

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



**COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO
NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, EN APURÍMAC,
PERÚ.**

Tesis presentada por el Bachiller

Chacon Lima, David

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Civil

Asesor

Mg. Noriega Aquise, Guillermo Yorel

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 17 de Octubre del 2023

Dictamen: 009487-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 009487, presentado por:

2017204921 - CHACON LIMA DAVID

Titulado:

**COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO
NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, EN APURÍMAC, PERÚ.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29688899 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR
DICTAMINADOR**



**23923450 - ARROYO AMBIA ARTURO FELIX
DICTAMINADOR**



**70600036 - ESPINOZA VIGIL ALAIN JORGE
DICTAMINADOR**



COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, EN APURÍMAC, PERÚ.

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	2%
	Trabajo del estudiante	
2	tesis.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.unasam.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	1%
	Trabajo del estudiante	
5	repositorio.unsa.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

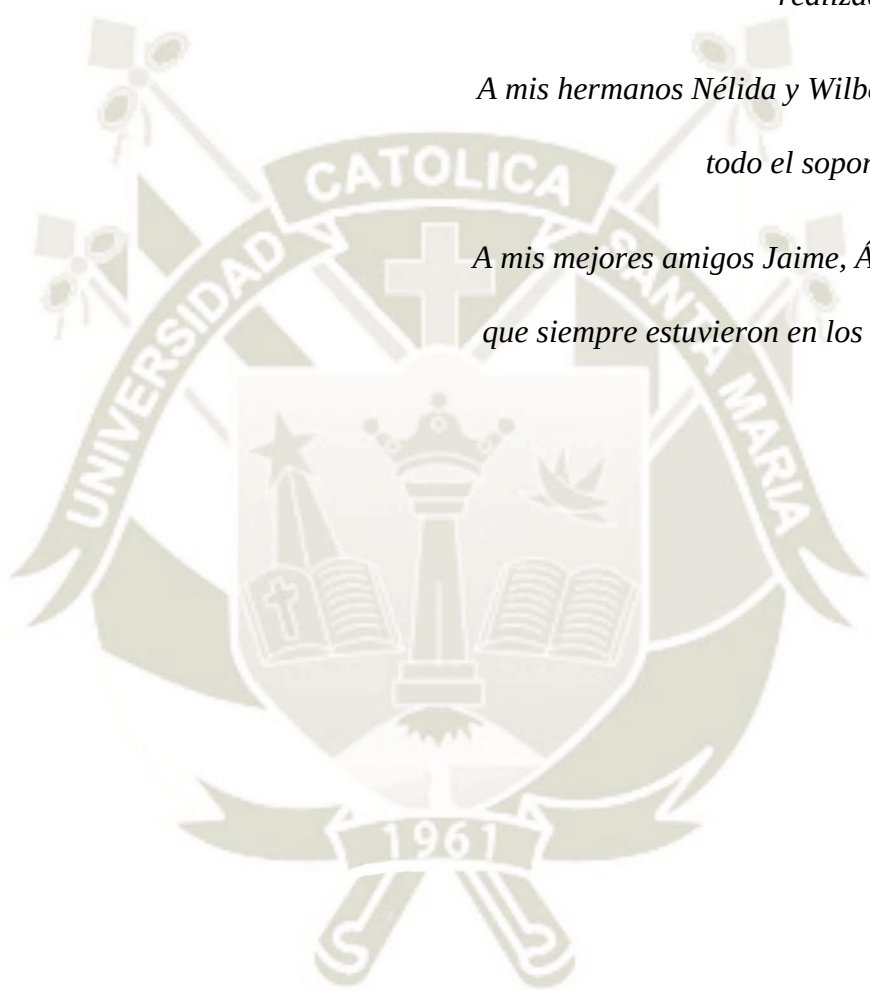
Apagado

DEDICATORIA

*A mis padres Mario y Victoria por todo el
apoyo absoluto, ya que sin ellos no se habría
realizado este proyecto.*

*A mis hermanos Nélide y Wilber que me dieron
todo el soporte y comprensión.*

*A mis mejores amigos Jaime, Álvaro y Patricia,
que siempre estuvieron en los momentos malos
y buenos.*



AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Ing. Yorel

Noriega Aquise, igualmente al Ing. Arturo

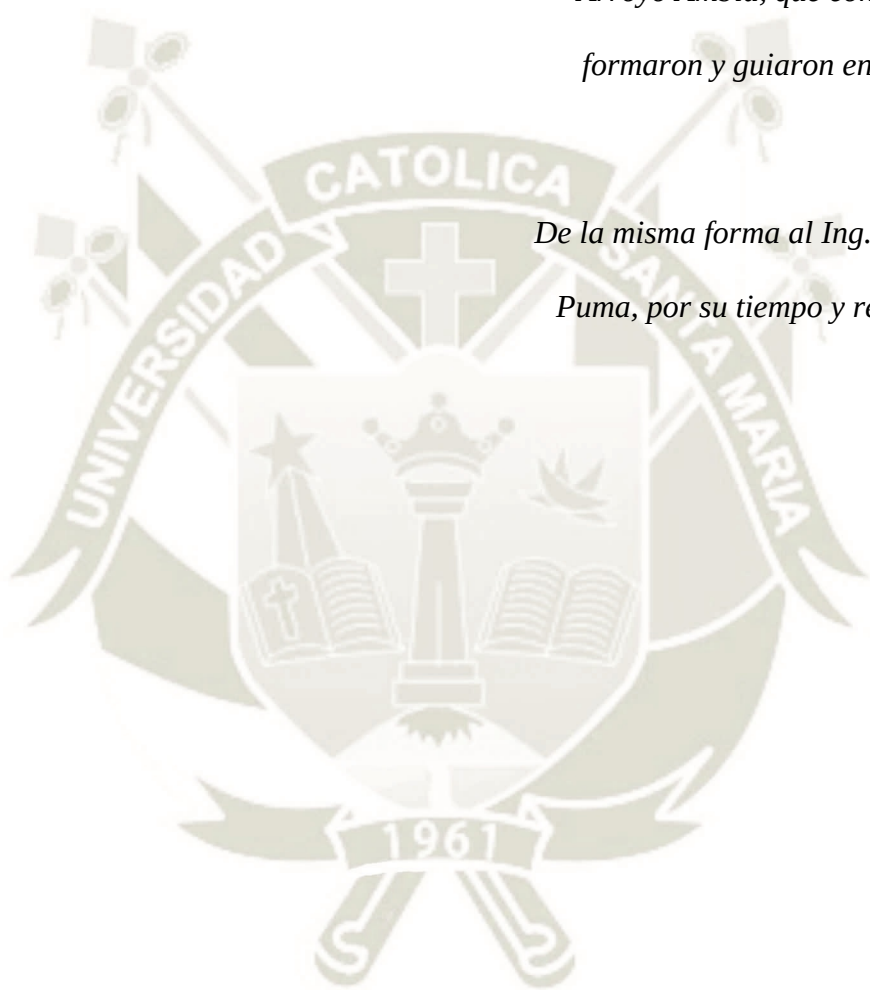
Arroyo Ambia, que confiaron en mí, me

formaron y guiaron en todo mi período

universitario.

De la misma forma al Ing. Joel Ccanccapa

Puma, por su tiempo y recomendaciones.



RESUMEN

En distintas partes del mundo, los fenómenos naturales causan estragos, siendo los fenómenos de causal hidrológica, uno de lo más devastadores. El departamento de Apurímac no es ajeno a dichos fenómenos, en el transcurso de los últimos años fue afectado por la activación de quebradas. La quebrada Amoray, es una de ellas que está considerada crítica por la Autoridad Nacional del Agua, ya que presenta flujos no newtonianos, desencadenando movimientos de masa aguas abajo, obstruyendo así el tránsito vehicular del tramo Chalhuanca-Abancay-Cusco de la carretera Interoceánica sur.

El proyecto tiene como objetivo de hacer una comparación entre el modelamiento hidráulico con flujo newtoniano y no newtoniano. Ejecutando la data de precipitaciones máximas de 24 horas de las estaciones cercanas a la quebrada Amoray.

Se elaboró el modelo hidrológico con HEC-HMS, con la finalidad de recabar los caudales picos para diferentes periodos de retorno. Seguidamente se efectuó el modelo hidráulico a través de una calibración con HEC-RAS versión 6.4.1. para señalar las velocidades y tirantes máximos. Por último, se indicó las comparaciones entre ambos flujos, se planteó un predimensionamiento de una obra transversal (alcantarilla).

Palabras Claves:

Flujos newtonianos, flujos no newtonianos, flujos hiperconcentrados, flujos de lodo y detritos, Hec-ras 6.4.1.

ABSTRACT

In different parts of the world, natural phenomena cause havoc, with hydrological phenomena being one of the most devastating. The department of Apurímac is no stranger to these phenomena; in recent years it has been affected by the activation of streams. The Amoray stream is one of them that is considered critical by the National Water Authority, since it presents non-Newtonian flows, triggering mass movements downstream, thus obstructing vehicular traffic on the Chalhuanca-Abancay-Cusco section of the southern Interoceanic highway.

The current project aims to make a comparison between hydraulic modeling with Newtonian and non-Newtonian flow. Running the data of maximum 24-hour rainfall from the stations near the Amoray ravine.

The hydrological model was developed with HEC-HMS, with the purpose of collecting peak flows for different return periods. The hydraulic model was then carried out through calibration with HEC-RAS version 6.4.1. to indicate the maximum speeds and tensions. Finally, comparisons between both flows were indicated, a pre-sizing of a transversal work (Manhole) was proposed.

Keywords:

Newtonian flows, non-Newtonian flows, hyperconcentrated flows, mud and debris flows, Hec-ras 6.4.1.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I.....	2
1. Planteamiento del Problema.....	3
1.1. Definición del Problema	3
1.1.1. Problemática de la Investigación	3
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivos Generales	6
1.2.2. Objetivos Secundarios	6
1.3. Hipótesis.....	7
1.4. Justificación	7
1.4.1. Académica.....	7
1.4.2. Técnica	7
1.4.3. Social.....	7
1.4.4. Económico	8

1.4.5. Político	8
1.4.6. Ambiental.....	8
CAPÍTULO II	9
2. Fundamento Teórico	10
2.1. Marco conceptual.....	10
2.1.1. Quebradas	10
2.1.2. Riesgos Geológicos.....	12
2.1.3. Flujos.....	14
2.1.4. Flujos que discurren en una quebrada.....	16
2.2. Antecedentes.....	19
CAPÍTULO III.....	21
3. Metodología.....	22
3.1. Tipo y nivel de investigación	22
3.2. Diseño de investigación.....	22
3.3. Ubicación del Proyecto	23
3.3.1. Ubicación Geográfica	23
3.3.2. Ubicación Hidrográfica.....	23
3.3.3. Ubicación Política.....	23
3.4. Características de la Zona de Estudio.....	25
3.4.1. Clima.....	25

3.4.2.	Elementos meteorológicos	25
3.4.3.	Geológica	26
3.4.4.	Diagnóstico actual del cauce.....	26
CAPÍTULO IV		28
4.	Estudio Hidrológico	29
4.1.	Generalidades.....	29
4.2.	Metodología	29
4.2.1.	Trabajos Preliminares	29
4.2.2.	Trabajos finales de gabinete.....	29
4.3.	Información cartográfica y geográfica.....	30
4.4.	Descripción general del modelo para la cuenca	30
4.5.	Determinación de parámetros de la cuenca.....	30
4.5.1.	Delimitación.....	30
4.5.2.	Metodología	30
4.6.	Parámetros físicos de la cuenca	33
4.6.1.	Área de la cuenca	33
4.6.2.	Perímetro de la cuenca	34
4.6.3.	Longitud del cauce principal.....	35
4.7.	Características geomorfológicas	36
4.7.1.	Índice de Gravelius	36

4.7.2. Factor de forma	37
4.8. Curva hipsométrica	38
4.9. Pendiente media del curso principal	42
4.9.1. Pendiente de un tramo.....	42
4.10. Información pluviométrica	42
4.10.1. Estaciones Pluviométricas	43
4.10.2. Registros de Precipitación.....	43
4.11. Registro.....	47
4.11.1. Análisis de datos (OUTLIERS)	47
4.11.2. Análisis de datos de las estaciones.....	48
4.12. Análisis y tratamiento de información.....	54
4.12.1. Estadística aplicada a la Hidrología.....	54
4.12.2. Conceptos fundamentales	55
4.13. Funciones de distribución de probabilidad usadas en Hidrología	56
4.13.1. Distribución Log Normal III Parámetros.....	56
4.13.2. Distribución Gumbel.....	57
4.13.3. Distribución Gamma II Parámetros	57
4.13.4. Distribución Pearson Tipo III	58
4.13.5. Distribución Log Pearson Tipo III.....	59
4.14. Verificación de las distribuciones teóricas	59

4.14.1. Prueba de Smirnov Kolmogorov	60
4.15. Selección del método estadístico apropiado	64
4.16. Precipitaciones promedio sobre la cuenca.....	64
4.16.1. El Método de la Media Aritmética.....	64
4.16.2. El Método de Thiessen.....	65
4.16.3. El Método de las Isoyetas	66
4.17. Tiempo de concentración	72
4.18. Determinación de la tormenta de diseño	74
4.18.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia	74
4.19. Hietograma de diseño	76
4.19.1. Método del bloque alterno	76
4.20. Número Curva	77
4.20.1. Abstracción Inicial.....	78
4.21. Estimación de caudales	80
4.21.1. Método Software HEC- HMS.....	80
CAPÍTULO V.....	87
5. Modelamiento Hidráulico de Flujo Newtoniano y no Newtoniano	88
5.1. Introducción	88
5.2. Levantamiento topográfico	88
5.3. Estudio de mecánica de suelos	90

5.3.1. Ensayo de granulometría por el método del tamizado.....	90
5.4. Número de Manning.....	90
5.5. Modelos reológicos.....	96
5.5.1. Modelo Bingham	96
5.5.2. Modelo Cuadrático.....	96
5.5.3. Modelo Herschel - Bulkley.....	97
5.5.4. Modelo Voellmy	98
5.6. Taxonomía de flujos de lodo y escombros	98
5.7. Efectos no newtonianos en las ecuaciones hidráulicas	100
5.8. Reología de flujo no newtonianos	101
5.9. Clasificación de flujos no newtonianos	102
5.9.1. Parámetros de Bingham	102
5.9.2. Parámetros de O'Brien.....	103
5.9.3. Parámetros de Herschel - Bulkley.....	104
5.10. Estimación de la concentración de sedimentos	105
CAPÍTULO VI.....	106
6. Calibración del modelo hidráulico.....	107
6.1. Calibración y comparación de resultados (flujo newtoniano y no newtoniano)	107
6.1.1. Modelo hidráulico HEC-RAS 6.4.1.....	107
6.1.2. Determinación de tirantes hidráulicos	117

6.1.3.	Determinación de velocidades	119
6.1.4.	Comparación de resultados	121
6.2.	Huella máxima (verificación en campo)	123
6.2.1.	Segmentos del río en tramos y secciones transversales	123
6.2.2.	Identificación de la huella máxima	124
CAPÍTULO VII		128
7.	Mapas de peligro por inundación ante máximas avenidas	129
7.1.	Modelación para eventos extremos	129
7.2.	Elaboración de mapas.....	129
CAPÍTULO VIII		138
8.	Planteamiento de Obras de Sección Transversal.....	139
8.1.	Alcantarillas.....	139
8.2.	Tipos de alcantarillas.....	139
8.2.1.	Alcantarillas rectangulares.....	139
8.2.2.	Alcantarillas circulares.....	140
8.2.3.	Alcantarillas de múltiples ojos o barriles.....	140
8.3.	Diseño de alcantarilla multiplate circular de múltiples ojos.....	141
8.3.1.	Características de diseño	141
8.3.2.	Diseño hidráulico en HY-8 CULVERTS	142
8.4.	Sin proyecto de obra vial transversal (alcantarilla).....	147

8.5. Con proyecto de obra vial transversal (alcantarilla)	148
8.6. Estudio de Impacto Ambiental	149
8.6.1. Principales riesgos ambientales	149
8.6.2. Factores ambientales	149
8.6.3. Factores Culturales.....	149
8.6.4. Evaluación de los impactos según la matriz de Leopold	150
CAPÍTULO XI	152
9. Conclusiones y Recomendaciones	153
9.1. Conclusiones	153
9.2. Recomendaciones	154
REFERENCIAS.....	156
ANEXOS.....	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Matriz de Antecedentes.</i>	20
Tabla 2 <i>Resumen de parámetros físicos de la microcuenca</i>	35
Tabla 3 <i>Curva Hipsométrica.</i>	39
Tabla 4 <i>Estación Chalhuanca.</i>	43
Tabla 5 <i>Estación Andahuaylas.</i>	43
Tabla 6 <i>Estación Tambobamba.</i>	43
Tabla 7 <i>Precipitación máxima de 24 horas- Estación Andahuaylas.</i>	44
Tabla 8 <i>Precipitación máxima de 24 horas- Estación Tambobamba.</i>	45
Tabla 9 <i>Precipitación máxima de 24 horas- Estación Chalhuanca.</i>	46
Tabla 10 <i>Análisis de datos - Estación Andahuaylas.</i>	48
Tabla 11 <i>Método WRC - Estación Andahuaylas.</i>	49
Tabla 12 <i>Análisis de datos - Estación Tambobamba.</i>	50
Tabla 13 <i>Método de WRC - Estación Tambobamba.</i>	51
Tabla 14 <i>Análisis de datos - Estación Chalhuanca.</i>	52
Tabla 15 <i>Método de WRC - Estación Chalhuanca.</i>	53
Tabla 16 <i>Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Andahuaylas.</i>	60
Tabla 17 <i>Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Chalhuanca.</i>	61
Tabla 18 <i>Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Tambobamba.</i>	63
Tabla 19 <i>Precipitaciones máximas de 24 horas (mm), para diferentes periodos de retorno para cada estación.</i>	64
Tabla 20 <i>Precipitación Áreal máxima de 24 horas - Método de la media Aritmética.</i>	65
Tabla 21 <i>Precipitación Áreal máxima de 24 horas - Método del polígono de Thiessen.</i>	66

Tabla 22 <i>Precipitación Áreal máxima de 24 horas – Método de las Isoyetas</i>	67
Tabla 23 <i>Hietograma de diseño - TR=100 años</i>	77
Tabla 24 <i>Curva número - Quebrada Amoray</i>	78
Tabla 25 <i>Abstracciones Iniciales - Quebrada Amoray</i>	78
Tabla 26 <i>Resultados de caudales HEC-HMS</i>	86
Tabla 27 <i>Clasificación de flujo no newtoniano</i>	102
Tabla 28 <i>Obtención de los parámetros reológicos</i>	114
Tabla 29 <i>Parámetros reológicos</i>	116
Tabla 30 <i>Comparación de resultados</i>	121
Tabla 31 <i>Resultados para cada periodo de retorno</i>	129
Tabla 32 <i>Características hidráulicas</i>	142
Tabla 33 <i>Rangos de impactos</i>	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diagrama acumulativo de huaycos en el Perú entre el 2013 -2017.</i>	4
Figura 2 <i>Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Tránsito vehicular</i>	5
Figura 3 <i>Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Interrumpida por flujo no newtoniano.</i>	5
Figura 4 <i>Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Interrumpida por flujo no newtoniano.</i>	6
Figura 5 <i>Esquema típica de una quebrada.</i>	10
Figura 6 <i>Desprendimientos en Colcabamba - Apurímac.</i>	13
Figura 7 <i>Erosión de riberas en la quebrada Amoray.</i>	14
Figura 8 <i>Movimientos con masa de suelo en Colcabamba – Apurímac.</i>	14
Figura 9 <i>Flujo newtoniano - Quebrada Amoray.</i>	15
Figura 10 <i>Relación de tensión-deformación para diferentes tipos de flujos.</i>	16
Figura 11 <i>Avenida de lodo Chosica – Perú.</i>	17
Figura 12 <i>Quebrada el Pedregal -Chosica -Perú - Avenida de lodo.</i>	17
Figura 13 <i>Flujo de lodo en la Convención - Cusco- Perú.</i>	18
Figura 14 <i>Flujos de Detritos en Abancay - Apurímac - Perú.</i>	19
Figura 15 <i>Flujos de Detritos en Secocha - Arequipa.</i>	19
Figura 16 <i>Matriz de variables.</i>	22
Figura 17 <i>Mapa de ubicación del área de estudio.</i>	24
Figura 18 <i>Interrupción de huayco en el tramo Chalhuanca - Abancay.</i>	27
Figura 19 <i>DEM extraído por extensión.</i>	31
Figura 20 <i>Red Hídrica de la cuenca.</i>	32
Figura 21 <i>Cuenca con su red hídrica final.</i>	32
Figura 22 <i>Cuenca delimitada.</i>	33

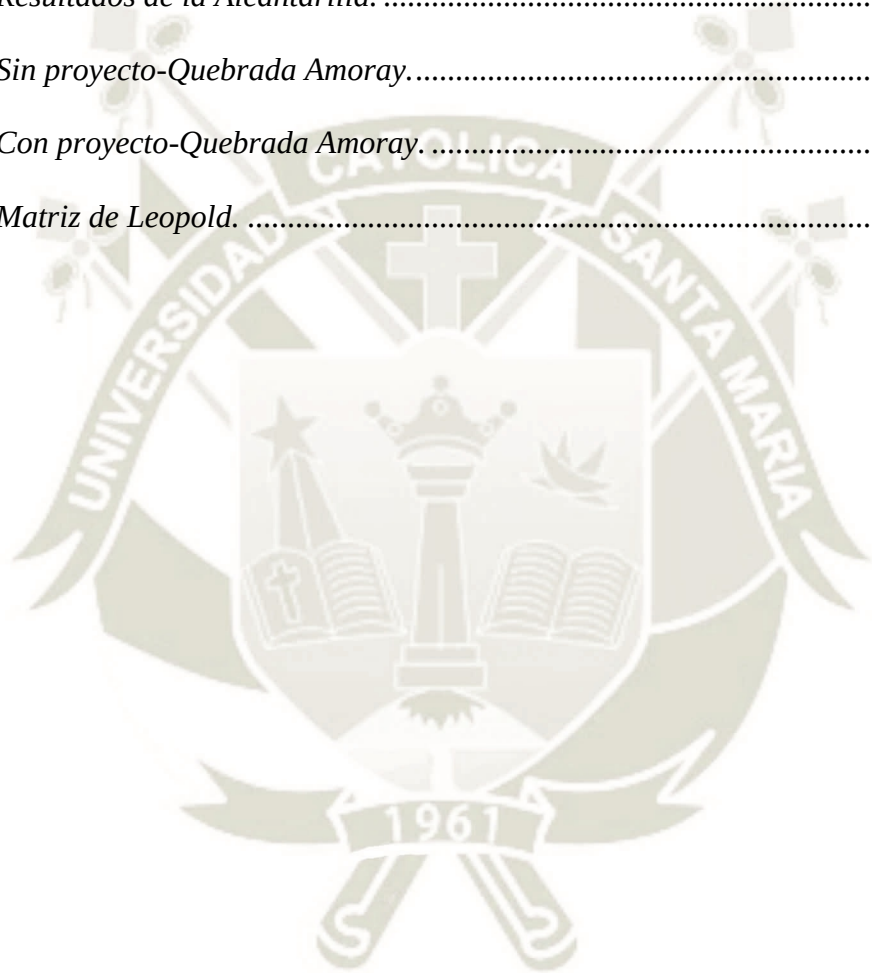
Figura 23 Área de la cuenca	34
Figura 24 Perímetro de la cuenca.....	34
Figura 25 Longitud del cauce principal.....	35
Figura 26 Rangos de compacidad.....	37
Figura 27 Características de factor forma.	38
Figura 28 Curva hipsométrica.	39
Figura 29 Curva hipsométrica - Quebrada Amoray.....	41
Figura 30 Polígono de frecuencias Altitudinales.....	41
Figura 31 Ubicación de estaciones Pluviométricas.....	42
Figura 32 Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	48
Figura 33 Remoción de Outliers -Estación Andahuaylas.....	50
Figura 34 Remoción de Outliers -Estación Tambobamba.....	52
Figura 35 Remoción de Outliers -Estación Chalhuanca.	54
Figura 36 Ajuste a la distribución log-Pearson tipo III - Estación Andahuaylas.	61
Figura 37 Ajuste a la distribución log - Normal de 3 parámetros - Estación Chalhuanca.....	62
Figura 38 Ajuste a la distribución Gumbel.....	63
Figura 39 Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 2 años.	68
Figura 40 Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 5 años.	69
Figura 41 Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 10 años.	69
Figura 42 Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 25 años.	70
Figura 43 Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 50 años.	70
Figura 44 Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 100 años.	71
Figura 45 Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 200 años.	71

Figura 46 <i>Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 500 años.</i>	72
Figura 47 <i>Características de la zona de estudio.</i>	75
Figura 48 <i>Curvas IDF - Quebrada Amoray.</i>	75
Figura 49 <i>Hietograma de diseño TR=100 años.</i>	76
Figura 50 <i>Mapa Curva Número - Quebrada Amoray.</i>	79
Figura 51 <i>Parámetros de entrada - Quebrada Amoray.</i>	80
Figura 52 <i>Parámetro de entrada.</i>	80
Figura 53 <i>Parámetro de entrada - Quebrada Amoray.</i>	81
Figura 54 <i>Modelo meteorológico Tr = 100 años - Quebrada Amoray.</i>	81
Figura 55 <i>Hidrograma líquido - Tr=2 años.</i>	82
Figura 56 <i>Hidrograma líquido - Tr=5 años.</i>	82
Figura 57 <i>Hidrograma líquido - Tr=10 años.</i>	83
Figura 58 <i>Hidrograma líquido - Tr=25 años.</i>	83
Figura 59 <i>Hidrograma líquido – Tr=50 años.</i>	84
Figura 60 <i>Hidrograma líquido – Tr=100 años.</i>	84
Figura 61 <i>Hidrograma líquido – Tr=200 años.</i>	85
Figura 62 <i>Hidrograma líquido – Tr=500 años.</i>	85
Figura 63 <i>Posiciones de cámaras.</i>	88
Figura 64 <i>Ortofoto - Quebrada Amoray.</i>	89
Figura 65 <i>Coeficientes de rugosidad.</i>	91
Figura 66 <i>Coeficientes de rugosidad-Quebrada Amoray.</i>	92
Figura 67 <i>Baden- Quebrada Amoray.</i>	92
Figura 68 <i>Cauce principal.</i>	93

Figura 69 <i>Edificaciones.</i>	93
Figura 70 <i>Zonas de Cultivos-Quebrada Amoray.</i>	94
Figura 71 <i>Carretera Panamericana.</i>	94
Figura 72 <i>Número de Manning-Quebrada Amoray.</i>	95
Figura 73 <i>Taxonomía de flujos no newtonianos.</i>	99
Figura 74 <i>Modelos reológicos utilizados para simular (a) agua clara y (b, c) flujos de lodo y escombros.</i>	101
Figura 75 <i>Interfase no newtoniano del modelo Bingham.</i>	103
Figura 76 <i>Interfase del modelo de O'Brien.</i>	104
Figura 77 <i>Interfase del modelo de Herschel Bulkley.</i>	105
Figura 78 <i>DEM - Quebrada Amoray.</i>	107
Figura 79 <i>Condiciones de entrada- Quebrada Amoray.</i>	108
Figura 80 <i>Condiciones de entrada.</i>	109
Figura 81 <i>Hidrograma líquido - TR=5 años.</i>	109
Figura 82 <i>Configuración del tiempo de simulación.</i>	110
Figura 83 <i>Ejecución del programa.</i>	110
Figura 84 <i>Opción de flujo no newtoniano.</i>	111
Figura 85 <i>Evento 2021- Quebrada Amoray.</i>	111
Figura 86 <i>Erosión de riberas - quebrada Amoray.</i>	112
Figura 87 <i>Erosión de riberas-Zona intermedia de la quebrada.</i>	112
Figura 88 <i>Reporte de INDECI-Quebrada Amoray.</i>	113
Figura 89 <i>Parámetros de tensión de fluencia.</i>	115
Figura 90 <i>Coeficientes para diferentes tipos de suelo.</i>	115

Figura 91 <i>Parámetros de entrada -Quebrada Amoray.</i>	116
Figura 92 <i>Tirantes máximos- flujo newtoniano.</i>	117
Figura 93 <i>Tirantes máximos-flujo no newtoniano-evento 2021 quebrada Amoray.</i>	118
Figura 94 <i>Velocidades máximas - flujo newtoniano.</i>	119
Figura 95 <i>Velocidades máximas - flujo no newtoniano – evento 2021 quebrada Amoray.</i>	120
Figura 96 <i>Comparación grafica de tirantes</i>	122
Figura 97 <i>Comparación grafica de velocidades.</i>	122
Figura 98 <i>Sección en el inicio de la quebrada.....</i>	123
Figura 99 <i>Sección intermedia -quebrada Amoray.....</i>	123
Figura 100 <i>Sección del baden - quebrada Amoray.....</i>	124
Figura 101 <i>Identificación de la huella máxima.</i>	127
Figura 102 <i>Mapa de tirantes máximos Flujo newtoniano - TR=50 años.....</i>	130
Figura 103 <i>Mapa de velocidades máximas Flujo newtoniano - TR=50 años.</i>	131
Figura 104 <i>Mapa de tirantes máximos Flujo no newtoniano - TR=50 años.....</i>	132
Figura 105 <i>Mapa de velocidades máximas Flujo no newtoniano - TR=50 años.</i>	133
Figura 106 <i>Mapa de tirantes máximos Flujo newtoniano - TR=100 años.....</i>	134
Figura 107 <i>Mapa de velocidades máximas Flujo newtoniano - TR=100 años.</i>	135
Figura 108 <i>Mapa de tirantes máximos Flujo no newtoniano - TR=100 años.....</i>	136
Figura 109 <i>Mapa de velocidades máximas Flujo no newtoniano - TR=100 años.</i>	137
Figura 110 <i>Alcantarilla Rectangular.</i>	139
Figura 111 <i>Alcantarilla circular.....</i>	140
Figura 112 <i>Alcantarilla de varios ojos.</i>	141
Figura 113 <i>Esquema 1- alcantarilla.</i>	142

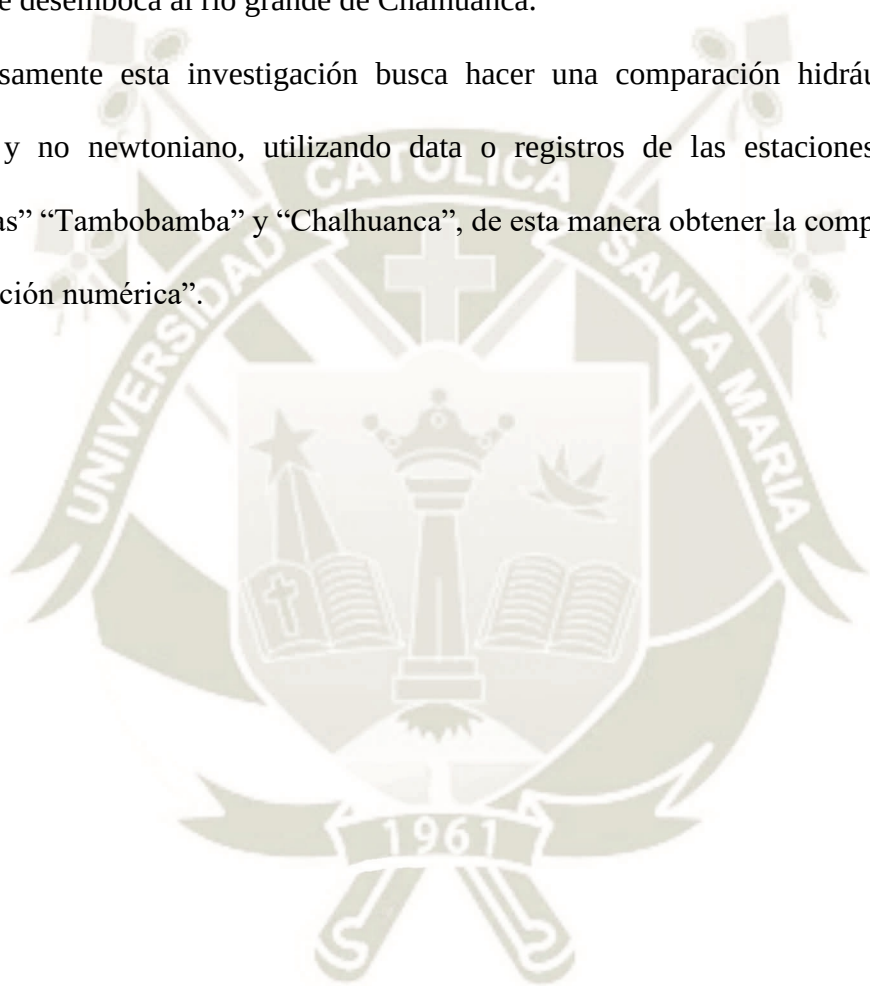
Figura 114 <i>Esquema 2- alcantarilla.</i>	143
Figura 115 <i>Data de entrada - Alcantarilla circular.</i>	144
Figura 116 <i>Vista lateral.</i>	145
Figura 117 <i>Vista frontal.</i>	145
Figura 118 <i>Resultados de la Alcantarilla.</i>	146
Figura 119 <i>Sin proyecto-Quebrada Amoray.</i>	147
Figura 120 <i>Con proyecto-Quebrada Amoray.</i>	148
Figura 121 <i>Matriz de Leopold.</i>	151



INTRODUCCIÓN

En el departamento de Apurímac, provincia de Aymaraes, presenta quebradas en activación, el actual proyecto estudiará una de las quebradas que se encuentra dentro de la provincia que desemboca al río grande de Chalhuanca.

Precisamente esta investigación busca hacer una comparación hidráulica entre flujo newtoniano y no newtoniano, utilizando data o registros de las estaciones pluviométricas “Andahuaylas” “Tambobamba” y “Chalhuanca”, de esta manera obtener la comparación acorde a la “modelización numérica”.





Planteamiento del Problema

1.1. Definición del Problema

1.1.1. Problemática de la Investigación

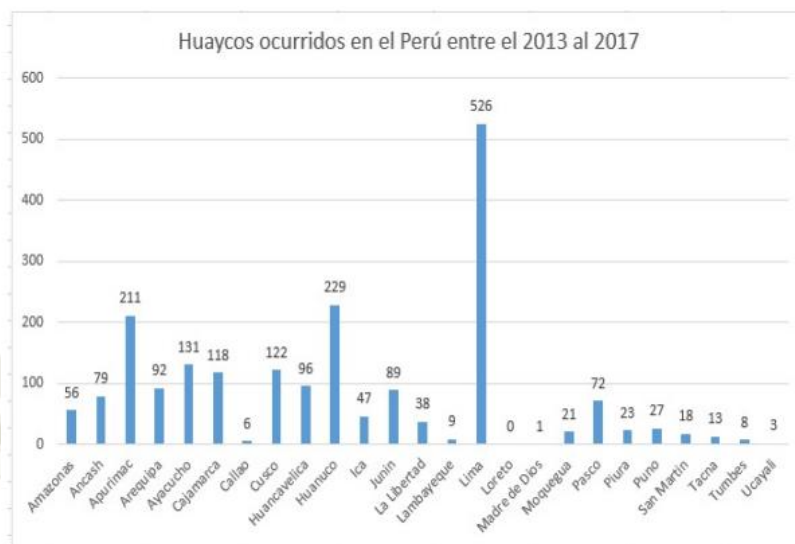
Durante los últimos años, los fenómenos naturales con causal hidrológica, pueden ser, por ejemplo, inundaciones, flujo de lodo, entre otros; han sido causantes de varios daños a nivel socio-económico, generando retrasos, perdidas lo cual conduce a un nivel de pobreza a las zonas donde estos eventos ocurren (Rojas & Martínez, 2011).

Esta realidad es algo que ocurre inagotablemente en el territorio peruano, ya que, posee características geográficas, geológicas e hidrometeorológicas que lo convierten en un país expuesto a diversos fenómenos naturales, Perú está incluido como entre los 10 países que resultan más vulnerables a las alteraciones del cambio climático, lo que permite que varios fenómenos naturales intensifiquen sus efectos (Vargas, 2009).

Según INDECI (2017), los huaycos son la confluencia de sedimentos y agua, con desplazamientos violentos, siendo uno de los eventos naturales más destructivos que el país podría enfrentar. Estos movimientos en masa se acentúan de acuerdo a una geografía abrupta, como la presenta el Perú, en la Figura 1 se observa un diagrama acumulativo, donde Apurímac es el tercer departamento con eventos registrados de huaycos en el país, que son la causa principal de los daños de las estructuras hidráulicas, carreteras y zonas agrícolas.

Figura 1

Diagrama acumulativo de huaycos en el Perú entre el 2013 -2017.



Nota. Datos tomados de huaycos de Perú por INDECI (2017).

En el departamento Apurímac, en el transcurso de los últimos años, durante el trimestre de enero a marzo, se ha observado interrupciones en la carretera debido a fuertes precipitaciones, desencadenando movimientos de masa en aguas abajo de la quebrada Amoray, cesando así el tránsito vehicular.

En la Figura 2, se indica estadísticamente posicionado la zona de estudio y como está es predominada por la carretera Interoceánica Sur que une el puerto de San Juan de Marcona, con la localidad de Muñapata en Urcos y la quebrada Amoray demostrando así que, en el segundo y tercer trimestre del año, la circulación vehicular es normal.

Figura 2

Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Tránsito vehicular



Las pérdidas económicas dependientes a la intensidad del evento se deben a la obstrucción de los flujos no newtonianos en la parte alta de la cuenca, es por ello el tránsito vehicular puede permanecer restringido por varios días. Además, producen daños y pérdidas de cultivos que se dan en la quebrada Amoray, esto podemos observar en la Figura 3 y 4.

Figura 3

Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Interrumpida por flujo no newtoniano.



Nota. Gráfico extraído Red de noticias Apurímac (2019).

Figura 4

Carretera tramo Aymaraes - Abancay. Interrumpida por flujo no newtoniano.



Nota. Gráfico extraído de Radio Fox Abancay (2021).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos Generales

Realizar la comparación del modelo hidráulico de flujos newtonianos y no newtonianos en la quebrada Amoray utilizando el modelo numérico HEC-RAS versión 6.4.1.

1.2.2. Objetivos Secundarios

- Realizar el estudio hidrológico mediante el modelo numérico HEC- HMS en la zona de estudio, quebrada Amoray.
- Determinar los parámetros reológicos en la quebrada Amoray para la simulación de flujos no newtonianos, mediante el modelo numérico HEC-RAS.
- Realizar la calibración del modelo reológico por huella hídrica en el cono de deyección en la quebrada Amoray.
- Elaborar mapas de peligro por inundación frente a máximas avenidas, para diferentes periodos de retorno en el cauce de la quebrada Amoray.

- Realizar el diseño de una alcantarilla transversal de la carretera Interoceánica sur tramo Chalhuanka – Abancay km 35.

1.3. Hipótesis

La identificación de flujos de acuerdo con su taxonomía permite conocer el modelo hidráulico óptimo a través de la concentración de sedimentos en la quebrada Amoray para zonas de posible inundación.

1.4. Justificación

1.4.1. Académica

El presente proyecto de tesis de investigación, busca realizar la comparación entre flujos newtonianos y no newtonianos a través de métodos empíricos y reológicos utilizando el software HEC-RAS versión 6.4.1, de código libre (sin licencia) para comprender los diferentes tipos de flujo que se presenta en la activación de quebradas, las entradas de datos y procedimientos basados en normas hidrológicas e hidráulicas establecidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre (CENEPRED).

1.4.2. Técnica

El presente proyecto de tesis de investigación, permitirá buscar soluciones óptimas a eventos extremos en la zona de la quebrada Amoray. De esta manera controlar la avenida del flujo y conocer la vulnerabilidad de la carretera y el sector agrícola situada en las márgenes del cauce.

1.4.3. Social

El presente proyecto de tesis de investigación, elaborará mapas de riesgos del área de estudio, quebrada Amoray el cual será mostrado a todas las autoridades de la provincia de Aymaraes utilizando softwares de Sistema de Información Geográfica.

1.4.4. Económico

El presente proyecto de tesis de investigación, permitirá contribuir y dar a conocer los planes de medidas de mitigación de las avenidas de flujos no newtonianos y de esta manera dar conocimiento a las autoridades de la provincia de Aymaraes.

1.4.5. Político

El presente proyecto de tesis de investigación, permitirá informar a la ciudadanía, la velocidad del flujo y mapas de riesgos marcados con los niveles de peligrosidad en que se encuentra la zona de estudio quebrada Amoray y brindar información a las autoridades para plantear una solución.

1.4.6. Ambiental

El presente proyecto de investigación, permitirá conocer las zonas vulnerables al transporte de flujos no newtonianos ante avenidas máximas en la quebrada Amoray, a fin de realizar una restauración fluvial y evitar la interrupción del tránsito.



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

Fundamento Teórico

2.1. Marco conceptual

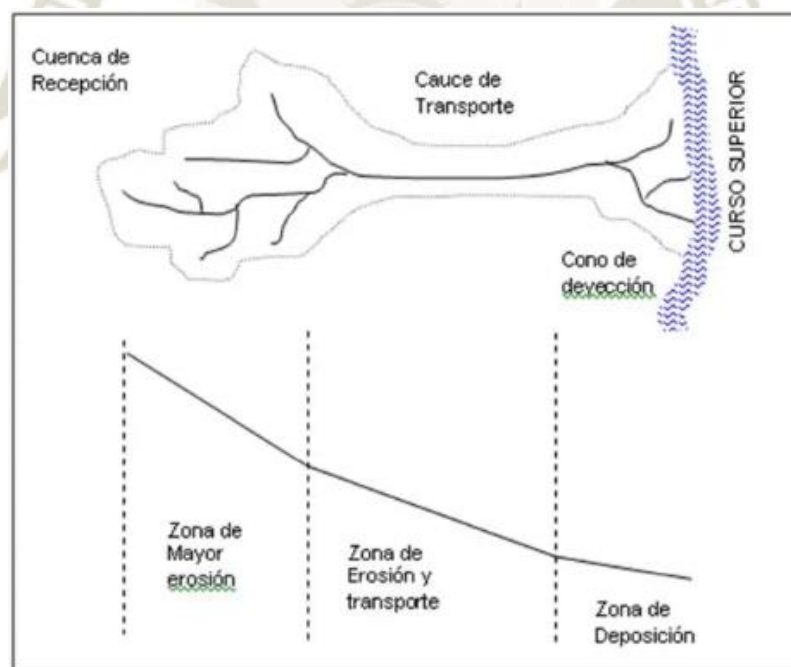
2.1.1. Quebradas

Se define quebradas a una transición abrupta entre montañas que resulta del movimiento de placas tectónicas o agentes erosivos, las quebradas captan el flujo de lluvia la cual desciende sobre esta y así hasta acumularse en el río (Castillo, 2006).

Las quebradas se pueden establecer según tres distintas zonas; cuenca de recepción, cauce de transporte, cono de deyección, esto podemos observar en la Figura.

Figura 5

Esquema típica de una quebrada.



Nota. Esquema típico de quebradas, extraído de CIDHMA (2012).

a) Cuenca de Recepción

Una de las partes de una quebrada es la cuenca de recepción, tiene forma de embudo y comprende fuertes e intensas pendientes, lo que permite que se produzcan grandes deslizamientos de tierra (Castillo, 2006).

b) Cauce de Transporte

Según Castillo (2006) esta zona comienza en el punto donde converge una red de canales pequeños, formando un determinado canal estable y permanente con una profundidad superior. Su papel principal es trasladar los materiales recogidos en el área de recepción, considerando las diversas características del suelo o roca por el cual fluye, también puede aportar material adicional como resultado de los derrumbes y deslizamientos (pág. 6).

c) Cono de Deyección

Es el área donde se asienta la materia erosionada, y se distingue de la cuenca de recepción y cauce de transporte por contener una inclinación menor y acumular todo el material transportado. Por su forma y por el hecho de que el material que transporta es de origen aluvial, también se le conoce como abanico aluvial (Castillo, 2006, pág. 6).

2.1.1.1. Formación de quebradas

La causa de las quebradas es principalmente la acción de las precipitaciones y las fuerzas erosivas sobre el suelo; Castillo (2006) menciona que estas pasan por cuatro etapas claramente definidas durante el proceso de desarrollo, las cuales son:

a) Primera etapa

La primera etapa la cual se podría denominar como erosión laminar, está dada cuando surgen arroyos reducidos en el terreno del suelo como resultado de la colisión de las lluvias y la escorrentía superficial (Castillo, 2006).

b) Segunda etapa

Debido a esta erosión regresiva, la quebrada comienza a extenderse y desplazarse en sentido contrario al flujo de agua. La erosión adversa es la idea de que el suelo se hunde como resultado de diagnósticos de dinámica fluvial presentes o de una perturbación en cada una de sus partes constituyentes (Castillo, 2006).

c) Tercera etapa

La erosión como la socavación en las laderas han provocado que está quebrada siga ensanchada y profundizando, la acción regresiva en esta etapa tiende a profundizar el abismo a través del cual fluirá el torrente y la quebrada se activará ante un potencial evento de precipitación extrema, generando los huaycos (Castillo, 2006).

d) Cuarta etapa

El proceso de desarrollo de la erosión de este lecho llega paulatinamente a su fin, de este modo los parámetros como la longitud y su sección transversal de esta quebrada son estabilizados. La quebrada es vista en su fase de madurez (Castillo, 2006).

- Como resultado concluimos que la **quebrada Amoray pertenece** a la **cuarta etapa**, considerándose una quebrada en madurez, donde el proceso de erosión intenso y los huaycos llegan a su fin.

2.1.2. Riesgos Geológicos

Existen peligros geológicos de remoción en masa, se van a nombrar 3 de ellos en el proyecto de tesis que se describirán brevemente.

2.1.2.1. Desprendimientos

Son masas de gran tamaño que circulan y recorren una gran parte del intervalo en el aire y posteriormente se separan de las cuevas escarpadas. Aquí podemos encontrar los llamados

derrumbes o deslizamientos de rocas (Huancara & Cutire, 2019). Estos deterioros se dan con frecuencia en la Quebrada Amoray.

Figura 6

Desprendimientos en Colcabamba - Apurímac.



Nota. Gráfico extraído del Instituto Nacional de Defensa Civil- Colcabamba - Apurímac (2017).

2.1.2.2. Erosión de riberas

Es todo el desecho causado debido a la erosión o desprendimiento en los límites, o ribera del río que resultan de las fuerzas producidas por la hidráulica de la corriente son las que en su mayoría son causales de un aumento de caudales del río por fuertes lluvias que ocurren en las partes altas de la cuenca (Cenepred, 2010). Como se puede apreciar la siguiente Figura.

Figura 7

Erosión de riberas en la quebrada Amoray.



2.1.3. Flujos

Es la circulación de material del suelo, que se dirigen en la dirección que toma el material de los cuales se puede simular como un fluido viscoso y sus posteriores efectos anexos a estos (Huancara & Cutire, 2019, pág. 11). En la Figura 8 se aprecia como la carretera Interoceánica Sur es interrumpida por un flujo.

Figura 8

Movimientos con masa de suelo en Colcabamba – Apurímac.



Nota. Gráfico extraído del Instituto Nacional de Defensa Civil- Colcabamba-Apurímac (2022).

2.1.3.1. Flujo newtoniano

“Es un flujo cuya viscosidad es constante a lo largo del tiempo cuando se le aplica un esfuerzo cortante” (Sanguinetti, 2020). “La relación entre la tensión – deformación es lineal, como se señala en la Figura 10” (Gibson & Sánchez, 2020). El agua es el típico ejemplo de este tipo de flujo. A continuación, se puede apreciar este tipo de flujo en la zona de estudio en la Figura 9.

