

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL SECTOR NORESTE DE LA LOCALIDAD LA ENCAÑADA OCASIONADO POR CAUDALES EN AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RÍO ENCAÑADA, 2023”

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. VÁSQUEZ BAZÁN ANA SOPHIA

Asesorado por:

Dr. Ing. GASPAR V. MENDEZ CRUZ

CAJAMARCA-PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** ANA SOPHIA VÁSQUEZ BAZÁN
DNI: 72845036
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
- Asesor:** Gaspar Virilo Méndez Cruz
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**
ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL SECTOR NORESTE DE LA LOCALIDAD LA ENCAÑADA OCASIONADO POR CAUDALES EN AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RÍO ENCAÑADA, 2023
- Fecha de evaluación:** 12/05/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%
- Código Documento:** Oid: 3117:458357884
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 12 de mayo de 2025



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz
DIRECTORA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL SECTOR NORESTE DE LA LOCALIDAD LA ENCAÑADA OCASIONADO POR CAUDALES EN AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RÍO ENCAÑADA, 2023.

ASESOR : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0223-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 20 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los treinta días del mes de mayo de 2025, siendo las dieciséis horas con treinta minutos (4:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
- Vocal : Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
- Secretario : Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN EL SECTOR NORESTE DE LA LOCALIDAD LA ENCAÑADA OCASIONADO POR CAUDALES EN AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RÍO ENCAÑADA, 2023", presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil ANA SOPHIA VÁSQUEZ BAZÁN, asesorada por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : 07 PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA : 07 PTS.
 EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS. 18 DIECOCHO (En letras)

En consecuencia, se la declara APROBADA con el calificativo de 18 DIECOCHO. acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 17:30 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Presidente

Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Vocal

Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.
Secretario

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, Luis y Laura, por su amor incondicional, y por ser mi mayor fuente de inspiración en cada paso de mi vida.

A mi hermano Luis Angel, por su compañía, amor y apoyo inquebrantable.

A mis abuelos, Petronila y Emigdio, quienes, aunque ya no están, siempre creyeron en mí y me hicieron sentir capaz de lograr cualquier cosa. A mi abuela Ana María por su amor y por su confianza en mi potencial y a mi abuelo Manuel, por su impulso para llegar hasta aquí.

A Franco por su paciencia, su amor y por estar siempre a mi lado, brindándome apoyo en cada momento.

Gracias a todos ustedes por hacerme sentir increíble y siempre apoyarme.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Luis y Laura, por ser la inspiración detrás de este trabajo, por su pasión y dedicación al conocimiento. A mi hermano, por ser mi más grande apoyo emocional en la etapa universitaria.

A mis abuelos, Emigdio, Ana María, Manuel y Petronila quienes siempre confiaron en mí, me acompañaron en cada paso de mi vida y siempre me hicieron sentir orgullosa de mis logros.

A Franco, por su amor incondicional, por su paciencia y por ser mi gran soporte emocional durante este camino.

A mi asesor, el Dr. Ing. Gaspar Méndez, por su dedicación, paciencia y apoyo constante. Su orientación fue fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos ustedes, sin su amor y apoyo, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE GENERAL

INDICE	III
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	
XI	
ABSTRACT	XII
DEFINICIÓN DE PALABRAS CLAVE	XIII
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	2
1.1.3. Justificación de la investigación	2
1.1.4. Limitaciones y restricciones de la investigación	3
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	5
2.1.1. Antecedentes Internacionales	5
2.2. Antecedentes Nacionales	6
2.2.1. Antecedentes Locales	6
2.3. BASES TEÓRICAS	7
2.3.1. Aspectos generales	7
2.3.2. Modelamiento hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)	12

2.3.3.	Modelamiento hidráulico	22
2.1.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	27
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		29
3.1.	UBICACIÓN	29
3.1.1.	Ubicación geográfica	29
3.1.2.	Puntos vulnerables a inundación	29
3.1.3.	Clima	30
3.1.4.	Movimientos en masa	31
3.2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	31
3.2.1.	Variable	31
3.2.2.	Dimensiones:	32
3.2.3.	Tipo de estudio	32
3.2.4.	Diseño de la investigación	32
3.2.5.	Método de Investigación	33
3.2.6.	Población y muestra	33
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS	34
3.5.	PROCEDIMIENTO	35
3.5.1.	PRIMERA FASE: Recopilación y tratamiento de información Histórica y Satelital	35
3.5.2.	SEGUNDA FASE: Recopilación y procesamiento de información de campo	45
3.5.3.	TERCERA FASE: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico	55
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		62
4.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	62
4.1.1.	Caracterización del tramo de río estudiado	62

