

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Comportamiento hidráulico en un tramo del río  
Chacchan durante caudales máximos con fines  
de instalación de sistema de alerta temprana,  
Áncash 2022**

Miguel Hernan Carlin Rivas

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Gutarra Meza Felipe Néstor  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Muñiz Paucarmayta Abel Alberto  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 20 de Octubre de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA, ANCASH 2022", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) MIGUEL HERNAN CARLIN RIVAS, de la E.A.P. de Ingeniería Civil; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

Abel Alberto Muñiz Paucarmayta  
Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Miguel Hernan Carlin Rivas, identificado con Documento Nacional de Identidad No. 70176148, de la E.A.P. de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA, ANCASH 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

29 de Octubre de 2023.



---

Miguel Hernan Carlin Rivas

DNI. No. 70176148

# DPI-MCARLIN-2022-UC

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
12	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.academia.edu Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
17	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
18	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Andina del Cusco	

Trabajo del estudiante

<1 %

20

[repositoriodemo.continental.edu.pe](http://repositoriodemo.continental.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

21

[repositorio.espe.edu.ec](http://repositorio.espe.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

22

[www.oas.org](http://www.oas.org)

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Universidad Pedagogica y  
Tecnologica de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

24

[archive.org](http://archive.org)

Fuente de Internet

<1 %

25

[www.mifotopro.cl](http://www.mifotopro.cl)

Fuente de Internet

<1 %

26

[repositorio.upt.edu.pe](http://repositorio.upt.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

27

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

28

[repositorio.usmp.edu.pe](http://repositorio.usmp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

29

[qdoc.tips](http://qdoc.tips)

Fuente de Internet

<1 %

30

[repositorio.unc.edu.pe](http://repositorio.unc.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

31

[repositorio.unsch.edu.pe](http://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

32

[repositorio.untumbes.edu.pe](http://repositorio.untumbes.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to De La Salle University - Manila

Trabajo del estudiante

<1 %

34

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1 %

35

Submitted to Universidad de Alicante

Trabajo del estudiante

<1 %

36

Submitted to Universidad Nacional de Tumbes

Trabajo del estudiante

<1 %

37

Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

38

[tesis.ucsm.edu.pe](http://tesis.ucsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

39

[www.repositorio.upla.edu.pe](http://www.repositorio.upla.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

40

Submitted to Instituto Politecnico Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

41	<a href="https://pdfslide.net">pdfslide.net</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://www.didaktorika.gr">www.didaktorika.gr</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="https://dspace.ucacue.edu.ec">dspace.ucacue.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="https://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080">repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
45	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
46	<a href="https://repositorioinstitucional.uabc.mx">repositorioinstitucional.uabc.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
48	Submitted to Universidad Privada Boliviana Trabajo del estudiante	<1 %
49	<a href="https://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="https://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
51	<a href="https://outreach.ecology.uga.edu">outreach.ecology.uga.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
52	<a href="https://revistas.utm.edu.ec">revistas.utm.edu.ec</a>	

Fuente de Internet

<1 %

53

[tesis.unsm.edu.pe](https://tesis.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

54

"Recuperación transformadora de los territorios con equidad y sostenibilidad IV. Estudios sobre cultura y desigualdad en las regiones", Universidad Nacional Autónoma de México, 2021

Publicación

<1 %

55

Lex Gregorio Campuzano Abad, Dustin Madison Herrera Calderón, Carlos Alfredo Ganchala Pizarro. "VIDEO Y ANIMACIÓN DIGITAL DE CARÁCTER SOCIAL DIRIGIDO A LA PREVENCIÓN DE DERRUMBES O DESLIZAMIENTOS DE TIERRA", Prohominum, 2021

Publicación

<1 %

56

[core.ac.uk](https://core.ac.uk)

Fuente de Internet

<1 %

57

[orcid.org](https://orcid.org)

Fuente de Internet

<1 %

58

[repositorio.unu.edu.pe](https://repositorio.unu.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

59

[repositorio.upao.edu.pe](https://repositorio.upao.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

60	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://ri2.bib.udo.edu.ve:8080">ri2.bib.udo.edu.ve:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://scielo.senescyt.gob.ec">scielo.senescyt.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://www.elsevier.es">www.elsevier.es</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://www.grafiati.com">www.grafiati.com</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
69	SAENZ JARA LUIS ERNESTO. "EIA-SD de la Infraestructura de Disposición Final, Planta de Valorización y Centro de Acopio de Residuos Sólidos Municipales del Proyecto Mejoramiento y Ampliación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Puerto Maldonado, Provincia de	<1 %

Tambopata, Región Madre de Dios-  
IGA0018822", R.G. N° 021-2019-MPT-GGA,  
2022

Publicación

---

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

## **ASESOR**

Dr. Ing. Abel Alberto Muñiz Paucarmayta

## **AGRADECIMIENTOS**

A los Ingenieros Víctor Córdova y Carlos Peralta, pues me brindaron sus conocimientos y experiencias para el presente estudio, por lo cual expreso mi gratitud.

## **DEDICATORIA**

A Dios, también a mis padres Carmela y Melciades pues son pilares en mi vida, a mis hermanas Karoll, Angie y Johana por su cariño y apoyo constante, a mi ahijado André por la motivación y a mi tía Inés por su aprecio. Se los dedico a ustedes con honor y amor.

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>RESUMEN</b> .....	xii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.2. Formulación del problema .....	4
1.1.2.1. Problema general .....	4
1.1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Justificación e importancia .....	5
1.3.1. Justificación teórica .....	5
1.3.2. Justificación práctica .....	5
1.3.3. Justificación metodológica .....	6
1.3.4. Importancia .....	6
1.4. Delimitación .....	6
1.4.1. Delimitación conceptual .....	6
1.4.2. Delimitación espacial .....	6

1.4.3. Delimitación temporal.....	7
1.5. Hipótesis y variables.....	7
1.5.1. Hipótesis general.....	7
1.5.2. Hipótesis específicas.....	7
1.5.3. Variables.....	8
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	10
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	10
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	13
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Caudales máximos.....	16
2.2.1.1. Características de caudales máximos.....	17
2.2.1.1.1. D1: Precipitación máxima.....	17
2.2.1.1.2. D2: Área tributaria.....	18
2.2.1.1.3. D3: Período de retorno.....	19
2.2.2. Comportamiento hidráulico.....	20
2.2.2.1. Características del comportamiento hidráulico.....	21
2.2.2.1.1. D1: Velocidad.....	21
2.2.2.1.2. D2: Tirante.....	21
2.2.2.1.3. D3: Rugosidad.....	21
2.2.3. Modelo de simulación.....	22
2.2.3.1. Modelamiento hidráulico.....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	24
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
3.1. Método de la investigación.....	25
3.1.1. Tipo de la investigación.....	25
3.1.2. Nivel de la investigación.....	26
3.2. Diseño de la investigación.....	26

3.3.	Población, muestra y muestreo.....	27
3.3.1.	Población.....	27
3.3.2.	Muestra .....	27
3.3.3.	Muestreo .....	27
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	27
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	28
3.4.2.1.	Validez .....	28
3.4.2.2.	Confiabilidad .....	29
3.5.	Procedimiento de recopilación de información.....	30
3.6.	Método de análisis.....	30
3.7.	Aspectos éticos .....	31
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		<b>32</b>
4.1.	Descripción de la zona de estudio .....	32
4.1.1.	Ubicación.....	32
4.1.2.	Características de la zona de estudio .....	32
4.2.	Estudios previos .....	33
4.2.1.	Estudios de campo.....	33
4.2.1.1.	Estudio topográfico.....	33
4.3.	Análisis de información.....	33
4.3.1.	Cálculo de la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos .....	33
4.3.1.1.	Formato MDE del estudio topográfico.....	33
4.3.1.2.	Estudios hidrológicos.....	34
4.3.1.2.1.	Parámetros morfométricos .....	35
4.3.1.2.2.	Tiempo de concentración .....	36
4.3.1.2.3.	Tiempo de retraso y abstracción inicial.....	36
4.3.1.2.4.	Análisis de datos dudosos.....	36

4.3.1.2.5... Prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov para distintas funciones de probabilidad .....	37
4.3.1.2.6.Precipitaciones máximas probables .....	38
4.3.1.2.7.Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias...39	
4.3.1.2.8.Intensidad de lluvia a partir de Pd, según duración de Pp y frecuencia .....	39
4.3.1.2.9.Curvas intensidad-duración-frecuencia .....	40
4.3.1.2.10. Número de curva usando ArcGIS 10.5.....	41
4.3.1.2.11. Hietogramas de diseño para diferentes períodos de retorno con método de bloque alterno .....	42
4.3.1.2.12. Caudales máximos con método HEC-HMS 4.3.....	44
4.3.1.3. Procedimiento hidráulico .....	45
4.3.2. Estimación del tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos .....	46
4.3.3. Análisis de la rugosidad de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos .....	47
4.3.4. Determinación del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022.....	48
4.4. Resultados de la investigación.....	49
4.4.1. Resultados del cálculo de la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022.....	49
4.4.2. Resultados de la estimación del tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022.....	52
4.4.3. Resultados del análisis de la rugosidad de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales.....	55
4.4.4. Resultados de la determinación del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022.....	56
4.5. Discusión de resultados.....	61

<b>CONCLUSIONES</b> .....	64
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	65
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	66
<b>ANEXOS</b> .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de zona problemática. ....	3
Figura 2. Río Chacchan vista sentido contrario al flujo.....	4
Figura 3. Área y parteaguas.....	19
Figura 4. Diagrama de flujo para zonas de inundación generadas con HEC-RAS. ....	23
Figura 5. Modelo digital de elevación con Agisoft Metashape Professional.....	34
Figura 6. TIN delimitado en ArcGIS de subcuenca del río Chacchan.....	34
Figura 7. Curva hipsométrica, etapa de cuenca joven.....	35
Figura 8. Función de distribución probabilístico Log-Pearson tipo III.....	37
Figura 9. Curvas intensidad-duración-frecuencia. ....	40
Figura 10. Configuración de Geometría en HEC-RAS 6.3. ....	45
Figura 11. Generación de mapas de velocidades con HEC-RAS 6.3.....	46
Figura 12. Generación de mapa de tirantes con HEC-RAS 6.3.....	47
Figura 13. Configuración del análisis en flujo no permanente con HEC-RAS 6.....	49
Figura 14. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 50 años.....	50
Figura 15. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 100 años.....	51
Figura 16. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 200 años.....	52
Figura 17. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 50 años.....	53
Figura 18. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 100 años.....	54
Figura 19. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 200 años.....	55
Figura 20. Mapa de número de Froude para un periodo de retorno de 50 años.....	57
Figura 21. Mapa de riesgos para un periodo de retorno de 50 años.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	9
Tabla 2. Tabla de clasificación de cuencas.....	19
Tabla 3. Valores de coeficiente de rugosidad “n”.....	22
Tabla 4. Valoración según el coeficiente alfa de Cronbach.....	28
Tabla 5. Validez del tema del instrumento para las variables caudal máximo y comportamiento hidráulico.....	29
Tabla 6. Rangos de interpretación de confiabilidad.....	29
Tabla 7. Parámetros fisiográficos de cuenca.....	33
Tabla 8. Datos de morfometría.....	35
Tabla 9. Resumen de tiempo de concentración.....	36
Tabla 10. Tiempo de retraso y abstracción inicial.....	36
Tabla 11. Análisis de datos dudosos.....	37
Tabla 12. Prueba de bondad de ajuste para distintas funciones de distribución.....	37
Tabla 13. Precipitaciones máximas probable para diferentes periodos de retorno.....	38
Tabla 14. Precipitaciones máximas de diseño Pd.....	39
Tabla 15. Intensidades máximas en 24 horas.....	40
Tabla 16. Curva Número de la cuenca.....	41
Tabla 17. Curva número promediada.....	41
Tabla 18. Hietograma para TR 50 años.....	42
Tabla 19. Hietograma para TR 100 años.....	43
Tabla 20. Hietograma para TR 200 años.....	44
Tabla 21. Coeficiente de rugosidad “n”.....	56
Tabla 22. Parámetros del comportamiento hidráulico para un periodo de retorno de 50 años.....	59

## RESUMEN

La presente investigación titula “Comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022”. Se fijó como objetivo general: determinar el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana Ancash 2022 y como objetivos específicos: hallar la magnitud de velocidad, tirantes hidráulicos y rugosidades de cauce en un tramo del río Chacchan. Como metodología se aplicó el método científico, del tipo básico, del nivel descriptivo y de diseño cuasi-experimental. Los resultados obtenidos fueron que el número de Froude varía entre 0.90 y 3.50, y el valor más frecuente de 1.20 en un régimen de flujo supercrítico. La investigación muestra como conclusión que el tramo del río Chacchan muestra un comportamiento en régimen predominante de flujo supercrítico y se identificó zonas en riesgo en estructuras como en pase aéreo y en la entrada de un desarenador.

La importancia y contribución de esta investigación radica en la identificación de zonas vulnerables y el estudio del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan para un futuro Sistema de Alerta Temprana que solucionará el problema de falta de prevención antes desbordes ribereños.

**Palabras clave:** flujo no permanente, simulación hidráulica 2D, granulometría, curva número, fotogrametría.

## ABSTRACT

This research is titled “Hydraulic behavior in a section of the Chacchan river during maximum flows for the purposes of installing an early warning system, Ancash 2022”. The general objective was set: to determine the hydraulic behavior in a section of the Chacchan river during maximum flows to implement an Ancash 2022 early warning system and as specific objectives: to find the magnitude of velocity, hydraulic ties and channel roughness in a section of the river. Chacchan. As a methodology, the scientific method was applied, of the basic type, descriptive level and quasi-experimental design. The results obtained were that the Froude number varies between 0.90 and 3.50, and the most frequent value is 1.20 in a supercritical flow regime. The investigation shows in conclusion that the section of the Chacchan river shows a behavior in a predominant regime of supercritical flow and areas at risk were identified in structures such as an aerial pass and at the entrance to a sand trap.

The importance and contribution of this research lies in the identification of vulnerable areas and the study of hydraulic behavior in a section of the Chacchan river for a future early warning system that will solve the problem of lack of prevention before river overflows.

**Keywords:** unsteady flow, 2D hydraulic simulation, granulometry, number curve, photogrammetry.

# INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con distintas riquezas minerales y recursos naturales, la más importante es el agua, pues esta es la fuente de sustento de vida para el país, pero también para la humanidad misma. Las actividades antrópicas impulsan la necesidad de usar constantemente el agua y cada vez más. Generalmente se considera el agua potable por captación en los ríos, no obstante, estos ríos en ocasiones presentan un comportamiento por encima de lo habitual. Este estudio nace frente a la incertidumbre frente al aumento de caudal en los ríos aledaños a zonas habitadas que hace que exista un riesgo de desastre por desborde ribereño, esto se debe a las fuertes precipitaciones, así mismo, el cambio climático ocasiona el aumento de temperatura por lo que repercute mundialmente en el calentamiento global y que en consecuencia podría alterar el proceso hidrológico. La ingeniería se encarga de mitigar y contrarrestar los comportamientos perjudiciales de caudales máximos, expresados en defensas ribereñas o S.A.T. (Sistema de Alerta Temprana). En tal sentido, se revisaron y ejecutaron teorías que buscan comprender el comportamiento del río frente a máximas avenidas que hacen desastres, tales como desborde ribereño o también el conocido termino peruano como huayco debido a fuertes precipitaciones por las altas temperaturas o al cambio climático global.

La presente investigación titulada: “Comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022” busca la solución del problema: la inundación o huayco por el desborde del río Chacchan. En su desarrollo se revisa las teorías de: modelo lluvia-escorrentía y las de flujo no permanente las cuales están relacionados con las variables de caudales máximos y comportamiento hidráulico de la investigación. En su desarrollo se fija como objetivo: determinar el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana Ancash 2022, con lo cual se obtiene los siguientes resultados: número de Froude frecuentemente superior a 1, y finalmente se alcanza a las siguientes conclusiones: un comportamiento del río Chacchan predominante en régimen de flujo supercrítico con cambio de régimen a subcrítico en ciertas zonas.

La investigación es de importancia porque realiza la investigación en el marco de prevención de riesgos así también como apertura para el análisis del comportamiento del río Chacchan, lo cual beneficiará a tecnologías posteriores como un Sistema de Alerta Temprana, detección de zonas en riesgo y diseño de estructuras hidráulicas. Finalmente,

en un desarrollo integral y metodológico se podrá prevenir pérdidas humanas y daños materiales producidos por desborde ribereño.

La investigación está formada por los siguientes capítulos:

Capítulo I: consiste en el planteamiento del problema, objetivos, descripción general de la zona de investigación, importancia y la justificación, así como el planteamiento de la hipótesis y sustento teórico de las variables.

Capítulo II: comprende el marco teórico, tal como conceptos, bases teóricas, definiciones básicas y antecedentes.

Capítulo III: se fundamenta la estructura de la metodología de la investigación.

Capítulo IV: se basa en los procedimientos y análisis de resultados, además aborda la discusión de resultados de la investigación con los antecedentes.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

El aumento del caudal en tiempos de máximas avenidas ocasiona grandes deslizamientos de tierra y huaycos debido a las intensas lluvias, por lo que se requiere un método de alerta temprana con el fin de pronosticar el desborde de un tramo afectado por río Chacchan.

Se considera tomar precaución ante efectos adversos del calentamiento global como eventos más frecuentes de El Niño, aumento de intensidad en las lluvias y mayor frecuencia de huaycos, según el Programa Private Investment for Enhanced Resilience (1 pág. 1).

Los deslizamientos históricos podrían tener una reincidencia. Las grietas en las cabezas o parte alta de las laderas son útiles a la vista para reconocer como indicadores del inicio de una futura falla en la tierra, según Highland y Bobrowsky (2 pág. 12). En cierto caso es indispensable tener en cuenta la previsibilidad de estos fenómenos para evitar daños probables.

Una estrategia para mitigar los deslizamientos, según el Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente de los Estados Unidos (3 pág. 14), es la mención que el acceso a nuevas técnicas es útil para un análisis

presuroso del potencial del desastre natural, entonces se pueden ubicar deslizamientos pasados con fotografías aéreas o satelitales, de las cuales se puede delimitar un mapa de zonificación del deslizamiento que muestre una relación entre el desastre y los factores que lo ocasionan tales como pendiente del terreno, humedad y material parental.

Así también, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (4 pág. 23), los riesgos más resaltantes que ocasionaría el fenómeno “El Niño” en el sector de vías de comunicación son deslizamientos como producto de la activación de quebradas, también se presentan inundaciones de magnitud alta que provocan socavación en los pilares de puentes.

En el río Chacchan se viene presentando el desborde ribereño durante caudales máximos.

El aumento de caudal en tiempos de máximas avenidas ocasiona grandes deslizamientos de tierra, desbordes ribereños y huaycos debido a las intensas lluvias.

Eventualmente esta afectación se presenta desde el siglo pasado según se tiene registro por las entidades nacionales como INEI, pues las máximas avenidas son parte de la naturaleza del río.

El más reciente reporte fue por COER, el cual mencionó deslizamiento de tierra y piedras en el tramo de la carretera Casma - Huaraz con fecha de febrero del 2019.

Por consiguiente, se presenta debido a las intensas precipitaciones en las temporadas de fuerte lluvia, así también se presenta por efectos de los fenómenos anómalos los cuales desencadenan también alteraciones en el comportamiento del ciclo hidrológico tal como altas temperaturas en el océano que derivan en altas evaporaciones que luego se convierten en lluvias orográficas anómalas.

Además, se presenta como un flujo de agua el cual se desliza sobre la tierra para formar una gran masa de agua con lodo que se desliza en dirección de la inclinación del lecho del río. En efecto, el problema es representado

como un evento erosivo perjudicial a las zonas de la corriente del río, también se le conoce con el término de huayco o deslizamiento de tierra.

Como resultado daña directamente a la población aledaña entre ellos la del Centro Poblado Chacchan; también daña animales, plantas, vías de acceso, edificaciones, estructuras y terrenos de cultivo. Las pérdidas humanas son los daños irreparables de los cuales en ocasiones son asumidos como desaparecidos.

Por otro lado, se estima abordar el problema con un estudio hidrológico del río Chacchan y el análisis de sus máximas avenidas, para plantear bases de una solución integral a futuro para un Sistema de Alerta Temprana el cual requiere distintas instancias y procesos para la solución global tales como monitoreo hidrometeorológico, difusión de alerta sistemático y el plan de acción durante el evento. Así también, el estudio hidrológico brinda una solución complementaria base para la delimitación de las zonas en riesgo, o también el diseño de estructuras hidráulicas de defensa ribereña.



Figura 1. Identificación de zona problemática.



*Figura 2.* Río Chacchan vista sentido contrario al flujo.

## 1.1.2. Formulación del problema

### 1.1.2.1. Problema general

¿Cómo es el comportamiento del río Chacchan en zonas de riesgo ante desborde ribereño o huayco?

### 1.1.2.2. Problemas específicos

- Pérdidas humanas.
- Socavado y destrucción de vías de acceso.
- Inundación en zonas de cultivo y de edificaciones.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de sistema de alerta temprana, Ancash 2022.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Calcular la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, Ancash 2022.
- Estimar el tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, Ancash 2022.
- Analizar las rugosidades de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, Ancash 2022.

### 1.3. Justificación e importancia

Fundamentalmente, este proyecto consta en la determinación de una propuesta de evaluación hidrológica y análisis de comportamiento hidráulico que sirva como herramienta para fines de un SAT (Sistema de Alerta Temprana), aportando de forma predictiva y prevención, así entonces, de forma de planificación a la población y personas interesadas para reducir el riesgo de daños perjudiciales.

Existe pertinencia a razón de disponibilidad de información hidrometeorológica y data del terreno de estudio, por medio de las estaciones pluviométricas de Chacchan y cercanas como las estaciones de Pira y Buena Vista.

#### 1.3.1. Justificación teórica

La investigación se estriba en aportar conocimiento e interés en la incertidumbre al riesgo que existe por causas de lluvias intensas que trae como consecuencia los desbordes del río Pariacoto. Causando daños erosivos en la carretera Pariacoto-Huaraz, así también como los daños a zonas de cultivo, viviendas y pérdidas humanas.

#### 1.3.2. Justificación práctica

Este trabajo de investigación se desarrolla para abordar la problemática de inundación y desastre natural debido a las máximas avenidas del río

Chacchan, usando conocimientos sistemáticos con mención en la hidráulica e hidrología aplicada para la determinación de áreas de inundación por caudales máximos de diferentes periodos de retorno.

#### 1.3.3. Justificación metodológica

Este estudio de caracterización y comportamiento del río aportaría información valiosa de entrada a estudios posteriores para un sistema de alerta anticipada o para el diseño de estructuras hidráulicas de protección.

#### 1.3.4. Importancia

Se enfatiza la importancia del trabajo de investigación en el marco de prevención de riesgos así también como apertura para el análisis del comportamiento del río Chacchan, lo cual tendrá efecto de beneficio para estudios posteriores como un Sistema de Alerta Temprana o también para información de entrada para diseño de estructuras hidráulicas de protección. Finalmente, en un desarrollo integral y metodológico se podrá prevenir pérdidas humanas y daños materiales producidos por huaycos e inundaciones por desborde ribereño.

### 1.4. Delimitación

#### 1.4.1. Delimitación conceptual

Para la investigación se aplicará las posturas teóricas asociadas al método lluvia-escorrentía usando el modelo del software HEC-HMS para analizar la influencia de los caudales máximos con el comportamiento hidráulico del modelo HEC-RAS.

#### 1.4.2. Delimitación espacial

El estudio se ejecuta en el río Chacchan cercano al distrito de Pariacoto desde la entrada por la carretera al Centro Poblado Chacchan hacia aguas arriba del río, en la provincia Huaras en el departamento Ancash.

#### 1.4.3. Delimitación temporal

Para el desarrollo de la información de precipitaciones se estableció dentro del registro histórico mensuales desde el año 1964 hasta el año 2014, siendo un tamaño de la muestra de 50 años en total.

### 1.5. Hipótesis y variables

Se consideró el término de variación moderada para entenderse como deducción de comportamientos que no generan resultados en escala logarítmica o de gran diferencia y que no sean distantes al de los antecedentes aproximados según la zona de estudio del tramo del río Chacchan. Además, para el término crítico se planteó para enunciar un comportamiento que tenga muchas posibilidades de generar eventos perjudiciales en el tramo del río.

#### 1.5.1. Hipótesis general

El comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana, es crítico Ancash 2022.

#### 1.5.2. Hipótesis específicas

- La magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.

- La magnitud de tirante en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.
- La magnitud de rugosidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.

