramétrico se puede observar el relieve del terreno y la curva terrestre, para a partir de esto elaborar trabajo en softwares como la elaboración de modelos digitales de terreno y las curvas de nivel a detalle. (Martínez, Castro, & Olvera, 2016)

**Perímetro:** Es la longitud de la línea o contorno divisorio de la cuenca, es decir es la distancia que se debería recorrer si se transitara por todos los lados que envuelve la cuenca. El perímetro es un parámetro importante y viene expresado en m o km. (Garay & Agüero, 2018)

**Periodo de retorno:** Es el tiempo estimado en el cual un evento tiene la probabilidad de suceder, es un requisito esencial para el diseño de obras de ingeniería. (Bello, 2018)

**SAT:** Los sistemas de alerta temprana es un sistema integrado de vigilancia, previsión y predicción de amenazas para la evaluación de los riesgos de desastres, estableciendo las actividades y recursos necesarios para mantener a la población preparada, fomentando la resiliencia comunitaria para la reducción de riesgos de desastres. (SGR, 2018)

**Sedimentos:** Los sedimentos es el conjunto de partículas sólidas que queda depositado en el fondo de un recipiente o a su vez que es arrasado por una corriente ya sea esta de una cuenca, subcuenca o microcuenca. (García & Maza, 2017)

## **2.5. Marco legal**

El marco legal sobre la gestión de riesgos es un instrumento muy importante para todas las instituciones públicas y privadas, pues inciden sobre el deber y la obligación de incluir a la Gestión de Riesgos en los procesos de ordenamiento territorial y en la toma de decisiones en cuanto a diferentes amenazas presentes. En la Constitución de la República, en su artículo 389 y 390, agrega que es deber del Estado proteger a la población de las diferentes de origen natural, antrópico y

socio natural, así mismo debe mejorar las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objeto de minimizar la vulnerabilidad, además manifiesta que la gestión de riesgos se debe manejar bajo el principio de subsidiaridad. Por otro lado, la COOTAD en su artículo 140, indica que la gestión de riesgos debe estar incluida en todos los niveles de gobierno de acuerdo a la política y los planes emitidos por los organismos responsables de ejercer esta competencia. Cabe mencionar que este artículo, es uno de los más relevantes, pues aquí exige incluir la Gestión de Riesgos en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, al existir una correcta distribución y uso del territorio y teniendo en cuenta la exposición a la amenaza, se puede reducir los impactos negativos de los riesgos.

**Tabla 4. Marco legal de la Gestión de Riesgos en el Ecuador**

<b>Marco legal de la Gestión de Riesgos en el Ecuador</b>		
<b>Instrumentos</b>	<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Constitución de la República</b>	Art. 261 (Numeral 8)	El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre: El manejo de desastres naturales.
	Art. 389	El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza, frente a los efectos negativos de los desastres ya sean estos naturales y antrópicos, mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de los desastres y la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objeto de minimizar la condición de vulnerabilidad.

	Art. 390	Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, lo cual implica la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión de riesgos sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respecto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.
	Art. 397 (Numeral 5)	Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.
<p><b>Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomías y Descentralización (COOTAD)</b></p>	Art. 140	Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos: La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al territorio se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada por todos los niveles de gobierno de acuerdo con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley.

<p><b>Ley de Seguridad Pública y del Estado</b></p>	<p>Art. 11</p>	<p>De la gestión de riesgos: La prevención y las medidas para contrarrestar, reducir y mitigar los riesgos de origen natural y antrópico o para reducir la vulnerabilidad, corresponden a las entidades públicas y privadas, nacionales, regionales y locales. La rectoría la ejercerá el Estado a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.</p>
<p><b>Reglamento de la Ley de Seguridad Pública y del Estado</b></p>	<p>Art. 3</p>	<p>Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos: La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos.</p>
	<p>Art. 20</p>	<p>De la Organización: La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, como órgano rector, organizará el Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos, a través de las herramientas reglamentarias o instructivas que se requieran.</p>
<p><b>Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPLAFIP)</b></p>	<p>Art. 64</p>	<p>Privilegio de la producción nacional e incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo: En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de</p>

		vulnerabilidades y riesgos antrópicos y naturales.
<b>Plan Nacional Creando Oportunidades 2021-2025</b>	Eje de seguridad integral Objetivo 9 Política 9.3	Impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna a emergencias ante amenazas naturales o antrópicas en todos los sectores y niveles territoriales.

**Fuente:** (SNGRE, 2019)

## 2.6.Sistemas de variables

- **Variable independiente:** Modelamiento hidráulico del río Blanco y río Cristal.
- **Variable dependiente:** Análisis de inundaciones en la cabecera parroquial de Valle Hermoso.

Tabla 5. Operacionalización de las variables

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores		Instrumento								
<p align="center"><b>Modelamiento hidráulico del río Blanco y Cristal</b></p>	<p>El modelamiento hidráulico es la representación digital del comportamiento del fluido en canales abiertos y cerrados, consta de varios elementos fundamentales como la geometría del cauce y las condiciones del flujo definidas por el caudal y las condiciones del contorno. La combinación de geometrías y las condiciones del flujo dan como producto diferentes resultados que pueden ser analizados por separados o conjuntamente. (Soto, 2020)</p>	<p align="center"><b>Factores hidrológicos</b></p>	<p align="center"><b>Río Cristal</b> Caudales máximos por el Método Racional Modificado (M0025) <b>Río Blanco</b> Caudales máximos por el Método probabilístico de Gumbel (H138)</p>		<p>Procesamiento en Excel de los datos meteorológicos e hidrológicos</p>								
		<p align="center"><b>Construcción del modelo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MDT y ortofoto</li> </ul>		<p>Elaboración del MDT y ortofoto en el Software Agisoft Profesional</p>								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente n</li> </ul>		<p>Asignación del coeficiente de Manning por uso de suelo en ArcMap</p>								
<p align="center"><b>Análisis de inundaciones en la cabecera parroquial de Valle Hermoso</b></p>	<p>Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación (UNDRR, 2021)</p>	<p align="center"><b>El nivel de amenaza (calado por velocidad)</b></p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1100 1031 1325 1138">Amenaza alta</td> <td data-bbox="1325 1031 1549 1138"><math>\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1100 1138 1325 1235">Amenaza Media</td> <td data-bbox="1325 1138 1549 1235">0,081 - 0,49 <math>\text{m}^2/\text{s}</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1100 1235 1325 1325">Amenaza baja</td> <td data-bbox="1325 1235 1549 1325">V. Mín. - 0,080 <math>\text{m}^2/\text{s}</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1100 1325 1325 1414">Sin Amenaza</td> <td data-bbox="1325 1325 1549 1414">0</td> </tr> </table>		Amenaza alta	$\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	Amenaza Media	0,081 - 0,49 $\text{m}^2/\text{s}$	Amenaza baja	V. Mín. - 0,080 $\text{m}^2/\text{s}$	Sin Amenaza	0	<p>Reclasificación del nivel de amenaza en Hec Ras, ArcMap y Excel</p>
Amenaza alta	$\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$												
Amenaza Media	0,081 - 0,49 $\text{m}^2/\text{s}$												
Amenaza baja	V. Mín. - 0,080 $\text{m}^2/\text{s}$												
Sin Amenaza	0												

## CAPITULO III

### 3. Metodología

#### 3.1. Nivel de la investigación

El presente trabajo de investigación está encaminado a una metodología mixta, la cual abarca los dos enfoques de la investigación, tanto cualitativo como cuantitativo.

**El enfoque cualitativo**, se refiere a la indagación de la información de datos textuales reflejados en las diferentes fuentes bibliográficas como pueden ser: artículos científicos, revistas, tesis doctorales, libros, etc., sobre estudios relacionados a los modelamientos hidráulicos en ríos y medidas estructurales y no estructurales, que se pueden establecer.

**En el enfoque cuantitativo**, se centra en la medición y comprobación de datos numéricos, para los cuales, se calculó los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años en la microcuenca del río Cristal y en la subcuenca del río Blanco DJ Toachi, pertenecientes a la demarcación hidrográfica del río Esmeraldas. Por otro lado, mediante el software Hec-Ras 2D se identificaron las velocidades y tirantes críticos para posteriormente, multiplicarlos entre sí y de esta manera definir las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso.

#### 3.2. Diseño de la investigación

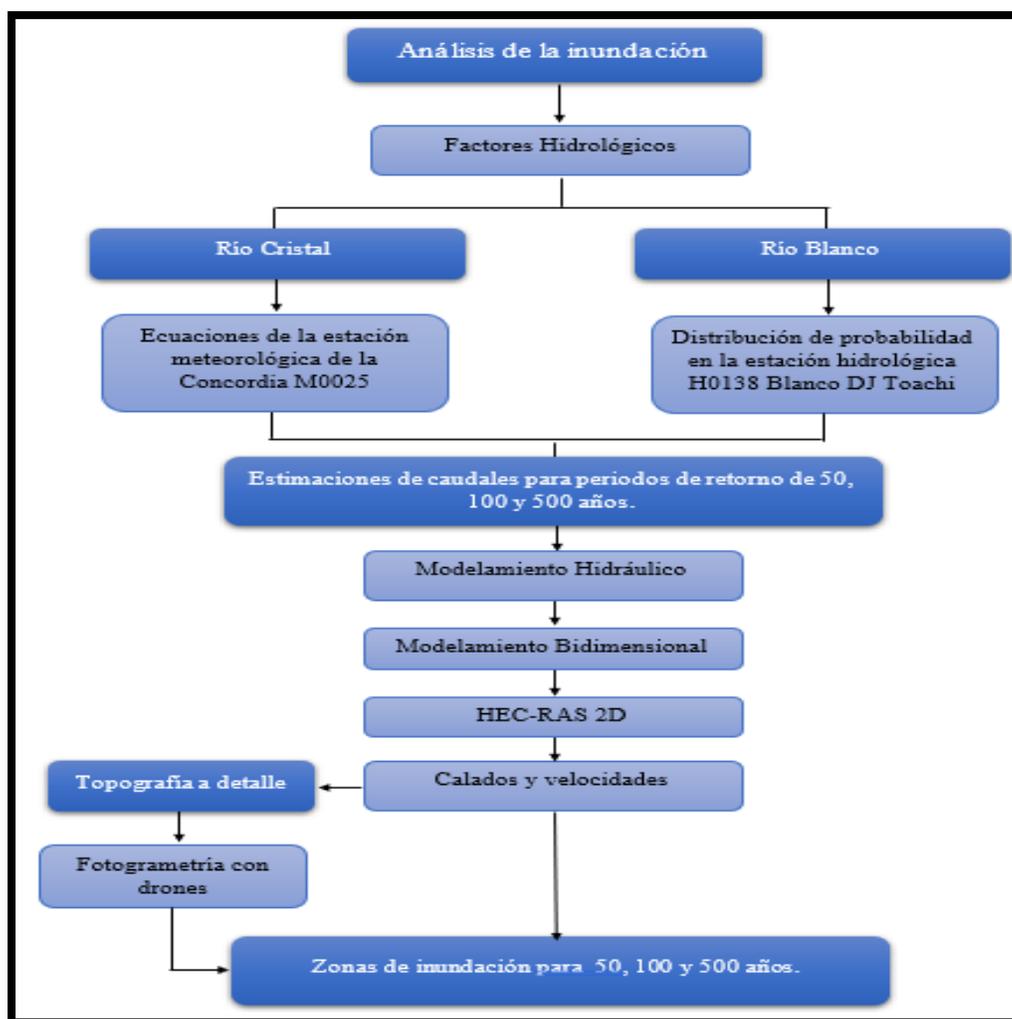
##### Investigación descriptiva

La investigación descriptiva tiene como finalidad estudiar las características de varios conjuntos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos del comportamiento del fenómeno estudiado, de esta manera se tiene una base de comparación con otras fuentes. (Guevara, Verdesoto, & Castro, 2020). En el presente proyecto se estudia el comportamiento de los 2 ríos

para identificar las máximas avenidas para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, basándose en datos reales de las estaciones hidrometeorológicas y de los diferentes factores que intervienen en el cálculo de la misma. Posteriormente se interpreta los resultados del modelamiento hidráulico y se define las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso.

### 3.3. Esquema del análisis hidrológico e hidráulico

Figura 1. Esquema del análisis hidrológico e hidráulico



Fuente: Adaptado de (Pauca, 2016)

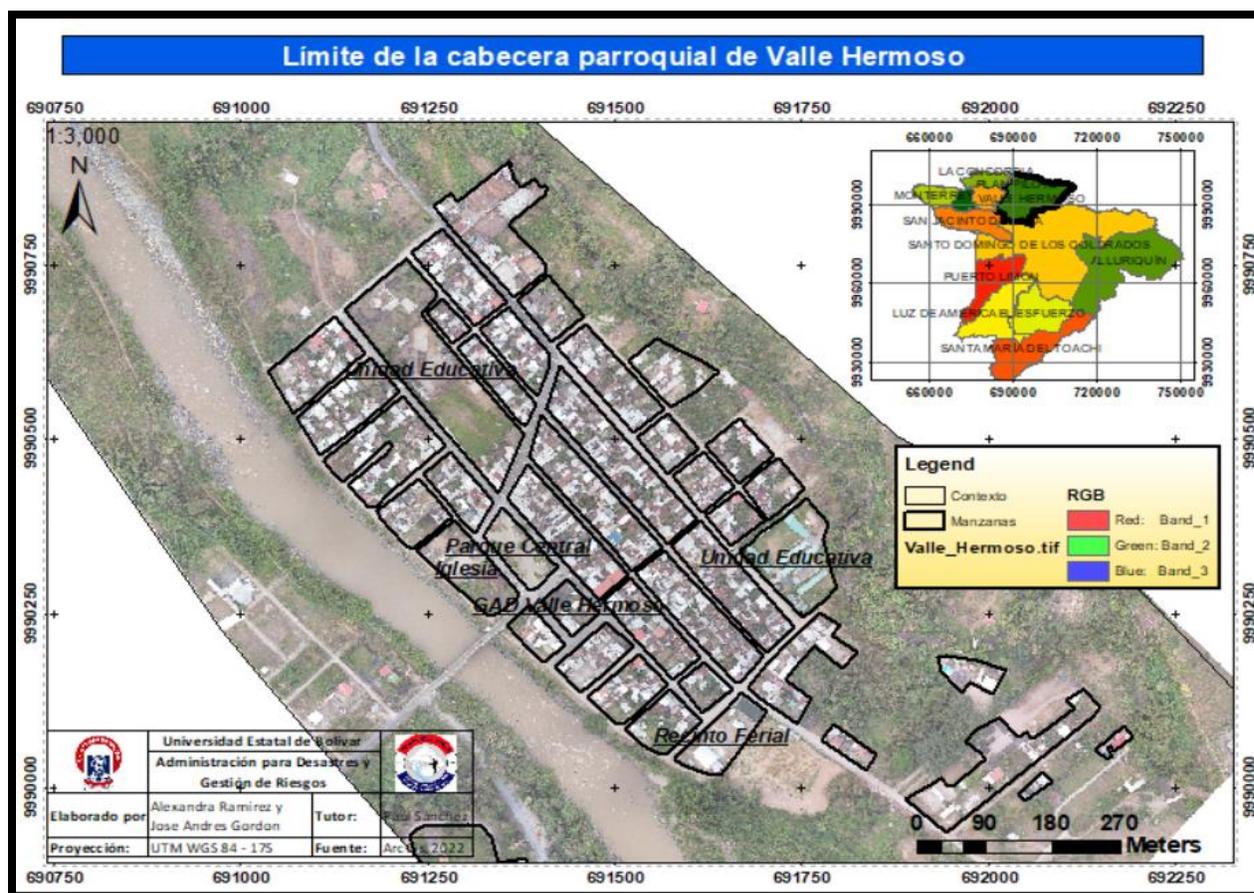
Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

A continuación, se describe brevemente los componentes que intervienen en el proceso metodológico para identificar las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso por los ríos Blanco y Cristal. En donde, como punto principal es el conocimiento de todos los factores hidrológicos que intervienen en la generación de las máximas avenidas de los dos ríos, para ellos se toma en consideración los datos registrados en las estaciones hidrometeorológicas, del río Blanco la estación hidrológica Blanco DJ Toachi H0138, y para el río Cristal la estación meteorológica la Concordia M0025. Posterior, a ello se procede a realizar el modelamiento hidráulico partiendo de un enfoque bidimensional en el software HEC RAS, por consiguiente, la topografía juega un papel fundamental, pues esta debe ser a detalle, para ello, se realizó la fotogrametría con drones, para a partir de aquello obtener los valores de los calados y velocidades, para un periodo de retorno de 50, 100 y 500 años.

#### **3.4. Población universo**

Los datos de catastros fueron proporcionados por la municipalidad de Santo Domingo, para el presente proyecto se realizó la unión de los catastros por manzanas con la finalidad de analizar el territorio afectado por la amenaza de inundaciones desde este punto de vista. En total son 49 manzanas distribuidos en el contexto de la cabecera parroquial a lado derecho del puente de Valle Hermoso.

Mapa 2. Contexto de estudio



**Fuente:** GAD Municipal de Santo Domingo

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

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

#### Observación directa

##### 3.5.1. Fichas de observación

##### - Zonas de inundación por antecedentes históricos

El mapa 2 servirá como ficha de observación por conocer las zonas de inundación por antecedentes históricos basados en la percepción del técnico Ambiental del GAD parroquial y el encargado de la estación hidrológica H138.

- **Rugosidad de Manning**

**Tabla 6. Ficha de observación para el coeficiente de rugosidad de Manning**

<b>Método de Cowan para estimar n</b>		
<b>Condiciones del canal</b>	<b>Ajuste del valor por factor</b>	<b>Descripción</b>
Características del canal	0,02	Roca
	0,025	Cortado en roca
	0,024	Grava fina
	0,028	Grava gruesa
Grado de irregularidad	0	Fronteras lisas, lo mejor que se obtiene para los materiales que se utilizan
	0,005	Irregularidades menores, por ejemplo, excavado bien dragado o socavado en las orillas
	0,01	Irregularidades moderadas, mal dragado con ligeras socavaciones en las márgenes
	0,02	Muy irregular, erosiones muy irregulares en las márgenes.
Sección Transversal	0	Graduales
	0,005	Secciones grandes y pequeñas alternadas ocasionalmente
	0,01-0,015	Secciones grandes y pequeñas alternadas frecuentemente
Obstrucciones	0	Sin obstrucción
	0,01-0,015	Menores
	0,02-0,03	Apreciables
	0,04-0,06	Severas

Cantidad y tipo de vegetación	0,005-0,1	Poca densidad, márgenes cubiertas de pasto hierbas, tirante 2 a 3 veces mayores que la altura de la vegetación
	0,01-0,025	Moderada. Matorral o pasto, el tirante de agua es de 2 a 3 veces que la altura media de la vegetación.
	0,025-0,050	Densa. Tirantes similares a la altura de la vegetación (arbustos).
	0,050-0,1	Muy densa, los tirantes son del orden de la mitad de la altura de la vegetación.
Grado de sinuosidad	1	Menor $s < 1,2$
	1,15	Apreciable $1,2 \leq s < 1,5$
	1,3	Severo $s \geq 1,5$

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

**Técnica aplicada para el objetivo 1 “Determinar los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años del río Cristal y del río Blanco, mediante el método Racional Modificado y la distribución de probabilidad de Gumbel respectivamente”**

El método Racional Modificado se emplea para cuencas pequeñas con poca información hidrológica en la estimación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno con respecto al coeficiente de escorrentía, intensidad (mm/h), área de la cuenca (km<sup>2</sup>), un factor K correspondientes a la extensión y corrección de las precipitaciones en el contexto de estudio; estos valores se pretenden comparar con el método del Hidrograma Triangular del SCS para diferentes periodos de retorno. Se debe recalcar la investigación de las ecuaciones del INAMHI de la estación meteorológica M0025 para los cálculos pertinentes de las máximas avenidas en la microcuenca del Río Cristal.

$$Q_{max} = \frac{KCIA}{3,6}$$

Donde

Q<sub>máx</sub>= Caudal máximo de la microcuenca

C= Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la microcuenca

I= Intensidad máxima respecto al tiempo de concentración

A= Área de la microcuenca

K= Coeficiente de ajuste de la sección de estudio

Los datos fueron procesados en ArcMap y Excel para el cálculo de los factores involucrados en el Método Racional Modificado.

Por otro lado, la estación hidrológica H138 Blanco DJ Toachi ubicado en la cabecera Parroquial de Valle Hermoso registra información del río Blanco desde 1990 hasta el periodo 2015 en las publicaciones de los anuarios hidrológicos del INAMHI. Con estos datos se realizó las proyecciones correspondientes a periodos de retorno de 50, 100 y 500 años aplicando el método probabilístico de Gumbel tipo I de los datos existente en dicha estación.

En la EVI, la variable reducida “y” representa al periodo de retorno identificado, y la variable “x” engloba los valores de caudal (m<sup>3</sup>/s) a analizar, las expresiones se la obtienen bajo lo siguiente:

$$Y_T = -\ln \left( \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right)$$

$$X_T = \mu + a * Y_T$$

Los datos fueron procesados en Excel para la identificación de los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno identificado.

**Técnica aplicada para el objetivo 2 “Identificar el nivel de amenaza por inundaciones en el contexto de estudio mediante el modelamiento hidráulico con el software Hec-Ras 2D, del río Blanco y el río Cristal”**

El modelamiento hidráulico del río Blanco y del río Cristal se lo realizará en el software HEC RAS 6.2, ya que permite modelar cauces naturales en 1D, conexión 1D con 2D y 2D considerando factores como topografía, la rugosidad de Manning, celdas computacionales, condiciones hidrodinámicas internas y externas entre otros. Los resultados de calado por velocidad esperados en el modelamiento bidimensional se los reclasificará según la metodología (Paucar, 2016), el cual indica que el escenario de 50 años tiene una probabilidad alta, 100 años probabilidad media y 500 años probabilidad baja.

**Tabla 7. Niveles de amenaza por inundaciones**

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
Amenaza Alta	Peligro alto para las personas, daños graves en las infraestructuras. Calado * velocidad $\geq 0,50$ m <sup>2</sup> /s
Amenaza Media	Peligro medio para las personas, afectaciones a las viviendas, vehículos y personas por objetos que son arrastrados. Calado * velocidad = 0,081 - 0,49 m <sup>2</sup> /s
Amenaza Baja	Presencia de leves afectaciones en medio de la población con poca importancia. Calado * velocidad V. min - 0,080 m <sup>2</sup> /s
Sin Amenaza	Sin amenaza o exposición de personas e infraestructura a inundaciones.