Figura 9

Flujo newtoniano - Quebrada Amoray.

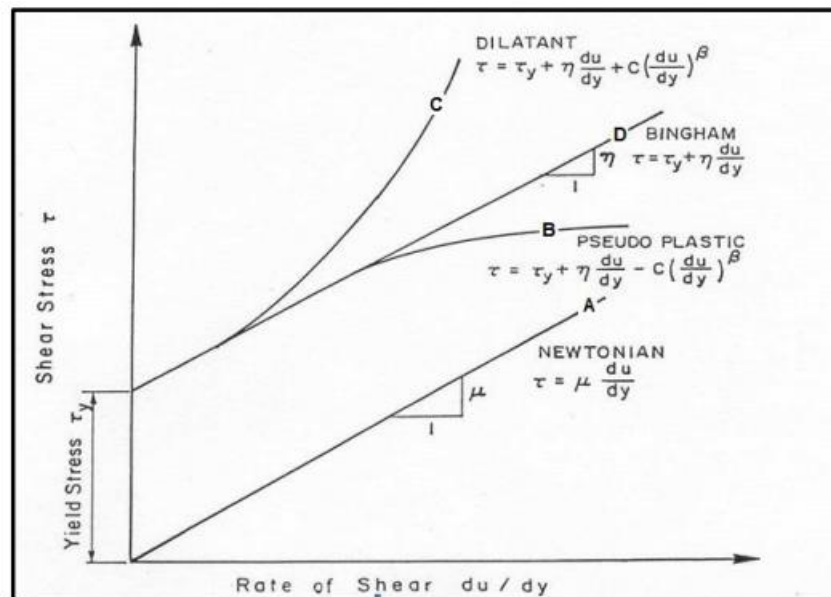


2.1.3.2. Flujo no newtoniano

Los flujos no newtonianos suelen tener resistencia interna, resisten el movimiento bajo una serie de tensiones, para que el material se deforme las fuerzas motrices deben superar esta resistencia interna (Gibson & Sánchez, 2020). Posteriormente se puede apreciar en la Figura 10 el comportamiento de estos flujos.

Figura 10

Relación de tensión-deformación para diferentes tipos de flujos.



Nota. Gráfico extraído de CIDHMA (2023).

2.1.4. Flujos que discurren en una quebrada

Estos flujos se clasifican en:

2.1.4.1. Avenida de Lodo

Estos flujos se distribuyen a lo largo de la superficie horizontal, pero mantienen la superficie fluidamente en un plano inclinado, y sus respectivas olas se desplazan en toda la superficie, estos flujos se mueven como arrastre de fondo, su concentración volumétrica varía entre el 20% a 45% (Castillo, 2006). A continuación, se puede observar en las Figuras 11 y 12 este tipo de flujo.

Figura 11

Avenida de lodo Chosica – Perú.



Nota. Gráfico extraído de Radio programas del Perú. (2015).

Figura 12

Quebrada el Pedregal -Chosica -Perú - Avenida de lodo.



Nota. Gráfico extraído de Radio programas del Perú. (2023).

2.1.4.2. Flujo de lodo

Para Castillo (2006), el flujo de lodo es definido como una combinación fluida de sedimentos finos los cuales también vienen incorporados por rocas. La alta viscosidad es la característica principal de un flujo de lodo, su concentración volumétrica varía entre el 45% a 55%. A continuación, se puede observar en la Figura 13 este tipo de flujo.

Figura 13

Flujo de lodo en la Convención - Cusco- Perú.



Nota. Gráfico extraído de Radio programas del Perú. (2021).

2.1.4.3. Flujo de Detrito

Estos flujos se componen principalmente de partículas de limo no cohesivas. También se conocen como flujos dispersivos, puesto que el impulso de los elementos se transfiere a través de la colisión de una manera similar a las bolas de billar, teniendo una concentración volumétrica mayor a 60% (Castillo, 2006). A continuación, se puede observar en la Figura 14 y 15 este tipo de flujo.

Figura 14

Flujos de Detritos en Abancay - Apurímac - Perú.



Nota. Gráfico extraído de Radio programas del Perú. (2012).

Figura 15

Flujos de Detritos en Secocha - Arequipa.



Nota. Gráfico extraído del Diario viral (2023).

2.2. Antecedentes

Los antecedentes y el estado de arte se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1
Matriz de Antecedentes.

Id	Autor	Relevancia	Método
1	Paricio (2019)	El presente artículo detalla el desarrollo de numerosos eventos de inundaciones con propiedades reológicas.	Se ha estudiado y simulado métodos geomorfológicos utilizando el software FLO-2D.
2	Gibson (2022)	Detalla la falla del dique de relaves de dos eventos catastróficos que transportaron material sólido.	Aplicó las nuevas características no newtonianas en HEC-RAS 6.1.
3	Laura (2019)	El presente artículo busca explicar los criterios de simulación de los flujos de lodo y escombros en la quebrada Lluta, Tacna.	Utilizó la metodología de FLO-2D para el análisis de flujos hiperconcentrados.
4	Almeida (2019)	Detalla el transporte y deposición de flujo de escombros en Mirave, representado por hidrogramas líquidos.	Utilizó las características del software FLO-2D, para obtener velocidades y tirantes máximos.
5	Lacho (2016)	El presente artículo determina la magnitud destructiva y estima el alcance que puede llegar a tener estos tipos flujos de detritos.	Utilizó estudios de geología e hidrología de la zona y características del software FLO 2D para la simulación
6	Olmedo (2022)	Se determina la comparación y limitación del software HEC-RAS y FLO 2D, en base a dos eventos sucedidos en las quebradas Acerillas y Mesilla (Chile).	Aplicó la ecuación de O' Brien para el modelo FLO 2D, mientras para HEC-RAS, utilizo los diferentes modelos reológicos.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Metodología

3.1. Tipo y nivel de investigación

“Según el nivel de investigación, esta tesis es una investigación explicativa, porque intenta responder las razones de los aparentes efectos negativos que se suscita en la zona estudiada a través del modelo numérico” (Hernández, 2014).

3.2. Diseño de investigación

“La presente tesis de investigación se clasifica dentro del diseño de investigación experimental debido a que existe a una clara relación causa-efecto entre las variables del proyecto, siendo las lluvias intensas (variable independiente) que, en contraste con las condiciones de la zona, son la principal causa de que se produzcan grandes avenidas (variable dependiente) con consecuencias negativas para el área de estudio” (Hernández, 2014). A continuación, en la siguiente Figura se aprecia la matriz de variables.

Figura 16

Matriz de variables.

Variable	Tipo de Variable	Unidad	Indicador	Herramienta	Descripción
Lluvia	Independiente	mm	Precipitación Máxima de 24 horas	HEC-HMS v.4.9	Las inundaciones se presentan como consecuencia de lluvia intensas.
Máximas Avenidas	Dependiente	m ³	Caudal	HEC-RAS v.6.4.1.	Programa de Modelización de flujos no newtonianos.

3.3. Ubicación del Proyecto

3.3.1. Ubicación Geográfica

El proyecto de investigación localizado en el distrito de Colcabamba, provincia de Aymaraes, tiene geográficamente los valores en las siguientes coordenadas UTM:

- Sur (S): 8450682 m
- Oeste(W): 689213 m
- Altitud: 3360 (m.s.n.m)

3.3.1.1. Limitación con Distritos:

- Limitado entre los distritos de Lucre y Tintay por el norte.
- Limitado entre los distritos de Toraya y Capaya por el Sur.
- Limitado entre los distritos de Chapimarca y Tapairihua por el Oeste.

3.3.2. Ubicación Hidrográfica

El área de estudio se enmarca entre las nacientes del río Llehua de recorrido constante y el riachuelo Antapacca de recorrido permanente. El flujo de agua que nace entre estos ríos, más las escorrentías superficiales, van a conformar el cauce definido de la quebrada Amoray donde se pretende realizar la obra de arte.

3.3.3. Ubicación Política

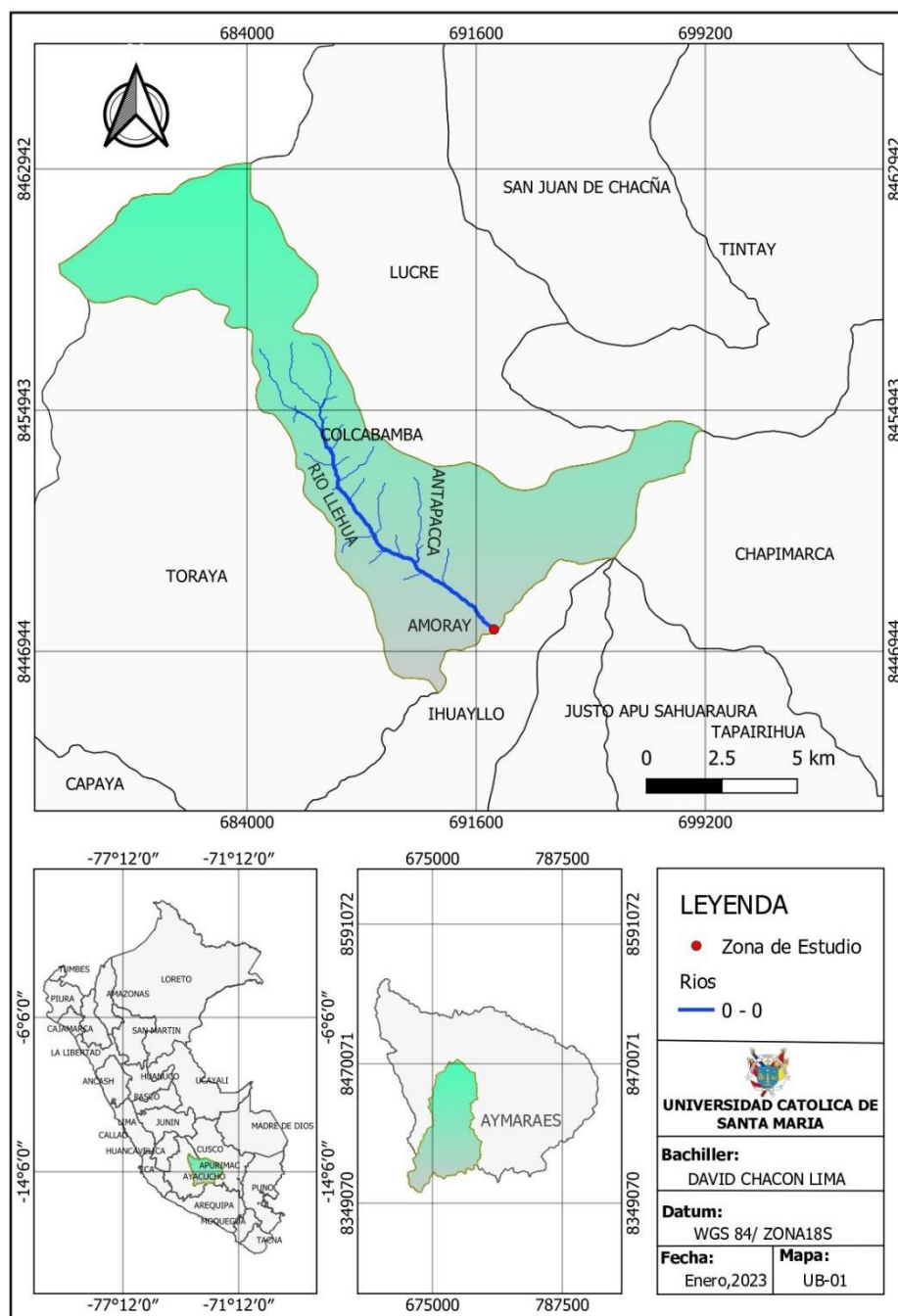
El segmento que tiene la quebrada Amoray se encuentra ubicado en la Región de Apurímac, Provincia de Aymaraes, Distrito de Colcabamba.

- Región : Apurímac
- Provincia : Aymaraes

- Distrito : Colcabamba

Figura 17

Mapa de ubicación del área de estudio.



3.4. Características de la Zona de Estudio

3.4.1. *Clima*

La zona de estudio presenta tres climas, húmedo o lluvioso que se extiende de enero hasta abril y se distingue debido a la disposición de gran precipitación; y otra seca, caracterizado por su escasez o ausencia total de precipitación de mayo hasta agosto y finalmente un clima de transición, que es de septiembre a diciembre y se caracteriza por un nivel de precipitación generalmente bajo (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).

3.4.2. *Elementos meteorológicos*

3.4.2.1. Precipitación

“La precipitación en la zona de estudio presenta un periodo pluvial de verano, considerando que las precipitaciones primaverales son cada vez más intensas en el mes de enero hasta marzo, seguida de una caída casi abrupta en el mes de abril” (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).

3.4.2.2. Temperaturas

La zona de estudio, se encuentra entre 2,700 a 4200 (m.s.n.m) y sigue el patrón estándar de su variación apropiada para su ubicación geográfica, donde la temperatura media anual está en un intervalo entre 25 ° y 23 ° C° así como la precipitación media es de 130mm/seg en áreas secas y llegan a 500mm/seg en áreas húmedas (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).

3.4.2.3. Humedad Relativa

“La humedad relativa se origina en el intervalo de febrero y marzo aproximadamente, así como los meses entre julio y agosto en el cual se darían los valores más bajos. El nivel de humedad es más bajo durante el día, mientras que por la noche tiende a subir como consecuencia del descenso de la temperatura” (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).

3.4.3. Geológica

3.4.3.1. Origen Geológico

“La Cordillera Oriental, la cual se desarrolló con el alzamiento de los andes a lo largo de la etapa del Cenozoico y Cuaternario. Está formado por rocas sedimentarias e ígneas que provocan metamorfismo incluso en las áreas de roce y un fragmento del llano está recubierto por diferentes tipos de depósitos como los cuaternarios, aluviales y eluviales” (CENEPRED, 2016).

3.4.3.2. Tipo de roca

“La zona de estudio se ubica en los siguientes grupos de rocas, intrusivos de Tonalita de color gris claro que presentan una textura holocristalina equigranular y finalmente intrusivos de Diorita de color gris oscuro que presenta una textura orbicular” (CENEPRED, 2016).

3.4.3.3. Vientos

“Entre los tipos de vientos de la zona tenemos los vientos locales que hacen que la presión del aire cambie de áreas de alta presión a baja presión” (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).

3.4.4. Diagnóstico actual del cauce

3.4.4.1. Riesgos Climáticos (Inundaciones)

Tomando en cuenta el grado de vulnerabilidad de la zona, estará establecida dependiendo de la temporada de lluvias que pueda existir en el intervalo de tiempo de los meses de diciembre hasta abril, que puede llegar a ocasionar a la activación de la quebrada.

En las siguientes imágenes se muestra el comportamiento que presenta el flujo ya que gran cantidad de medios de transporte se quedan paralizados en la vía Chalhuanca-Abancay.

Figura 18

Interrupción de huayco en el tramo Chalhuanca - Abancay.



Nota. SR Dongo Noticias Abancay (2019).

3.4.4.2. Suelos

Existe una variabilidad considerable de las características tanto de textura como la profundidad del suelo, esta puede llegar a ser arenosa incluso arcillosa, si esta cuenta con un porcentaje de presencia de piedras cambiantes en la superficie (Municipalidad Distrital de Colcabamba, 2019).



CAPÍTULO IV

ESTUDIO HIDROLÓGICO

Estudio Hidrológico

4.1. Generalidades

Es de vital importancia ejecutar el estudio hidrológico de la cuenca como parte de la tesis, lugar donde se deben realizar estudios topográficos con Drone, seguido del diseño de la alcantarilla, con una determinación del caudal de máximas avenidas, investigado previamente en la etapa hidrológica que posibilita la ejecución de este diseño.

4.2. Metodología

4.2.1. Trabajos Preliminares

Dentro de esto tenemos incluido la recopilación, evaluación y análisis de datos de los documentos cartográficos y pluviométrica en la zona del estudio y una guía de lo que debe hacerse al enlazar las características esenciales de esta microcuenca, como su área, perímetro y pendiente.

4.2.2. Trabajos finales de gabinete

Durante esta etapa de gabinete se realizarán actividades esenciales para determinar los datos finales:

- Delimitación de la cuenca con la finalidad de poder hallar su área, después tener en cuenta su escurrimiento de las precipitaciones pluviales de las zonas de gran elevación con en el fin hallar los parámetros geomorfológicos, para el estudio hidrológico.
- Proceso, análisis, determinación de los parámetros hidrológicos, que nos ayudarán a asignar su diseño y caudal de diseño.
- Cálculo de las intensidades de las precipitaciones máximas de 24 horas dentro del área de estudio, cálculo de las precipitaciones máximas para el área de estudio, utilizando el programa HIDROESTA 2 y luego obtención de los caudales máximos con el propósito de utilizar su diseño.

4.3. Información cartográfica y geográfica

La información cartográfica y geográfica con que se trabajó el proyecto de tesis fue obtenida por los modelos digitales de elevación de la NASA (EarthData), correspondiente a la zona 18 sur, la cual utilizamos para nuestra delimitación de la cuenca, igual a lo que se muestra en el plano.

4.4. Descripción general del modelo para la cuenca

Un modelo de una cuenca es una colección matemática de abstracciones, que nos sirve para especificar las fases pertinentes del ciclo hidrológico, con la intención de simular el cambio de precipitación en escorrentía. Como punto de partida la técnica del modelado de cuencas tiene una aplicación a cuencas de cualquier tamaño, pequeñas, medianas o grandes.

4.5. Determinación de parámetros de la cuenca

Seguidamente, se indicarán los diferentes parámetros de la cuenca:

4.5.1. Delimitación

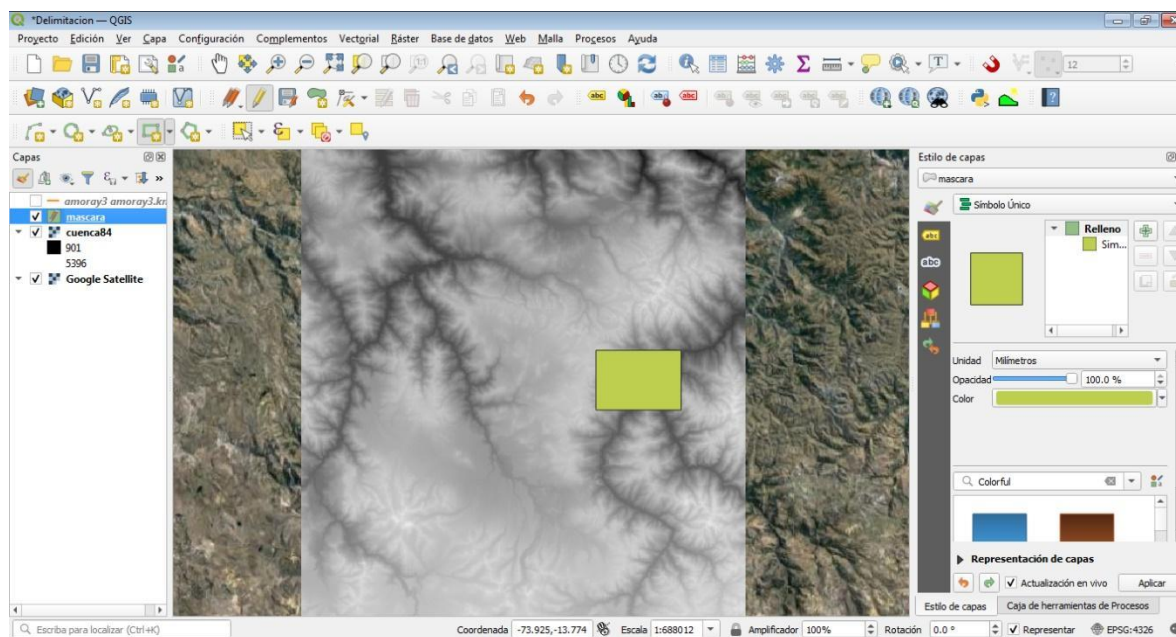
Con el empleo de QGIS, un Software que brinda información geográfica (SIG), la delimitación de la cuenca se podrá completar, así como parámetros geomorfológicos haciendo hincapié que estos se desarrollaron utilizando la versión QGIS 3.16.

4.5.2. Metodología

A partir de un modelo digital de elevación (DEM) que nos muestra la zona WGS 84, que abarca toda el área de estudio y con la asistencia del complemento QuickMapservice, se procede a recortar el DEM a través de la opción cortar raster- por extensión. cómo se puede verificar en la Figura 19.

Figura 19

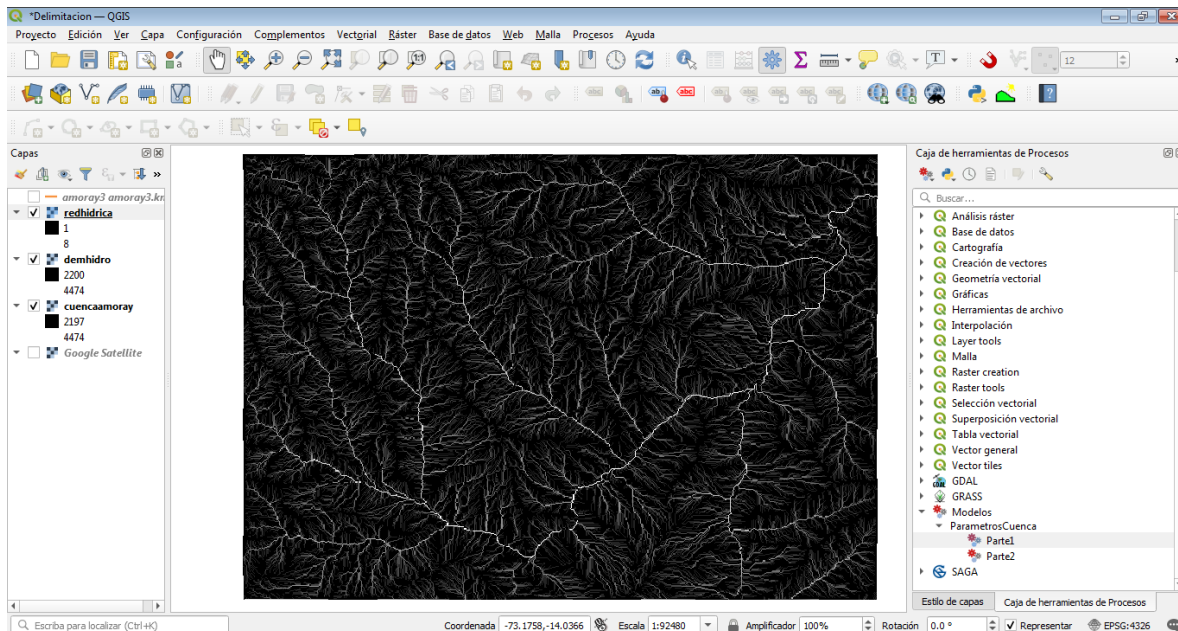
DEM extraído por extensión.



Seguidamente a través de un algoritmo automático re proyectamos las coordenadas geográficas a UTM zona 18 sur, creamos el DEM hidrológico y la red hídrica del modelo digital de elevación. (Figura 20)

Figura 20

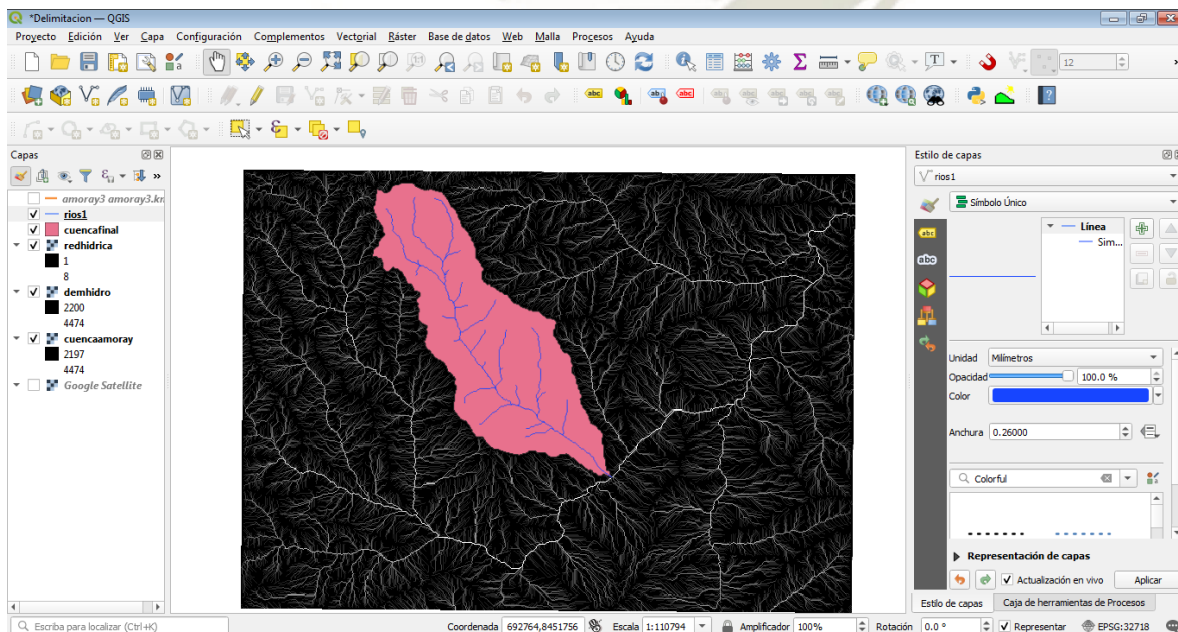
Red Hídrica de la cuenca.



El segundo paso del algoritmo es ubicar las coordenadas Este y Norte y crear la cuenca delimitada con su red hídrica final. (Figura 21)

Figura 21

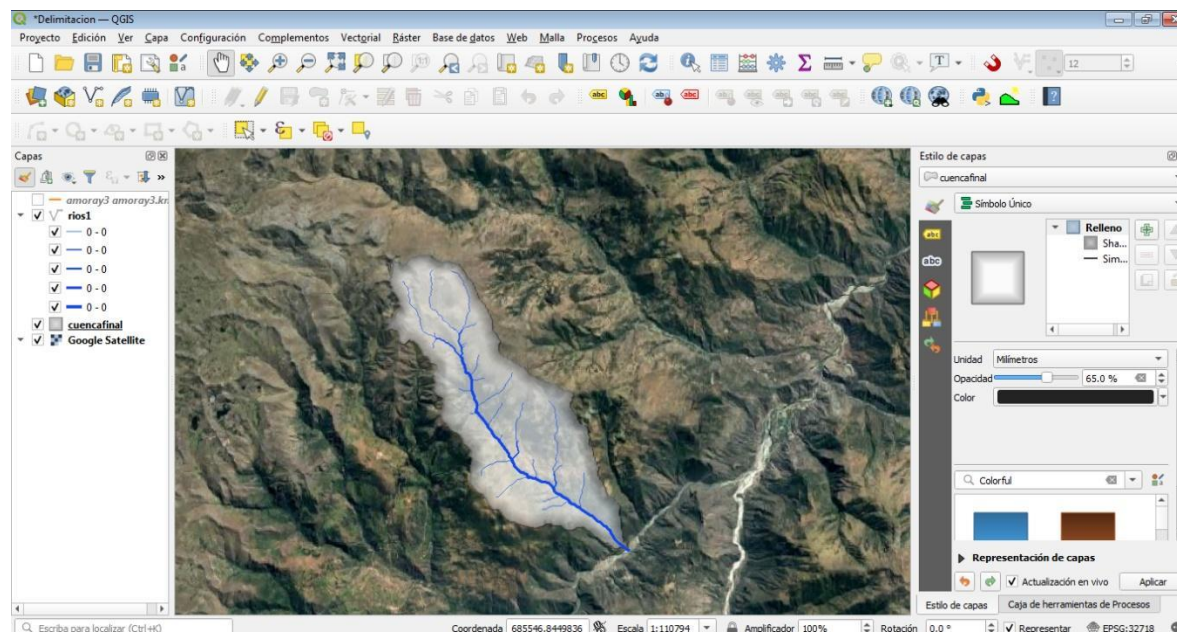
Cuenca con su red hídrica final.



Seguidamente se puede observar la cuenca delimitada con el programa QGIS. (Figura 22)

Figura 22

Cuenca delimitada.



4.6. Parámetros físicos de la cuenca

Hidrográficamente, la zona de estudio se localiza en la microcuenca llamado Llehua y el riachuelo denominado Antapacca, cuyo cauce a su vez es afluente a los ríos de Chalhuanca y Apurímac, que desemboca al río Ucayali y este al río Amazonas, que finalmente desemboca en el océano Atlántico.

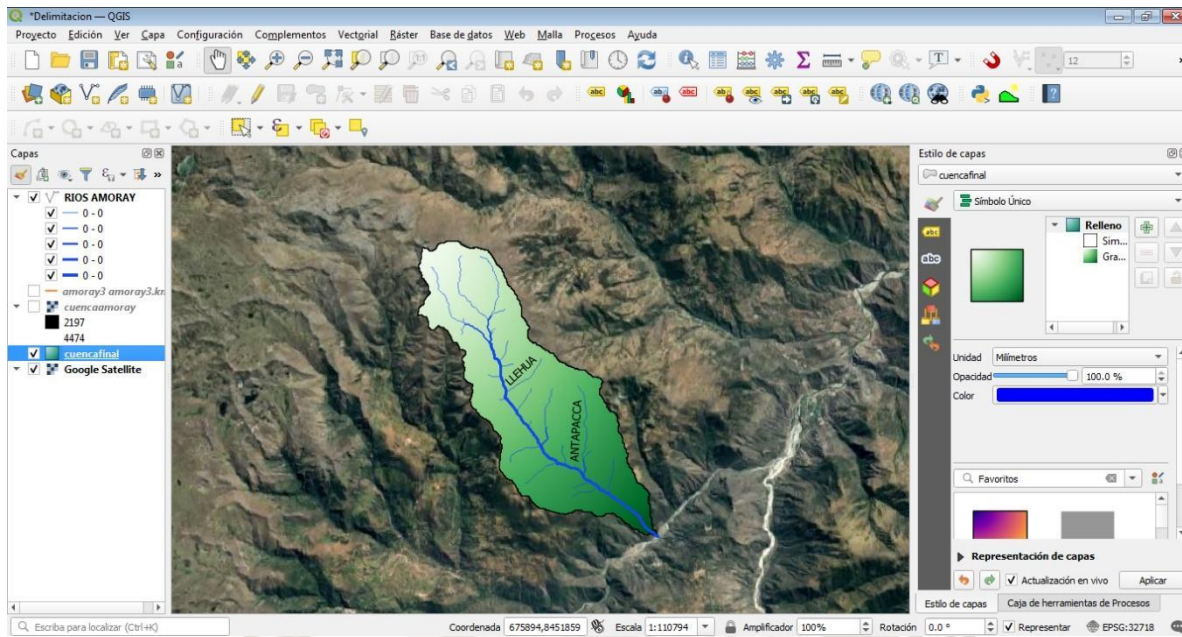
- Vertiente: Atlántico
- Cuenca: Chalhuanca-Apurímac
- Microcuenca: Llehua-Antapacca (Quebrada Amoray)

4.6.1. Área de la cuenca

“Este nos muestra una proyección horizontal de un área plana incluida en una división topográfica” (Cáceres, 2021). (Figura 23)

Figura 23

Área de la cuenca

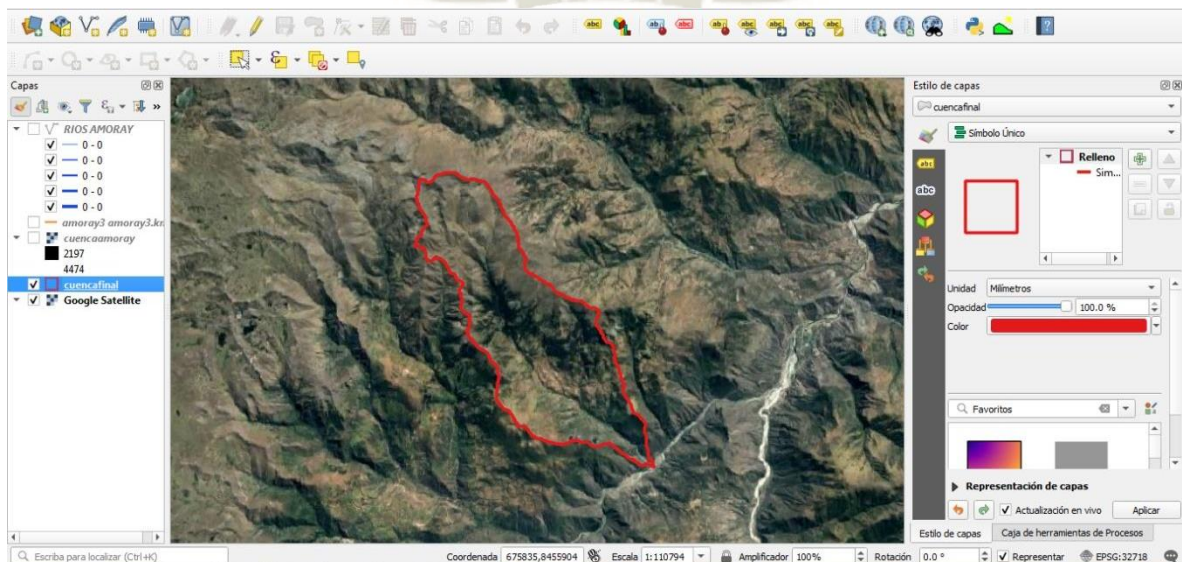


4.6.2. *Perímetro de la cuenca*

“El perímetro de la cuenca está calculado considerando la longitud del polígono, que depende de la forma y la superficie de la microcuenca” (Cáceres, 2021). (Figura 24)

Figura 24

Perímetro de la cuenca

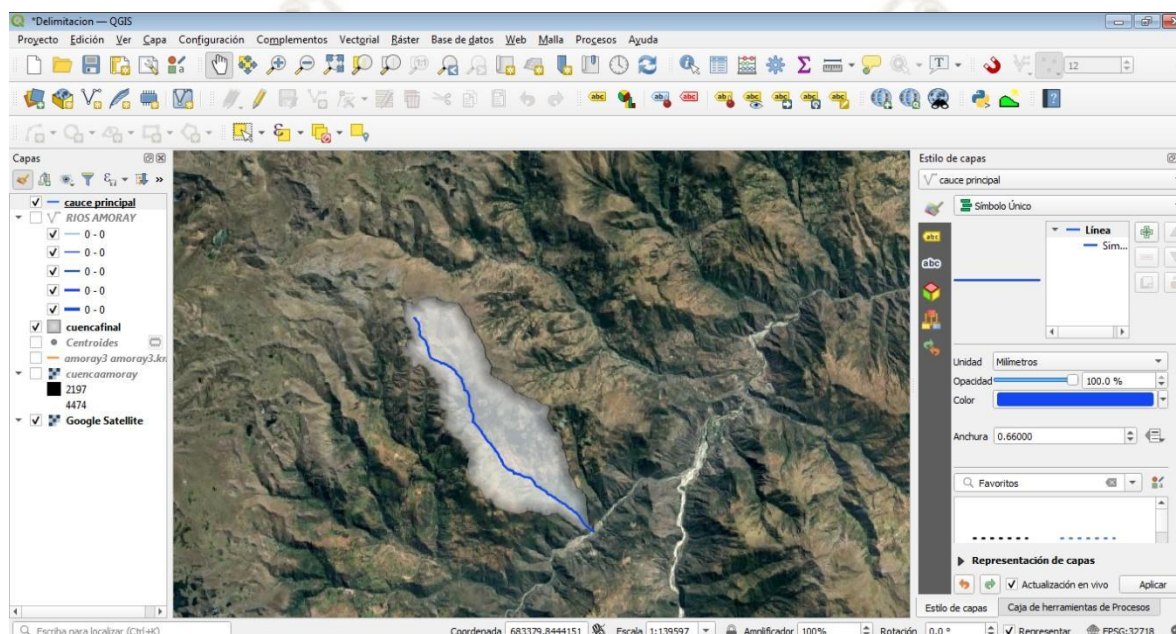


4.6.3. Longitud del cauce principal

“Mayor distancia recorrida, con un punto inicial desde aguas arriba, y punto final aguas abajo de la cuenca de estudio” (Cáceres, 2021). (Figura 25)

Figura 25

Longitud del cauce principal



A continuación, se resume los parámetros más importantes de la cuenca (Tabla 2).

Tabla 2

Resumen de parámetros físicos de la microcuenca

Parámetros Físicos de la microcuenca		
WGS 1984 UTM Z 18 S		
Parámetros	QGIS	und
Área	33.52	km ²
Perímetro	39.96	km
Cota máxima	4432	msnm
Cota mínima	2432.00	msnm

Diferencia de cotas	2000.00	m
C. Este Pto Salida	692170.80	m
C. Norte Pto Salida	8447689.70	m
X centroide	687882.98	m
Y centroide	8452514.03	m
L curso principal	11.90	km

4.7. Características geomorfológicas

Las características incluyen el relieve y la forma de la microcuenca delimitada.

4.7.1. Índice de Gravelius

“Específicamente, se indica matemáticamente como la relación entre el perímetro de la microcuenca, así como área del círculo de la misma superficie” (Lux, 2016).

$$K_C = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$K_C = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} * \frac{39.96}{\sqrt{33.52}}$$

$$K_C = 1.95$$

K_C = Coeficiente de compacidad (Adimensional)

P = Perímetro de la microcuenca (km)

A = Área (km^2)

Figura 26
Rangos de compacidad.

Rango K_c	Clases de compacidad
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.50	De oval redonda a oval oblonga
>1.50	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: (INVIAS, 2009)

El coeficiente de compacidad de la microcuenca es de 1.95, lo que equivale a una forma de oval oblonga a rectangular oblonga.

4.7.2. Factor de forma

“Es la razón dada entre el área de la microcuenca y el máximo recorrido al cuadrado” (Cáceres, 2021).

$$F = \frac{A}{L_m^2}$$

$$F = \frac{33.52(km^2)}{11.90km^2}$$

$$F = 0.24$$

F= Factor forma

A= Área (km^2)

L= Longitud de máximo recorrido (km)

F>1 representan cuencas con un flujo máximo en un periodo corto.

$F < 1$ representan cuencas con un flujo máximo en periodos largos.

Figura 27

Características de factor forma.

Factor Forma	Características
0-0.25	Estrecha
0.25-0.50	Alargada
0.50-0.75	Amplia
0.75-1	Ancha

Fuente: (INVIAS, 2009)

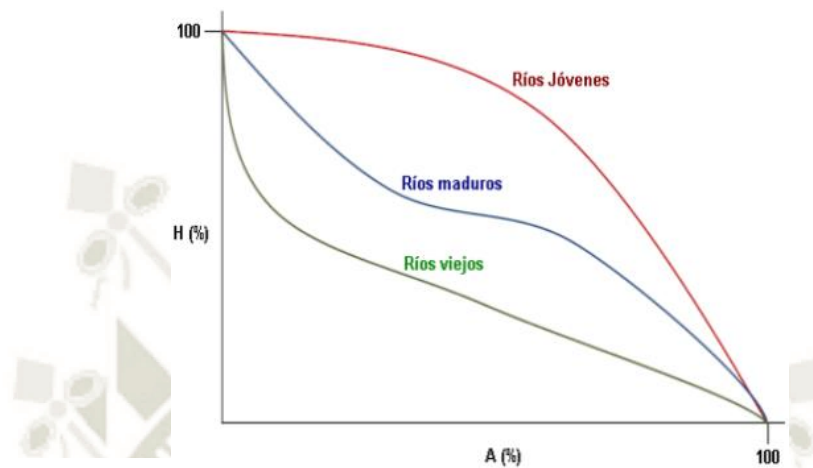
El valor del factor de forma de esta microcuenca resulta 0.24, según la Figura anterior esta equivale a un factor de forma estrecha.

4.8. Curva hipsométrica

“Las curvas hipsométricas, nos muestran gráficamente la relación que se encuentra en la variabilidad de altitudes y la zona superficial de la cuenca” (Cáceres, 2021). “Las curvas hipsométricas ayudan a determinar la longevidad que tienen estos ríos presentes en las respectivas cuencas” (Cáceres, 2021).

Figura 28

Curva hipsométrica.



Nota. Gráfico extraído de CIDHMA (2021).

Para su elaboración se tuvo en cuenta el software QGIS 3.16. En lo cual se obtuvo valores intermedios tanto altitudinales como de áreas basándose en sus respectivas curvas de nivel, así como el cálculo del área acumulada que se establece sobre cada altitud del contorno, añadiendo como último punto, se obtiene el ploteo de las altitudes y sus correspondientes áreas acumuladas, que como se muestra en la Tabla, indica su respectiva altitud. Todo este proceso se realiza con el empleo del software Microsoft Excel.

Tabla 3

Curva Hipsométrica.

Área acumulada (km ²)	Altitud (m.s.n.m)	Áreas parciales (km ²)	Áreas que queda sobre las Altitudes	% que queda sobre la Altitud
1.22E-05	2432	1.22E-05	2.80E-03	0.43
3.53E-05	2532	2.31E-05	2.78E-03	0.82

6.17E-05	2632	2.65E-05	2.75E-03	0.94
0.00010872	2732	4.70E-05	2.70E-03	1.67
0.00017199	2832	6.33E-05	2.64E-03	2.25
0.00024761	2932	7.56E-05	2.57E-03	2.69
0.00034421	3032	9.66E-05	2.47E-03	3.43
0.0004841	3132	1.40E-04	2.33E-03	4.97
0.00062168	3232	1.38E-04	2.19E-03	4.89
0.00076651	3332	1.45E-04	2.05E-03	5.15
0.00091914	3432	1.53E-04	1.89E-03	5.43
0.00108125	3532	1.62E-04	1.73E-03	5.76
0.00126273	3632	1.81E-04	1.55E-03	6.45
0.00151366	3732	2.51E-04	1.30E-03	8.92
0.00176813	3832	2.54E-04	1.04E-03	9.05
0.002051	3932	2.83E-04	7.62E-04	10.10
0.00231458	4032	2.64E-04	4.98E-04	9.37
0.00251273	4132	1.98E-04	3.00E-04	7.04
0.00268912	4232	1.76E-04	1.24E-04	6.27
0.00278804	4332	9.89E-05	2.48E-05	3.52
0.00281289	4432	2.48E-05	0.00E+00	0.88

Figura 29

Curva hipsométrica - Quebrada Amoray.

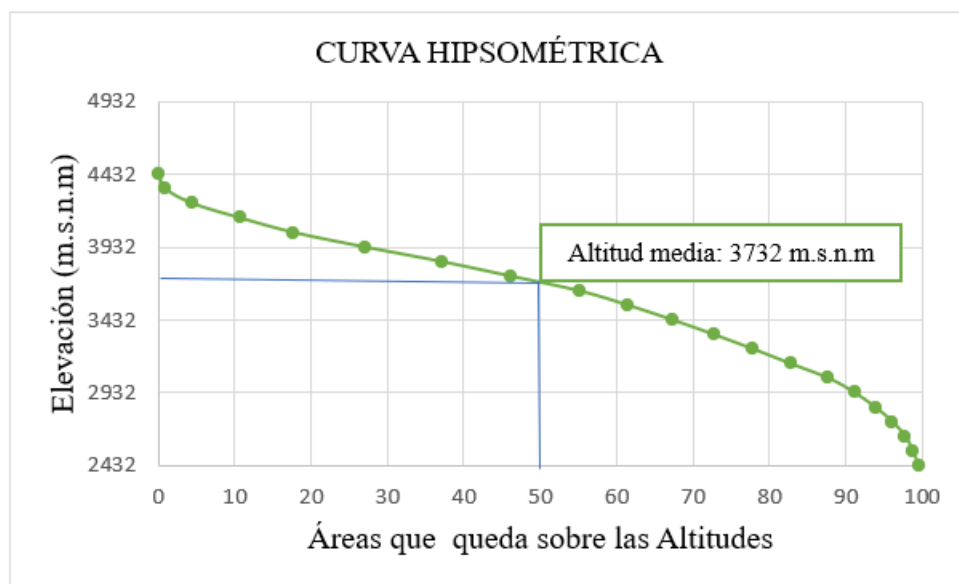
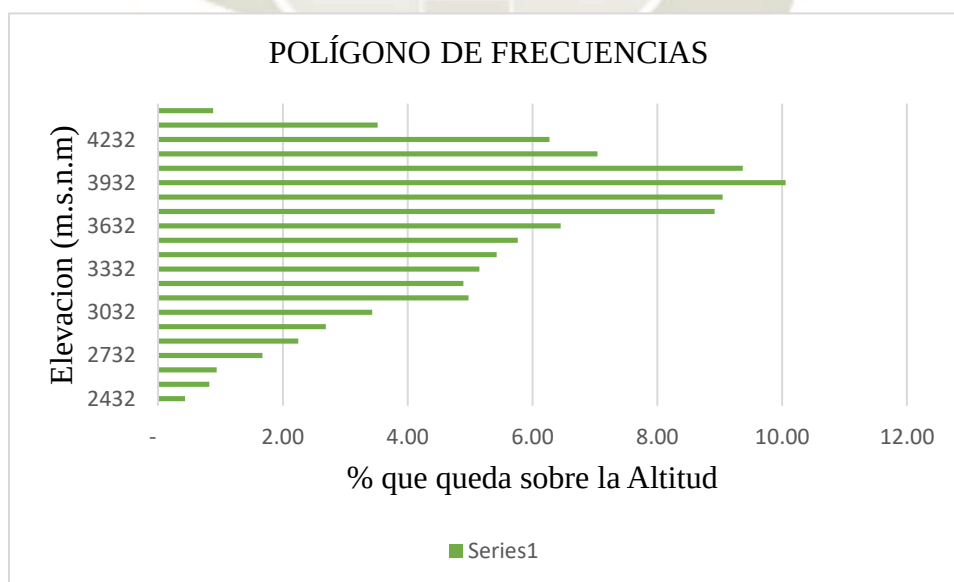


Figura 30

Polígono de frecuencias Altitudinales.



4.9. Pendiente media del curso principal

4.9.1. Pendiente de un tramo

“Nos indica la diferencia de desnivel existente entre cada extremidad de la cuenca, al mismo tiempo nos muestra la distancia longitudinal que comprende en planta” (Cáceres, 2021).

$$S(\%) = \frac{\Delta h}{L} * 100$$

$$S(\%) = \frac{4432 - 2432}{11900 \text{ m}} * 100$$

$$S(\%) = 16.86$$

Δh = Diferencia de cotas.

L = Longitud del cauce principal.

4.10. Información pluviométrica

Tanto las estaciones pluviométricas como hidrométricas no se encuentran dentro del espacio del proyecto, es por ello que las estaciones a mencionar provienen de zonas cercanas, las cuales son: Tambobamba, Chalhuanca y Andahuaylas.

Figura 31

Ubicación de estaciones Pluviométricas.



4.10.1. Estaciones Pluviométricas

Para el estudio hidrológico del proyecto, se cuenta con las tres estaciones mencionadas anteriormente:

Tabla 4

Estación Chalhuanca.

Estación	Región	Provincia	Distrito	Coordenadas		Altitud
				Longitud	Latitud	m.s.n.m
Chalhuanca	Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	73°15'6.05"	14°17'26.02"	3358

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

Tabla 5

Estación Andahuaylas.

Estación	Región	Provincia	Distrito	Coordenadas		Altitud
				Longitud	Latitud	m.s.n.m
Andahuaylas	Apurímac	Andahuaylas	San Jerónimo	73°22'15"	13°29'25"	2933

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

Tabla 6

Estación Tambobamba.