4.1.1.	Caracterización de eventos históricos relacionados.	63
4.1.2.	Caracterización de las áreas inundables	63
4.1.3.	Parámetros geomorfológicos	63
4.1.4.	Hietogramas de precipitación	65
4.1.5.	Hidrogramas para caudales máximos extraordinarios	69
4.1.6.	Mapas de tirantes para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.	72
4.1.7.	Mapas de velocidades para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.	75
4.1.1.	Zonificación de áreas inundables según su peligrosidad para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.	78
4.1.2.	Elementos y medios de vida en peligro de ser afectados por las inundaciones para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.	81
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		83
5.1.	CONCLUSIONES	83
5.2.	RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		85
ANEXOS		88
ANEXO 01: FICHA TÉCNICA DE ZONA INUNDABLE POR DESBORDE DEL RÍO LA ENCAÑADA. FUENTE SIGRID - CENEPRED		88
ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN		89
APÉNDICE 01: PROCESAMIENTO EN HEC – HMS		93
APÉNDICE 02: PROCESAMIENTO EN HEC – RAS		96
APÉNDICE 03: PLANOS		100

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RANGOS DEFINIDOS PARA CADA NIVEL DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES.	9
TABLA 2: FORMAS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON BASE EN EL COEFICIENTE DE GRAVELIUS.....	10
TABLA 3: VALORES CRÍTICOS D PARA LA PRUEBA KOLMOGOROV – SMIRNOV	17
TABLA 4. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD DE MANNING.....	20
TABLA 5. VALORES DE LOS PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS NECESARIOS DE LA CUENCA.	37
TABLA 6. NÚMERO DE CURVA PARA DIFERENTE CONDICIÓN HIDROLÓGICA Y USO DE SUELOS.....	38
TABLA 7.INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS – ESTACIÓN LA ENCAÑADA.....	42
TABLA 8. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS – CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA.....	43
TABLA 9. TIEMPOS DE RETORNO ESTIMADOS PARA LOS ELEMENTOS ANALIZADOS.....	44
TABLA 10. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN MM. PARA CADA TIEMPO DE RETORNO.....	44
TABLA 11. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REAL DE CAMPO PARA CALIBRACIÓN DEL MODELO	52
TABLA 12. PELIGRO DE INUNDACIÓN SEGÚN CATEGORÍAS (CENEPRED).....	61
TABLA 13. VALORES DE LOS PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS NECESARIOS DE LA CUENCA.	64
TABLA 14. ÁREAS Y NÚMERO DE CURVA POR TIPO DE COBERTURA DE LA CUENCA.	65
TABLA 15. PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS EN MM. PARA CADA TIEMPO DE RETORNO.....	67
TABLA 16. ELEMENTOS Y ESTRUCTURAS EXPUESTAS SEGÚN EL NIVEL DE PELIGRO EN LAS ZONAS INUNDABLES.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. HIETOGRAMA DE DISEÑO DE PRECIPITACIONES. FUENTE (MTC, 2011)	18
FIGURA 2. MAPA .DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: GOOGLE EARTH PRO	29
FIGURA 3. PUNTOS CRÍTICOS DE INUNDACIÓN. FUENTE SIGRID - CENEPRED.	30
FIGURA 4. PUNTOS CRÍTICOS DE MOVIMIENTOS EN MASA. FUENTE SIGRID - CENEPRED...	31
FIGURA 5. FASES PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	35
FIGURA 6. MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL Y DELIMITACIÓN DE CUENCA LA ENCAÑADA. .	36
FIGURA 7. CUENCA HIDROGRÁFICA LA ENCAÑADA.	37
FIGURA 8. IDENTIFICACIÓN DE REGISTROS DE PELIGROS DE INUNDACIÓN SIGRID - CENEPRED.....	38
FIGURA 9. FUENTE DE DESCARGA DE DATOS DE PRECIPITACIONES ACUMULADAS EN 24 HORAS EN (MM) DE LA ESTACIÓN LA ENCAÑADA.....	40
FIGURA 10. INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DIARIAS PARA LOS AÑOS 2018 AL 2023. FUENTE: SENAMHI.....	41
FIGURA 11. MAPA DE DURACIÓN DE TORMENTAS PERÚ. FUENTE: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET	45
FIGURA 12. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONE PHANTOM 4 PRO.	46
FIGURA 13. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO EN 3D DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	47
FIGURA 14. USO DE ESTACIÓN TOTAL PARA LEVANTAMIENTO DEL LECHO DEL RÍO Y ENSAMBLAJE A IMAGEN.	48
FIGURA 15. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ENSAMBLAJE DE PUNTOS DEL RÍO.....	49
FIGURA 16. TIPO DE LECHO DEL RÍO REPRESENTATIVO EN LA ZONA DE ESTUDIO.	50
FIGURA 17. SECCIÓN DEL RÍO SELECCIONADA PARA CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO.	51
FIGURA 18. MEDIDAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL PARA DETERMINAR EL CAUDAL DE CAMPO.	51
FIGURA 19. PUENTE CARROZABLE DE CONCRETO CON TABLERO DE MADERA Y ACERO, VIVIENDAS EN LAS RIBERAS DEL RÍO.	53
FIGURA 20. ZONAS DE CULTIVOS Y PASTOS.....	53
FIGURA 21. COMERCIO AMBULANTE Y VENTA DE ANIMALES EN MERCADO DISTRITAL DE LOS DÍAS DOMINGO.....	54