### 1.5.3. Variables

- Caudales máximos:
  - Definición conceptual: se entiende como caudal máximo a la magnitud de flujo en un periodo de tiempo probabilístico. Según Villón (5 pág. 141), sirven para plantear: dimensiones de un cauce. Muros de encauzamiento para cuidar la flora y ciudades. Se tiene que promediar el caudal diseñado, el cual, en estos casos, son los caudales limite.
  - Definición operacional: la variable de caudales máximos se operacionaliza mediante sus dimensiones: precipitación máxima, área tributaria, periodo de retorno, que vienen a ser factores y asimismo por cada dimensión se desligan 3 indicadores.
- Comportamiento hidráulico:
  - Definición conceptual: según Lawrence (6 pág. 8), es la física interna de las corrientes pertenecientes de un río o arroyo. Así también, es la base para abordar aspectos prácticos importantes como predecir efectos del cambio climático, nivel del aumento sobre el comportamiento del río y sus dimensiones
  - Definición operacional: la variable comportamiento hidráulico presenta las dimensiones: tirante, velocidad, rugosidad, y que asimismo por cada dimensión se desligan 3 indicadores.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO	ESCALA	TECNICA
V1: Caudales máximos.	Sirven para plantear: Dimensiones de un cauce. Muros de encauzamiento para cuidar la flora y ciudades (5 pág. 141)	La variable de caudales máximos se operacionaliza mediante sus dimensiones: precipitación máxima, área tributaria, periodo de retorno, que vienen a ser factores.	D1: Precipitación máxima.	I1: 0.1 a 0.5 mm I2: 0.5 a 1 mm I3: 5 a 125 mm	Ficha de recopilación de datos.	Intervalo.	Procesamiento de datos.
			D2: Área tributaria.	I1: 25 a 250 km <sup>2</sup> I2: 250 a 500 km <sup>2</sup> I3: 2500 a 5000 km <sup>2</sup>			
			D3: Periodo de retorno.	I1: 50 años I2: 100 años I3: 200 años			
V2: Comportamiento hidráulico.	La física interna de las corrientes pertenecientes de un río o arroyo (6 pág. 8).	La variable comportamiento hidráulico presenta las dimensiones: tirante, velocidad, rugosidad.	D1: Velocidad.	I1: 0.5 a 0.8 m/s I2: 0.8 a 1 m/s I3: 1.2 a 10.5 m/s	Instrumentos para caracterización de ríos (mira estadimétrica).	Intervalo.	Observación.
			D2: Tirante.	I1: 0.2 a 0.4 m I2: 0.4 a 1 m I3: 1 a 4.1 m			
			D3: Rugosidad.	I1: 0.025 a 0.035 I2: 0.035 a 0.07 I3: 0.035 a 0.1			

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes del problema

De acuerdo al contenido del estudio se consideró antecedentes de carácter hidrológico e hidráulico a fines de comportamiento de ríos. Se filtraron los antecedentes de dos tipos (nacionales e internacionales).

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

De acuerdo a Orellana (7) en el estudio titulado “Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS”, fijó como objetivos: de análisis de precipitaciones máximas de 24 horas con análisis de frecuencia para ejecutar los hidrogramas y caudales máximos de diseño utilizando el modelamiento hidrológico en HEC-HMS, realizar los mapas inundables de Piura con apoyo del modelamiento hidráulico del modelamiento hidráulico con las herramientas de HEC-GEORAS y HEC-RAS. Aplicando una metodología de recolección de data de precipitación e hidrométrica para el modelamiento hidrológico de precipitación-escorrentía con HEC-HMS y en consecuencia con HEC-RAS para la representación del comportamiento de inundación y delimitación de áreas inundables con propósito de seleccionar medidas para bajar los efectos de desborde ribereño. Luego se obtuvieron los resultados siguientes: caudales máximos instantáneos

de 4.091 m<sup>3</sup>/s para TR 50 años con tirantes entre 0.30 m alrededor del Hospital Regional y tirante de 1.60 m con velocidades debajo de 0.50 m/s en la Av. Grau, para el caudal máximo de 5.477 m<sup>3</sup>/s para TR 100 años con tirantes mayores de 1 m con velocidades superiores a 0.5 m/s y para el caudal de 9.754 m<sup>3</sup>/s para un TR de 500 años se presentan tirantes peligrosos superiores de 4 m cerca al Hospital Regional y con velocidades entre 0.8 y 1 m/s además, que obtuvo el coeficiente de rugosidad n de 0.038, 0.042 o 0.047 según las fórmulas empíricas de los autores Meyer-Peter & Muller, Raudkin y Subramanya respectivamente según el análisis granulométrico, posteriormente se corroboró que el número de Froude menores a 1 siendo flujo subcrítico tal como sucedió en la realidad de la inundación con pocas diferencias de niveles de agua). Finalmente, fija como conclusiones: la verificación de peligro para una avenida de TR de 50 años existe riesgo para los ciudadanos, además las velocidades en llanuras de inundación no son amenaza en tramos urbanizados pues en avenidas de hasta TR de 500 años las velocidades por poco superan 1 m/s, sin embargo, los tirantes si producen amenaza en espacios públicos pues superan generalmente los 3 m de altura.

Según Palomino y Mauricio (8) en su tesis titulada “Modelación hidrológica e hidráulica para un sistema de alerta temprana en la quebrada Cashahuacra”, fijó como objetivos: plantear la estructura de un SAT que relacione los modelos para simulación hidrológica e hidráulica en la quebrada Cashahuacra. Aplicando la metodología, se definirá la quebrada con las opciones de HEC-Geo HMS en ArcGIS y así obtener sus medidas físicas y con la precipitación aledaña, además de obtener los hidrogramas en distintos tiempos de retorno en HEC-HMS. Para la simulación hidráulica, se calculó el hidrograma de detritos y las zonas de inundación frente a casos riesgosos con el programa FLO-2D. Obtuvieron los resultados siguientes: el caudal simulado de 23.20 m<sup>3</sup>/s con periodo de retorno de 50 años con un área máxima de inundación de 179375 m<sup>2</sup> con velocidades entre 1 m/s a 8.5 m/s con promedio de 5 m/s y con profundidades de 0.4 m a 3.4 m; también para el caudal de 29.60 m<sup>3</sup>/s con tiempo de retorno igual a 100 años y un área máxima de inundación de 178750 m<sup>2</sup> con velocidades de 1 m/s a 10 m/s con profundidades de 0.4 m a 3.5 m. Además, un caudal de 36.30 m<sup>3</sup>/s con tiempo de retorno de 200

años y un área de inundación de 184688 m<sup>2</sup> con velocidades de 1.2 m/s a 10.5 m/s y profundidades de 0.5 m a 3.5 m y en un tramo de 2.6 km desde aguas arriba del río Santa Eulalia y un número de Manning de 0.12 para todo el tramo a modelar y 0.016 en zonas urbanas. Finalmente, fija como conclusiones que los hidrogramas de diseño se usaron con el servicio de conservación de suelos de Estados Unidos con una simulación de hidrograma de 35 horas y output cada 20 minutos, además las huellas del fluido apreciadas en las paredes de la quebrada se refleja una diferencia de tirantes de 0.2 m y 1.1 m.

De acuerdo a Muñoz y Quinde (9) en el estudio titulado “Modelamiento hidrológico e hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS”, fijó como objetivos: hallar las características geomorfológicas de la microcuenca en la quebrada San Idelfonso, también de realizar con el programa HidroEsta 2 para las precipitaciones máximas según su análisis estadístico para luego obtener el caudal pico con la simulación hidrológica HEC-HMS y simular el comportamiento del río con HEC-RAS para tener un mapa de áreas inundables. Aplicando una metodología de recolección y procesamiento de data hidrológica para el modelamiento hidrológico e hidráulico, obtuvo los resultados siguientes: un área de la quebrada de 11.81 km<sup>2</sup>, también se obtuvo un caudal pico de 99.7 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 20 años con una altura máxima de 1.2 m y velocidad de 5 m/s dando como resultado zonas vulnerables. Finalmente, fija como conclusiones: se halló las características geomorfométricas de la quebrada San Idelfonso con el DEM de 12.5 x 12.5 m de precisión con el servidor Alaska Satellite Facility luego para el análisis estadístico se obtuvo las precipitaciones pico con el programa HidroEsta 2 de un rango de datos desde 1995 al 2013 para luego determinar el Hietograma usando el programa HEC-HMS y zona inundable con el programa HEC-RAS.

Según Tinoco (10) en el artículo científico titulado “Modelamiento del riesgo de inundación por la ocurrencia de descargas máximas del río Santa, sector Challhua, Huaraz-Ancash”, fijó como objetivos: identificar áreas de riesgo a inundaciones relacionadas a caudales máximos del río en la zona de Challhua, aplicando una metodología que abordó al método

probabilístico de Gumbel, donde a partir de ello obtuvo los resultados siguientes: 371.49 m<sup>2</sup> para el caudal base de tiempo de retorno de 5 años con profundidades de 2.35 m y 1 927.08 m<sup>2</sup>, luego para un tiempo de retorno de 200 años un caudal de 563.08 m<sup>3</sup>/s con profundidad de 4.16 m, luego se calcularon los niveles de riesgo según la cantidad de viviendas en posible riesgo inundable dando como de riesgo muy alto valores de 8.2 % y 47.4% para módulos de mercado e instalación deportiva respectivamente. Finalmente, fija como conclusiones que se hizo la caracterización para el cauce del río para calcular de manera visual el coeficiente de rugosidad, también se obtuvieron tirantes de agua y las zonas de inundación con los sistemas de HEC-RAS y HEC-GEORAS.

Según Arriola *et al.* (11) en el artículo titulado “Evaluación del riesgo de inundación empleando un Sistema de Información Geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río La Leche Lambayeque”, fijó como objetivo analizar el peligro de inundación usando un método de información geográfica y de simulación de hidráulica en el río La Leche para predecir en un plazo corto, aplicando una metodología aplicada y con diseño descriptivo, obteniendo los resultados siguientes: el área es propenso a una inundación para caudales máximos con tiempo de retorno de 200 con un caudal de 999.34 m<sup>3</sup>/s con un nivel de agua máximo de 4.55 m y de velocidad máxima de 4.56 m/s y nivel de riesgo alto para ambos periodos de retorno con método FEMA, también para un tiempo de retorno de 500 años con un caudal de 1869.49 m<sup>3</sup>/s con un nivel de agua máximo de 4.96 m de velocidad máxima de 4.91 m/s). Finalmente, fijaron como conclusiones que el riesgo analizado para zonas inundables con el modelamiento hidráulico unidimensional es de nivel alto en los tiempos de retorno de 500 años, lo que entonces se hace sugerencia abordar con obras de defensas del río La leche aguas abajo unos 18 200 metros.

#### 2.1.2. Antecedentes internacionales

De acuerdo a Córdova (12) en su estudio denominado “Análisis del comportamiento hidráulico - sedimentológico del río Piura, tramo presa Los Ejidos sector Cordillera (Perú). Problemática actual y propuestas de

solución”, fijó como objetivos: evaluar el comportamiento hidráulico del río Piura con una simulación hidráulica unidimensional y bidimensional, también de proponer alternativas de simulación numérica para solucionar el problema de agradación ribereña y minimizar el riesgo físico frente a una inundación. Aplicando la metodología de modelación hidráulica unidimensional y bidimensional para obtener los caudales desbordados en un tramo del río Piura, alcanzó los resultados siguientes: durante el evento natural ocurrido en el 2017 el río de Piura transportó un caudal limite instantáneo de 3 468 m<sup>3</sup>/s con una velocidad de 2 m/s y profundidad de agua con 11.20 metros mientras que aguas abajo en cauces estrecho una velocidad de 4.5 m/s, además para el tramo entre el puente Bolognesi y puente Independencia tienen un flujo gradualmente variado con número de Froude entre 0.20 y 0.48 en un tramo de 8 km, luego para el tramo entre presa Los Ejidos a puente Bolognesi con número de Froude de 0.22 a 0.50 y el contorno de flujo se presenta una reducción del ancho de la sección al inicio de la zona urbanizada ocasiona un remanso que sube la cota de la lámina de agua hacia aguas arriba). Finalmente, fija como conclusiones que el flujo es gradualmente variado, pero los ensanchamientos cerca al puente Grau e Independencia generan alteración en el flujo que apartan los resultados medios de velocidad y profundidad de agua.

Según Parthkumar (13), en el estudio titulado “*Evaluating changes in terrestrial hydrological components due to climate change in the chesapeake bay watershed*”, fijó como objetivos: calibrar el modelo HEC-RAS 2D para eventos de cambio climático y los históricos de tiempo de retorno de 30 y 100 años y generar mapas de vulnerabilidad. Aplicando una metodología de recolección de datos de USGS con modelos climáticos basado en esquema MACA para evaluar los cambios en el agua. Luego se obtuvo los resultados siguientes: de 2008 a 2013 un rango de descarga de 3850 m<sup>3</sup>/s en 2012 con profundidades de 3.04 m y una descarga de 16700 m<sup>3</sup>/s en 2011 con profundidad de 7.7 m. Finalmente, concluye que el modelo HEC-RAS es configurado en 2D obteniendo un mapa de inundación para 41 km iniciando en la confluencia del río Juniata y terminando antes de la Isla Hill además que un incremento en la magnitud del fluido es analizado en todos los escenarios futuros pues las frecuencias

extremas de precipitación en eventos de 30 y 100 años son comparados con los periodos históricos.

De acuerdo a Shrestha *et al.* (14) en el artículo titulado “*Review of flood hazards studies in Nepal*”, fijó como objetivos: la revisión de publicaciones nacionales e internacionales de artículos de periódicos también como la de revisar los estudios previos sobre inundación a nivel nacional e internacional además de un estudio de los modelos de análisis de inundación. Aplicando una metodología de recopilación de información y análisis, obtuvieron los resultados siguientes: Nepal es altamente susceptible a un rango de riesgos hidrometeorológico y geofísicos según la información de topografía la cual representa un terreno accidentado y empinado con clima extremo, luego se revisó que un estudio en 2004 muestra que un total de 132 km de caminos rurales y urbanos más 22 km de carreteras fueron inundadas según la simulación hidráulica con HEC-RAS). Finalmente, fijaron como conclusiones: el uso de las herramientas GIS con un modelamiento dimensional en HEC-RAS and HEC-GEORAS son altamente usables, sin embargo, las aplicaciones de análisis para mapeo de riesgos de inundación son limitadas por la escasa información topográfica e hidrológica además que los flujos del río no tienen una regulación por lo que sus caudales se consideran muy cambiantes, el uso de información satelital será muy útil para generar mapas de inundación y vulnerabilidad.

Según Muñoz *et al.* (15) en el artículo científico denominado “Revisión sistemática de las metodologías para tomar acciones que minimizan los efectos negativos ocasionados por las máximas avenidas de los ríos”, fijó como objetivos: conjeturar posibles efectos perjudiciales por los caudales máximos de ríos, aplicando una metodología según indican otros autores para asunto de preparación con el fin de esquivar inundaciones, también para analizar la posibilidad de conducción de cauces para oponerse a caudales grandes, de tal modo que obtuvieron los resultados siguientes: para la metodología inicial se compone de 3 etapas para distinguir el área en peligro de inundación y que se debería adecuar una visión de reforestación para contrarrestar los efectos perjudiciales de las zonas de inundación, además la segunda metodología se modeló 12 km de un tramo

del río La Ranchería con IBER 2D con diques en la zona para proteger las cuales dan una sensación de seguridad engañosa y que promueve la urbanización sin control para las zonas en riesgo para un caudal de 58.51 m<sup>3</sup>/s, además que se tuvo el coeficiente de fricción  $n$  en canales naturales y para llanura de inundación 0.6; finalmente, fijaron como conclusiones: la metodología inicial señala que las áreas en peligro de inundación son las pendientes situadas dentro de 0 a 6° pues están en riesgo las áreas cercanas a las masas de agua en distancias de 0 a 478.19 m, 478.19 a 996.24 m.

De acuerdo a Dasallas *et al.* (16) en el artículo titulado “*Case study of HEC-RAS 1D–2D coupling simulation: 2002 baeksan flood event in Korea*”, fijó como objetivos: evaluar la capacidad del HEC-RAS para la implementación de un modelo de simulación de inundación por desborde ribereño en el río por la ruptura del dique Baeksan del país del Corea del Sur. Aplicaron una metodología del método de acoplamiento HEC-RAS 1D-2D como herramienta de simulación de inundaciones, obteniendo los resultados siguientes: el área a simular de 3.93 km<sup>2</sup> alcanzó el 75 % de inundación a las 7 h y el 97 % después de 16 h, además que se estableció un coeficiente de rugosidad homogéneo de  $n = 0.06$  según el cultivo y pasto cultivado, también el nivel máximo de agua se dio a las 22 horas con 14.45 m. Finalmente, fijaron como conclusiones que se usó la capacidad de modelamiento para flujo 1D y 2D para simular la ruptura del dique Baeksan de agosto del 2002 lo cual HEC-RAS acopló los métodos usados 1D y 2D enfocado en batimetría de sub cuadrícula y discretización híbrida para simular el desborde ribereño.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Caudales máximos

Villón (5 pág. 141) señala que “sirven para plantear: dimensiones de un cauce, muros de encauzamiento para cuidar la flora y ciudades. Se tiene que promediar el caudal diseñado, el cual, en estos casos, son los caudales limite”.

Se entiende como caudal máximo a la magnitud de flujo en un periodo de tiempo probabilístico.

Además, la variable Caudales Máximos tiene una relación con las dimensiones D1, D2 y D3 a través de la metodología de Curva Número (CN) para la generación de caudales; este procedimiento usa la información de precipitaciones máximas para un diseño de periodo de retorno y que calibrado para hietogramas de diseño sirve de input de entrada junto al dato de área de la cuenca para la modelación hidrológica con el modelo CN en HEC-HMS.

#### 2.2.1.1. Características de caudales máximos

Esta variable se basa en componentes probabilísticos que en su totalidad proporcionan información para calcular los caudales máximos, tales componentes son precipitación máxima, área tributaria, periodo de retorno, tormenta de diseño y curvas intensidad, duración y frecuencia.

Conforme a Linsley *et al.* (17 pág. 302), la creciente máxima probable debe estimarse a partir de la precipitación máxima probable por técnicas hidrológicas. Esta conversión puede llevarse a cabo con técnicas de simulación o utilizando modelos de lluvia escorrentía e hidrogramas unitarios.

##### 2.2.1.1.1. D1: Precipitación máxima

Villón (5 pág. 70) señala que “para detallar el tamaño y características de la precipitación se entiende por los diferentes estados de cambio de la materia, pues se reconoce que debido ese cambio existen maneras de precipitación”:

- “Mínimas gotas, llovizna, cuya medida varían entre 0.1 y 0.5 mm” (5).

- “Gotas, lluvia, con diámetro de medida mayor 0.5 mm” (5).
- “Granizo, precipitación en forma de bolas irregulares de hielo, el cual varía el diámetro de medida entre 5 y 125 mm” (5).

Por otra parte, Chang (18 pág. 159) refiere que la precipitación orográfica es cuando una masa de aire es levantada mecánicamente por barreras montañosas, además, la reducción atmosférica y la presión en elevaciones más altas provoca el enfriamiento junto con la condensación por expansión. Eso da como resultado una mayor precipitación.

Así también, según Chow *et al.* (19 pág. 483) menciona que la precipitación máxima probable es el valor límite estimado de precipitación de forma analítica para un tiempo dado que sea de forma física y que se califique de manera razonable en una zona geográfica en un preciso momento del año.

#### 2.2.1.1.2. D2: Área tributaria

Según Aparicio (20 pág. 20), el parteaguas es una raya imaginaria prestas por los sitios de mayor índice topográfico y que divide la cuenca de las aledañas. La zona de la cuenca se basa a la superficie, proyectada de forma horizontal, definida por el parteaguas.

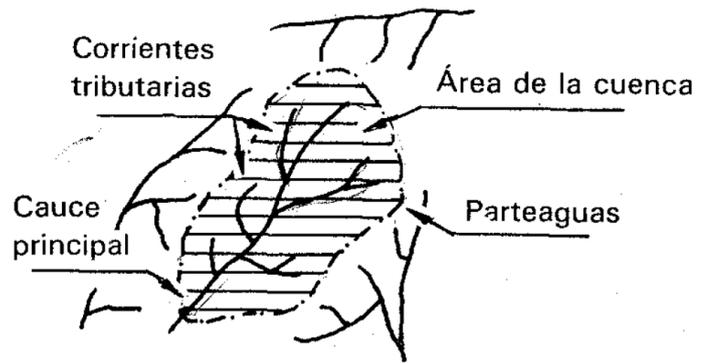


Figura 3. Área y parteaguas.

Fuente: Aparicio (20 pág. 20).

Tabla 2. *Tabla de clasificación de cuencas.*

Tamaño de cuenca (km <sup>2</sup> )	Descripción
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-Pequeña
500 a 2500	Intermedia-Grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy Grande

Fuente: Campos (21 pág. 5).

### 2.2.1.1.3. D3: Período de retorno

Chow *et al.* (19) mencionan que el tiempo de retorno de una actividad con una dimensión dada puede referirse como el rango de recurrencia entre la actividad que sobrepase o iguale una dimensión especificada.

Luego, según Villón (5 págs. 101-102), el periodo de retorno usando la fórmula de Weibull es la siguiente:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (1)$$

Donde:

\*T = período de retorno.

\*m = número de orden.

\*n = número total de observaciones.

### 2.2.2. Comportamiento hidráulico

Esta investigación se basa en el contexto hidráulico del río por lo que se asocia dos términos como hidráulica fluvial. Dicho entonces se tiene los siguientes conceptos.

Según Lawrence (6 pág. 8), es la física interna de las corrientes pertenecientes de un río o arroyo. Así también, es la base para abordar aspectos prácticos importantes como predecir efectos del cambio climático, nivel del aumento sobre el comportamiento del río y sus dimensiones.

La relación de la variable Comportamiento Hidráulico con sus dimensiones, con respecto a la dimensión D1 de velocidad se relaciona con la pendiente, es decir, a mayor pendiente mayor velocidad en base a la topografía. La dimensión D2 de tirante hidráulico se relaciona con la capacidad hidráulica en transportar el flujo y el caudal. También la dimensión D3 de coeficiente de rugosidad de Manning determina la resistencia de un flujo, si el valor es pequeño, los tirantes obtenidos son menores y viceversa, además tiene relación con la variable Comportamiento hidráulico en función del modelamiento hidráulico bidimensional para flujo no permanente, en la etapa de generación de malla computacional en toda la superficie de estudio el cual generará posteriormente los mapas de velocidad, tirantes y de número de Froude.

Luego, el número de Froude está relacionado directamente con el tipo de flujo, ya sea subcrítico, crítico y supercrítico y está en función de la velocidad media del flujo, el tirante y la aceleración de la gravedad, expresada en la siguiente ecuación:

$$N_F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot Y_h}} \quad (2)$$

### 2.2.2.1. Características del comportamiento hidráulico

Existen distintas dimensiones para el comportamiento hidráulico que permiten obtener datos de entrada fundamentales para la simulación de ríos como morfología de río, dinámica fluvial y caudal dominante.

#### 2.2.2.1.1. D1: Velocidad

De acuerdo a Aparicio (20 pág. 37), la velocidad se obtiene según la fórmula de Manning en relación a la sección-pendiente, la cual se obtiene de la siguiente fórmula:

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

Donde:

\*R = radio hidráulico.

\*Sf = pendiente de la línea de energía específica.

\*n = coeficiente de rugosidad.

#### 2.2.2.1.2. D2: Tirante

De acuerdo a Villón (5 págs. 18, 151), el tirante crítico “es la profundidad máxima de agua. El tirante de condición hidráulica que existe en el momento del caudal es máximo, para contar con una energía determinada, o el tirante al que ocurre un caudal determinado con la energía mínima”.

#### 2.2.2.1.3. D3: Rugosidad

Según Chow *et al.* (19 págs. 97-104), el coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning es un factor dado en la fórmula del Ingeniero de Irlanda Robert Manning, el cual está influido por ciertos factores principales como la rugosidad de terreno, vegetación, sedimentación y partículas suspendidas.

Tabla 3. *Valores de coeficiente de rugosidad “n”.*

<b>Descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Planicie de inundación pastizales sin matorrales	0.025	0.035
Áreas con cultivos maduros	0.03	0.05
Matorrales dispersos	0.035	0.07
Corrientes naturales con ancho >100 pies mayores en sección irregular y rugosa	0.035	0.1

Fuente: Chow *et al.* (19 pág. 111).

Según Chow *et al.* (19 pág. 99), existen parámetros que influyen en el coeficiente de rugosidad “ $n$ ” de Manning tales como la rugosidad superficial la cual considera la magnitud de las arenas retardantes en el perímetro mojado.

### 2.2.3. Modelo de simulación

#### 2.2.3.1. Modelamiento hidráulico

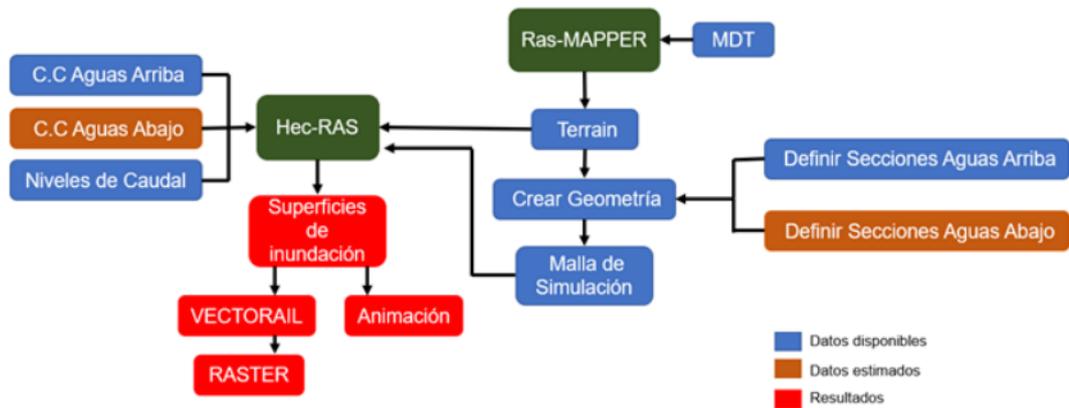


Figura 4. Diagrama de flujo para zonas de inundación generadas con HEC-RAS.