Estación	Región	Provincia	Distrito	Coordenadas		Altitud
				Longitud	Latitud	m.s.n.m
Tambobamba	Apurímac	Cotabambas	Tambobamba	72°10'30.8"	13°56'41.7"	3279

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

4.10.2. Registros de Precipitación

“El cálculo de la precipitación máxima, correspondientes a un mes determinado de una estación meteorológica en un periodo de 24 horas, se realiza mediante el análisis de los datos de todos los días del mes y la selección del dato más alto; de igual manera para el cálculo referente a un año determinado se elige el valor máximo de los meses respectivos” (Cáceres, 2021).

Tabla 7

Precipitación máxima de 24 horas- Estación Andahuaylas.

Estación: Andahuaylas	
Coordenadas:	
Latitud:	13°29'25"
Longitud:	73°22'15"
Altura:	2933 m.s.n.m
1996	22.5
1997	22.2
1998	32.7
1999	23.8
2000	30.5
2001	25.8
2002	24.8
2003	25.7
2004	19.9
2005	35.3
2006	43.3
2007	29.2
2008	25
2009	27.1
2010	24.3
2011	31.1
2012	35.1
2013	40.2
2014	31.3
2015	19.9
2016	30.8
2017	31.8

2018	22.5
2019	19.5
2020	25.7

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

Tabla 8

Precipitación máxima de 24 horas- Estación Tambobamba.

Estación: Tambobamba	
Coordenadas:	
Latitud:	13°56'41.7"
Longitud:	72°10'30.8"
Altura:	3279 m.s.n.m
1996	35
1997	38.2
1998	34.5
1999	25.6
2000	42.3
2001	52.7
2002	39
2003	48.8
2004	36.2
2005	54.7
2006	34.3
2007	28.2
2008	30
2009	65
2010	42.6
2011	35.4
2012	42.4
2013	28.4

2014	39.5
2015	35.6
2016	30.5
2017	45
2018	54
2019	36.2
2020	37.6

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

Tabla 9

Precipitación máxima de 24 horas- Estación Chalhuanca.

Estación: Chalhuanca	
Coordenadas:	
Latitud:	14°17'26.02"
Longitud:	73°15'6.05"
Altura:	3358 m.s.n.m.
1996	29.6
1997	27.2
1998	29.6
1999	28.6
2000	28.2
2001	41.7
2002	29.6
2003	34.1
2004	41
2005	28
2006	56.4
2007	38.6
2008	50.6

2009	25.5
2010	39.5
2011	31
2012	30.4
2013	34.8
2014	40
2015	36.4
2016	31.4
2017	30
2018	23.4
2019	29.3
2020	42

Nota. Datos tomados del Senamhi (2023).

4.11. Registro

4.11.1. Análisis de datos (OUTLIERS)

Para evaluar la data de precipitación, se ha realizado por el “método WRC (Water Resources Council)”, que consiste en la remoción de outliers (datos dudosos), para detectarlos se calculan los umbrales superior e inferior de la serie de precipitación máxima de 24 horas.

$$Y_h = \bar{y} + K_n * \sigma$$

$$Y_L = \bar{y} - K_n * \sigma$$

Y_h = Umbral superior de datos dudosos. (unidades logarítmicas)

Y_L = Umbral inferior de datos dudosos. (unidades logarítmicas)

$\bar{y}$ = Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas.

σ = Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones máximas

K_n = Valor tabulado para una muestra de tamaño n

Figura 32

Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.

n	Kn	n	Kn	n	Kn	n	Kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.7	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804		

Fuente: U.S. Water Resources Council (1981).

4.11.2. Análisis de datos de las estaciones

Posteriormente se realizará el análisis para cada estación:

Tabla 10

Análisis de datos - Estación Andahuaylas.

Año	Precipitación Histórica máx 24h	Log
1996	22.5	1.35
1997	22.2	1.35
1998	32.7	1.51
1999	23.8	1.38
2000	30.5	1.48
2001	25.8	1.41
2002	24.8	1.39
2003	25.7	1.41

2004	19.9	1.30
2005	35.3	1.55
2006	43.3	1.64
2007	29.2	1.47
2008	25	1.40
2009	27.1	1.43
2010	24.3	1.39
2011	31.1	1.49
2012	35.1	1.55
2013	40.2	1.60
2014	31.3	1.50
2015	19.9	1.30
2016	30.8	1.49
2017	31.8	1.50
2018	22.5	1.35
2019	19.5	1.29
2020	25.7	1.41

Seguidamente se realizará el análisis de cualquier dato dudoso alto o bajo, para la estación de Andahuaylas, desde el año 1996 al año 2020.

Tabla 11

Método WRC - Estación Andahuaylas.

Parámetros Estadísticos	P24hr
Número de datos (N)	25
Sumatoria	700.00
Valor Máximo	43.30
Valor Mínimo	19.50
Media:	28.000
Varianza:	38.483
Desviación Estándar:	6.203
Umbral superior:	46.67
Umbral inferior:	16.06

Figura 33

Remoción de Outliers -Estación Andahuaylas.

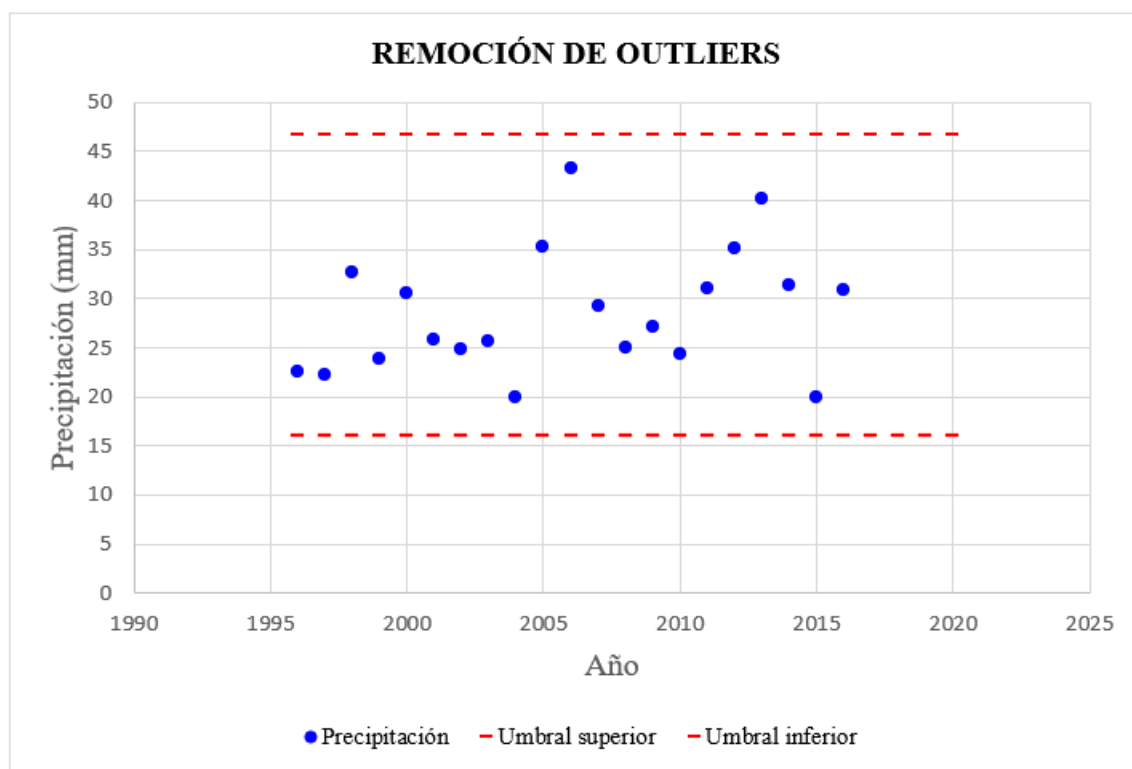


Tabla 12

Análisis de datos - Estación Tambobamba.

Año	Precipitación Histórica máx 24h	Log
1996	35	1.54
1997	38.2	1.58
1998	34.5	1.54
1999	25.6	1.41
2000	42.3	1.63
2001	52.7	1.72
2002	39	1.59
2003	48.8	1.69
2004	36.2	1.56
2005	54.7	1.74

2006	34.3	1.54
2007	28.2	1.45
2008	30	1.48
2009	65	1.81
2010	42.6	1.63
2011	35.4	1.55
2012	42.4	1.63
2013	28.4	1.45
2014	39.5	1.60
2015	35.6	1.55
2016	30.5	1.48
2017	45	1.65
2018	54	1.73
2019	36.2	1.56
2020	37.6	1.58

Seguidamente se realizará el análisis de cualquier dato dudoso alto o bajo, para la estación de Tambobamba, desde el año 1996 al año 2020.

Tabla 13

Método de WRC - Estación Tambobamba.

Parámetros Estadísticos	P24hr
Número de datos (N)	25
Sumatoria	975.30
Valor Máximo	65.00
Valor Mínimo	25.60
Media:	39.668
Varianza:	86.26
Desviación Estándar:	9.44
Umbral superior:	66.44
Umbral inferior:	21.80

Figura 34

Remoción de Outliers -Estación Tambobamba.

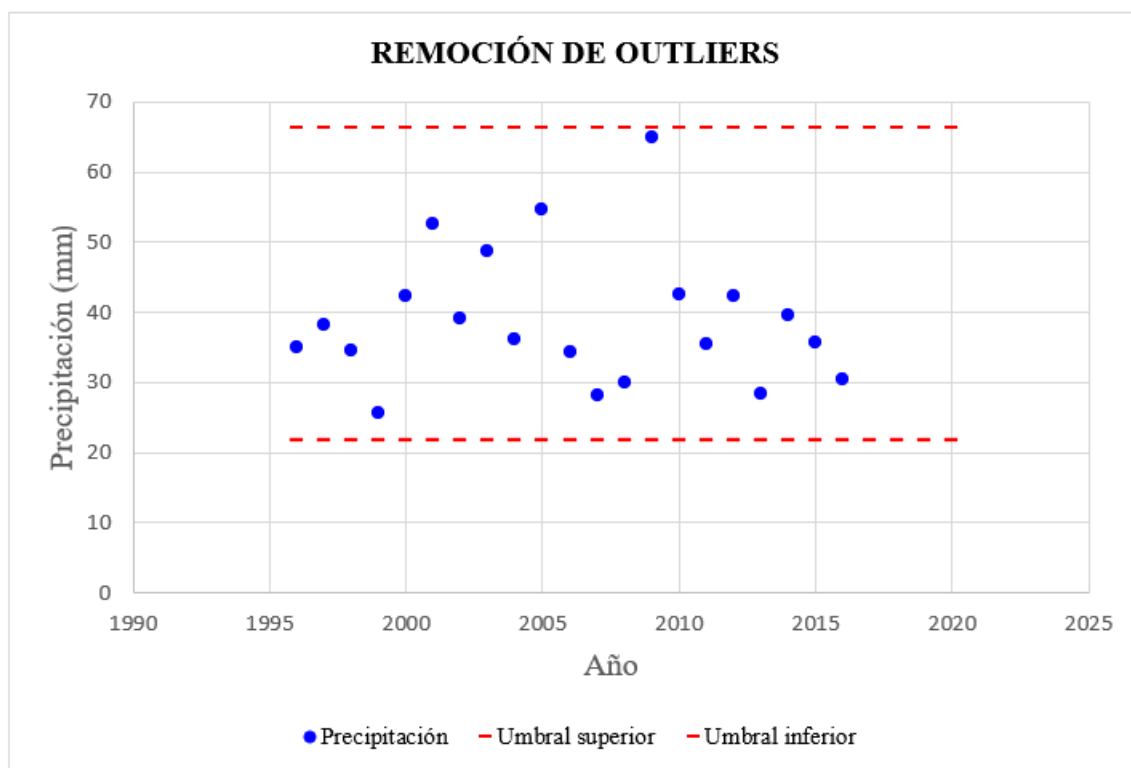


Tabla 14

Análisis de datos - Estación Chalhuanka.

Año	Precipitación Histórica máx 24h	Log
1996	29.6	1.47
1997	27.2	1.43
1998	29.6	1.47
1999	28.6	1.46
2000	28.2	1.45
2001	41.7	1.62
2002	29.6	1.47
2003	34.1	1.53
2004	41	1.61
2005	28	1.45

2006	56.4	1.75
2007	38.6	1.59
2008	50.6	1.70
2009	25.5	1.41
2010	39.5	1.60
2011	31	1.49
2012	30.4	1.48
2013	34.8	1.54
2014	40	1.60
2015	36.4	1.56
2016	31.4	1.50
2017	30	1.48
2018	23.4	1.37
2019	29.3	1.47
2020	42	1.62

Seguidamente se realizará el análisis de cualquier dato dudoso alto o bajo, para la estación de Chalhuanca, desde el año 1996 al año 2020.

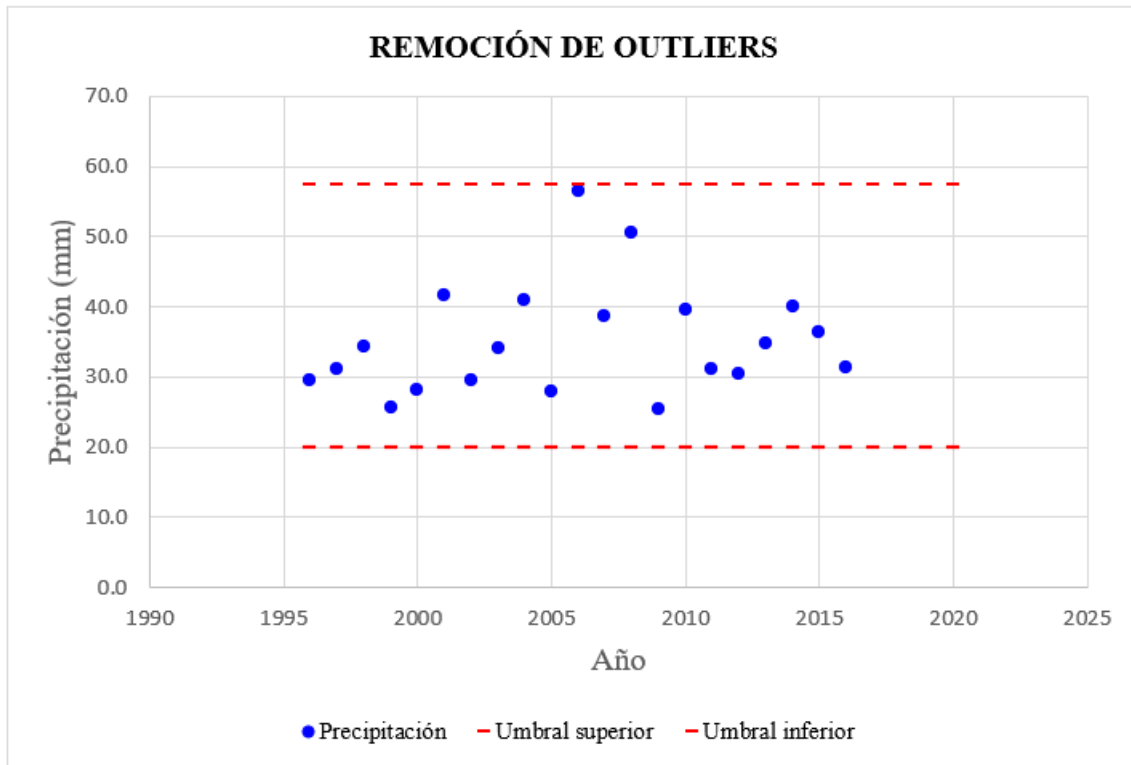
Tabla 15

Método de WRC - Estación Chalhuanca.

Parámetros Estadísticos	P24hr
Número de datos (N)	25
Sumatoria	862.4
Valor Máximo	56.40
Valor Mínimo	23.40
Media:	34.49
Varianza:	61.55
Desviación Estándar:	7.85
Umbral superior:	57.31
Umbral inferior:	19.84

Figura 35

Remoción de Outliers -Estación Chalhuanca.



Verificando los resultados para cada estación se puede concluir que no existe algún dato dudoso dentro de los límites superior e inferior.

4.12. Análisis y tratamiento de información

4.12.1. Estadística aplicada a la Hidrología

“La estadística, como herramienta fundamental en la hidrología, tiene como finalidad lograr la máxima utilidad de aplicaciones prácticas mediante el registro de varios datos como, por ejemplo, precipitaciones y caudales” (Segeres & Villodas, 2007).

4.12.2. Conceptos fundamentales

4.12.2.1. Probabilidad

“La definición fundamentada por Kolmogorov, se justifica en la correlación que presenta la probabilidad de una gran cantidad de repeticiones del experimento y la frecuencia relativa de un evento” (Mejia, 2017).

4.12.2.2. Funciones de probabilidad

Se puede dar por medio de dos tipos de funciones:

- Función de Distribución de Probabilidad $F(x)$: “Es el límite teórico de la función de frecuencia acumulada, se da cuando esta función corresponde a la población y no a la muestra” (Segeres & Villodas, 2007).
- Función de Densidad de Probabilidad $f(x)$: “Es el valor de la pendiente de la función de distribución para un valor específico de x , se da cuando la frecuencia relativa es dividida por el intervalo de longitud” (Segeres & Villodas, 2007).

4.12.2.3. Funciones de distribución acumulada

Según Villon (2007) la función de distribución acumulada se ve determinada por un criterio, siendo que X debe ser una variable aleatoria, de tal modo puede ser definida como una probabilidad donde X toma algún valor ya sea menor o igual que x . Cabe señalar que la función de distribución acumulada se divide según los tipos de variable aleatoria, que son; la función de distribución acumulada correspondiente a una variable discreta $F(x)$, que esta expresada como una sumatoria de las funciones de probabilidad $f(x_i)$, considerando que el valor de x_i debe ser menor o igual que x , sin embargo la función de distribución acumulada correspondiente a una variable continua $F(x)$, esta expresada como una integral de la función de probabilidad $f(x)$. (págs. 35-37)

4.12.2.4. Periodo de retorno

“El periodo de retorno -TR- de un evento dado es el tiempo promedio -E(t)- en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada T años” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

4.12.2.5. Riesgo de falla

“El riesgo de falla (R) es denominado como la probabilidad de que se produzca alguna vez un suceso con un periodo de retorno -T- en un tiempo de los próximos -n- años” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012, pág. 23).

“El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está representado por la siguiente expresión.” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012, pág. 23).

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

4.13. Funciones de distribución de probabilidad usadas en Hidrología

Desde un planteamiento teórico de la estadística, en las probabilidades se encuentran diferentes tipos de distribución; teniendo en cuenta que las funciones sugeridas a emplear son:

4.13.1. Distribución Log Normal III Parámetros

“Cuando los logaritmos, $\ln(x)$, de una variable x están normalmente distribuidos, entonces se dice que la distribución de x sigue la distribución de probabilidad log-normal” (Rojo, s.f.).

La función de densidad de x es:

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

Para $x > x_0$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición

u_y : Parámetro de escala o media

S_y : Parámetro de forma o varianza

4.13.2. Distribución Gumbel

“Esta distribución presenta una extensa línea de aplicaciones, considerando que tiene un enfoque para mostrar el comportamiento de máximos y mínimos también conocidos como crecientes y sequías respectivamente, por lo general son valores extremos” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012, pág. 29).

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

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

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

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

Donde:

α : Parámetro de concentración

β : Parámetro de localización

4.13.3. Distribución Gamma II Parámetros

“Se basa en crecientes máximas anuales, caudales mínimos, valores de precipitaciones extremas y volúmenes de lluvia de corta duración” (Rojo, s.f.).

La función de densidad es:

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

Válido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

4.13.4. Distribución Pearson Tipo III

“La función de densidad, según” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

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

Donde:

μ : Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

4.13.5. Distribución Log Pearson Tipo III

“Consta de tres parámetros capaces de tomar diversas formas, por ende, tiene un amplio uso en el modelamiento de series anuales de máximas avenidas de los datos no transformados” (Hoyos & Benavides, 2018).

La función de densidad es:

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

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

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

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : Parámetro de posición

γ : Parámetro de forma

β : Parámetro de escala

4.14. Verificación de las distribuciones teóricas

El presente estudio se lleva a cabo mediante el empleo del software HIDROESTA2, el cual está encargado de ejecutar la metodología de Kolmogorov – Smirnov.

4.14.1. Prueba de Smirnov Kolmogorov

“El ajuste de Smirnov - Kolmogorov mide la máxima diferencia absoluta entre las probabilidades acumuladas teóricas y las empíricas” (Chow, Saldarriaga, & Santos, 1994).

$$\Delta = \max |F(x) - P(x)|$$

F(x): Probabilidad teórica

P(x): Probabilidad Empírica

Posteriormente, se calculará el ajuste para las tres estaciones correspondientes.

a) Estación Andahuaylas

A continuación, se puede observar en el cuadro las diferentes distribuciones y su valor teórico.

Tabla 16

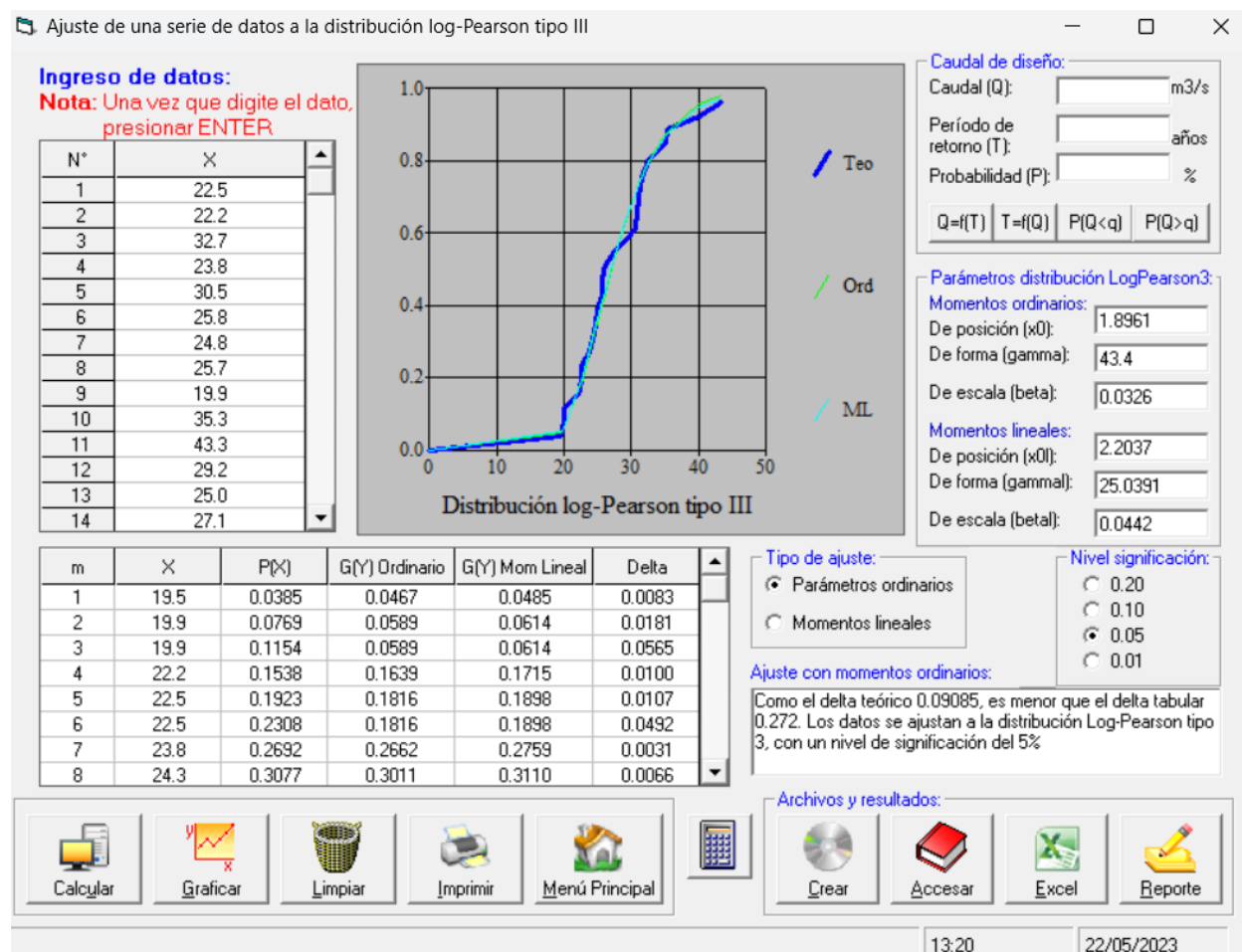
Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Andahuaylas.

Distribución	Δ Teórico
Normal	0.1386
Log normal 2	0.1089
Log normal 3	0.1104
Gamma 2	0.1221
Gamma 3	0.0964
Log Pearson III	0.0908
Gumbel	0.1001
Log Gumbel	0.1296

La función que mejor se ajusta es la distribución: Log Pearson III

Figura 36

Ajuste a la distribución log-Pearson tipo III - Estación Andahuaylas.



b) Estación Chalhuana:

A continuación, se puede observar en el cuadro las diferentes distribuciones y su valor teórico.

Tabla 17

Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Chalhuana.

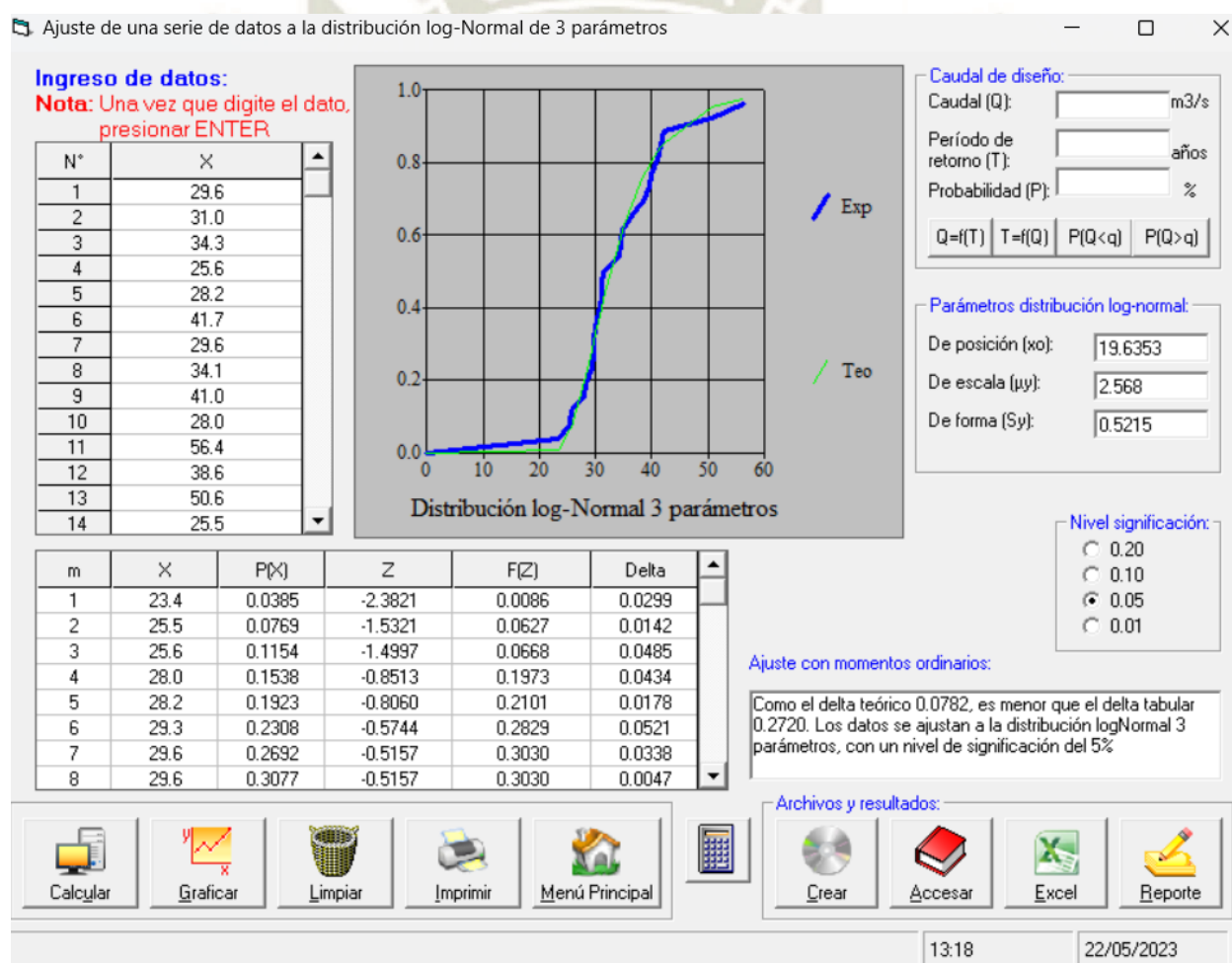
Distribución	Δ Teórico
Normal	0.1535
Log normal 2	0.1310

Log normal 3	0.0782
Gamma 2	0.1425
Gamma 3	0.0924
Log Pearson III	0.0973
Gumbel	0.1060
Log Gumbel	0.0871

La función que mejor se ajusta es la distribución: Log normal 3 parámetros.

Figura 37

Ajuste a la distribución log - Normal de 3 parámetros - Estación Chalhuanca.



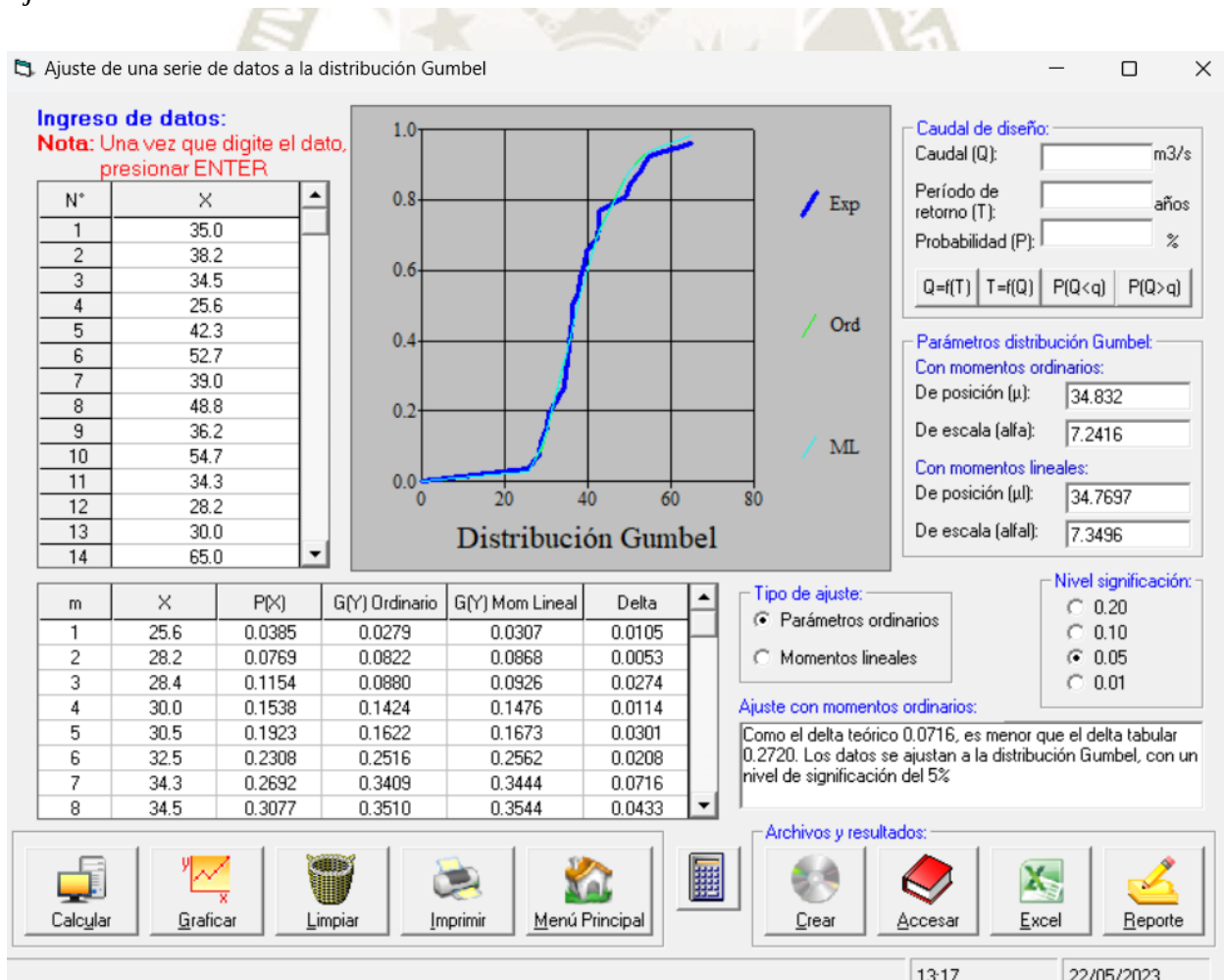
c) Estación Tambobamba

A continuación, se puede observar en el cuadro las diferentes distribuciones y su valor teórico.

Tabla 18
Prueba de Smirnov Kolmogorov - Estación Tambobamba.

Distribución	Δ Teórico
Normal	0.1329
Log normal 2	0.0881
Log normal 3	0.0856
Gamma 2	0.1021
Gamma 3	0.0846
Log Pearson III	0.0772
Gumbel	0.0716
Log Gumbel	0.0924

La función que mejor se ajusta es la distribución: Gumbel.

Figura 38
Ajuste a la distribución Gumbel.


4.15. Selección del método estadístico apropiado

Partiendo de la data histórica de la precipitación máxima en 24 hrs de cada estación, se calculará la precipitación para cada periodo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años, por medio del análisis de frecuencia con la ayuda del software HIDROESTA2.

Tabla 19

Precipitaciones máximas de 24 horas (mm), para diferentes periodos de retorno para cada estación.

TR (años)	Estación Andahuaylas	Estación Tambobamba	Estación Chalhuanca
	Log Pearson tipo III	Gumbel	Log normal 3 parámetros
2	27.08	37.49	32.68
5	32.67	45.69	39.86
10	36.26	51.13	45.08
25	40.72	57.99	52.14
50	44	63.09	57.7
100	47.27	68.14	63.52
200	50.52	73.18	69.62
500	54.85	79.83	78.15

4.16. Precipitaciones promedio sobre la cuenca

4.16.1. El Método de la Media Aritmética

“Se basa en calcular el promedio aritmético, de las alturas de precipitación registrados, de las estaciones delimitadas dentro del área de estudio” (Pizarro, Ramirez, & Flores, 2003).

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

Pi= Precipitación de la estación

n= Número de estaciones

Posteriormente se procede a realizar el cálculo por el método de la media aritmética para cada periodo de retorno.

Tabla 20

Precipitación Áreal máxima de 24 horas - Método de la media Aritmética.

Tr (años)	Precipitación Áreal Máxima de 24 horas (mm)
2	32.42
5	39.41
10	44.16
25	50.28
50	54.93
100	59.63
200	64.44
500	70.94

4.16.2. El Método de Thiessen

“El método tiene como objetivo determinar qué área de la cuenca corresponde a cada estación. Esto permite establecer conexiones entre cada sección de la cuenca” (Bateman, 2007).

$$P_{med} = \frac{1}{At} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

Pi= Precipitación de la estación

n= Número de estaciones

A_i= Área de influencia parcial

Posteriormente se procede a realizar el cálculo por el método del polígono de Thiessen para cada periodo de retorno.

Tabla 21

Precipitación Áreal máxima de 24 horas - Método del polígono de Thiessen.

Tr (años)	Precipitación Áreal Máxima de 24 horas (mm)
2	27.96
5	33.80
10	37.64
25	42.51
50	46.14
100	49.81
200	53.51
500	58.49

4.16.3. El Método de las Isoyetas

“Interpola las curvas de altura de precipitación en todo el plano, luego se halla el área entre las Isoyetas y se obtiene así la precipitación” (Bateman, 2007).

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

Donde:

n= Número de áreas parciales

A_i = Área parcial entre las isoyetas

P_i = Precipitación de las Isoyetas

A_t = Área total

Posteriormente se procede a realizar el cálculo por el método de las Isoyetas para cada periodo de retorno.

Tabla 22

Precipitación Áreal máxima de 24 horas – Método de las Isoyetas.

Tr (años)	Precipitación Áreal Máxima de 24 horas (mm)
2	30.29
5	36.79
10	41.26
25	47.1
50	51.58
100	56.13
200	60.86
500	67.36

“El método de las Isoyetas es el más exacto, ya que permite el uso orográfico en la construcción de las curvas Isoyetas” (Huancara & Cutire, 2019).

Partiendo de los mapas de Isoyetas para cada periodo de retorno, con la ayuda del software QGIS 3.16 y las herramientas Multilevel b-spline interpolation y Raster layer zonal statistics, se calcula y se calibra la precipitación máxima áreal en 24 horas para la quebrada Amoray.

Figura 39

Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 2 años.

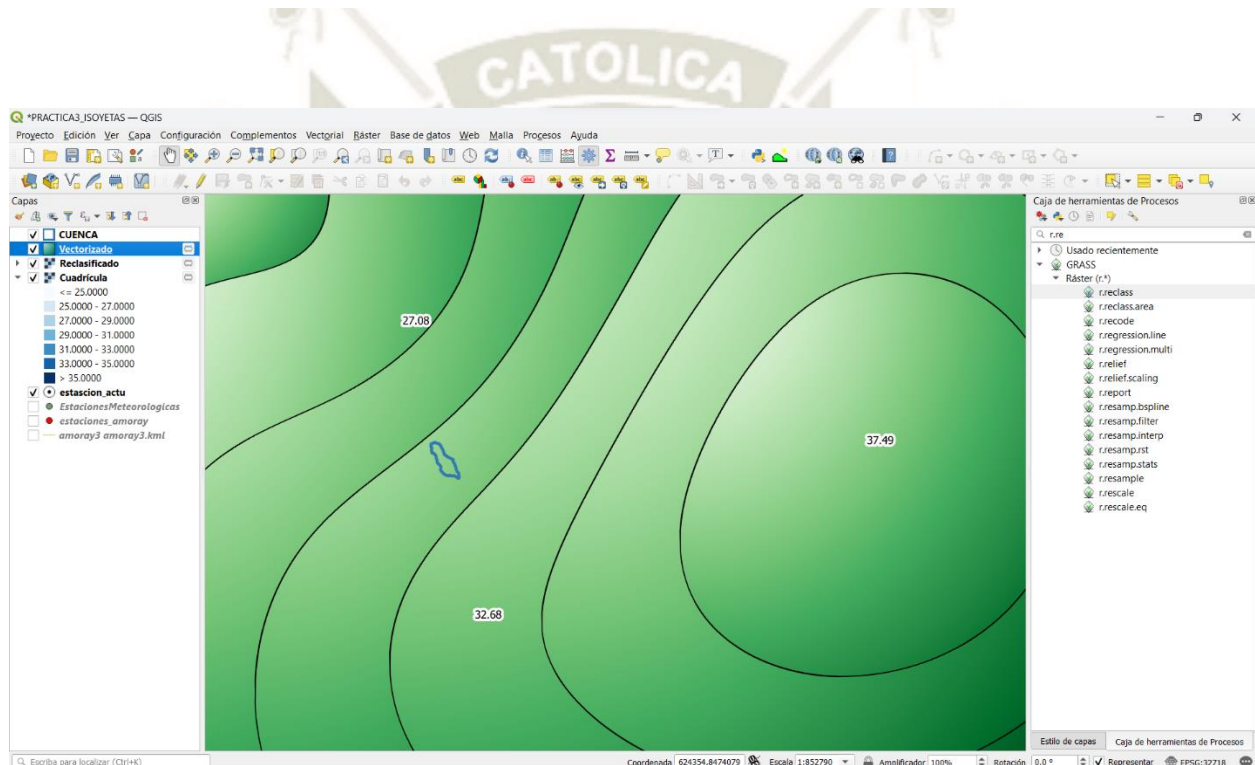


Figura 40

Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 5 años.

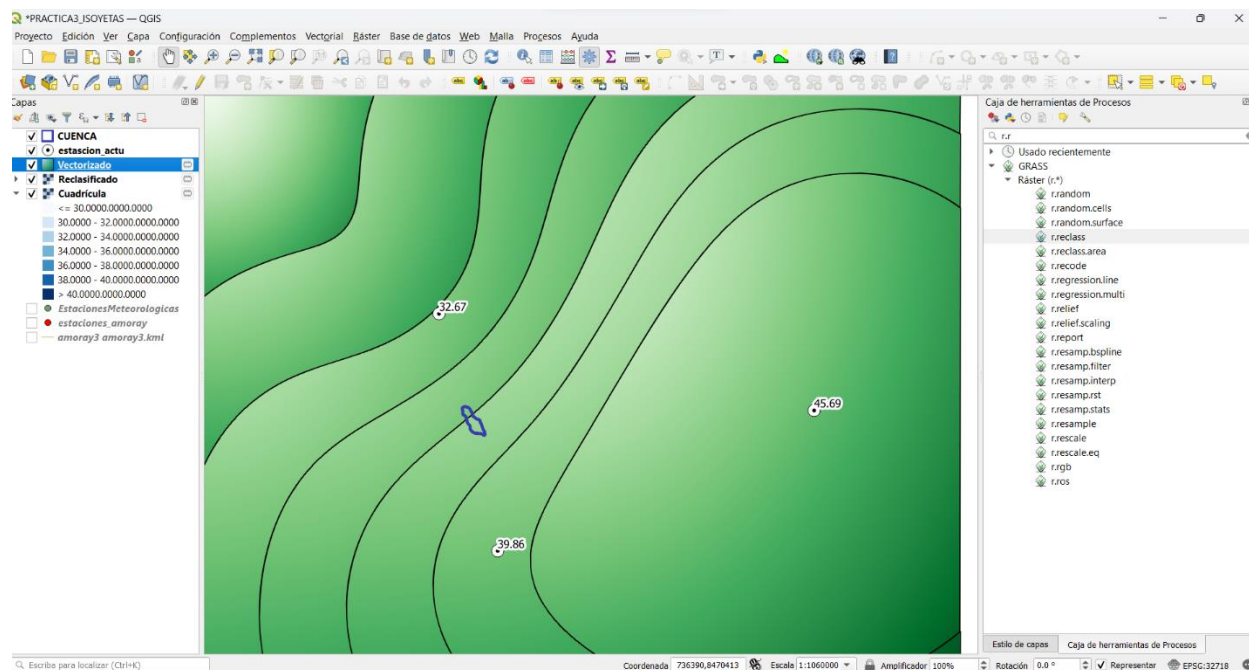


Figura 41

Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 10 años.

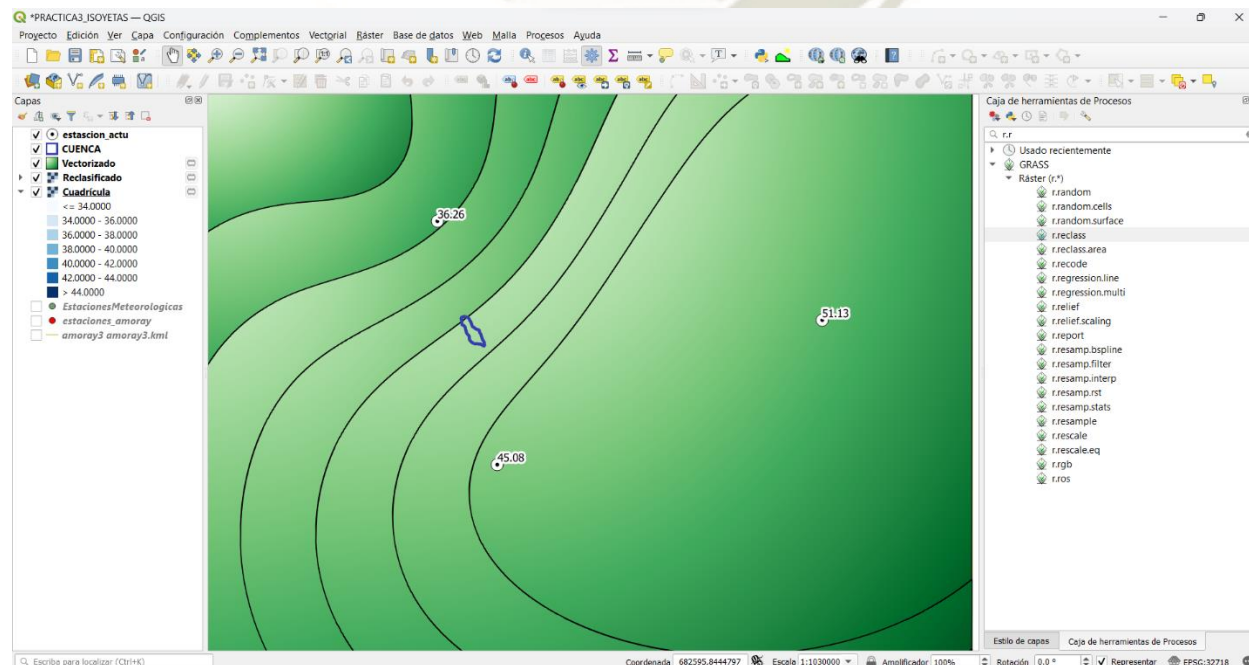


Figura 42

Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 25 años.

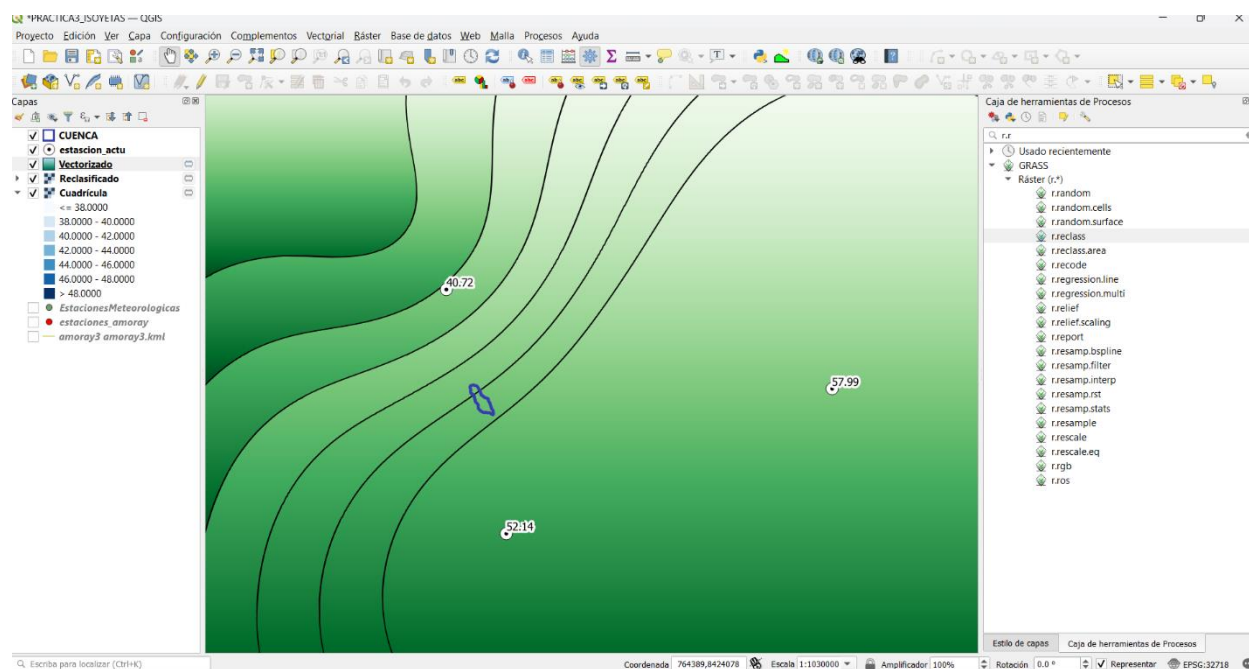


Figura 43

Curvas de Isoyetas - Periodo de retorno 50 años.