FIGURA 22. PUENTE DE CONCRETO CON APOYOS CONSTRUIDOS EN FORMA ARTESANAL.	54
FIGURA 23. MODELO NUMÉRICO EN HECHMS DE LA CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA.....	55
FIGURA 24. TIRANTES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	57
FIGURA 25. VELOCIDADES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	57
FIGURA 26. TIRANTES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 85 AÑOS.	58
FIGURA 27. VELOCIDADES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 85 AÑOS.	58
FIGURA 28. TIRANTES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 135 AÑOS.	59
FIGURA 29. VELOCIDADES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 135 AÑOS.	59
FIGURA 30. TIRANTES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 285 AÑOS.	60
FIGURA 31. VELOCIDADES PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 285 AÑOS.	60
FIGURA 32. RECORRIDO DEL RÍO CON ESTRUCTURAS Y MEDIOS DE VIDA EN PELIGRO DE INUNDACIÓN ÁREAS DE INFLUENCIA.	62
FIGURA 33. DISTRIBUCIÓN CON MEJOR AJUSTE DE LA INFORMACIÓN (LOG NORMAL 3 PARÁMETROS).	64
FIGURA 34. MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO.	65
FIGURA 35. MAPA DE DURACIÓN DE TORMENTAS PERÚ. FUENTE: HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET	67
FIGURA 36. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 50 AÑOS.	68
FIGURA 37. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 85 AÑOS.	68
FIGURA 38. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 135 AÑOS.	68
FIGURA 39. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 285 AÑOS.	69
FIGURA 40. HIDROGRAMA PARA UN TR = 50 AÑOS CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA, CAUDAL MÁXIMO = 92.4 M3/S.	70
FIGURA 41. HIDROGRAMA PARA UN TR = 85 AÑOS CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA, CAUDAL MÁXIMO = 112 M3/S.	71
FIGURA 42. HIDROGRAMA PARA UN TR = 135 AÑOS CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA, CAUDAL MÁXIMO = 130.5 M3/S.	71

FIGURA 43. HIDROGRAMA PARA UN TR = 285 AÑOS CUENCA DEL RÍO LA ENCAÑADA, CAUDAL MÁXIMO = 162.8 M3/S.	72
FIGURA 44. MAPA DE TIRANTES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	73
FIGURA 45. MAPA DE TIRANTES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	73
FIGURA 46. MAPA DE TIRANTES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 135 AÑOS.	74
FIGURA 47. MAPA DE TIRANTES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 285 AÑOS.	74
FIGURA 48. MAPA DE VELOCIDADES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	76
FIGURA 49. MAPA DE VELOCIDADES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 85 AÑOS.	76
FIGURA 50. MAPA DE VELOCIDADES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 135 AÑOS.	77
FIGURA 51. MAPA DE VELOCIDADES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	77
FIGURA 52. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	79
FIGURA 53. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 85 AÑOS.	79
FIGURA 54. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 135 AÑOS.	80
FIGURA 55. MAPA DE ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 285 AÑOS.	80
FIGURA 56. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL.	89
FIGURA 57. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL.	89
FIGURA 58. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL.	90
FIGURA 59. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL.	90
FIGURA 60. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL.	91
FIGURA 61. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON.	91
FIGURA 62. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON.	92
FIGURA 63. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON.	92
FIGURA 65. GEORREFERENCIACIÓN DE LA CUENCA MEDIANTE DEM.	93
FIGURA 66. INSERTO DEL DEM DE LA ZONA DE ESTUDIO.	93
FIGURA 71. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.	94
FIGURA 74. CREACIÓN DEL ADMINISTRADOR DEL MODELO METEOROLÓGICO.	94
FIGURA 77. RESULTADOS HEC-HMS.	95