Fuente: Vargas *et al.* (22).

Según Brunner (23), el modelo HEC-RAS realiza cálculos de hidrodinámica, también ejecuta análisis en una dimensión para flujo no estacionario, además de la versión para flujo no estacionario en dos dimensiones basados en las ecuaciones de aguas poco profundas con el método Euleriano - Lagrangiano (SWE-ELM) o ecuaciones de ondas difusión (DWE), la cual permite resultados más rápidos y con mayores propiedades de estabilidad. El modelado de flujo 2D se obtiene añadiendo parámetros de área de flujo 2D al modelo de igual forma que se añade un área de almacenamiento, y que al agregar un área de flujo 2D dibujado como polígono de área de flujo esta puede ejecutar una malla computacional bidimensional, luego se vinculan las áreas de flujo a los elementos del modelo 1D o enlazando con las condiciones de contorno a las áreas bidimensionales. También explica una ventaja teórica de HEC-RAS es el solucionador de ecuaciones de flujo no estacionario 2D el cual usa un algoritmo implícito de volumen finito, que permite pasos de tiempo computacional mayores, estabilidad y robustez mejoradas que al de los métodos explícitos. La humectación y secado de células 2D son robustas, además que el algoritmo puede calcular en regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y mixto (flujo que pasa en profundidad crítica como un salto hidráulico) y que se activa de forma automática en el software o de forma implícita. Además, el mapeo de inundación,

velocidades entre otros parámetros y sus animaciones respectivas se ejecutan con la configuración de RAS Mapper, para áreas de flujo en 2D consiste que el área mojada se estibar en los detalles de superficie subyacente.

### 2.3. Definición de términos básicos

- Ciclo hidrológico: la disponibilidad y la circulación del agua en la tierra y su atmósfera son generalmente representativas por el ciclo hidrológico que incluye varios componentes (24 pág. 331); esto se puede tratar como un método, el cual presenta elementos como la evaporación, precipitación, fases hidrológicas y escorrentía (19 pág. 5).
- Cuenca hidrográfica: se define como el área de tierra de cuya agua fluye hacia un río y luego en ese río hacia el mar (25 pág. 5).
- Exceso de infiltración: generalmente se conceptualiza como un flujo sobre la superficie en láminas delgadas (26 pág. 11).
- Flujo no permanente: es un flujo inestable que ocurre cuando los parámetros del flujo cambian con el tiempo un punto fijo, por ejemplo, la profundidad de agua o el caudal (27 pág. 32).
- Lluvia - escorrentía: el excedente de precipitación efectiva, es la precipitación que no es retenida en la superficie de la tierra y tampoco se adhiere al suelo (19 pág. 138).
- Modelo hidrológico: es traducir las observaciones y/o pronósticos de lluvia en estimaciones de los caudales de los ríos (28 pág. 145).
- Número de Froude: es el parámetro adimensional más común para predecir el régimen del flujo (29 pág. 133).
- Sistema de Alerta Temprana: sistema de vigilancia de inundaciones que puede ser basado en la acumulación de precipitaciones como indicador de probabilidad de campana de inundación o desastre (30 pág. 311).
- Tormenta: se conoce como aglomeración de 2 o más lluvias o al fenómeno meteorológico que se refleja cuando dos masas de aire con temperaturas no iguales se juntan (5 pág. 86).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método de la investigación

Para Cabezas *et al.* (31 pág. 16), el método científico es referido como el procedimiento que mantiene una investigación, con la finalidad de hallar las maneras de existencias de los sistemas objetivos, para con ello desentrañar sus conexiones externas e internas, para estandarizar y ahondar en la información adquirida. Así también, la investigación comenzó con el análisis y observación del campo para identificar elementos en posible riesgo, asimismo, se realizaron los trabajos de topografía y el estudio de mecánica de suelos EMS. Posteriormente, la compilación de la información hidrometeorológica a las entidades pertinentes. Luego se desarrolló, mediante un proceso tecnológico a nivel de software tales como el AutoCAD Civil 3D para procesar la información topográfica, ArcGIS y HEC-HMS, el procedimiento hidrológico y finalmente con el programa HEC-RAS una modelación hidráulica del río. Según los detalles mencionados, este estudio aplica el método científico.

##### 3.1.1. Tipo de la investigación

Según González *et al.* (32 pág. 143), el tipo básico no busca que el estudio tenga una apresurada aplicación para los conocimientos, no obstante, si intenta aumentar los hechos teóricos para el procedimiento de la ciencia sin considerar consecuencias o aplicaciones. Después, para conseguir el

caudal máximo de diseño, ello abarcó el método lluvia-escorrentía en distintos periodos de retorno, los cuales fueron hallados con el método del HEC-HMS para la modelación hidrológica. Posteriormente, se emplearon datos hidrológicos para el análisis del comportamiento hidráulico que se efectuaron con el método y funciones del software HEC-RAS. De acuerdo a las razones teóricas verificadas, este estudio se tipifica del modelo básico.

### 3.1.2. Nivel de la investigación

De acuerdo a Fidias (33 pág. 24), el nivel descriptivo se basa en la caracterización de un evento con la finalidad de definir su comportamiento o estructura, además los resultados tienen un nivel intermedio en concordancia con la magnitud de los conocimientos. En esta investigación se caracterizó la cuenca hidrográfica además de los eventos de precipitación con el fin de establecer el comportamiento hidráulico del río Chacchan, además de cómo es dado según las causas o factores que originaron el fenómeno de desastre de los desbordes ribereños. Según la teoría adquirida, este estudio se tipifica en el modelo descriptivo.

### 3.2. Diseño de la investigación

Para Cabezas *et al.* (31 págs. 77-78), el cuasi experimento se califica como aleatorio y/o segmento de control. Los segmentos ya se encuentran agrupados al comienzo de la investigación y no se colocan aleatoriamente, no hay agrupación del segmento con el segmento de control. Este diseño de investigación fue cuasi experimental en la forma que no se tuvo una sólida certeza para la homogenización de los segmentos, tales como la información de precipitaciones que se trataron de tal forma que sean homogéneos e independientes, sin embargo se consideran ciertos errores aleatorios y sistemáticos, pues no son asignados al azar más bien están por años. Según la teoría en revisión, esta investigación se clasifica del tipo cuasi experimental.

### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### 3.3.1. Población

A razón de Arias (33 pág. 81), este es un grupo infinito o finito de los componentes con similares cualidades para quienes se les extenderá las conclusiones del estudio, el mismo que se delimita por la problemática y objetivos. Por ello, la población tuvo por longitud del cauce del río Chacchan de 21.58 km.

#### 3.3.2. Muestra

Según Garcés (34 pág. 89), se refiere a la porción del universo que se encuentra figurados los componentes de cada estrato, también es un segmento de necesidad para el estudio que plantea desarrollarla. En la presente investigación, la muestra tuvo por longitud del cauce del río Chacchan de 3 km desde el inicio del Centro Poblado Chacchan hasta agua arriba del río.

#### 3.3.3. Muestreo

Para Hernández *et al.* (35 pág. 263), es no probabilístico en relación a la selección de los componentes que no se asocia a la probabilidad, de lo contrario es a las causas relacionadas a las cualidades del investigador o de quien determina la muestra.

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

#### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Para Alfaro (36 pág. 61), la observación directa se da al momento que el autor se contacta de forma individual con el fenómeno que propone

investigar. Para este estudio se aplicó la técnica de observación basada en la información topográfica y de suelos y que previamente se identificó en campo las zonas más vulnerables. Así también, para recopilar la información de precipitaciones.

### 3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Según Alfaro (36 pág. 66), el empleo de la ficha de recopilación de datos se basa en documentar la información que se obtiene en los instrumentos denominados fichas, las mismas que, correctamente desarrolladas, almacenan la mayoría de los datos que se recaudan en un estudio. En el estudio se empleó como instrumento la ficha de recopilación de datos, la cual tiene el diseño presentado en el Anexo 2, que contiene las dimensiones con sus respectivos indicadores por cada variable.

#### 3.4.2.1. Validez

Según Arias (33 pág. 36) y Alfaro (36 pág. 56), la validez se basa a la probabilidad de ampliar o generalizar los hallazgos en otros contextos y condiciones. También es el nivel en el que se realiza la medición de la variable que se requiere medir.

Los instrumentos de investigación estuvieron validados por el Juicio de Expertos con la validez externa para verificar que las dimensiones e indicadores tengan correspondencia y coherencia al trabajo de investigación.

Tabla 4. *Valoración según el coeficiente alfa de Cronbach.*

0.00 a 0.5	Inaceptable
0.50 a 0.60	Pobre
0.60 a 0.70	Débil
0.70 a 0.80	Aceptable
0.80 a 0.90	Bueno
0.90 a 1.00	Excelente

Fuente: Chaves-Barboza y Rodríguez-Miranda (37 pág. 81).

Tabla 5. Validez del tema del instrumento para las variables caudal máximo y comportamiento hidráulico.

N°	Grado Académico	Apellidos y Nombre	CIP	Validez Final
1	Ing.	Peralta Ruiz Carlos Enrique	39559	1
2	Ing.	Córdova Gonzáles Víctor Francisco	66559	1
3	Ing.	Alva Meza Fernando Aldair	262467	1

El producto del análisis de validez del instrumento fue de 1, y en comparación con la tabla 4 se comprende como una validez excelente.

#### 3.4.2.2. Confiabilidad

La confiabilidad se define mayormente con la determinación del Alfa de Cronbach. Según Ruiz (38 págs. 102-103), es el criterio esencial, pero no suficiente para contar el resultado del estudio que sea científicamente útil y valioso.

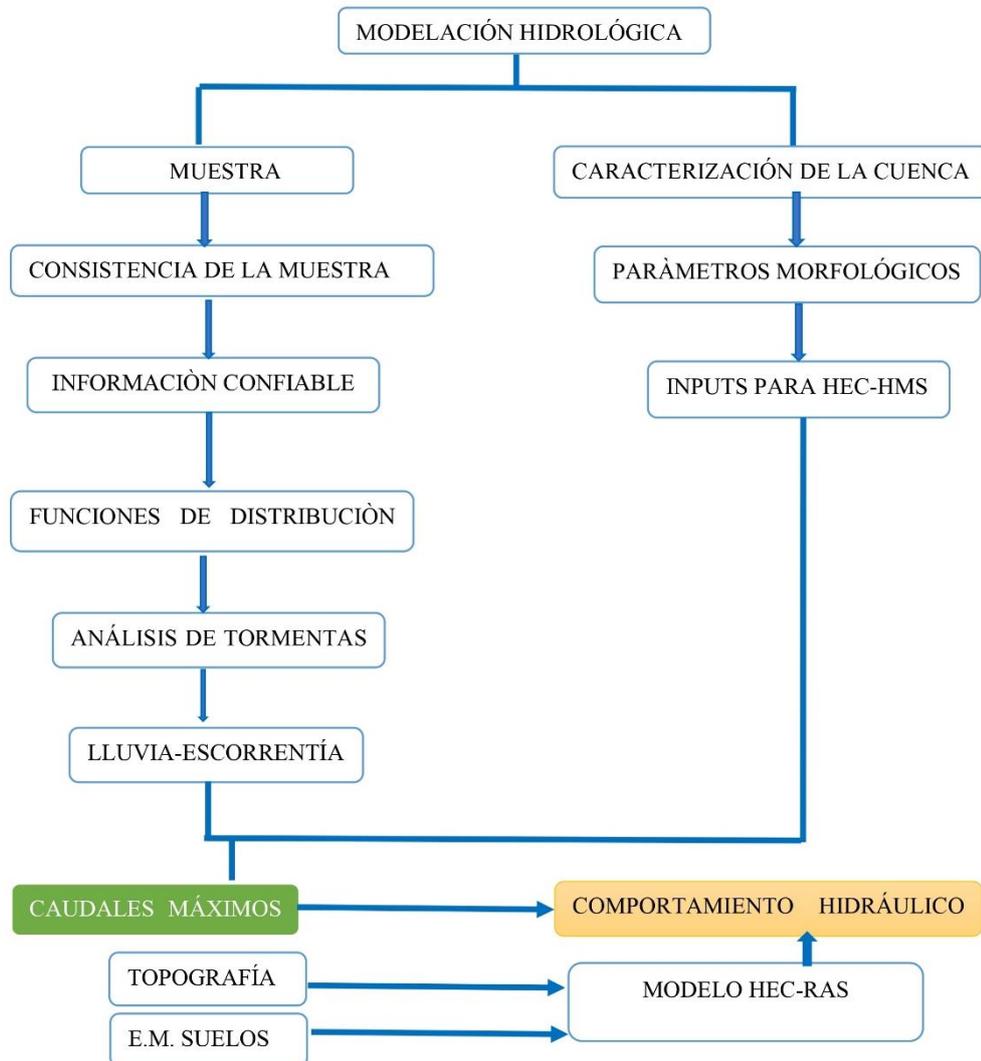
Tabla 6. Rangos de interpretación de confiabilidad.

0.81 a 1.00	Muy Alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy Baja
0.81 a 1.00	Muy Alta

Fuente: Ruiz (38 pág. 100).

Según Hernández (35 pág. 286), la confiabilidad representa la capacidad generar resultados congruentes para calibraciones reiterativas en condiciones similares a la primera, sin embargo, para este estudio no fue obligatorio realizar calibraciones reiterativas.

### 3.5. Procedimiento de recopilación de información



### 3.6. Método de análisis

El procesamiento de los datos se efectuó con los programas computarizados tales como Microsoft Excel y el programa HEC-HMS que previamente se usó el programa ARCGIS para la caracterización de la cuenca y generación de datos de entrada útiles para los caudales máximos. Finalmente, para el comportamiento hidráulico se procesó con el programa HEC-RAS. En resumen, se consideró lo siguiente:

- Modelos hidrológicos: ArcGIS, HEC-HMS, Excel.
- Modelos hidráulicos: HEC-RAS.

### 3.7. Aspectos éticos

En este estudio se considera el D.L. N° 822, Ley sobre el Derecho de Autor, lo que en consecuencia no se acepta la copia o plagio de otros autores. Así también, se respeta la propiedad intelectual, confiabilidad de los datos adquiridos y la identidad de los profesionales que darán la validez.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1. Descripción de la zona de estudio

##### 4.1.1. Ubicación

En el río Chacchan, por la parte baja del Centro Poblado Chacchan, distrito de Pariacoto, provincia de Huaras, departamento de Ancash. Sus coordenadas UTM son: 194990.00 Este, 8944174.00 Norte, altitud 2191 msnm. En sistema de coordenadas WGS84 - 18 Sur.

##### 4.1.2. Características de la zona de estudio

La zona se encuentra situada en la cuenca del Alto Casma. El trayecto del flujo inicia en la quebrada Huarancayoc, continua por la quebrada Ruri Ruri, termina en el río Chacchan. Su río es el Chacchan. Así también, tiene los siguientes parámetros fisiográficos (ver tabla 7).

Tabla 7. *Parámetros fisiográficos de cuenca.*

Subcuenca	Área	Mediciones Lineales						
	km <sup>2</sup>	Longitud de la cuenca (km)	Longitud del cauce (km)	Perímetro (km)	C. Máxima msnm	C. Mínima msnm	Orden	Altitud media
Río Chacchan	177.03	19.89	21.58	60.78	4 550.00	2 250.00	4	4 156.27

## 4.2. Estudios previos

### 4.2.1. Estudios de campo

#### 4.2.1.1. Estudio topográfico

El levantamiento topográfico se efectuó considerando un vuelo de fotogrametría con el uso de un dron topográfico:

- Dron topográfico marca DJi Air 2S, sensor CMOS de 1 pulgada, MasterShots, 5.4K Video, transmisión FHD de 12 km, detección de obstáculos en 4 direcciones, ADS-B.

## 4.3. Análisis de información

### 4.3.1. Cálculo de la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos

#### 4.3.1.1. Formato MDE del estudio topográfico

Procesamiento de la información de fotogrametría mediante el programa Agisoft, el cual genera un modelo digital de elevaciones desde una nube de puntos densa obtenida de un conjunto de ortofotos capturadas en campo con la tecnología de un dron topográfico.

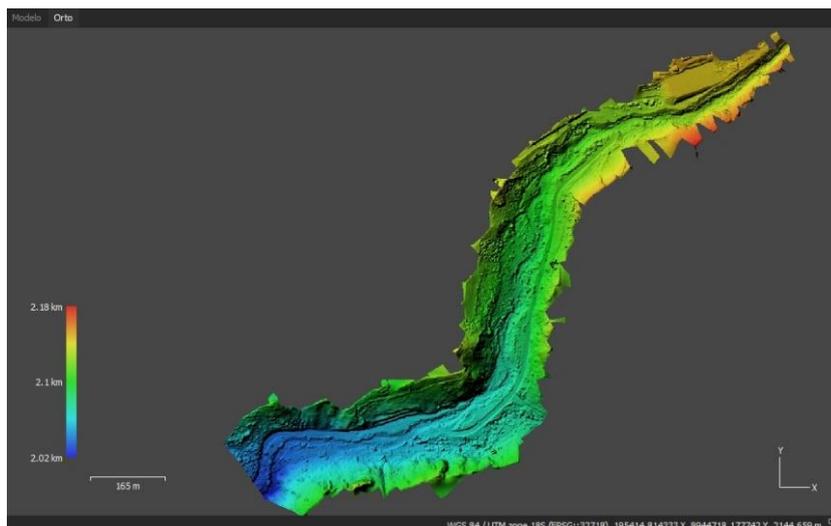


Figura 5. Modelo digital de elevación con Agisoft Metashape Professional.

#### 4.3.1.2. Estudios hidrológicos

En este ítem se desarrolló íntegramente el estudio hidrológico desde la obtención de la precipitación hasta la generación de caudales. El contenido se centró en la caracterización de la cuenca apoyados por la metodología del programa ArcGIS, posteriormente el estudio de precipitaciones por el método lluvia-escurrentía y generación de caudales máximos para distintos periodos de retorno con el método HEC-HMS.

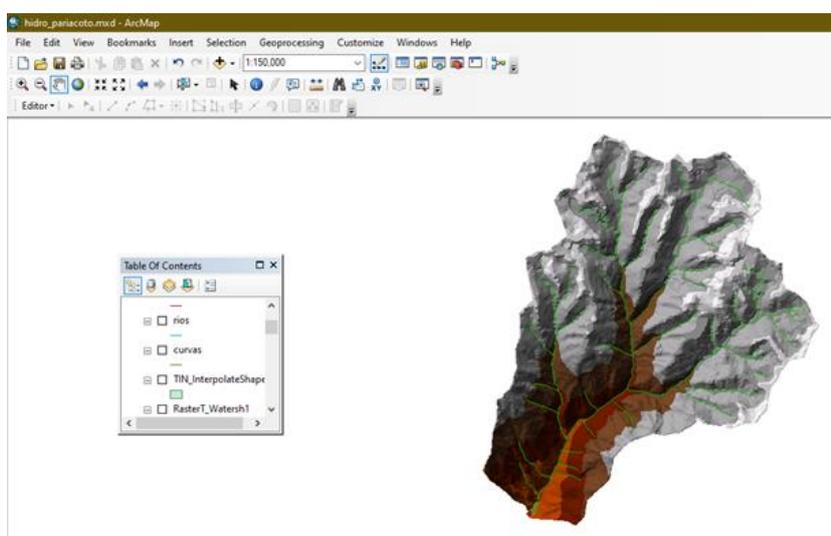


Figura 6. TIN delimitado en ArcGIS de subcuenca del río Chacchan.

#### 4.3.1.2.1. Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos son para el análisis de la cuenca, así también para el posterior cálculo de caudales; incluyen a la pendiente de la cuenca y la pendiente del cauce del río.

Tabla 8. Datos de morfometría.

Forma		Pendiente		Drenaje		Rectángulo Equivalente	
Factor de forma (Kf)	Coficiente de compacidad (Kc)	Pendiente de cuenca Scu (%)	Pendiente de cauce Sca (%)	Longitud de drenaje (km)	Densidad de drenaje (Dd)	L	I
0.45	1.29	34.86	10.66	112.25	0.63	3.77	26.61

A continuación se representa el análisis de como varía las alturas de la cuenca, la cual es identificada como tipo A, la cual refleja una cuenca con gran potencial erosivo o fase de juventud de cuenca.

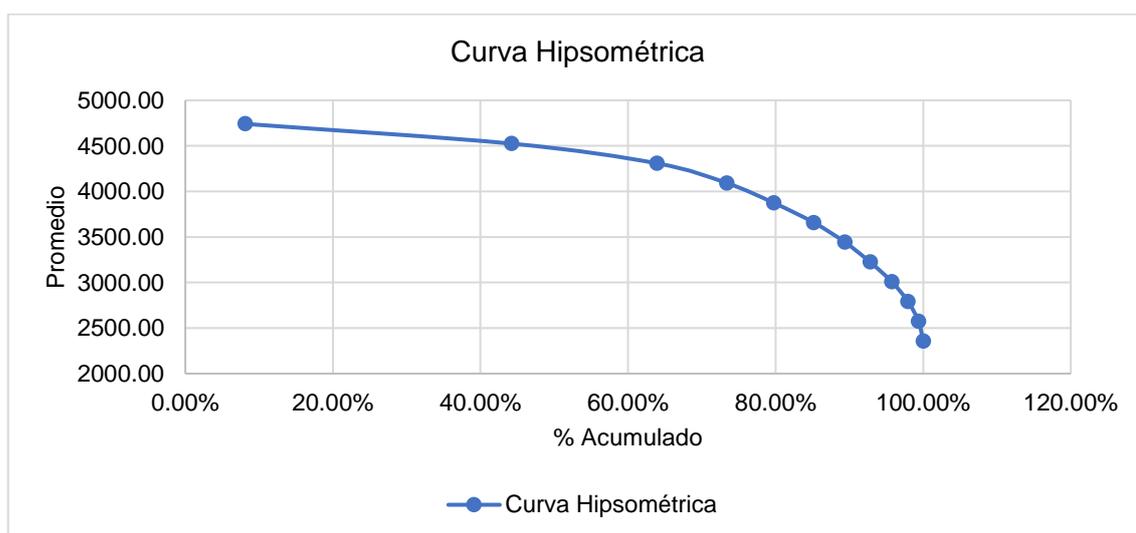


Figura 7. Curva hipsométrica, etapa de cuenca joven.

#### 4.3.1.2.2. Tiempo de concentración

Aquí se detalla la concentración de la precipitación para distintos métodos sobre la subcuenca del río Chacchan.

Tabla 9. *Resumen de tiempo de concentración.*

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce (m)	Desnivel (m)	Pendiente (m/m)	Tiempo de concentración (minutos)				
					Kirpich	U.S.B.R.	Passini	California Culvert Practice	Considerado
Río Chacchan	177.03	21,583.51	2,300.00	0.1066	99.77	99.85	114.94	100.35	103.73

#### 4.3.1.2.3. Tiempo de retraso y abstracción inicial

Este análisis corresponde al método de Curva Número, la cual se entiende por el método Servicio de Conservación del Suelo, por lo que se considera como influye la permeabilidad del suelo.

Tabla 10. *Tiempo de retraso y abstracción inicial.*

Tiempo de concentración (minutos)	Tiempo de retraso (minutos)	Abstracción inicial
103.73	62.24	15.17

#### 4.3.1.2.4. Análisis de datos dudosos

Con la recomendación de Water Resources Council se realizó la prueba de datos dudosos, por lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 11. *Análisis de datos dudosos.*

	PP (mm) observado	PP (mm) aceptable
Máx. PP24	63.60	65.54
Min. PP24	4.10	3.14

Para las precipitaciones máximas y mínimas no se obtuvieron datos dudosos.

4.3.1.2.5. Prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov para distintas funciones de probabilidad

Tabla 12. *Prueba de bondad de ajuste para distintas funciones de distribución.*

$\Delta$ Teórico de las distribuciones							
$\Delta$ tabular	Distribución normal	Distribución Log-normal 2 Parámetros	Distribución Log-normal 3 Parámetros	Distribución Gamma 2	Distribución Log-Pearson Tipo III	Distribución Gumbel	Distribución Log Gumbel
0.1923	0.2106	0.0879	0.0759	0.1325	0.05149	0.1423	0.0647
Minimo $\Delta$	0.05149						

Como el delta teórico (0.05149) es menor que el delta tabular 0.1923, los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo III, con un nivel de significancia del 5 %. Además, que es la de mejor ajuste.

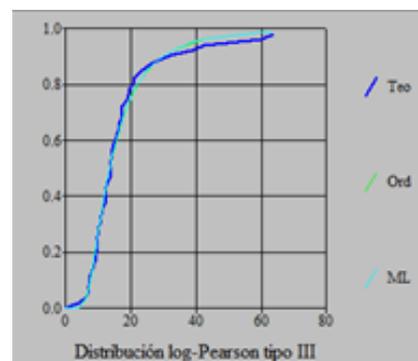


Figura 8. Función de distribución probabilístico Log-Pearson tipo III.

#### 4.3.1.2.6. Precipitaciones máximas probables

Se escogió el método de Log-Pearson tipo III por tener una configuración aceptable según la prueba de bondad de ajuste para distintos periodos de retorno que de forma metodológica constan valores distintos.