**Nota:** El valor mínimo se obtiene de la multiplicación de calado por velocidad en ArcMap

**Fuente:** (Paucar, 2016)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

### **Técnica aplicada para el objetivo 3 “Establecer medidas de reducción de riesgos estructurales y no estructurales”**

En la propuesta de las medidas estructurales y no estructurales se investigará en fuentes secundarias relacionados al tema de interés como pueden ser: artículos científicos, tesis, PDOT entre otras investigaciones que aporten en el desarrollo de la misma y complementarlos con el criterio técnico de los funcionarios públicos del GAD parroquial de Valle Hermoso con la finalidad de reducir el impacto de las inundaciones.

## CAPÍTULO IV

### 4. Análisis e interpretación de resultados

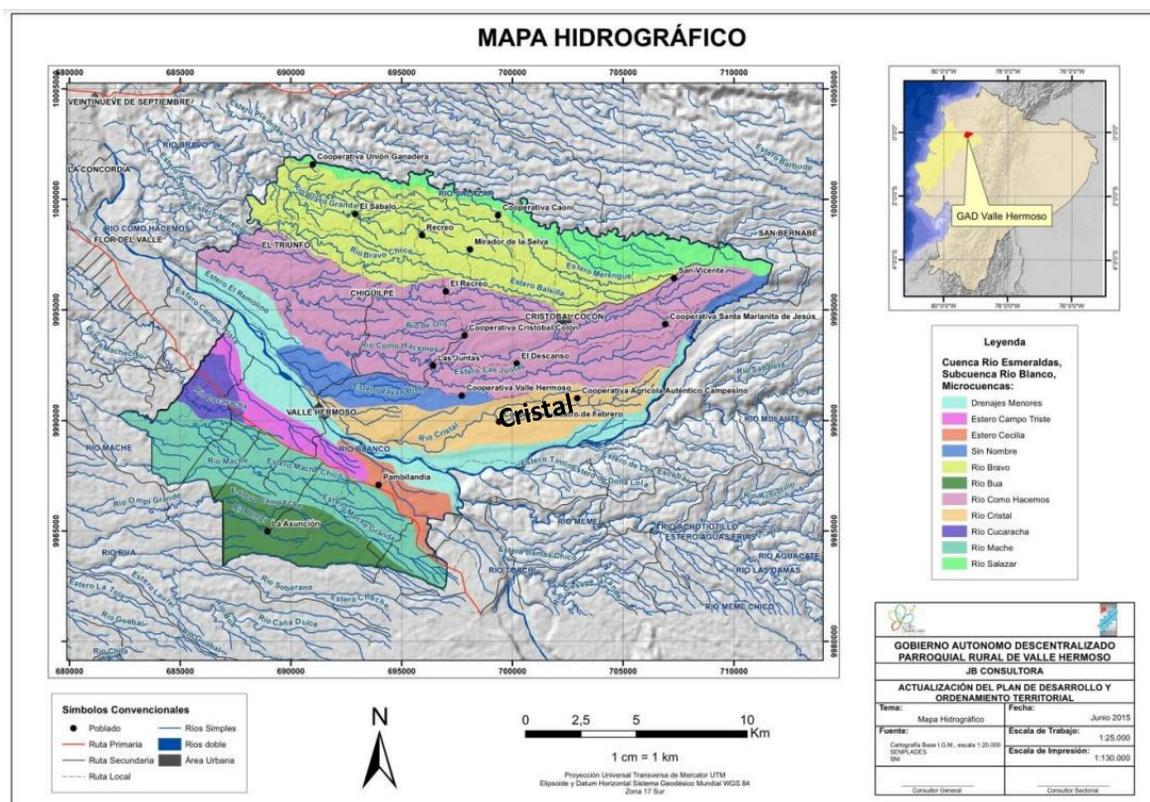
#### 4.1. Resultados del objetivo 1:

Determinar los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años del río Cristal y del río Blanco, mediante el método racional y la distribución de probabilidad de Gumbel respectivamente.

##### 4.1.1. Microcuenca del río Cristal

La microcuenca del río Cristal tiene una superficie 27,29 km<sup>2</sup> y una distancia del cauce de 16,64 km según (GAD Parroquial de Valle Hermoso , 2015). Esta información es de total importancia para poder calcular las máximas avenidas.

**Mapa 3. Microcuencas de Valle Hermoso**



**Fuente:** (GAD Parroquial de Valle Hermoso , 2015)

## 1. Método Racional Modificado

Este método se le atribuye a Lloid-George en 1906, luego fue modificado por J.R Témez en el en el XXIV Congreso de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (Madrid, 1991), este método consiste en determinar los caudales máximos de cuencas pequeñas o microcuencas para diferentes  $T_r$ , en base a la siguiente expresión:

$$\text{ECUACIÓN 1. } Q_{max} = \frac{KCI A}{3,6}$$

Donde

$Q_{m\acute{a}x}$ = Caudal máximo de la microcuenca

C= Coeficiente de escorrentía medio ponderado de la microcuenca

I= Intensidad máxima respecto al tiempo de concentración

A= Área de la microcuenca

K= Coeficiente de ajuste de la sección de estudio

### 1.1. Cálculo de la intensidad máxima

#### a) Intensidad máxima diaria

La intensidad máxima diaria para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años está en función de los datos de la estación meteorológica La Concordia (M0025) y su respectiva ecuación propuesta por el INAMHI.

**Tabla 8. Máximas intensidades en 24 horas de la estación La Concordia**

Estación		Intervalos de tiempo (min)	Ecuaciones
Código	Nombre		
M0025	La Concordia	5 < 39,1	<b>ECUACIÓN 2.</b> $I_{Tr} = 24,951 * I_{d_{Tr}} * t_c^{-0,135}$
		39,1 < 1440	<b>ECUACIÓN 3.</b> $I_{TR} = 220,54 * I_{D_{TR}} * T_C^{-0,728}$

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

**Fuente:** (INAMHI, Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, 2015)

Donde

$I_{TR}$ = Intensidad de la precipitación con respecto al periodo de retorno mm/h

$Id_{TR}$ = Valor de las intensidades máximas diarias mm/h para un periodo de retorno dado

$Tr$ = Periodo de retorno (años)

$T_c$ = duración de la lluvia, igual al tiempo de concentración

Los valores de las intensidades máximas calculadas dado un periodo de retorno de 50, 100 y 500 años para la estación meteorológica de la Concordia se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Intensidades máximas para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años**

Zona	TR (años)	IdTR (mm/h)
Estación meteorológica de La Concordia	50	9,92
	100	10,63
	500	15,24

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

#### b) Determinación del tiempo de concentración

El tiempo de concentración hace referencia al tiempo que tardaría la lluvia en caer al punto más distante de la corriente de la cuenca hasta el punto de medición, en este caso la confluencia de los dos ríos (Blanco y Cristal). Por lo cual se empleará la formula empírica de Kirpich desarrollada por Soil Conservation Service – SCS (Monsalve Sáenz, 1999)

$$\text{ECUACIÓN 4. } T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{-3,85}$$

Dónde

$T_c$ = Tiempo de Concentración en minutos

$L$ = Longitud máxima del cauce principal en metros

$S$ = Pendiente del Cauce, para calcular la pendiente se debe basar en la diferencia de cotas entre el punto más elevado y el punto de interés.

$$\text{ECUACIÓN 5. } S = \frac{H_{\text{mÁx}} - H_{\text{mín}}}{L} = \frac{536 \text{ msnm} - 281 \text{ msnm}}{16641,87 \text{ m}}$$

$$S = \frac{255}{1664,87} = 0,015 \text{ m/m}$$

Este valor de la pendiente remplazamos en la fórmula de Kirpich

$$Tc = 0,02 * 16641,87^{0,77} * 0,015^{-0,385}$$

$$Tc = 160,07 \text{ minutos} = 2,67 \text{ horas}$$

### c. Cálculo de la intensidad de precipitación $I_{TR}$

Una vez obtenido el tiempo de concentración se procede a calcular la Intensidad de precipitaciones dado un periodo de retorno  $I_{TR}$  para la microcuenca del río Cristal, la ecuación que se considera es la propuesta por el INAMHI para duración de la lluvia de  $39,1 < t_c < 1440$ , cuyos resultados se reflejan en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Intensidades de las precipitaciones  $I_{TR}$**

Periodo de Retorno	Tiempo de Concentración (min)	$I_{d_{TR}}$ (mm/h)	$I_{TR} = 220.54 * I_{d_{tr}} * t_c^{-0,728}$
50	160,07	9,92	54,36
100		10,63	58,25
500		15,24	83,51

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

## 1.2. Determinación del coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía representa la proporción de las lluvias que pasará a tomar parte de la escorrentía superficial (lluvia neta) con respecto a las precipitaciones totales, toma valores

entre 0 y 1, misma que varía dependiendo la cuenca, tormenta, condiciones de humedad, duración de las lluvias, uso de suelo, grupo de suelo entre otros. (Monsalve Sáenz, 1999)

### 1.2.1. Cálculo del umbral de escorrentía ( $P_o$ )

Para calcular el umbral de escorrentía se debe considerar los siguientes factores.

#### a) Grupos de suelos

Para (Ojeda, 2017) en su investigación de la subcuenca Blanco DJ Toachi enfocada al Déficit Hídrico y la relación precipitación escorrentía, menciona que la subcuenca se encuentra en un grupo hidrológico **B**, por lo tanto, este estudio servirá de base para definir el grupo de suelo en la microcuenca del río Cristal, pertenecientes a la demarcación hidrográfica Esmeraldas.

**Tabla 11. Grupo de suelos de la microcuenca Blanco DJ Toachi**

Grupo	Potencial de escorrentía	Características del suelo
A	Bajo	Infiltración alta conformada por arenas o gravas profundas.
B	Moderadamente bajo	Moderada infiltración, textura moderada fina hasta moderada gruesa, textura franco-arenosa.
C	Moderadamente alto	Lenta infiltración, textura moderadamente fina hasta fina, pobremente drenados, con textura franco-arcillosa
D	Alto	Infiltración muy lenta, suelo poco profundo, con material casi impermeable con textura arcillosa

**Fuente:** (Ojeda, 2017)

#### b) Condiciones de humedad

Las condiciones de humedad para el contexto de estudio se definieron en base a la información de (Ojeda, 2017), las características presentes son de tipo III, ya que la precipitación será mayor de 53mm.

**Tabla 12. Condiciones de humedad**

<b>Condiciones de Humedad previa</b>	<b>Precipitación acumulada durante los 5 días previos al evento a considerar</b>
I (seco)	De 0 hasta 35mm
II (normal)	Desde 35 mm a 53 mm
III (húmedo)	Mayor a 53mm

**Fuente:** (Ojeda, 2017)

### c) Uso de suelo de la microcuenca del río Cristal

Con respecto a la información de mapas de uso de suelo escala 1:25000 del MAGAP en su emblemático programa SIG-TIERRAS, se establecen los usos de suelo para la microcuenca del río Cristal detallada en la siguiente tabla:

**Tabla 13. Usos de suelo para la microcuenca río Cristal**

<b>Uso del Suelo</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque nativo	3,49	12,79%
Cultivo	4,21	15,43%
Mosaico agropecuario	6,64	24,32%
Pastizal	10,86	39,79%
Plantación forestal	0,45	1,65%
Vegetación arbustiva	1,20	4,40%
Área poblada	0,39	1,42%
Infraestructura	0,06	0,20%
Total	27,29	100%

**Nota:** los datos de uso de suelo fueron procesados en Excel y ArcMap

**Fuente:** Uso del suelo 1:25000 (SIG-TIERRAS, 2015)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

### d) Cálculo de las pérdidas de precipitación

El método del SCS para abstracciones ayudan a obtener las precipitaciones perdidas, el cual se procedió a calcular S (retención potencial máxima) en base a la siguiente ecuación:

$$\text{ECUACIÓN 6. } S = \frac{25400}{CN} - 254$$

La información de usos de suelo de la microcuenca del río Cristal sirve para identificar el número de curva CN para condiciones de humedad normales. Los resultados se visualizan a continuación:

**Tabla 14. Cálculo del CN para condiciones de humedad normal**

Uso del suelo	Área	NC	Porcentaje	Fracción	NC(II)
Bosque nativo	3,49	55	12,79%	0,128	7,034
Cultivo	4,21	71	15,43%	0,154	10,953
Mosaico agropecuario	6,64	71	24,32%	0,243	17,269
Pastizal	10,86	61	39,79%	0,398	24,272
Plantación forestal	0,45	55	1,65%	0,017	0,908
Vegetación arbustiva	1,20	55	4,40%	0,044	2,420
Área poblada	0,39	68	1,42%	0,014	0,964
Infraestructura	0,06	68	0,20%	0,002	0,138
Total	27,29		100%	1	64

**Nota:** Cálculo del CN para condiciones de humedad normales se tomó como referencia la información de (Córdova , Paredes, & Alulema, 2017)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

En la tabla de condiciones de humedad de la microcuenca del río Cristal, se estableció la categoría III (húmedo), por lo tanto, se procederá a calcular el CN (III) en base a la siguiente fórmula:

$$\text{ECUACIÓN 7. } CN (III) = \frac{23 CN(II)}{10+0,13 CN(II)}$$

$$CN (III) = \frac{23 * 64}{10 + 0,13 * 64}$$

$$CN (III) = 78,95$$

Por consiguiente, la retención potencial máxima será:

$$S = \frac{25400}{78,95} - 254 = 67,73 \text{ mm}$$

Para obtener las Abstracciones Iniciales se debe contemplar lo siguiente:

$$\text{ECUACIÓN 8. } Ia = 0,2 * S$$

$$Ia = 0,2 * 67,73 = 13,55$$

El coeficiente de escorrentía C se obtiene bajo lo siguiente:

$$\text{ECUACIÓN 9. } C = \frac{Pe}{P}$$

Dónde

Pe= Escorrentía directa acumulada en (mm)

P= Precipitaciones totales en (mm).

(Paucar, 2016), obtiene las precipitaciones netas al multiplicar las intensidades de las ecuaciones del INAMHI en el área de interés para un periodo de retorno dado por el tiempo de concentración de la cuenca.

$$\text{ECUACIÓN 10. } P = I_{TR} * t_c$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 15. Cálculo de las precipitaciones totales**

Tr	I <sub>TR</sub> (mm/h)	T <sub>c</sub> (horas)	P (mm)
50 años	54,36	2,67	145,14
100 años	58,25		155,53
500 años	83,51		222,97

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

El cálculo de la escorrentía directa acumulada P<sub>e</sub> y del coeficiente de escorrentía C se obtiene bajo la siguiente formula:

$$\text{ECUACIÓN 11. } Pe = \frac{(P-0,2*S)^2}{P+0,8*S}$$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 16. Resultados del coeficiente de escorrentía**

Tr	I <sub>TR</sub>	T <sub>c</sub>	P	S	Pe	C (Pe/P)
50 años	54,36	2,67	145,14	67,73	86,88	0,60
100 años	58,25		155,53		96,12	0,62
500 años	83,51		222,97		158,25	0,71

Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

### 1.3.Determinación del coeficiente de ajuste K

Es el coeficiente de ajuste de la superficie de la microcuenca y de las precipitaciones.

(Paucar, 2016), utilizó las siguientes fórmulas para determinar el coeficiente K:

#### a) Coeficiente de reducción areal

Si  $K > 1 \text{ Km}^2$ , entonces se aplica

$$\text{ECUACIÓN 12. } Ka = 1 - \frac{(\text{Log } A)}{15}$$

$$Ka = 0,9024$$

#### b) Coeficiente de uniformidad temporal

$$\text{ECUACIÓN 13. } Ku = 1 + \frac{Tc^{1,25}}{Tc^{1,25}+14}$$

$$Ku = 1,1960$$

Por lo tanto, K se obtiene multiplicando el coeficiente areal y temporal

$$\text{ECUACIÓN 14. } K = Ku * Ka$$

$$K = 1,08$$

#### 1.4. Caudales máximos para un Tr

Una vez identificado los factores que intervienen en el cálculo de caudales máximos para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años a partir del método Racional Modificado, se obtiene las máximas avenidas del río Cristal, mismo que se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 17. Caudales máximos para diferentes tr (método Racional Modificado)**

Tr	A (km <sup>2</sup> )	C	I (mm/h)	K	Qmax (m <sup>3</sup> /s)
50	27,29	0,60	54,36	1.079	266,13
100		0,62	58,25		294,46
500		0,71	83,51		484,77

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

## 2. Hidrograma Triangular del SCS

Para (Sanchez, 2012), el Hidrograma Triangular del SCS es uno de los métodos más comunes para poder relacionar la precipitación-escorrentía y obtener el caudal punta, con respecto al tiempo pico y tiempo base, A continuación, se presentan las ecuaciones para el cálculo:

$$\text{ECUACIÓN 15. } T_p = 0,5 * D + T_r$$

$$\text{ECUACIÓN 16. } T_b = 2,67 T_p$$

$$\text{ECUACIÓN 17. } Q_p = \frac{P_e * A}{1,8 T_b}$$

Donde

D= Duración de la lluvia, D igual al tiempo de concentración para cuencas pequeñas (horas)

Tr= Tiempo de retardo  $\approx 0.6 * T_c$  (horas)

Tp= Tiempo punta (horas)

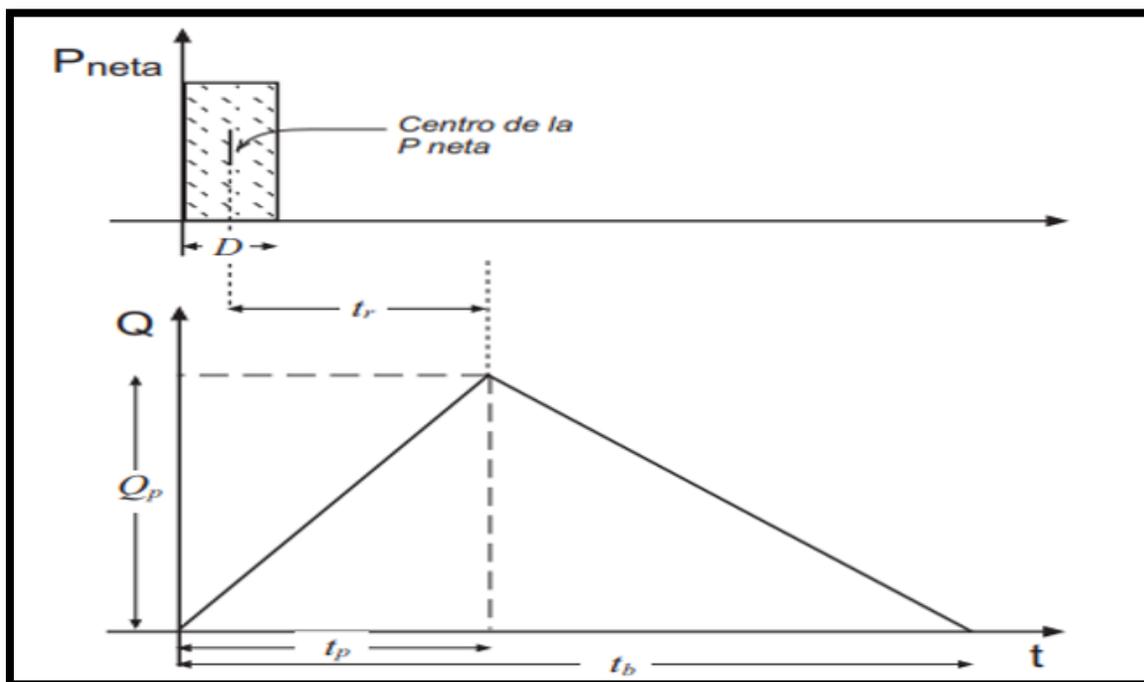
Tb= Tiempo base (horas)

Qp= Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)

A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Pe= Precipitación Efectiva (mm)

### Ilustración 1. Hidrograma Triangular del SCS



Fuente: (Sanchez, 2012)

Los resultados para los  $T_r$  analizados se aplicó el método del Hidrograma Triangular del SCS se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 18. Caudales máximos para diferentes  $t_r$  (método de HT del SCS)**

$T_r$	A (km <sup>2</sup> )	$T_c$ (h)	$T_r$ (h)	$T_p$ (h)	$T_b$ (h)	$P_e$ (mm)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)
50	27,29	2,67	1,60	2,94	7,84	86,87	167,96
100						96,12	185,84
500						158,25	305,95

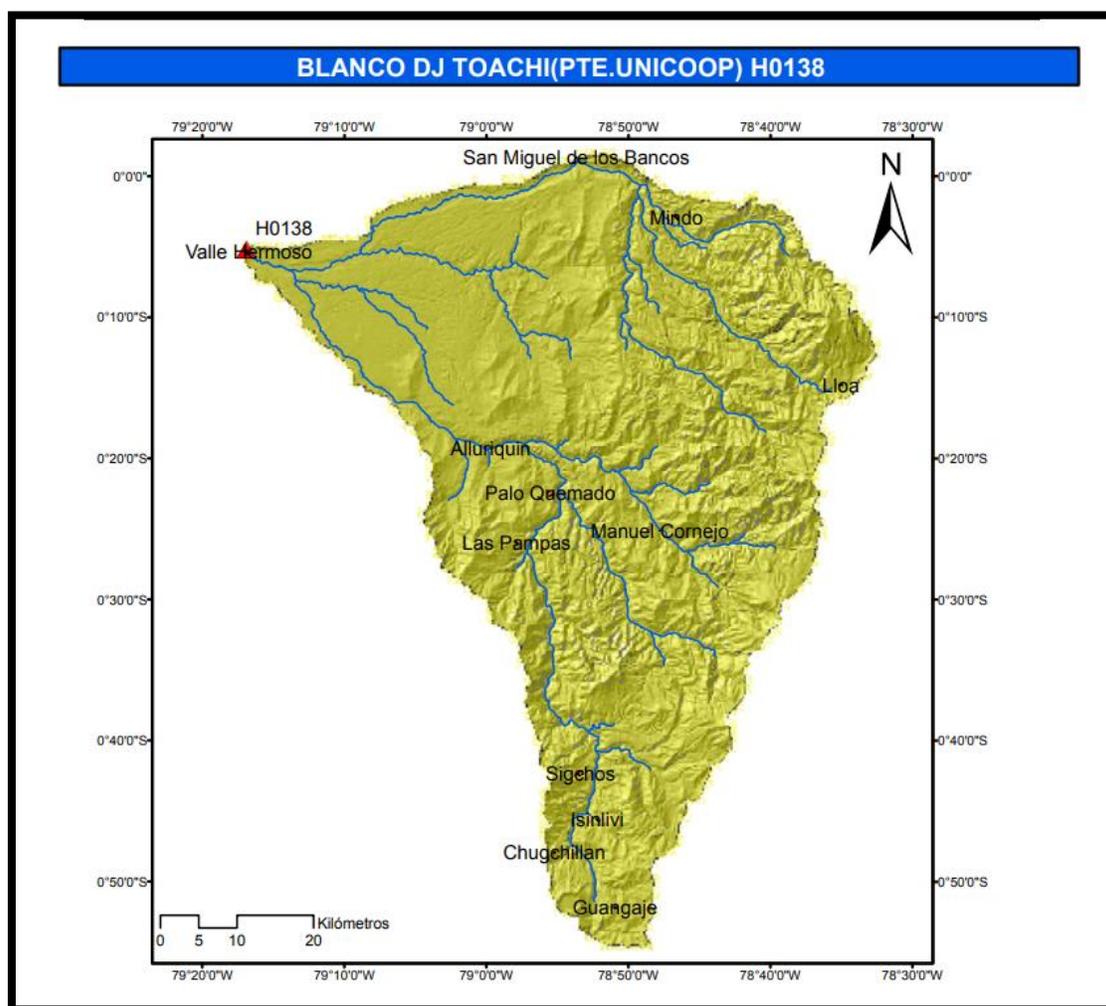
Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

El tiempo de retardo representa el 60% del tiempo de concentración, el tiempo pico se calculó bajo la ecuación 15, el tiempo base la ecuación 16, la precipitación efectiva la ecuación 11 y el caudal pico basado en la ecuación 17.