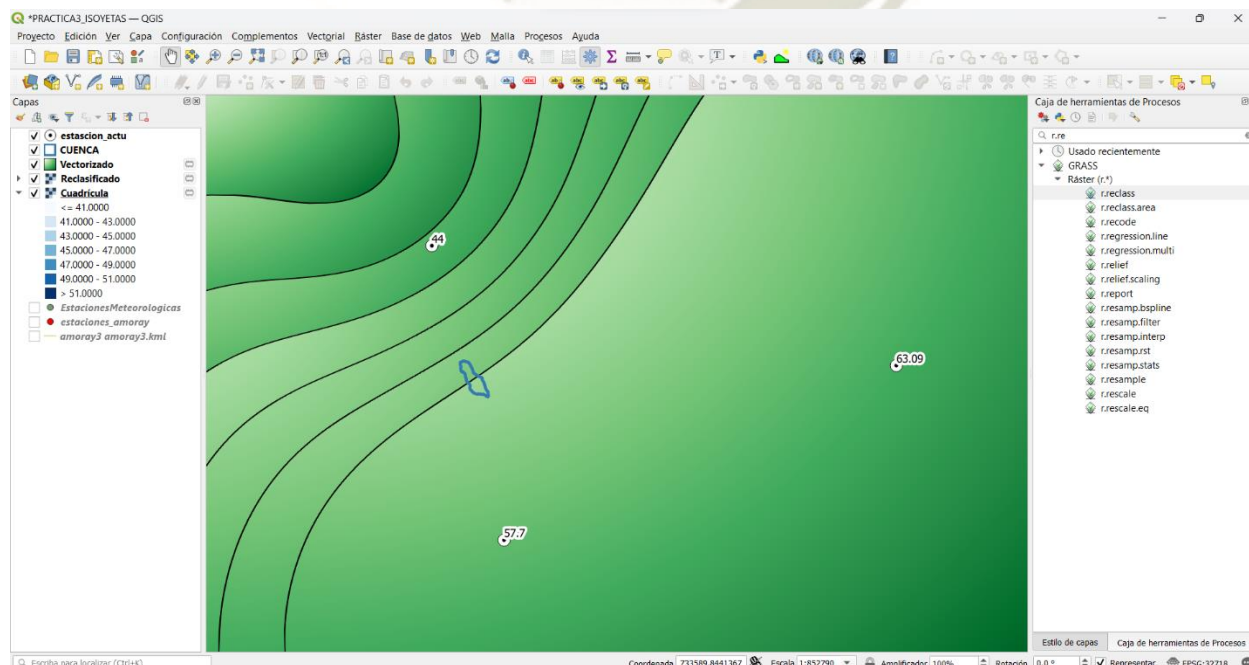


Figura 44

Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 100 años.

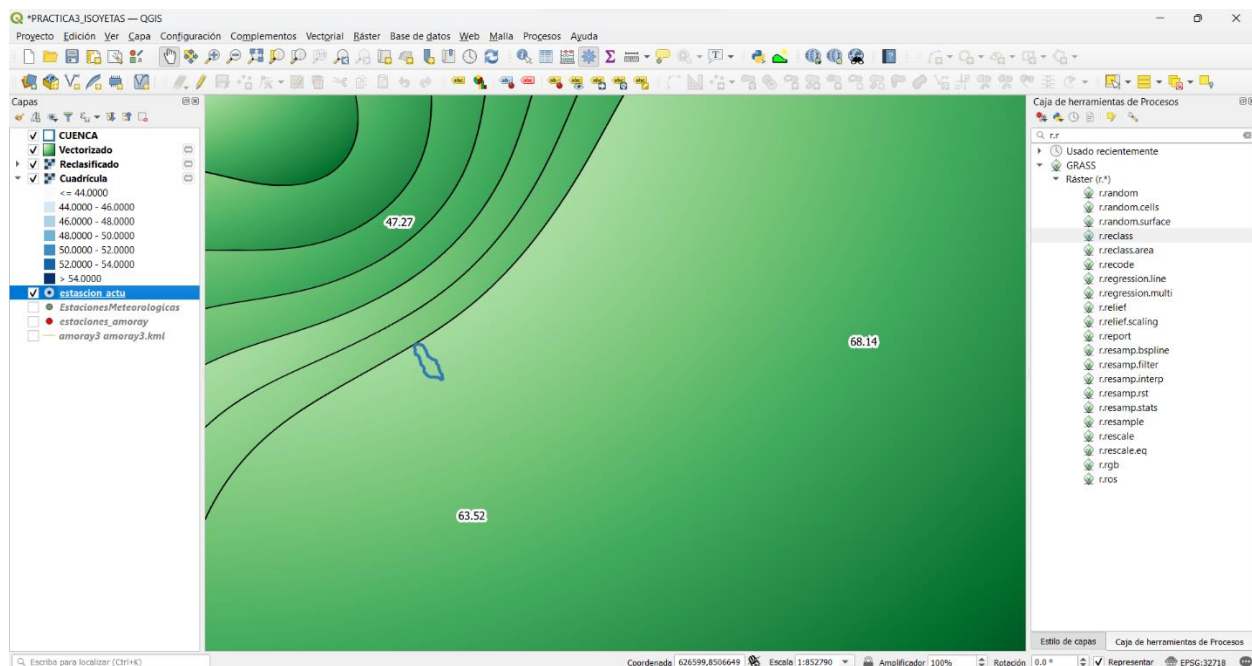


Figura 45

Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 200 años.

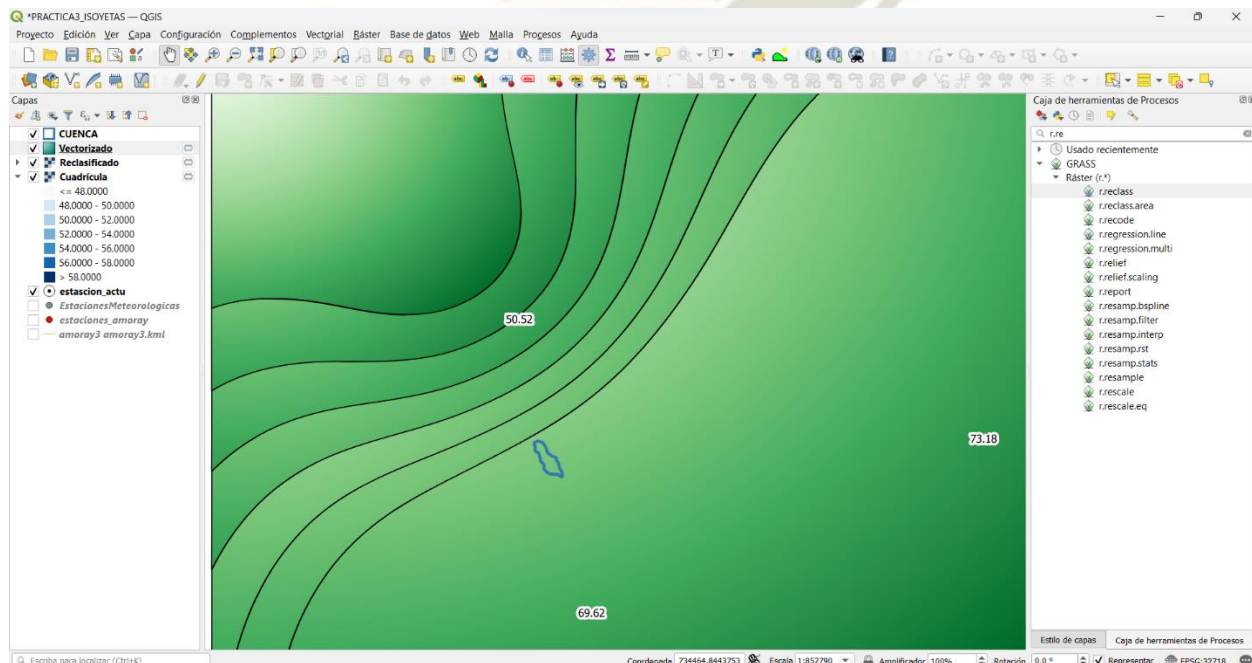
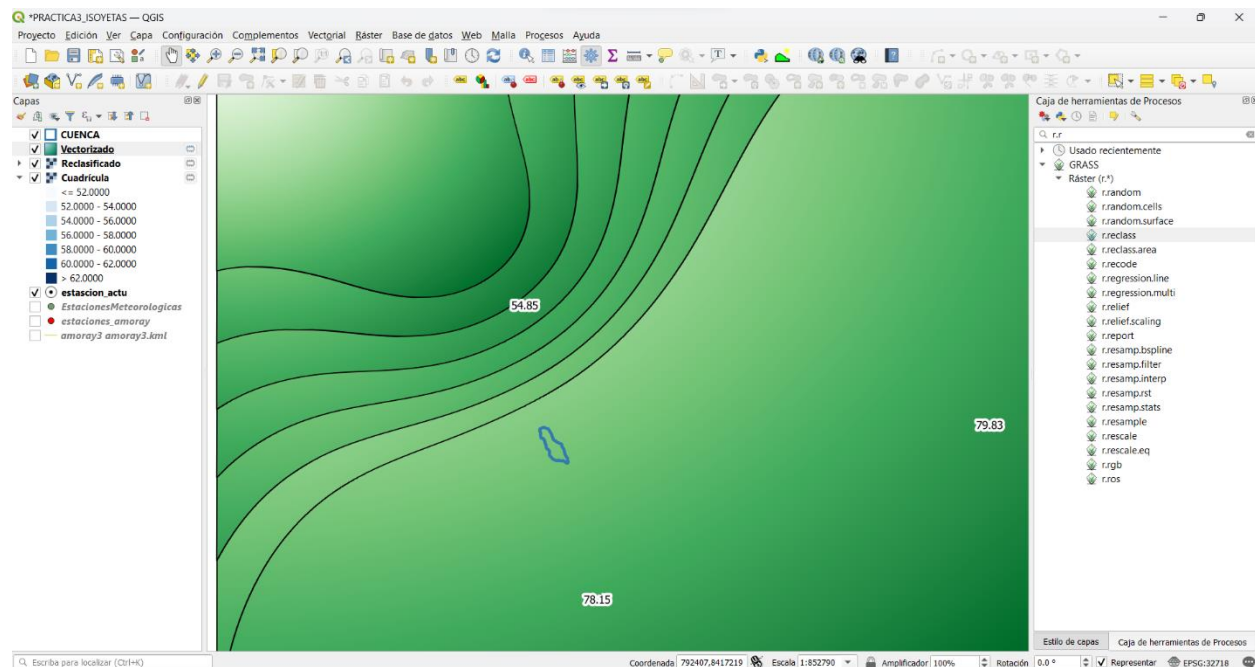


Figura 46

Curvas Isoyetas – Periodo de retorno 500 años.



4.17. Tiempo de concentración

“Es el tiempo que tarda la lluvia en llegar desde el punto más alejado hasta el punto de aforo de la cuenca” (Cáceres, 2021). “Dada la relación inversa entre la duración y la intensidad, se asume que la duración corresponde al tiempo de concentración” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

Existen numerosas fórmulas empíricas disponibles para calcular, de las cuales las que más se ajustan son las siguientes para el proyecto de investigación:

Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

$$T_c = 0.9 \text{ hr}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

S= Pendiente(m/m)

Fórmula de California Culverts Practice

$$Tc = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.308}$$

$$Tc = 53.3 \text{ min}$$

$$Tc = 0.9 \text{ hr}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

H= Variación de altura (m.n.s.m)

Fórmula de Pilgrim y Mc Dermott

$$Tc = 0.76 * A^{0.38}$$

$$Tc = 174 \text{ min}$$

$$Tc = 2.9 \text{ hr}$$

Donde:

A= Área (km^2)

Fórmula de Temez

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

$$T_c = 258 \text{ min}$$

$$T_c = 4.3 \text{ hr}$$

Donde:

L= Longitud del cauce principal (m)

S= Pendiente (m/m)

4.18. Determinación de la tormenta de diseño

“Las estaciones situadas en el área de estudio, carecen de registros pluviográficos que permitan realizar cálculos de las intensidades, estas se pueden determinar mediante el método de Dick Peschke” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012). La ecuación es la siguiente:

$$P_d = P_{24\text{horas}} * \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.38}$$

Donde:

P_d = Precipitación total (mm)

d = Duracion (min)

4.18.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Para calcular las curvas IDF, se utilizó la siguiente relación:

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

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = Factores característicos

T = Periodo de retorno (años)

t = duración de la precipitación (min)

Figura 47

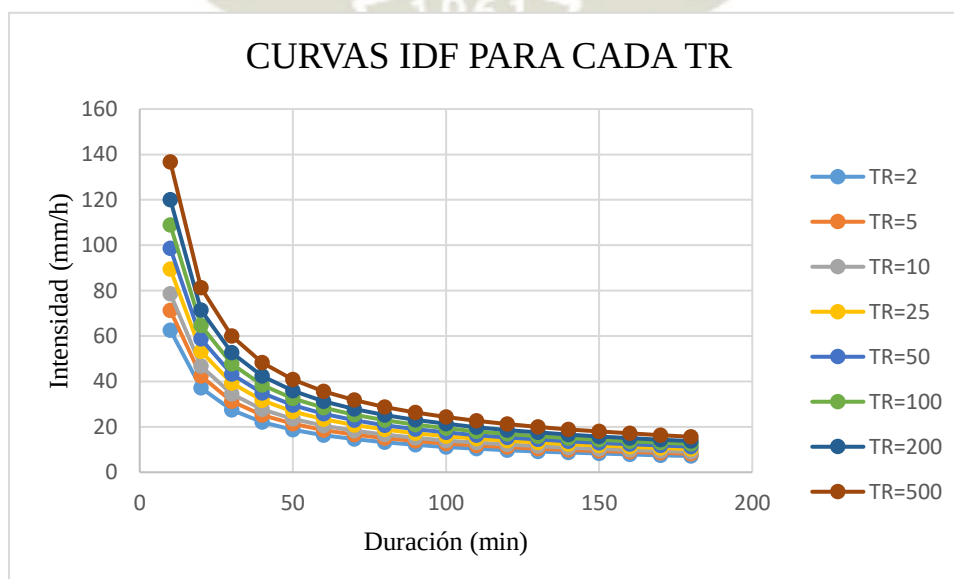
Características de la zona de estudio.

$$I = \frac{319.19750 \cdot T^{0.1414102}}{t^{0.750000}}$$

Posteriormente, se observa las curvas IDF, para diferentes periodos de retorno.

Figura 48

Curvas IDF - Quebrada Amoray.



4.19. Hietograma de diseño

4.19.1. Método del bloque alterno

“Este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempos sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $Td = n * \Delta t$ ” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

Posteriormente para el desarrollo del hietograma se tomó intervalos de 10 minutos, con una duración de 3 horas.

Se anexan los diferentes hietogramas de diseño para cada período de retorno.

Figura 49

Hietograma de diseño $TR=100$ años.

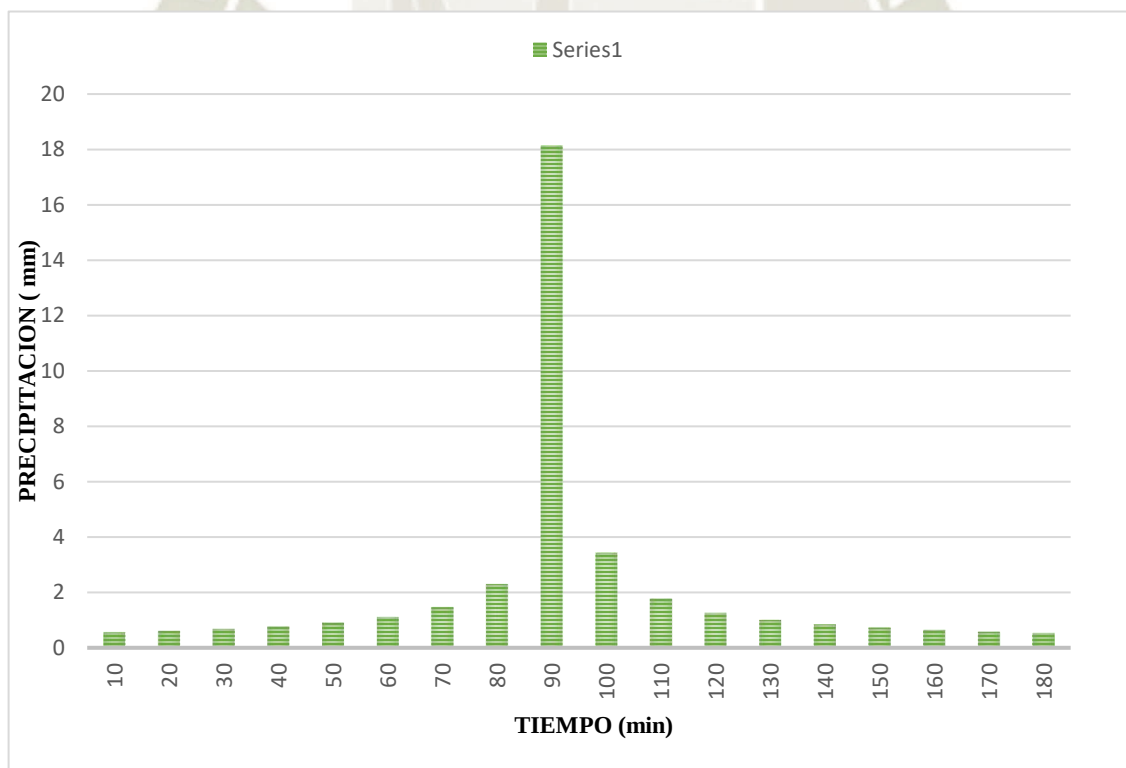


Tabla 23
Hietograma de diseño - TR=100 años.

Instante (min)	Intensidad (mm/h)	P.acumulada (mm)	ΔP (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	P. Alternada (mm)	InPa Alternada (mm)	P. Acum (mm)
10	108.863	18.144	18.144	108.863	0.554	3.325	0.554
20	64.730	21.577	3.433	20.598	0.611	3.664	1.165
30	47.757	23.879	2.302	13.811	0.683	4.095	1.847
40	38.489	25.659	1.781	10.684	0.778	4.668	2.625
50	32.558	27.131	1.472	8.833	0.912	5.471	3.537
60	28.397	28.397	1.265	7.592	1.116	6.694	4.653
70	25.296	29.512	1.116	6.694	1.472	8.833	6.125
80	22.886	30.514	1.002	6.011	2.302	13.811	8.427
90	20.951	31.426	0.912	5.471	18.144	108.863	26.571
100	19.359	32.265	0.839	5.033	3.433	20.598	30.004
110	18.023	33.043	0.778	4.668	1.781	10.684	31.784
120	16.885	33.769	0.727	4.360	1.265	7.592	33.050
130	15.901	34.452	0.683	4.095	1.002	6.011	34.051
140	15.041	35.096	0.644	3.865	0.839	5.033	34.890
150	14.283	35.707	0.611	3.664	0.727	4.360	35.617
160	13.608	36.288	0.581	3.485	0.644	3.865	36.261
170	13.003	36.842	0.554	3.325	0.581	3.485	36.842
180	12.457	37.372	0.530	3.181	0.530	3.181	37.372

4.20. Número Curva

“Es un parámetro que influye en la escorrentía de la cuenca y depende del tipo y uso del suelo, en el cual se obtuvo utilizando un modelo ráster CN de la Autoridad nacional del Agua, que trabaja con una variedad de datos que incluyen MDE y mapas de cobertura vegetal” (Ramos & Saldivar, 2022).

“Para generar este modelo, se aplicaron interpolaciones a varias capas de información, lo que generó modelos ráster para condiciones normales, humedades y secas” (ANA, 2015).

Posteriormente se observa en la Figura 50, la delimitación del raster con la cuenca en estudio, haciendo uso de las herramientas de QGIS 3.16.0 y un cuadro resumen del número curva

para la quebrada Amoray, que se obtuvo a través de un ponderado de áreas influenciadas a la microcuenca. (Tabla 24)

Tabla 24

Curva número - Quebrada Amoray.

Descripción	CN
Quebrada Amoray	85

4.20.1. Abstracción Inicial

“Para aplicar el modelo SCS, se requiere el cálculo de la abstracción inicial y se calcula utilizando las siguientes formulas” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012) .

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN}$$

$$I_a = 0.2 * S$$

$$I_a = 9.31 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra el resumen de resultados. (Tabla 25)

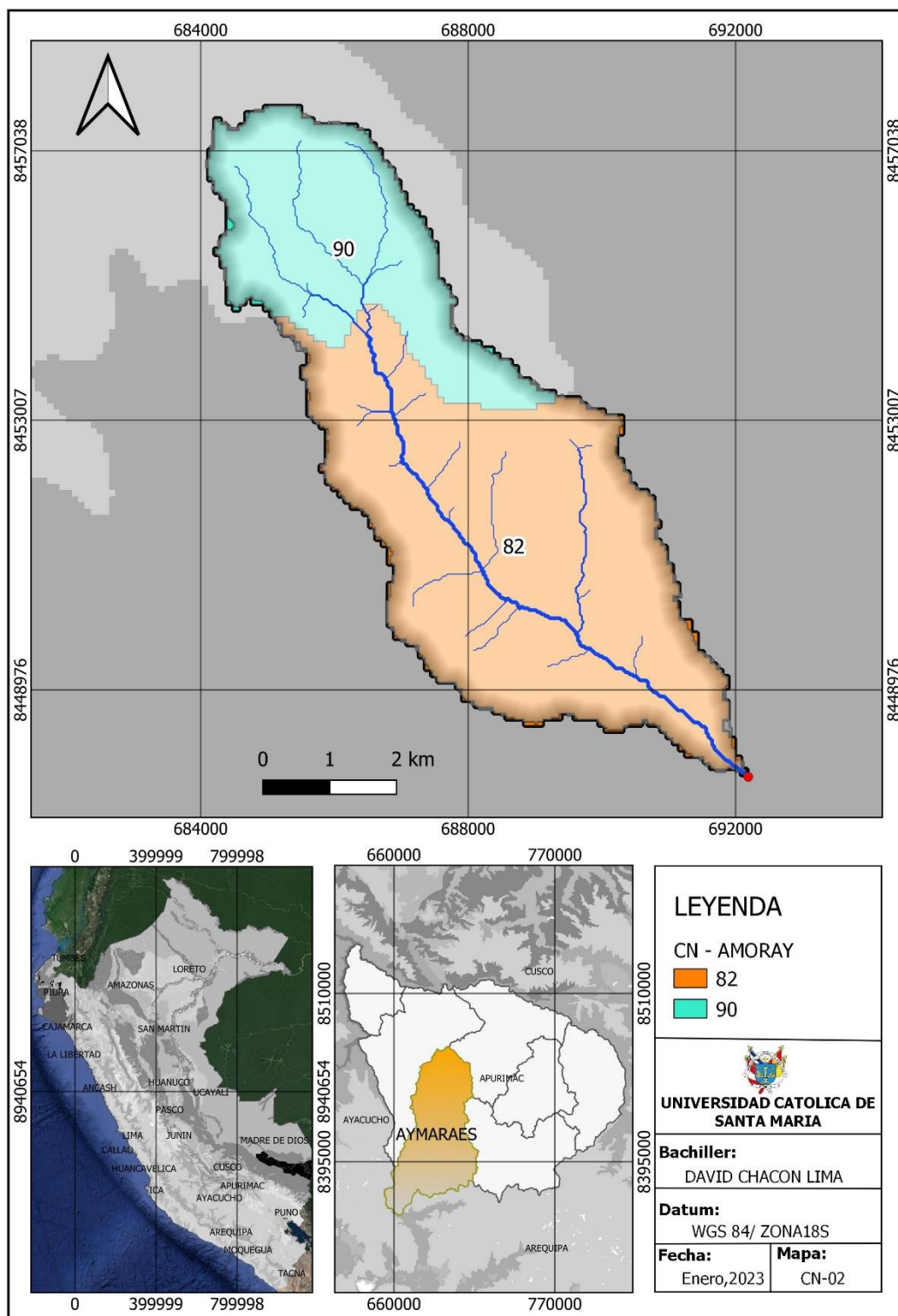
Tabla 25

Abstracciones Iniciales - Quebrada Amoray.

Descripción	Área (km ²)	CN	S	Ia(mm)
Quebrada Amoray	33.52	85	46.55	9.31

Figura 50

Mapa Curva Número - Quebrada Amoray.



4.21. Estimación de caudales

4.21.1. Método Software HEC- HMS

4.21.1.1. Parámetros de entrada

Primero se carga la cuenca delimitada, que se te obtuvo mediante el software QGIS 3.16.0. Luego se ingresa los parámetros de la cuenca, como se aprecia en la siguientes Figuras

Figura 51

Parámetros de entrada - Quebrada Amoray.

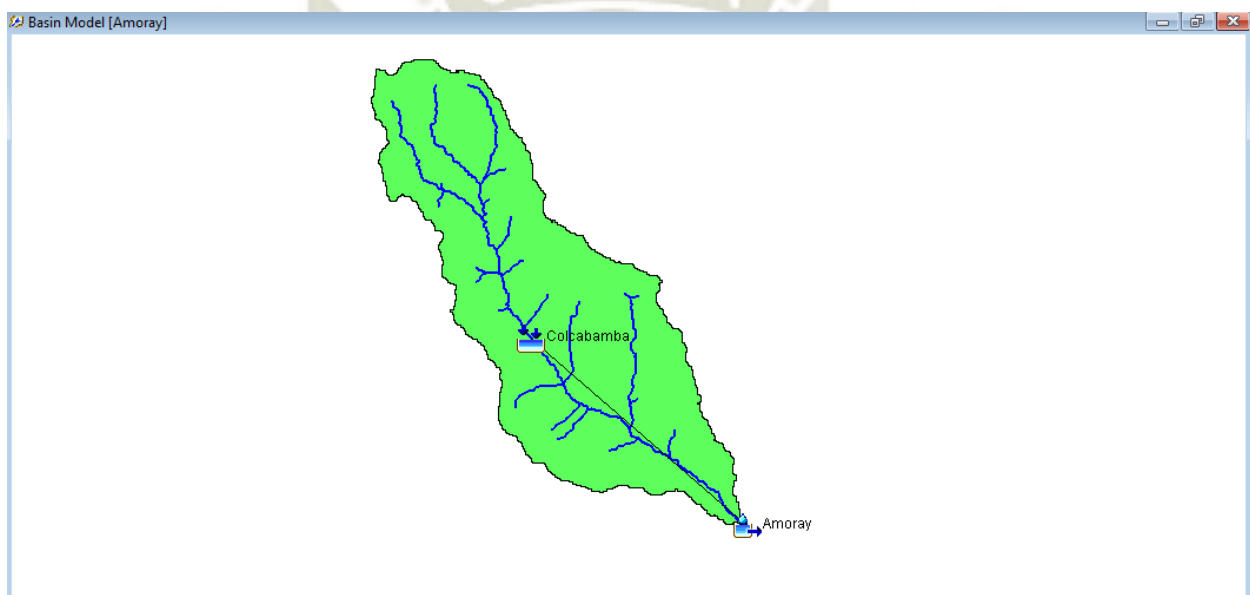


Figura 52

Parámetro de entrada.

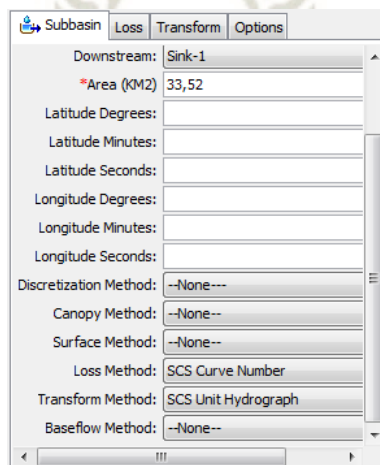


Figura 53

Parámetro de entrada - Quebrada Amoray.

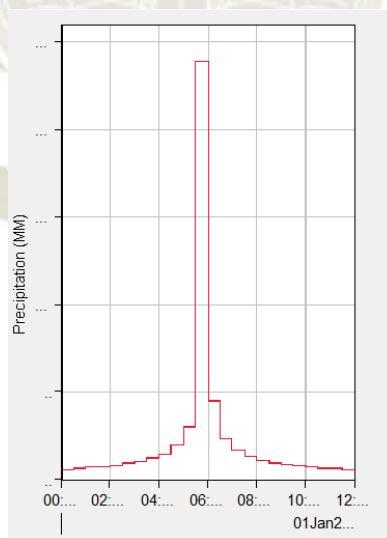
Basin Name: Amoray	
Element Name: Amoray	
Initial Abstraction (MM)	9,31
*Curve Number:	85
*Impervious (%)	0,0

4.21.1.2. Modelo Meteorológico y especificaciones de control

Se añade los hietogramas realizados por los bloques alternos, seguido del componente de control, como el tiempo de simulación y un lag time cuyo valor es 104 minutos. (Figura 54)

Figura 54

Modelo meteorológico $Tr = 100$ años - Quebrada Amoray.



4.21.1.3. Hidrograma de diseño

Finalmente se obtiene, se muestra los hidrogramas de diseño en las siguientes Figuras para cada periodo de retorno, definiendo “Depth” como la profundidad de precipitación en (mm).

Figura 55

Hidrograma líquido - $Tr=2$ años.

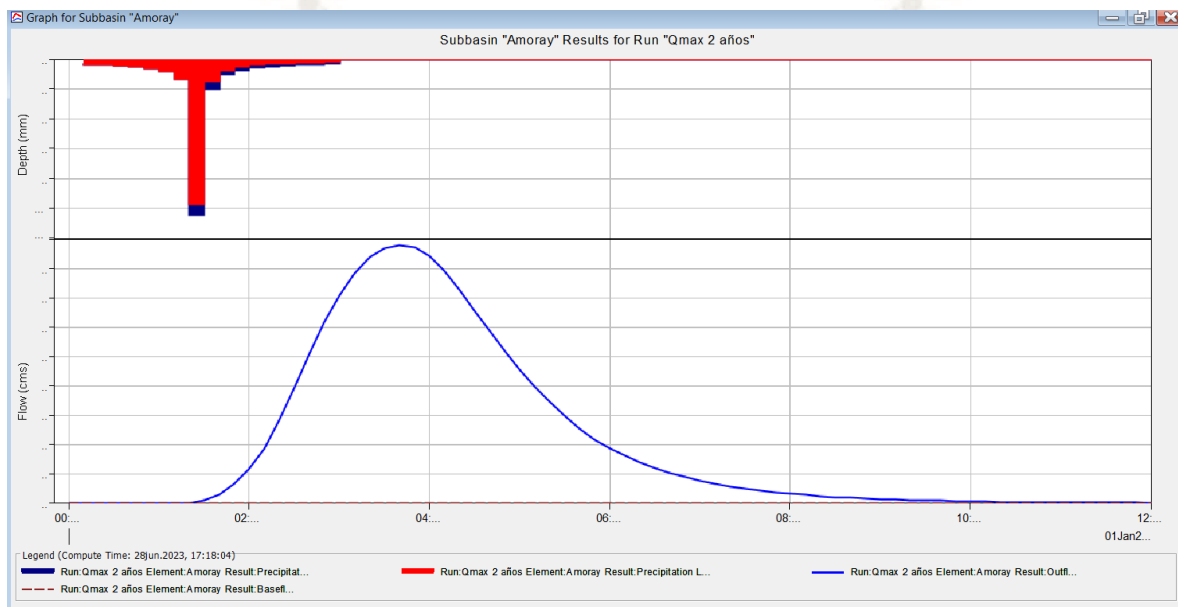


Figura 56

Hidrograma líquido - $Tr=5$ años.

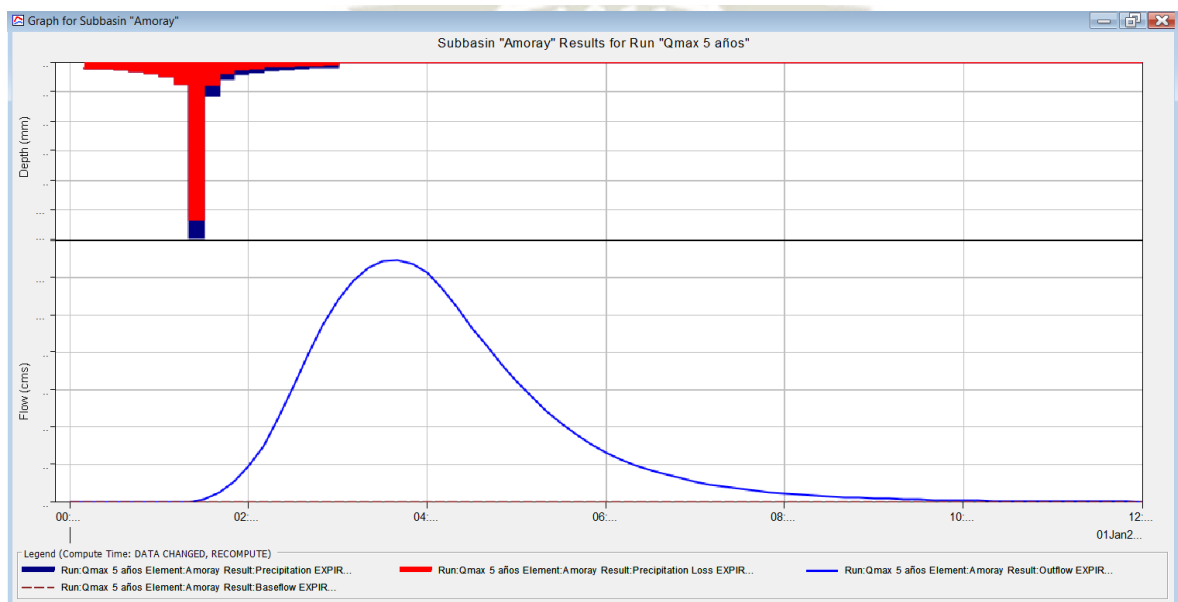


Figura 57

Hidrograma líquido - $Tr=10$ años.

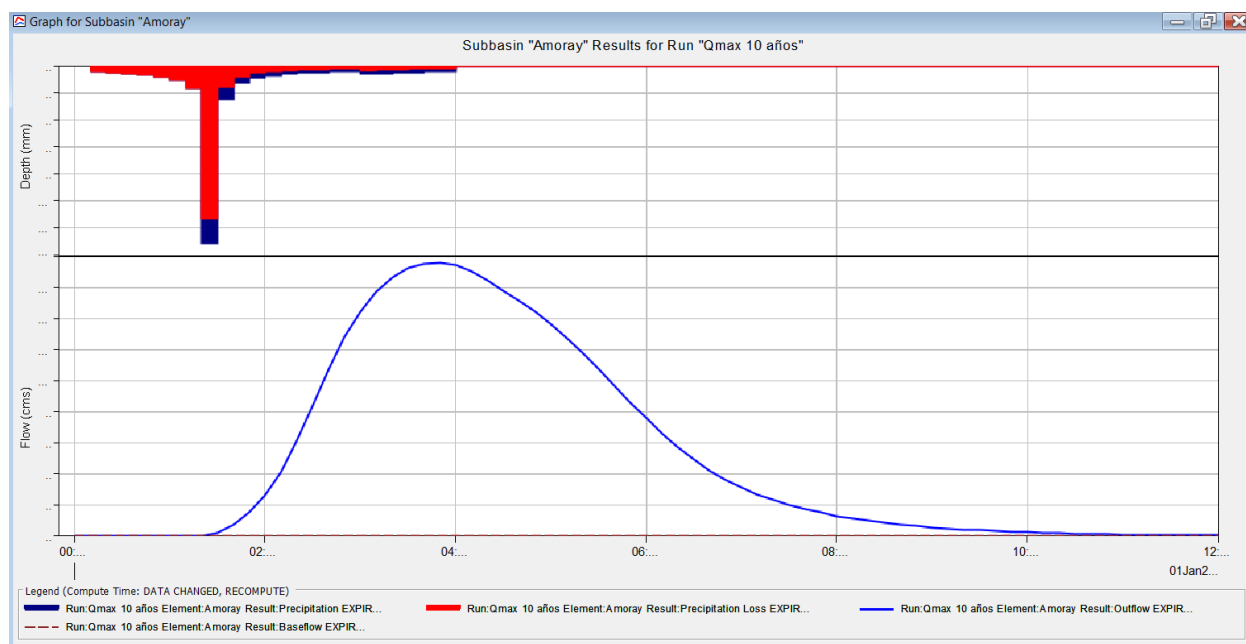


Figura 58

Hidrograma líquido - $Tr=25$ años.

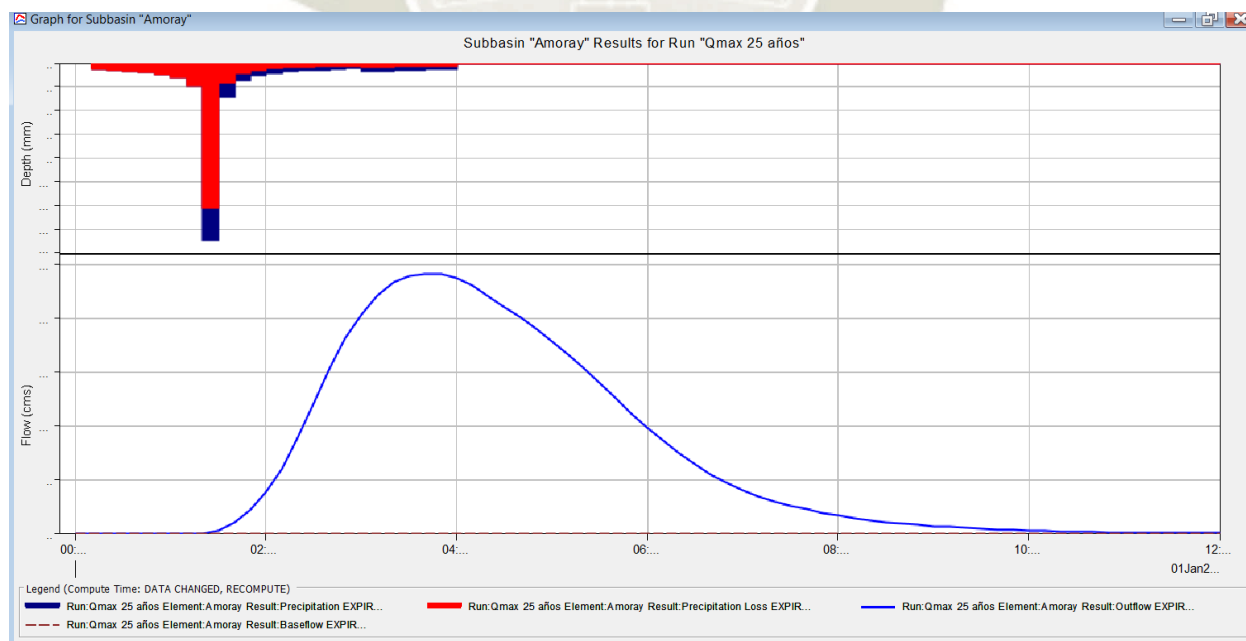


Figura 59

Hidrograma líquido – $Tr=50$ años.

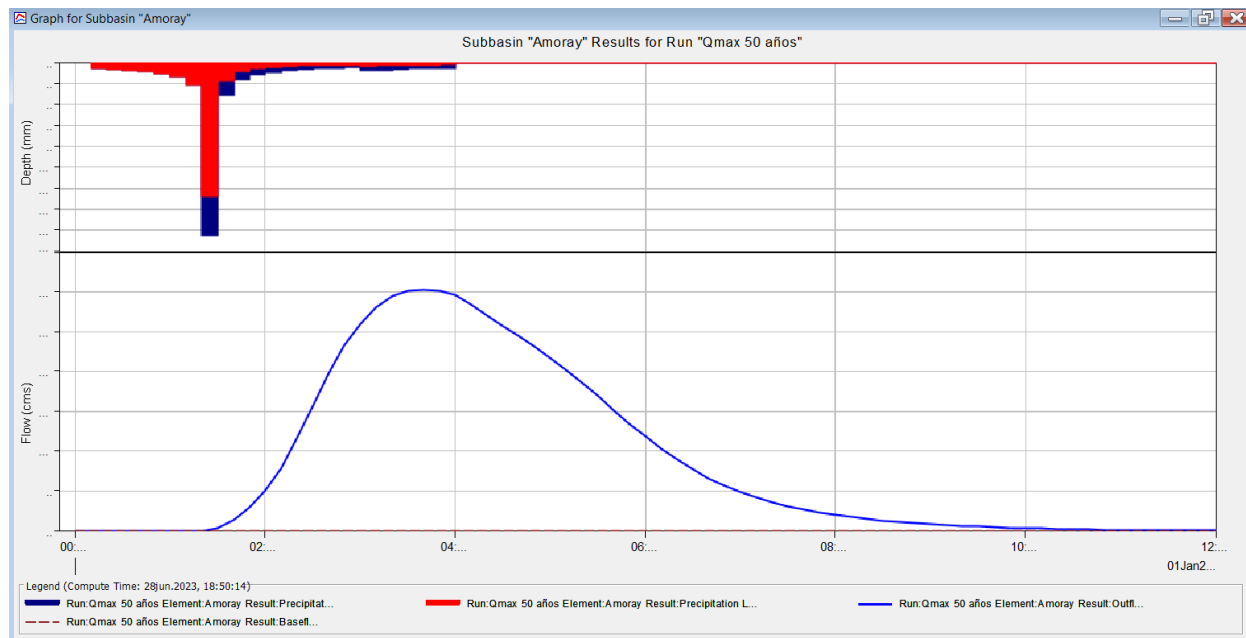


Figura 60

Hidrograma líquido – $Tr=100$ años.

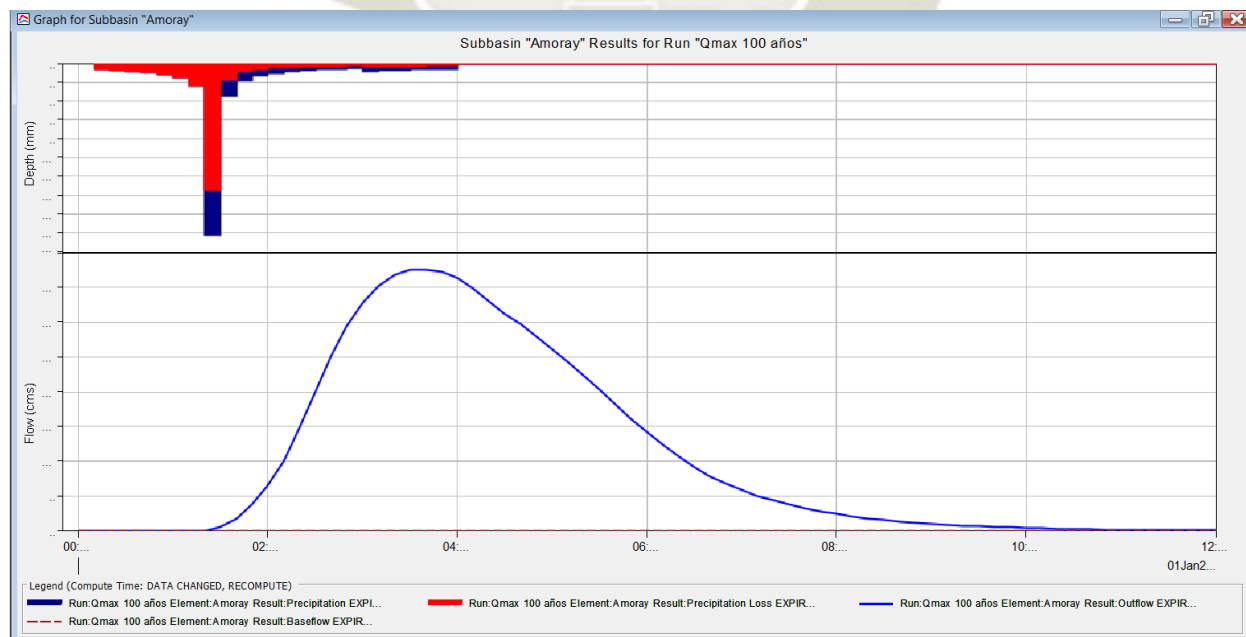


Figura 61

Hidrograma líquido – $Tr=200$ años.

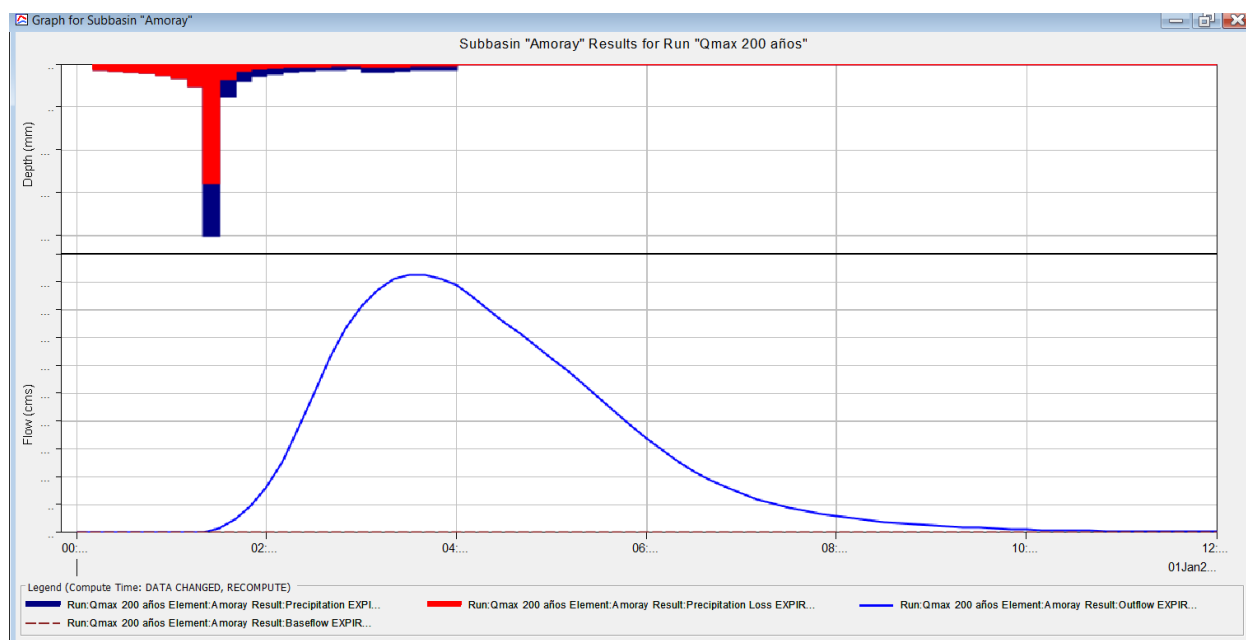
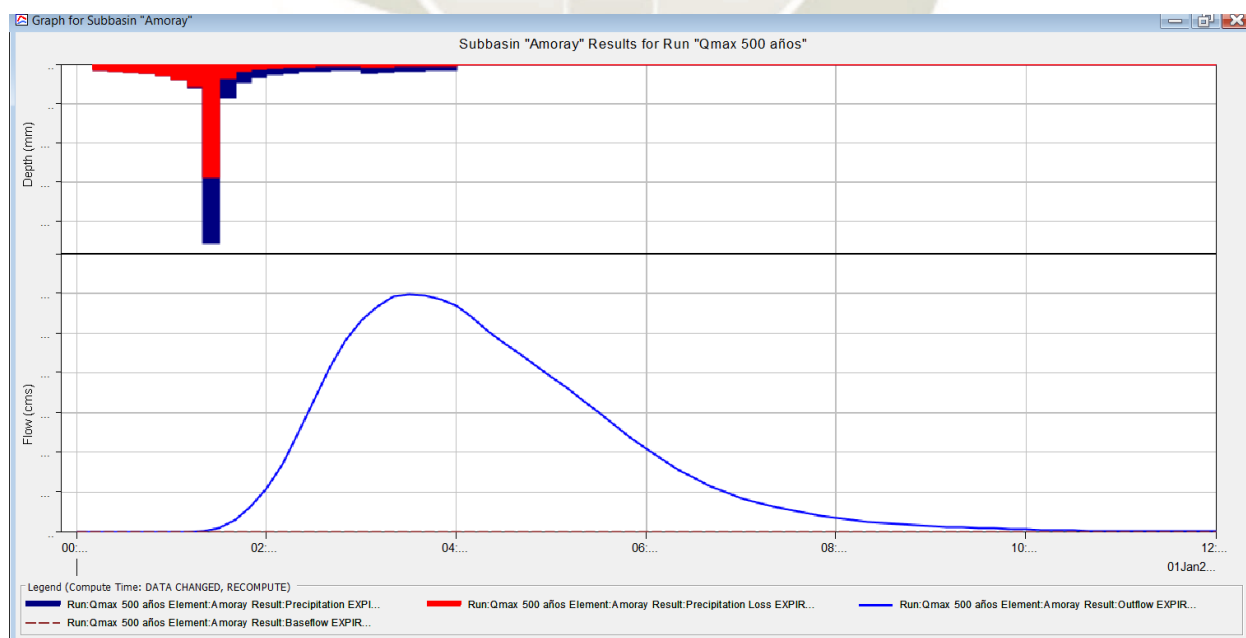


Figura 62

Hidrograma líquido – $Tr=500$ años.