Así también, para el intervalo de recurrencia promedio se seleccionó el periodo de retorno de 50 y 100 años referenciados como diseños recomendados para estructuras hidráulicas de gran tamaño, luego el diseño de 200 años para fines académicos se eligió también para concurrir posteriormente en resultados de caudales extremos que puedan ser potencialmente de riesgo o perjudiciales en el tramo de estudio.

Tabla 13. *Precipitaciones máximas probable para diferentes periodos de retorno.*

<b>T (años)</b>	<b>P</b>	<b>Distribución Log-Pearson tipo III X<sub>t</sub></b>	<b>PP máx con Coeficiente 1.04</b>
50	0.020	53.410	55.55
100	0.010	66.920	69.60
200	0.005	82.960	86.28
$\Delta$	0.1923	0.05149	

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13 y 1.04 para dos mediciones al día. Para el caso de la estación Chacchan, se configura como dos mediciones al día.

#### 4.3.1.2.7. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Se analizó la duración de lluvia en un intervalo de 1 hora a 24 horas para distintos periodos de retorno con el Método de coeficientes propuestos por el Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Tabla 14. *Precipitaciones máximas de diseño Pd.*

Tiempo de Duración	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración		
	50 años	100 años	200 años
1 h	13.89	17.40	21.57
2 h	17.22	21.58	26.75
3 h	21.11	26.45	32.79
4 h	24.44	30.62	37.96
5 h	27.77	34.80	43.14
6 h	31.11	38.97	48.32
8 h	35.55	44.54	55.22
12 h	43.88	54.98	68.16
18 h	49.99	62.64	77.65
24 h	55.55	69.60	86.28

#### 4.3.1.2.8. Intensidad de lluvia a partir de Pd, según duración de Pp y frecuencia

Según la siguiente fórmula de intensidad, se obtuvo la tabla de resultados que de forma metodológica abarcan para 4 valores distintos de periodo de retorno.

$$I = \frac{Pd(mm)}{t \text{ duración}(h)} \quad (4)$$

Tabla 15. Intensidades máximas en 24 horas.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /h) según el Periodo de Retorno		
Duración	min	50 años	100 años	200 años
1 h	60	13.89	17.40	21.57
2 h	120	8.61	10.79	13.37
3 h	180	7.04	8.82	10.93
4 h	240	6.11	7.66	9.49
5 h	300	5.55	6.96	8.63
6 h	360	5.18	6.50	8.05
8 h	480	4.44	5.57	6.90
12 h	720	3.66	4.58	5.68
18 h	1080	2.78	3.48	4.31
24 h	1440	2.31	2.90	3.59

#### 4.3.1.2.9. Curvas intensidad-duración-frecuencia

En el siguiente gráfico se muestra la relación de la intensidad, duración y la frecuencia de lluvia.

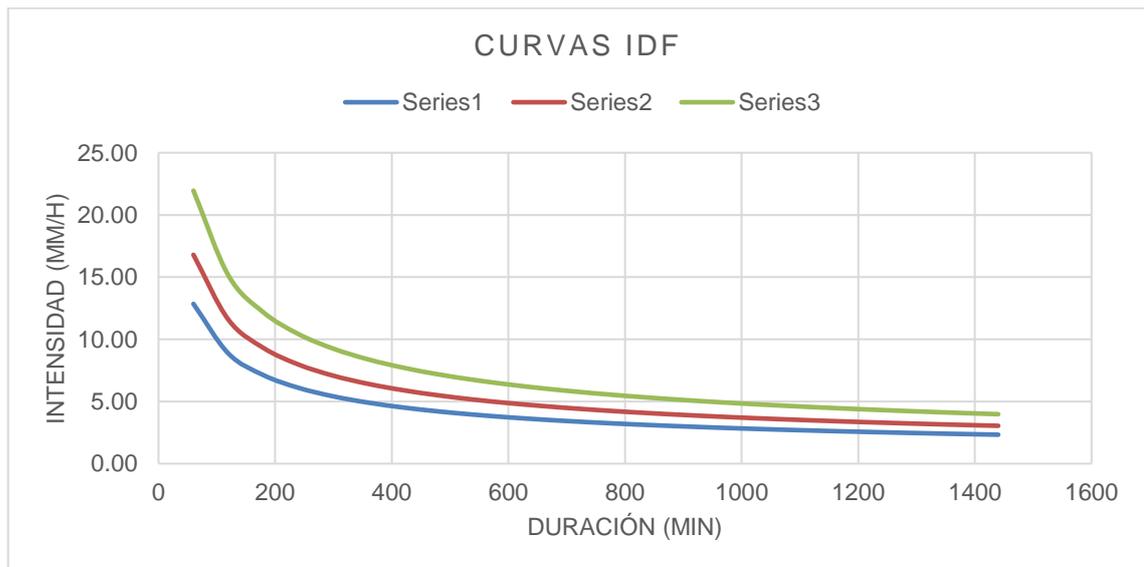


Figura 9. Curvas intensidad-duración-frecuencia.

#### 4.3.1.2.10. Número de curva usando ArcGIS 10.5

Se puede observar que existe mayor porcentaje de área del número de curva 77, por lo que se considera esta cifra como predominante para los cálculos posteriores.

Tabla 16. *Curva Número de la cuenca.*

Nro.	Tipo Suelo	Landuse	Pcta	Pctb	Pctc	Pctd	CN	Área (km <sup>2</sup> )	Área %
0	B	4	0	100	0	0	77	13.874	7.845
1	B	1	0	100	0	0	100	0.012	0.007
2	B	1	0	100	0	0	100	0.026	0.014
3	B	1	0	100	0	0	100	0.037	0.021
4	B	1	0	100	0	0	100	0.045	0.026
5	B	1	0	100	0	0	100	0.015	0.009
6	B	1	0	100	0	0	100	0.017	0.009
7	B	1	0	100	0	0	100	0.039	0.022
8	B	1	0	100	0	0	100	0.043	0.024
9	B	1	0	100	0	0	100	0.045	0.025
10	B	1	0	100	0	0	100	0.028	0.016
11	B	1	0	100	0	0	100	0.057	0.032
12	B	1	0	100	0	0	100	0.022	0.012
13	B	1	0	100	0	0	100	0.084	0.047
14	B	4	0	100	0	0	77	22.788	12.885
15	B	4	0	100	0	0	77	139.728	79.005

Así también, se realizó la selección de Número de Curva con la siguiente tabla.

Tabla 17. *Curva número promediada.*

C.N. I (CONDICIONES SECAS)	C.N. II (CONDICIONES NORMLES)	C.N. III (CONDICIONES HUMEDAS)	C.N. PROMEDIO (C.N. I Y C.N. III)
58	77	89	73

Se realizó el promedio de CNI y CNIII para obtener una CN de 73.

4.3.1.2.11. Hietogramas de diseño para diferentes períodos de retorno con método de bloque alterno

Tabla 18. *Hietograma para TR 50 años.*

Método del Bloque Alterno			Periodo de Retorno Tr = 50 años		
Duración t (min)	I (mm/h)	Pp Ac. (mm)	Pp (mm)	Tiempo (min)	Pp alternada
60	12.85	12.85	12.85	0-60	1.11
120	8.85	17.70	4.85	60-120	1.17
180	7.12	21.35	3.65	120-180	1.24
240	6.10	24.39	3.04	180-240	1.32
300	5.41	27.04	2.65	240-300	1.41
360	4.90	29.42	2.38	300-360	1.53
420	4.51	31.60	2.17	360-420	1.68
480	4.20	33.61	2.01	420-480	1.88
540	3.94	35.49	1.88	480-540	2.17
600	3.73	37.26	1.77	540-600	2.65
660	3.54	38.94	1.68	600-660	3.65
720	3.38	40.54	1.60	660-720	12.85
780	3.24	42.07	1.53	720-780	4.85
840	3.11	43.54	1.47	780-840	3.04
900	3.00	44.95	1.41	840-900	2.38
960	2.89	46.31	1.36	900-960	2.01
1020	2.80	47.63	1.32	960-1020	1.77
1080	2.72	48.90	1.28	1020-1080	1.60
1140	2.64	50.14	1.24	1080-1140	1.47
1200	2.57	51.34	1.20	1140-1200	1.36
1260	2.50	52.52	1.17	1200-1260	1.28
1320	2.44	53.66	1.14	1260-1320	1.20
1380	2.38	54.77	1.11	1320-1380	1.14
1440	2.33	55.86	1.09	1380-1440	1.09

Tabla 19. *Hietograma para TR 100 años.*

Método del Bloque Alterno			Periodo de Retorno $T_r = 50$ años		
Duración t (min)	I (mm/h)	Pp Ac. (mm)	Pp (mm)	Tiempo (min)	Pp alternada
60	16.79	16.79	16.79	0-60	1.46
120	11.57	23.14	6.35	60-120	1.53
180	9.30	27.91	4.77	120-180	1.62
240	7.97	31.88	3.97	180-240	1.72
300	7.07	35.35	3.47	240-300	1.85
360	6.41	38.46	3.11	300-360	2.00
420	5.90	41.30	2.84	360-420	2.20
480	5.49	43.93	2.63	420-480	2.46
540	5.15	46.39	2.46	480-540	2.84
600	4.87	48.71	2.32	540-600	3.47
660	4.63	50.91	2.20	600-660	4.77
720	4.42	53.00	2.09	660-720	16.79
780	4.23	54.99	2.00	720-780	6.35
840	4.07	56.91	1.92	780-840	3.97
900	3.92	58.76	1.85	840-900	3.11
960	3.78	60.54	1.78	900-960	2.63
1020	3.66	62.26	1.72	960-1020	2.32
1080	3.55	63.93	1.67	1020-1080	2.09
1140	3.45	65.54	1.62	1080-1140	1.92
1200	3.36	67.12	1.57	1140-1200	1.78
1260	3.27	68.65	1.53	1200-1260	1.67
1320	3.19	70.14	1.49	1260-1320	1.57
1380	3.11	71.60	1.46	1320-1380	1.49
1440	3.04	73.02	1.42	1380-1440	1.42

Tabla 20. Hietograma para TR 200 años.

Método del Bloque Alterno			Periodo de Retorno Tr = 50 años		
Duración t (min)	I (mm/h)	Pp Ac. (mm)	Pp (mm)	Tiempo (min)	Pp alternada
60	21.95	21.95	21.95	0-60	1.90
120	15.12	30.25	8.30	60-120	2.00
180	12.16	36.49	6.24	120-180	2.12
240	10.42	41.68	5.19	180-240	2.25
300	9.24	46.21	4.53	240-300	2.41
360	8.38	50.28	4.07	300-360	2.61
420	7.71	53.99	3.72	360-420	2.87
480	7.18	57.43	3.44	420-480	3.22
540	6.74	60.65	3.22	480-540	3.72
600	6.37	63.67	3.03	540-600	4.53
660	6.05	66.54	2.87	600-660	6.24
720	5.77	69.28	2.73	660-720	21.95
780	5.53	71.89	2.61	720-780	8.30
840	5.31	74.40	2.51	780-840	5.19
900	5.12	76.81	2.41	840-900	4.07
960	4.95	79.13	2.33	900-960	3.44
1020	4.79	81.38	2.25	960-1020	3.03
1080	4.64	83.56	2.18	1020-1080	2.73
1140	4.51	85.68	2.12	1080-1140	2.51
1200	4.39	87.74	2.06	1140-1200	2.33
1260	4.27	89.74	2.00	1200-1260	2.18
1320	4.17	91.69	1.95	1260-1320	2.06
1380	4.07	93.60	1.90	1320-1380	1.95
1440	3.98	95.46	1.86	1380-1440	1.86

#### 4.3.1.2.12. Caudales máximos con método HEC-HMS 4.3

Con el método Número de Curva se obtuvieron diferentes caudales que en forma metodológica se considera para 3 distintos periodos de retorno de 50, 100 y 200 años pues corresponden a los datos de

mayor posibilidad a riesgo para los fines del estudio, los cuales se detallan a continuación:

- Para un periodo de retorno de 50 años, se obtuvo un caudal máximo de diseño de 44.45 m<sup>3</sup>/s.
- Para un periodo de retorno de 100 años. se obtuvo un caudal máximo de diseño de 86.83 m<sup>3</sup>/s.
- Para un periodo de retorno de 200 años. se obtuvo un caudal máximo de diseño de 152.02 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.3.1.3. Procedimiento hidráulico

Se procedió a generar la geometría la cual consistió en ingresar el archivo en formato DEM y con la herramienta New Terrain Layer para generar el archivo terrain layer. Posteriormente, se insertó el archivo ortofoto con la herramienta Map Layers. Luego con la herramienta HEC-GEO RAS se generó la dirección de flujo o flowpaths. Así también, se configuró el enmallado con la herramienta 2D FlowArea. Después con la herramienta SA/2D Area BC Lines para los límites correspondientes en los márgenes aguas arriba y aguas abajo.



Figura 10. Configuración de Geometría en HEC-RAS 6.3.

Así también, se configuró mediante la interfaz RAS Mapper para la obtención de velocidades. La simulación se efectuó para diferentes periodos de retorno tales como 50,100 y 200 años.

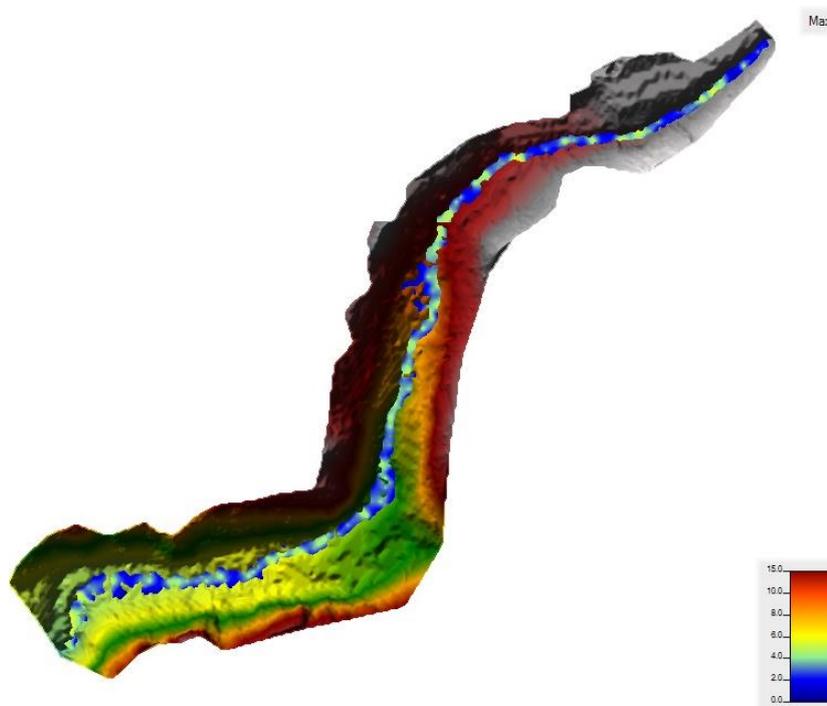


Figura 11. Generación de mapas de velocidades con HEC-RAS 6.3.

La simulación muestra el comportamiento de la velocidad sobre el modelo digital de elevación, se observa al flujo que va por el cauce del río según la pendiente irregular del terreno. Se consideró un tramo de 1 800 metros desde la entrada de flujo aguas arriba hasta la salida hacia aguas abajo.

#### 4.3.2. Estimación del tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos

Se configuró mediante la interfaz RAS Mapper para la obtención del mapa de tirantes hidráulicos. La simulación se efectuó para diferentes periodos de retorno, tales como 50,100 y 200 años.

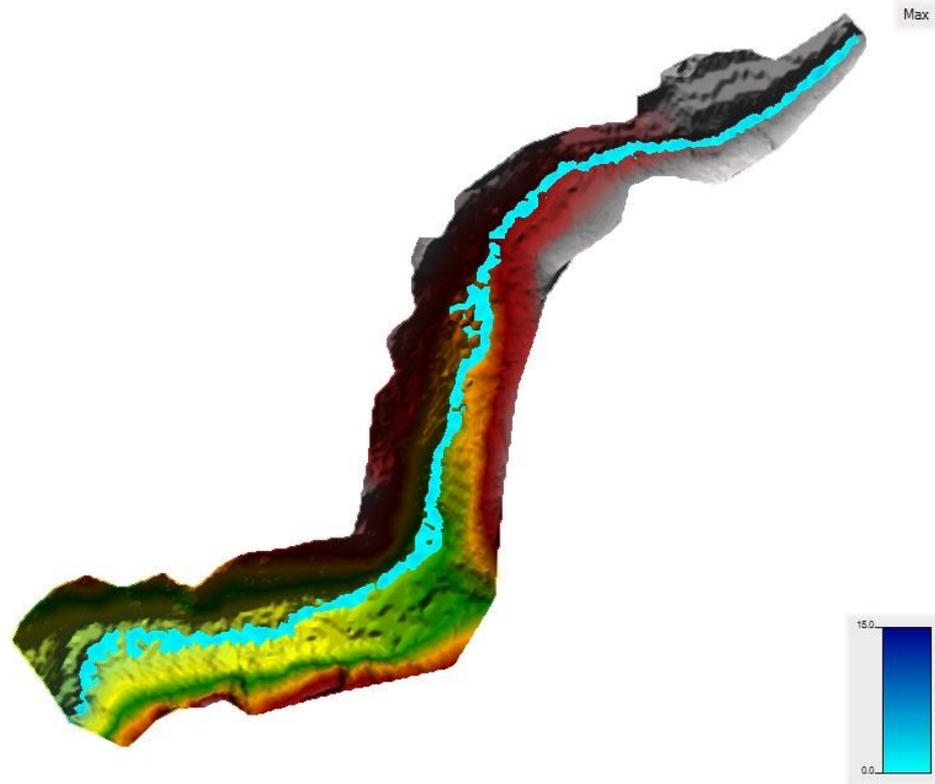


Figura 12. Generación de mapa de tirantes con HEC-RAS 6.3.

Para esta configuración se mantiene el mismo intervalo de tiempo de simulación para un flujo no permanente usando la herramienta Unsteady Flow Analysis; se tiene como criterio de 1 segundo para Computing Interval y 1 minuto para Mapping Out Interval, esta configuración corresponde para tener valores óptimos de simulación bidimensional.

#### 4.3.3. Análisis de la rugosidad de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos

En consideración a los textos citados en el marco teórico, se pueden establecer valores aproximados para el coeficiente de rugosidad según el tipo de superficie que presenta el tramo en estudio, como zona montañosa y de cultivo que para un estudio de modelamiento hidráulico es fundamental debido a que es un factor que modifica considerablemente los resultados.

No obstante, no se estima una configuración metodológica estándar para la calibración de las distintas rugosidades a lo largo del cauce, pues en escalas más pequeñas las porciones de terreno representan rugosidad no homogénea por lo que el coeficiente de Manning es en cierta forma es relativa al tipo de diseño o propósito de estudio. Para este estudio, se analizaron distintos valores obtenidos en campo para su posterior elección pertinente.

Así también, otro análisis se efectuó en la elección del coeficiente “n” de Manning obtenido con datos de los tamaños de los granos de un análisis granulométrico por tamizados de  $D_{30}$ ,  $D_{75}$ ,  $D_{90}$  (ASTM-D421) por el cual, se configura posteriormente con la siguiente expresión:

$$n = (K) * (dc)^{1/6} \quad (5)$$

Donde, K es un factor que está relacionado con expresiones empíricas de autores como Strickler, Meyer Peter Muller, también Laney y Carlson, con valores de 0.04, 0.038 y 0.026 respectivamente para cada autor. En efecto, se seleccionó el promedio de los distintos valores de “n” como coeficiente de rugosidad considerado para la configuración del modelamiento hidráulico en el programa HEC-RAS.

- 4.3.4. Determinación del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022

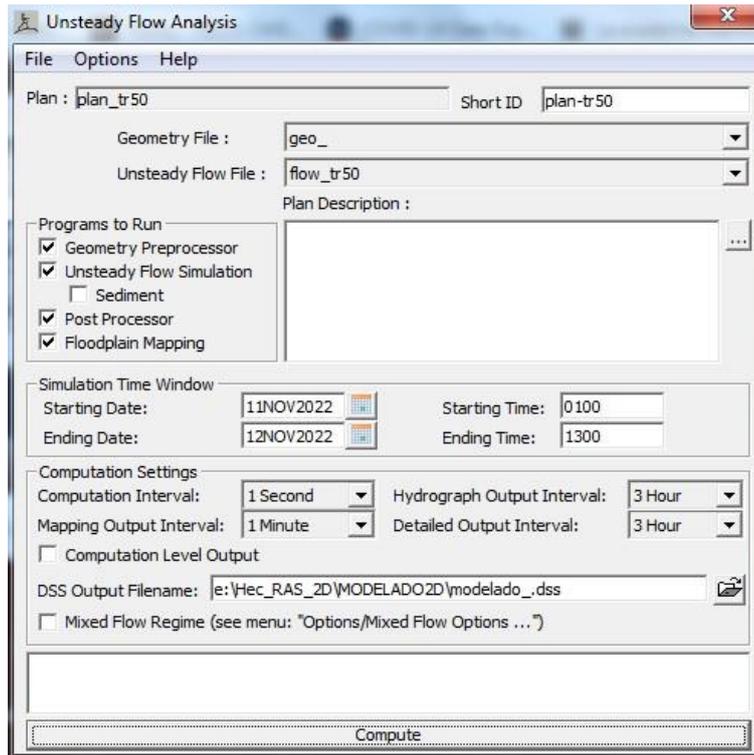


Figura 13. Configuración del análisis en flujo no permanente con HEC-RAS 6.

El ajuste se rige al tamaño de celda pues más amplio con menor tiempo de intervalo el programa tiene mejor margen para simular, lo cual aproxima a resultados coherentes al comportamiento del río. Para esta metodología, se tuvieron como datos de entrada la configuración de la geometría generada anteriormente y la configuración de los hidrogramas, así también como el coeficiente de rugosidad y las pendientes del tramo del río desde los BC Lines. Posteriormente se generó un mapa de número de Froude, el cual mostrará la relación de las fuerzas de inercia respecto a las fuerzas gravitatorias, y así obtener la simulación del comportamiento según su régimen del río chacchan en un tramo de 1 800 metros.

#### 4.4. Resultados de la investigación

##### 4.4.1. Resultados del cálculo de la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022

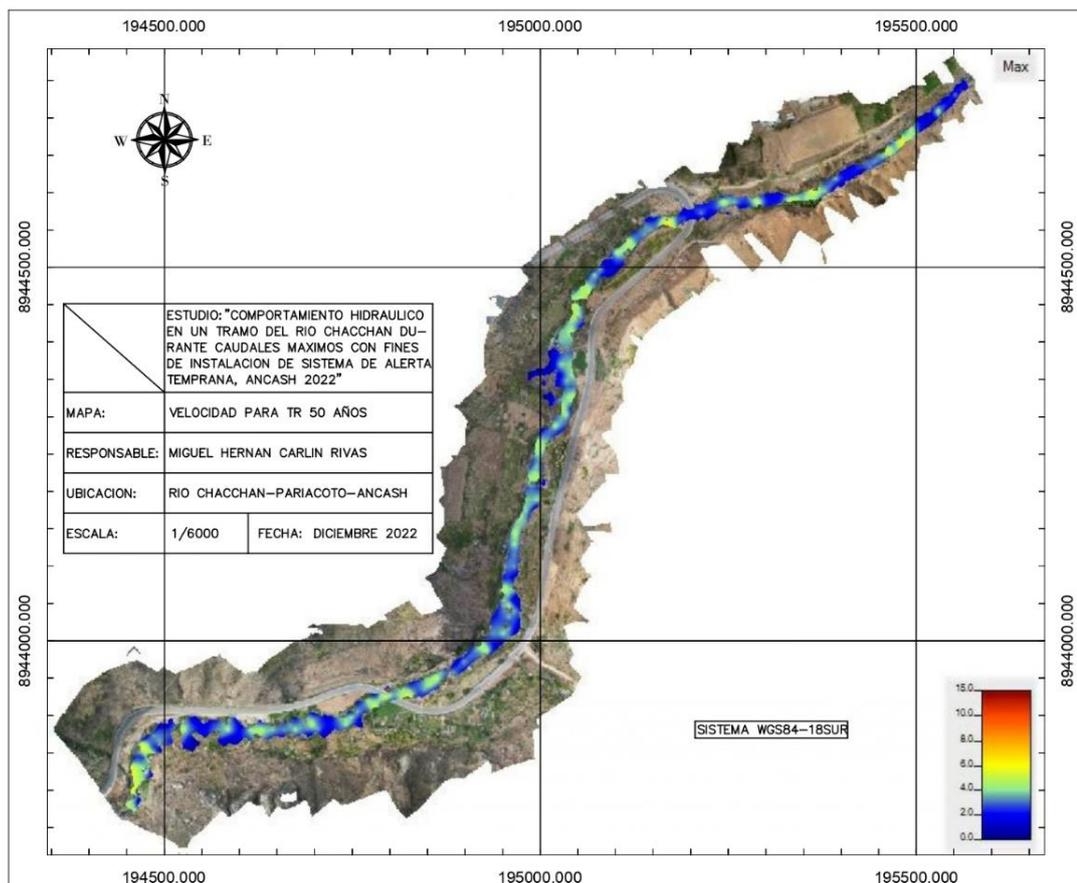


Figura 14. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 50 años.