#### 4.1.2. Subcuenca río Blanco DJ Toachi

La subcuenca del río Blanco abarca los territorios provinciales de Santo Domingo de los Tsáchilas, Cotopaxi y Pichincha con un área de 4153 km<sup>2</sup>, entre los principales ríos del contexto de estudio se identifica al río Blanco y río Toachi, los mismo que confluyen aguas arriba de la cabecera parroquial de Valle Hermoso, el sector se la conoce como la Bocana, y es uno de los principales atractivos turísticos.

**Mapa 4. Subcuenca del río Blanco**



**Fuente:** (INAMHI, Anuarios Hidrológicos, 2015)

## 1. Cálculo del caudal máximo para diferentes periodos de retorno en la sub cuenca del río Blanco DJ Toachi

La estimación de los caudales máximos se lo obtendrá en base a los datos históricos de la estación Blanco DJ Toachi (H0138) ubicado en la parroquia de Valle Hermoso, perteneciente al cantón Santo Domingo, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. (INAMHI, Anuarios Hidrológicos, 2015)

### a) Características morfológicas

Las características morfológicas de una cuenca hidrográfica dependen de la forma de la cuenca, red de drenaje, relieve, tipos de suelo y usos del suelo entre otros, que influyen en el comportamiento del régimen hidrológico. A continuación, se resumen las principales características morfológicas de la subcuenca del Río Blanco, Blanco DJ Toachi según la información de los anuarios hidrológicos del INAMHI.

**Tabla 19. Características morfológicas**

Descripción	Indicador
Perímetro	437 km
Longitud del rio hasta el punto del cierre del cauce	138,07 km
Longitud en línea recta hasta el punto de cierre del cauce	96 km
Cota superior	3125 msnm
Cota inferior	283 msnm
Pendiente del rio	2,06 %
Índice de compacidad	1,89698
Pendiente media de la cuenca	2,95 %
Tiempo de concentración	13,14 h
Relieve	Escarpado

**Fuente:** (INAMHI, Anuarios Hidrológicos, 2015)

### b) Registro histórico

Los datos publicados por el INAMHI de la estación hidrológica H0138, tiene un registro desde 1990 a 2015 de caudales medios diarios ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y de los niveles de agua (cm); sin embargo, los años 1998, 1999, 2000, 2001, 2014 y 2015 no contienen información. Para estimar los caudales máximos para diferentes periodos de retorno, se identificará el gasto máximo registrado en un año natural.

**Tabla 20. Registros históricos de caudales máximos**

<b>Año</b>	<b>Nivel (cm)</b>	<b>Caudal (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>
1991	320	1128,672
1992	340	1272,601
1993	370	1510,41
1994	300	995,315
1995	380	1271,981
1996	380	1064,213
1997	370	1056,475
1998	400	-
1999	400	-
2000	350	-
2001	330	-
2002	380	1103,451
2003	380	1103,461
2004	340	920,8
2005	280	598,859
2006	450	1456,478
2007	350	995,138
2008	440	1403,5
2009	400	1200,04
2010	460	1510,294
2011	480	1620,425
2012	400	1200,039
2013	450	1456,476

**Fuente:** (INAMHI, Anuarios Hidrológicos, 2015)

Los años de 1998 al 2001 no se tuvo registros por inconsistencia entre la institución competente (INAMHI) y el encargado de realizar los aforos de la estación hidrológica H0138 (Águila, 2022). No obstante, se tiene una data de 19 años de registros para realizar los cálculos pertinentes.

### **1.1. Distribución de valores extremos de Gumbel**

La teoría de las cifras extremas Gumbel es una de las distribuciones que mejor ajuste tiene de una serie de datos históricos, que pueden ser mínimos o máximos, y varía dependiendo el tipo I, II, III, siendo la EVI (distribución de Valor extremo tipo I) la más utilizada para datos máximos. (Ven te Chow, Maidments, & Mays, 1994)

Para (Espinoza, 2020), la distribución de probabilidad de Gumbel tipo I, la utilizó para obtener las precipitaciones máximas en 24h para periodos de retorno de 20, 50 y 100 años de la estación meteorológica “Matadero de Sayausi” en el tema “Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional”

En el tema “Plan de reducción de Riesgo del Campamento del Equipo Caminero del GAD municipal del Empalme” elaborada por los presentes autores, la distribución de probabilidad de Gumbel tipo I tuvo un mayor ajuste respecto a los demás métodos comparándolos en el software Hydrognomon.

**Tabla 21. Comparación de datos.**

Periodo de Retorno	Datos de Excel	Datos de Hydrognomon
2	119,08	118,540
6	150,25	150,724
10	163,06	163,940
25	185,19	186,791
50	201,61	203,743
100	217,91	220,570
200	234,16	237,335
500	255,58	259,454
100	271,78	276,171

**Fuente:** (Ramirez & Gordon, 2021)

En la presente tabla se puede observar que los resultados obtenidos se encuentran por debajo del rango de error del 5% comparando los datos de precipitaciones máximas en 24h de la estación Pichilingue entre los datos obtenidos en Excel y el software Hydrognomon.

Por consiguiente, se va a aplicar el método de distribución de probabilidad de Gumbel tipo I para estimar las máximas avenidas en el sector de Valle Hermoso.

La expresión matemática se la resume a continuación:

$$\text{ECUACIÓN 18. } F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\mu}{a}\right)\right)$$

Donde  $a$  y  $\mu$  se obtiene de lo siguiente

$$\text{ECUACIÓN 19. } a = \frac{\sqrt{6} * S}{\pi}$$

$$\text{ECUACIÓN 20. } \mu = X - 0,5772 a$$

X corresponde a la media aritmética y S a la desviación estándar

En la EVI, la variable reducida “y” representa al periodo de retorno identificado, y la variable “x” engloba los valores de caudal (m<sup>3</sup>/s) a analizar, las expresiones se la obtienen bajo lo siguiente:

$$\text{ECUACIÓN 21. } Y_T = -\ln\left(\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$$

$$\text{ECUACIÓN 22. } X_T = \mu + a * Y_T$$

Los resultados se contemplan en las siguientes tablas:

**Tabla 22. Distribución de Gumbel EVI**

<b>Parámetros Estadísticos</b>	
Promedio (x)	1203,6
Desviación estándar (S)	251,5
Max	1620,4
Min	598,9
$a$	196,1
$\mu = x - 0,5772 * a$	1090,4

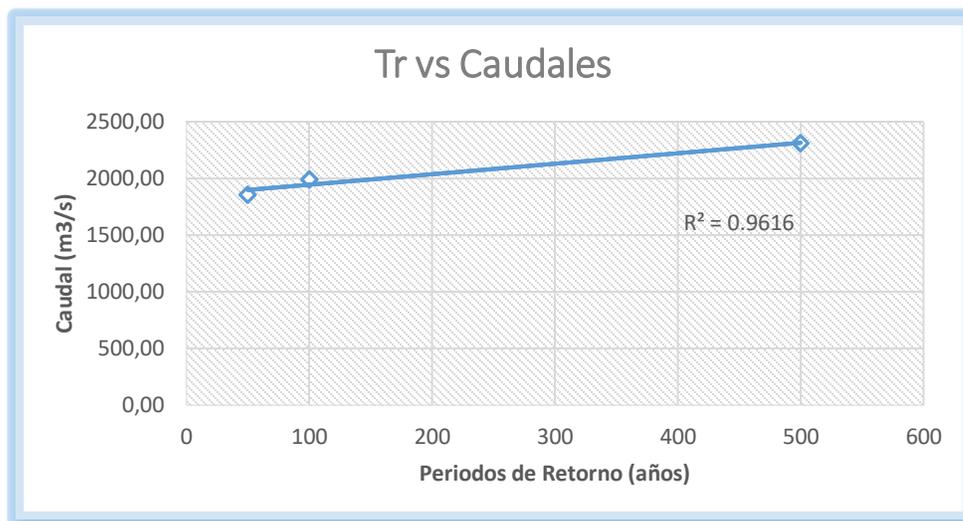
**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Los datos obtenidos de la desviación estándar (S) y promedio (X) calculados se reemplaza en las ecuaciones 19 y 20, los valores obtenidos son:  $a=196.1$  y  $\mu= 1090.4$ , estos últimos se reemplazan en la ecuación 22, con esto se obtiene los caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

**Tabla 23. Cálculo de caudales para Tr**

Periodo de Retorno	$Y_t$	$X_t$ (m <sup>3</sup> /s)
50	3,90193866	1855,56
100	4,60014923	1992,48
500	6,21360726	2308,86

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

**Gráfico 1. Caudales para diferentes Tr**

**Análisis:** En el presente gráfico se identifica el valor de  $R^2$  de 0.9616, esto quiere decir que, estadísticamente los valores de caudales para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años son ajustados a una línea de tendencia lineal, ya que el valor de  $R^2$  es cercano a 1.

**Resumen de resultados de cálculo de caudales en donde se aplicó el método Racional Modificado y el método del Hidrograma Triangular del SCS en el río Cristal, en cambio, para el Río Blanco el método probabilístico de Gumbel.**

Los resultados de cálculo de las máximas avenidas para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años en el río Cristal obtenidos por el método Racional Modificado y el método del Hidrograma Triangular del SCS se evidencia en la siguiente tabla:

**Tabla 24. Resumen de cálculo de caudales por el método Racional Modificado y el método del Hidrograma Triangular del SCS para el río Cristal, Río Blanco método probabilístico de Gumbel.**

Periodo de Retorno	Método Racional Modificado	Método del Hidrograma Triangular del SCS	Método Probabilístico de Gumbel Máx
	Río Cristal		Río Blanco
50 años	266,13 (m <sup>3</sup> /s)	167,96 (m <sup>3</sup> /s)	1855,56
100 años	294,46 (m <sup>3</sup> /s)	185,84 (m <sup>3</sup> /s)	1992,48
500 años	484,77 (m <sup>3</sup> /s)	305,95 (m <sup>3</sup> /s)	2308,86

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Existe una gran diferencia entre los dos métodos para obtener los caudales para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años en el río Cristal entre el Método Racional Modificado, y el método Triangular del SCS; por consiguiente, al evaluar eventos extremos y considerar más parámetros para el cálculo; el caudal para realizar los modelamientos hidráulicos para diferentes periodos de retorno son los obtenidos por el Método Racional Modificado: TR50 (266,13 m<sup>3</sup>/s); TR100 (294,46 m<sup>3</sup>/s); y T500 (484,77 m<sup>3</sup>/s). Por otro lado, el método probabilístico de Gumbel tipo 1 se aplicó para obtener las máximas avenidas del río Blanco, ya que es uno de los métodos más usados en hidrología, por consiguiente, estos valores también serán utilizados para el modelamiento hidráulico: TR50 (1855,56 m<sup>3</sup>/s); TR100 (1992,48 m<sup>3</sup>/s); y T500 (2308,86 m<sup>3</sup>/s).

#### **4.2. Resultados de objetivo 2:**

Identificar el nivel de amenaza por inundaciones en el contexto de estudio mediante el modelamiento hidráulico en el software Hec-Ras 2D, del río Blanco y el río Cristal.

##### **1. Modelamiento hidráulico del río Blanco y Cristal en HEC RAS 2D.**

El programa Hec Ras (River Analyst System) desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, fue creado en el año de 1698, para determinar el cálculo de perfiles de flujo en canales trapezoidales, desde la fecha de elaboración se han ido actualizando, en el año

2016 fue publicado la versión de HEC RAS 2D, para poder estudiar los diferentes fenómenos enfocados a la ingeniería aplicada en canales naturales y artificiales. (Moya, 2016)

En el presente estudio se modelará un escenario histórico, en este caso el evento ocurrido en el año 2011 en el río Blanco y año 2015 en el río Cristal, con el propósito de obtener resultados muy parecidos a la realidad, posteriormente, se realizará las modelaciones para periodos de retorno de 50,100 y 500 años.

## **1.1.Preprocesamiento**

### **1.1.1. Construcción del modelo**

#### **- Rugosidad de Manning**

En el proyecto de tesis de (Castro & Garcia, 2021), relacionado a la estimación de mallas computacionales e intervalos de tiempo para ríos con un ancho de 100m, identifica que el valor de Manning idóneo depende del caudal del río y la pendiente.

**Tabla 25. Estimación de la rugosidad de Manning en el río Blanco**

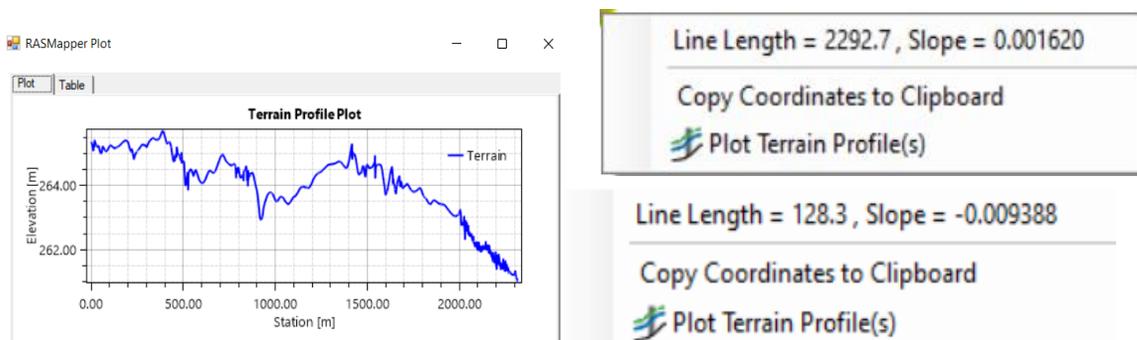
<b>Pendiente</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Manning</b>
0 – 0,003	500	0,023
	1000	0,025
	1500	0,035

**Fuente:** (Castro & Garcia, 2021)

En la extensión del Ras Mapper, se puede determinar la pendiente del cauce desde las condiciones de entrada hasta las condiciones de salida haciendo uso de la regla y la activación del MDT, así como también, el ancho del canal natural.

#### **- Perfil longitudinal del río Blanco**

## Ilustración 2. Perfil del río Blanco



**Nota:** El perfil del río Blanco a analizar es de 2292.7m, con una pendiente de 0.0016 y con un ancho de 128.3m en la sección del puente de Valle Hermoso

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Con esta información se obtiene el valor de Manning de 0,035 para el río Blanco; no obstante, este valor podría variar para calibrar el modelo con un evento real.

### 1.1.2. Rugosidad del río Cristal

Para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning del río Cristal, se utiliza el método de Cowan, cuyo valor se calcula bajo los siguientes parámetros.

$$\text{ECUACIÓN 23. } n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m$$

(Encalada & Jara, 2010) obtiene el valor de la rugosidad de Manning aplicando la fórmula del SCS planteado por Cowan, así como también (Paucar, 2016), considerando las siguientes características de la tabla 5, por cada parámetro evaluado en sus investigaciones respectivamente.

Para el río Cristal, los parámetros de corrección para obtener la Rugosidad de Manning fueron llenados por (Cuichan, 2022) técnico Ambiental del GAD parroquial de Valle Hermoso quien conoce a detalle las características que influyen en el cauce.

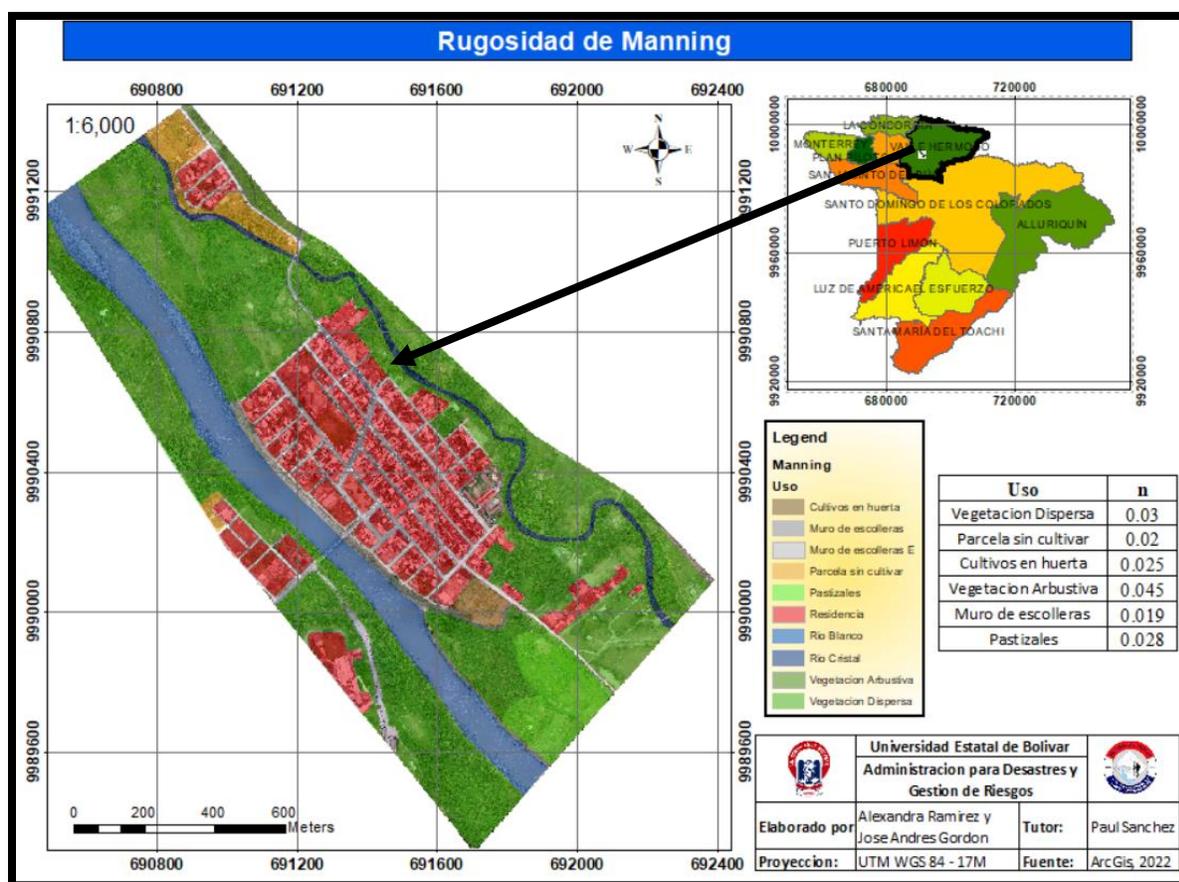
$$n = (0,028 + 0,005 + 0 + 0,01 + 0,05) * 1,15$$

$$n = 0,106$$

### 1.1.3. Uso de suelo

Con la ayuda de la ortofoto, se procedió a crear un archivo en formato shp del uso de suelo que abarque el MDT, posteriormente se procede a asignarle el valor n (Rugosidad de Manning) de acuerdo a la investigación de (Pelegrín, 2014) recopilados de los procedimientos de estudios de inundabilidad en el ámbito de Ordenamiento Territorial de Murcia, España.

**Mapa 5. Uso de suelo**

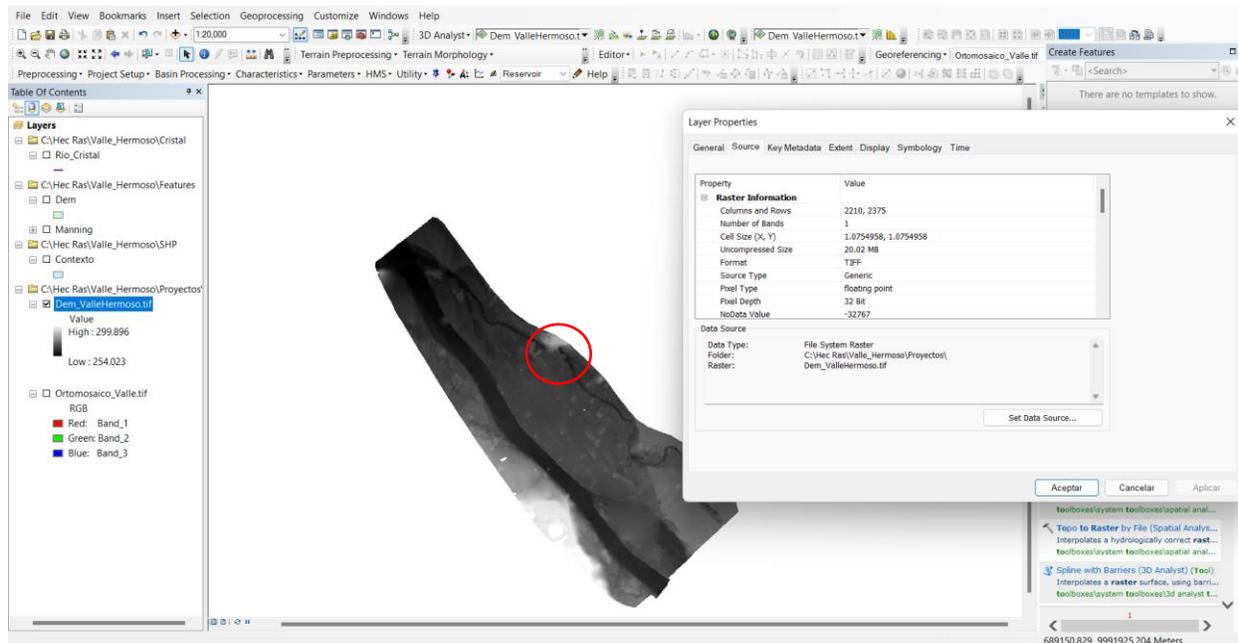


**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

### 1.1.4. Construcción del MDT

Para (Alvarez & Moreno, 2021), el MDT es uno de los parámetros más importantes para realizar el modelamiento hidráulico, es por ello, que realizaron una topografía con dron y una depuración del MDT, en sitios donde se presentaban irregularidades en diferentes tramos del río Piura. Por tal motivo en el presente proyecto se realizó un levantamiento topográfico con la ayuda de un dron DJI Mavic, las fotografías fueron proporcionadas por (Suárez, 2022). La construcción del MDT se lo hizo en el software Agisoft Metashape Profesional, cuyo producto final es un MDT de 1,07 m por pixel en una superficie de 234,78 Ha, la escala de trabajo es de 1:4000.