FIGURA 78. RESULTADOS HEC-HMS	95
FIGURA 79. EXPORTACIÓN DEM.	96
FIGURA 80. CONFIGURACIÓN DE UNIDADES EN HEC-RAS	96
FIGURA 81. CONFIGURACIÓN Y CREACIÓN DE TERRENO,.....	97
FIGURA 82. TRAZO DE ENTRADA Y SALIDA.....	97
FIGURA 83. HORA DE INICIO Y FINAL E INGRESO DE CAUDALES.....	98
FIGURA 84. INGRESO DEL VALOR DE LA PENDIENTE.	98
FIGURA 85. RESULTADO HEC-RAS TR-285.	99

RESUMEN

El estudio examina las zonas propensas a inundaciones debido al desbordamiento del río La Encañada, que se encuentra en la parte noreste de La Encañada, en la región de Cajamarca, Perú. Mediante un enfoque descriptivo, transversal y cuantitativo, se llevó a cabo una zonificación para identificar las áreas en riesgo. Se realizaron simulaciones hidráulicas e hidrológicas con los softwares HEC-HMS y HEC-RAS, considerando episodios de caudales extraordinarios, alcanzando 92.4, 112.0, 130.5 y 162.8 m³/s para periodos de retorno de 50, 85, 135 y 285 años, en ese orden. Los hallazgos subrayan que las viviendas, puentes y tierras de cultivo próximas al río enfrentan un elevado peligro de ser afectadas. Según el riesgo identificado, hasta 32 hogares y tres puentes de madera están bajo un riesgo alto o muy alto. Además, se detectaron 0.0323 hectáreas de terrenos agrícolas y hasta 0.0018 hectáreas del área del mercado local como zonas vulnerables, lo que podría afectar las actividades económicas de la comunidad, cuya principal fuente de ingreso es la agricultura. Se llegó a la conclusión de que la ausencia de planificación urbana, la construcción no regulada y la complicada topografía de la cuenca agravan los peligros de inundaciones. Se sugiere la instauración de sistemas de alerta temprana, mejorar las infraestructuras vulnerables, informar a la comunidad sobre acciones preventivas y considerar la reubicación de actividades económicas hacia zonas menos riesgosas. Este análisis ofrece herramientas esenciales para gestionar riesgos y tomar decisiones en relación con la mitigación de desastres por inundaciones.

Palabras Claves: Inundabilidad, modelo, hidrológico, hidráulico, crecidas.

ABSTRACT

The study examines flood-prone areas caused by the overflow of the La Encañada River, located in the northeastern part of La Encantada, in the Cajamarca region of Peru. Using a descriptive, cross-sectional, and quantitative approach, a zoning analysis was conducted to identify areas at risk. Hydraulic and hydrological simulations were performed with HEC-HMS and HEC-RAS, considering extreme flow events with discharges of 92.4, 112.0, 130.5, and 162.8 m³/s for return periods of 50, 85, 135, and 285 years, respectively. The findings highlight that homes, bridges, and farmland near the river face an elevated risk of being affected. Specifically, up to thirty-two households and three wooden bridges were identified as being at high or extremely elevated risk. Furthermore, 0.0323 hectares of agricultural land and up to 0.0018 hectares of the local market area were identified as vulnerable zones, which could significantly impact on the community's economic activities, primarily reliant on agriculture. The study concluded that the lack of urban planning, unregulated construction, and the basin's complex topography exacerbate flood risks. Recommendations include implementing early warning systems, improving vulnerable infrastructure, educating the community on preventive actions, and considering the relocation of economic activities to safer areas. This analysis provides essential tools for risk management and decision-making regarding flood disaster mitigation.