#### Interpretación:

En la figura 14 se muestra que las velocidades del río Chacchan varían desde 0.83 m/s hasta 6.11 m/s y una velocidad frecuente o media de 2.25 m/s para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. La velocidad máxima en el tramo de pase aéreo es de 1.31 m/s y en el tramo de entrada a desarenador de 3.74 m/s. Las velocidades correspondientes para un caudal máximo de 44.45 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 50 años; valores superiores a esta tienden a causar más velocidad en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

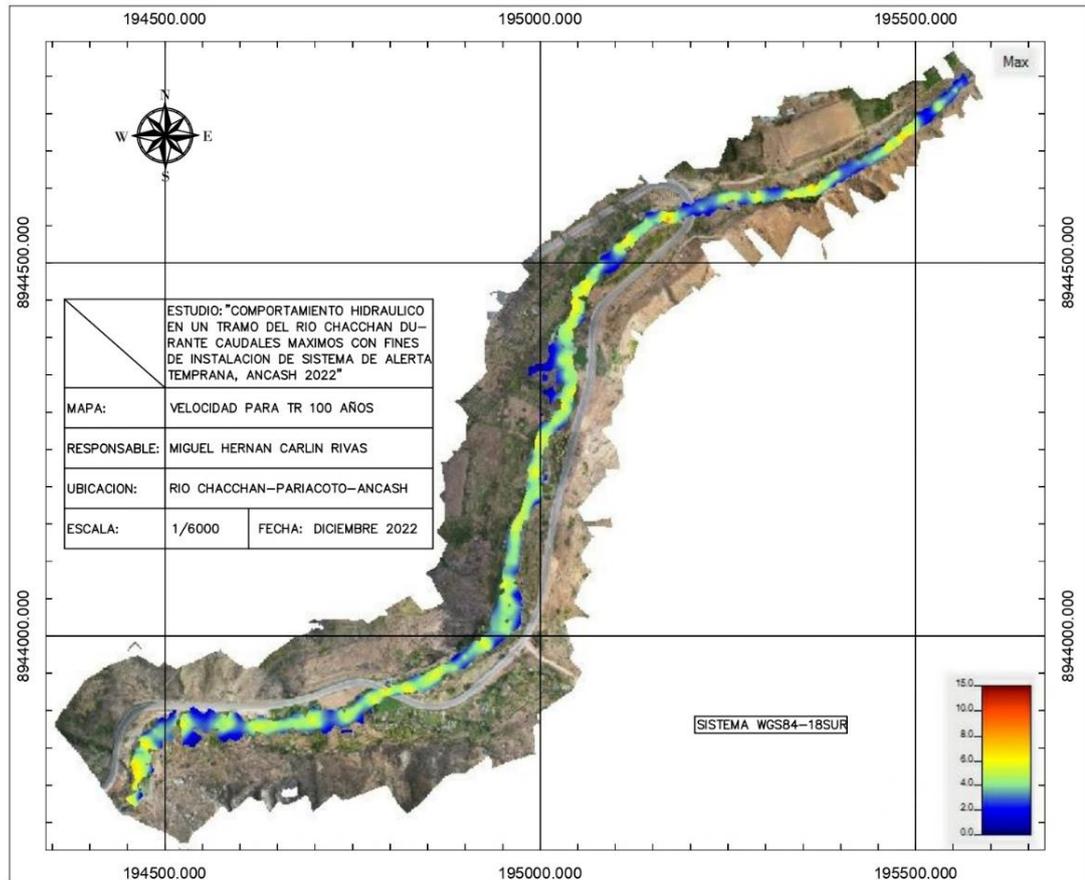


Figura 15. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 100 años.

#### Interpretación:

En la figura 15 se observa que las velocidades del río Chacchan varían desde 0.94 m/s hasta 7.47 m/s para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. La velocidad máxima en el tramo de pase aéreo es de 2.65 m/s y en el tramo de entrada a desarenador de 5.01 m/s. Las velocidades correspondientes para un caudal máximo de 86.83 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 100 años; valores superiores a esta tienden a causar más velocidad en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

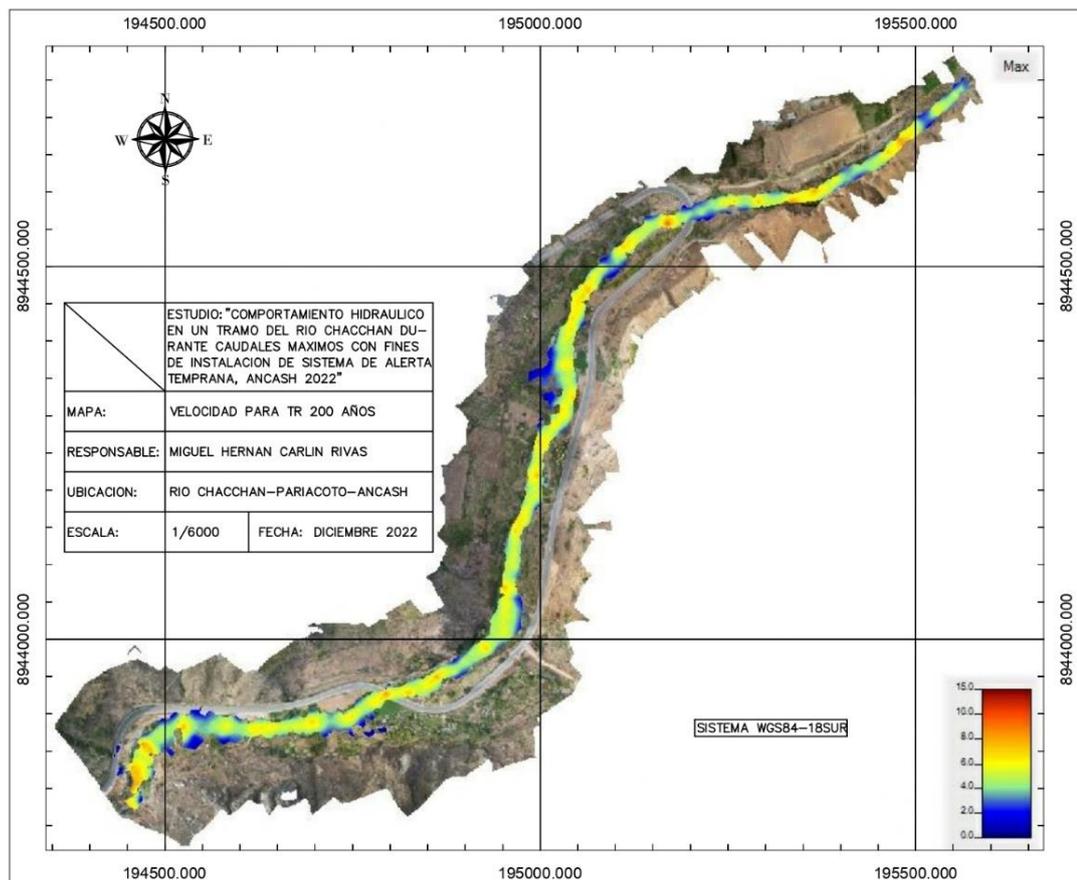


Figura 16. Mapa de velocidades para un periodo de retorno de 200 años.

#### Interpretación:

En la figura 16 se aprecia que las velocidades del río Chacchan varían desde 0.99 m/s hasta 8.58 m/s para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. La velocidad máxima en el tramo de pase aéreo es de 3.48 m/s y en el tramo de entrada a desarenador de 6.36 m/s. Las velocidades correspondientes para un caudal máximo de 152.02 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 200 años; valores superiores a esta tienden a causar más velocidad en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

- 4.4.2. Resultados de la estimación del tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022

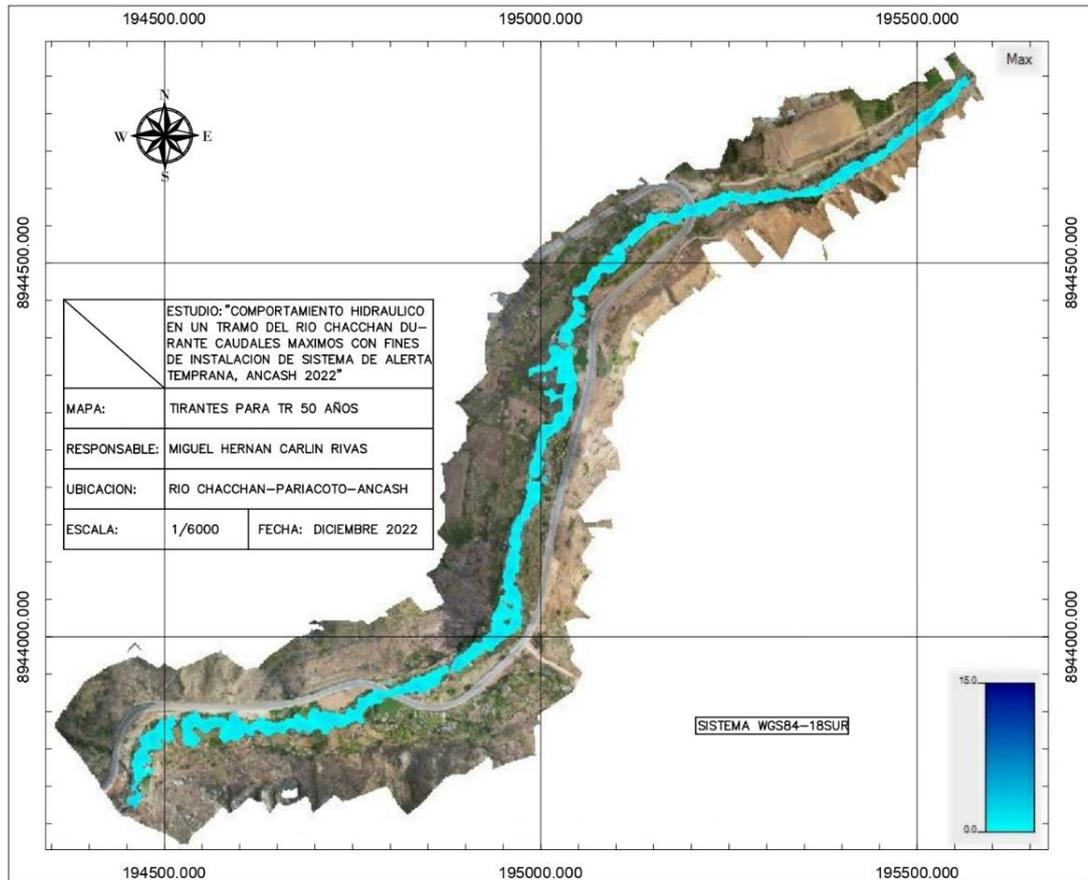


Figura 17. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 50 años.

Interpretación:

En la figura 17 se muestra que los tirantes hidráulicos del río Chacchan varían desde 0.14 m hasta 4.05 m y un tirante frecuente o medio de 1.15 m para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. El tirante máximo en el tramo de pase aéreo es de 1.25 m y en el tramo de entrada a desarenador de 1.73 m. Los tirantes correspondientes para un caudal máximo de 44.45 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 50 años; valores superiores a esta tienden a causar tirantes más altos en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

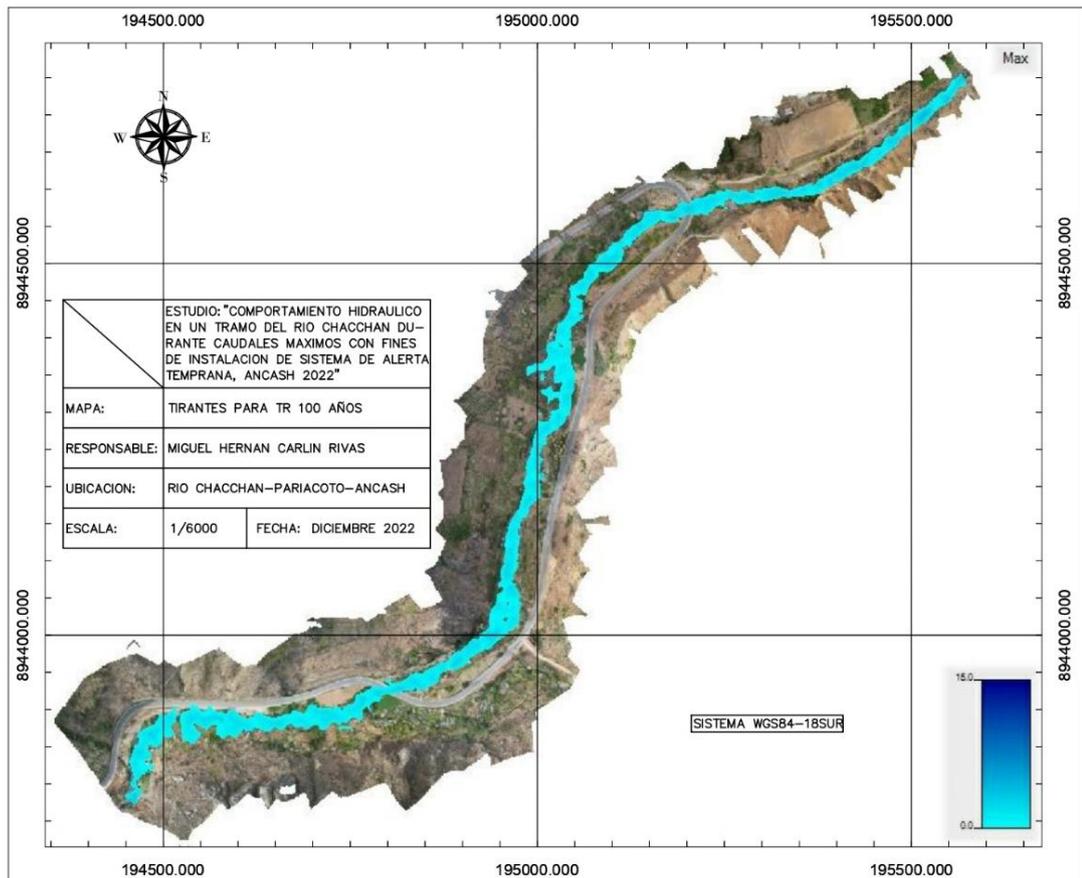


Figura 18. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 100 años.

#### Interpretación:

En la figura 18 se observa que los tirantes hidráulicos del río Chacchan varían desde 0.31 m hasta 4.43 m para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. El tirante máximo en el tramo de pase aéreo es de 1.69 m y en el tramo de entrada a desarenador de 1.97 m. Los tirantes correspondientes para un caudal máximo de 86.83 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 100 años; valores superiores a esta tienden a causar tirantes más altos en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

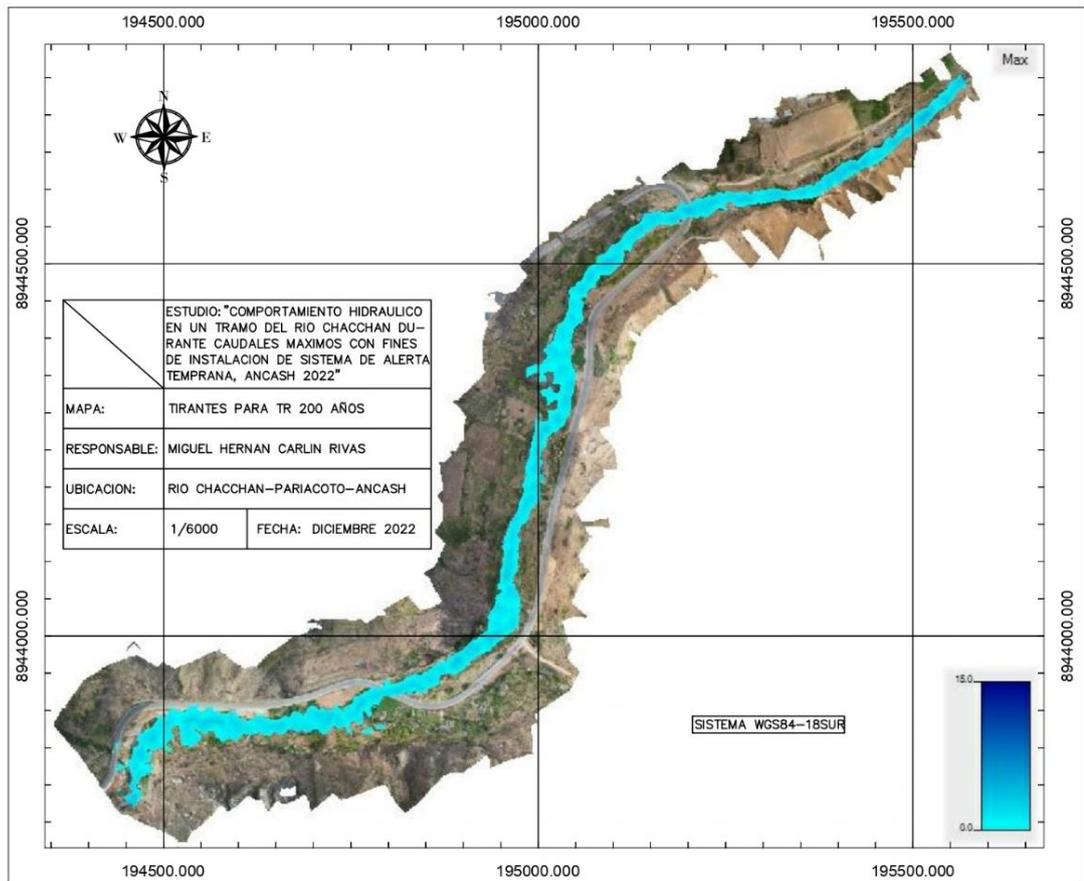


Figura 19. Mapa de tirantes para un periodo de retorno de 200 años.

#### Interpretación:

En la figura 19 se aprecia que los tirantes hidráulicos del río Chacchan varían desde 0.58 m hasta 4.84 m para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m. El tirante máximo en el tramo de pase aéreo es de 2.16 m y en el tramo de entrada a desarenador de 2.28 m. Los tirantes correspondientes para un caudal máximo de 152.02 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 200 años; valores superiores a esta tienden a causar tirantes más altos en los tramos del cauce suponiendo mayor daño en las zonas en riesgo.

#### 4.4.3. Resultados del análisis de la rugosidad de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales

La siguiente tabla muestra valores del coeficiente de rugosidad de Manning teniendo en cuenta los valores obtenidos en el análisis granulométrico.

Tabla 21. *Coefficiente de rugosidad "n".*

<b>Autor</b>	<b>K</b>	<b>Unidad dc</b>	<b>dc</b>	<b>DC</b>	<b>n</b>
Strickler (1923)	0.04	mm	d30	3.627	0.02418
Strickler (1923)	0.04	mm	d75	22.177	0.14785
Strickler (1923)	0.04	mm	d90	34.984	0.23323
Meyer Peter Muller (1948)	0.038	m	d30	0.004	0.00002
Meyer Peter Muller (1948)	0.038	m	d75	0.022	0.00014
Meyer Peter Muller (1948)	0.038	m	d90	0.035	0.00022
Lane Y Carlson (1953)	0.026	pulg	d30	0.143	0.00062
Lane Y Carlson (1953)	0.026	pulg	d75	0.873	0.00378
Lane Y Carlson (1953)	0.026	pulg	d90	1.377	0.00597
Promedio					0.04622

Interpretación:

En la tabla 21 se observa que los coeficientes de rugosidades del río Chacchan varían entre 0.00002 hasta 0.23323. Los valores inferiores de n tienden a variar el comportamiento hidráulico aumentando las velocidades, lo que podría simular mayores zonas de riesgo, para este estudio se seleccionó el valor promedio de n de 0.04622 para una prudente simulación con rugosidad constante en un tramo de cauce de 1 800 m.

- 4.4.4. Resultados de la determinación del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022

Fundamentación de elección de período de retorno de 50 años:

Se obtuvieron valores altos en zonas de estructuras existentes como en pase aéreo y en la entrada de un desarenador desde un periodo de retorno de 50 años, y que para los otros periodos de retorno no se aprecia nuevas

zonas en riesgo, por lo que se consideró para la determinación del comportamiento hidráulico y el análisis del tipo de flujo para la máxima avenida con periodo de retorno de 50 años.

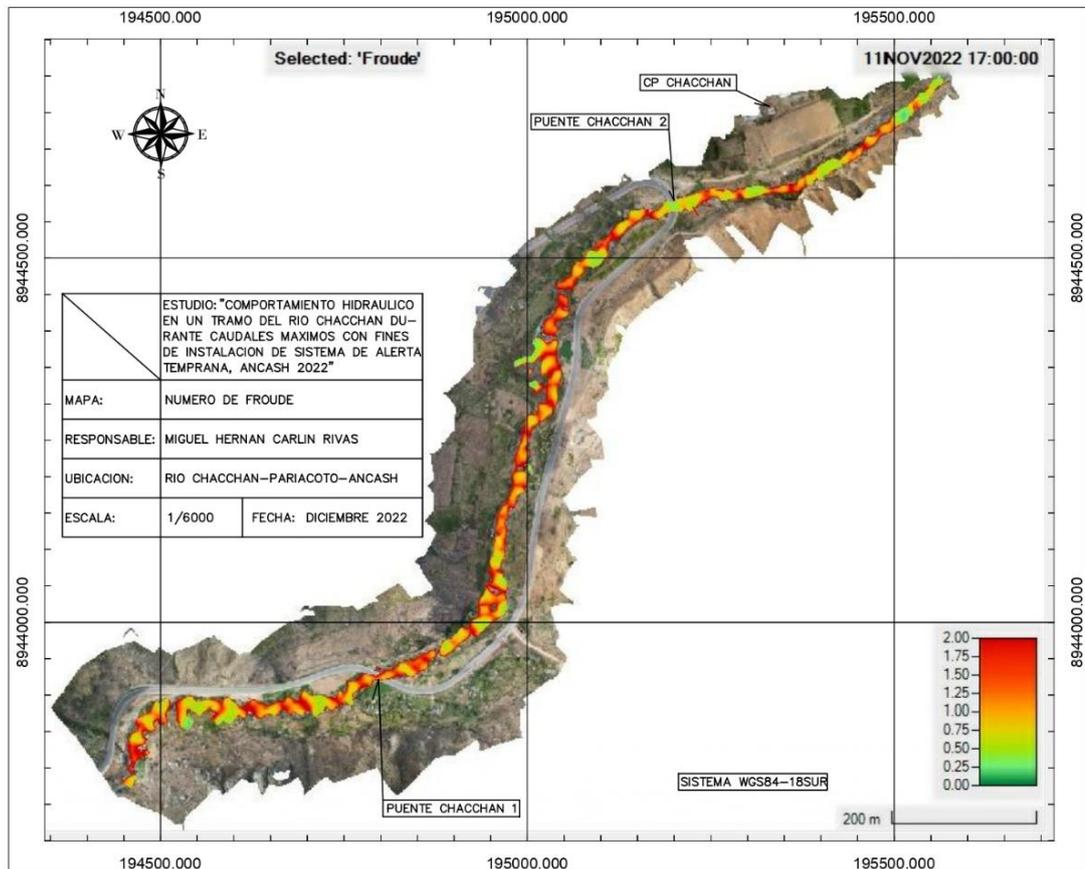


Figura 20. Mapa de número de Froude para un periodo de retorno de 50 años.

**Interpretación:**

En la figura 20 se observa que el número de Froude varía entre 0.90 y 3.50 y el valor más frecuente de 1.20 mostrando un comportamiento del río Chacchan en régimen predominante de flujo supercrítico con alteraciones y cambio de régimen a subcrítico en ciertas zonas, para un modelamiento en un tramo de cauce de 1 800 m correspondiente para un caudal máximo de 44.45 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 50 años.

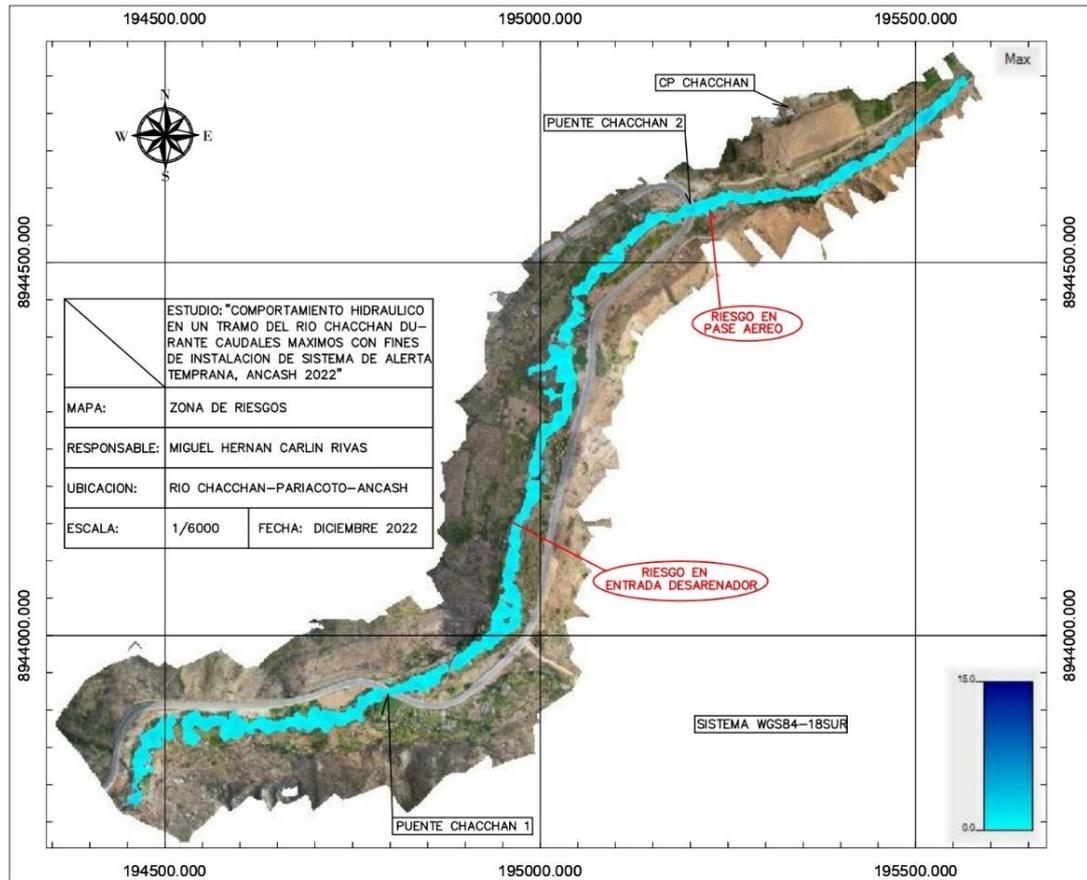


Figura 21. Mapa de riesgos para un periodo de retorno de 50 años.