### Ilustración 3. Modelo digital del terreno



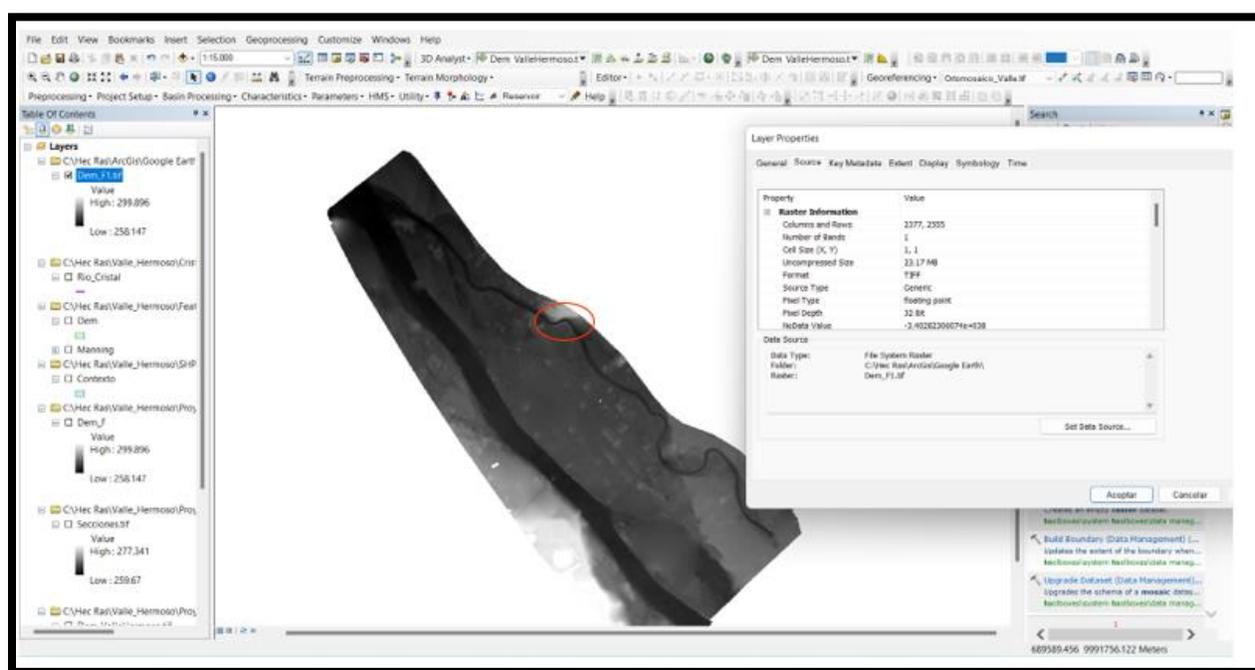
**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

En ciertos tramos del río Cristal, el terreno se ve afectado por la vegetación arbustiva, sin embargo, el depuramiento del MDT se lo realiza mediante la interpolación de las secciones del

cauce en el Ras Mapper donde presentaban inconvenientes por efectos de las sombras de los árboles en la generación de la nube de puntos densa en Agisoft, que posteriormente afectó en la construcción del MDT.

El MDT resultante se lo realiza con la herramienta “crear un nuevo mosaico” en el ArcGIS, el resultado se lo puede observar a continuación:

**Ilustración 4 . Final MDT de Valle Hermoso**



**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

### 1.1.5. Malla computacional

A partir de la versión de HEC RAS 5.0 se puede trabajar con mallas estructuradas y no estructuradas, por lo que, las celdas computacionales no deben exceder 8 lados. Para (Lluen, 2015), las mallas computacionales que tuvieron una buena convergencia fueron las de 10x10 y 15x15m

para un tiempo de 6s en el modelamiento hidráulico realizado en el río Ter que discurre por Cataluña, España.

En cambio, para (Castro & Garcia, 2021) el tamaño de la malla óptimo para realizar el modelamiento hidráulico en ríos con un ancho de 100 m en un km de longitud, es de 24,90m con un intervalo de tiempo de 4s, n de 0,035 y una pendiente menor a 0,003.

Entonces, para el presente proyecto se utilizará una malla de 25m, un refinamiento de la misma en los 2 cauces de 12,5m, así como también las estructuras de los puentes con celdas de 10m.

### 1.1.6. Convergencia del modelo

La convergencia del modelo está en función del espacio, el tiempo y la velocidad aplicando la fórmula del número de Courant.

$$\text{ECUACIÓN 24. } C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta X}$$

El número de Courant varía de 1 a 3, por consiguiente, al despejar  $\Delta T$  se tendrá el intervalo de tiempo computacional.

$$\text{ECUACIÓN 25. } \Delta T = \frac{C \cdot \Delta X}{V}$$

Donde

C= Numero de Courant

$\Delta X$ = Tamaño mínimo de las celdas

V= Velocidad máxima

$\Delta T$ = Tiempo computacional

La velocidad máxima según (Mejia, 2021) se la obtiene a partir de un pre modelamiento, en la ventana de estadísticas de Hec Ras se puede observar los resultados. (Ver anexo 5)

$$\Delta T = \frac{1*10m}{6,59m/s}$$

$$\Delta T = 1,517s$$

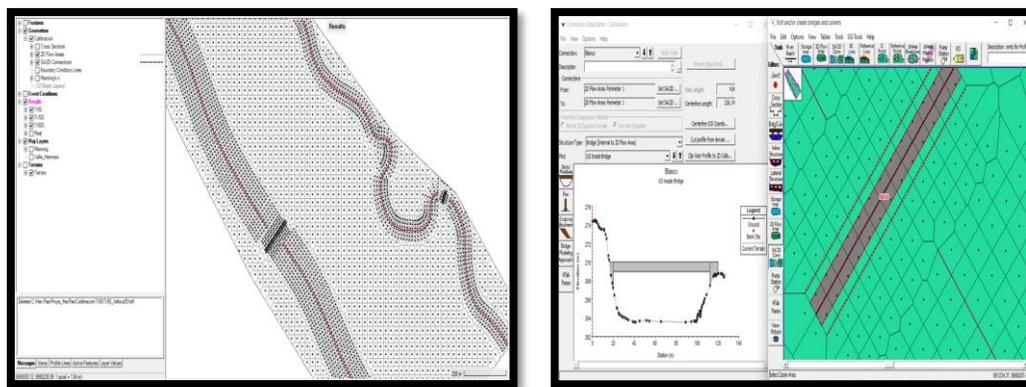
Por lo tanto, el intervalo computacional se lo dejara en 2s para tener mayor estabilidad en el modelo.

## 1.2. Procesamiento

### 1.2.1. Crear la geometría

En esta sección se insertó el MDT y la capa de uso de suelo que contienen los valores de rugosidad; así como también, se elaboró el perímetro en el contexto de estudio para establecer el tamaño de malla de 25x25m en todo el territorio a excepción de los cauces y las estructuras hidráulicas (Puentes), en los 2 ríos se hizo un refinamiento de 12.5x12.5m y en los puentes 10x10m; por consiguiente, se agregó las condiciones de entrada y de salida del flujo; seguido de la edición de los puentes.

### Ilustración 5. Mallas computacionales y edición de puentes



### 1.2.2. Unsteady Flow data (Flujo gradualmente variado)

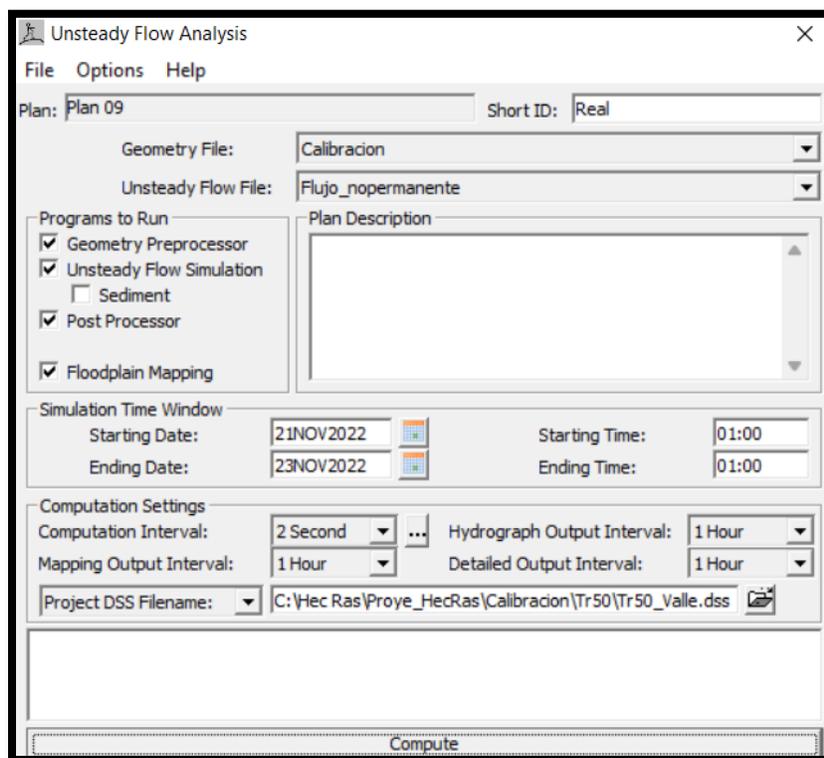
En los datos de flujo no permanente se agregan los valores de caudales máximos para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, con su respectivo tiempo al pico y tiempo base; para

cuencas pequeñas la duración de la lluvia es  $d = t_c$ , y para cuencas grandes  $d = 2 \sqrt{t_c}$ . (Ojeda, 2017), identificó un caudal promedio del río Blanco de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ , este resultado se agregó en el hidrograma triangular del SCS. (Ver anexo 10)

### 1.2.3. Crear un plan

En esta etapa se introduce el tiempo de simulación de los hidrogramas y el número intervalo computacional para correr el modelo, además de crear una carpeta donde se guarden los resultados de tirantes, velocidades y espejo de agua.

#### Ilustración 6. Plan de simulación



### 1.2.4. Calibración del modelo

La Calibración del modelo se lo realizó basados en los registros históricos de la estación H0138 y M0025; a más de ello, se aplicó el criterio técnico de expertos para identificar zonas afectadas y validar el modelo.

#### Río Blanco

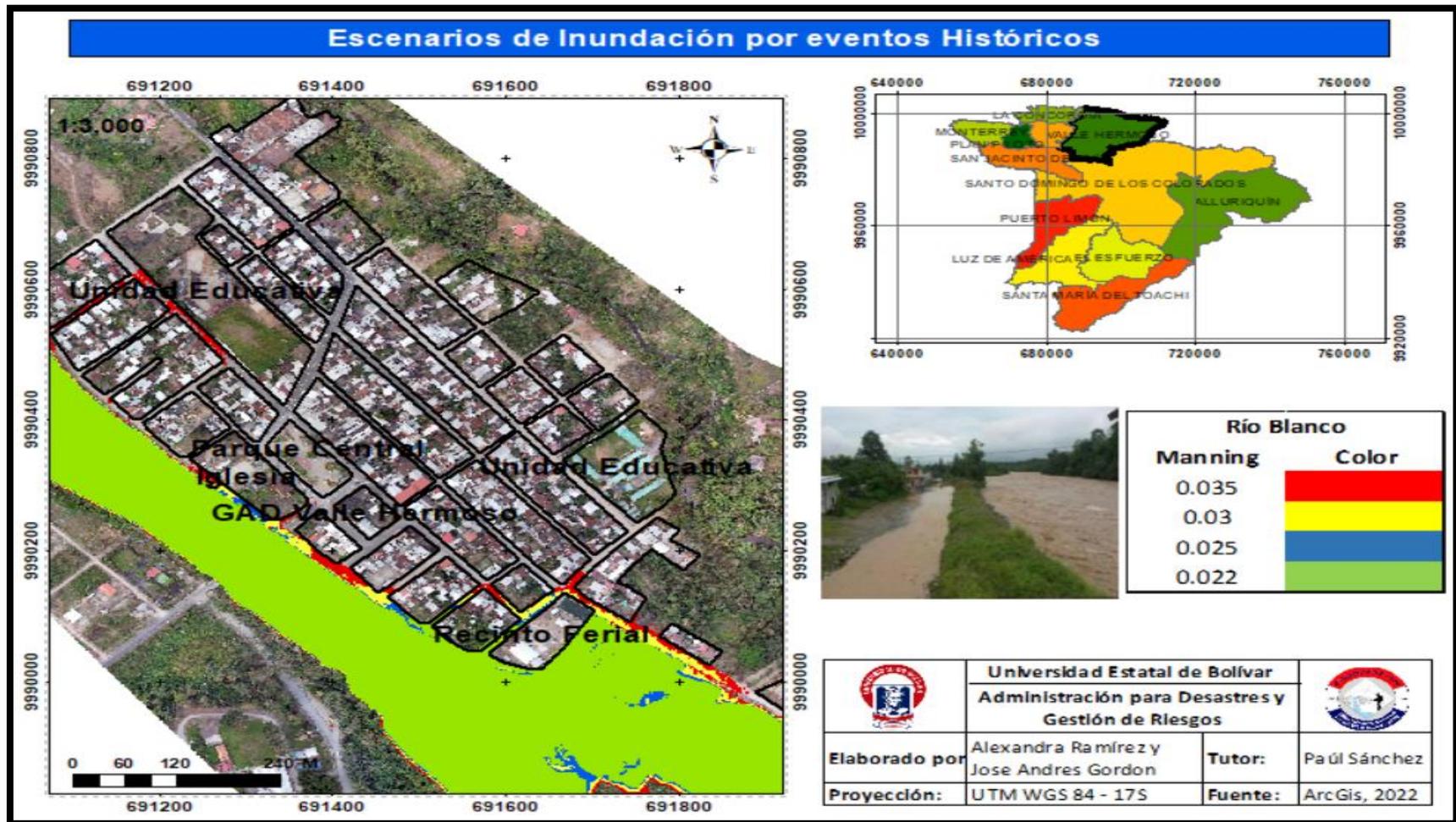
La calibración del modelo se lo realiza con el propósito de que, los resultados sean lo más próximo a la realidad, para ello se simuló los caudales pico registrados en la estación hidrológica Blanco DJ Toachi desde el 26 de abril al 28 de abril del 2011.

**Tabla 26. Antecedente histórico**

Fecha	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
26/04/2011	583,70
27/04/2011	1620,42
28/04/2011	834,81

**Fuente:** (INAMHI, Anuarios Hidrologicos , 2011)

Mapa 6. Escenarios de inundación del río Blanco 2011



**Descripción:** Los escenarios de inundación en el río Blanco 2011, según lo manifestó (Águila, 2022) y (Cuichan, 2022), fueron al costado derecho del río, tal cual se evidencia en la presente ilustración, así como también, el agua ingresó en la parte trasera del recinto Ferial (Ver anexo 6 y 7), por lo tanto, el valor de  $n$  para la calibración y validación del modelo es 0,020, este último valor está por debajo del valor  $n$  teórico ( $n=0,035$ ); se debe al mantenimiento que le dan la autoridades del GAD para evitar y reducir el impacto del río Blanco en la población.

## Río Cristal

Por otro lado, el río Cristal no cuenta con estación hidrológica, por lo tanto, se obtuvo los datos históricos de la estación meteorológica M0025 (La Concordia), donde en el año 2015 el río Cristal se desbordó y provocó afectaciones en la población. Los datos de precipitaciones máximas en 24 horas registrada fueron de 140mm. La intensidad (mm/h) se obtiene dividiendo la precipitación para 24 h ( $I=P/24$ ). El caudal se obtiene aplicando el Método Racional Modificado resumido en la siguiente tabla:

**Tabla 27. Estación La Concordia (M0025)**

<b>P 24h</b>	<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	<b>C</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>K</b>	<b>Q Máx. (m<sup>3</sup>/s)</b>
140	29,08	0,43	31,96	1,079	113,07

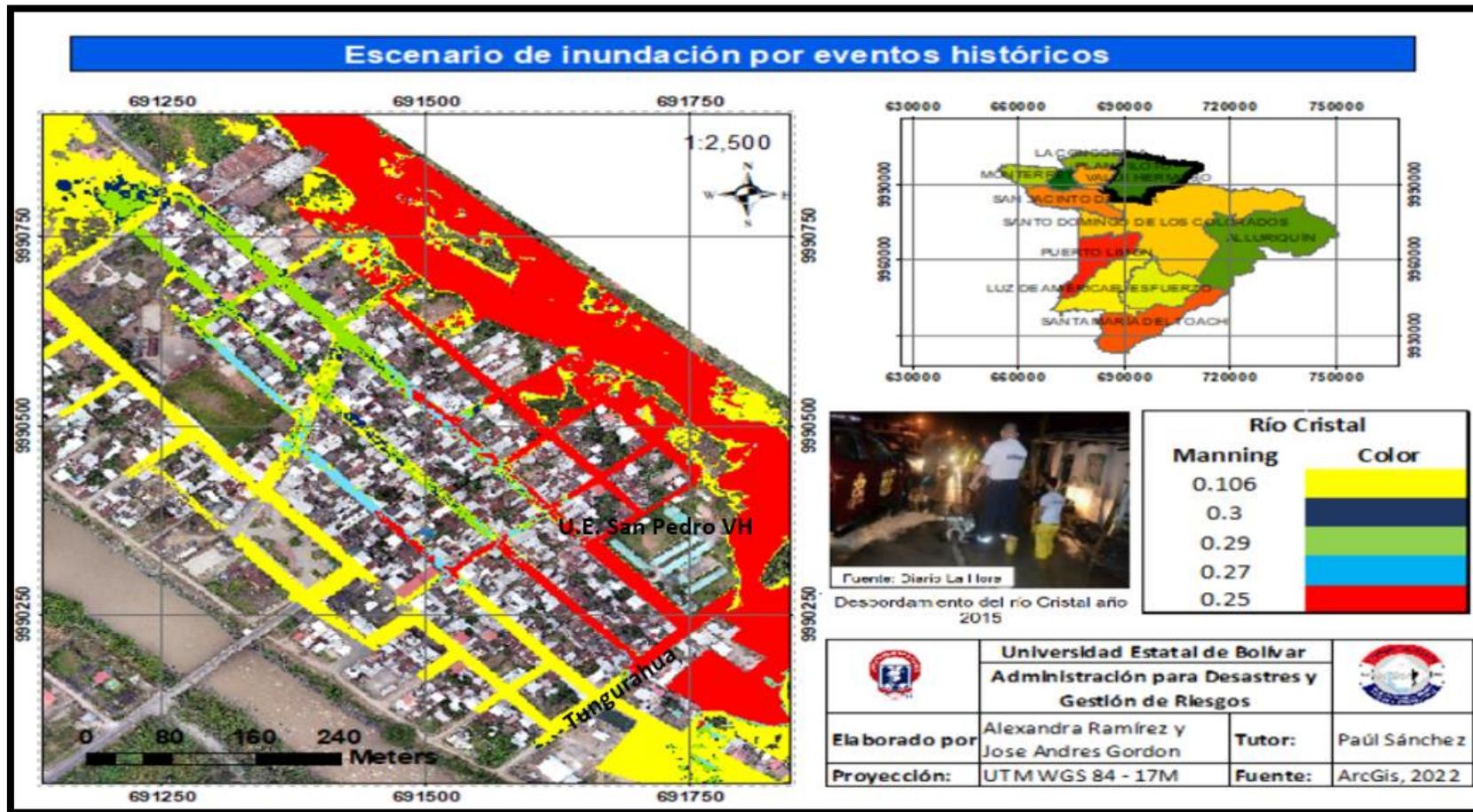
**Fuente:** (INAMHI, Registro Historico de Precipitaciones Max 24h, 2015)

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

### **Condiciones de contorno interna y externa**

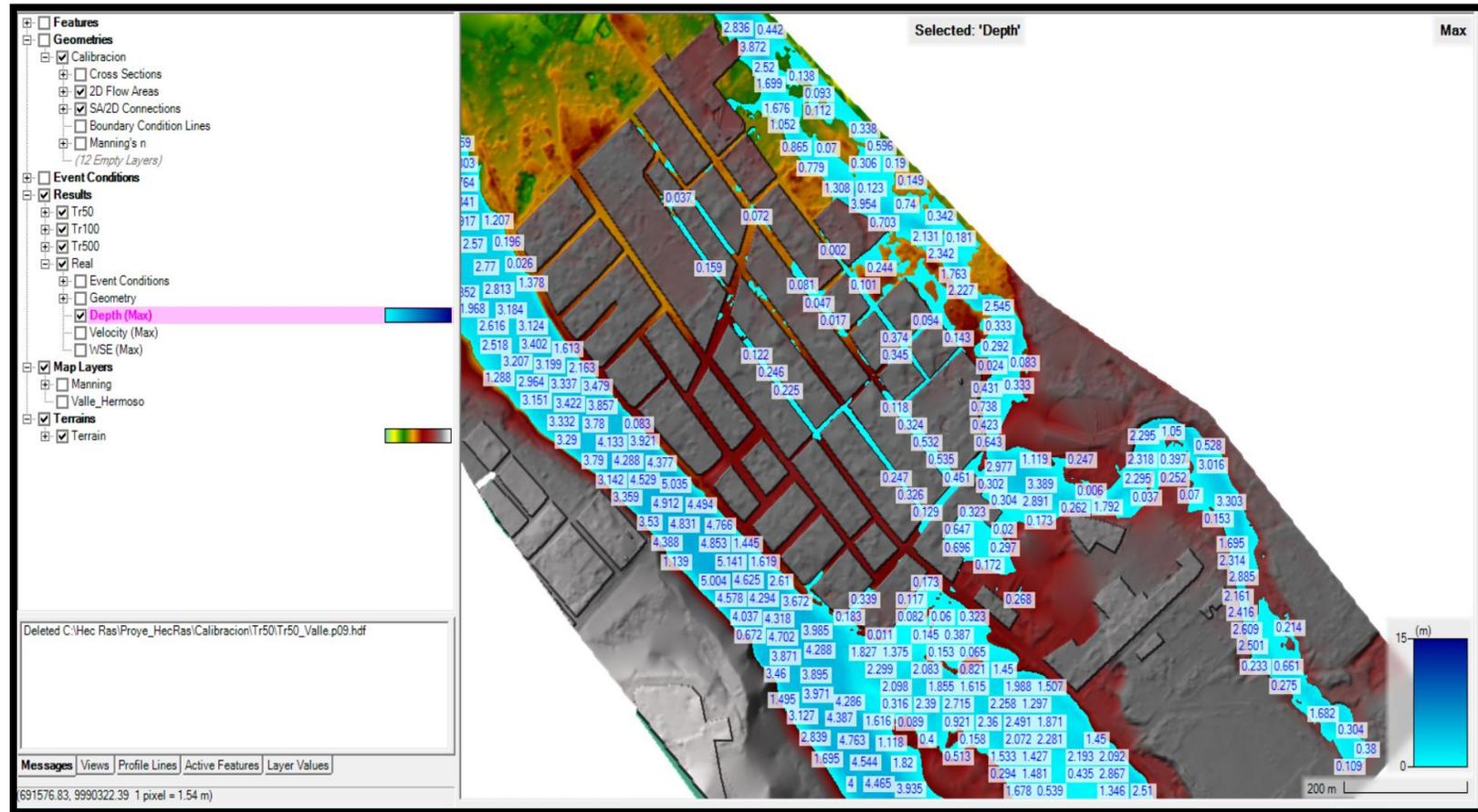
Para el caso del río Cristal, en las condiciones de contorno interna se introduce el valor del caudal generado para el año 2015 considerando el tiempo pico, y el tiempo base de las ecuaciones 15 y 16, en cambio para las condiciones externas (salida) se agregan una profundidad normal.