A continuación, se presenta la Tabla resumen de los caudales picos.

Tabla 26

Resultados de caudales HEC-HMS.

Periodo de Retorno Tr (años)	Caudal Máximo (m³/s)
2	8.8
5	12.9
10	17.6
25	24.2
50	30.3
100	37.6
200	46.2
500	59.9

CAPÍTULO V

MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE FLUJO

NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO

Modelamiento Hidráulico de Flujo Newtoniano y no Newtoniano

5.1. Introducción

Según Stanford & Sánchez (2020), el modelo numérico HEC-RAS versión 6.4.1, permite simular flujos de lodo y escombros en 2D, según el manual Mud and Debris Flow de Hec-Ras, para calcular las pérdidas internas de estos flujos de alta concentración hay variedades de enfoques para simular, incluidos enfoques monofásicos y multifásicos, Hec-Ras utiliza el enfoque monofásico que le permite modelar el fenómeno de los flujos ligado a modelos reológicos, en otras palabras, vinculados entre tensión-deformación.

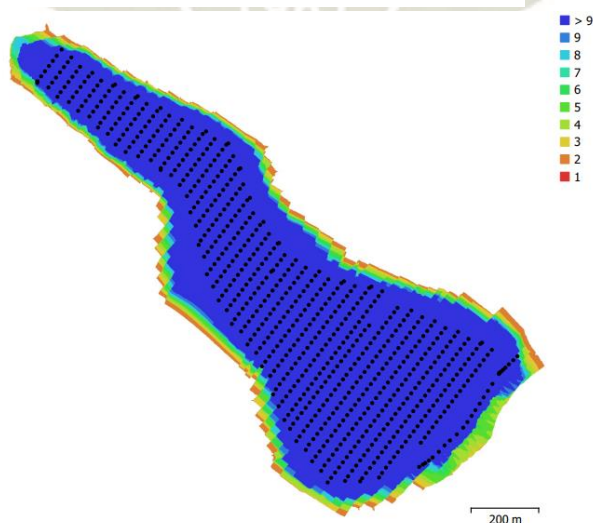
5.2. Levantamiento topográfico

Se llevo a cabo en campo con Dron, tomando en cuenta la forma y área de estudio, se configuro el plan y se efectuó 4 vuelos en el cono de deyección de la quebrada Amoray.

A continuación, se muestra en las siguientes Figuras las posiciones de cámara y la ortofoto de la quebrada Amoray.

Figura 63

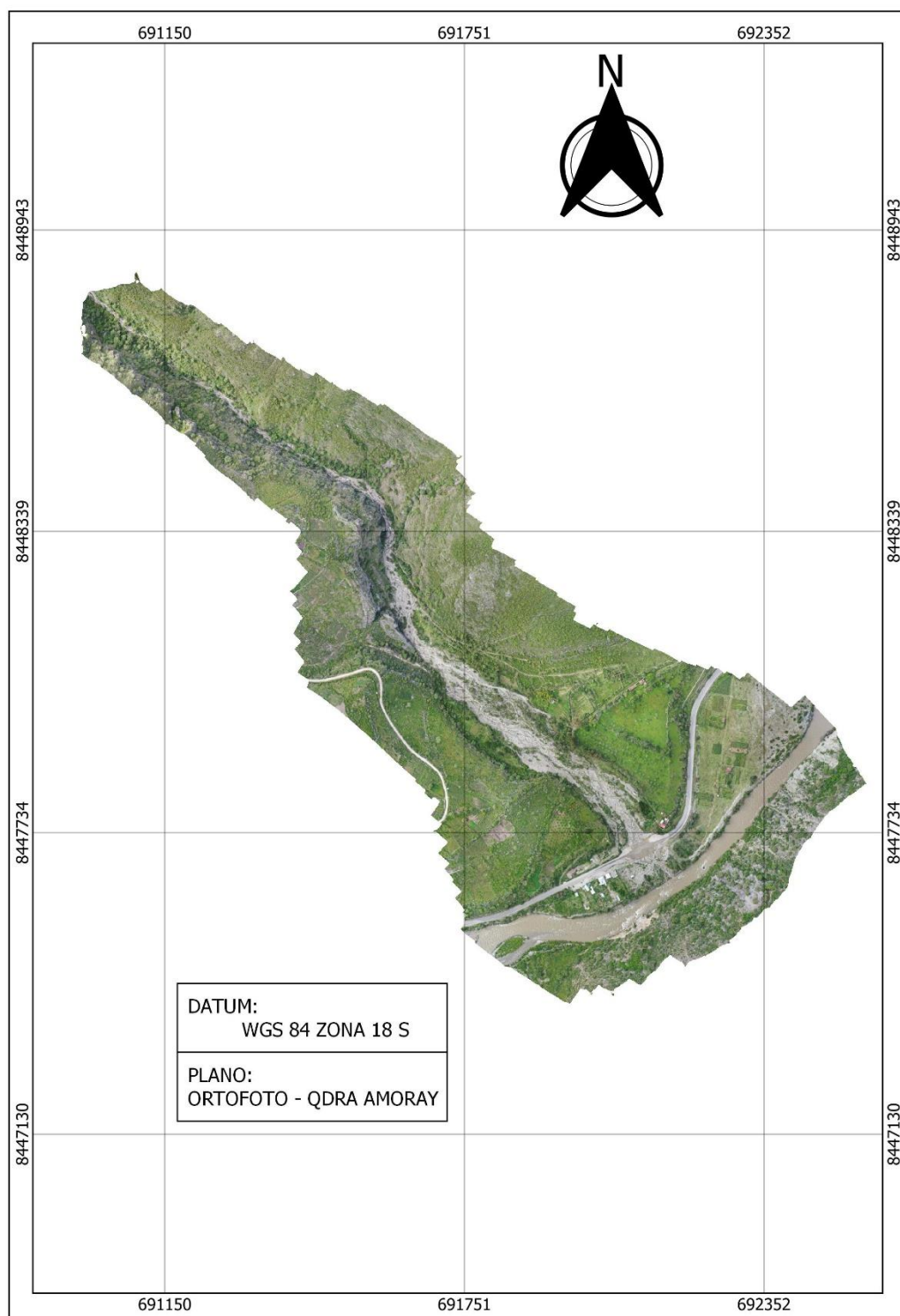
Posiciones de cámaras.



Nota. Plan de vuelo quebrada Amoray (2023).

Figura 64

Ortofoto - Quebrada Amoray.



5.3. Estudio de mecánica de suelos

Para los ensayos de mecánica de suelos se tomaron muestra en in situ 3 calicatas con altura de 1.5m, con el fin de establecer los parámetros reológicos.

La primera muestra 1 se obtuvo al inicio del cono de deyección, es una muestra modelo, ya que al inicio se encuentra la mezcla más pura, de las que se derivan los parámetros reológicos.

La muestra 2 y 3 se obtuvieron de la parte intermedia del cauce de la quebrada y final del cono de deyección.

Seguidamente se observa los resultados de los ensayos.

5.3.1. *Ensayo de granulometría por el método del tamizado*

Luego de realizar los ensayos en el laboratorio la M1 tiene una clasificación SUCS “SP” (Arena pobremente gradada).

Los resultados de las muestras M2 y M3 se anexan.

5.4. Número de Manning

Para hallar los coeficientes de Manning, se consideró los valores de la bibliografía de “Ven Te Chow”. Posteriormente se aprecia los valores de rugosidad en la siguiente Figura.

Figura 65

Coefficientes de rugosidad.

VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" EN CAUCES NATURALES	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
CURSOS SECUNDARIOS (ANCHO DE LA SUPERFICIE LIBRE EN CRECIDA <30 m)			
Limpias, rectos, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.035
Igual al anterior, pero con algunas piedras y pastos	0.03	0.035	0.04
Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.04	0.045
Meandros con algunas piedras y pastos	0.035	0.045	0.05
Meandros con muchas piedras	0.045	0.05	0.060
Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.035	0.045
Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0.750	0.1	0.150
Cursos Montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.04	0.050
Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0.040	0.05	0.070
CURSOS EN PLANICIES DE INUNDACIÓN			
Zona de pastos, sin arbustos			
Pasto corto	0.025	0.03	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Zonas Cultivadas			
Sin cultivo	0.02	0.03	0.04
Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0.025	0.035	0.045
Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0.03	0.04	0.05
Zonas arbustivas			
Escasos arbustos y pasto abundante	0.035	0.05	0.07
Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0.035	0.05	0.06
Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0.045	0.07	0.11
Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0.07	0.1	0.16
Zonas de árboles			
Sauces densos, temporada invernal	0.11	0.15	0.2
Terreno claro con ramas sin brotes	0.03	0.04	0.05
Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0.05	0.06	0.08
Zona de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
Zona de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0.1	0.12	0.16
CURSOS IMPORTANTES (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente "n" son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor.			
Sección regular sin rocas ni arbustos	0.025		0.06
Sección irregular y rugosa	0.035		0.1

Nota. Valores de Rugosidad extraído de CHOW- Hidráulica de Canales Abiertos (1994).

Para el reconocimiento de los coeficientes de rugosidad se realizó en campo. Y posteriormente se muestra a continuación.

Figura 66

Coefficientes de rugosidad-Quebrada Amoray.

Nº	Componente	Nº de Manning	
		Descripción	"n"
Manning #1	Baden	Sin pulir	0.017
Manning #2	Carretera Panamericana	Asfalto rugoso	0.016
Manning #3	Cauce Principal	Meandros con algunas piedras y pastos	0.045
Manning #4	Edificaciones	Tierra Limpio	0.022
Manning #5	Zona de cultivo	Pasto Corto	0.035

Figura 67

Baden- Quebrada Amoray.



Figura 68

Cauce principal.



Figura 69

Edificaciones.



Figura 70

Zonas de Cultivos-Quebrada Amoray.



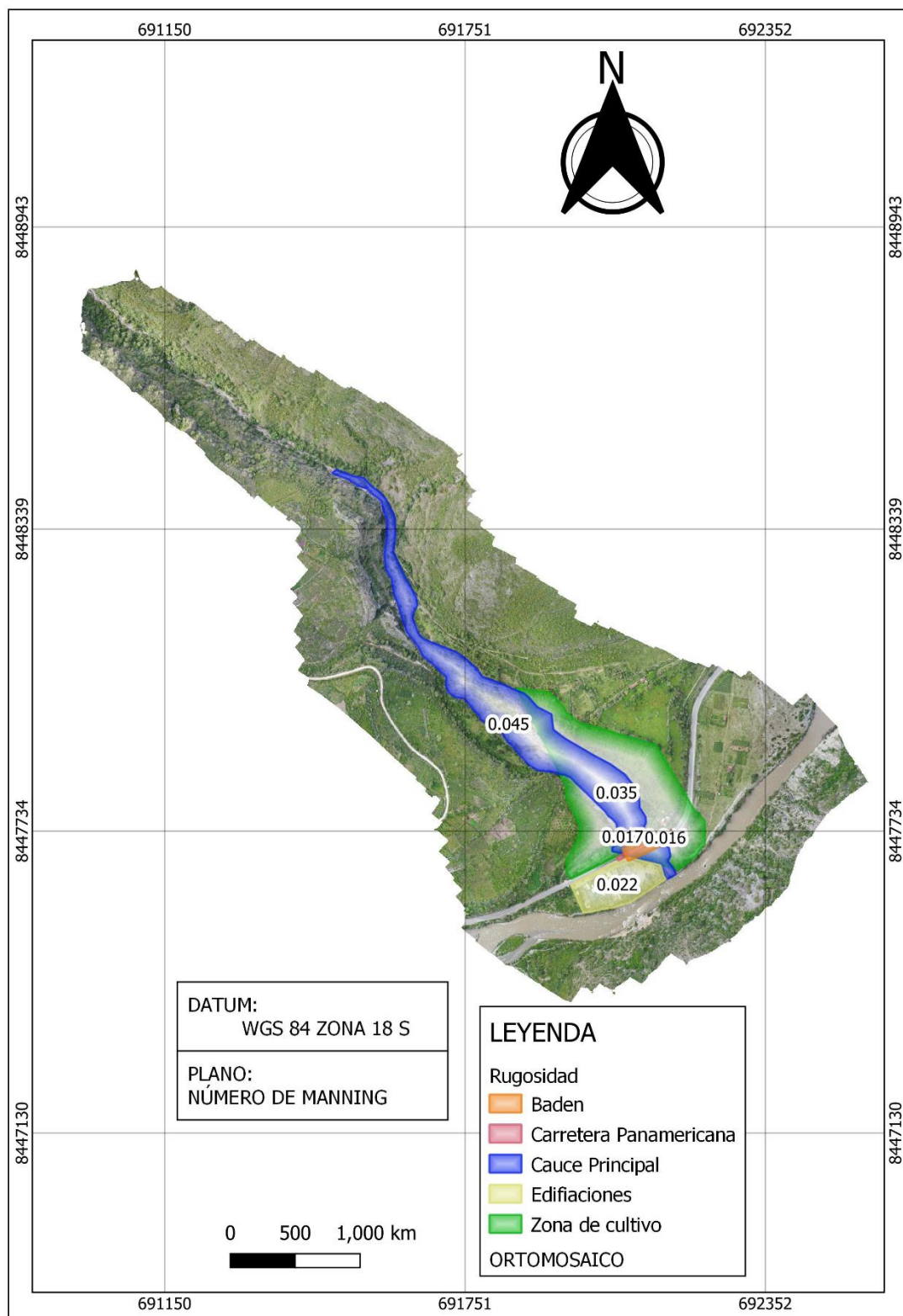
Figura 71

Carretera Panamericana.



Figura 72

Número de Manning-Quebrada Amoray.



5.5. Modelos reológicos

Los modelos más significativos que utiliza HEC-RAS se describirán a continuación:

5.5.1. *Modelo Bingham*

“Es un de los modelos reológicos más sencillos, la tensión de Bingham es la suma de las tensiones de fluencia y viscosas” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$\tau_{MD} = \tau_y + \tau_v$$

$$\tau_v = \mu_m \dot{\gamma}$$

Donde:

τ_y : Límite elástico.

τ_v : Tensión viscosa.

μ_m : Viscosidad dinámica.

$\dot{\gamma}$: Velocidad de cizallamiento

“El modelo tiene una relación de tensión-deformación lineal, con una intersección distinta de cero, por lo tanto τ_y y τ_v representan la intersección y la pendiente respectivamente de la relación tensión-deformación” (Gibson & Sánchez, 2020).

5.5.2. *Modelo Cuadrático*

“El modelo fue estimado por (O'Brien & Julien, 1985), combina tensiones debidas a la cohesión, fricción interna entre el sedimento y fluido, turbulencia y el impacto inercial entre partículas” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$\tau_{MD} = \tau_y + \tau_v + \tau_d$$

$$\tau_v = \mu_m \dot{\gamma}$$

$$\tau_d = c_{Bd} \rho_s \lambda^2 d_s^2 \dot{\gamma}^2$$

Donde:

τ_d : Tensión dispersiva.

τ_y : Límite elástico.

τ_v : Tensión viscosa.

μ_m : Viscosidad dinámica.

$\dot{\gamma}$: Velocidad de cizallamiento

c_{Bd} = Coeficiente empírico = 0.01

ρ_s = densidad de las partículas

d = Diámetro de las partículas

λ = Concentración lineal de sedimentos

5.5.3. *Modelo Herschel - Bulkley*

“A comparación del modelo de Bingham y a través de experimentos han demostrado que las mezclas de flujos de escombros pueden tener relaciones no lineales. Un modelo más general que tiene en cuenta esta no linealidad es el modelo de Bulkley” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$\tau_{MD} = \tau_y + \tau_{vd}$$

$$\tau_{vd} = K \dot{\gamma}^n$$

Donde:

K = Índice de consistencia

n = Índice o exponente de potencia

“Si $n < 1$ el fluido/mezcla delgaza por cizallamiento y cuando $n > 1$ el fluido/mezcla se espesa por cizallamiento” (Gibson & Sánchez, 2020).

5.5.4. *Modelo Voellmy*

“Voellmy combina una tensión de fluencia con una tensión viscosa/ turbulenta” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$\tau_{MD} = \tau_y + \tau_{vd}$$

$$\tau_{vd} = \frac{\rho_s g V^2}{\varepsilon}$$

Donde:

ε = Coeficiente de Voellmy

“Voellmy propuso la formulación para simular avalanchas de nieve” (Gibson & Sánchez, 2020).

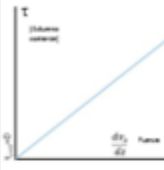
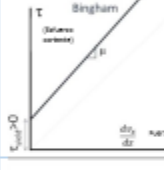
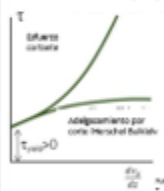
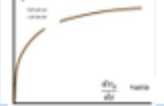
5.6. **Taxonomía de flujos de lodo y escombros**

Hec-ras sigue la taxonomía de Debrislib2 (biblioteca de flujo de lodo y escombros no newtoniana que HEC -RAS desarrolló en conjunto con ERDC) que se presenta en la siguiente Figura 73. Mientras que la carga de sedimentos va aumentando de escala y se vuelve más gruesa, el flujo pasa de newtoniano a hiperconcentrados, lodo, escombros y flujos clásticos. Los modelos reológicos también progresan desde newtoniano, a Bingham y a varios modelos no lineales,

finalmente a medida que el proceso de pérdida interna dominante pasa de las colisiones entre partículas a la fricción entre partículas, Hec-Ras incluye enfoques geotécnicos para tener en cuenta estos procesos (Gibson & Sánchez, 2020).

Figura 73

Taxonomía de flujos no newtonianos.

Clasificación de flujo	Proceso	Límite	O'Brien et al. (1993) Componente de corte	Herschel Bulkeley Componente de corte	Modelo reológico / geotécnico
Transporte de sedimentos	Carga de fondo y carga suspendida 	$C_v < 5\%$	Ninguno	Ninguno	
Flujo hiperconcentrado	Límite elástico y pérdidas viscosas 	$C_v > 5\%$	Bingham $\tau_y + \mu(\dot{\gamma})$	Lineal $\tau_y + K(\dot{\gamma})^{n=1}$	
Flujo de lodo	Turbulencia entre partículas 		$\rho_m \dot{\gamma}^2$	$K(\dot{\gamma})^{n=1}$	
Flujo de escombros	Colisión de granos 	Bagnold # $N_{BAG} > 40$	$\frac{0.01 \rho_s d_s^2 (\dot{\gamma})^2}{((\frac{0.615}{C_v})^{1/3} - 1)}$		
Flujo clástico	Fuerza de la matriz 	Fricción # $N_{fri} > 100 *$	Reemplaza el límite elástico (τ_y) en cualquiera de los modelos con un modelo de culombio (geotécnico) $\tau_y = \tau_c + \sigma \tan \phi$		

Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

5.7. Efectos no newtonianos en las ecuaciones hidráulicas

“HEC-RAS incorpora una pendiente de pérdida adimensional adicional a la pendiente de fricción, que calcula las pérdidas por fricción en la ecuación del momento newtoniano” (Gibson & Sánchez, 2020).

La ecuación del momento es:

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

“Donde Sf equivale a todas las pendientes de pérdida adimensionales en las modelaciones newtonianas. El enfoque de flujo de lodo y escombros que utiliza HEC-RAS, simplemente agrega otra pendiente de pérdida adimensional, una pendiente de lodo y escombros Smd ” (Gibson & Sánchez, 2020).

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

Seguidamente, la pendiente de fricción puede expresarse en función del peso unitario del fluido y radio hidráulico.

La ecuación para el esfuerzo cortante:

$$\tau = \gamma RSf$$

γ = Peso unitario del fluido

R = Radio hidráulico

Sf = Pendiente de fricción

$$Sf = \frac{\tau}{\gamma R}$$

“A partir de la misma se puede calcular la pendiente del lodo y los escombros, por lo que es proporcional a un esfuerzo cortante interno” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$Smd = \frac{\tau_{\text{Fluido interno}}}{\gamma R}$$

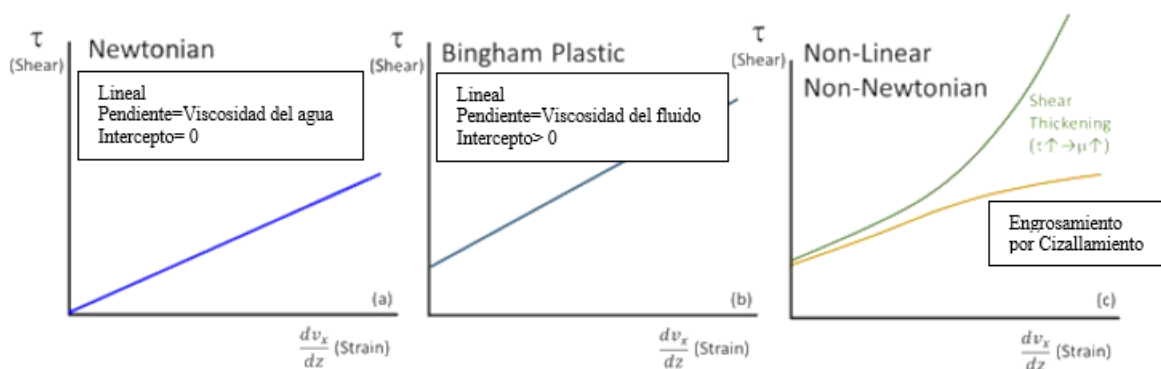
5.8. Reología de flujo no newtonianos

“Según el manual Mud and Debris Flow la reología es el estudio de cómo los materiales se deforman bajo tensión. Asumen que el agua comienza a deformarse bajo cualquier tensión” (Gibson & Sánchez, 2020).

“Los modelos hidráulicos asumen que el agua comienza a deformarse bajo cualquier tensión, la deformación aumenta linealmente con la tensión y viscosidad del agua” (Gibson & Sánchez, 2020).

Figura 74

Modelos reológicos utilizados para simular (a) agua clara y (b, c) flujos de lodo y escombros.



Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

5.9. Clasificación de flujos no newtonianos

El manual Mud and Debris Flow de Hec- ras, clasifica a los flujos no newtonianos, dependiendo de la concentración volumétrica de los sólidos y el tamaño de grano de los sólidos del fluido. En conclusión, a medida que la concentración aumenta (el sólido se vuelve más grueso), el fluido pasa por cuatro tipos de flujos no newtonianos (Gibson & Sánchez, 2020).

Los parámetros para poder separarlos y el modelo reológico utilizado para simularlo se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 27

Clasificación de flujo no newtoniano.

Clasificación	Modelos	Condición
Hiperconcentrados	Bingham	$C_v > 30\%$
Flujo de lodo y escombros	Turbulento-Cuadrático- Herschel- Bulkley	$C_v > 60\%$
Avalancha de nieve	Voellmy	
Clástico	Mohr-Coulomb	$N_s > 0.1$

Nota. Clasificación de Flujos no newtonianos Hec-Ras (2023).

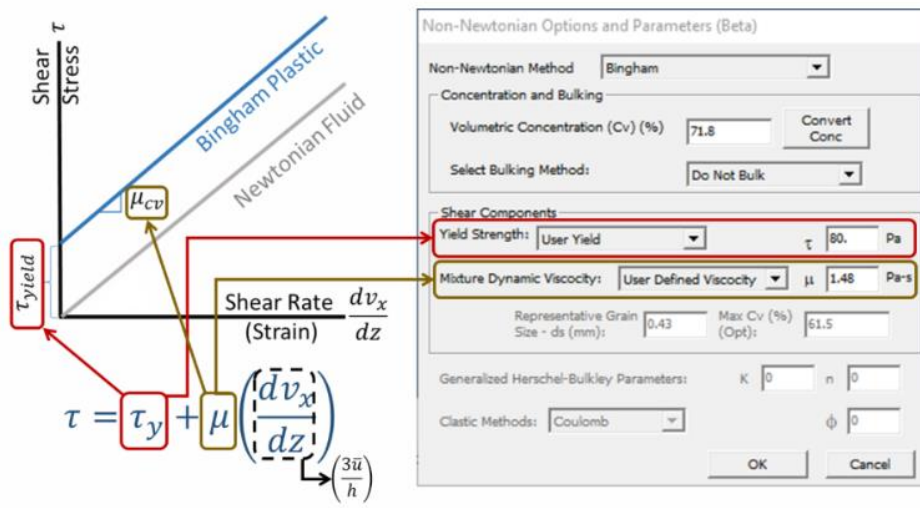
5.9.1. Parámetros de Bingham

“Aplicado frecuentemente a flujos hiperconcentrados y lodo; estos flujos de menor concentración se ajustan mejor al modelo lineal, su fórmula sencilla facilita su calibración” (Gibson & Sánchez, 2020).

“El modelo Bingham sólo requiere dos entradas para su simulación: el límite elástico (el intercepto de la relación de tensión – deformación) y la viscosidad de sedimentos” (Gibson & Sánchez, 2020). Las opciones se describen en la siguiente Figura.

Figura 75

Interfase no newtoniano del modelo Bingham.



Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

5.9.2. *Parámetros de O'Brien*

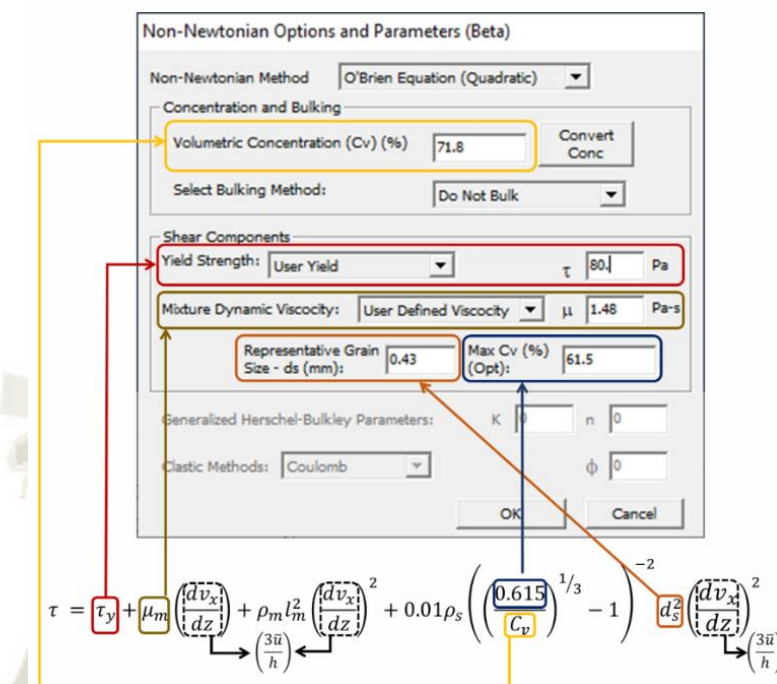
“La ecuación de O'Brien utiliza un modelo cuadrático para adicionar los efectos no lineales de la colisión de partículas y la turbulencia a los términos lineales de fluencia y viscosidad del modelo Bingham” (Gibson & Sánchez, 2020).

“El modelo de O'Brien solo requiere la concentración volumétrica y el diámetro de grano representativo para su simulación” (Gibson & Sánchez, 2020).

Las opciones se aprecian en la siguiente Figura.

Figura 76

Interfase del modelo de O'Brien.



Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

5.9.3. **Parámetros de Herschel - Bulkley**

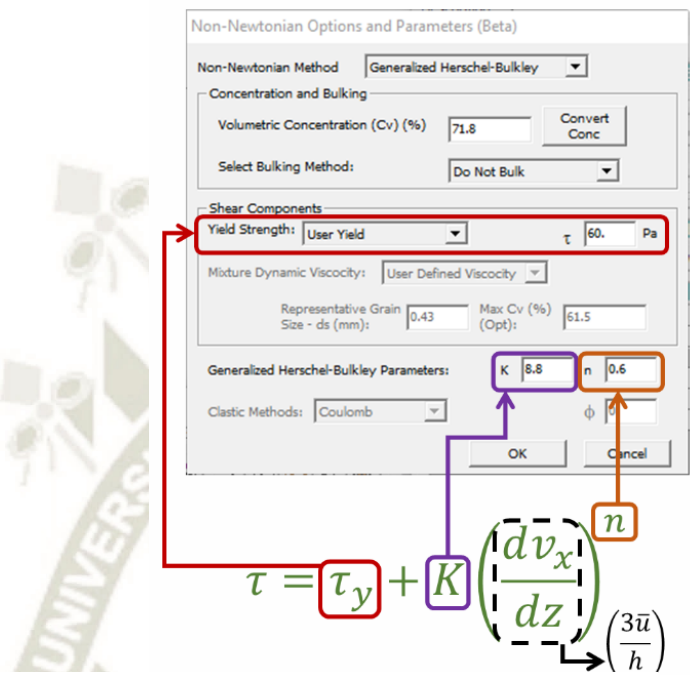
“Es un enfoque flexible, pero altamente empírico. Facilita extensos enfoques reológicos no lineales con una formula sencilla. Evaluar estos términos pueden ser muy difícil fuera de un laboratorio” (Gibson & Sánchez, 2020).

“Bulkley eleva la deformación a una potencia, si $n \neq 1$, K no es una viscosidad física, si no solo un coeficiente empírico” (Gibson & Sánchez, 2020).

Las opciones se aprecian en la siguiente Figura.

Figura 77

Interfase del modelo de Herschel Bulkley.



Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

5.10. Estimación de la concentración de sedimentos

“Para la estimación de C_v para un flujo no newtoniano es difícil, pueden calcularse comparando datos LIDAR anteriores y posteriores al evento o deduciendo a partir de registros” (Gibson & Sánchez, 2020).



CAPÍTULO VI

CALIBRACIÓN DEL MODELO

HIDRÁULICO

Calibración del modelo hidráulico

6.1. Calibración y comparación de resultados (flujo newtoniano y no newtoniano)

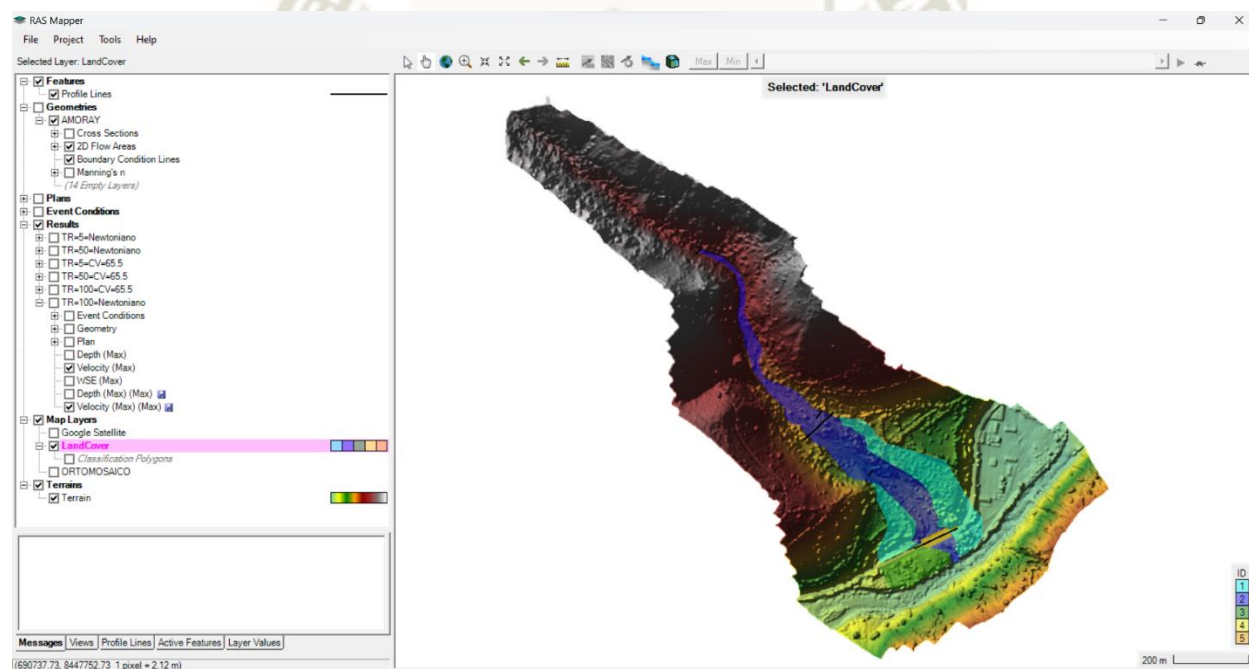
6.1.1. Modelo hidráulico HEC-RAS 6.4.1.

6.1.1.1. Flujo newtoniano

Para la modelación de flujo newtoniano y no newtoniano en HEC-RAS se necesita un modelo digital de elevación (Georreferenciado), lo cual será añadido en la opción RAS MAPPER, junto a una capa SHP de rugosidad que fue desarrollado en QGIS como se observa en la siguiente Figura.

Figura 78

DEM - Quebrada Amoray.

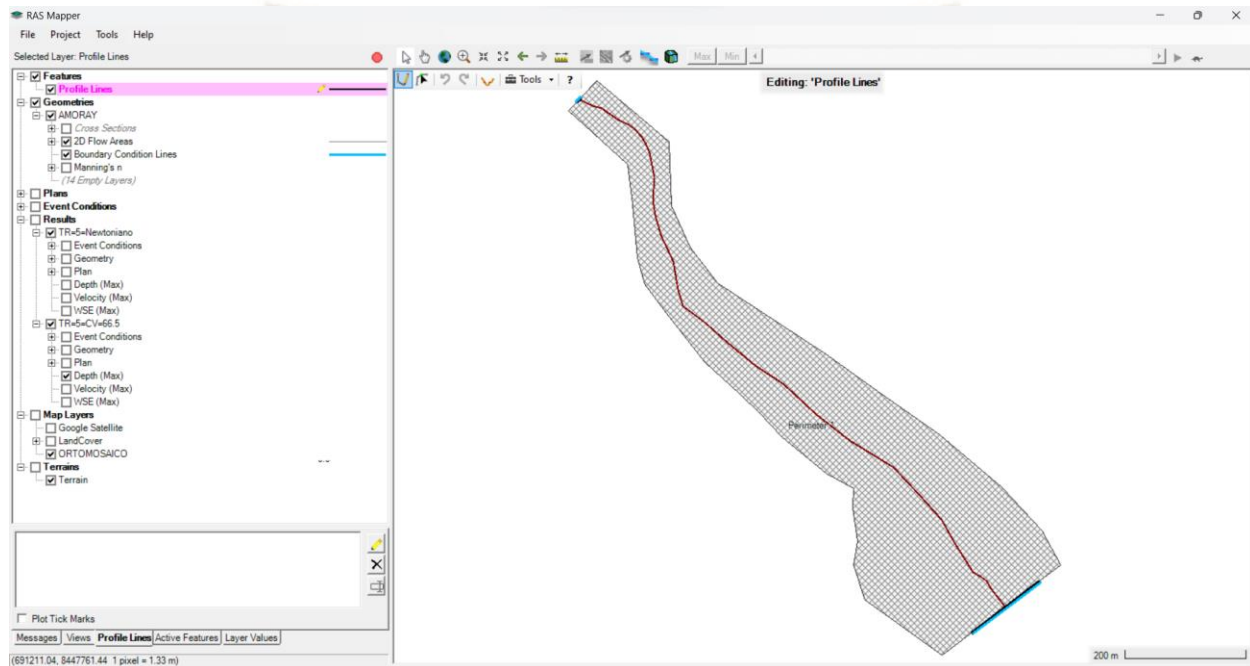


Seguidamente en la opción geometries 2D FLOW AREAS se crea el perímetro del área de estudio, con una malla computacional de 5x5, a la par se crea el eje principal de río con la opción BREAKLINES.

Posteriormente se crea las condiciones aguas arriba y aguas abajo con la opción BOUNDARY CONDITION LINES, como se observa en la siguiente Figura.

Figura 79

Condiciones de entrada- Quebrada Amoray.



A continuación, se ingresa a la opción UNSTEADY FLOW DATA, para poder añadir el hidrograma líquido hallado con HEC-HMS para un periodo de retorno de 5 años y las pendientes correspondientes de las condiciones de aguas arriba y aguas abajo. Como se observa en las siguientes Figuras.

Figura 80

Condiciones de entrada.

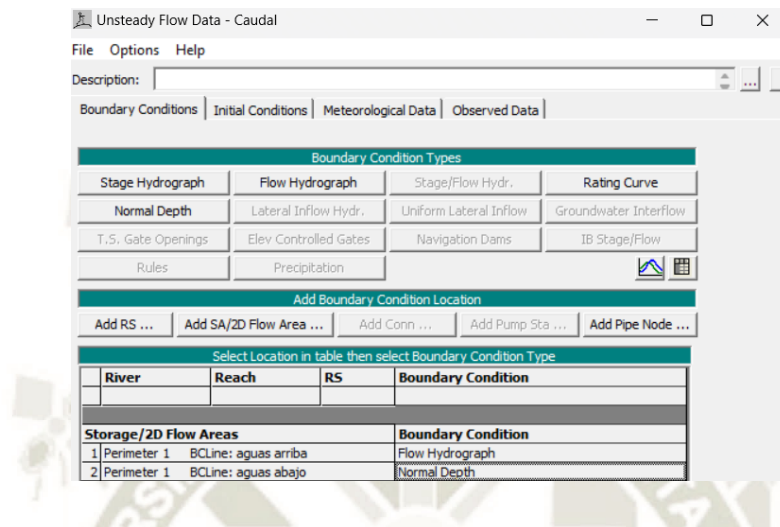
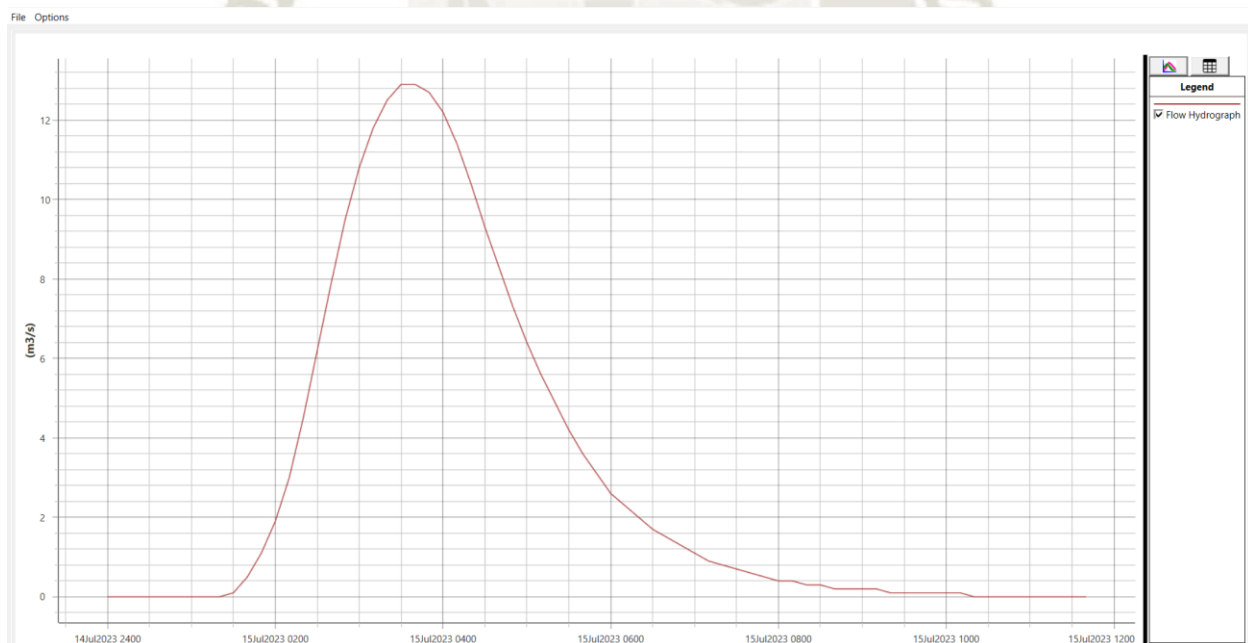


Figura 81

Hidrograma líquido - TR=5 años.



Por último, en la opción UNSTEADY FLOW ANALYSIS, se configura el tiempo de simulación y el intervalo computacional así mismo se edita EQUATION SET y se selecciona SWE-

ELM/original faster, ya que esta ecuación da buenos resultados en la simulación a comparación de las demás. Y se ejecuta el programa.

Figura 82

Configuración del tiempo de simulación.

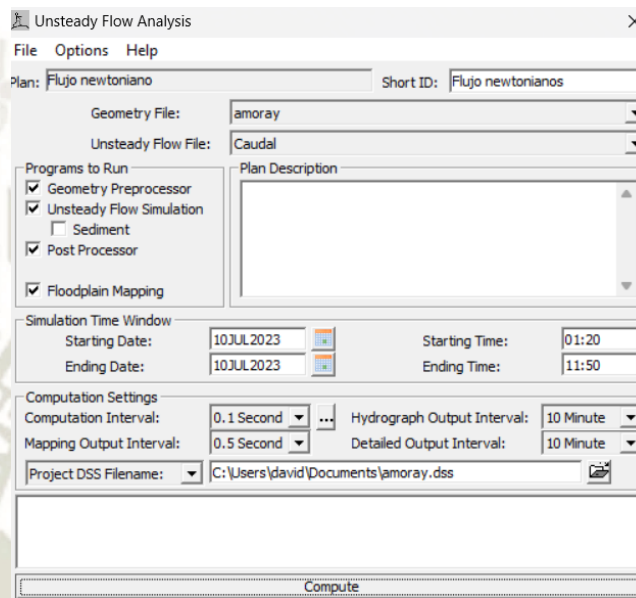
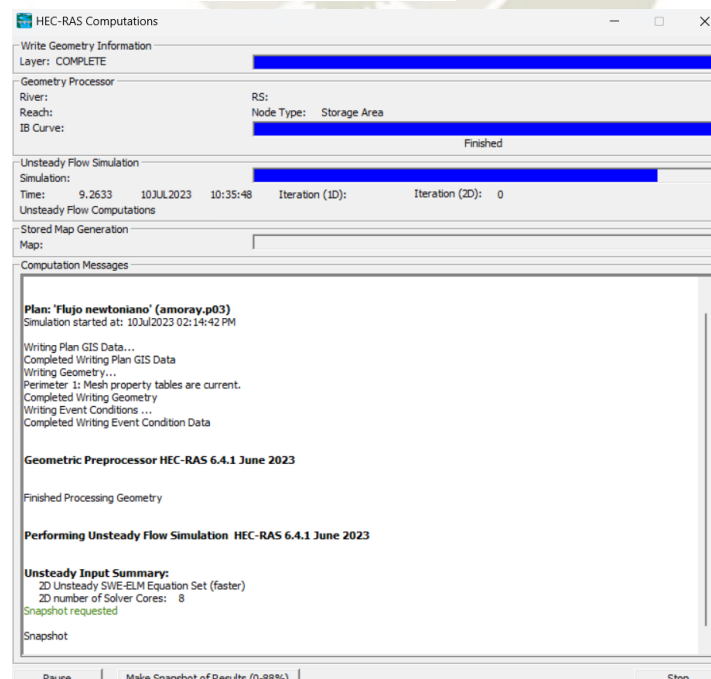


Figura 83

Ejecución del programa.

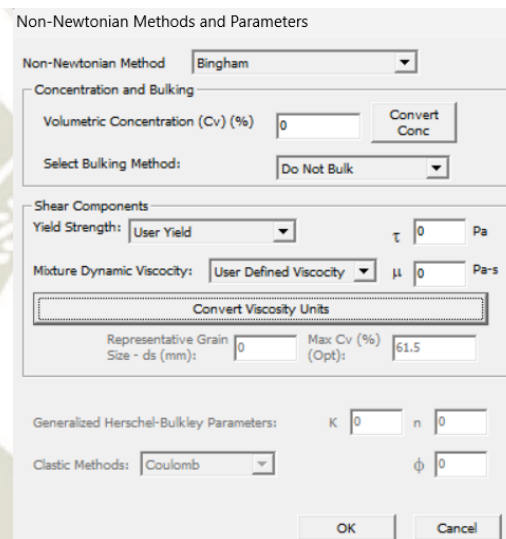


6.1.1.2. Flujo no newtoniano

El flujo no newtoniano se modela de la misma forma de un flujo newtoniano, con la diferencia que dentro de la opción UNSTEADY FLOW DATA, se selecciona NON-NEWTOANIAN PARAMETERS. Como se aprecia en la Figura.

Figura 84

Opción de flujo no newtoniano.



A continuación, se simulará y calibrará el evento sucedido del año 2021 en la quebrada Amoray. De acuerdo al reporte de INDECI la carretera Interoceánica sur fue afectada.

Figura 85

Evento 2021- Quebrada Amoray.



Figura 86

Erosión de riberas - quebrada Amoray.



Figura 87

Erosión de riberas-Zona intermedia de la quebrada.

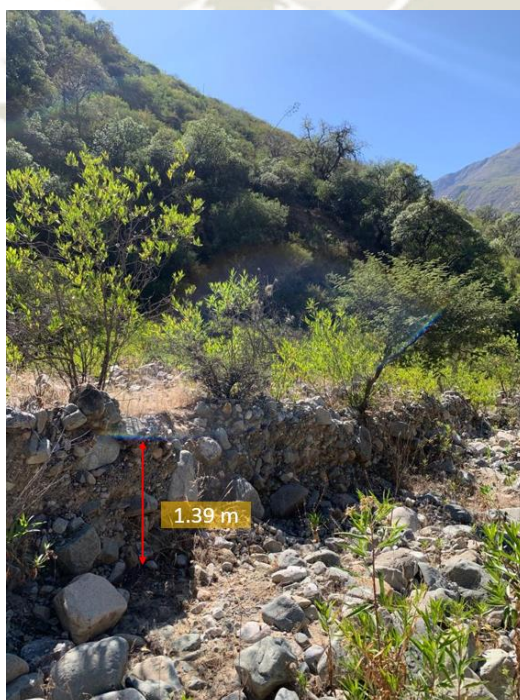


Figura 88

Reporte de INDECI-Quebrada Amoray.



detritos o escombros, que de acuerdo a la clasificación según HEC-RAS este tipo de flujos se simula con el modelo reológico CUADRATICO y tienen un Cv mayor a 60% como se aprecia en la Tabla N°27.