#### Interpretación:

En la figura 21 se aprecia en un tramo de 1 800 m del río Chacchan un comportamiento perjudicial para las zonas en riesgo con valores de tirantes altos sobre zonas de estructuras existentes como en pase aéreo que se encuentra cercano aguas arriba del Puente Chacchan 2 y en la entrada de un desarenador ubicado aproximadamente a 300 metros aguas arriba del Puente Chacchan 1, ambas zonas identificadas para un periodo de retorno de 50 años.

Posteriormente, se obtuvieron valores observados tales como tirantes de 0.40 m y 0.20 m dando una diferencia de 70 % con los valores para un periodo de retorno de 50 años, siendo valores distantes a los modelados. No obstante, son aproximados en velocidad de 0.35 m/s con una diferencia de 42 %. Es pertinente señalar que la comparación que los valores observados en campo no corresponden a una máxima avenida debido a

que el río actualmente presenta bajos caudales. Para el propósito de este estudio, se identificaron dos zonas de riesgo tales como la estructura de un puente aéreo que lleva agua por el margen izquierdo del río Chacchan, y la de un desarenador muy próximo al cauce del río, ambas tienen sobre ellas tirantes que podrían socavar las estructuras en tiempos de máximas avenidas. También se observó que no se presentan daños en el Puente Chacchan 1 y el Puente Chacchan 2 con alturas de 6.7 m y 8.5 m respectivamente, pues ambas alturas superan los tirantes máximos. También se obtuvo el área máxima de inundación o desborde de río de 30610.7 m<sup>2</sup> para el periodo de retorno de 50 años, así también, se desborda 35 m en el margen derecho en el tramo de 282 aguas abajo del puente Chacchan 2. En un tramo simulado con una pendiente del río de 5.83 % aproximadamente.

Tabla 22. *Parámetros del comportamiento hidráulico para un periodo de retorno de 50 años.*

Tramo (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Y (m)	V (m/s)	n	F	Observación
1800	44.45	1.15	2.25	0.046	1.20	Flujo supercrítico

Interpretación:

En la tabla 22 se muestra que la velocidad frecuente o media de 2.25 m/s y un tirante frecuente de 1.15 m para una simulación con coeficiente de rugosidad n de 0.046 constante para tramo de cauce de 1 800 m del río Chacchan y un área de inundación de 30610.70 m<sup>2</sup> correspondiente para un caudal máximo de 44.45 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 50 años, que a su vez tiene generalmente un flujo supercrítico con número de Froude 1.20.

Además, se obtuvieron los datos de morfometría del río (tabla 8) la cual se abordó las siguientes características:

Se analizaron los parámetros de forma de la cuenca con el factor forma que tan cuadrada o alargada puede ser la cuenca y que según el valor  $K_f = 0.45$  siendo menor a 1 significa que la cuenca no es tan sujeta a

crecientes comparado a otra de la similar área y de un superior factor de forma. También, se tiene otro parámetro como el coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) donde se analizó la forma de la cuenca con la de una circunferencia y que como se tiene el valor adimensional  $K_c = 1.29$  que corresponde a la forma de oval redonda a oval oblonga y que según el valor que tiende a 1 indica mayor concentración de agua. También se obtuvo el rectángulo equivalente con una longitud  $L = 3.77$  km y otra longitud  $I = 23.61$  km, lo cual significa una geometría alargada representado en un rectángulo de igual área y perímetro al de la cuenca hidrográfica.

Además, el parámetro de la pendiente de la cuenca  $S_{cu} = 34.86$  % donde se entiende que al tener una pendiente alta la cuenca se tiene un mayor volumen de escurrimiento y lo que genera una mayor concentración de agua. Además, la pendiente del cauce  $S_{ca} = 10.66$  % con pendiente considerada baja por lo que representa una sinuosidad alta y que frecuentemente trae baja erosión.

Así también, la densidad de drenaje  $I_d = 0.63$  km/km<sup>2</sup> refleja la calidad de drenaje y para este caso se analizó que es mayor a 0.5 km/km<sup>2</sup> reflejando que se tiene un drenaje pobre en una cuenca con densidad considerando las trayectorias de los tributarios con respecto a la cuenca.

Por otro lado, en la figura 7 se mostró la curva hipsométrica una gráfica de alturas promedio respecto al área acumulada de las mimas, que en efecto se estimó una relación en base a su topografía con cuencas de edad joven y de considerable potencial erosivo y caracterizado de forma de drenaje dentrítico.

Según el estudio de mecánica de suelos, el lecho presenta principalmente gravas con partículas finas de granulometría bien definida; también, en la inspección de campo se observó que el río presenta un fondo uniforme con baja pendiente longitudinal, lo que genera que las velocidades sean bajas y que el transporte de los sólidos de fondo sea mínima y discontinua, y ocasionalmente los granos pequeños se desplacen en suspensión.

#### 4.5. Discusión de resultados

##### Discusión 1:

Las velocidades correspondientes para un caudal máximo de 44.45 m<sup>3</sup>/s en un periodo de retorno de 50 años en el río Chacchan varían desde 0.83 m/s hasta 6.11 m/s y una velocidad frecuente o media de 2.25 m/s para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m y otras velocidades de 1.31 m/s y 3.74 m/s en el tramo de pase aéreo y en el tramo de entrada a un desarenador respectivamente.

Muñoz y Quinde (9), citados como antecedente nacional, obtuvieron los resultados de una velocidad de 5 m/s en una quebrada con caudal pico de 99.7 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 20 años con dando como resultado zonas vulnerables debido a las altas velocidades y áreas en influencia. Así también, Córdova (12), citado como antecedente internacional, obtuvo los resultados de una velocidad de 2 m/s mientras que aguas abajo, en cauces estrechos, una velocidad de 4.5 m/s para un evento natural ocurrido en el 2017 del río de Piura que transportó un caudal límite instantáneo de 3 468 m<sup>3</sup>/s.

Como se muestra, los valores obtenidos para el cálculo de la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, son aproximados en las velocidades de las zonas de riesgo con la de los antecedentes, y que varían moderadamente para las velocidades máximas; en efecto el objetivo fue alcanzado.

##### Discusión 2:

Los tirantes hidráulicos del río Chacchan correspondientes a un periodo de retorno de 50 años varían desde 0.14 m. hasta 4.05 m y un tirante frecuente o medio de 1.15 m para una simulación de un tramo de cauce de 1 800 m y otras velocidades de 1.25 y 1.73 m en el tramo de pase aéreo y entrada a un desarenador respectivamente.

Al respecto, Tinoco (10), citado como antecedente nacional, obtuvo los resultados de tirantes para un tiempo de retorno de 5 años una profundidad de 2.35 m, luego para un tiempo de retorno de 200 años una profundidad de 4.16 m, lo que significó niveles de riesgo según la cantidad de viviendas en posible riesgo inundable dando como de riesgo muy alto valores de 8.2 % y 47.4 % para módulos de mercado e instalación deportiva respectivamente. Así también, Parthkumar (13), citado como

antecedente internacional, obtuvo los resultados de un rango de profundidades de 3.04 m para una descarga de 3850 m<sup>3</sup>/s y una profundidad de 7.7 m para una descarga de 16 700 m<sup>3</sup>/s.

Como se muestra, los valores obtenidos para la estimación del tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, son tirantes aproximados en zonas de riesgo con el antecedente nacional, y que también los tirantes del antecedente internacional son altos pero semejantes con los tirantes máximos para los periodos de retorno del estudio, sin embargo, para el tirante del 2011 se presenta una diferencia moderada por tener una descarga muy alta lo cual justifica el tirante; en efecto de la discusión en general, el objetivo fue alcanzado.

### Discusión 3:

Los coeficientes de rugosidades del río Chacchan varían entre 0.00002 hasta 0.23323. Los valores inferiores de “n” tienden a variar el comportamiento hidráulico aumentando las velocidades, lo que podría simular mayores zonas de riesgo, para este estudio se seleccionó el valor promedio de “n” de 0.04622 para una prudente simulación con rugosidad en un tramo de cauce de 1 800 m.

Al respecto, Palomino y Mauricio (8), citados como antecedente nacional, obtuvieron los resultados para un n de Manning de 0.12 para todo el tramo de 2.6 km desde aguas arriba del río Santa Eulalia y 0.016 en zonas urbanas obteniendo para un periodo de retorno de 50 años un área máxima de inundación de 179375 m<sup>2</sup> en la cual los valores n de Manning fueron factores significativos para los resultados de inundación. Así también, Dasallas *et al.* (16), citados como antecedente internacional, establecieron un coeficiente de rugosidad homogéneo de n = 0.06 según el cultivo y pasto cultivado para un área a simular de 3.93 km<sup>2</sup> alcanzando el 75 % de inundación a las 7 horas y el 97 % después de 16 horas, una simulación en 1D y 2D en HEC-RAS siendo el valor de rugosidad un factor muy influyente para los resultados.

Como se muestra, los valores obtenidos para el análisis de la rugosidad de cauce en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos, son poco semejantes pues se consideró la rugosidad para una zona urbana tal como indica el antecedente nacional, sin embargo para el tramo general se encuentra dentro del intervalo de rugosidad, luego para el internacional se obtuvo valores de rugosidad aproximado según el tipo de terreno lo cual también considera como un factor muy

influyentes para los resultados de riesgo de inundación, además que para este estudio las rugosidades varían según factores de distintas expresiones empíricas la cual se usó el promedio para todo un tramo homogéneo tal como en el antecedente internacional; en efecto el objetivo fue alcanzado.

#### Discusión 4:

El número de Froude varía entre 0.90 y 3.50 y el valor más frecuente de 1.20 mostrando un comportamiento del río Chacchan en régimen predominante de flujo supercrítico con cambio de régimen a subcrítico en ciertas zonas. Además, se identificó zonas en riesgo en estructuras como en pase aéreo y en la entrada de un desarenador y un área de inundación total de 30610.70 m<sup>2</sup>.

Al respecto, Orellana (7), citado como antecedente nacional, obtuvo los resultados del número de Froude menores a 1 siendo flujo subcrítico y con tirantes de 1.60 m, mayores a 1 y superiores de 4 m para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente, siendo peligrosos para las zonas identificadas alrededor del Hospital Regional. Así también, Shrestha *et al.* (14), citado como antecedente internacional, obtuvo los resultados que existe un comportamiento peligroso en Nepal y es altamente susceptible a un rango de riesgos hidrometeorológico y geofísicos según la topografía accidentada y empinada con clima extremo, además que un estudio en 2004 muestra un total de 132 km de caminos rurales y urbanos más 22 km de carreteras fueron inundadas.

Como se muestra, los valores obtenidos para la determinación del comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022, son valores de Froude aproximados con la del antecedente nacional, donde fluctúan valores subcrítico y crítico, también existe similitud del estudio respecto a la identificación de zonas en riesgo de acuerdo al modelamiento de ambos antecedentes, siendo considerable una faja marginal según la RJ N°332-2016-ANA y un Sistema de Alerta Temprana; en efecto el objetivo fue alcanzado.

## CONCLUSIONES

- Se calcularon satisfactoriamente las velocidades para un período de retorno de 50 años durante caudales máximos en un tramo de 1 800 m del río Chacchan con una variación de 0.83 m/s hasta 6.11 m/s y una velocidad frecuente o media de 2.25 m/s y otras velocidades de 1.31 m/s y 3.74 m/s en la zona de pase aéreo y en el tramo de entrada a un desarenador respectivamente.
- Se estimaron satisfactoriamente los tirantes hidráulicos del río Chacchan correspondientes a un periodo de retorno de 50 años durante caudales máximos en un tramo de 1 800 m del río Chacchan con una variación de 0.14 m hasta 4.05 m y un tirante frecuente de 1.15 m y otras velocidades de 1.25 y 1.73 m en la zona de pase aéreo y entrada a un desarenador respectivamente.
- En base al resultado de campo, se analizaron los coeficientes de rugosidades del río Chacchan con variaciones entre 0.00002 hasta 0.23323. Además, se observó que los valores inferiores de  $n$  tienden a variar el comportamiento hidráulico aumentando las velocidades, lo que podría simular mayores zonas de riesgo y que para este estudio se seleccionó el valor promedio de  $n$  de 0.04622 para una prudente simulación con rugosidad constante en un tramo de cauce de 1 800 m.
- Con el modelo de HEC-RAS se logró obtener el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan basado en el número de Froude con una variación entre 0.90 y 3.50, y un valor frecuente de 1.20 mostrando un comportamiento predominante en régimen de flujo supercrítico con cambio de régimen a subcrítico en pocas zonas. Además, se identificaron zonas en riesgo en estructuras como en pase aéreo cercanas a la progresiva 0+395 km, luego otra en la entrada de un desarenador cercano a la progresiva 0+983 km.

## RECOMENDACIONES

- Para una estimación más real de las velocidades, se recomienda tener una topografía mucho más robusta con la implementación de un dron topográfico para mejorar las pendientes y superficie con una nube de puntos densa la cual es una tecnología muy apropiada para representar el MDE y que puedan influir adecuadamente en la obtención de velocidades más precisas en una modelación en 2D.
- Para una estimación más prolija, se recomienda tener información de precipitaciones actualizadas y un mínimo de longitud de registro de 50 años para obtener resultados coherentes en tirantes hidráulicos, además de conservar el criterio de falibilidad constante a los registros históricos que son tratados estadísticamente.
- Para una estimación más adecuada de rugosidad se debe seleccionar considerando el criterio de referencias de otros autores y estudios, también es oportuna la recomendación de realizar más estudios de análisis granulométricos para obtener resultados variados para todo el tramo y se pueda obtener un valor promedio aceptable dentro de los rangos considerados.
- Se recomienda tener un plan SAT y de defensa ribereña en la zona de estructuras como el pase aéreo y en la entrada de un desarenador con el fin de evitar daños perjudiciales y evitar el desabastecimiento del recurso hídrico captado a través de las estructuras ante la máxima avenidas. Medidas no estructurales: a) coordinación con población y autoridades públicas, b) sensibilización en gestión de riesgos, c) selección de responsables para la sensibilización en gestión de riesgos, d) capacitación en SAT, e) funcionalidad en monitoreo y vigilancia SAT, y f) simulacro. Medidas estructurales: se recomienda construir muro con gaviones de 20 m en el margen izquierdo en zona del puente de pase aéreo y en otro tramo de 70 m en el margen derecho en zona del desarenador (ver Anexo 5. Medidas remediales: medidas estructurales y no estructurales).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PRIVATE INVESTMENT FOR ENHANCED RESILIENCE PROGRAM [En línea]. Inundaciones, deslizamientos y huaycos, 2019. Disponible en: <https://winrock.org/wp-content/uploads/2019/10/20190909-PIER-Inundaciones-deslizamientos-y-huaycos.pdf>.
- (2) HIGHLAND, L. y BOBROWSKY, P. *Manual de derrumbes: una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Estados Unidos: Servicio Geológico de los EE.UU, 2008.
- (3) DEPARTAMENTO DE DESARROLLO REGIONAL Y MEDIO AMBIENTE. *Desastres, Planificación y Desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños*. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos, 1991.
- (4) SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. *El fenómeno El Niño en el Perú*. Lima: SENAMHI, 2014.
- (5) VILLÓN, M. *Hidrología*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2004.
- (6) LAWRENCE, S. *Fluvial hydraulics*. Inglaterra: Oxford University Press, 2009. ISBN: 978-0195172867.
- (7) ORELLANA, R. Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021.
- (8) PALOMINO, V. y MAURICIO, L. Modelamiento hidrológico e hidráulico para un sistema de alerta temprana en la quebrada Cashahuacra, distrito de Santa Eulalia. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2019.
- (9) MUÑOZ, H. y QUINDE, F. Modelamiento hidrológico e hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, 2021.
- (10) TINOCO, T. Modelamiento del riesgo de inundación por la ocurrencia de descargas máximas del río Santa, sector Challhua, Huaraz-Ancash. *Aporte Santiaguino*, 2019, 12(2), 214-227 pp. <https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n2.643>.
- (11) ARRIOLA, G., y otros. Evaluación del riesgo de inundación empleando un Sistema de Información Geográfica y modelamiento hidráulico aplicados al río La Leche Lambayeque. *Epistemia*, 2022, 6(1), 60-73 pp. <https://doi.org/10.26495/re.v6i1.2132>.

- (12) CÓRDOVA, Y. Análisis del comportamiento hidráulico - sedimentológico del río Piura, tramo presa Los Ejidos sector Cordillera (Perú). Problemática actual y propuestas de solución. Tesis de Máster (Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente). España: Universitat Politècnica de València, 2020.
- (13) PARTHKUMAR, M. Evaluating changes in terrestrial hydrological components due to climate change in the Chesapeake Bay watershed. Tesis (Master of Science in Biological Systems Engineering). Estados Unidos: Virginia Tech, 2020.
- (14) SHRESTHA, B., RAI, R. y MARASINI, S. Review of flood hazards studies in Nepal. *The Geographic Base*, 2020, 7. DOI:10.3126/tgb.v7i0.34266.
- (15) MUÑOZ, S., TORRES, L. y NAVARRO, J. Revisión sistemática de las metodologías para tomar acciones que minimizan los efectos negativos ocasionados por las máximas avenidas de los ríos. *La Técnica*, 2021, (25), 88-102 pp. ISSN: 2477-8982.
- (16) DASALLAS, L., KIM, Y. y AN, K. Case study of HEC-RAS 1D–2D coupling simulation: 2002 Baeksan flood event in Korea. *Water*, 2019, 11(10). <https://doi.org/10.3390/w11102048>.
- (17) LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULUS, J. *Hidrología para Ingenieros*. Colombia: McGraw-Hill, 1997. ISBN: 0-07-090914-8.
- (18) CHANG, M. *Forest hydrology: An introduction to water and forests*. CRC Press, 2013. ISBN: 978-1-4665-8667-3.
- (19) CHOW, V., MAIDMENT, D. y MAYS, L. *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill, 1994. ISBN: 958-600-171-7.
- (20) APARICIO, F. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: LIMUSA, 1992. ISBN: 968-18-3014-8.
- (21) CAMPOS, D. *Procesos del ciclo hidrológico*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1998. ISBN: 968-6194-44-4.
- (22) VARGAS, B., y otros. *Determinación de zonas inundables en Centros Poblados cercanos a cauces naturales*. Colombia: SENA, 2019.
- (23) BRUNNER, G. *HEC-RAS 2D User's Manual*. 6.3. 2023.
- (24) ESLAMIAN, S. *Handbook of engineering hydrology*. CRC Press, 2014. ISBN: 9781466552418.
- (25) DAVIE, T. *Fundamentals of hydrology*. Estados Unidos: Routledge, 2008. ISBN: 978-0415399876.
- (26) VIEUX, B. *Distributed hydrologic modeling using GIS*. Water Science and Technology Library, 2016. ISBN: 978-94-024-0928-4.

- (27) DEPEWEG, H. y MÉNDEZ, H. *A new approach to sediment transport in the design and operation of irrigation canals*. CRC Press, 2007. ISBN: 9780415430654.
- (28) SENE, K. *Hydrometeorology*. United Kingdom: Springer Dordrecht, 2010. ISBN: 978-94-007-9068-1.
- (29) GARDE, R. *River morphology*. New Delhi: New Age International Publishers, 2006. ISBN: 978-81-224-2841-4.
- (30) ZSCHAU, J. y KÜPPERS, A. *Early warning systems for natural disaster reduction*. Springer-Verlag Berlin, 2003. ISBN: 978-3-642-55903-7.
- (31) CABEZAS, E., ANDRADE, D. y TORRES, J. *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Ecuador: ESPE, 2018. ISBN: 978-9942-765-44-4.
- (32) GONZALES, A., y otros. *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2011. ISBN: 978-612-46019-0-3.
- (33) ARIAS, F. *El proyecto de Investigación*. Caracas: EPISTEME, 2012. ISBN: 980-07-8529-9.
- (34) GARCÉS, H. *Investigación científica*. Ecuador: Adya-Yala, 2000. ISBN 9978-04-641-0.
- (35) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- (36) ALFARO, C. Metodología de investigación científica aplicado a la ingeniería. Informe final de proyecto de investigación. Perú: Universidad Nacional del Callao, 2012.
- (37) CHAVES-BARBOZA, E. y RODRÍGUEZ-MIRANDA, L. Análisis de confiabilidad y validez de un cuestionario sobre entornos personales de aprendizaje (PLE). *Ensayos Pedagógicos*, 2018, 13(1), 71-106 pp. ISSN: 1659-0104.
- (38) RUIZ-BOLIVAR, C. *Instrumentos y técnicas de investigación educativa*. Estados Unidos: DANAGA, 2013.

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Matriz de consistencia.

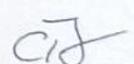
**Título de la investigación:** “Comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos con fines de instalación de Sistema de Alerta Temprana, Ancash 2022”.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicador	Método
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cuál es el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> ¿Cuál es la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022?</p> <p>¿Cuánto es el tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022?</p> <p>¿Cuál es la rugosidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar el comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> Calcular la magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022.</p> <p>Estimar el tirante hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022</p> <p>Analizar la rugosidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> El comportamiento hidráulico en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana es crítico Ancash 2022.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICOS</b> La magnitud de velocidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.</p> <p>La magnitud del tirante en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.</p> <p>La magnitud de rugosidad en un tramo del río Chacchan durante caudales máximos para implementar un sistema de alerta temprana Ancash 2022 varía moderadamente.</p>	<p>V1: Caudales máximos</p> <p>V2: Comportamiento hidráulico.</p>	<p>D1: Precipitación máxima.</p> <p>D2: Área tributaria.</p> <p>D3: Periodo de retorno.</p> <p>D1: Velocidad.</p> <p>D2: Tirante.</p> <p>D3: Rugosidad</p>	<p>I1:0.1 a 0.5 mm I2:0.5 a 1 mm I3:5 a 125 mm</p> <p>I1:25 a 250 km<sup>2</sup> I2:250 a 500 km<sup>2</sup> I3:2500 a 5000 km<sup>2</sup></p> <p>I1:50 años I2:100 años I3:200 años</p> <p>I1:0.5 a 0.8 m/s I2: 0.8 a 1 m/s I3:1.2 a 10.5 m/s</p> <p>I1:0.2a 0.4 m I2:0.4 a 1 m I3:1 a 4.1 m</p> <p>I1: 0.025 a 0.035 I2: 0.035 a 0.07 I3: 0.035 a 0.1</p>	<p><b>Método:</b> Científico.</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Básico.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Cuasi experimental.</p> <p><b>Población:</b> Este es un grupo infinito o finito de los componentes con similares cualidades para quienes se les extenderá las conclusiones del estudio (33 pág. 81).</p> <p><b>Muestra:</b> Se refiere a la porción del universo que se encuentra figurados los componentes de cada estrato (34 pág. 89).</p> <p><b>Muestreo:</b> No probabilístico (35 pág. 131).</p> <p><b>Instrumento:</b> Basa en documentar la información que se obtiene en los instrumentos denominados fichas (36 pág. 66).</p>

Anexo 2. Ficha de recopilación de datos.