Keywords: Floodability, model, hydrological, hydraulic, floods.

DEFINICIÓN DE PALABRAS CLAVE

- **Inundabilidad:** Se refiere al nivel de riesgo o posibilidad de que una determinada zona sea inundada durante un evento extremo. Se representa comúnmente en mapas de riesgo o estudios de gestión territorial.
- **Modelo:** En ingeniería se considera a una representación de una situación o estructura real, puede ser un modelo matemático, físico o computacional que simula el comportamiento del agua para condiciones variables.
- **Modelo hidrológico:** Un modelo hidrológico reproduce cómo el agua fluye desde la atmósfera hasta los cuerpos de agua superficiales o subterráneos, siendo útil para calcular caudales y analizar avenidas.
- **Modelo hidráulico:** Un modelo hidráulico simula cómo fluye el agua dentro de una infraestructura o cauce, considerando aspectos como velocidad, presión, altura del flujo, etc.
- **Crecidas:** También conocidas como “avenidas”, las crecidas pueden ser ordinarias o extraordinarias, y son eventos clave para el diseño de obras hidráulicas y la gestión del riesgo de desastres.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Contextualización

En el mundo se están presentando fenómenos naturales que por su naturaleza y agresividad algunos de ellos no han sido percibidos y analizados con respecto a los daños que pueden causar en sus entornos, pues los desastres naturales generados por desborde de ríos debido a las fuertes precipitaciones generadas en sus cuencas colectoras probablemente son los más recurrentes. Arregin (2016), indica que en el mundo se ha modificado la apreciación humana alrededor de las inundaciones, con el crecimiento de las ciudades y el entubamiento de los ríos, la población ha perdido la noción de lo que pasa con los volúmenes de agua que caen durante la lluvia, y esto complica el compromiso de la sociedad con programas de prevención. En el Perú en los últimos años se han tenido fenómenos naturales de gran escala como el Niño y el ciclón Yacu que han generado precipitaciones anómalas extremas ocasionando inundación en una gran parte de la costa norte del Perú; en la región Cajamarca un poco alejada de las costas del pacífico probablemente no se ha sentido un gran impacto por estos fenómenos anómalos pero ello no implica estar libres de inundaciones y desastres generados por precipitaciones extraordinarias con frecuencias muy largas y que debido a su aleatoriedad pueden ocurrir en cualquier momento, lo que genera una incertidumbre en el impacto negativo que puede generar en muchas poblaciones que por condiciones topográficas, geológicas, geomorfológicas y climáticas, en caso se generen dichas inundaciones ya sea por intensidad y duración de las lluvias así como por el desborde de los ríos que recorren entornos cercanos generando peligros de niveles muy altos sobre sus actividades desarrolladas cotidianamente, atentando además en su salud e incluso en su vida.

Para Ferrando (2006), las inundaciones se generan como el resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela y la capacidad de evacuación

de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce.

El río La Encañada, cuyas aguas colectadas principalmente por escorrentía directa con nacientes sobre los 4520 m.s.n.m, al llegar a la localidad de La Encañada, capital del distrito del mismo nombre lo hace en una zona encañonada para ingresar a la ciudad por el noreste, áreas que hasta hace una década atrás eran terrenos de cultivo pero debido al crecimiento poblacional y a la expectativa del inicio de la explotación de la mina Michiquillay existe una tendencia de expansión urbana hacia el noreste en las áreas con topografía plana fácilmente inundables en caso se tengan descargas extremas ante precipitaciones muy fuertes en el área de influencia de su cuenca colectora.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

¿Es posible identificar las áreas de inundación por desborde del río La Encañada producto de máximas avenidas en sector noreste de la ciudad?