Mapa 7. Validación del modelo río Cristal



**Nota:** La rugosidad que más se ajusta a la realidad del territorio es la de  $n = 0,029$ ; por otro lado, en la recopilación de campo de los autores mencionados en el mapa anterior (6), coinciden en el ingreso del agua en la parte posterior de la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso siguiendo la calle Tungurahua y adentrándose en las calles transversales, al igual que la rugosidad del río Blanco el valor observado se reduce considerablemente con respecto al valor teórico (0,106), esto se debe a que el método de Cowan no es tan preciso como lo mencionan (Rodríguez, León, & Fernández, 2018) en su investigación sobre la influencia del coeficiente de Manning en cauces naturales.

**Ilustración 7. Niveles de agua registrado en la cabecera parroquial por antecedentes históricos**



**Nota:** En la presente ilustración se observa los niveles de agua en el contexto de la Cabecera Parroquial de Valle Hermoso, en los eventos históricos Blanco 2011 y Cristal 2015, calibrados según la información obtenida bajo la percepción del encargado de la estación H0138 y el técnico ambiental del GAD el cual no exceden los 0,5m, además manifestaron que el agua no ingresó a las viviendas.

### 1.3. Post Procesamiento

#### 1.3.1. Análisis de zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso

Con la herramienta de álgebra de mapas de ArcMap se multiplica los valores resultantes de calado y velocidad, de esta manera se clasifica las zonas de inundación de acuerdo a la tabla 4. Los resultados para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años se evidencian a continuación:

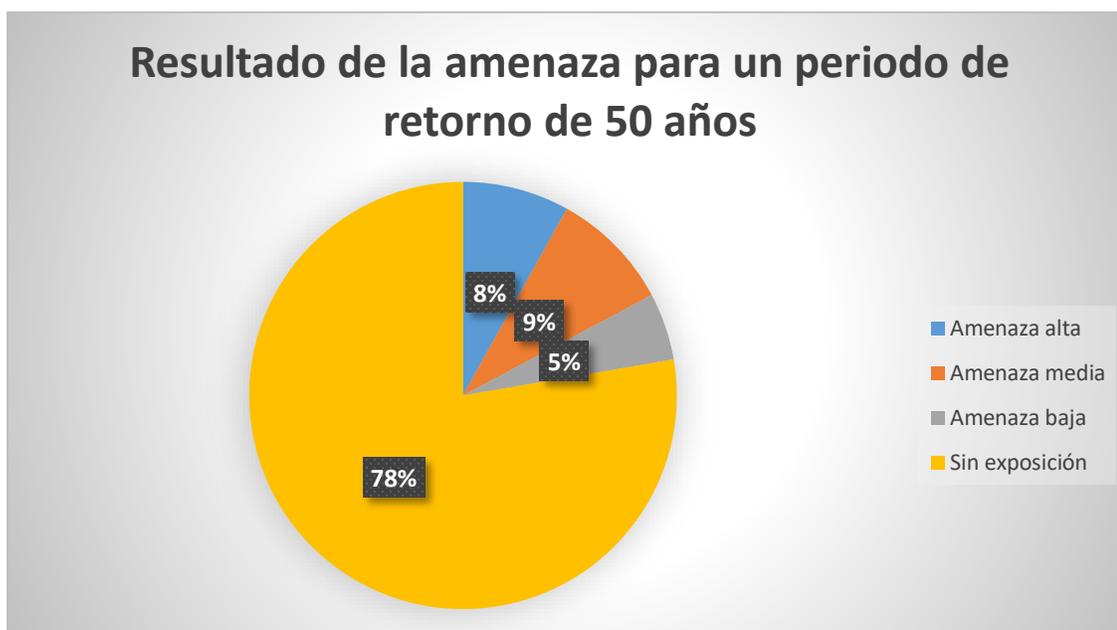
#### ❖ Resultados del nivel de amenaza para un periodo de retorno de 50 años

**Tabla 28. Nivel de amenaza para un TR de 50 años**

Nivel	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Amenaza Alta	Peligro alto para las personas, daños graves en las infraestructuras. Calado * velocidad = $\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	5,16	8%
Amenaza Media	Peligro medio para las personas, afectaciones a las viviendas, vehículos y personas por objetos que son arrastrados. Calado * velocidad = $0,081 - 0,49 \text{ m}^2/\text{s}$	5,83	9%
Amenaza Baja	Presencia de leves afectaciones en medio de la población con poca importancia. Calado * velocidad = $V. \text{ min} - 0,080 \text{ m}^2/\text{s}$	3,24	5%
Sin Amenaza	Sin amenaza o exposición de personas e infraestructura a inundaciones.	49,63	78%
<b>Total</b>		<b>63,87</b>	<b>100%</b>

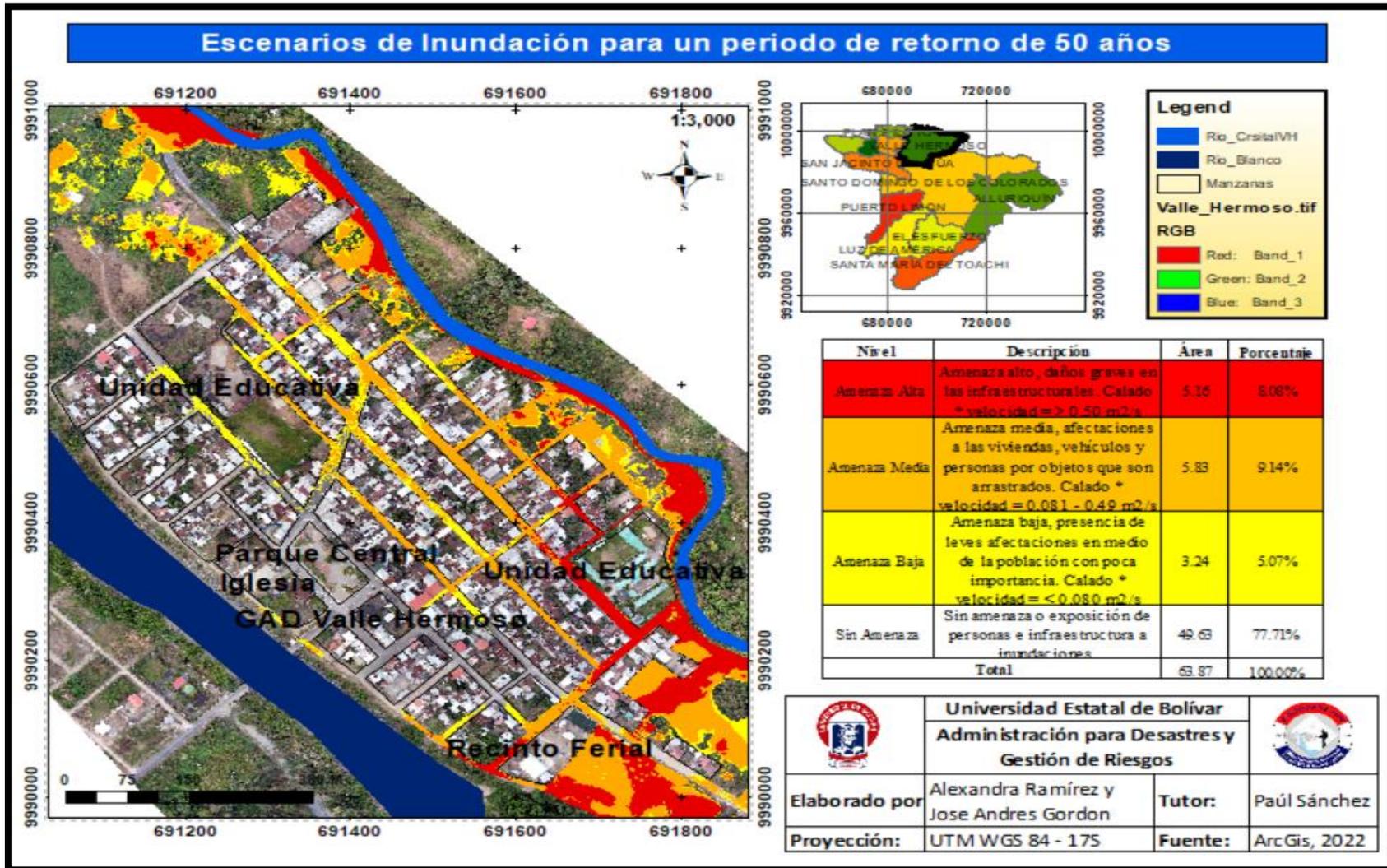
**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Gráfico 1



**Análisis:** El gráfico 1, indica un escenario de inundabilidad para un periodo de retorno de 50 años, en donde se ha obtenido que el 8% del territorio en estudio tendrá una amenaza alta, sobre todo la población expuesta o que conviven en las riberas de los dos ríos, cuyo desbordamiento traerá consigo cuantiosas pérdidas económicas y humanas, sobre todo en la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso, ya que los estudiantes pueden verse afectados por este escenario.

Mapa 8. Escenario de inundación para periodos de retorno de 50



Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

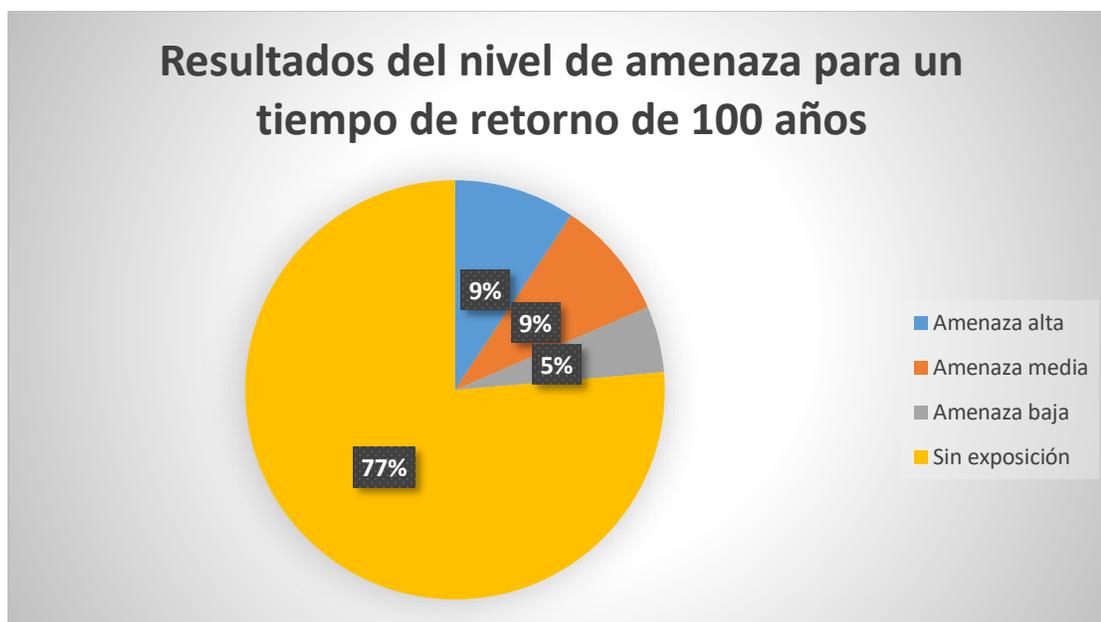
❖ **Resultados del nivel de amenaza para un periodo de retorno de 100 años.**

**Tabla 29. Nivel de amenaza para un TR de 100 años**

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Amenaza Alta</b>	Peligro alto para las personas, daños graves en las infraestructuras. Calado * velocidad = $\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	5,96	9%
<b>Amenaza Media</b>	Peligro medio para las personas, afectaciones a las viviendas, vehículos y personas por objetos que son arrastrados. Calado * velocidad = $0,081 - 0,49 \text{ m}^2/\text{s}$	5,87	9%
<b>Amenaza Baja</b>	Presencia de leves afectaciones en medio de la población con poca importancia. Calado * velocidad = V. min - $0,080 \text{ m}^2/\text{s}$	3,26	5%
<b>Sin Amenaza</b>	Sin amenaza o exposición de personas e infraestructura a inundaciones.	48,75	77%
<b>Total</b>		63,87	100%

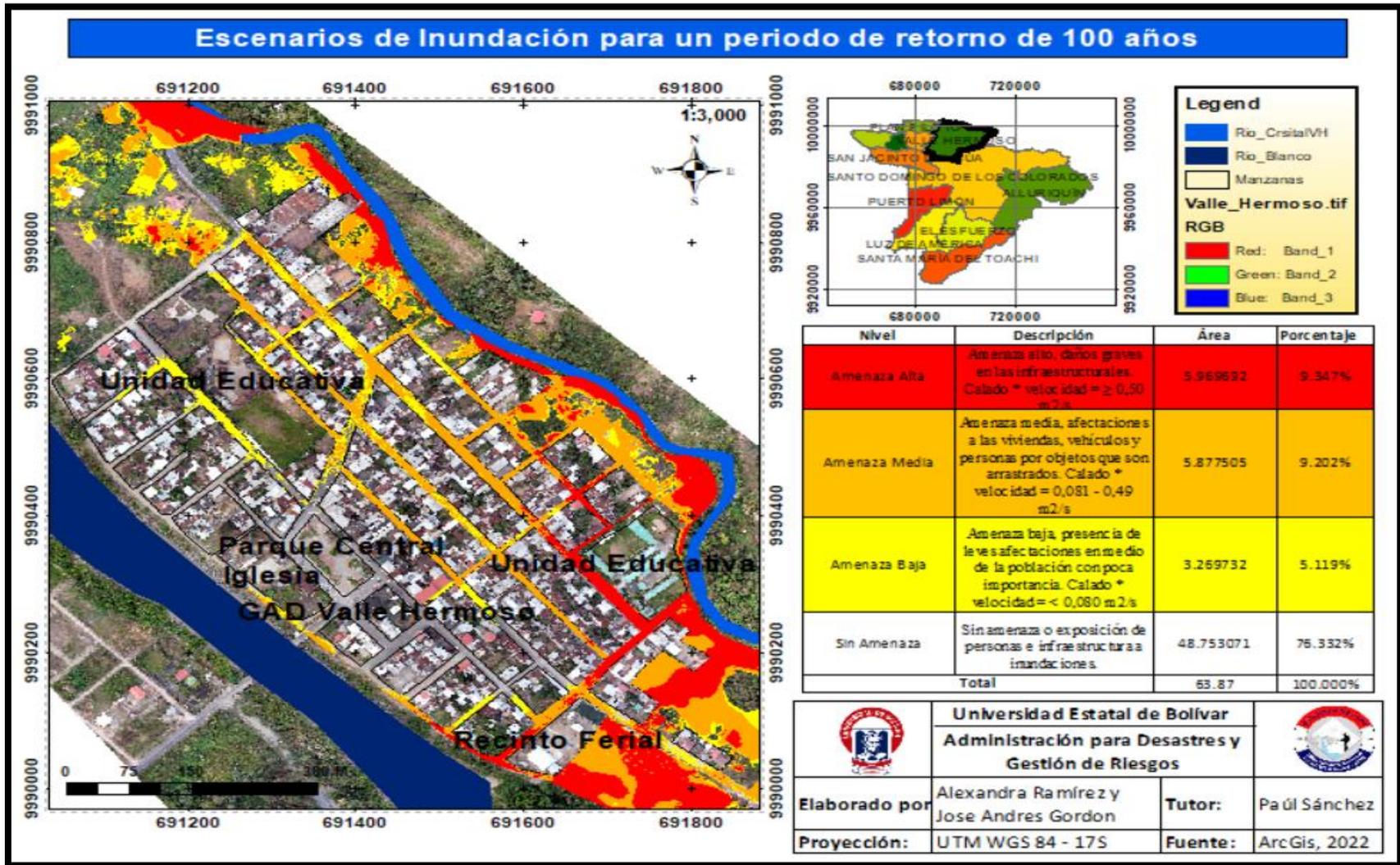
**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Gráfico 2



**Análisis:** En el gráfico 2 se puede evidenciar el análisis del nivel de la amenaza para un periodo de retorno de 100 años, en donde el 9% de territorio tiene una amenaza alta, en especial el área ubicada a las orillas del río Blanco y del río Cristal. Esto implica un trabajo constante con las autoridades de la parroquia y la población para realizar los trámites correspondientes y solicitar que se trabaje en la prevención de los riesgos. Pues se observa que, a diferencia del periodo de retorno de 50 años, el de 100 años incrementa el porcentaje de territorio que se verá afectado.

Mapa 9. Escenario de inundación para periodos de retorno de 100 años



Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

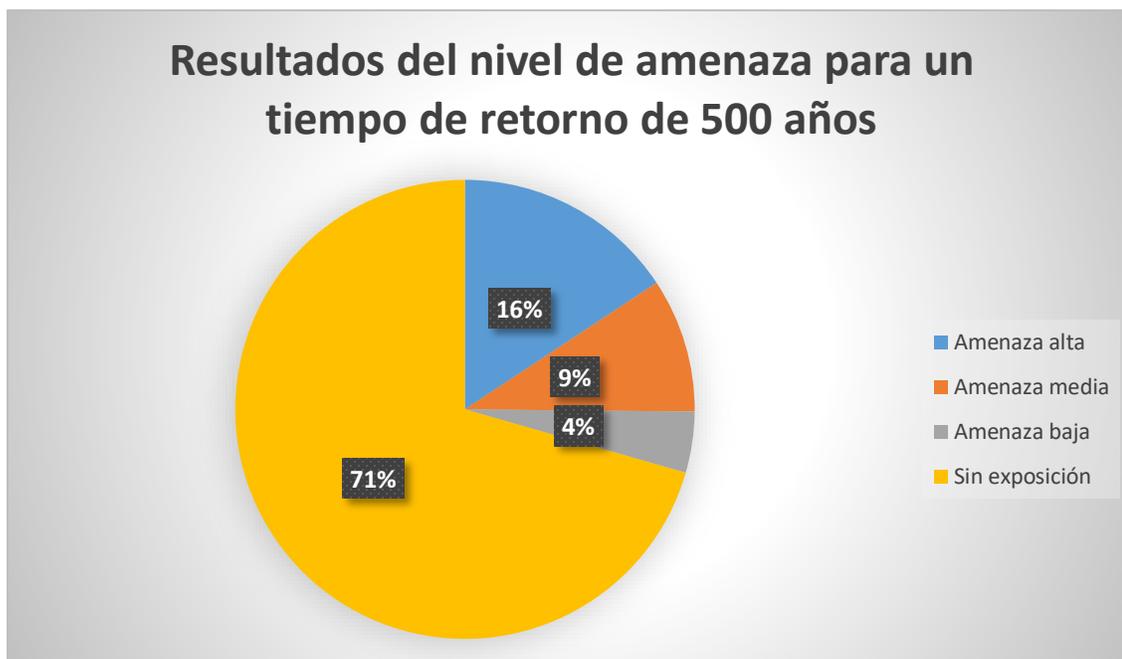
❖ **Resultados del nivel de amenaza por un periodo de retorno de 500 años**

**Tabla 30. Nivel de amenaza para un TR de 500 años**

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Amenaza Alta</b>	Peligro alto para las personas, daños graves en las infraestructuras. Calado * velocidad = $\geq 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$	10,05	16%
<b>Amenaza Media</b>	Peligro medio para las personas, afectaciones a las viviendas, vehículos y personas por objetos que son arrastrados. Calado * velocidad = $0,081 - 0,49 \text{ m}^2/\text{s}$	6,03	9%
<b>Amenaza Baja</b>	Presencia de leves afectaciones en medio de la población con poca importancia. Calado * velocidad = $V. \text{ min} - 0,080 \text{ m}^2/\text{s}$	2,74	4%
<b>Sin Amenaza</b>	Sin amenaza o exposición de personas e infraestructura a inundaciones.	45,03	71%
<b>Total</b>		63,87	100%