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA,  
 AUTOR: BACH. MIGUEL HERNAN CARLIN RIVAS

						EXPERTO
<b>I.- INFORMACION GENERAL:</b>						/
UBICACIÓN: RÍO CHACCHAN - REF. CERCA A CENTRO POBLADO CHACCHAN						
DISTRITO: PARIACOTO		ALTITUD: 2241 m s.n.m.				
PROVINCIA: HUARAS		LATITUD: 9°32'11.09"S				
REGIÓN: ANCASH		LONGITUD: 77°46'31.70"O				
<b>II.- VELOCIDAD</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
0.5 A 0.8	m/s	0.8 A 1.0	m/s	1.2 A 10.5	m/s	
<b>III.- TIRANTE</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
0.2 A 0.4	m	0.4 A 1.0	m	1.0 A 4.1	m	
<b>IV.- RUGOSIDAD</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
0.025 A 0.035	Adimensional	0.035 A 0.07	Adimensional	0.035 A 0.10	Adimensional	
<b>IV.- PRECIPITACION MAXIMA</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
0.1 A 0.5	mm	0.5 A 1.0	mm	5.0 A 125.0	mm	
<b>VI.- AREA TRIBUTARIA</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
25 A 250	Km2	250 A 500	Km2	2500 A 5000	Km2	
<b>VII.- PERIODO DE RETORNO</b>						/
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	
50	años	100	años	200	años	
APELLIDOS Y NOMBRES: Peralta Ruiz Carlos Enrique						
PROFESIÓN: ING. CIVIL						
REGISTRO CIP Nro: 39569						
EMAIL: cperaltar@hotmail.com						
TELÉFONO: 920069138						
						 <b>CARLOS E. PERALTA RUIZ</b> ING. CIVIL - CIP 39569 MAESTRIA EN INGENIERIA HIDRAULICA UNESCO - INE, HOLANDA

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

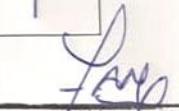
PROYECTO: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA,  
 AUTOR: BACH. MIGUEL HERNAN CARLIN RIVAS

							EXPERTO
<b>I.- INFORMACION GENERAL:</b>							1
UBICACIÓN: RÍO CHACCHAN - REF. CERCA A CENTRO POBLADO CHACCHAN							
DISTRITO: PARIACOTO				ALTITUD: 2241 m.s.n.m.			
PROVINCIA: HUARAS				LATITUD: 9°32'11.09"S			
REGIÓN: ANCASH				LONGITUD: 77°46'31.70"O			
<b>II.- VELOCIDAD</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
0.5 A 0.8		m/s	0.8 A 1.0		m/s	1.2 A 10.5	m/s
<b>III.- TIRANTE</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
0.2 A 0.4		m	0.4 A 1.0		m	1.0 A 4.1	m
<b>IV.- RUGOSIDAD</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
0.025 A 0.035		Adimensional	0.035 A 0.07		Adimensional	0.035 A 0.10	Adimensional
<b>IV.- PRECIPITACION MAXIMA</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
0.1 A 0.5		mm	0.5 A 1.0		mm	5.0 A 125.0	mm
<b>VI.- AREA TRIBUTARIA</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
25 A 250		Km2	250 A 500		Km2	2500 A 5000	Km2
<b>VII.- PERIODO DE RETORNO</b>							1
Indicador 1		Unidad:	Indicador 2:		Unidad:	Indicador 3:	Unidad:
50 años			100 años			200 años	
APELLIDOS Y NOMBRES: CORDOVA GONZALES VICTOR FRANCISCO							
PROFESIÓN: INGENIERO MECÁNICO DE FLUIDOS							
REGISTRO CIP Nro: 66569							
EMAIL: VFCC@HOTMAIL.COM							
TELÉFONO: 915199789							

  
 VICTOR FRANCISCO CORDOVA GONZALES  
 INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS  
 CIP. N° 66569

FICHA DE RECOPIACIÓN DE DATOS

PROYECTO: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA,  
 AUTOR: BACH. MIGÜEL HERNAN CARLIN RIVAS

						EXPERTO
<b>I.- INFORMACION GENERAL:</b>						
UBICACIÓN:	RÍO CHACCHAN - REF. CERCA A CENTRO POBLADO CHACCHAN					
DISTRITO:	PARIACOTO		ALTITUD:	2241 m.s.n.m.		1
PROVINCIA:	HUARAS		LATITUD:	9°32'11.09"S		
REGIÓN:	ANCASH		LONGITUD:	77°46'31.70"O		
<b>II.- VELOCIDAD</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
0.5 A 0.8	m/s	0.8 A 1.0	m/s	1.2 A 10.5	m/s	
<b>III.- TIRANTE</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
0.2 A 0.4	m	0.4 A 1.0	m	1.0 A 4.1	m	
<b>IV.- RUGOSIDAD</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
0.025 A 0.035	Adimensional	0.035 A 0.07	Adimensional	0.035 A 0.10	Adimensional	
<b>V.- PRECIPITACION MAXIMA</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
0.1 A 0.5	mm	0.5 A 1.0	mm	5.0 A 125.0	mm	
<b>VI.- AREA TRIBUTARIA</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
25 A 250	Km2	250 A 500	Km2	2500 A 5000	Km2	
<b>VII.- PERIODO DE RETORNO</b>						
Indicador 1	Unidad:	Indicador 2:	Unidad:	Indicador 3:	Unidad:	1
	50 años		100 años		200 años	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Alva Meza Fernando Aldair					 <b>Fernando Aldair Alva Mez</b> INGENIERO CIVIL CIP N° 262467
PROFESIÓN:	Ingeniero Civil					
REGISTRO CIP Nro:	262467					
EMAIL:	fernando_alva-2807@hotmail.com					
TELÉFONO:	947869595					

### Anexo 3. Ensayos de laboratorio de suelos.



## INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

**Código Ejecutor Obras: 12776**

**R.U.C. 20445586537**

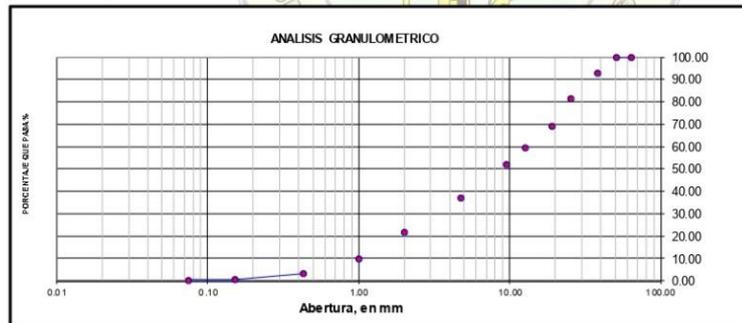
Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General - Prestación de Servicios Generales - Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general - Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad

<b>PROYECTO</b>	: ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO PARA PROYECTO DE TESIS		
<b>SOLICITA</b>	: MIGUEL HERNAN CARLIN RIVAS		
<b>DISTRITO</b>	: PARIACOTO	<b>PROVINCIA</b>	: HUARAZ
<b>CALICATA</b>	: C-1	<b>MUESTRA</b>	: M-F.
<b>FECHA</b>	: DICIEMBRE 2022	<b>NAPA FREATICA</b>	: N.P.
<b>UBICACIÓN</b>	: CENTRO POBLADO DE CHACCHAN - PARIACOTO - HUARAZ - ANCASH		
		<b>DEPARTAMENTO:</b>	ANCASH.
		<b>ESPESOR DE ESTRATO:</b>	1.20 m.
		<b>PROFUNDIDAD DE CALICATA:</b>	1.50 m.

### RESULTADOS DE ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

#### 1. ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM - D421)

Peso Inicial Seco, [gr]	1562.500				
Peso Final Seco, [gr]	1556.200				
Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% RETENIDO	% Retenido Acumulado	% pasa
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	111.00	7.10	7.10	92.90
1"	25.400	175.80	11.25	18.36	81.64
3/4"	19.050	196.50	12.58	30.93	69.07
1/2"	12.500	147.70	9.45	40.38	59.62
3/8"	9.500	113.20	7.24	47.63	52.37
Nº 4	4.750	233.90	14.97	62.60	37.40
Nº 10	2.000	243.80	15.60	78.20	21.80
Nº 20	1.000	181.30	11.60	89.80	10.20
Nº 40	0.425	107.80	6.90	96.70	3.30
Nº 100	0.150	39.50	2.53	99.23	0.77
Nº 200	0.074	5.70	0.36	99.60	0.40
< Nº 200	---	6.30	0.40	100.00	0.00



Grava (%) = 62.60    Arena (%) = 37.00    Finos (%) = 0.40

$D_{10} = 1.00$      $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 12.50$      $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 0.77$   
 $D_{30} = 3.10$      $C_u =$  Coeficiente de Uniformidad     $C_c =$  Coeficiente de Curvatura  
 $D_{60} = 12.50$

SISTEMA	CLASIFICACION	DESCRIPCION
SUCS	GP	GRAVAS MAL GRADADAS
AASHTO	A-1-a (0)	PRINCIPALMENTE GRAVAS CON PARTICULAS FINAS DE GRANULOMETRIA BIEN DEFINIDA



**POL RAIN AGUILAR OLGUIN**  
ING. CIVIL - CIP. N° 81029  
CONSULTOR - REC. C4009



# INGEOTECNIA CONSULTORES & EJECUTORES S.A.C.

Código Ejecutor Obras: 12776

R.U.C. 20445586537

Ejecución de Obras Civiles, Metal Mecánicas, Hidráulicas, viales, portuarias y todo tipo de construcciones afines.  
Alquiler y/o Venta de Bienes en General - Prestación de Servicios Generales - Asesoría y Consultoría de obras.  
Suministro de Maquinaria, Equipos, Herramientas y Materiales en general - Laboratorio de Ensayos de Control de Calidad

## CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO

PROYECTO	: COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN UN TRAMO DEL RIO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACION DEL SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA - ANCASH 2022
UBICACIÓN	: DISTRITO PARIACOTO - PROVINCIA HUARAZ - REGION ANCASH
FECHA	: DICIEMBRE 2022
CALICATA	: C-1
MUESTRA	: M-F
NAPA FREÁTICA	: NO PRESENTA

### CALICATA N° 01

$$Cr = (Y_{dnat} - Y_{dmin}) / (Y_{dmax} - Y_{dmin}) \times (Y_{dmax} / Y_{dnat}) \times 100$$

$$Y_{dnat} = 1.89 \text{ gr/cm}^3$$

$$Y_{dmin} = 1.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$Y_{dmax} = 2.04 \text{ gr/cm}^3$$

$$Cr = 52.30 \%$$

$$\varnothing = 25 + 0.15 Cr$$

$$\varnothing = 32.85$$

$$q_{ad} = 1/F.S(\gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_y)$$

q<sub>ad</sub> = Capacidad admisible de carga límite en Kg/cm<sup>2</sup>

γ = Peso volumétrico del suelo en Kg/cm<sup>3</sup>

D<sub>f</sub> = Profundidad de desplante de la cimentación en centímetros (mínimo).

B = Ancho de la zapata cuadrada, o dimensión menor de la zapata rectangular en centímetros (mínimo).

N'<sub>q</sub> = Coeficiente de capacidad de carga relativo a la sobrecarga, por corte local

N'<sub>y</sub> = Coeficiente de capacidad de carga relativo al peso volumétrico del suelo, por corte local

F.S = Factor de Seguridad

### DATOS:

$$\gamma = 1.89 \text{ gr/cm}^3$$

$$D_f = 150 \text{ cm.}$$

$$B = 150 \text{ cm.}$$

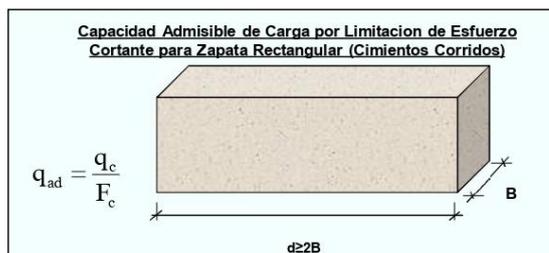
$$N'_q = 10.56$$

$$N'_y = 6.19$$

$$N'_c = 22.20$$

$$c = 0.0150 \text{ kg/cm}^2$$

$$F.S = 3$$



$$q_{ad} = 1/F.S(c \cdot N'_c + \gamma \cdot D_f \cdot N'_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N'_y)$$

$$q_{ad} = 1.401 \text{ kg/cm}^2$$



**POL RAIN AGUILAR OLGUIN**  
ING. CIVIL - CIP. N° 81025  
CONSULTOR - REG. C4009

**Anexo 4.** Memoria de cálculo.

Información histórica de precipitaciones de la estación Chacchan:

Años	Meses de Ppmáx mensuales y anuales Estación Chacchan											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1965	1.60	4.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00
1966	0.00								3.30	6.30	1.60	4.10
1967	11.80	32.00	5.70	0.90	3.70	0.00	0.90	0.01	1.20	5.60	1.10	0.01
1968	3.80	1.20	7.10	1.50	0.01	0.00	0.00	0.01	0.10	3.10	2.20	1.30
1969	6.10	6.10	8.90	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90	8.70	9.00
1970	42.50	3.40	12.30	9.20	0.00	0.00	0.00	0.80	9.60	11.40	9.30	9.40
1971	10.00	19.20	9.40	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	5.00	12.20
1972	13.60	16.60	15.80	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	8.00
1973	14.10	12.30	9.90	7.80	0.00	0.00	0.00	6.10	7.10	7.80	0.90	6.60
1974	4.20	17.40	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.50	3.00	3.70	3.20
1975	9.10	19.00	21.20	10.20	6.10	0.00	0.00	0.01	5.20	2.20	3.90	7.10
1976	13.70	12.30	8.70	0.00	1.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	2.40
1977	3.50	9.70	9.10	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20	3.20	7.90	0.01
1978	5.00	4.90	7.50	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	0.00	2.70
1979	3.20	5.70	19.40	5.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	6.90
1980	4.20	6.90	7.10	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.30	3.00	2.70
1981	18.40	15.00	20.90	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	4.80	5.10	8.70
1982	10.10	3.00	14.40	10.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	2.80	5.30
1983	20.50	10.50	22.70	13.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.60	0.00	15.90
1984	10.70		2.80	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	0.00	0.00
1985	0.00	3.70	7.10	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
1986	3.40	7.30	8.70	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20
1987	7.10	8.10	4.10	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
1988	4.80	12.20	7.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	1.20	2.10	8.80

1989	13.50	17.20	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	2.50	0.00	0.00
1990	0.70	2.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40		3.90
1991	3.00	6.30	11.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	3.20	10.10
1992	6.20	10.00	8.30	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	4.00	10.30	0.01	2.30
1993	5.30	4.80	4.70	8.20	5.20	0.00	0.01	0.00	1.50	2.80	9.30	2.80
1994	5.40	7.40	13.00	7.70	2.10	0.00	0.00	0.00	2.30	0.01	1.30	14.30
1995	1.50	8.30	6.00	3.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	3.80	9.90	9.90
1996	8.80	12.60	15.70	10.30	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.01	2.00
1997	10.50	9.90	5.90	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.30	14.70	12.50
1998	39.00	20.00	24.20		0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	6.50	3.30	8.40
1999	9.20	27.70	9.60	7.90	5.50	0.00	0.00	0.00	1.50	2.30	4.90	4.30
2000	8.60	19.00	18.30	7.10	6.30	0.00	0.00	1.20	2.50	2.00	4.10	13.30
2001	10.10	7.50	12.90	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	7.40	3.50
2002	2.40	63.60	13.80	7.50	0.00	0.00	0.00		1.30	3.70	6.40	3.20
2003	4.70	6.60	6.40	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	1.50	15.30
2004	5.10	8.50	5.50	7.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.50	7.20	9.50
2005	0.00	4.80	11.00	3.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20
2006	8.70	7.90	15.10	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	5.20	10.40
2007	5.20	6.90	12.40	12.50	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	3.10	7.70
2008	13.90	7.10	12.50	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10	4.60	0.00
2009	25.00	19.60	15.30	15.30	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	6.20	5.10	11.30
2010	9.30	3.20	3.10	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
2011	14.10	7.80	12.60	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	5.00	13.60
2012	6.10	17.40	10.50	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	4.30
2013	0.00	60.20	13.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	0.00	12.40
2014	3.50	12.10	9.90									

## Anexo 5. Medidas remediales.

### **Medidas no estructurales - Sistema de Alerta Temprana**

En esta sección se detallará el funcionamiento de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) como propuesta de medida remedial ante la problemática identificada en el presente estudio. Un SAT consiste en procesos antes, durante y después de un evento de desastre o perjudicial con el fin de prevenir, mitigar y abordar el incidente de riesgo, por lo que a continuación se establecen 14 procesos que serán de enfoque técnico como medida de recomendación.

- a) Coordinación con población y autoridades públicas: gestión de solicitud de intervención de las autoridades municipales y coordinación para abordar la problemática en conjunto con entidades como INDECI y CENEPRED, con el fin de crear lineamientos en base a este estudio u otro estudio integral de tramo mayor de carácter público.
- b) Sensibilización en gestión de riesgos: instrucción a la población mediante charlas para la transferencia de conocimiento mediante cartillas de sensibilización y afiches. A continuación, se muestra unos folletos.



**QUE HACER DURANTE MÁXIMAS AVENIDAS  
EN EL RÍO CHACCHAN:**



1. **EN ZONA DE RIESGO, EVACUA.**
2. **MANTÉN LA CALMA Y DIRÍGETE A ZONAS ALTAS.**
3. **BRINDA DIFUSIÓN Y AYUDA PRUDENTEMENTE.**
4. **SIGUE LAS INDICACIONES DE LAS AUTORIDADES.**



- c) Selección de responsables/Sensibilización en gestión de riesgos: en coordinación con las autoridades y sociedad civil se elabora un acta de conformidad de selección de responsables encargados de la identificación, gestión y manejo durante el fenómeno.
- d) Capacitación en SAT: realización de charlas y divulgación de un Sistema de Alerta Temprana que contemple la gestión previa, durante y después del fenómeno, con responsables especializados y contratados por las autoridades públicas.
- e) Cooperación entre entidades técnicas y la población: consiste en la recopilación de datos hidrometeorológico, hidrométricos, por parte de las entidades que se encargan del monitoreo y gestión de datos de precipitación, caudales u de otro relacionado a los desastres ribereños con el fin de alimentar el sistema de monitoreo del SAT, además de autoridades municipales para la coordinación en la parte técnica y la comunidad encargada de gestionar la funcionalidad del SAT.
- f) Planificación articulada: básicamente, se puede gestionar a nivel de subcuenca toda información necesaria como datos extremos en precipitaciones que sean identificados como comportamiento de riesgo en el río de forma sistemática y articulada entre los técnicos y la población.

- g) Identificación de zonas y análisis de riesgo: se basa en la recopilación de información acerca de planos de la zona, información censal, inventario de estructuras, además de antecedentes de desastres y daños perjudiciales evidenciados. Posteriormente se identifica las zonas en riesgo ante eventos naturales, enfatizando en zonas donde hay actividad antrópica o de uso de los pobladores. Luego se proyecta escenarios desfavorables para ubicar zonas vulnerables a la que se debe abordar.
- h) Organización: en esta etapa se asigna funciones a los pobladores y responsables. Una de ellas es la de estribar en materia legal la referencia del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) la cual gestiona en conjunto con el Sistema de Seguridad y Defensa Nacional, y de Movilización Nacional según la Ley N° 28101.
- i) Funcionalidad en seguimiento y vigilancia SAT: organismos como el SENAMHI y el IGP son los encargados de la vigilancia, monitoreo y pronóstico, no obstante, se puede condicionar un mecanismo simple, tal como la adquisición de equipos y herramientas que puedan servir para identificar y monitorear el evento se muestra una lista para la adquisición de equipos de alerta que tengan función durante el fenómeno, tales como:
- Pluviómetro, con un valor aproximado de S/. 500.00
  - Sirena comunitaria, con un valor aproximado de S/. 700.00
  - Radio base Estación vhf, con un valor aproximado de S/.1000.00
  - Logística e impresión de folletos S/.1000.00

Luego de instalar los equipos se registran los datos para el procesamiento de la información en gabinete, después se desarrolla un pronóstico aproximado, posterior de cruzar información con la parte técnica se alerta a la población con cada una de los equipos adquiridos y herramientas desarrolladas.

- j) Preparación y diseño de Sistema de Alerta Temprana: luego de establecer el análisis de información de riesgo se desarrolla la divulgación o alerta. Se puede plasmar los siguientes avisos a nivel de escala o intensidad:
- Alerta Verde: para la ocurrencia de flujo con poco caudal en el río con poca escorrentía.
  - Alerta Naranja: para el aumento de caudal o precipitaciones en la subcuenca, se monitorea.

- Alerta Roja: cuando el nivel de caudal o precipitaciones supera la normalidad, se inicia la alarma y se alerta a la población para ejecutar el desplazamiento o evacuación de las zonas en riesgo.
  
- k) Diseño de red de comunicaciones: en el escenario de riesgo y de alerta se comunica a la población usando las herramientas y equipos de sirena comunitaria. Además de ser gestionado a un mejor nivel de significancia se comunica a la Red de Comunicaciones de Emergencias y Desastres (REDCOM), la cual gestiona instrumentos, personal logístico y mecanismos para comunicar la alerta en diferentes medios como radios HF, altoparlantes y telefonía.
  
- l) Ruta de evacuación: las rutas de evacuación serán llevadas por las personas preparadas como los comités o personal de defensa civil y brigadas comunales. Además, toda circulación será direccionada según la señalización pre establecida como los afiches ubicados en postes o viviendas de color verde.
  
- m) Simulacro: basado en la actividad de preparación y entrenamiento para la evacuación y restricción en zonas de riesgo en cauces de río en máximas avenidas causados por fuertes precipitaciones que podrían dañar estructuras o generar desprendimientos de tierra. El desarrollo de esta actividad puede ser realizado mediante el SINAGERD en conjunto con la comunidad y autoridades municipales. Luego se realiza la evaluación de respuesta enviando el nivel de conocimiento al REDCOM para que se encargue de ver la funcionalidad del sistema.
  
- n) Monitoreo, mantenimiento y evaluación de SAT: finalmente, se aplica el criterio de retroalimentación para recoger nueva información meteorológica, además de estudios recientes que puedan ser útiles para reestructurar el SAT, así también como el estudio de los registros de cada evento o incidencia ocurrido.

### **Medidas estructurales: muro de gaviones**

#### A. Memoria descriptiva gaviones:

Los principales componentes y las dimensiones básicas de la obra considerada son las siguientes:

- Gaviones protectores de flujo, de un largo de 20 metros aproximadamente en el frente de puente aéreo y otro tramo con longitud de 70 metros en la zona de desarenador, conformado por un enmuramiento para de muro de gaviones con una altura máxima 2.50 m.

Todos los gaviones se van construir con enrocado tipo canto rodado y/o esquinado o bordeado en recto procedentes del cauce del río Chacchan.

Todos los estudios respectivos, los planos respectivos con los cálculos, especificaciones, metrados y presupuestos correspondientes se presentan adjunto a continuación.

#### B. Memoria de cálculo:

El análisis de estabilidad de las estructuras de gaviones y los cálculos es una propuesta con fines académicos, a continuación se presenta el desglose de diseño de muro de gaviones.