“Para la obtención de los parámetros reológicos (esfuerzo de cedencia – viscosidad dinámica) el manual MUD AND DEBRIS FLOW, utiliza mediciones empíricas, para el esfuerzo de cedencia HEC-RAS incluye 3 aproximaciones ya que los flujos de lodos y escombros es difícil de medir y para calcular la viscosidad dinámica incluye cuatro métodos” (Gibson & Sánchez, 2020). Como se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 28

Obtención de los parámetros reológicos.

ESFUERZO DE CEDENCIA	VISCOCIDAD DINÁMICA
Exponencial	Exponencial
User Yield	Maron and Pierce
Coulomb	User defined Viscosity
	User Visc Ratio

Para el esfuerzo de cedencia del evento de la quebrada Amoray se utilizará las aproximaciones exponencial y user yield. “Por lo tanto, el método exponencial incorpora dos parámetros empíricos en una función exponencial de la concentración volumétrica” (Gibson & Sánchez, 2020).

$$\tau_y = ae^{bcv}$$

Donde a y b son coeficientes de calibración y CV es la concentración volumétrica.

Figura 89

Parámetros de tensión de fluencia.

Type	Liquid Limit C_v	a	b	Range (Pa)
Typical Soil	65-80%	0.005	17.2	375-5,000
Kaolinite	40-50%	0.05	20.7	200-1,600
Sensitive Clays	35-60%	0.3	23.0	950-300k
Bentonite	5-20%	0.002	230.3	200-2E+17

Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

Para el cálculo de la viscosidad dinámica se utilizó los métodos exponencial y user defined viscosity.

$$\mu_r = 0.001e^{BCv}$$

Donde los valores de B se incluyen en la siguiente Figura. “Sin embargo, como este parámetro está en el exponente, la viscosidad es muy sensible” (Gibson & Sánchez, 2020).

Figura 90

Coeficientes para diferentes tipos de suelo.

Type	Liquid Limit C_v	B	Range (Pa-s)
Typical Soil	65-80%	18.4	160-2,500
Kaolinite	40-50%	18.4	1.6-10
Sensitive Clays	35-60%	11.5	0.1-1
Bentonite	5-20%	230.3	100-1E+17

Nota. Extraído del Manual Mud and Debris Flow Hec-ras (2020).

De acuerdo a los resultados del estudio granulométrico, se asume que el suelo en la quebrada Amoray es TYPICAL SOIL. Posteriormente se halla los parámetros reológicos como se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 29

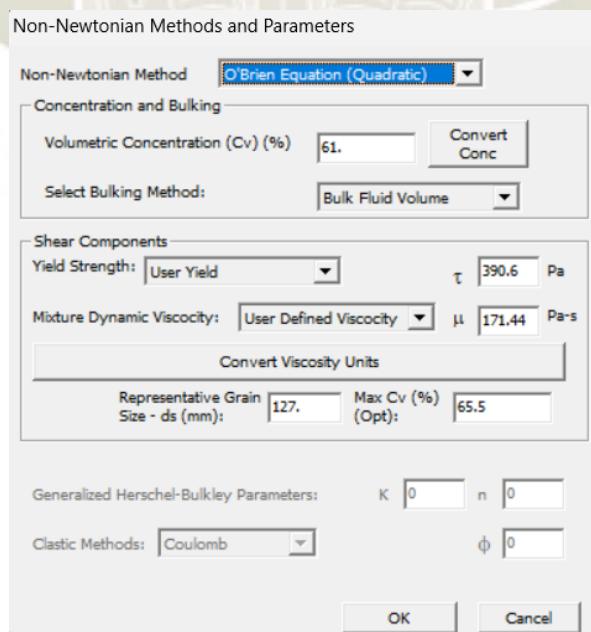
Parámetros reológicos.

Concentración Volumétrica	Esfuerzo de cedencia	Viscosidad Dinámica
61% - 65.5%	390.6 Pa	171.44 Pa-s

A continuación, se añade los parámetros de entrada al programa HEC-RAS, con un caudal de $12.9 \text{ m}^3/\text{s}$ y se selecciona la reología indicada, los parámetros reológicos, el diámetro de partículas que fueron medidas en campo con un promedio de 5 pulg y se ejecuta el plan como se aprecia en la siguiente Figura.

Figura 91

Parámetros de entrada -Quebrada Amoray.



Posteriormente se determina los resultados de tirantes y velocidades máximas.

6.1.2. Determinación de tirantes hidráulicos

Figura 92

Tirantes máximos- flujo newtoniano.

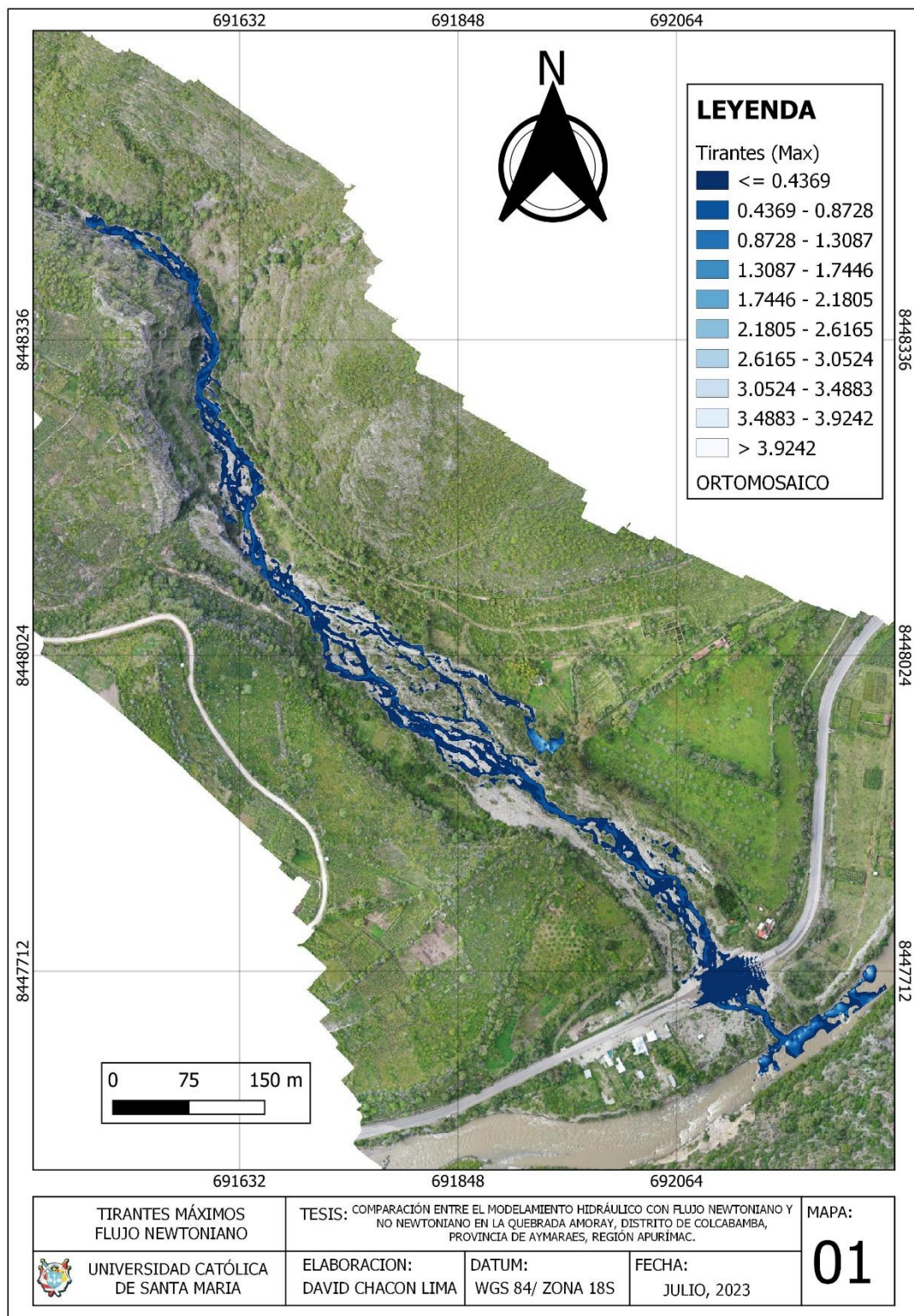
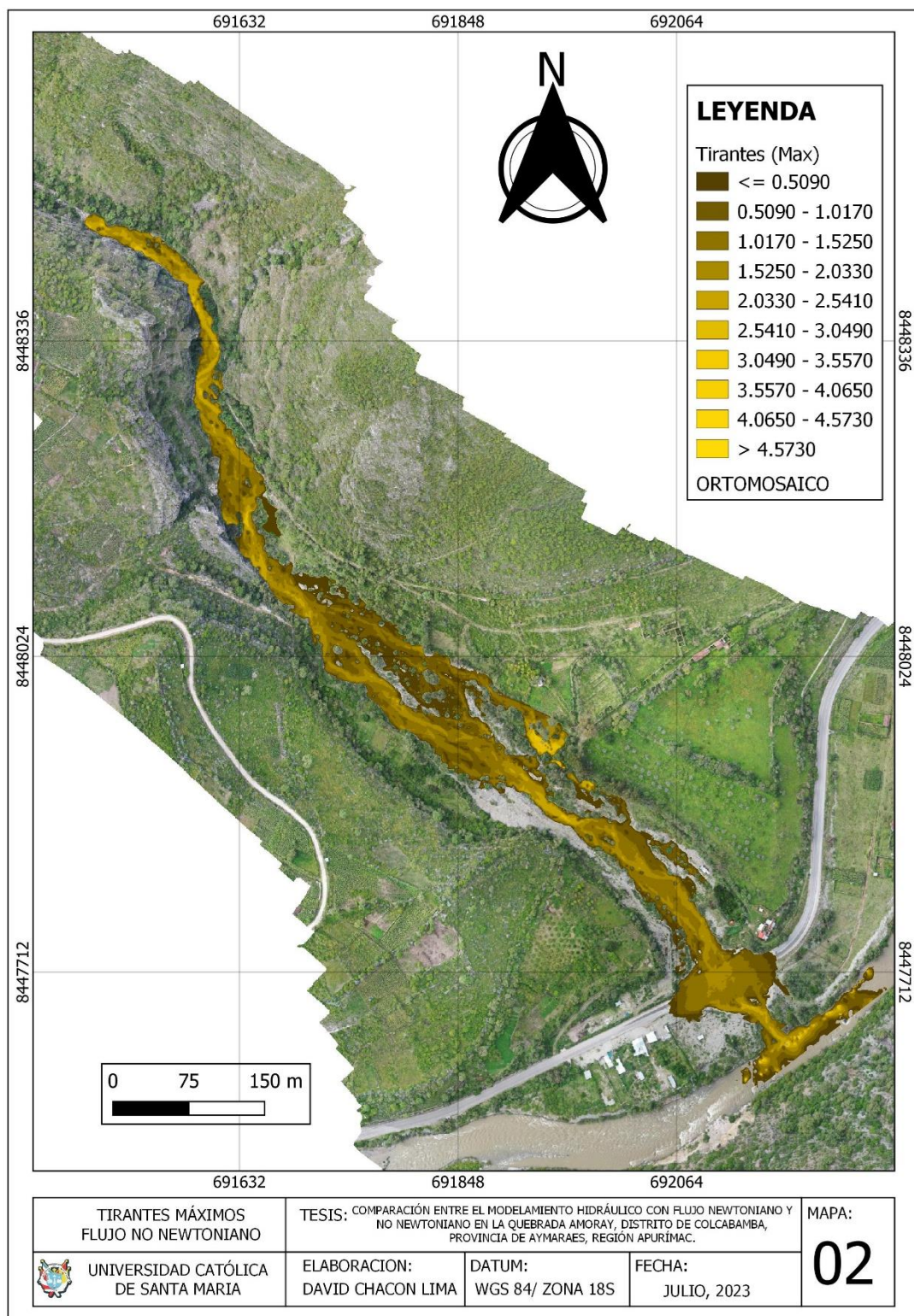


Figura 93

Tirantes máximos-flujo no newtoniano-evento 2021 quebrada Amoray.



6.1.3. Determinación de velocidades

Figura 94

Velocidades máximas - flujo newtoniano.

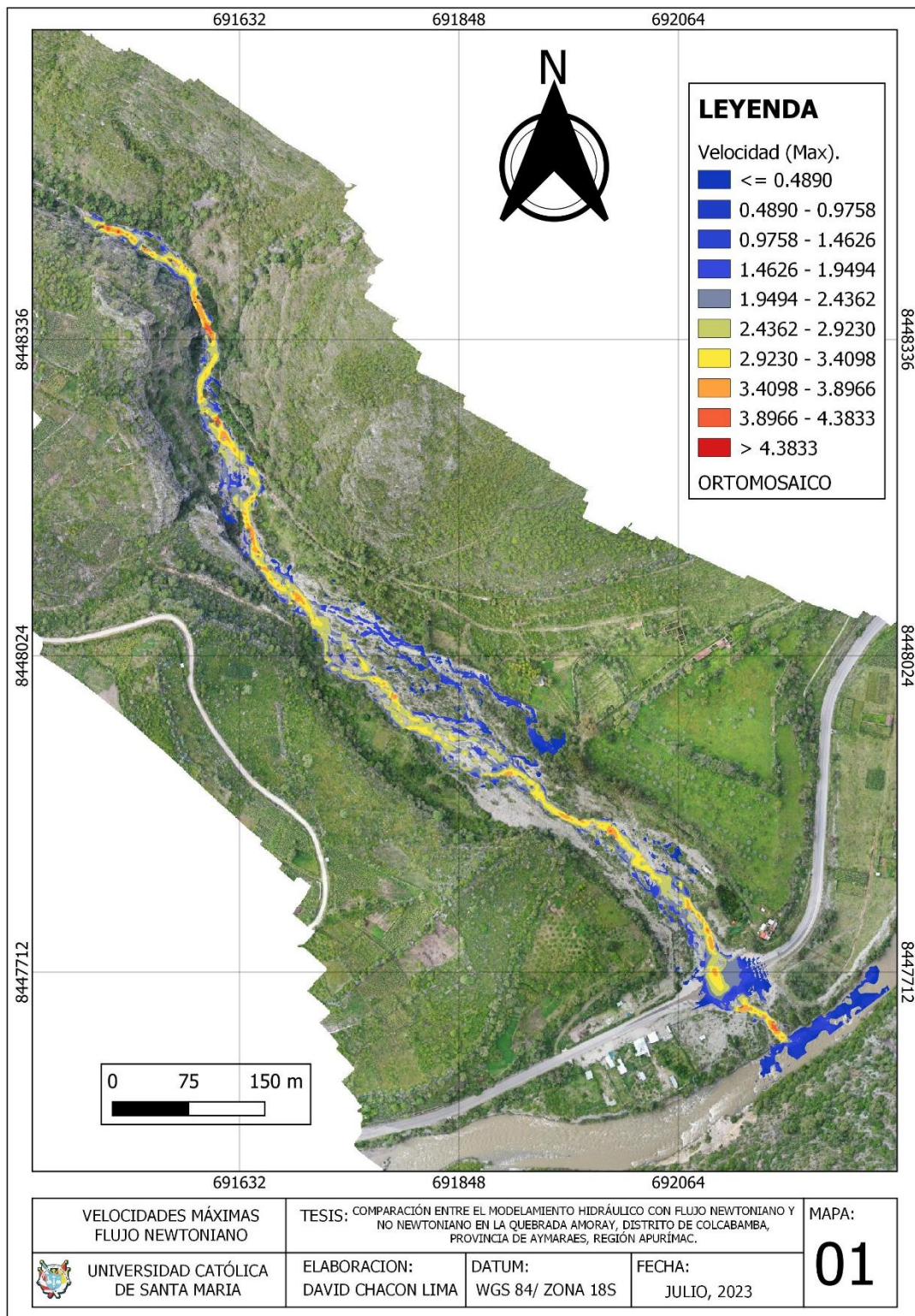
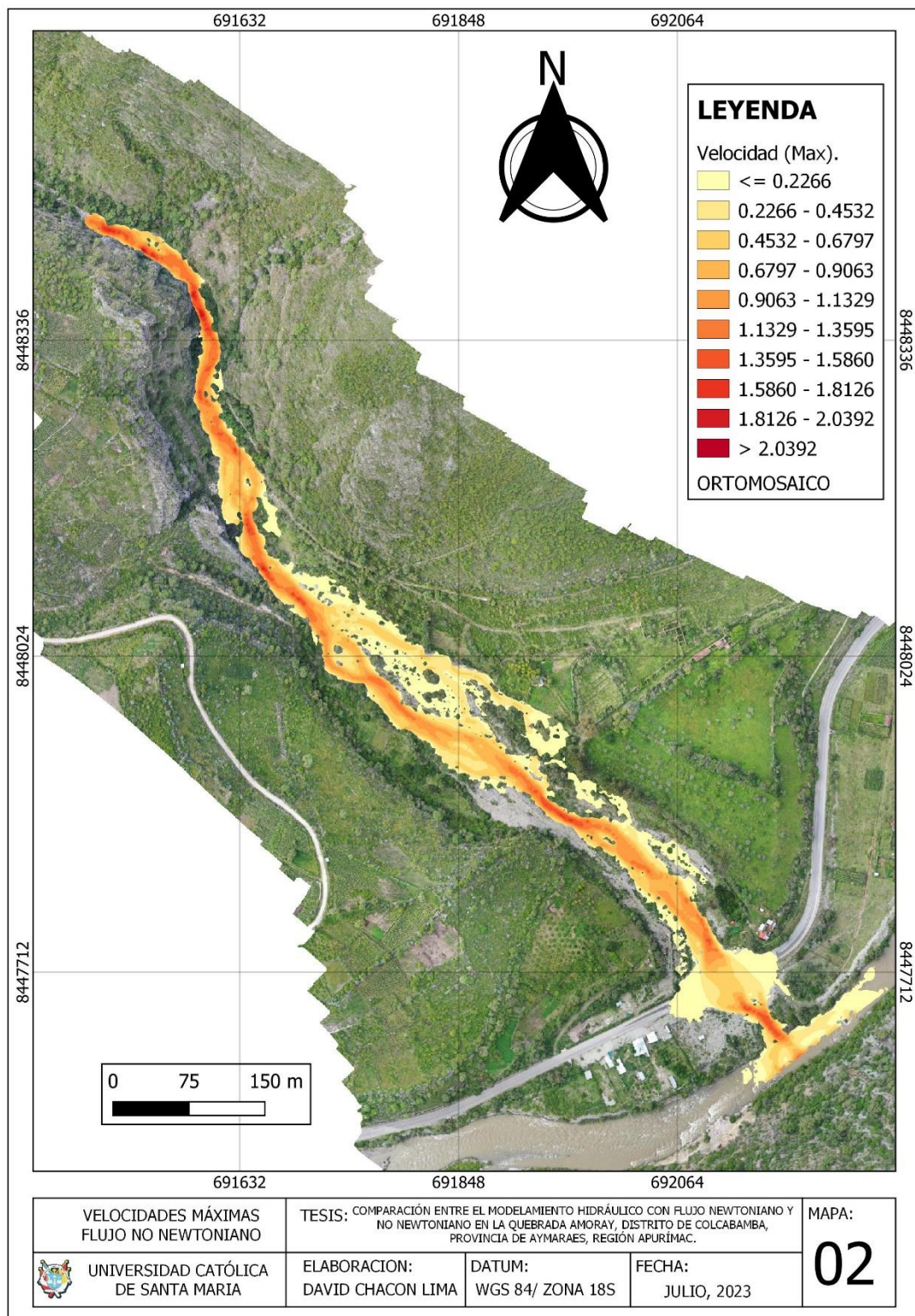


Figura 95

Velocidades máximas - flujo no newtoniano – evento 2021 quebrada Amoray.



6.1.4. Comparación de resultados

Para la comparación, se hizo uso de los resultados del modelo. Posteriormente para el cálculo del caudal de detritos, se utilizó la metodología de cálculo de la expresión empírica de “O’BRIEN” esta se basa en un “Bulking factor” que es un multiplicador al caudal de agua clara. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla.

Tabla 30

Comparación de resultados.

Tipo de flujo	Cv	Tirantes Máximas	Velocidades Máximas	Caudal	Área de Inundación
Newtoniano	-	3.92 m	4.38 m/s	12.9 m ³ /s	0.00217 km ²
No Newtoniano	65.5%	4.57 m	2.03 m/s	37.39 m ³ /s	0.00385 km ²

De acuerdo a la Tabla N°30 se puede mostrar notoriamente que un flujo no newtoniano causa una alteración grande en las tirantes máximas.

Otro resultado que se alcanza comparar, es respecto a las velocidades máximas, tal cual se observa en la Tabla N°30, los flujos no newtonianos tienen velocidades menores a comparación de los flujos newtonianos, a causa de que estos flujos son más densos que el agua clara.

Posteriormente se puede observar en las siguientes Figuras la comparación de tirantes y velocidades para cada tipo flujos.

Figura 96

Comparación gráfica de tirantes

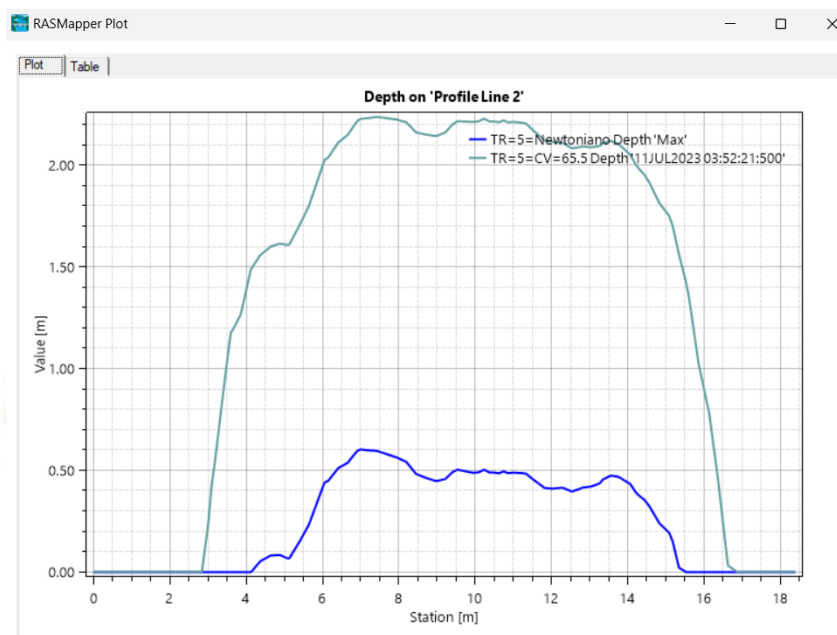
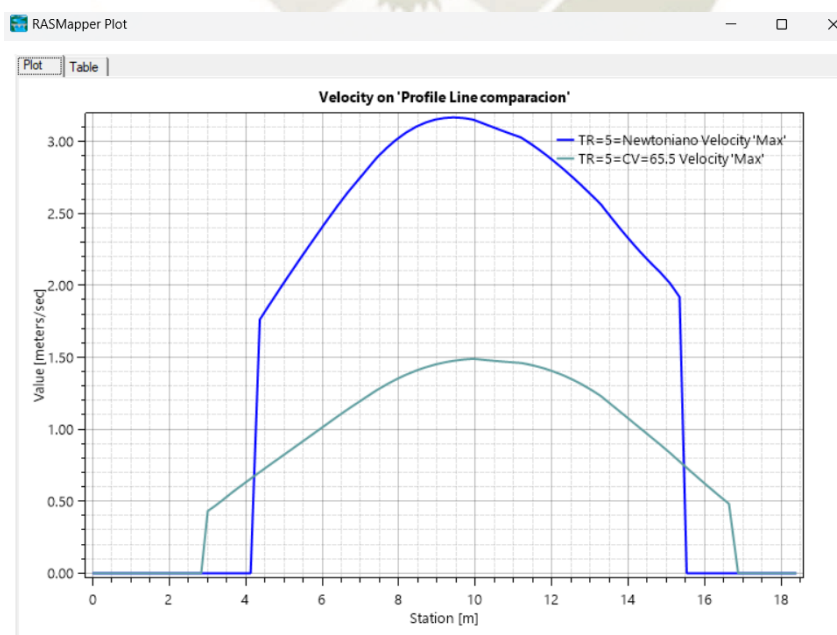


Figura 97

Comparación gráfica de velocidades.



6.2. Huella máxima (verificación en campo)

6.2.1. Segmentos del río en tramos y secciones transversales

Para el diseño de las secciones, se tomó en cuenta en el inicio de la modelación de la quebrada, la parte intermedia y la sección donde está ubicada el baden.

Figura 98

Sección en el inicio de la quebrada.

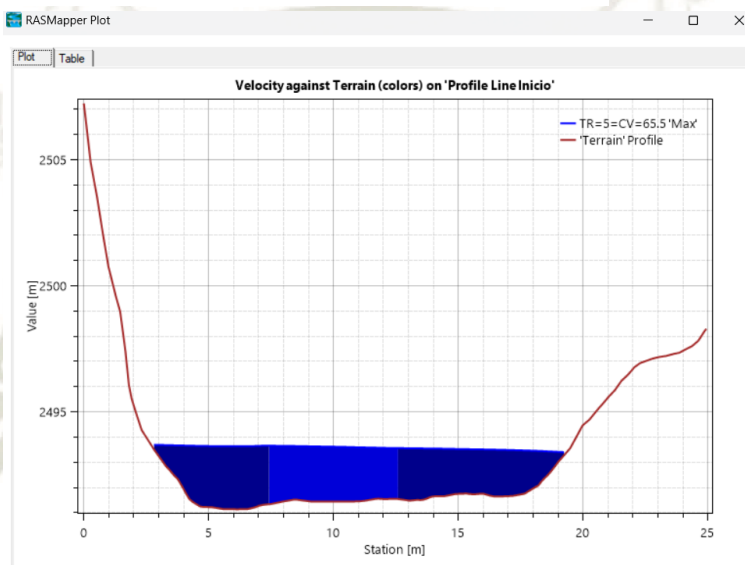


Figura 99

Sección intermedia -quebrada Amoray.

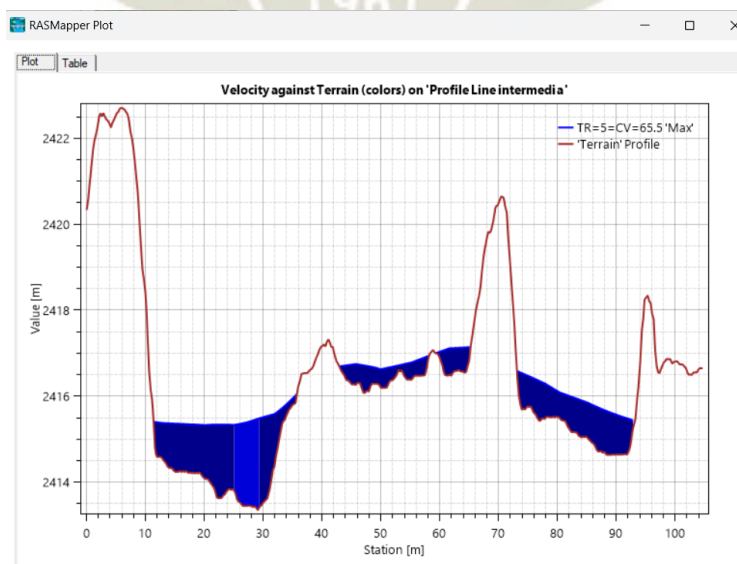
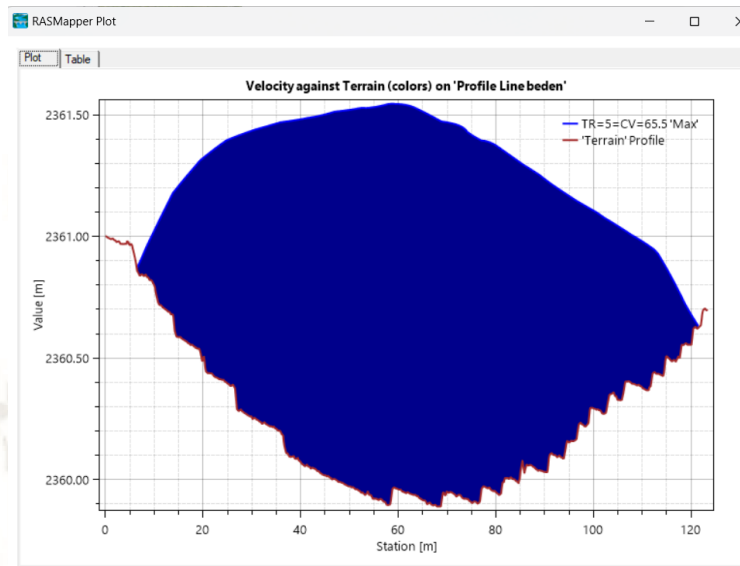


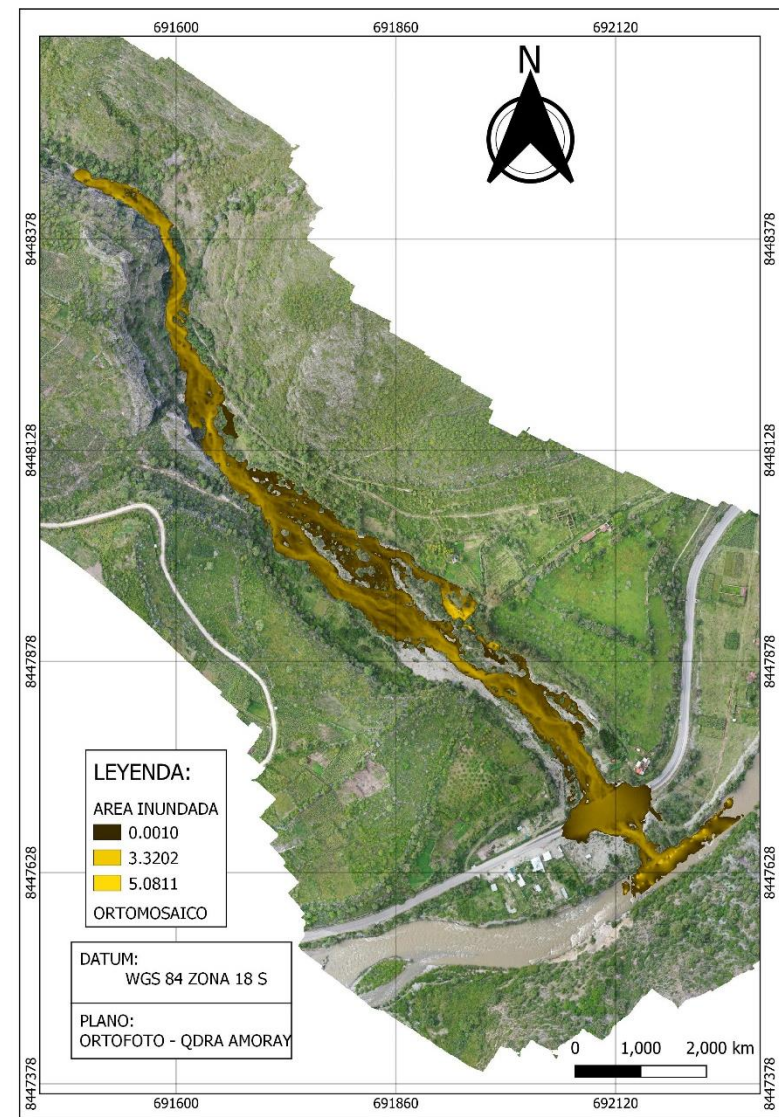
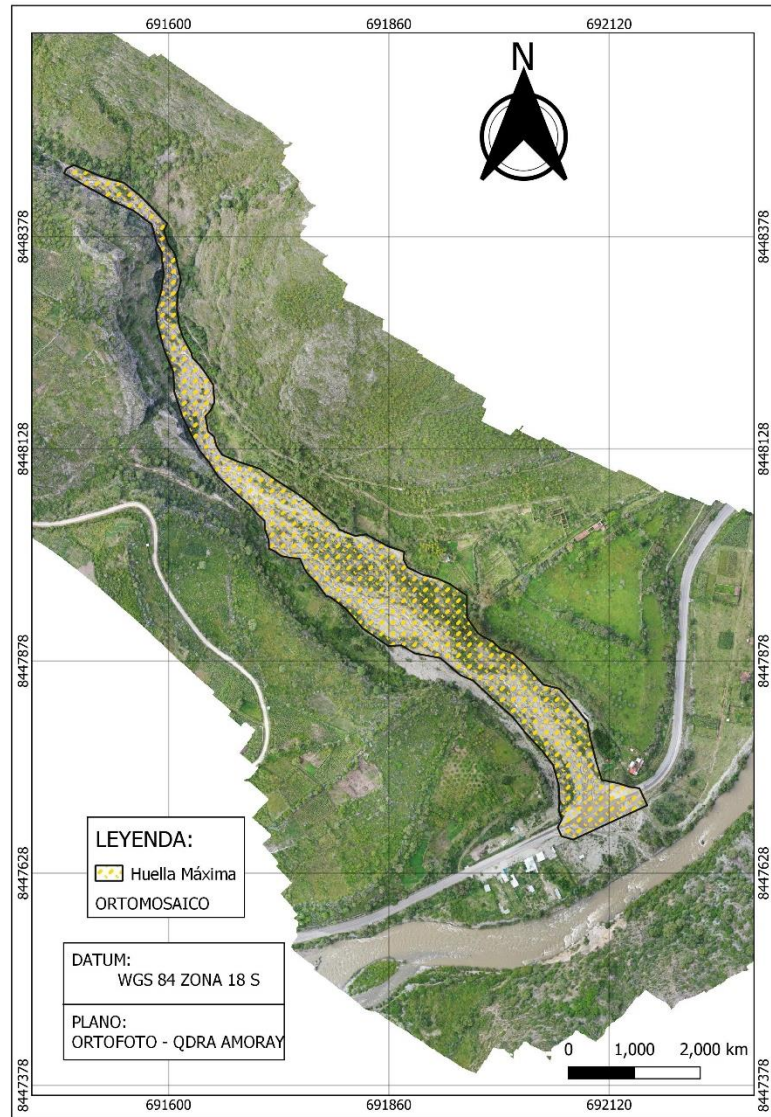
Figura 100
Sección del baden - quebrada Amoray.


6.2.2. Identificación de la huella máxima

Para la determinar la huella máxima del evento del 2021 en la quebrada Amoray, se realizó una pequeña encuesta a los pobladores, lo cual haciendo el uso del software Qgis y la ortofoto obtenida del levantamiento con drone, se determinó la huella máxima y se logró calibrar el modelo hidráulico como se muestra en la siguiente Figura.

Figura 101

Identificación de la huella máxima.





CAPÍTULO VII

MAPAS DE PELIGRO POR INUNDACION

ANTE MÁXIMA AVENIDAS

Mapas de peligro por inundación ante máximas avenidas

7.1. Modelación para eventos extremos

Se modeló, comparó los resultados para los diferentes periodos de retorno TR= 50 y 100 años. Como se puede observar en la siguiente Tabla.

Tabla 31

Resultados para cada periodo de retorno.

Tr (años)	Flujo	Cv	Velocidad Máxima	Tirante Máximo	Área de Inundación
50	Newtoniano	-	6.28 m/s	5.00 m	0.00275 km ²
100	Newtoniano	-	6.65 m/s	5.07 m	0.00294 km ²
50	No Newtoniano	65.5%	3.22 m/s	5.56 m	0.00578 km ²
100	No Newtoniano	65.5%	3.54 m/s	5.70 m	0.00818 km ²

7.2. Elaboración de mapas

Para la elaboración de mapas se exportó los resultados de HEC-RAS al software QGIS, haciendo uso de sus herramientas, se desarrolló para los diferentes periodos de retorno.

A continuación, se puede apreciar los mapas para TR=50 y 100 años, en la siguientes Figuras.

Figura 102

Mapa de tirantes máximos Flujo newtoniano - TR=50 años.

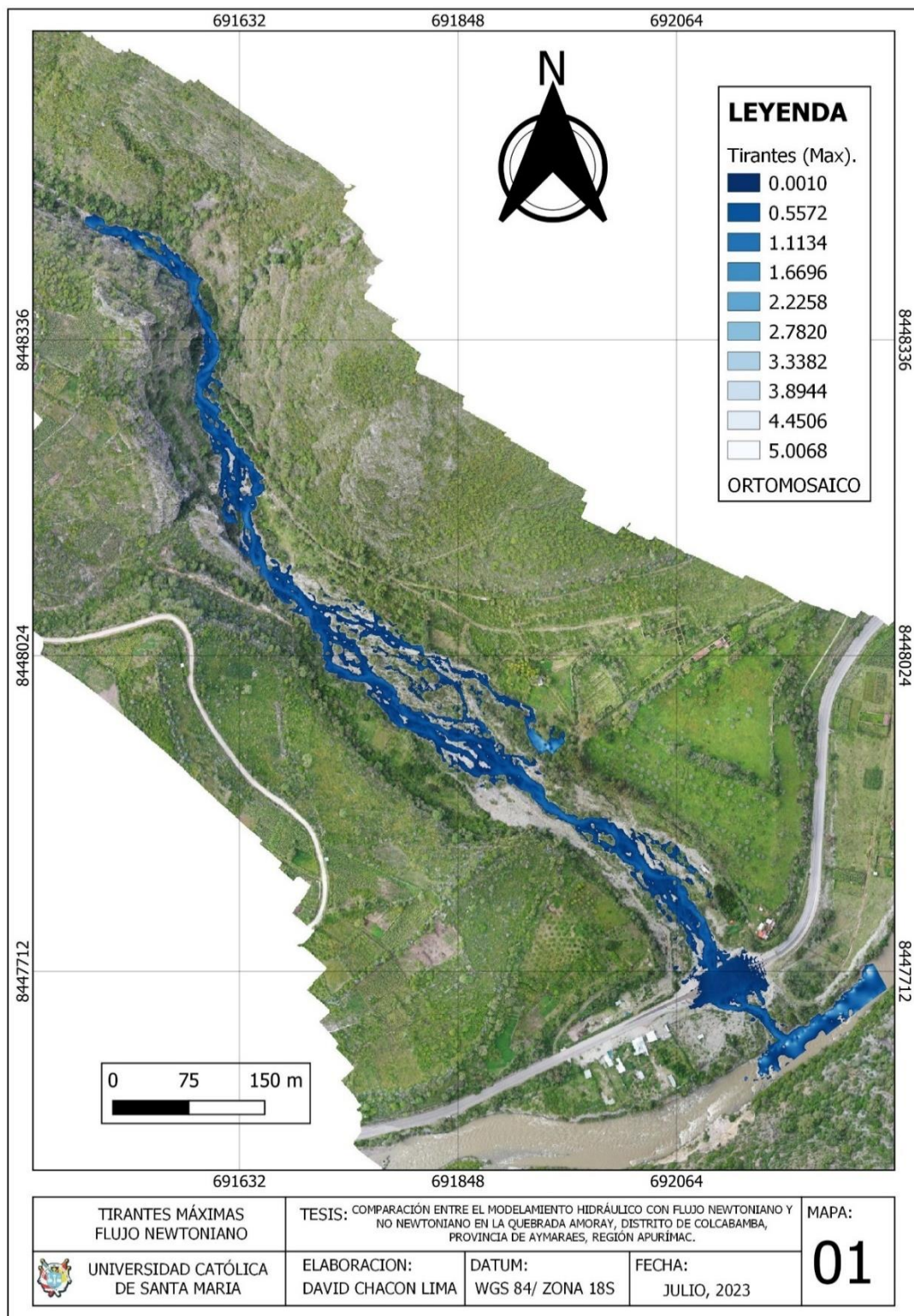


Figura 103

Mapa de velocidades máximas Flujo newtoniano - TR=50 años.

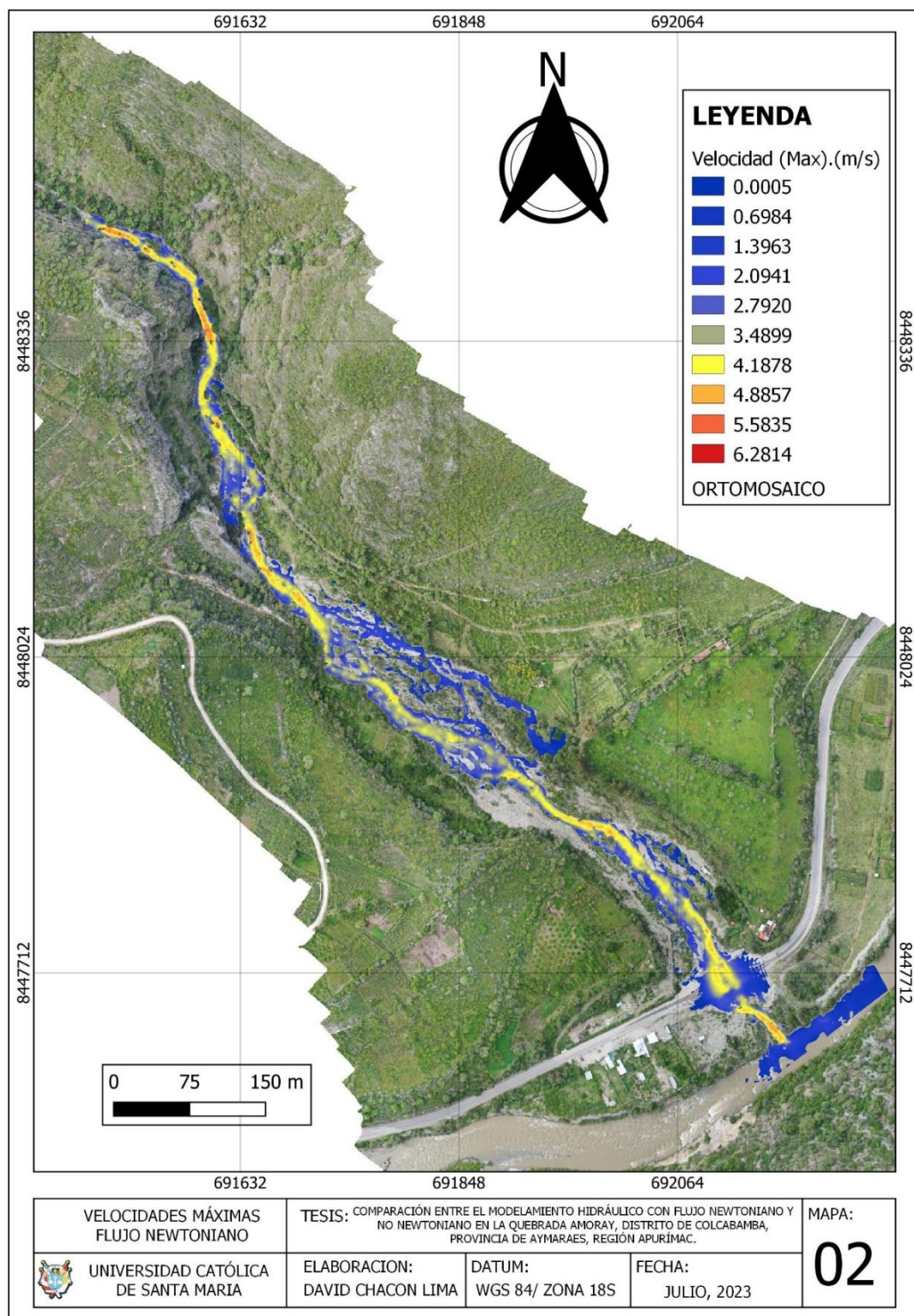


Figura 104

Mapa de tirantes máximos Flujo no newtoniano - TR=50 años.

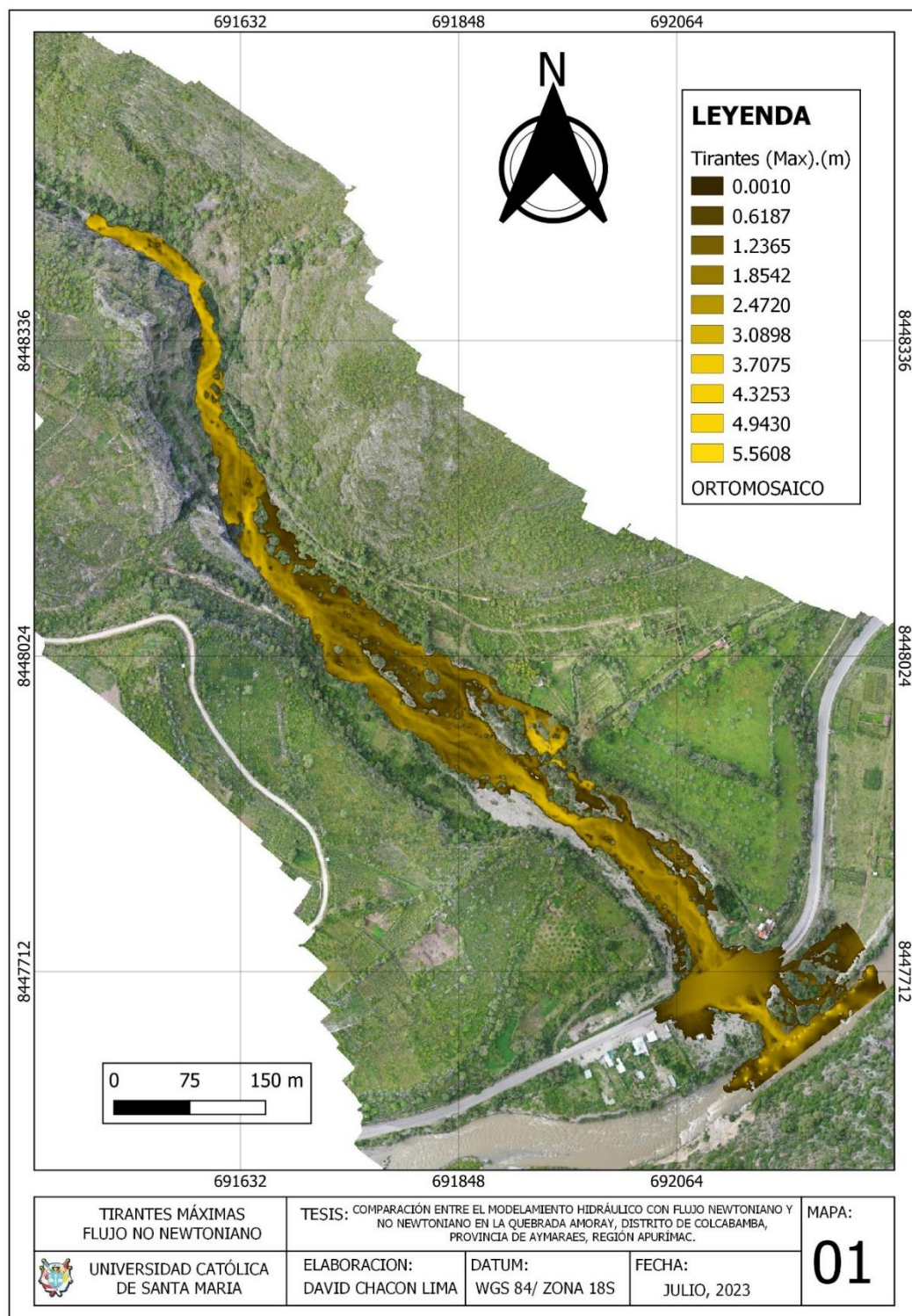


Figura 105

Mapa de velocidades máximas Flujo no newtoniano - TR=50 años.