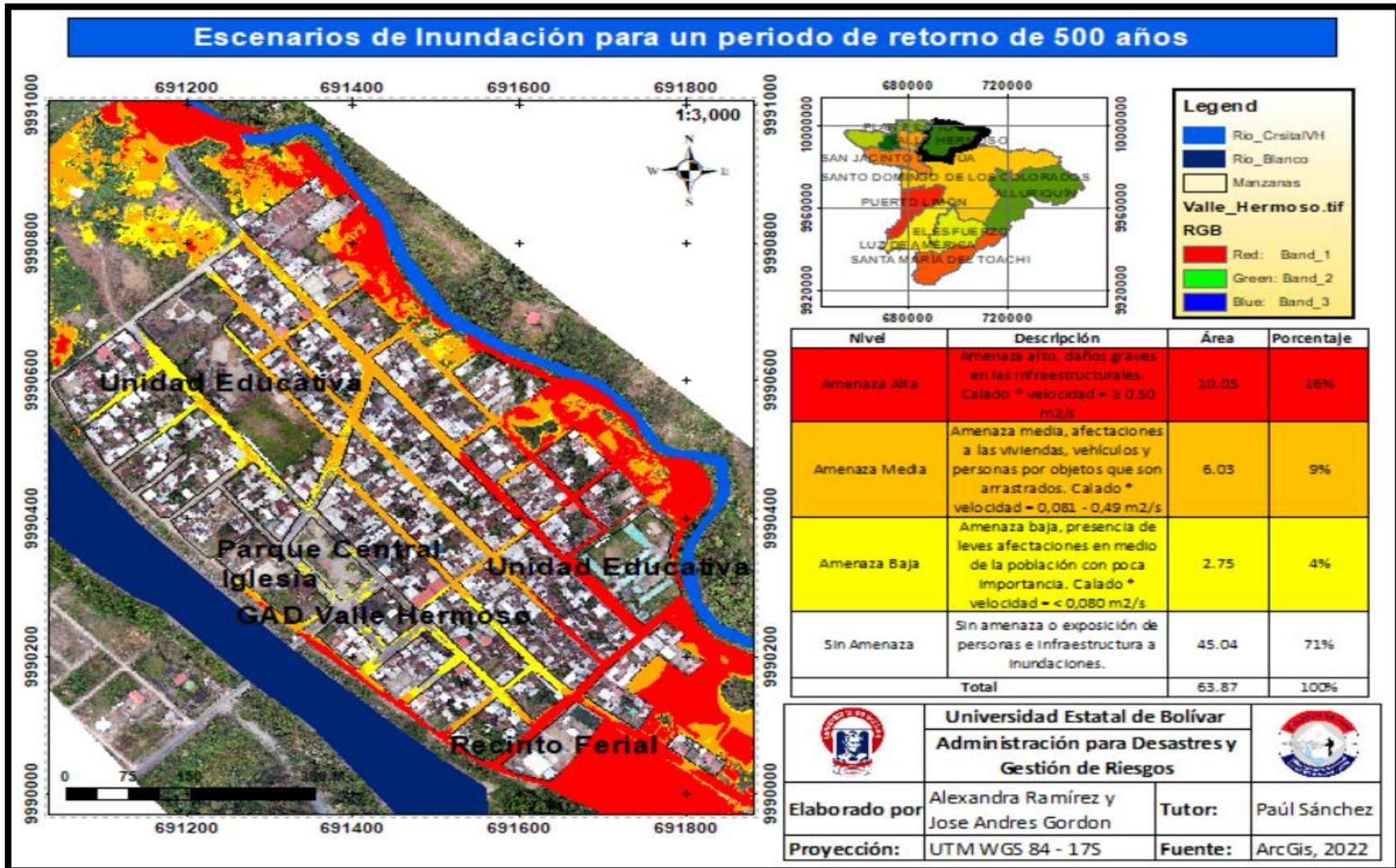
**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordon J.

Gráfico 3



**Análisis:** El gráfico 3, muestra el territorio expuesto a los diferentes niveles de amenaza y se puede observar que la amenaza alta para un periodo de retorno de 500 años cubre el 16 % del territorio en estudio, lo que implica un aumento considerable en pérdidas económicas, materiales y humanas a diferencia del nivel de amenaza para un periodo de retorno de 50 y 100 años. Este tipo de información ayuda a la toma de decisiones en una población que convive con la amenaza, en donde cada etapa invernal es impredecible lo que pueda ocurrir; sin embargo, mediante los estudios generados se espera que la parroquia pueda prepararse constantemente para estos eventos.

Mapa 10. Escenario de inundación para periodos de retorno de 500 años



Elaborado por: Ramírez A. y Gordon J.

### **Resumen de las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso**

Las manzanas afectadas por el desbordamiento del río Cristal en el año 2015, cuyo caudal pico fue de 113,07 m<sup>3</sup>/s, son las ubicadas en las riberas del cauce, entre ellas se encuentra la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso (Ver mapa 7); por otro lado, el evento extremo registrado en la estación hidrológica H138 en el año 2011 fue de 1620,42 m<sup>3</sup>/s, tuvo repercusiones en el sector del Recinto Ferial de la parroquia (ver mapa 6); sin embargo, no se han registrados mayores afectaciones en las viviendas ubicadas en las riberas del río Blanco y esto se debe a que, la presencia del muro de escolleras reduce el impacto de las inundaciones. Para periodos de retorno de 50, 100 y 500 años el nivel de amenaza alta sigue una tendencia de crecimiento de las zonas de inundación en el contexto de estudio por los desbordamientos de los ríos analizados, en donde el denominador común de los sitios afectados sigue siendo los asentamientos en las riberas de los cauces naturales y la U.E San Pedro de Valle Hermoso. (Ver mapas 8, 9 y 10)

#### **4.3.Resultados del objetivo 3:**

##### **Establecer medidas de reducción de riesgos estructurales y no estructurales.**

Los autores (Escuder, Matheu, & Castillo, 2017), agregan que en la actualidad existe una gran variedad de medidas estructurales y no estructurales que se pueden considerar para reducir el riesgo ante eventos extremos con inundaciones. Las medidas estructurales, consisten en cualquier construcción físico estructural que sea de utilidad para reducir o evitar posibles impactos de inundaciones, en sí se resumen a medidas estructurales de ingeniería resistentes a amenazas. Por otro lado, las medidas no estructurales abarcan las políticas, advertencias, medidas para el desarrollo poblacional, procesos legislativos y de participación ciudadana, que permitan enriquecer el conocimiento de la población y directivos.

**Tabla 31. Medidas estructurales en sitios críticos**

<b>Sitio crítico</b>	<b>Medidas estructurales</b>	<b>Responsables y colaboradores</b>
Aguas arriba de la cabecera parroquial de Valle Hermoso del río Blanco.	Protección del muro de escolleras de aproximadamente 800 metros de longitud en la parte de aguas arriba de la cabecera parroquial de Valle Hermoso, para reducir el impacto de las máximas avenidas del río Blanco.	GAD Parroquial en coordinación con la Dirección de Obras Públicas del GAD Provincial.
Río Cristal y río Blanco.	Realizar el dragado y limpieza de los cauces como medida básica para mantener la capacidad hidráulica de las vías de drenaje de las cuencas, tras un evento de grandes proporciones de lluvia, tanto en el río Cristal como en el río Blanco.	GAD Parroquial en coordinación con la Dirección de Obras Públicas del GAD Provincial.
Cerca de la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso.	Construcción de un muro de escolleras en la parte donde se ubica la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso en donde el río puede entrar con facilidad. Reforzamiento físico del cerramiento de la Unidad Educativa San Pedro de Valle Hermoso, ya que en el estudio obtenido es la institución más afectada por el desbordamiento del río Cristal.	GAD Parroquial en coordinación con la Dirección de Obras Públicas del GAD Provincial.
<b>Medidas estructurales complementarias</b>		

<p>La restauración hidrológica forestal en las orillas de los ríos Cristal y río Blanco.</p>	<p>La restauración hidrológica forestal, la conservación del suelo y la mejora en la cubierta vegetal, aportan un efecto especial en la génesis de los caudales de crecida, y aún más importante en la producción de sedimentos y aportes sólidos. Se debe sembrar árboles endémicos propios de la zona, como son los Chíparos, y otras especies como Guayacanes blancos y Fernán Sánchez.</p>	<p>Departamento Ambiental del GAD Parroquial</p>
<p>Centro Poblado de Valle Hermoso.</p>	<p>Realizar canales perimetrales para la evacuación de las aguas lluvias hacia el exterior del centro poblado.</p>	<p>GAD Parroquial en coordinación con el GAD Municipal</p>
<p>Agricultura</p>	<p>Construcción de albardas para el aprovechamiento de las aguas lluvias para la agricultura y desarrollo de la población rural.</p>	<p>GAD Parroquial en coordinación con el GAD Provincial</p>
<p>Centro médico de Valle Hermoso.</p>	<p>Preparar las instalaciones y equipar el centro médico de la localidad para que este pueda brindar los primeros auxilios a la población en caso de suceder un evento de gran magnitud.</p>	<p>MSP</p>

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordón J.

**Tabla 32. Medidas no estructurales**

<b>Medidas no estructurales</b>	<b>Responsables y colaboradores</b>
<p>Elaborar trabajos y cartografías de riesgo visualizando una nueva filosofía donde el ordenamiento del territorio se convierta en la herramienta principal para el desarrollo de políticas y actuaciones en los territorios ecuatorianos.</p>	<p>GAD Parroquial, Unidad de Gestión de Riesgos del GAD Municipal, en coordinación con la academia y el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.</p>
<p>Obtener información del comportamiento de las condiciones climáticas en fuentes oficiales como es el INHAMI para mantener a la población informada sobre los acontecimientos que puedan suceder.</p>	<p>GAD Parroquial y población de Valle Hermoso</p>
<p>Realizar un plan de emergencia y contingencia, (Excepción la identificación del nivel de amenaza) considerando lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análisis de Vulnerabilidades y exposiciones la cabecera parroquial de Valle Hermoso frente a escenarios de inundaciones</li> <li>➤ Medidas de Reducción de riesgos</li> <li>➤ Procedimientos de emergencias</li> <li>➤ Capacidades internas y externas de la población</li> <li>➤ Conformación de Brigadas</li> <li>➤ Realizar simulacros de evacuación por lo menos 2 veces al año, para eventos de inundaciones con la finalidad de que la población esté preparada y tenga conocimiento de actuación temprana.</li> </ul>	<p>Unidad de Gestión de Riesgos del GAD Municipal, en coordinación con la academia y el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.</p>

Organizar a la población para realizar mingas de limpieza a nivel de las orillas de los ríos, del muro de escolleras que aún se mantiene, pero con el tiempo ha criado mucha maleza, y de las cunetas dentro del centro poblado para que haya una mejor circulación de las aguas lluvias.	GAD Parroquial y población de Valle Hermoso
Realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de alarma.	Departamento de Planificación del GAD Municipal en coordinación con el GAD Parroquial.

**Elaborado por:** Ramírez A. y Gordón J.

## CAPITULO V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- La aplicación de los método hidrológicos resultó apropiado para obtener los caudales máximos para tiempo de retorno( $Tr$ ) de 50, 100 y 500 años de la microcuenca del Río Cristal, misma que fue obtenida por el método Racional Modificado de Témez; por otro lado, en el Río Blanco se aplicó el método probabilístico de Gumbel tipo 1 también, conocida como la teoría de la cifras extremas, el cual, tuvo un valor de  $r^2$  cercano a la unidad, esto quiere decir, que las proyecciones para los diferentes  $Tr$  son apropiadas para realizar los modelamiento hidráulicos respectivos.
- El software HEC RAS permitió realizar el modelamiento hidráulico bidimensional del río Blanco y del río Cristal para identificar las zonas de inundación en la cabecera parroquial de Valle Hermoso partiendo de una topografía a detalle, así como, el coeficiente de rugosidad de Manning de los cauces, la geometría, las condiciones hidrodinámicas internas y externas; y el plan de simulación, en donde los resultados de velocidades y tirantes se los multiplicó para reclasificarlos por los 4 niveles de amenaza identificados, en el cual la amenaza alta de inundación, sigue una tendencia de crecimiento en todos los periodos de retorno analizados.
- Las poblaciones ubicadas en las orillas del río Cristal serían las más afectadas, sobre todo la Unidad Educativa san Pedro de Valle Hermoso, por eventos históricos y seguirán siendo expuestas para diferentes periodos de retorno ya que las proyecciones para 50, 100 y 500 años el nivel de amenaza alta sigue una tendencia de crecimiento; por otro lado, en las

orillas del río Blanco, si bien es cierto, por la implementación de los muros de escolleras reduciría el impacto de desbordamiento, esto no quiere decir que, están libre de peligro, por lo tanto, las autoridades deben realizar labores de mantenimiento ya que, este cauce es uno de los afluentes más importantes de la Demarcación Hidrográfica Esmeraldas.

- Finalmente, la inclusión de las medidas no estructurales, para la reducción de riesgos de desastres, sobre todo en las riberas del río Cristal y del río Blanco, se tornan imprescindibles y prioritarias para la toma de decisiones dentro de la parroquia, ya que se busca prevenir riesgos futuros y minimizar los costes de afectación. Es por ello, que es importante considerar los riesgos locales dentro del ordenamiento territorial. Por otro lado, las medidas estructurales, se consideran como una fase de planificación, y corresponde a todas las construcciones físicas que las zonas con amenaza alta y media necesitan, sin embargo, para ello se debe realizar estudios de factibilidad y evaluación coste beneficio, para la ejecución de proyectos de inversión pública que favorezcan al desarrollo local y a la reducción de riesgos de desastres.

## **5.2.Recomendaciones**

- ❖ Con la información obtenida trabajar conjuntamente con el GAD parroquial y el GAD municipal, para la destinación de recursos enfocadas en la propuesta de medidas estructurales y no estructurales.
- ❖ Preparar constantemente a la población sobre la forma de actuar antes, durante y después de estos escenarios de inundación, obteniendo una buena coordinación interinstitucional con las diferentes entidades de socorro como es Cuerpo de Bomberos, Policía Nacional, incluso con el servicio Nacional de Gestión de Riesgos o con la Unidad de Gestión de Riesgos del GAD Municipal de Santo Domingo, para que designen profesionales expertos en esta área con el fin de realizar estudios técnicos para dar a conocer a las autoridades de la Parroquia sobre el riesgo al que están expuestos, debido a la presencia de los dos ríos que atraviesan el centro poblado de Valle Hermoso.
- ❖ Realizar estudios científicos constantes, aplicando programas y softwares que son de gran utilidad para realizar los análisis de riesgo en cuanto a inundaciones, esto quiere decir, aprovechar las nuevas eras tecnológicas que nos presenta una amplia gama de beneficios aplicables especialmente para los estudios hidrológicos e hidráulicos.

## 6. Bibliografía

- Choque, R., & Mamani, R. (2020). "Modelamiento hidráulico con fines de delimitación de fajas marginales del río Caplina en los distritos de Pachia - Calana". *Título profesional ingeniero civil*. Universidad privada de Tacna, Tacna - Perú.
- Águila, J. (2022). Modelamiento hidráulico del río Blanco y Cristal. (A. Ramirez, Entrevistador)
- Alvarez, G., & Moreno, C. (2021). Modelamiento hidraulico para el control y prevencion de inundaciones mediante el uso de HEC-RAS 2D en la zona urbana del rio Piura. *Levantamiento de informacion digital del terreno*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Ávila, L. (2018). *Modelacion Hidrológica*. Obtenido de Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica#:~:text=Un%20modelo%20hidrol%C3%B3gico%20es%20pues,representado%20por%20una%20expresi%C3%B3n%20anal%C3%ADtica>.
- Ayala, J. (2014). Modelamiento Hidraulico bidimensional para la determinacion de planos de inundacion de Quillacollo. *Coefficiente de rugosidad de Manning en el uso de suelo*. Universidad Mayor de San Simon, Bolivia.
- Barrera, A. (07 de 2017). *¿Qué es una estación meteorológica?* Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Bateman, A. (2018). *Hidrología básica y aplicada*. Obtenido de Grupo de investigaciones en Transporte de Sedimentos: <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Bello, L. (2018). *Cálculo del periodo de restorno*. Obtenido de [http://ru.ffyl.unam.mx/bitstream/handle/10391/3722/07\\_Bello\\_Velazquez\\_Periodo\\_retorno\\_Guia\\_Metodos\\_Estadisticos\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ru.ffyl.unam.mx/bitstream/handle/10391/3722/07_Bello_Velazquez_Periodo_retorno_Guia_Metodos_Estadisticos_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bolívar, G. (2020). "Modelamiento hidrológico e hidráulico bidimensional del río Marañón, sector puente Tingo Chico, carretera Huánuco-Conococha". *Título en ingeniero agrícola*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima - Perú.
- Bravo, A. (2019). Diseño de un malecón a orillas del río Blanco en la Parroquia Valle Hermoso, Provicnai Santo Domingo de los Tsáchilas, año 2019. *Proyecto de Investigación*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Cabrera, J. (2019). Modelos Hidrológicos. *Modelos Hidrológicos*. Universidad Nacional de Ingeniería, Colombia.
- Calles, E. (22 de Enero de 2019). *National Technical University of Athens*. Obtenido de <http://es.softoware.org/apps/download-hydrognomon-for-windows.html>
- Camargo, C. (2016). Modelación hidrológica e hidráulica de eventos de inundación en el río Bogotá (Sector Tocanzipa-Chia) usando Hec-Ras. *Grupo Visión Colombia Hídrica*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá - Colombia.

- Carrión, D. (2016). Plan de gestión de riesgos ante inundaciones fluviales en la cabecera parroquial de Valle Hermoso. *Trabajo de titulación*. Universidad Tecnológica Equinopcial Sede Santo Domingo, Santo Domingo .
- Castro, P., & Garcia, C. (2021). Propuesta de modelamiento bidimensional para la estimación del tamaño de malla y el intervalo computacional en canales anchos de 100 m, usando Iber y Hec-Ras. *Rugosidad de Manning*. Universidad Privada Antenor Arregó, Trujillo-Peru.
- Cedeño, E. (30 de Octubre de 2015). *Hidráulica-Canales abiertos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EdgarAbdielCedeoJime/hidraulicacanales-abiertos>
- Coras, P., Arteaga, R., & Vázquez, M. (2017). Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local, Tabasco, México. *Redaly.ORG*, 5.8.
- Córdova, D., Paredes, D., & Alulema, R. (2017). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando los sistemas de información geográfica y percepción remota. *Grupo Hidrológico del Suelo*. EMPMAPS Quito, Quito-Ecuador.
- Cuichan, R. (29 de 10 de 2022). Rugosidad de Manning del Rio Cristal. (J. A. Gordon, Entrevistador)
- Curo, C. (2020). Modelamiento hidráulico de la intensidad de precipitación en la evacuación de las aguas pluviales de la ciudad de Huancayo. *Línea de Investigación Institucional: Nuevas Tecnologías y Procesos*. Universidad Peruana de los Andes, Huancayo - Perú.
- Díaz, L., & Alarcón, J. (2018). Estudio hidrológico y balance crítico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Unchía, Casanare. *Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos*. Universidad Católica de Colombia, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>
- Encalada, J., & Jara, R. (2010). Implementación del modelo hidráulico HEC GeoRAS en la modelación hidráulica del sistema para el control de inundaciones de los ríos Canar y Bulubulu. *Coefficiente de Rugosidad de Manning*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Escuder, I., Matheu, E., & Castillo, J. (15 de Octubre de 2017). Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales. *JORNADA CICCVP*, págs. 7-8.
- Espinoza, A. (2020). Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional. *Trabajo de titulación*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- FAO. (Agosto de 2018). "Apoyo a la rehabilitación productiva y el manejo sostenible de microcuencas en municipios de Ahuachapán a consecuencia de la tormenta Stan y la erupción del volcán Ilimatepec". Obtenido de GCP/ELS/008/SPA: <https://www.fao.org/climatechange/30329-07fbed2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf>
- GAD Parroquial de Valle Hermoso . (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia de Valle Hermoso. *Cuencas Hidrográficas*. GAD parroquial de Valle Hermoso, Santo Domingo.
- GAD Parroquial de Valle Hermoso. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*.

- Gallo, E., & Iza, A. (2018). "Modelamiento con Swat y Gr2m para la subcuenca del río Guayllabamba". *Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Medio Ambiente*. Universidad Técnica del Cotopaxi, Latacunga - Ecuador.
- Garay, D., & Agüero, J. (2018). *Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón*. Argentina: Ediciones INTA.
- García, A. (2018). Medidas Estructurales y no estructurales de defensa frente a inundaciones. *Máster en ingeniería medioambiental y gestión del agua*. Escuela de negocios EOI, España.
- García, C. (2020). Escorrentía Urbana, Sistemas de recogida y drenaje. *Minorar la huella hídrica y el impacto ecológico*. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- García, M., & Maza, A. (2017). *Origen y propiedades de los sedimentos*. Obtenido de Manual de ingeniería de Ríos: <http://dimsec.com/wp-content/uploads/2017/08/Cap-07-MIR-601-Origen-y-Prop-Sedimentos.pdf>
- Giler, M. (2020). "Estimación de flujos mínimos en subcuencas hidrográficas que interceptan en la provincia de Los Ríos". *Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniería en Gestión Ambiental*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de la investigación educativa (descriptiva, experimentales, participativas y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163-173. Obtenido de <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- ICC. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.
- IDEAM. (2017). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia - IDF, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>
- IDEAM. (2018). *Metodología de la operación estadísticas de variables meteorológicas*. Obtenido de Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>
- INAMHI. (2011). Anuarios Hidrológicos. *Registro Historico de la estacion H138*. INAMHI, Quito.
- INAMHI. (2015). Anuarios Hidrológicos. *Información Generada por las 35 estaciones Hidrológicas automáticas*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito.
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. *Intensidad, Duración y Frecuencia de la estación M0025 La Concordia*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito - Ecuador.
- INAMHI. (2015). Registro Historico de Precipitaciones Max 24h. *Dato Historico de Precipitaciones Max 24 de la estacion M0025*. INAMHI, Quito.
- Lluén, E. (2017). Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en los ríos. *Master en Ingeniería Civil*. Escuela de Camins UPC Barcelona TECH, Barcelona, España.