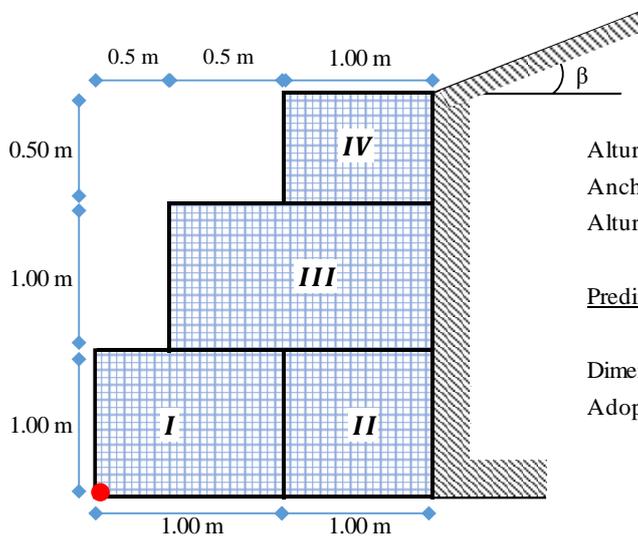
## DISEÑO DE MURO CON GAVIONES

COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO EN UN TRAMO DEL RÍO CHACCHAN DURANTE  
**PROYECTO** : CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE ALERTA  
 TEMPRANA, ANCASH 2022  
**UBICACIÓN** : CHACCHAN-DISTRITO PARIACOTO- PROVINCIA HUARAS-REGIÓN ANCASH  
**FECHA** : Dic-22

### DATOS PARA EL DISEÑO:

- Peso del terreno	:	$\gamma_s = 1.89 \text{ tn/m}^3$
- Peso de la piedra	:	$\gamma_r = 2.70 \text{ tn/m}^3$
- Ángulo de fricción	:	$\phi = 28.00^\circ$
- Ángulo que forma el relleno	:	$\beta = 8.53^\circ$
- Capacidad portante	:	$\sigma_s = 1.40 \text{ kg/cm}^2$

### GEOMETRÍA DEL MURO:



Altura de cada bloque	:	$h_B = 1.00 \text{ m}$
Ancho de cada bloque	:	$b_B = 1.00 \text{ m}$
Altura total del muro	:	$H_T = 2.50 \text{ m}$

Predimensionado de la base:  $B = \frac{1}{2} (1 + H_T)$

Dimensión de la base	:	$A_B = 1.75 \text{ m}$
Adoptamos una base de	:	$B = 2.00 \text{ m}$

### CÁLCULO DEL EMPUJE ACTIVO:

#### - EMPUJE ACTIVO:

*Coefficiente de empuje activo:*

$$K_a = \cos \beta * \left( \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right)$$

$$K_a = 0.374732443$$

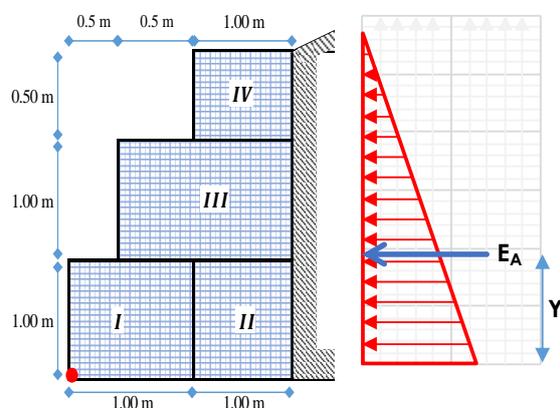
*Cálculo del empuje activo:*

$$E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2$$

$$E_A = 2.2133 \text{ tn}$$

*Altura de aplicación del empuje activo:*

$$Y = \frac{H_T}{3} = 0.833 \text{ m}$$



## ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD:

### - CÁLCULO DEL PESO TOTAL Y MOMENTO RESISTENTE:

FIG.	TIPO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PESO UNITARIO	PESO PARCIAL	BRAZO X (m)	MOMENTO (tn-m)
I	Gavión	1.000	2.70 tn/m <sup>3</sup>	2.70 tn/m	0.500	1.3500
II	Gavión	1.000	2.70 tn/m <sup>3</sup>	2.70 tn/m	1.500	4.0500
III	Gavión	1.500	2.70 tn/m <sup>3</sup>	4.05 tn/m	1.250	5.0625
IV	Gavión	0.500	2.70 tn/m <sup>3</sup>	1.35 tn/m	1.500	2.0250
			Σ =	10.80 tn/m	Σ =	12.488

$$P = 10.80 \text{ tn}$$

$$M_r = 12.5 \text{ tn-m}$$

### - CÁLCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL MURO DE CONTENCIÓN:

*Momento producido por el empuje activo:*  $M_A = E_A * Y$

$$M_A = 2.213 \text{ tn} \times 0.833 \text{ m}$$

$$M_A = 1.844 \text{ tn-m}$$

### - VERIFICACIÓN POR DESLIZAMIENTO: FSD = 1.50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD \quad ; \quad \text{donde:} \quad f = \text{tg} \phi \leq 0.60$$

$$f = 0.450$$

$$FSD = 2.20 > 1.50$$

... Cumple

### - VERIFICACIÓN POR VOLTEO: FSD = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

$$FSV = 6.77 > 2.00$$

... Cumple

### - VERIFICACIÓN DE PRESIONES SOBRE EL TERRENO:

*Punto de aplicación de la fuerza resultante:*

$$X_0 = \frac{M_r - M_A}{P} = 0.99 \text{ m}$$

*Excentricidad de la fuerza resultante:*

$$e = \frac{B}{2} - X_0 = 0.0145 \text{ m}$$

Se debe cumplir que:  $e < \frac{B}{6} = 0.33 \text{ m}$  ... Ok: cae dentro del tercio central

*Verificamos las presiones de contacto entre el suelo y el muro:*

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[ 1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$



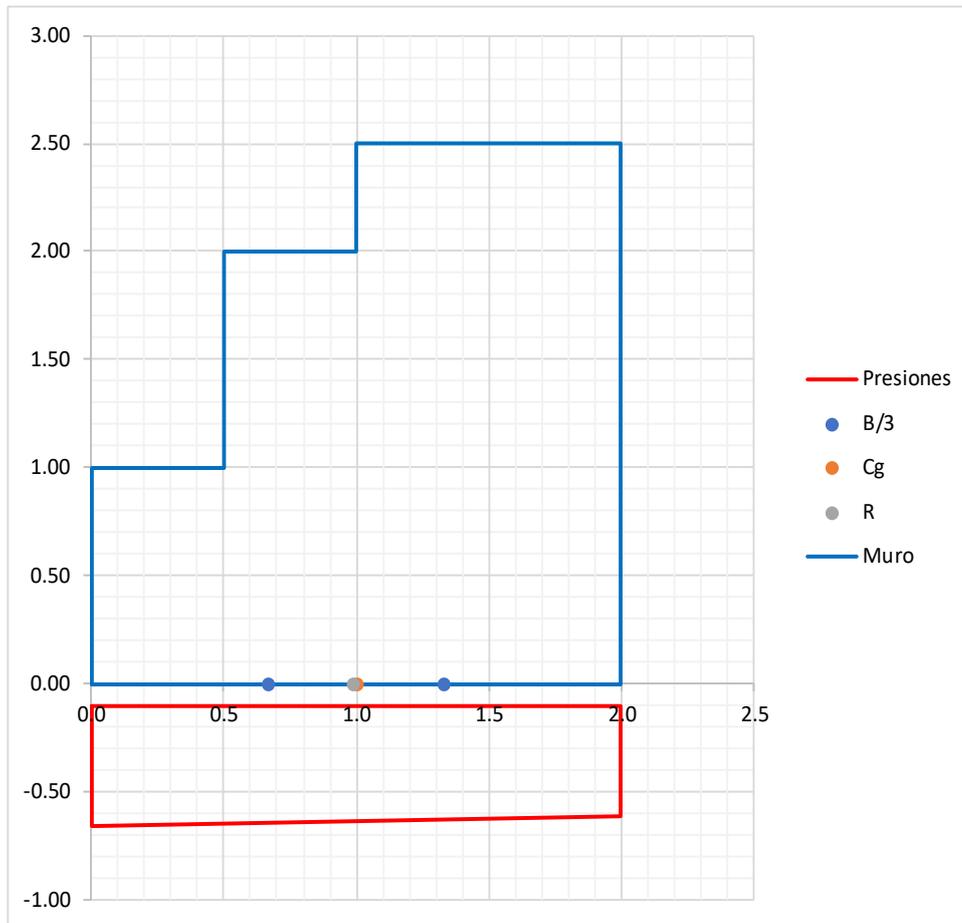
$$\sigma_1 = 0.56 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 1.40 \text{ kg/cm}^2$$

... Cumple

$$\sigma_2 = 0.52 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 1.40 \text{ kg/cm}^2$$

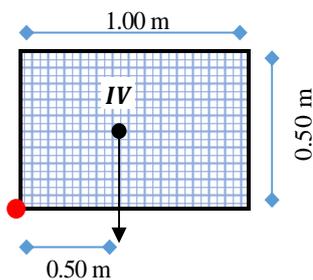
... Cumple

**- ESQUEMA DE PRESIONES:**



**VERIFICACIÓN ENTRE BLOQUE Y BLOQUE:**

**- PRIMER BLOQUE:**



**Fuerzas estabilizantes:**

Peso (IV) = 1.00 x 0.50 x 2.70 = 1.35000 tn

Momento (IV) = 1.35 tn x 0.50 = 0.67500 tn-m

**Fuerzas desestabilizantes:**

Empuje =  $E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2 = 0.0885$  tn

Momento =  $M_A = E_A * Y = 0.01476$  tn-m

**Verificación por deslizamiento:** FSD = 1.50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD \quad f = 0.500$$

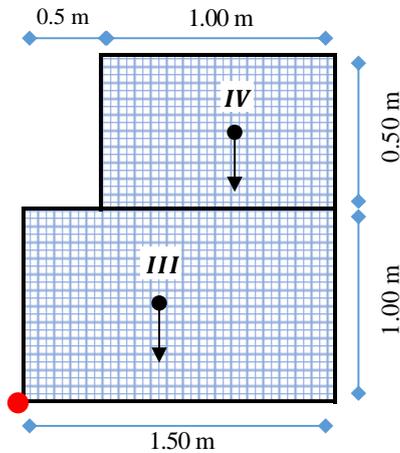
FSD = 7.62 > 1.50 ... Ok

**Verificación por volteo:** FSV = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

FSV = 45.75 > 2.00 ... Ok

**- SEGUNDO BLOQUE:**



**Fuerzas estabilizantes :**

Peso (IV) = 1.00 x 0.50 x 2.70 = 1.35000 tn

Peso (II) = 1.00 x 1.50 x 2.70 = 4.05000 tn  
 $\Sigma = 5.40000$  tn

Momento (IV) = 1.35 tn x 1.00 m = 1.35000 tn-m

Momento (III) = 4.05 tn x 0.75 m = 3.03750 tn-m  
 $\Sigma = 4.3875$  tn-m

**Fuerzas desestabilizantes :**

Empuje =  $E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2 = 0.7968$  tn

Momento =  $M_A = E_A * Y = 0.39839$  tn-m

**Verificación por deslizamiento :** FSD = 1.50

$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD$        $f = 0.500$

FSD = 3.39 > 1.50 ... Ok

**Verificación por volteo :** FSV = 2.00

$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$

FSV = 11.01 > 2.00 ... Ok

**C. Especificaciones técnicas:**

Descripción de las obras:

Las obras o estructuras hidráulicas propuestas, resultan en:

- Muros de gaviones con talud mojado de relleno compactado con material de cauce y mano de obra con pobladores de la zona, de propósito de contención y/o desviación de flujo en sentido del río con una inclinación leve menor a 15° frente a los tramos de puente aéreo y desarenador.
- Se empleará como relleno canto rodado o rocas de cantera de diámetro entre 4” a 10”, colocadas convenientemente en forma manual, todo este material será aprobado previamente por la supervisión de obra. Unidad de medida (m<sup>3</sup>), de canto rodado.

- El volquete transportará las rocas al lado de los gaviones y las descargará cerca de la cara húmeda para su posterior esparcimiento con la excavadora. Se tendrá cuidado en la ubicación de la piedra en la tolva de los volquetes, para lo cual previamente se le colocará una capa de tierra que amortigüe el impacto de la piedra al caer a la tolva.

D. Metrado y presupuesto del muro de gaviones:

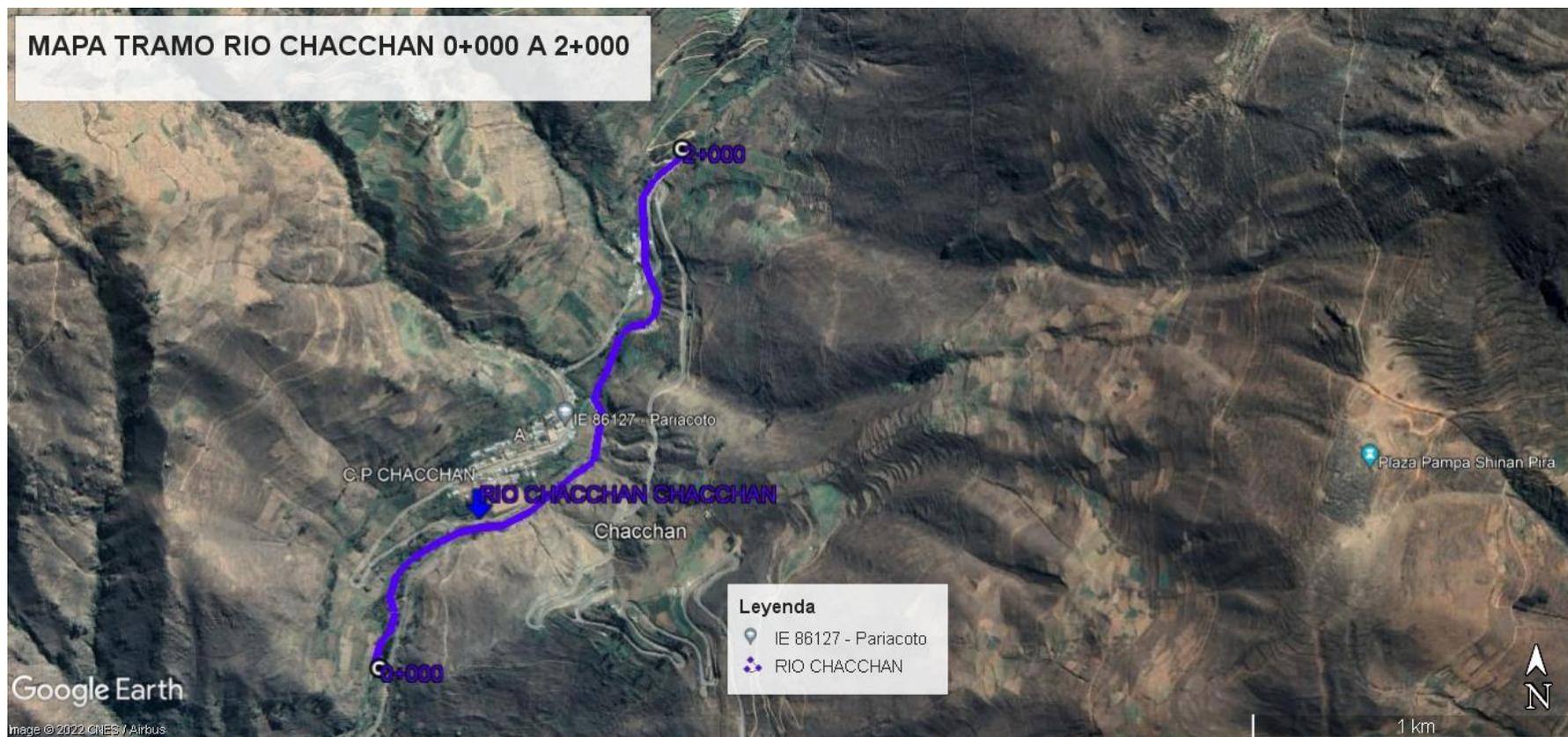
Se propone el presupuesto hasta el costo directo como propuesta académica. Debido a la variación de cauce del río Chacchan, que puede sufrir modificaciones considerables durante temporadas de avenidas y descargas de aguas excedentes, los metrados de las obras son validas sólo hasta que la topografía de su sitio no varíe, puesto las obras de movimiento de tierra no se consideran para esta propuesta.

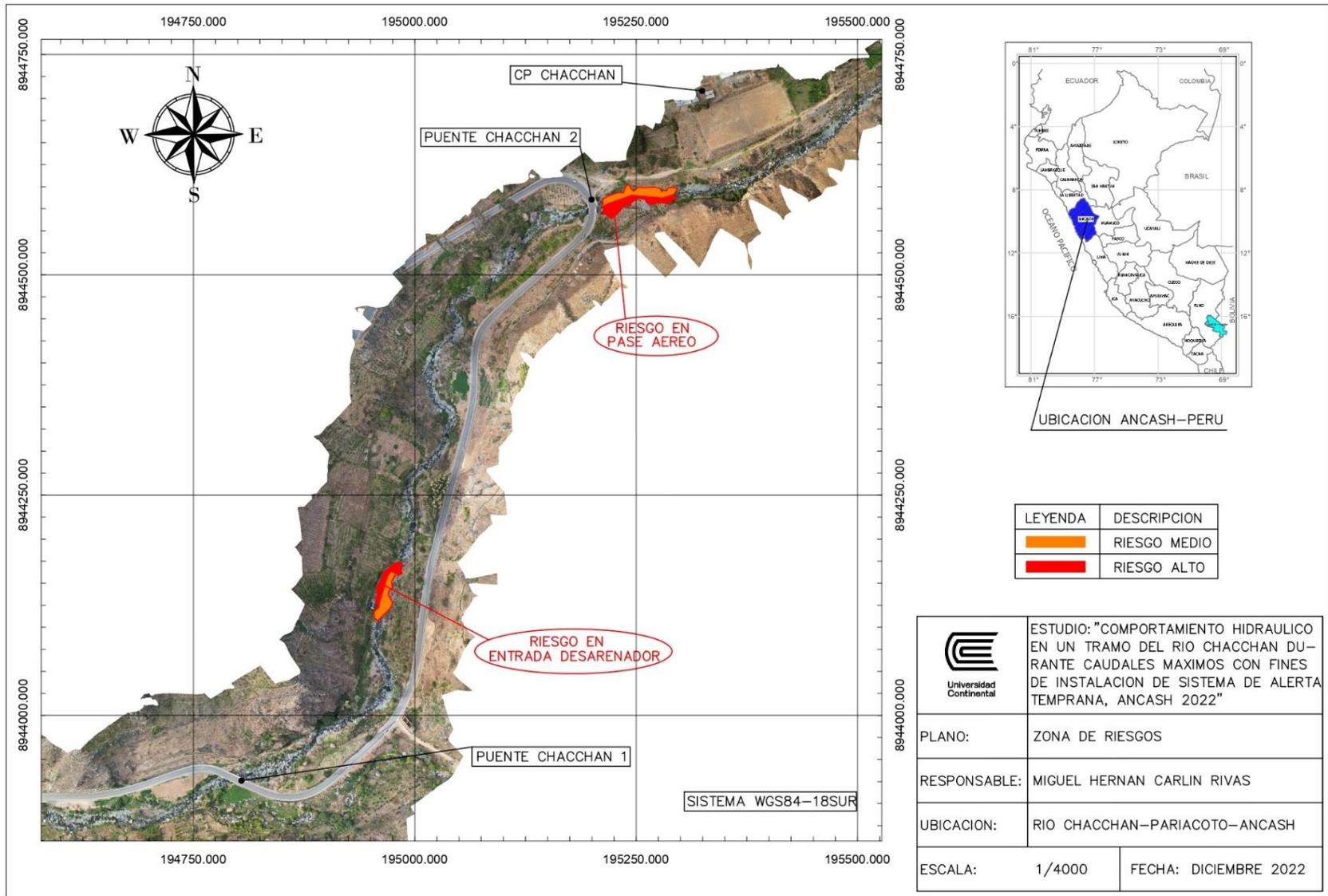
Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio S/	Parcial S/
01.00	<b>GAVIONES</b>				
01.01	GAVIONES DE CAJA 1.0 m x 1.0 m x 2.0 m, ZN + AL + PVC)	und	90.00	257.80	23,202.00
01.02	GAVIONES DE CAJA 0.5 m x 1.0 m x 1.0 m, ZN + AL + PVC)	und	90.00	70.50	6,345.00
01.03	GAVIONES DE CAJA 1.5 m x 1.0 m x 1.0 m, ZN + AL + PVC)	und	90.00	128.90	11,601.00
01.04	TRANSPORTE DE PIEDRA PARA GAVIONES 15.0 KM	m3	360.00	60.00	21,600.00
TOTAL					<b>62,748.00</b>

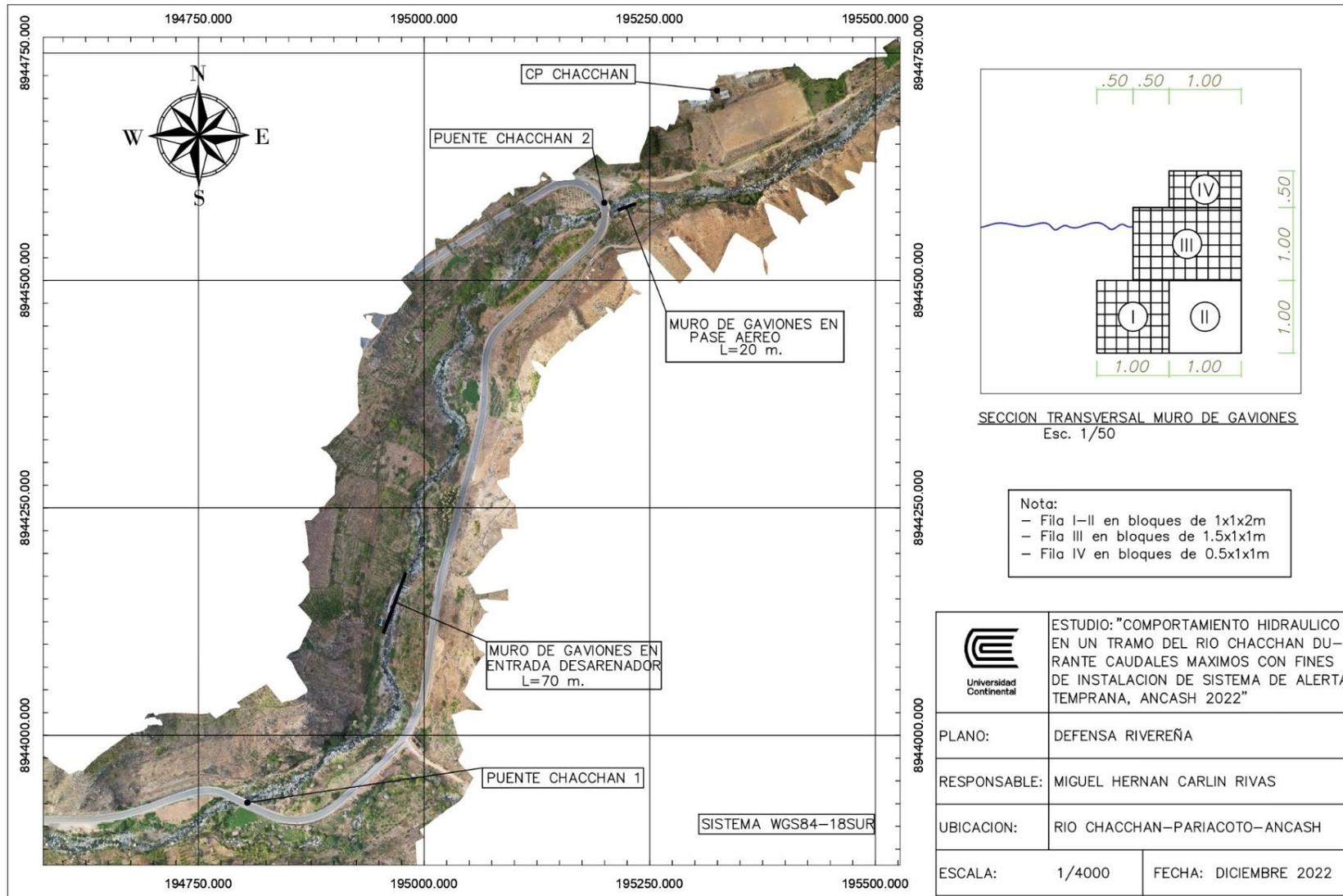
Siendo el presupuesto de muro de gaviones a costo directo de S/. 62,748.00 (Sesenta y dos mil setecientos cuarenta y ocho soles).

Anexo 6. Planos.

Plano satelital de ubicación







SECCION TRANSVERSAL MURO DE GAVIONES  
Esc. 1/50

Nota:  
 - Fila I-II en bloques de 1x1x2m  
 - Fila III en bloques de 1.5x1x1m  
 - Fila IV en bloques de 0.5x1x1m

 <p>Universidad Continental</p>	ESTUDIO: "COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN UN TRAMO DEL RIO CHACCHAN DURANTE CAUDALES MAXIMOS CON FINES DE INSTALACION DE SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA, ANCASH 2022"	
PLANO:	DEFENSA RIVEREÑA	
RESPONSABLE:	MIGUEL HERNAN CARLIN RIVAS	
UBICACION:	RIO CHACCHAN-PARIACOTO-ANCASH	
ESCALA:	1/4000	FECHA: DICIEMBRE 2022

**Anexo 7. Fotos y evidencias de recolección de datos.**



Fotografía 1. Arriba se observa toma aérea con dron en el tramo del río Chacchan aguas abajo del Puente Chacchan 2.



Fotografía 2. Arriba se observa una curva de la carretera del Puente Chacchan 2.



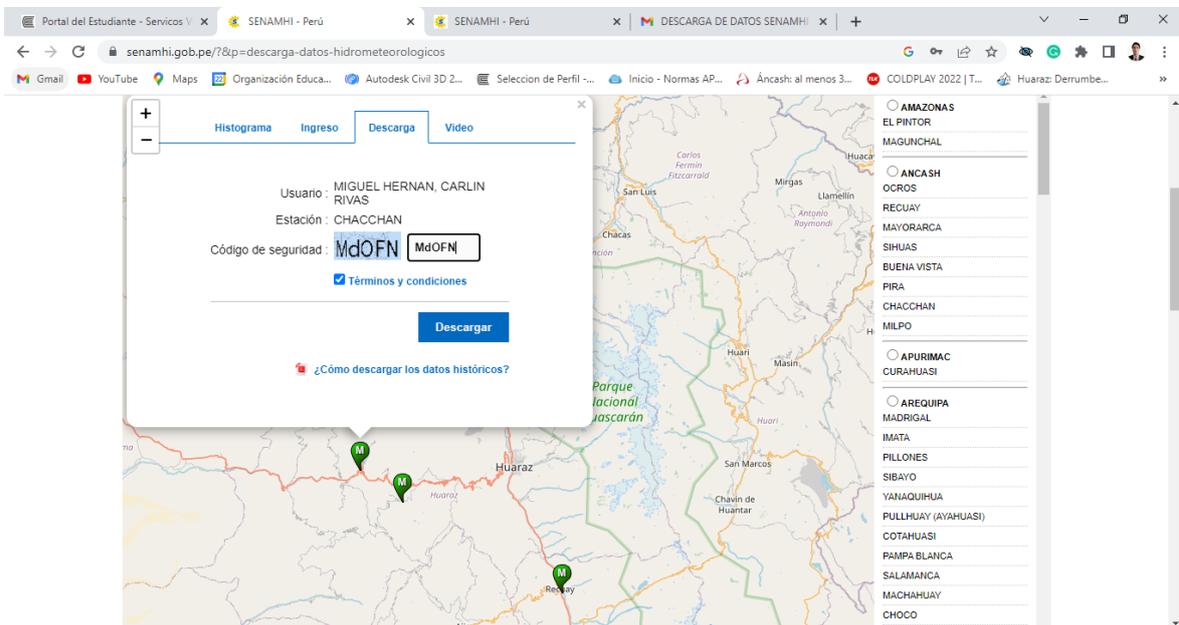
Fotografía 3. Arriba se observa la manipulación del dron topográfico en el C.P. Chacchan.



Fotografía 4. Arriba se observa la ejecución de la calicata en ribera del río Chacchan.



Fotografía 5. Arriba se observa la ejecución de la calicata en ribera del río Chacchan.



Arriba se observa la obtención de información de precipitaciones históricas de la Estación Chacchan en la plataforma oficial de descarga del SENAMHI.