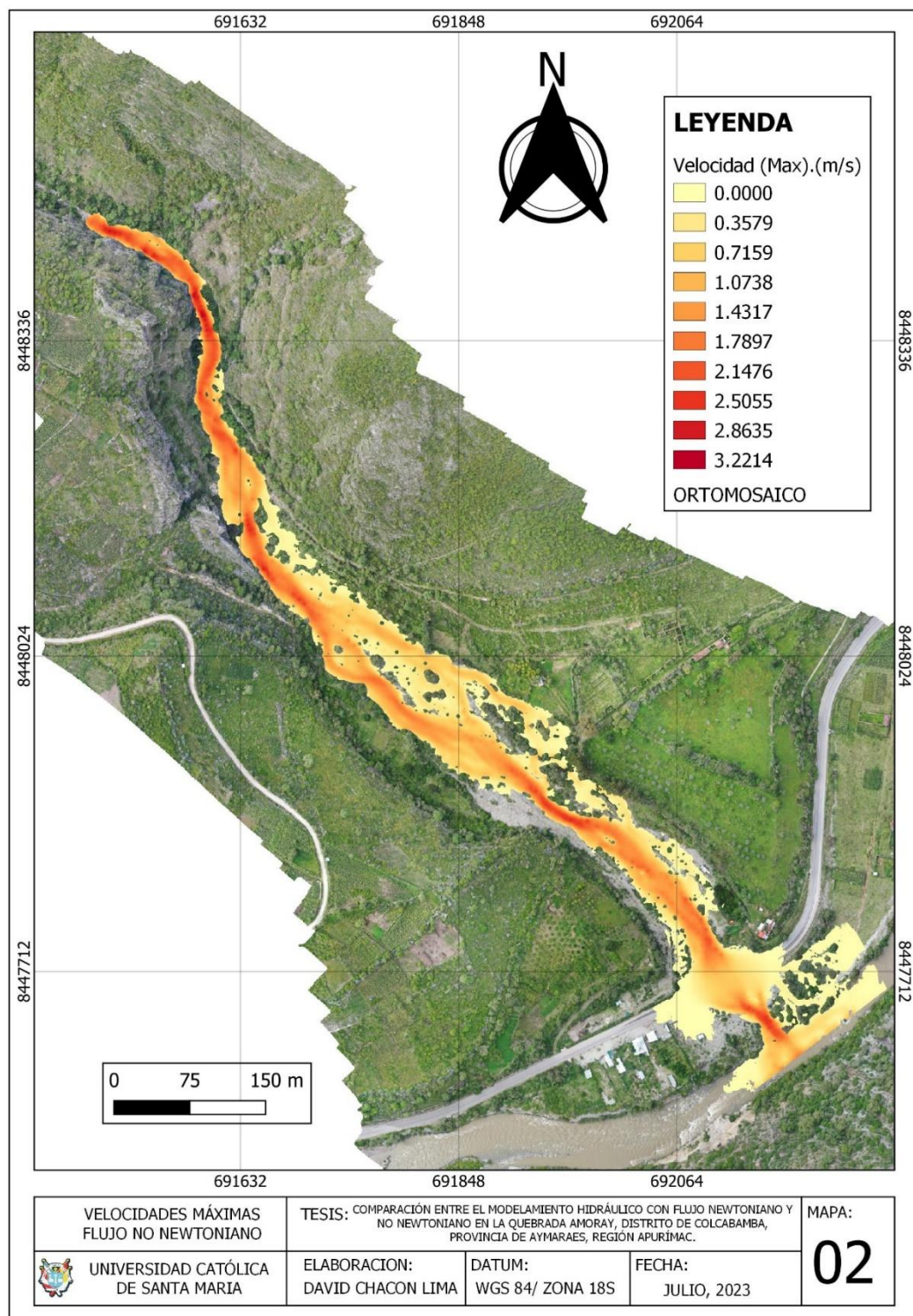


Figura 106

Mapa de tirantes máximos Flujo newtoniano - TR=100 años.

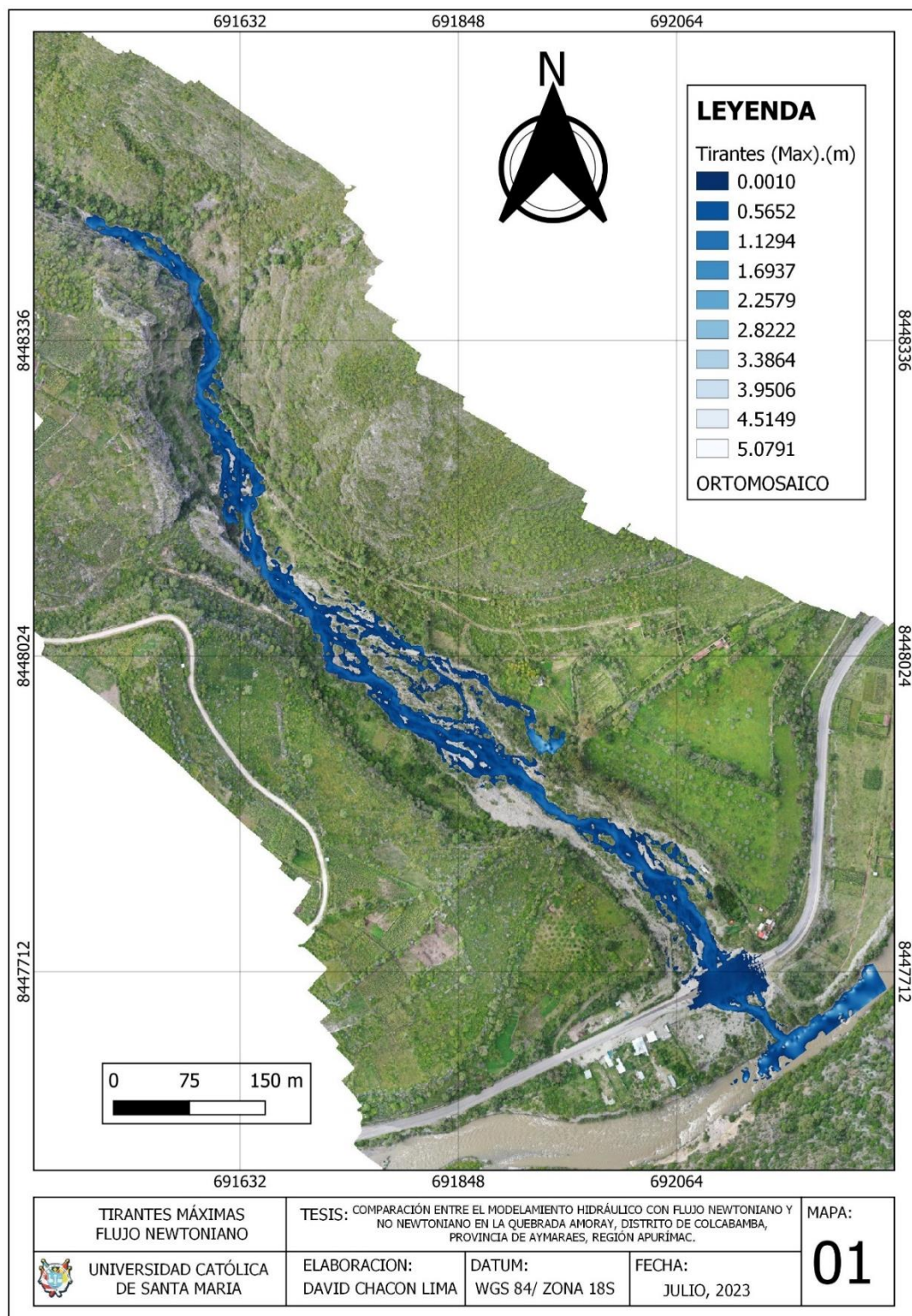


Figura 107

Mapa de velocidades máximas Flujo newtoniano - TR=100 años.

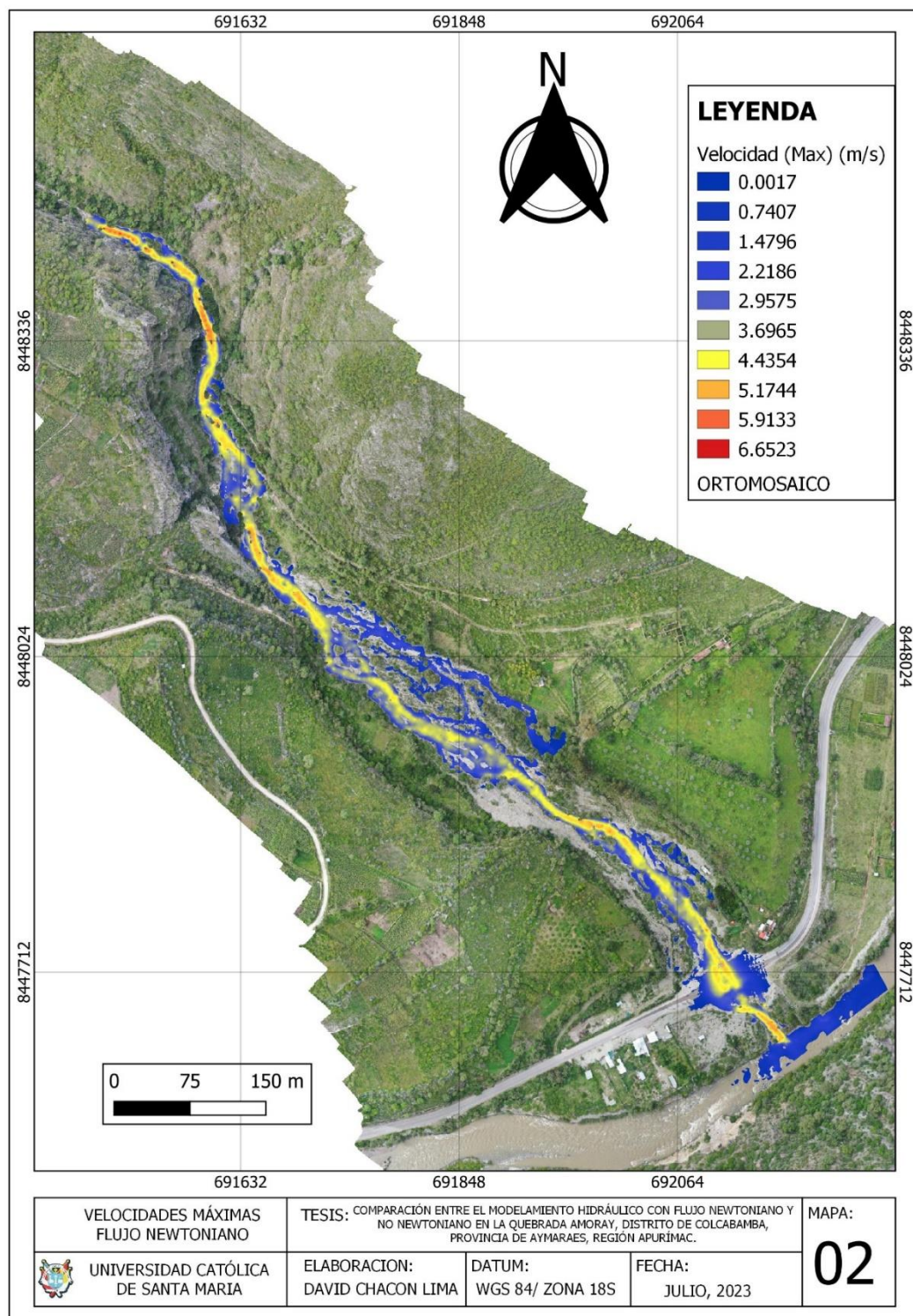


Figura 108

Mapa de tirantes máximos Flujo no newtoniano - TR=100 años.

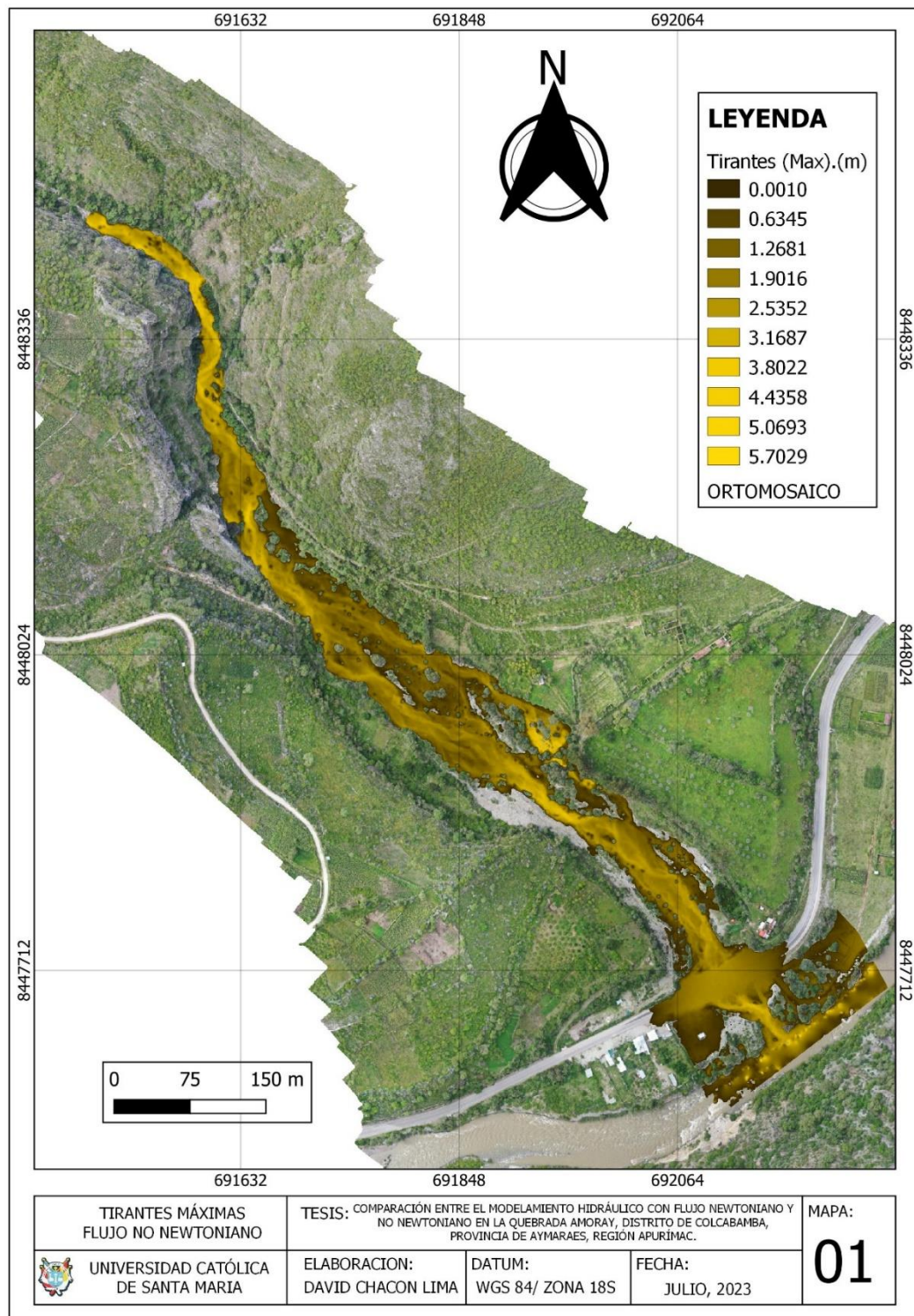
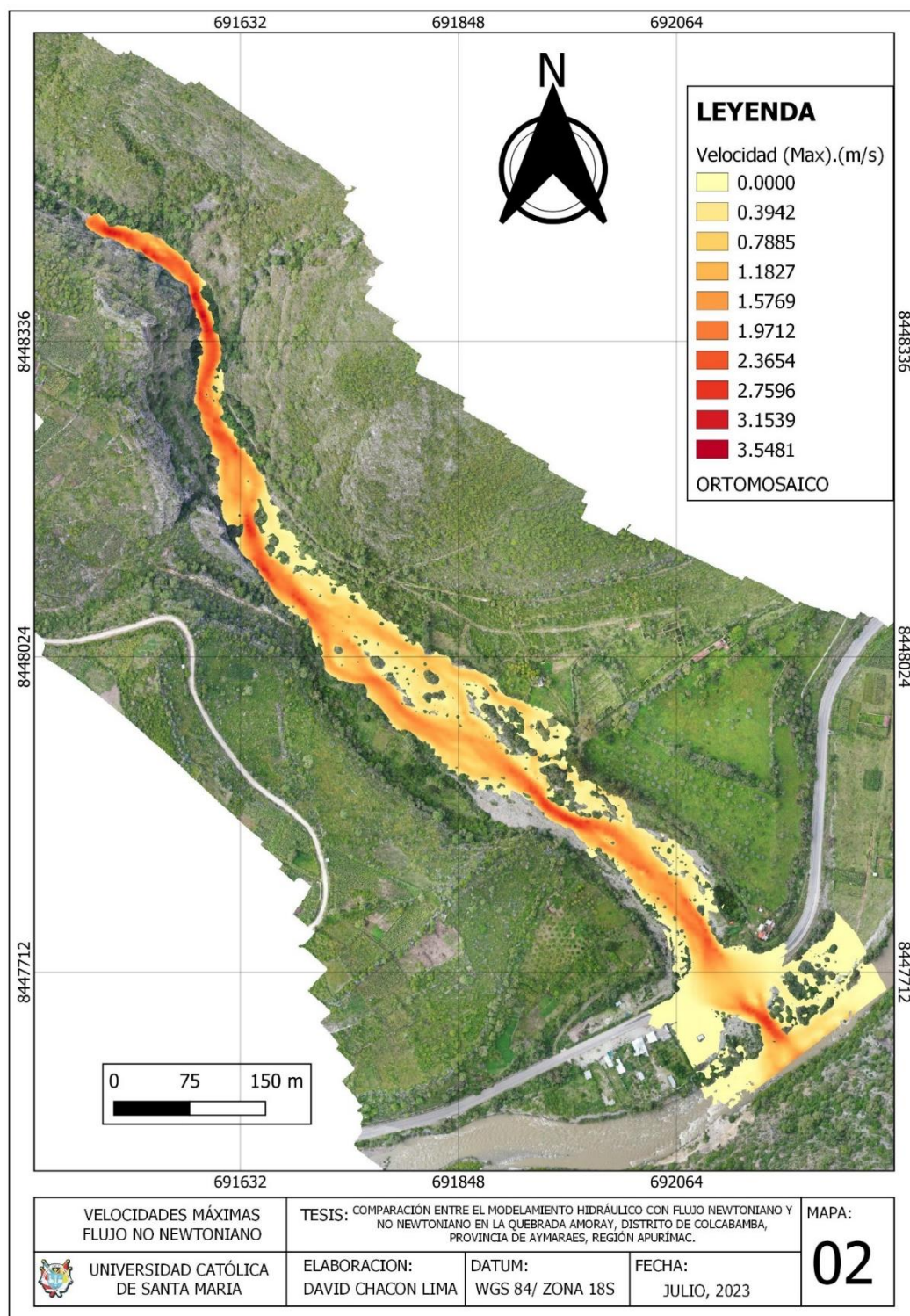


Figura 109

Mapa de velocidades máximas Flujo no newtoniano - TR=100 años.



CAPÍTULO VIII

PLANTEAMIENTO DE OBRAS DE SECCIÓN

TRANSVERSAL

Planteamiento de Obras de Sección Transversal

8.1. Alcantarillas

“Son estructuras de drenaje de corto recorrido, que interceptan quebradas, con la carretera”
(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

8.2. Tipos de alcantarillas

8.2.1. Alcantarillas rectangulares

“Según el M.T.C están diseñados para caudales grandes y así mismo son adaptables para cambios de altura, tales como alturas de terraplén” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

Figura 110

Alcantarilla Rectangular.



Nota. Alcantarilla rectangular comunidad Puerto Banano (2023).

8.2.2. Alcantarillas circulares

“Según el MTC son de concreto o acero corrugado, que por su diseño suelen resistir de manera idónea las cargas de terraplén y cargas adicionales como: el tráfico vehicular” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

8.2.2.1. Alcantarilla multiplate circular

“Según SIDERPERU, son de planchas de acero corrugado, de buena resistencia e incluso obtienen diámetros de 7.56m” (SIDERPERU, 2019).

Figura 111

Alcantarilla circular.



Nota. Alcantarilla propuesta por TUPEMESA (2021).

8.2.3. Alcantarillas de múltiples ojos o barriles

“Son estructuras de 1 o más entradas, en general se construyen para cauces amplios o de anchos considerables, comúnmente se utilizan donde caudal se puede mantener en un mínimo, se recomiendan para vías de bajo terraplén” (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2012).

Figura 112

Alcantarilla de varios ojos.



Nota. Alcantarillas múltiples extraído por TUPEMESA (2021).

Para la quebrada Amoray se plantea el diseño de una alcantarilla multiplate MP-152 circular de múltiples ojos.

8.3. Diseño de alcantarilla multiplate circular de múltiples ojos

Se diseñará, para un TR=50 años, con una ficha técnica de “SIDERPERU” y el software “HY-8 CULVERTS”.

8.3.1. Características de diseño

Las características hidráulicas, se aprecian en la siguiente Tabla.

Tabla 32
Características hidráulicas.

CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS	
Caudal de diseño	30.30 m ³ /s
Diámetro (SIDERPERU)	2.12 m
Rugosidad del material	0.030
Rugosidad del cauce	0.045
Pendiente (So)	0.03
Longitud (L)	11.0 m
Ancho del terraplén	9.0 m
Cota de plataforma	2359.5
Cota de terreno entrada	2357.0
Cota de terreno salida	2356.67

8.3.2. Diseño hidráulico en HY-8 CULVERTS

Para el diseño se desarrolló 2 esquemas, como se aprecia en las siguientes Figuras:

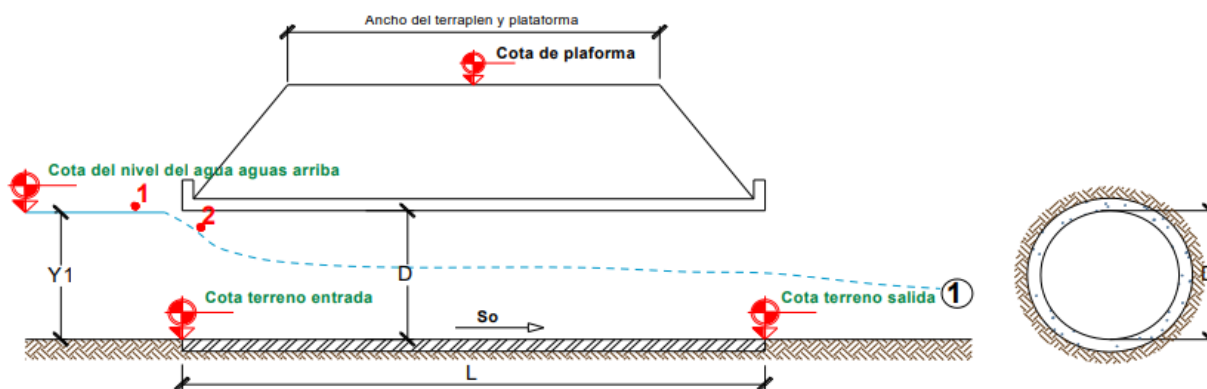
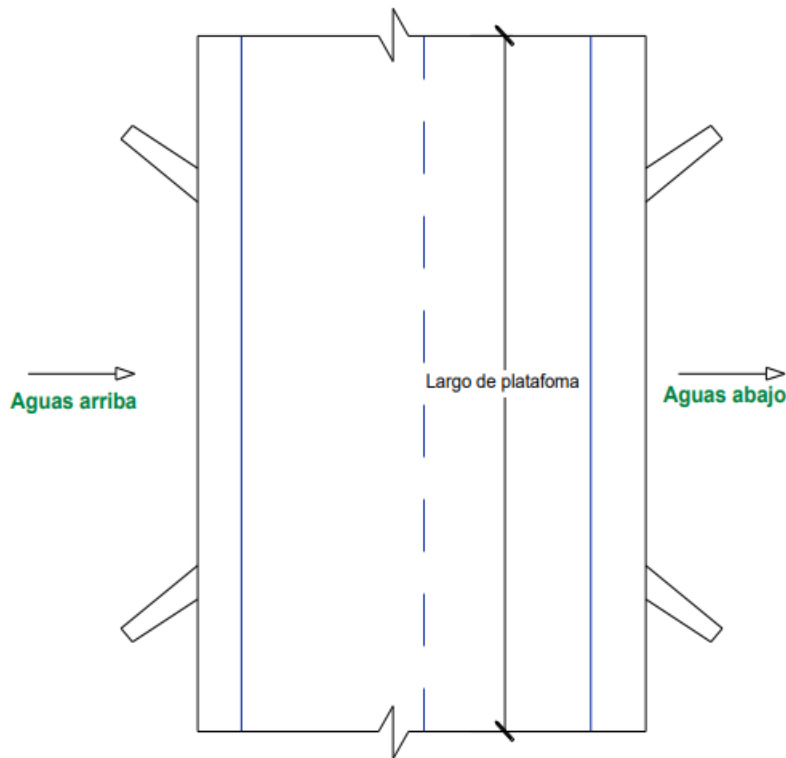
Figura 113
Esquema 1- alcantarilla.


Figura 114

Esquema 2- alcantarilla.



“Posteriormente se añade las características hidráulicas al software, en la opción “TAILWATER DATA” se colocarán del cauce aguas abajo, considerando una sección trapezoidal” (Peñaloza, 2018).

“Luego, en las opciones ROADWAY DATA y CULVER DATA, se añade características del camino y del material, como la longitud de la vía, el ancho de la plataforma, diámetro, tipo de material, teniendo en cuenta los aleros y muros cabezal con bordes cuadrados” (Peñaloza, 2018).

“Finalmente, se agrega la cota de inicio y fin en la opción SITE DATA, para el cálculo de la cantidad de barriles, se debe tantear con diversos números y así llegar al más optimo” (Peñaloza, 2018). Las características se aprecian en la Figura siguiente.

Figura 115

Data de entrada - Alcantarilla circular.

Crossing Data - QUEBRADA AMORAY

Crossing Properties

Name: **QUEBRADA AMORAY**

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	30.300	cms
Maximum Flow	30.300	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	16.600	m
Side Slope (H:V)	0.750	:1
Channel Slope	0.0300	m/m
Manning's n (channel)	0.045	
Channel Invert Elevation	2356.670	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	40.300	m
Crest Elevation	2359.500	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	9.000	m

Culvert Properties

AMORAY

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	Units
Shape	Circular	
Material	Corrugated Steel	
Diameter	2120.000	mm
Embedment De...	0.000	mm
Manning's n	0.030	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configura...	Square Edge with Headwall (Ke=0.5)	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	2357.000	m
Outlet Station	11.000	m
Outlet Elevation	2356.670	m
Number of Barrels	5	
Computed Culvert Slo...	0.030000	m/m

Help Click on any ? icon for help on a specific Low Flow AOP Energy Dissipation Analyze Crossing OK Cancel

De acuerdo a los resultados la alcantarilla consta de 5 barriles, un diámetro de 2.12 m según “SIDERPERU” es un modelo 28C, la vista frontal y lateral y tabla de resultados se visualizan en las siguientes Figuras.

Figura 116

Vista lateral.

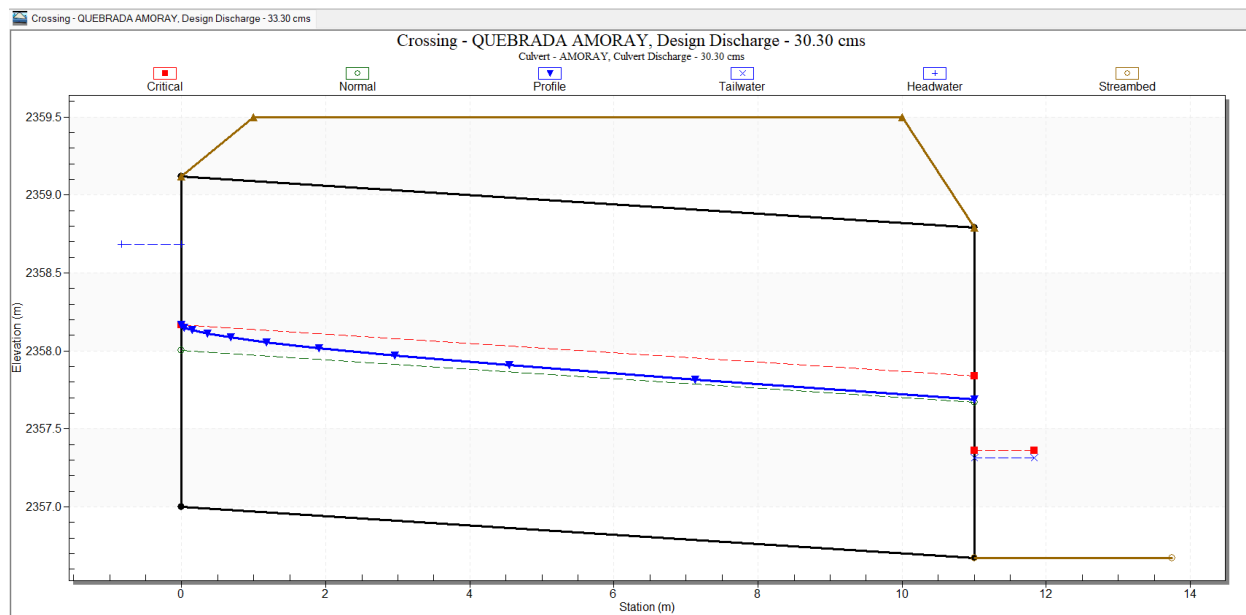


Figura 117

Vista frontal.

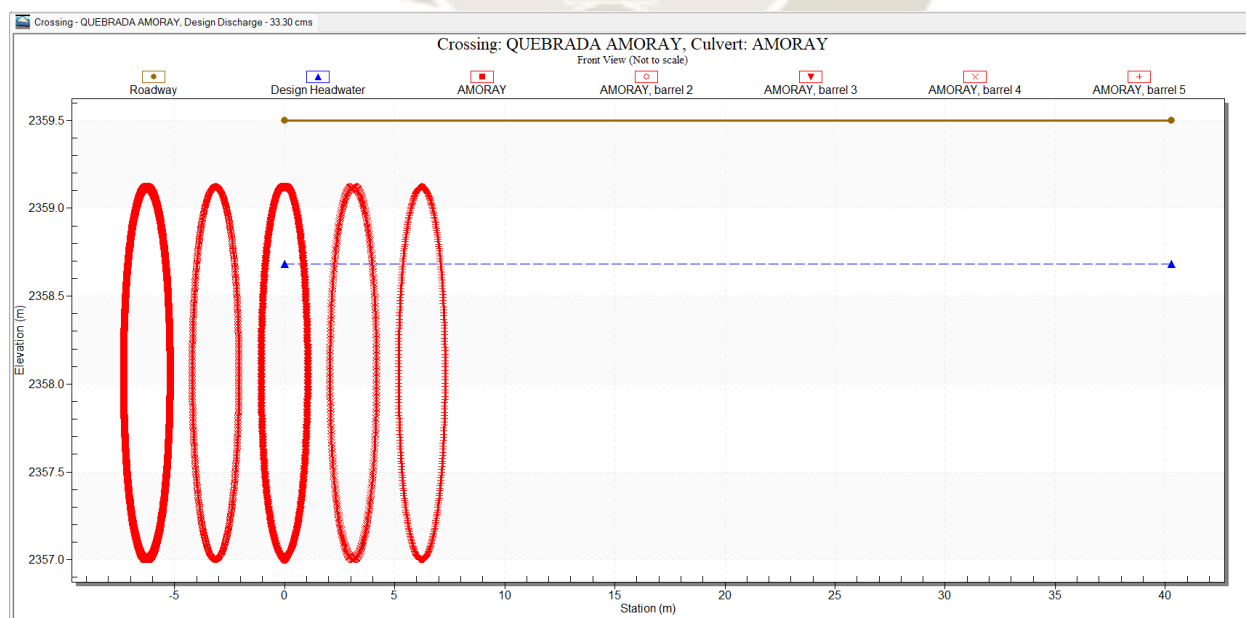
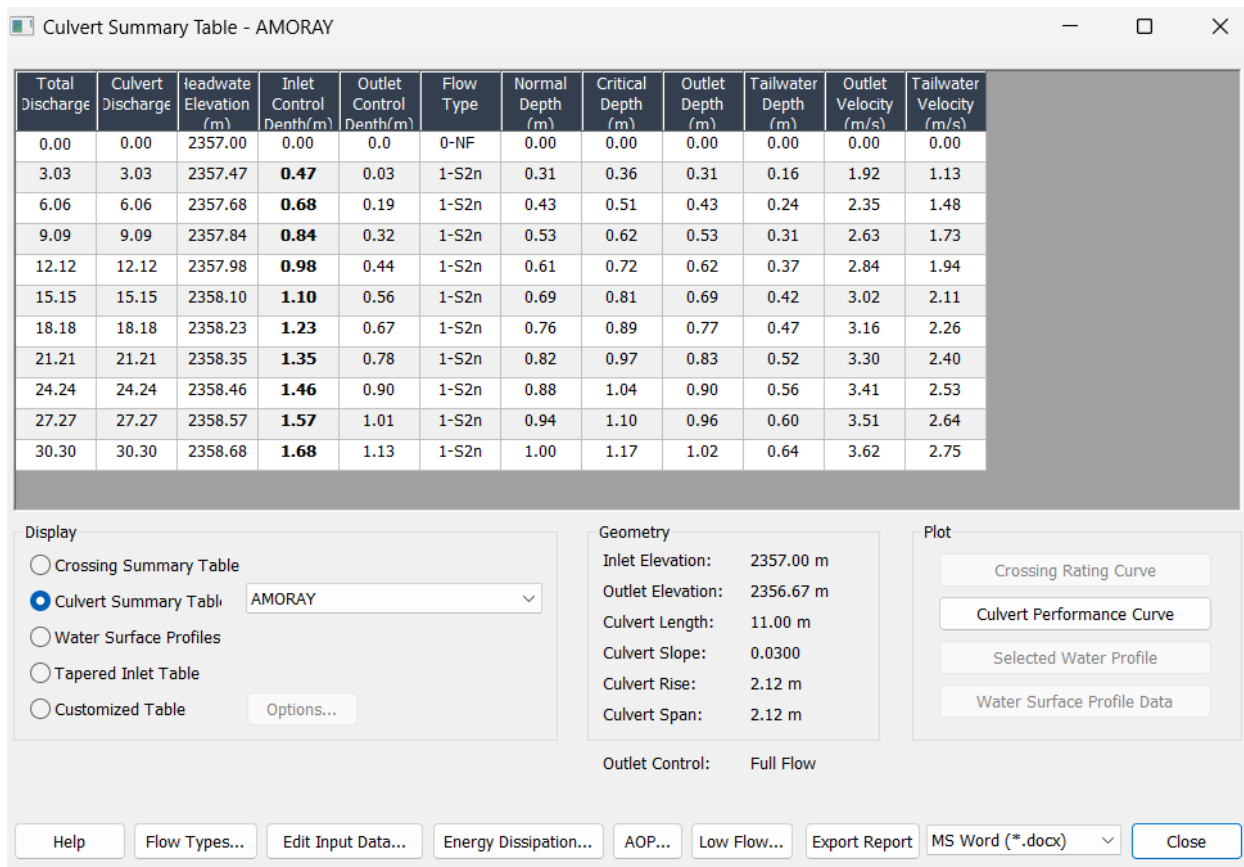


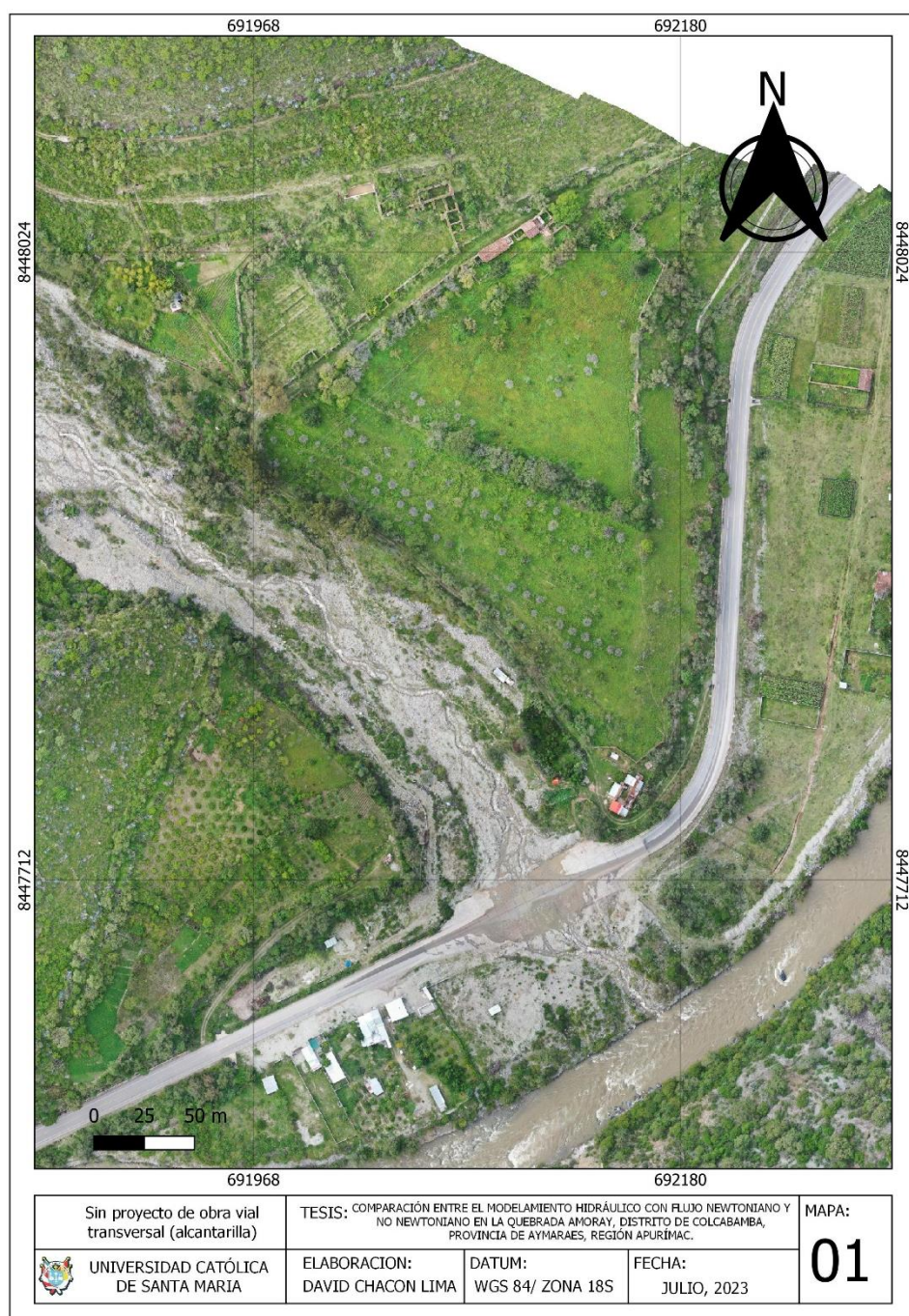
Figura 118
Resultados de la Alcantarilla.


8.4. Sin proyecto de obra vial transversal (alcantarilla)

A continuación, se aprecia la quebrada Amoray sin proyecto de obra vial transversal (Alcantarilla).

Figura 119

Sin proyecto-Quebrada Amoray.



8.5. Con proyecto de obra vial transversal (alcantarilla)

A continuación, se aprecia la quebrada Amoray con proyecto de obra vial transversal (Alcantarilla).

Figura 120

Con proyecto-Quebrada Amoray.



8.6. Estudio de Impacto Ambiental

8.6.1. Principales riesgos ambientales

8.6.1.1. Contaminación del agua

La quebrada Amoray, es una de las fuentes de riego para los cultivos que se desarrollan en la zona, ya que por la ocurrencia de los huaycos genera contaminación, se puede evidenciar como un nivel moderado de contaminación (Ccanccapa, 2018).

8.6.2. Factores ambientales

8.6.2.1. Calidad de aire

“Para el desarrollo de la alcantarilla, el aire se ve perjudicado en la fase constructiva a través del polvo. Como efecto se producirá daños en las vías respiratorias de los trabajadores” (Ccanccapa, 2018).

8.6.2.2. Generación de ruidos

En la fase constructiva se generan varios tipos de ruido, relacionado con el funcionamiento de las maquinarias y equipos, los rangos de ruido se propinarán en las áreas de excavación y movimientos de tierra (Ccanccapa, 2018).

8.6.2.3. Generación de contaminación de los suelos

Debido al uso de las maquinarias en la fase constructiva de la alcantarilla, el suelo ser contaminado por escapes de los lubricantes (Ccanccapa, 2018).

8.6.3. Factores Culturales

8.6.3.1. Impactos socioeconómicos

En la fase constructiva un impacto positivo será el crecimiento de empleo y la no obstrucción de los flujos no newtonianos, ya que con la construcción de la alcantarilla el tránsito vehicular no

sería afectado, eso como resultado traerá el beneficio a los transportistas y comerciantes” (Ccanccapa, 2018).

8.6.4. Evaluación de los impactos según la matriz de Leopold

De acuerdo a los impactos explicados antes, se desarrolló la matriz de Leopold de evaluación de impactos. Posteriormente se puede observar la tabla siguiente.

Tabla 33

Rangos de impactos.

Mínimo	14 - 28
Bajo	28 - 42
Medio	56 - 84
Alto	98 - 112
Muy Alto	126 - 140

Concorde a la matriz, se alcanzó como resultado 15, en el cual se concluye según el rango el impacto es MÍNIMO.

Figura 121

Matriz de Leopold.

IDENTIFICACION DE IMPACTOS - MATRIZ DE LEOPOLD - ALCANTARILLA																		
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL			ETAPA DE CONSTRUCCION								ETAPA DE OPERACION							
TESIS: "COMPARACION ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRAULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, DISTRITO DE COLCABAMBA, PROVINCIA DE AYMARAE, REGION APURIMAC."			Actividades Preliminares		Actividades Especificas													
LEVENDA:			Limpieza y desbroce	Trazo y Replanteo	Instalacion de Campamento	Instalacion de Servicios de energia electrica, agua y telefonos	Transporte de Materiales a la Obra	Movimiento de Tierras	Construccion de la alcantarilla	Relevo con Material Propio	Sumatoria de la Etapa de Construccion	Mejora transito vehicular	Efectos sobre el Paisaje	Incremento en los Niveles de Empleo	Incremento en los Servicios	Sumatoria de la Etapa de Operacion	Sumatoria de Impactos en la Etapa de Construccion y Operacion	
Importancia: Intensidad del Impacto, siendo maximo 10 y minimo 1.																		
Impacto Positivo(+) Impacto Negativo (-)																		
Rango:																		
1 Minimo																		
2 y 3 Bajo																		
4, 5 y 6 Medio																		
7 y 8 Alto																		
9 y 10 Muy Alto																		
FACTORES AMBIENTALES	CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS	AIRE	1	Calidad	1	1	1	3	4	2	4	1	1	1	1	0	12	
			2	Ruidos	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1	0	4		
		SUELOS	1	Compactacion de Suelos	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	7	11		
			2	Erosion	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	4	7		
			3	Estabilidad de Taludes	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	1		
			4	Riesgos de Contaminacion	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3	12		
		AGUA	1	Variacion de Flujo	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	1	
			2	Contaminacion de fuentes de Agua	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	1	
		CONDICIONES ECOLOGICAS	FLORA	1	Cobertura Vegetal	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	
				2	Ecosistema	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0	
		FAUNA	1	Habitats	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			2	Diversidad	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
FACTORES CULTURALES	CONDICIONES SOCIALES	TERRITORIO	1	Vivienda	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			2	Agricultura	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			3	Ganaderia	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			4	Zona Arqueologica	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
		ESTETICA	1	Paisaje	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			1	Salud de la Poblacion	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
		NIVEL SOCIAL	2	Salud de Trabajadores	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
			3	Empleo	3	1	1	2	1	4	14	3	2	2	5	19		
			4	Calidad de Vida	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	5	8		
			5	Patrones Culturales	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	0	0		
	SERVICIO	1	6	Actividad Comercial	5	1	1	1	1	1	5	9	1	1	9	14		
			1	Red de Transporte	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	9	18		
Sumatoria de los Impactos por Actividad			13	2	0	4	7	5	13	22	66	38	0	2	2	42	108	
			-13	-4	0	-6	-14	-11	-16	-14	-80	-13	0	-3	-1	-1	-13	-93



CAPÍTULO XI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones y Recomendaciones

9.1. Conclusiones

- Se realizó la comparación del modelo hidráulico en HEC-RAS evidenciando a medida que la carga de sedimentos aumenta, el flujo pasa de ser newtoniano a flujo hiperconcentrados, lodo, escombros y finalmente flujos clásticos a través de una concentración volumétrica, cuyo valor es altamente sensible.
- Por medio del modelo hidrológico HEC – HMS, se determinaron los caudales líquidos máximos de la cuenca Amoray, mediante la transformación precipitación - escorrentía por el hidrograma unitario (SCS) y la lluvia neta por el método del número de curva (85), evidenciando la sensibilidad del modelo con el parámetro de tiempo de concentración (método de Pilgrim y MC Dermott) en (2.9 horas) y así obteniendo caudales picos para diferentes periodos de retorno.

Periodo de Retorno Tr (años)	Caudal Máximo (m³/s)
2	8.8
5	12.9
10	17.6
25	24.2
50	30.3
100	37.6
200	46.2
500	59.9

- La taxonomía propuesta por Stanford Gibson, a través del modelo reológico O'Brien Equation (Quadratic) para el evento suscitado el año 2021 en la quebrada Amoray, con un CV = 61% y CVmax = 65.5% permitieron encontrar parámetros de simulación no newtoniana en HEC RAS.

Concentración Volumétrica	Esfuerzo de Cedencia	Viscosidad Dinámica
61% - 65.5%	390.6 Pa	171.44 Pa-s

- Se calibró el modelo hidráulico para un periodo de retorno de 5 años a través de huella hídrica dejada por el evento del año 2021 en el cono de deyección de la quebrada Amoray, evidenciando velocidades inferiores a modelos de agua clara, dado el comportamiento interno de las partículas en colisión.

Tipo de flujo	Cv	Tirantes Máximas	Velocidades Máximas	Caudal	Área de Inundación
Newtoniano	-	3.92 m	4.38 m/s	12.9 m ³ /s	0.00217 km ²
No Newtoniano	65.5%	4.57 m	2.03 m/s	37.39 m ³ /s	0.00385 km ²

- De acuerdo con los resultados de velocidades y tirantes máximos, se elaboró los mapas de peligro por inundación en el cono de deyección de la quebrada Amoray para diferentes periodos de retorno (T= 50 y 100 años).
- Se planteó el diseño hidráulico de una alcantarilla multiplate circular de varios ojos para el control de flujos de detritos en la quebrada Amoray, de sección trapezoidal (aguas abajo), aleros y muros cabezal con bordes cuadrados. Con un diámetro de 2.12 m y un total de 5 barriles para el tramo de la carretera Chalhuanca – Abancay km 35.

9.2. Recomendaciones

- La actualización del modelo ráster 2015 de la Autoridad Nacional del Agua se presenta como una necesidad actual para obtener el número adimensional actual, ya que es un parámetro sensible para la estimación de caudales máximos líquidos en el modelo hidrológico HEC - HMS.