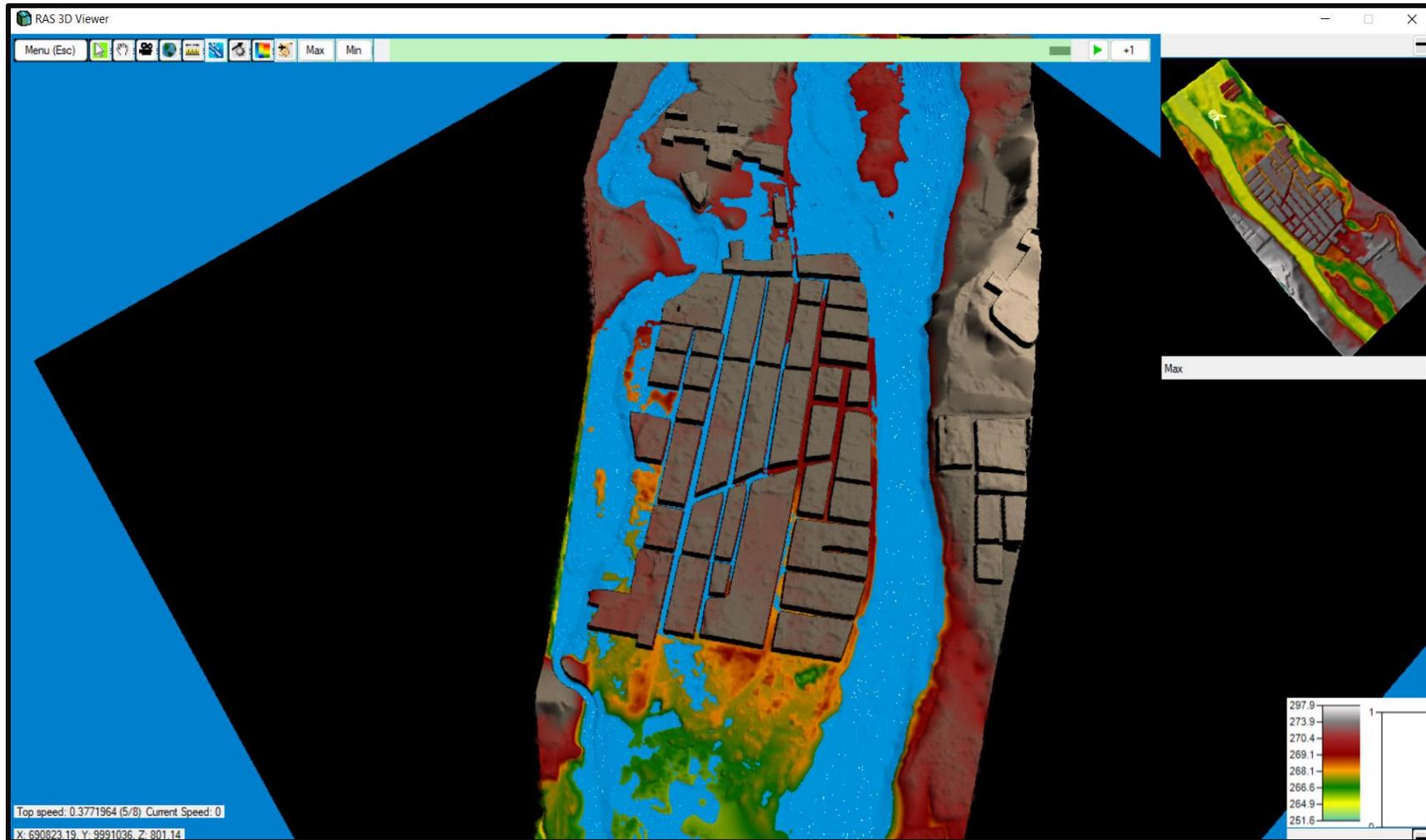
- Lluen, W. (2015). Aplicacion de la nueva herramienta de HEC RAS 5.0 para calculos bidimensionales en flujos de agua en rios. *Malla Computacionales*. Escuela Tecnica Superior de Ingenieria de Caminos, Barcelona.
- Lux, B. (2019). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. *Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/35294551.pdf>
- MAGAP. (Noviembre de 2021). *Modelo Digital del Terreno (MDT) de Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Agricultura Y Ganadería: <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/modelo-digital-del-terreno-mdt-de-ecuador>
- Manual de Esfera. (2018). *El Manual Esfera Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria* (Cuarta Edición ed.). Ginebra, Suiza: Asociación Esfera. Obtenido de Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/Manual-Esfera-2018.pdf>
- Manual del COE. (2017). *Manual del Comité de Operaciones de Emergencias*. Obtenido de Secretaria de Gestión de Riesgos : <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Manual-del-COE.pdf>
- Martínez, J., Castro, J., & Olvera, C. (Mayo de 2016). *Manual de procedimientos de ortofotogrametría*. Obtenido de [https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf\\_nvo\\_acervo/SNIGMA/inf\\_topografica/Manual\\_Procedimientos\\_Ortofotografia.pdf](https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf_nvo_acervo/SNIGMA/inf_topografica/Manual_Procedimientos_Ortofotografia.pdf)
- Mejía, J. (2021). Modelamiento Hidraulico 2D con HEC RAS v6.1. *Numero de Counrat*. CERSA, Lima.
- Méndez, M. (2021). Test de bondad de ajuste de la distribución Poiss. *TRABAJO FIN DE MASTER*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Monistrol, O. (2007). El trabajo de campo en investigación cualitativa. *Nure Investigación*, 4.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (2.a edición ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Obtenido de [https://www.academia.edu/43983559/Hidrolog%C3%ADa\\_en\\_la\\_Ingenier%C3%ADa\\_2\\_ed\\_Germ%C3%A1n\\_Monsalve\\_%C3%A1enz](https://www.academia.edu/43983559/Hidrolog%C3%ADa_en_la_Ingenier%C3%ADa_2_ed_Germ%C3%A1n_Monsalve_%C3%A1enz)
- Mora, G., & Ávila, V. (2019). Afectación del coeficiente de rugosidad para la ecuación de manning con el envejecimiento de tuberías de diferentes materiales. *Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Moya, V. (2016). *Autodesk*. Obtenido de Evolucion de Hec Ras: <https://www.iagua.es/blogs/vladimir-moya/datos-evolucion-hec-ras#:~:text=En%201968%2C%20el%20Cuerpo%20de,de%20flujo%20en%20canales%20trapezoidales>.
- Ochoa, A., Timbe, L., & Vázquez, A. (2018). Cuenca 67 Unidimensional, non-stationary modeling of a high mountain river in southern Ecuador. *Publicado por DIUC -Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca*. Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
- Ojeda, C. (2017). Determinación experimental del balance hídrico y análisis de la relación precipitación esorrentía de la microcuenca del río Blanco. *Cálculo del método número de curva de la*

- microcuenca del río Blanco DJ Toachi*. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito. Obtenido de file:///C:/Users/gatew/Downloads/UPS%20-%20ST003163.pdf
- Ordóñez, J. (2017). *El ciclo hidrológico*. *Global Water Partnership South América*. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/ciclo\\_hidrologico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf)
- Orduz, S. (2022). El modelo IBER como herramienta en el análisis de casos de riesgo por inundación. *Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Hidroambiental*. Universidad Santo Tomás de Tunja, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/42754/2022sandraorduz1.pdf?sequence=1#:~:text=2.3,-MODELO%20HIDRODIN%C3%81MICO%20BIDIMENSIONAL&text=IBER%20es%20un%20modelo%20matem%C3%A1tico,de%20Estudios%20Hidrogr%C3%A1ficos%20del%20CEDEX>.
- Paucar, A. (2016). Modelo para la articulación de la gestión de riesgos en el ordenamiento territorial de la ciudad de Guaranda/Guaranda. *Metodología para la evaluación de la amenaza de inundación*. Universidad de Valencia, Guaranda.
- Pelegrín, M. (2014). Estudio hidrológico e hidráulico para la autorización de movimientos de tierra e instalación de invernaderos en zona de Policía de la Rambla Villalba. *Rugosidades de Manning para los usos de suelo*. Universidad Miguel Hernández de Elche, Elche, España.
- Pereira, B., & Collischonn, W. (2019). *Propuesta metodológica para la estimación de modelos digitales de elevación de alta resolución en modelación hidrológica/hidrodinámica de gran escala*. Obtenido de XXIII Simpósio brasileiros de recursos hídricos : <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/216461/001114944.pdf?sequence=1>
- Pérez, M. (2019). Frente de Pareto de la calibración en régimen impermanente de un modelo hidráulico del río Yanuncay, de la ciudad de Cuenca. *Trabajo de graduación previo a la obtención del título de: Ingeniera civil con énfasis en gerencia de construcciones*. Universidad del Azuay, Cuenca - Ecuador.
- Ramirez, A., & Gordon, J. (2021). Plan de reducción de riesgos del Campamento del Equipo Caminero del GAD municipal del Cantón El Empalme. *Producto de las PPP (2021-2021)*. UEB, El Empalme.
- Ramírez, L. (2018). El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del chaco. *Facultad de Humanidades - Departamento de Geografía*. Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina.
- Riquero, G. (2020). Modelamiento hidrológico e hidráulico ante máximas avenidas: 2010–2020. Una revisión sistemática. *Trabajo de investigación para optar al grado de: Bachiller en Ingeniería Civil*. Universidad Privada Del Norte, Cajamarca - Perú.
- Rodríguez, Y., León, A., & Fernández, C. (2018). Influencia del método de estimación del coeficiente de Manning en cauces naturales. *Método del SCS*. Ingeniería Hidráulica Ambiental, Cuenca. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/322404374\\_Influencia\\_del\\_metodo\\_de\\_estimacion\\_en\\_el\\_coeficiente\\_de\\_Manning\\_para\\_cauces\\_naturales](https://www.researchgate.net/publication/322404374_Influencia_del_metodo_de_estimacion_en_el_coeficiente_de_Manning_para_cauces_naturales)
- Sanchez, F. (2012). Hidrología Superficial: Relación Precipitación-Escorrentía. *Hidrogramas Sintéticos*. Universidad de Salamanca, España.

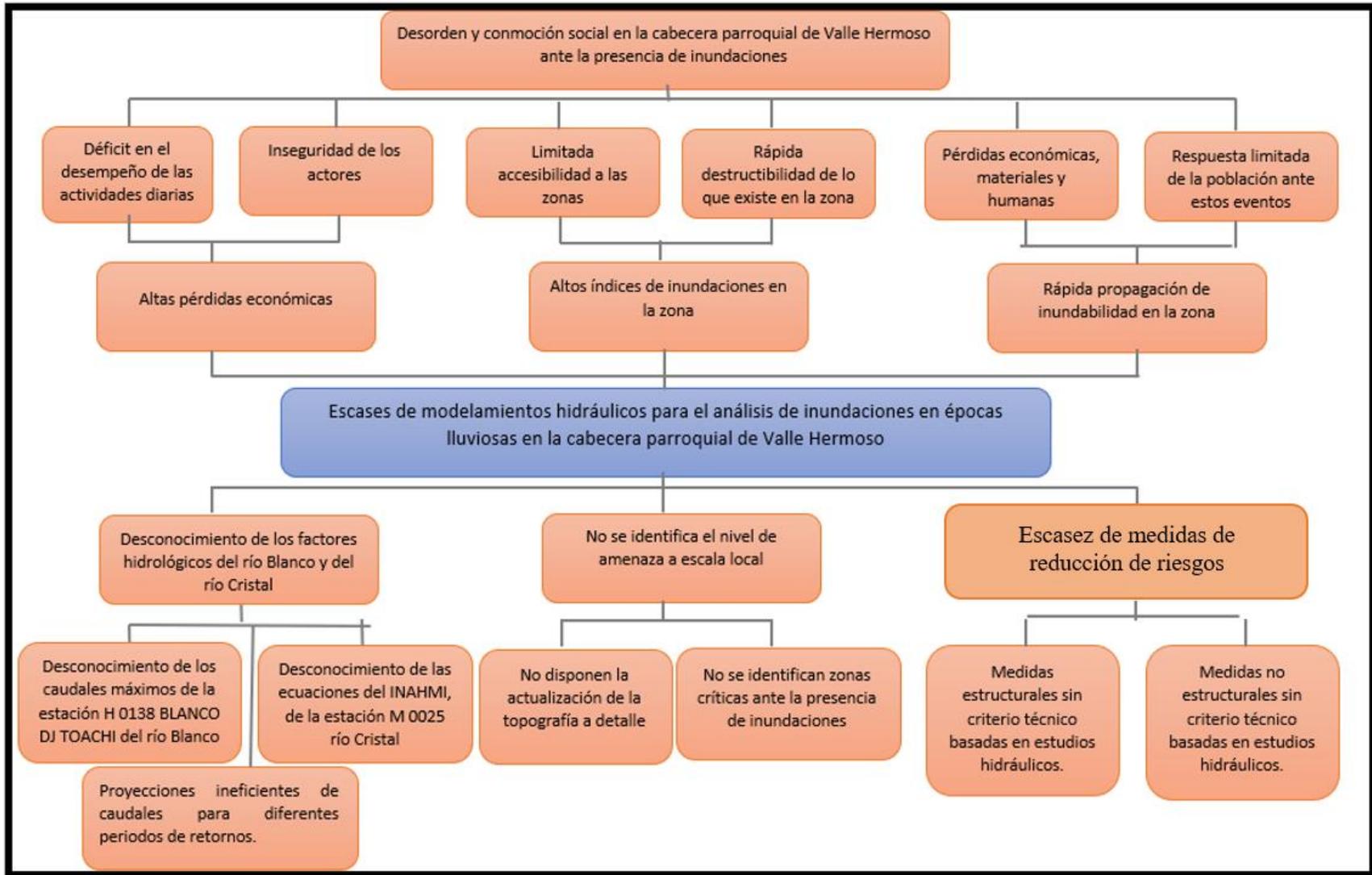
- Sánchez, F. (2019). *Hidrología - Precipitaciones*. Obtenido de Precipitaciones: <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Santamaría, J., & Sanz, T. (2017). *Fundamentos de Fotogrametría*. España: Publicaciones UNIRIOJA.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). Plan Nacional de Desarrollo. *Plan Nacional "Creando Oportunidades 2021-2025"*. Gobierno Nacional, Quito.
- SGR. (2018). *Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Resolución N° SGR-056-2018*. Obtenido de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>
- SIG-TIERRAS. (2015). Geoportal del Agro Ecuatoriano. *Cobertura y uso de la tierra*. MAGAP, Quito. Recuperado el <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- SNGRE. (Febrero de 2019). *Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias*. Obtenido de Resolución Nro. SNGRE-025-2019: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/02/Resoluci%C3%B3n-Nro.-SNGRE-025-2019-Derogatoria-de-la-Resoluci%C3%B3n-SGR-043-2018..pdf>
- Soriano, P. (2016). *SIGdeletras :: Tecnologías de Información Geográfica*. Obtenido de QuéQué es un Modelo Digital de Terreno. es un Modelo Digital de Terreno. : <https://sigdeletras.com/2016/que-es-un-modelo-digital-de-terreno/>
- Sosa, A. (2022). Análisis Jurídico de la Gestión de Riesgos en el Municipio de Girón frente a la amenaza de inundación. *Maestría en Derecho para el Urbanismo y el Desarrollo Territorial Sostenible Bucaramanga*. Universidad de Santander, Colombia-Bucaramanga.
- Soto, L. (2020). Modelamiento hidráulico y diseños de defensas ribereñas del río Amojú, localidad El Parral - Jaén - Cajamarca. *Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca - Perú.
- Torres, J. (2019). Evaluación del efecto de la consideración del fluido newtoniano vs no newtoniano para la modelación de inundaciones en rondas hídricas caso aplicado quebrada La Palmichala, Municipio de Floridablanca, Departamento de Santander. *Título de Magister en Ingeniería Civil*. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Bolivia.
- UNDRR. (02 de Junio de 2021). *ARISE Private Alliance For Disaster Resilient Societies*. Obtenido de Amenaza Socio-natural: <https://arise.mx/amenaza-socio-natural/>
- Vacunte, E. (2018). *Conceptos básicos para diseñar redes de drenaje pluvial*. Obtenido de Sistema de Drenaje mayor o menor.: <https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/libro2-hidrologia/HU4-03.pdf>
- Ven te Chow, Maidments, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill.
- Villamandos, B. (16 de Marzo de 2021). *Curvas de nivel, que son y para qué sirven*. Obtenido de <https://topografia2.com/curvas-de-nivel/>

## 7. Anexos

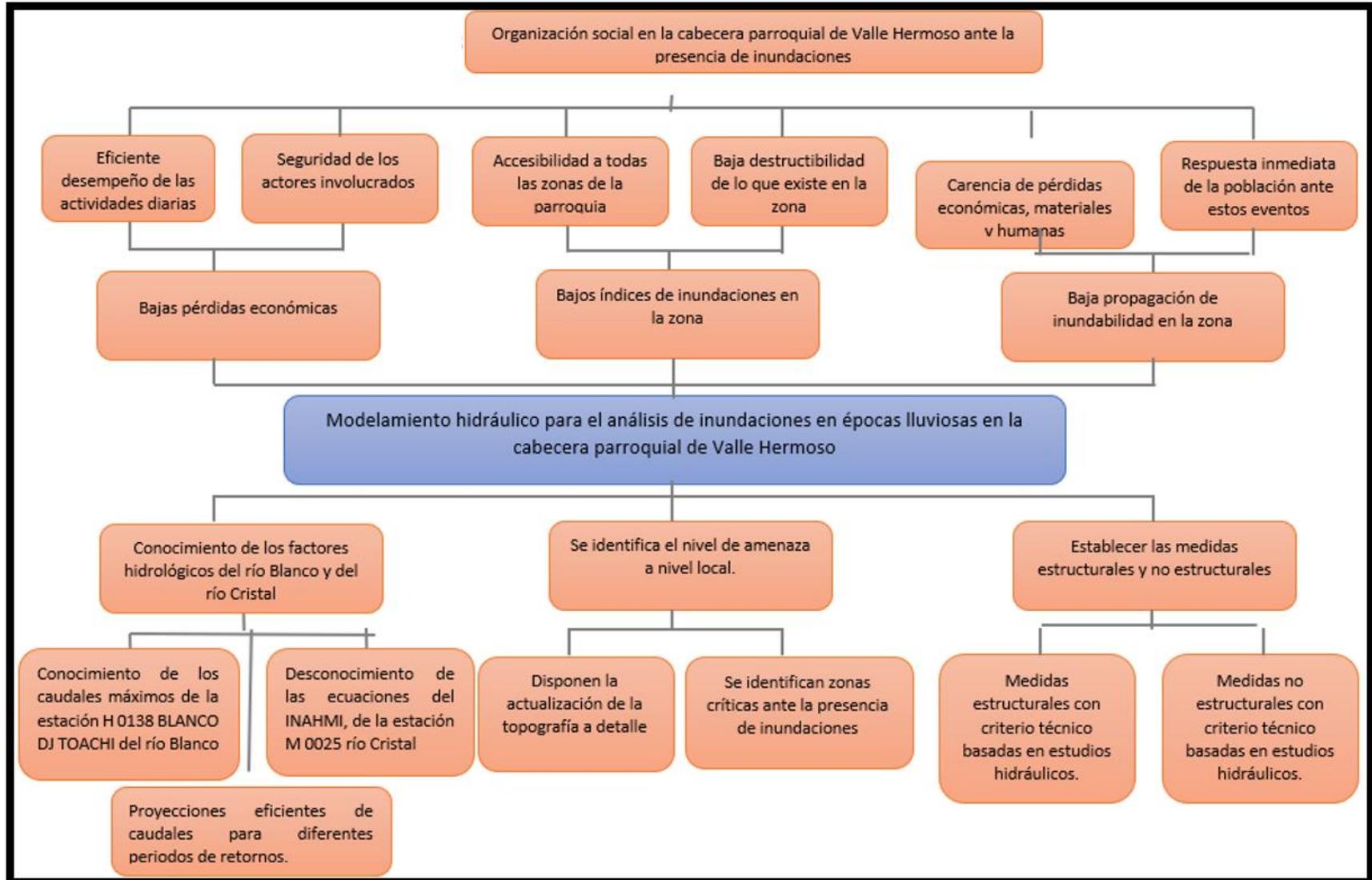
### Anexo 1. Vista 3D del modelamiento hidráulico del río Blanco y el río Cristal.