- La realización del ensayo de reometría, se presenta como una parte fundamental para obtener o acercarnos a los parámetros reológicos para flujos no newtonianos y así poder calibrarlo un evento dado.
- Para una correcta calibración y comparación, se requieren datos históricas de los eventos sucedidos en las “quebradas”, así obtener mejores resultados en cuanto a velocidades y tirantes máximos.
- EL software HEC-RAS versión 6.4.1. se presenta como una opción eficiente para el modelado de flujos no newtonianos, alcanzando buenos resultados, por lo que se recomienda para fines de estudios.
- En la fase constructiva de la alcantarilla, se presenta la descolmatación como un paso importante para este tipo de estructuras hidráulicas, así mismo se debe respetar el ancho del cauce natural del cono de deyección al emplazar este tipo de estructuras (Alcantarilla multiplate), ante máximas avenidas.

REFERENCIAS

- Aguilera Navarro, M. (2007). *Estimaciones de distribuciones de probabilidad, para caudales máximos, en la Region de Maule*. Obtenido de http://desarrollo.utralca.cl/temporal/ctha/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/aguilera_a.pdf
- Almeida, A., Quisca, S., & Castillo, L. (2019). Simulación Numérica de flujos de escombros del evento catastrófico de febrero 2019 en Mirave - Perú. *Scielo*. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/J74jZyQyK9WPwXrxnZSPywB/?lang=en#>
- ANA. (2015). *Generación del mapa temático de curva numero*. Autoridad Nacional del Agua.
- Banda, M. A. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN MODELO HIDRODINÁMICO UNIDIMENSIONAL PARA FLUJO NEWTONIANOS Y NO NEWTONIANOS DEL RÍO SECO ZONA URBANA TACNA*.
- Bateman, A. (2007). *HIDROLOGIA BASICA Y APLICADA*. Obtenido de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Cáceres, J. (2021). *Análisis de la vulnerabilidad hidrológica de la Quebrada Huaylla y protección contra inundaciones con defensas ribereñas, simuladas con los programas SAP 2000 CYPECAD en el distrito de Characato, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa*. Arequipa, Perú. Obtenido de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/10849>
- Cardona, O. (1993). *Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo*. Panamá: Maskrey.
- Castillo, L. (2006). *Aplicacion de un modelo numerico de flujos de escombros y lodo en una quebrada en el Perú*. Lima, Perú. Obtenido de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/TE0077.pdf>
- Ccancapa, J. (2018). *Modelamineto Hidróloigco e Hidráulico aplicado a la delimitacion de la faja marginal Yumina- Socabaya (km 12+500.00) y proteccion contra inundaciones en máximas avenidas en el distrito de Socabaya, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/8509/45.0275.IC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cenepred. (2010). *MAPA DE PELIGROS, PLAN DE USOS DEL SUELO ANTE DESASTRES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA CIUDAD DE HUANCVELICA*. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INDECI/Mapa%20de%20peligros%20Huancavelica%202010.pdf>

- CENEPRED. (2016). Obtenido de Estudio Geológico de la region Apurímac:
http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Estudio_geologico_de_la_region_Apurimac_ZEE.pdf
- Chow, V. T., Saldarriaga, J., & Santos, G. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá: NOMOS.
- CIDHMA. (2022). *CIDHMA-CAPACITACIONES*. Obtenido de
<https://www.cidhma.edu.pe/flujo-newtonianos-y-no-newtonianos/>
- Gibson, S., Zandonadi, L., Ortman, N., Amorin, R., Floyd, I., Eom, M., . . . Sanchez, A. (2022). Evaluación a escala de prototipo de algoritmos no newtonianos en HEC-RAS: estudios de caso de flujo de lodo y escombros de Santa Bárbara y Brumadinho. *Geosciences*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3263/12/3/134>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigacion*. Obtenido de
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hoyos, A., & Benavides, A. (2018). *HIDROLOGÍA RÍO ZARUMILLA TRAMO PUENTE BOLSICO Y BOCATOMA LA PALMA, PROVINCIA DE ZARUMILLA –REGIÓN TUMBES*. Lambayeque.
- Huancara, R., & Cutire, F. (2019). *Simulación de huayco e inundación y propuesta de solución en el anexo de pescadores, distrito de Ocoña, provincia de Camana, departamento de Arequipa*. Arequipa. Obtenido de
<https://pure.unsa.edu.pe/es/projects/simulaci%C3%B3n-de-huayco-y-propuesta-de-soluci%C3%B3n-en-el-anexo-de-pesca-2>
- Ibáñez. (2021). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Obtenido de
<https://rhydroingenieros.com/blog/determinar-la-curva-hipsometrica-en-qgis>
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para Carreteras*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Lacho, E., & Rodriguez, J. C. (2016). MODELAMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS EN LA QUEBRADA SAN ANTONIO DE PEDREGAL USANDO FLO – 2D. Obtenido de
<http://investigacionesyproyectoshidraulicos.com/web/Material%20Cientifico/Articulos/Mas%20de%201000%20Articulos/434.pdf>
- Laura, R., Pino, E., & Avendaño, C. (2019). NIVEL DE RIESGO POR DESBORDE E INUNDACIÓN APLICANDO UN MODELO DE FLUJO DE ESCOMBROS EN LA QUEBRADA LLUTA PARA LA MINA KARLA EN TACNA. *ResearchGate*.
- Lux, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Obtenido de
<http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>

- Mejia, J. A. (2017). Probabilidad y estadística en Hidrología. Obtenido de <http://www.fondoeditorialunalm.com>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Municipalidad Distrital de Colcabamba. (2019). *Historia de Colcabamba*. Obtenido de <https://municolcabamba-aymaraes.gob.pe/colcabamba/>
- Olmedo, V. A. (2022). *APLICACIÓN Y COMPARACIÓN MODELOS DE FLUJOS DETRÍTICOS, FLO-2D Y HEC-RAS A QUEBRADAS ACERILLA Y LA MESILLA, CUENCA DEL RÍO HUASCO, EVENTOS MARZO 2015*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189195>
- Paricio, S., Guinau, M., Bachi, J., & Girón, L. I. (2019). Susceptibilidad a inundación por flujos torrenciales a partir de la integración del método geomorfológico y de la modelización con FLO-2D, lago Atitlán, Guatemala. *Mexicana de Ciencias Geológicas*.
- Peñaloza, M. P. (2018). *Modelación computacional de dos alcantarillas existentes en vías de bajo volúmenes de tránsito ubicadas en las veredas Apicata y San Judas de Anapoima (Cundimarca)*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5769/monografia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Perez, G. (2015). *Manual de hidrología aplicada*. Lima.
- Pizarro, R., Ramirez, C., & Flores, J. P. (2003). Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos.
- Quispe, H. (s.f.). *Diseño de Alcantarillas con el programa HY-8*.
- Ramos, F. M., & Saldivar, C. G. (2022). *ANÁLISIS DE RIESGO FRENTE A MÁXIMAS AVENIDAS CON EL USO DEL PRODUCTO GRILLADO PISCO PD EN LAS QUEBRADAS POLANCO, SAN LÁZARO, MIRAFLORES Y MARIANO MELGAR EN LA PROVINCIA DE AREQUIPA*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11833>
- Rojas, O., & Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Universitaria de Geografía*, 83-113. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239103004.pdf>
- Rojo, J. (s.f.). *Análisis de frecuencia en hidrología*.
- Sanguinetti, E. (2020). Ley de la viscosidad de Newton: ecuación fundamental y explicación. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/ley-de-la-viscosidad-de-newton-ecuacion-fundamental-y-explicacion.html>

Segeres, C., & Villodas, R. (2007). *Estadística aplicada a la hidrología*. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/hidrologia-i-unidad-9-estadistica-aplicada-a-la-hidrologia-pdf-free.html>

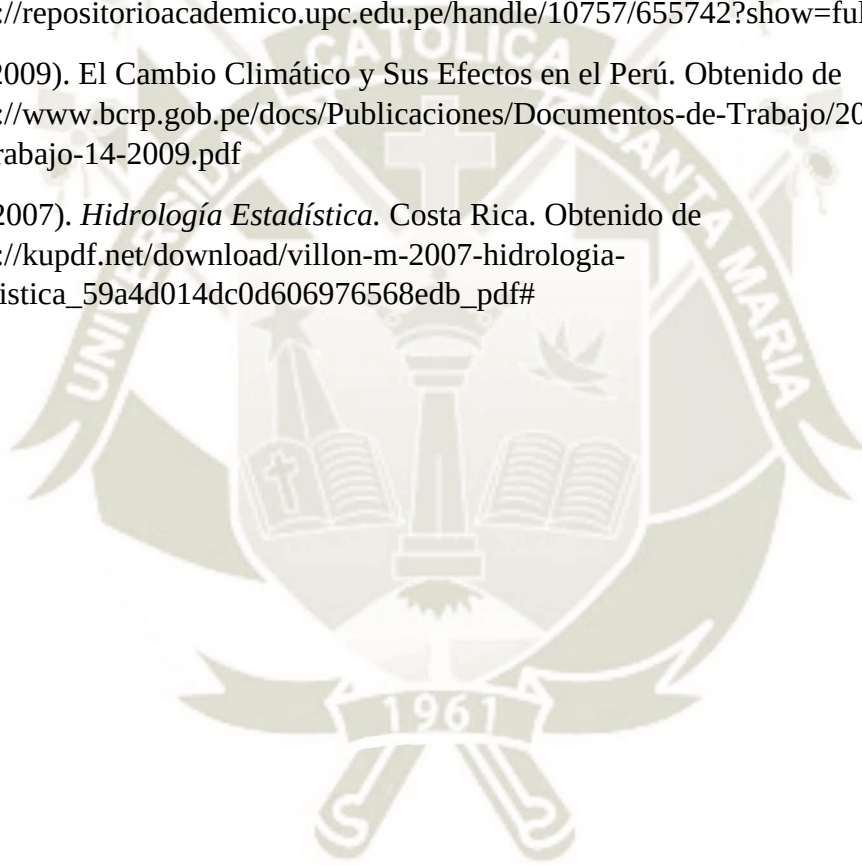
SIDERPERU. (2019). *Ficha tecnica - Alcantarilla multiplate*.

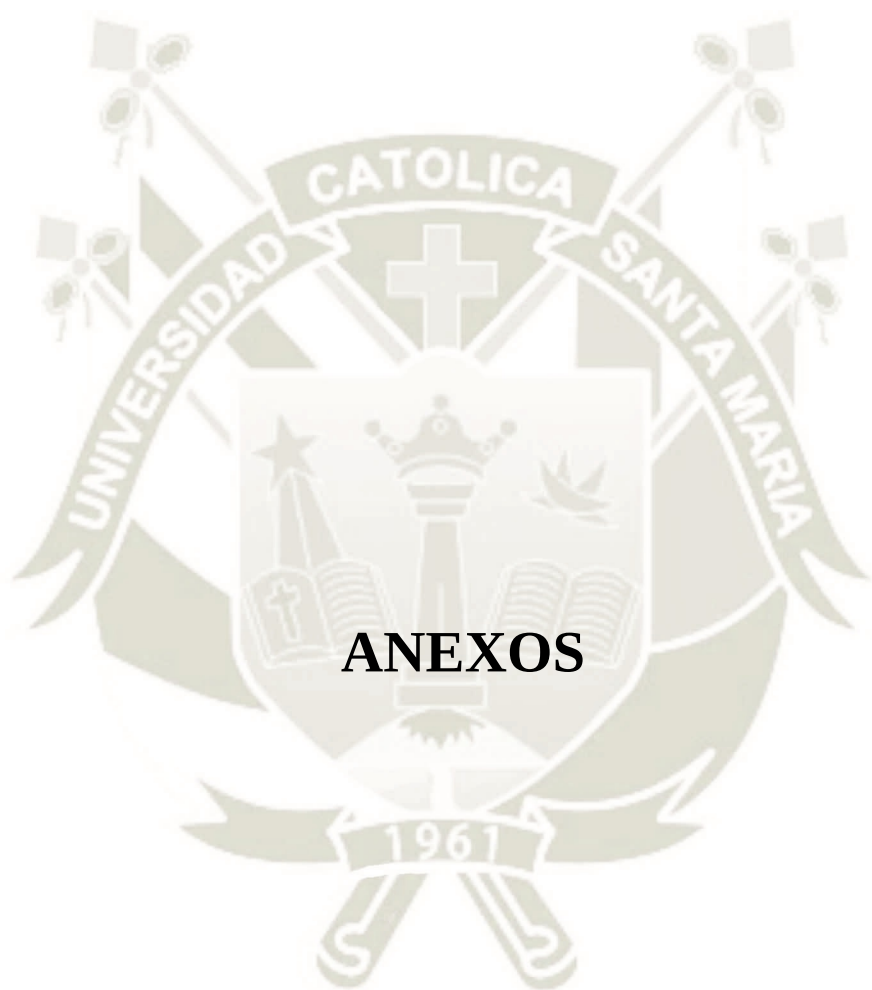
Stanford, G., & Sánchez, A. (2020). *HEC-RAS Mud and Debris Flow*. (U. A. Engineers, Ed.) Obtenido de <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasmuddebris>

Talledo, R., & Cardoso, S. (2021). *Generación de mapa de amenaza para disminuir el impacto de daños ocasionados por flujos hiperconcentrados en la quebrada del Diablo, distrito Alto de la Alianza, haciendo uso de FLO-2D*. Lima. Obtenido de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/655742?show=full>

Vargas, P. (2009). *El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú*. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Documentos-de-Trabajo/2009/Documento-de-Trabajo-14-2009.pdf>

Villon, M. (2007). *Hidrología Estadística*. Costa Rica. Obtenido de https://kupdf.net/download/villon-m-2007-hidrologia-estadistica_59a4d014dc0d606976568edb_pdf#





ANEXOS

ANEXOS

A) Panel fotográfico

- Levantamiento con dron



- Calicata 1 – Quebrada Amoray



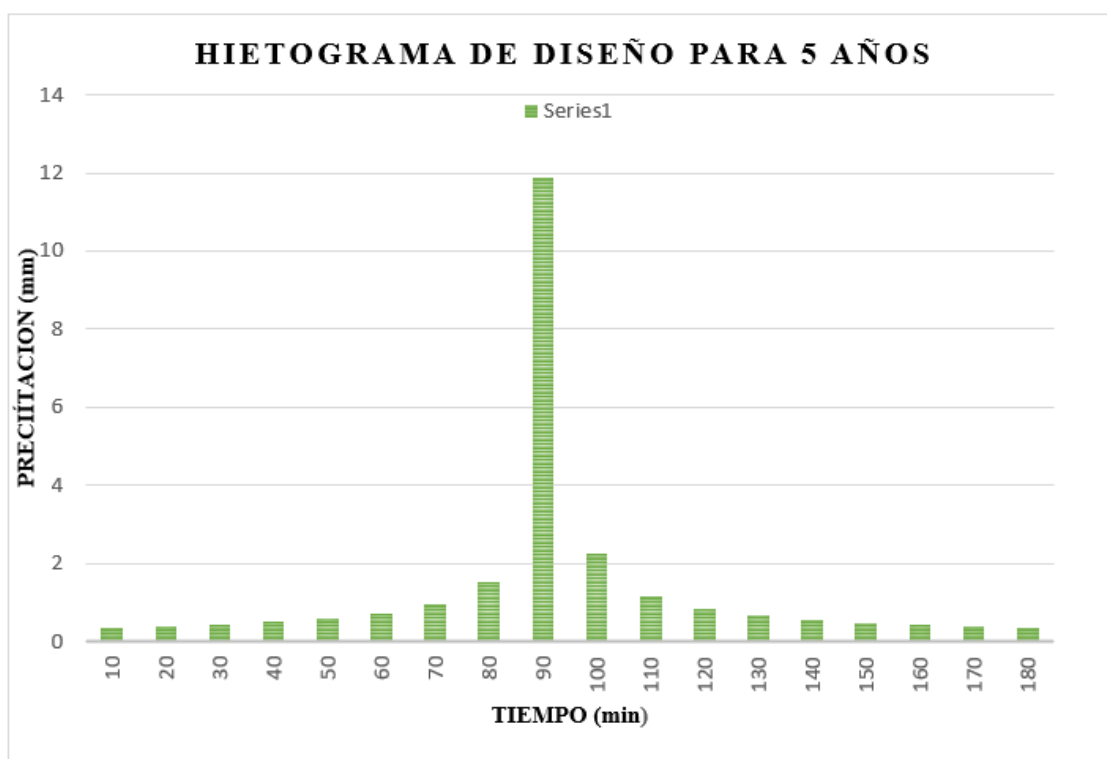
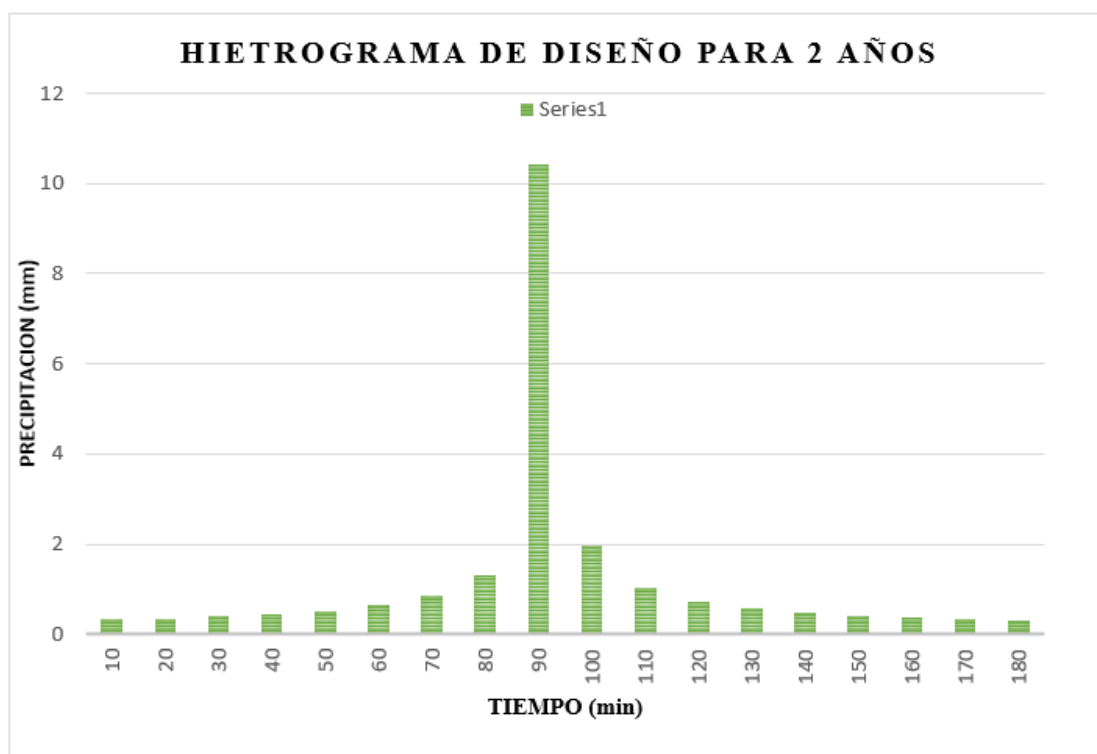
- **Calicata 2 – Quebrada Amoray**

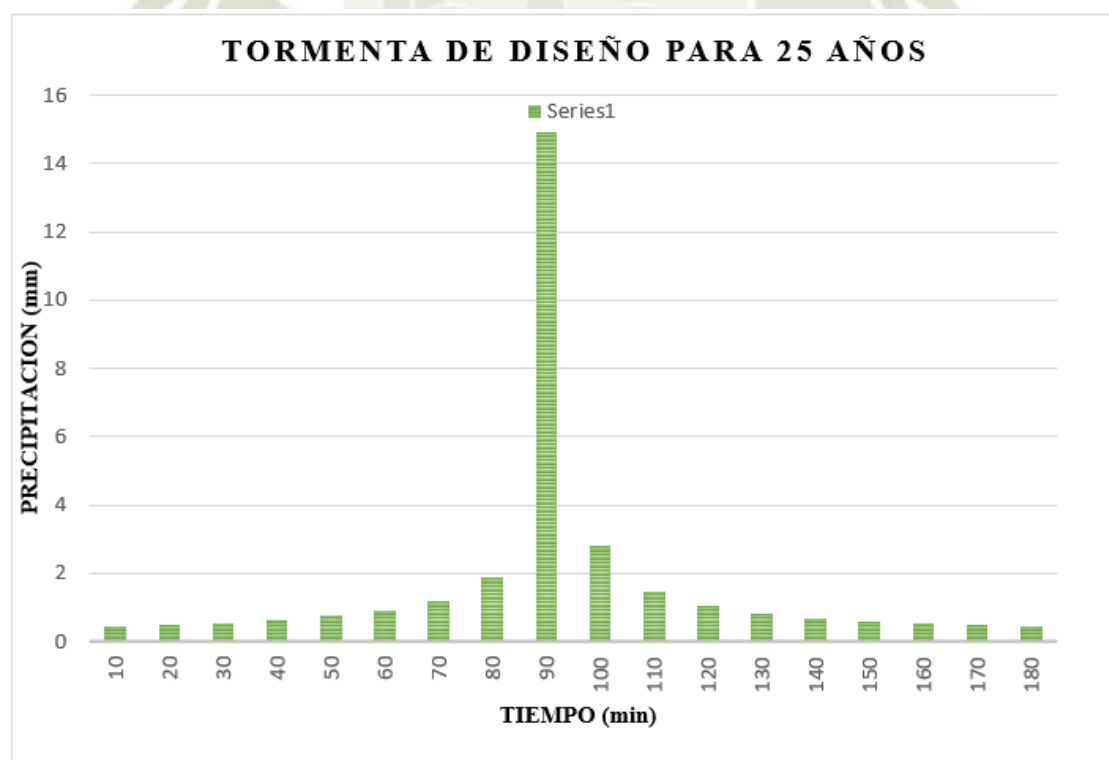
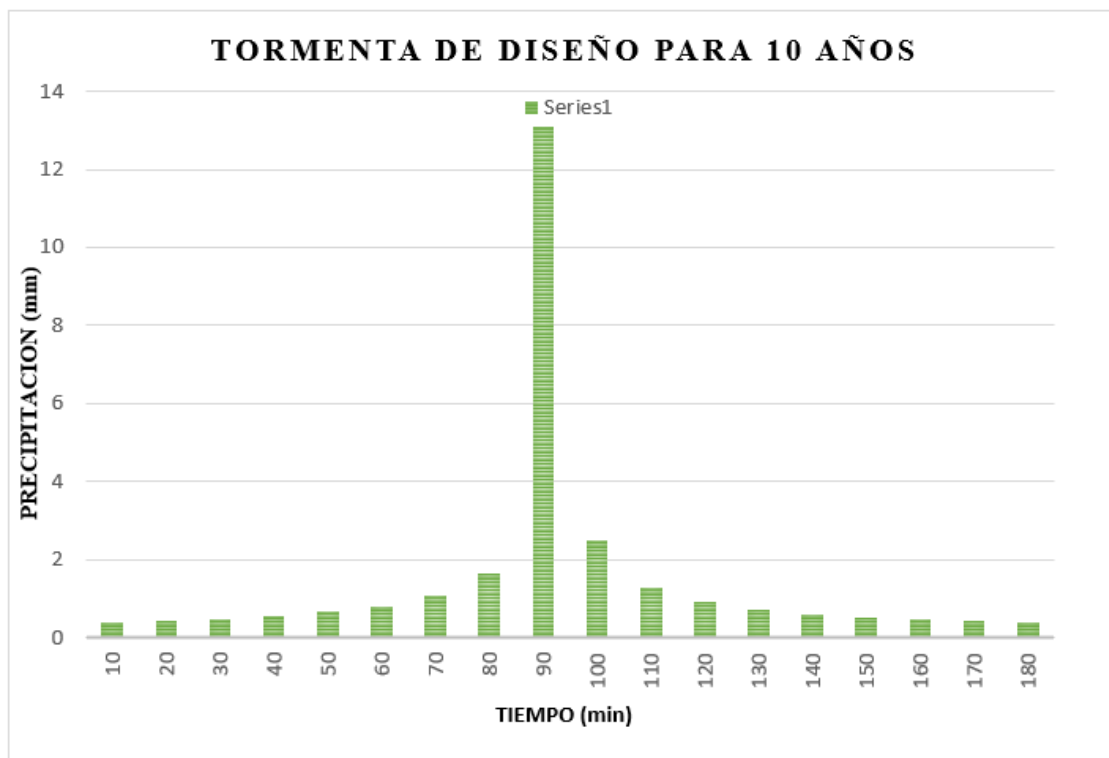


- **Calicata 3 – Quebrada Amoray**

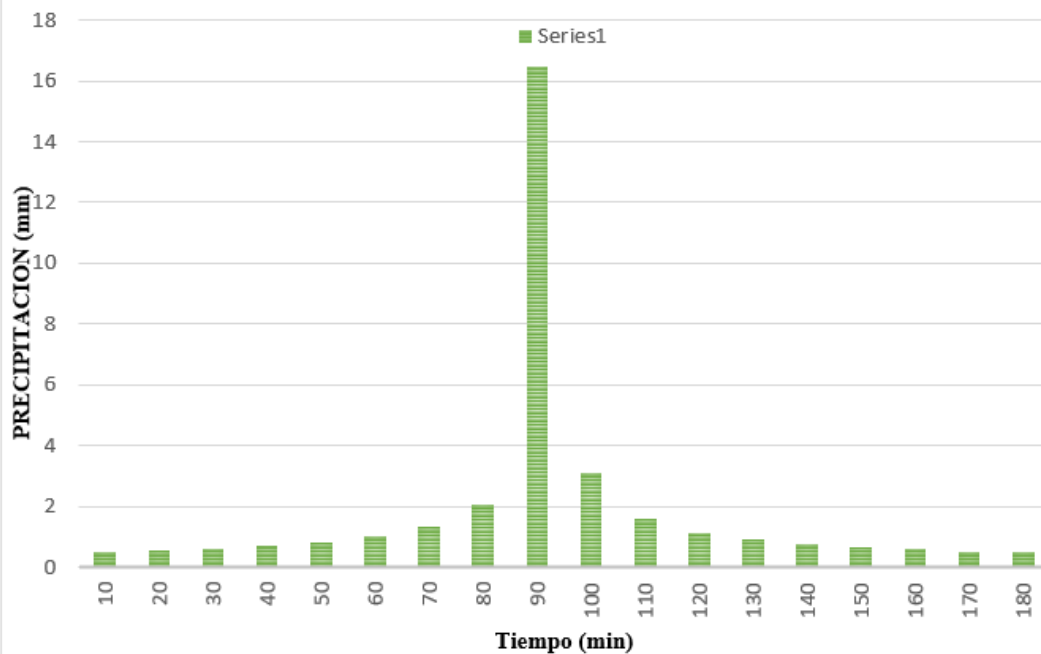


B) Hietogramas de diseño para diferentes tiempos de retorno.

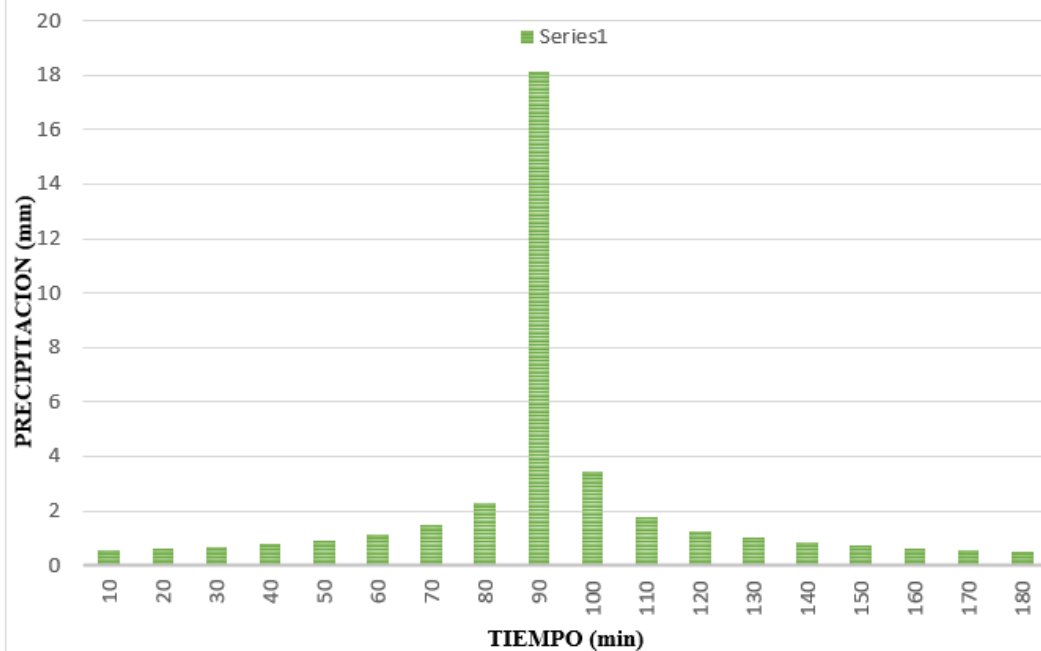


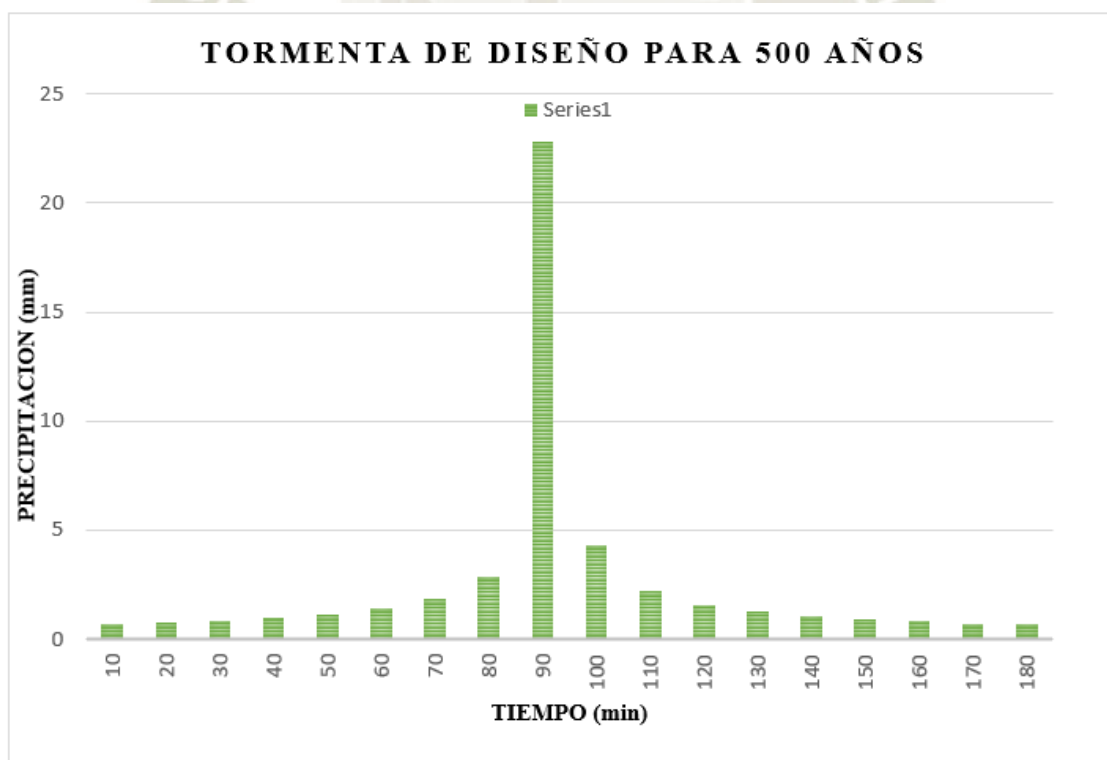
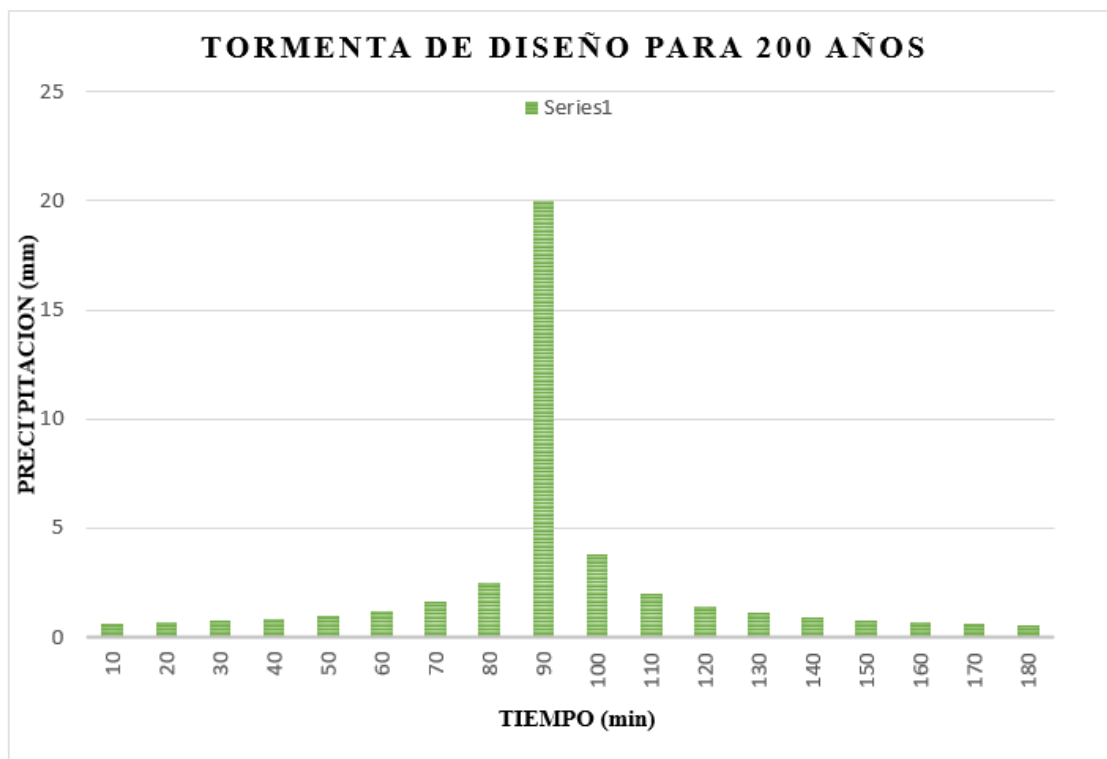


TORMENTA DE DISEÑO PARA 50 AÑOS



TORMENTA DE DISEÑO PARA 100 AÑOS





C) Resultados del análisis granulométrico calicata 1

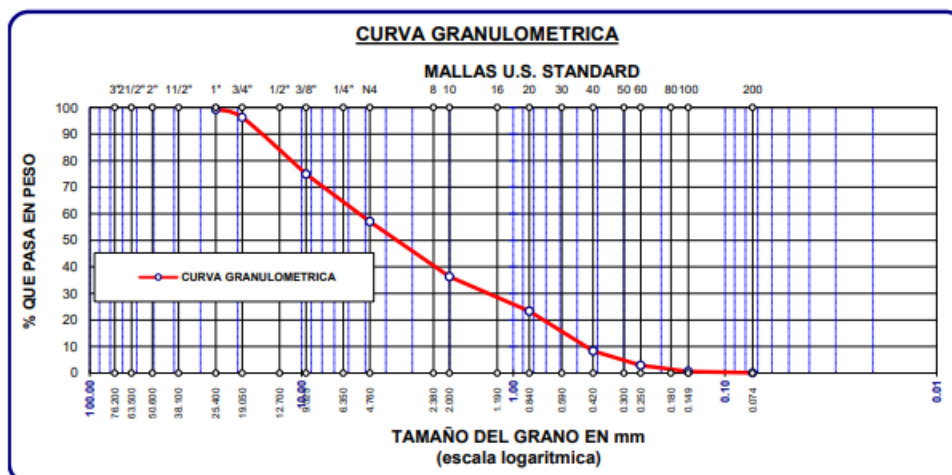


FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS PPIC UCSM

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, DISTRITO DE COLCABAMBA, PROVINCIA DE AYMARAES, REGIÓN APURÍMAC.
UBICACIÓN : COLCABAMBA- AYMARAES-APURIMAC
SOLICITANTE : BACH. DAVID CHACON LIMA
FECHA : JULIO 2023
MUESTRA : CALICATA 1

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	MATERIAL OBTENIDO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					GRAVA GRUESA	CALICATA N° 01 Profundidad = 1.50 mts.
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	23.00	0.66	0.66	99.34		
3/4"	19.050	107.00	3.09	3.75	96.25	GRAVA FINA	Peso de la Muestra: 3467.00 gr. GRAVA 42.98 % ARENA 57.02 % CLASIFICACION SUCS: (SP) Arena Probablemente gradada. OBSERVACIONES
1/2"	12.700						
3/8"	9.525	739.00	21.32	25.06	74.94		
1/4"	6.350						
No4	4.760	621.00	17.91	42.98	57.02		
No8	2.380					ARENA GRUESA	
No10	2.000	719.00	20.74	63.72	36.28		
No16	1.190						
No20	0.840	450.00	12.98	76.69	23.31		
No30	0.590						
No40	0.420	519.00	14.97	91.66	8.34		
No 50	0.300						
No60	0.250	188.00	5.42	97.09	2.91		
No80	0.180					ARENA FINA	
No100	0.149	81.00	2.34	99.42	0.58		
No200	0.074	16.00	0.46	99.88	0.12		
BASE		4.00	0.12	100.00	0.00		
TOTAL		3467.00	100.00				



D) Resultados del análisis granulométrico calicata 2

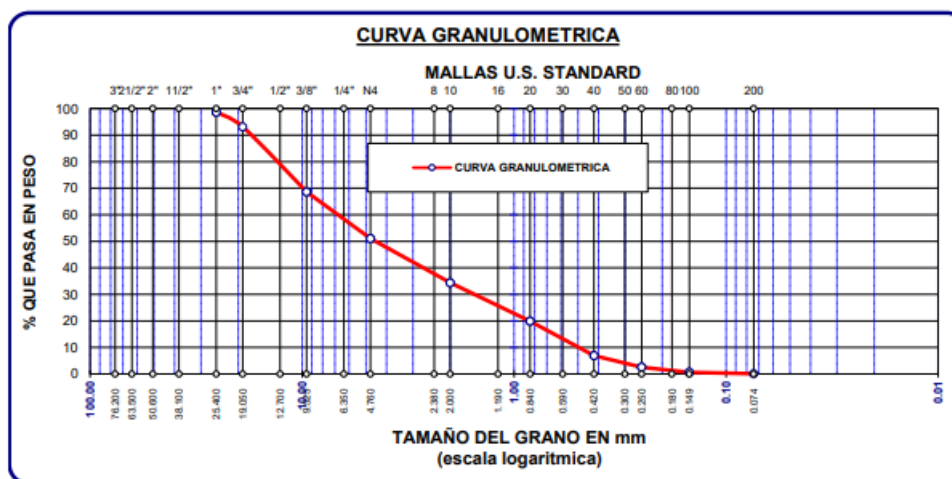


FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS PPIC UCSM

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO : COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, DISTRITO DE COLCABAMBA, PROVINCIA DE AYMARAE, REGIÓN APURÍMAC.
UBICACIÓN : COLCABAMBA- AYMARAE-APURIMAC
SOLICITANTE : BACH. DAVID CHACON LIMA
FECHA : JULIO 2023
MUESTRA : CALICATA 2

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	MATERIAL OBTENIDO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					GRAVA GRUESA	CALICATA Nº 01 Profundidad = 1.50 mts.
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	56.00	1.37	1.37	98.63		
3/4"	19.050	225.00	5.51	6.88	93.12	GRAVA FINA	Peso de la Muestra: 4082.00 gr. GRAVA 48.97 % ARENA 51.03 % CLASIFICACION SUCS: (SPI) Arena Probremente gradada. OBSERVACIONES
1/2"	12.700						
3/8"	9.525	1000.00	24.50	31.38	68.62		
1/4"	6.350						
No4	4.760	718.00	17.59	48.97	51.03		
No8	2.380					ARENA GRUESA	
No10	2.000	680.00	16.66	65.63	34.37		
No16	1.190						
No20	0.840	592.00	14.50	80.13	19.87		
No30	0.590						
No40	0.420	529.00	12.96	93.09	6.91	ARENA MEDIA	
No 50	0.300						
No60	0.250	179.00	4.39	97.48	2.52		
No80	0.180						
No100	0.149	79.00	1.94	99.41	0.59		
No200	0.074	20.00	0.49	99.90	0.10	ARENA FINA	
BASE		4.00	0.10	100.00	0.00		
TOTAL		4082.00	100.00				LIMOS



E) Resultados de análisis granulométrico calicata 3



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS PPIC UCSM

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

PROYECTO

: COMPARACIÓN ENTRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON FLUJO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO EN LA QUEBRADA AMORAY, DISTRITO DE COLCABAMBA, PROVINCIA DE AYMARAES, REGIÓN APURÍMAC.

UBICACIÓN

: COLCABAMBA- AYMARAES-APURIMAC

SOLICITANTE

: BACH. DAVID CHACON LIMA

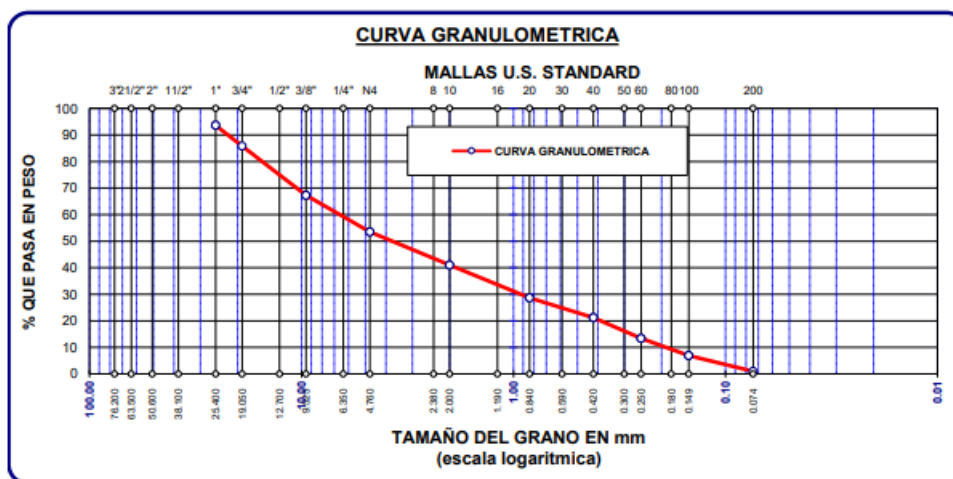
FECHA

: JULIO 2023

MUESTRA

: CALICATA 3

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	MATERIAL OBTENIDO	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200					GRAVA GRUESA	CALICATA Nº 01 Profundidad = 1.50 mts. Límites de Consistencia : <



F) Ficha técnica SIDERPERU

MODELO	DIAMETRO (m)	ÁREA (m ²)	PERÍMETRO (N)	ESPESOR MÍNIMO (m)	RELLENO MÍNIMO (m)	RELLENO MÁXIMO (m)*	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	Gasto al 80% máx tubo lleno (m ³ /s)	V (m/s)
20C	1.50	1.76	20	2.50	0.30	22.50	2.00	3.85	2.54
22C	1.66	2.16	22	2.50	0.30	20.00	2.00	5.04	2.74
24C	1.81	2.57	24	2.50	0.30	18.50	2.00	6.36	2.88
26C	1.97	3.04	26	2.50	0.30	17.00	2.00	7.00	3.00
28C	2.12	3.53	28	2.50	0.30	15.80	1.50	8.65	2.86
30C	2.28	4.08	30	2.50	0.30	14.80	1.50	10.50	3.00
32C	2.43	4.63	32	2.50	0.30	13.85	1.00	10.16	2.55
34C	2.59	5.26	34	2.50	0.30	13.00	1.00	12.05	2.67
36C	2.74	5.89	36	2.50	0.30	12.25	1.00	14.00	2.77
38C	2.90	6.61	38	2.50	0.60	11.60	1.00	16.29	2.87
40C	3.05	7.31	40	2.50	0.60	11.00	1.00	14.10	3.00
42C	3.21	8.09	42	2.50	0.60	10.45	1.00	13.90	3.00
44C	3.36	8.87	44	2.50	0.60	10.00	1.00	13.80	3.00
46C	3.52	9.73	46	2.50	0.60	9.50	1.00	13.80	3.00
48C	3.67	10.58	48	2.50	0.60	9.15	1.00	13.85	3.00
50C	3.83	11.52	50	2.50	0.60	8.75	1.00	13.95	3.00
52C	3.99	12.51	52	2.50	0.60	8.40	1.00	14.05	3.00
54C	4.14	13.46	54	2.50	0.60	8.10	1.50	14.15	3.00
56C	4.30	14.52	56	2.50	0.60	7.80	1.50	14.30	3.00
58C	4.45	15.55	58	2.50	0.60	7.50	1.00	14.42	3.00
60C	4.61	16.69	60	2.50	0.60	7.25	0.50	32.40	3.00
62C	4.76	17.79	62	2.50	0.60	7.00	0.50	32.10	3.00
64C	4.92	19.04	64	2.50	0.90	6.75	0.50	31.90	3.00
66C	5.07	20.19	66	3.50	0.90	10.45	0.50	31.80	3.00
68C	5.23	21.48	68	3.50	0.90	10.10	0.50	31.80	3.00
70C	5.38	22.73	70	3.50	0.90	9.80	0.50	31.80	3.00
72C	5.54	24.11	72	4.50	0.90	11.70	0.50	31.90	3.00
74C	5.69	25.43	74	4.50	0.90	11.40	0.50	32.00	3.00
76C	5.85	26.88	76	4.50	0.90	11.05	0.50	32.15	3.00
78C	6.00	28.27	78	4.50	0.90	10.75	0.50	32.25	3.00
80C	6.16	29.80	80	5.00	0.90	11.80	0.50	32.45	3.00
82C	6.31	31.27	82	5.00	0.90	11.35	0.50	32.60	3.00
84C	6.47	32.88	84	5.00	0.90	10.85	0.50	32.80	3.00
86C	6.62	34.42	86	5.50	0.90	12.20	0.50	33.00	3.00
88C	6.78	36.10	88	5.50	0.90	11.65	0.50	33.20	3.00
90C	6.93	37.72	90	5.50	0.90	11.20	0.50	33.40	3.00
92C	7.09	39.48	92	6.40	0.90	12.30	0.50	33.60	3.00
94C	7.25	41.28	94	6.40	1.20	11.70	0.50	33.85	3.00
96C	7.40	43.01	96	6.40	1.20	11.20	0.50	34.05	3.00
98C	7.56	44.89	98	7.10	1.20	12.10	0.50	34.25	3.00

La siguiente tabla muestra las principales propiedades geométricas, estructurales e hidráulicas de tuberías con diámetros comerciales (LUZ), considerando que soportan cargas vivas

HS20-44 ó HL-93.

* El relleno se considera desde la corona de la tubería hasta el nivel de fondo de la subrasante. El material de relleno se coloca alternadamente a cada lado de la tubería, para mantener la misma altura del nivel de relleno, según la norma ASTM A-807 y la Sección 502 de la EG-2013 del MTC. Su compactación no será inferior a lo indicado en la Subsección 205.12 (c) (1) de la EG-2013 del MTC.

Para el cálculo del caudal (Q) de la velocidad (V) se ha considerado un empedrado tipo A rugoso a la salida de la alcantarilla, con un coeficiente de rugosidad de Manning igual a 0.030.