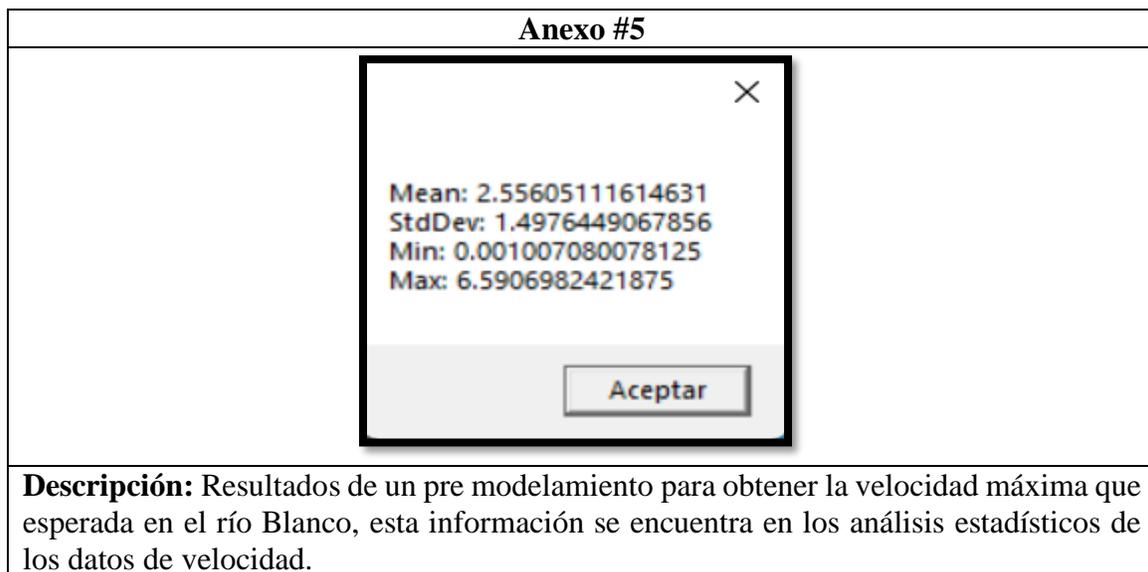
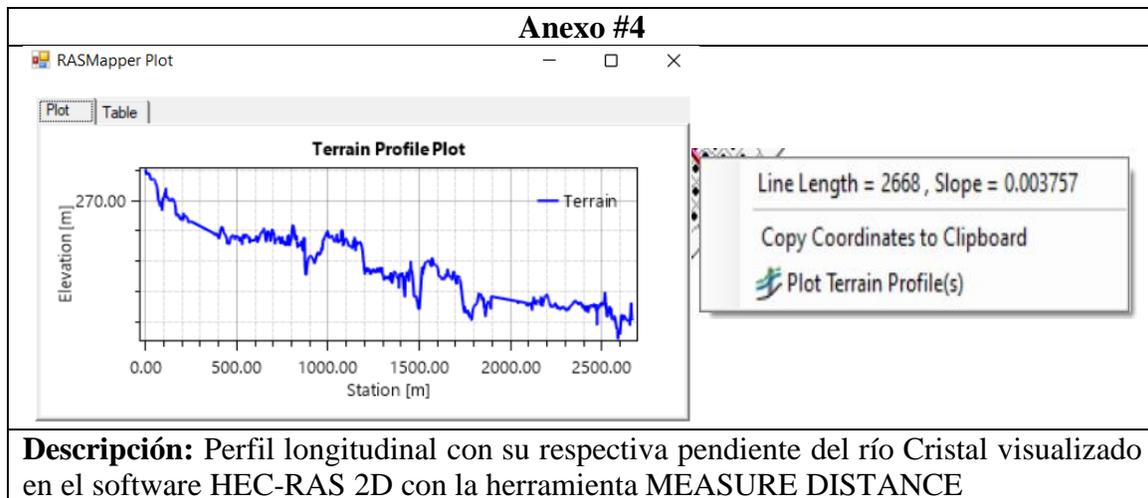


Anexo 2. Árbol de problemas

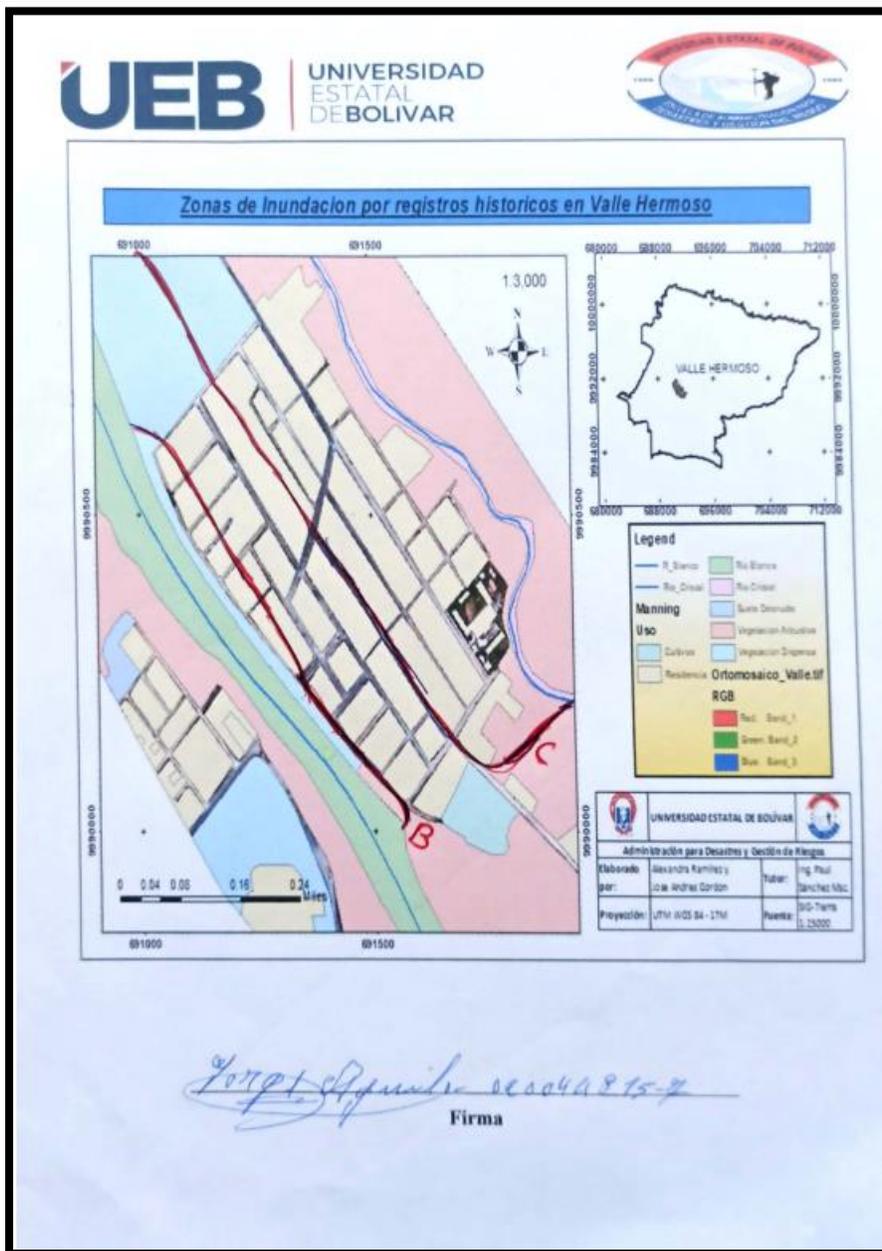


Anexo 3. Árbol de objetivos



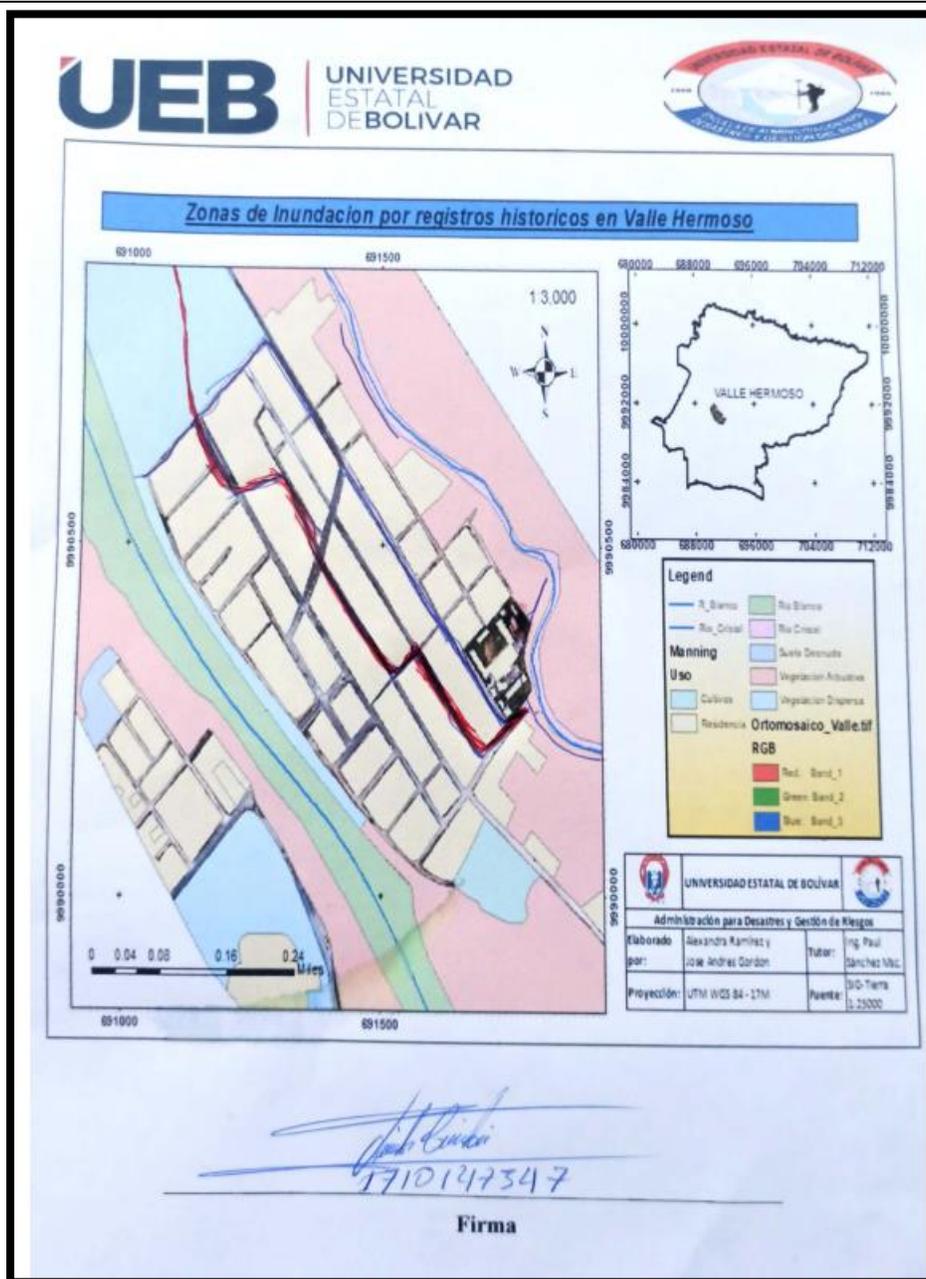


Anexo #6



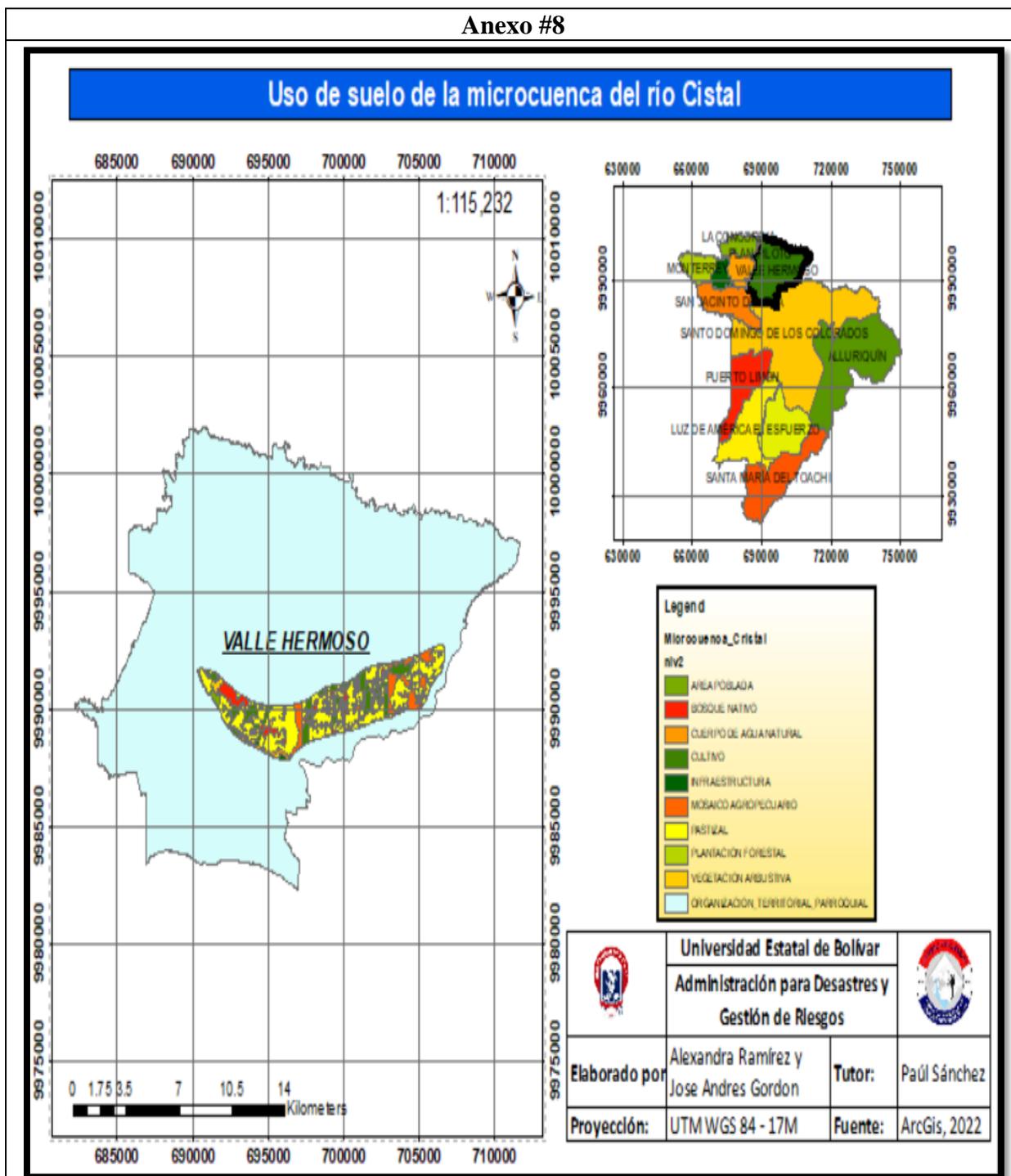
**Descripción:** Ficha de observación al señor Jorge Águila, encargado de la estación hidrológica H0138, para determinar zonas de inundabilidad por antecedentes históricos.

Anexo #7



**Descripción:** Ficha de observación al Ing. Rodrigo Cuichan, técnico ambiental del GAD parroquial, para determinar zonas de inundabilidad por antecedentes históricos.

Anexo #8



**Descripción:** Uso de suelo de la microcuenca del río Cristal, según la información del MAGAP en su programa SIG-TIERRAS 1:25000

## Anexo #9



## Layer Properties

General Source Key Metadata Extent Display Symbology Time

Property	Value
<b>Raster Information</b>	
Columns and Rows	42064, 45425
Number of Bands	4
Cell Size (X, Y)	0.0471497, 0.0471497
Uncompressed Size	14.24 GB
Format	TIFF
Source Type	Generic
Pixel Type	unsigned integer
Pixel Depth	16 Bit

Data Source

Data Type: File System Raster  
 Folder: C:\Hec Ras\Tesis\Ortomosaico\  
 Raster: Valle\_Hermoso.tif

Set Data Source...

**Descripción:** Resolución de la ortofoto de 0,04 metros por pixel.

**Anexo #10**

Unsteady Flow Data - FNP\_TR50

File Options Help

Description:

Boundary Conditions | Initial Conditions | Meteorological Data | Observed Data

**Boundary Condition Types**

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

**Add Boundary Condition Location**

**Select Location in table then select Boundary Condition Type**

River	Reach	RS	Boundary Condition

Storage/2D Flow Areas		Boundary Condition
1	Perimeter 1 BCLine: E_Blanco	Flow Hydrograph
2	Perimeter 1 BCLine: E_Cristal	Flow Hydrograph
3	Perimeter 1 BCLine: S_Blanco	Normal Depth
4	Perimeter 1 BCLine: S_Cristal	Normal Depth

Unsteady flow boundary files

Plot | Table

Flow Boundaries

Flow (m³/s)

Date

Legend

- 2D Flow Area/Perimeter 1 BCLine: E\_Blanco
- 2D Flow Area/Perimeter 1 BCLine: E\_Cristal

**Descripción:** Hidrograma Triangular del río Blanco y río Cristal para realizar los respectivos modelamientos considerando el tiempo al pico, tiempo base y caudal.

<b>Anexo #11</b>									
Máx. de Prec24h	Etiquetas de columna								
Etiquetas de fila	1	2	3	4	10	11	12	Total general	
1981	57.5	93	59	49.4	6	9	61.3	93	
1982	117.6	105	46.5	96.5	75.7	161	77.2	161.3	
1983	0.5	0	215	129	29.8	27.6	27.6	214.9	
1984	35.6	112	71	132	8.3	11.6	46.3	131.6	
1985	51.8	65	90.7	63.1	2.3	5.9	-99.9	90.7	
1986	75.9	69.5	84.1	121	19.6	16.9	101	121	
1987	125.8	167	104	83.6	12.6	19.2	66	167.2	
1988	108.3	99.6	46.5	80.6	26.3	16.8	65.2	108.3	
1989	60.4	62.1	51	96.5	35.5	20.3	37.4	96.5	
1990	81.5	63.8	61.9	121	4.5	2.9	72.4	121.2	
1991	65	163	76.1	101	3.2	46.9	38.2	163.1	
1992	50.7	81.2	147	143	20.6	6.4	22.6	147.1	
1993	140.2	108	116	184	3.3	21.8	63.5	183.5	
1994	76.2	82.6	101	82.4	27.5	32.7	47.9	100.9	
1995	117.3	160	98.4	116	54.8	3.4	153	160.3	
1996	62.2	83.4	133	40.3	6.6	3.2	12.2	133.2	
1997	56.6	114	109	151	132	125	127	151.2	
1998	114.5	81.4	117	105	2.7	12.1	10.2	116.5	
1999	56.2	109	74.5	158	19.1	15.3	24.8	157.5	
2000	37.4	95	70.1	139	35.4	4.6	25.9	138.6	
2001	72.2	76.1	192	106	2	2.4	17.5	192.2	
2002	50.6	140	104	109	41.6	13.9	70.1	140.1	
2003	72.1	56.6	70.4	129	64.5	4.1	117	129.3	
2004	53.6	80.4	105	49.4	34.3	17.7	9	105	
2005	38.3	84.6	138	216	21.4	7.8	100	215.6	
2006	64.2	64.7	105	76.8	5.4	147	12.2	147	
2007	94.2	171	103	174	4.7	9.9	38.4	173.9	
2008	118.7	126	84.2	116	24.7	9.8	36.2	125.6	
2009	85.6	34.2	81.8	145	5.1	5.6	86.3	145.1	
2010	53.3	116	88.3	94.5	4.6	46.3	53.9	115.8	
2011	89.5	54.9	104	111	18.9	2.1	54.3	111.3	
2012	102	112	155	119	34.6	11.2	16	155.1	
2013	116.6	125	118	125	15.7	1.6	69.1	125.2	
2014	103.4	105	142	89.6	71.7	3.7	22.1	142.1	
<b>2015</b>	<b>95.2</b>	<b>58</b>	<b>140</b>	<b>111</b>	<b>126</b>	<b>33.8</b>	<b>64.6</b>	<b>140</b>	

**Descripción:** Datos de la estación meteorológica M0025 (La Concordia) de las precipitaciones máximas en 24 horas.

✚ Memorias fotográficas:

**Memoria fotográfica #1**



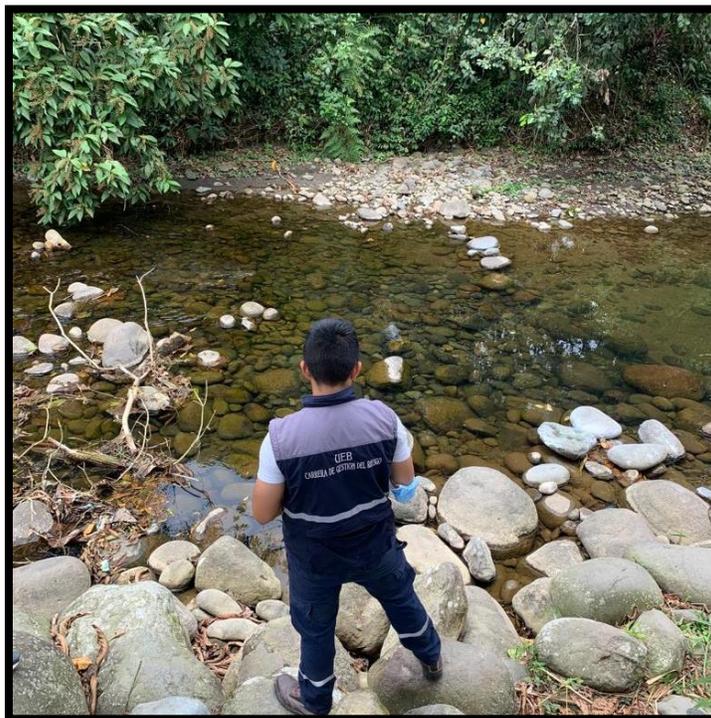
**Descripción:** Reunión con el presidente del GAD parroquial de Valle Hermoso ing. Washington Morales, para iniciar el proceso de ejecución del trabajo de investigación: **MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BLANCO Y EL RÍO CRISTAL PARA EL ANÁLISIS DE INUNDACIONES EN LA CABECERA PARROQUIAL DE VALLE HERMOSO, CANTÓN SANTO DOMINGO, 2022.**

**Memoria fotográfica #2**



**Descripción:** Levantamiento de información en el río Blanco, para el análisis de inundaciones en el casco urbano de la Parroquia de Valle Hermoso.

### Memoria fotográfica #3



**Descripción:** Levantamiento de información en el río Cristal, para el análisis de inundaciones en el casco urbano de la Parroquia de Valle Hermoso.

### Memoria fotográfica #4



**Descripción:** Reuniones de seguimiento del desarrollo del trabajo de investigación, conjuntamente con el docente tutor ing. Paúl Sánchez.

**Memoria fotográfica #5**

**Descripción:** Reuniones de seguimiento del desarrollo del trabajo de investigación, conjuntamente con el docente tutor ing. Paúl Sánchez.

**Memoria fotográfica #6**

**Descripción:** Análisis del muro de escolleras a orillas del río Blanco, se puede observar una considerable distancia del río al muro de escolleras, en donde el río en épocas de invierno cubre toda la zona seca que se puede visualizar.

**Memoria fotográfica #7**

**Descripción:** En la siguiente imagen se puede visualizar la falta de organización de la población para mantener limpia las orillas de los ríos y el muro de escolleras que poco a poco se va desgastando por el crecimiento del río en cada etapa invernal.

**Memoria fotográfica #8**

**Descripción:** En la siguiente imagen se puede observar el tamaño considerable del río que en cada época lluviosa cuando alcanza el máximo caudal llega a medir una distancia promedio de 100 a 120 metros de ancho.

**Memoria fotográfica #9**

**Descripción:** Levantamiento topográfico mediante un dron para realizar la ortofoto de la parroquia valle hermoso, obteniendo imágenes digitales a una altura de 200 m.

**Memoria fotográfica #10**

**Descripción:** Levantamiento topográfico mediante un dron para realizar la ortofoto de la parroquia valle hermoso, obteniendo imágenes digitales a una altura de 200 m.

### Memoria fotográfica #11



**Descripción:** En la siguiente imagen se puede visualizar la estación hidrológica Blanco DJ Toachi, que actualmente no se encuentra activa, es importante recalcar lo valiosa que es esta estación ubicada a la orilla del río Blanco, y la manera urgente en que se debe habilitarla y darle mantenimiento nuevamente, pues ayuda a obtener los datos de los caudales mínimos y máximos para realizar investigaciones sobre las inundaciones del sector y sus posibles escenarios de riesgo.

### Memoria fotográfica #12



**Descripción:** Entrevista al señor Jorge Águila, encargado de llevar los registros históricos de los niveles de caudales máximos y mínimos de la estación hidrológica Balnco DJ Toachi.

**Memoria fotográfica #13**

**Descripción:** Salida de campo hacia los lugares propensos a inundaciones como lo es en el recinto ferial, donde actualmente se está construyendo un estadio deportivo y como medida estructural es la realización del canal perimetral.