1.1.3. Justificación de la investigación

Los fenómenos naturales en el planeta por su aleatoriedad se constituyen en muchos de los casos como amenazas, por lo que en zonas donde existe expansión de las actividades del hombre éstas amenazas se convierten en peligros naturales que junto a los generados por la actividad humana pueden impactar negativamente en la vida humana. En la región Cajamarca no somos ajenos a ello y específicamente en lo que concierne a los peligros naturales generados por las inundaciones recurrentes en sectores urbanos que han crecido sin una planificación adecuada muchas veces por el descuido y olvido de sus autoridades; La zona urbana del distrito de La Encañada, en los últimos años ido creciendo y específicamente en la zona noroeste donde se ha realizado la apertura de calles, construcción de puentes, construcción de una infraestructura para mercado, construcción de viviendas, todas ellas de acuerdo al requerimiento y la necesidad en muchos de los casos sin el conocimiento de las autoridades, existe la preocupación de algunos pobladores del sector ya que por referencia de ellos mismos hace aproximadamente 46 años el río desbordó e inundó

gran parte de estas áreas expuestas en esa época con perjuicio únicamente en sus cultivos y animales que en muchos de los casos murieron.

1.1.4. Limitaciones y restricciones de la investigación

Dada la aleatoriedad de las precipitaciones y condiciones de flujo del río La Encañada en épocas de lluvias, se ha considerado simular el comportamiento hidrológico e hidráulico para condiciones extremas con información recopilada en campo actual.

El río La Encañada no cuenta con información hidrométrica, por lo que se utilizó información de precipitaciones para estimar los caudales para condiciones extremas.

Dado a que no se cuenta con información de las concentraciones de sedimentos para los caudales simulados, los resultados obtenidos han sido determinados para condiciones de aguas claras sin flujo de escombros.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo general

Zonificar las áreas inundables en el sector noreste de la localidad La Encañada ocasionado por caudales en avenidas extraordinarias del río La Encañada.

1.2.2. Objetivos específicos

- Recopilar información topográfica del área de influencia, así como del cauce del río en la zona de estudio.
- Caracterizar la zona de estudio.
- Caracterizar la geomorfología de la cuenca colectora del río La Encañada con sus afluentes.
- Realizar la recopilación de información hidrológica histórica y de campo.
- Simular el comportamiento hidrológico de la cuenca colectora para condiciones más desfavorables de flujo, utilizando un modelo numérico.

- Simular el comportamiento hidráulico del río y las áreas de su entorno que se verían afectadas en caso de desborde, utilizando un modelo numérico.
- Representar gráficamente las áreas inundables para zona en estudio identificando los medios de vida afectados.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Díaz (2019) en su investigación menciona que El riesgo asociado a inundaciones en espacios urbanos es complejo y se construye conforme aumentan las actividades humanas, en este sentido las cuencas con población urbana son las que presentan mayor riesgo. Al igual que el área de estudio de la presente investigación en la microcuenca San José El Alto, ubicada en la periferia al noroeste de la ciudad de, enfrenta un importante proceso de transformación de usos de suelo y desarrollo económico que se ve acompañado por el crecimiento urbano de las últimas tres décadas (1980-2016). Las características físicas y sociales del área exponen a los habitantes y su patrimonio a daños y pérdidas por riesgo de inundaciones, por lo que surgió la necesidad de identificar las áreas inundables para concientizar a la población sobre los problemas que puede generar un crecimiento desordenado en las zonas urbanas en desarrollo de las ciudades.

Cárdenas (2018) en su estudio realizado en Colombia describe que las inundaciones en el mundo y en especial en América Latina son el resultado no solamente de los fenómenos naturales sino también de la desidia de los habitantes de las zonas urbanas que se exponen ante estos peligros. Él desarrolla un trabajo muy interesante donde analiza la gestión de riesgo por inundación en Colombia, considerando la política actual que la reglamenta. Inicialmente, se ilustran las condiciones que implican la gestión del riesgo y sus factores a evaluar; posteriormente, se enuncian algunos modelos para la valoración de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo. Finalmente, de la revisión hecha se obtienen algunas conclusiones de los retos que se deben afrontar para mejorar el sistema de gestión de riesgo de desastres.

Martínez-Cantó & Hidalgo (2016) desarrolla un modelamiento hidrológico e hidráulico de las inundaciones fluviales en Santiago del Molino (León) utilizando el modelo numérico Iber. Obtuvo como resultados que hay zonas de desbordamiento en un caudal medio que están confirmadas por la simulación en caudal máximo registrado en los últimos 30 años, por lo que esas zonas deben ser reparadas para que no se

desborde en momentos de histogramas punta y causen problemas. Del mismo modo, la zona estudiada sufre inundaciones periódicas significativas, por lo que está considerada una zona de alto riesgo de inundación.

2.2. Antecedentes Nacionales

Montero et al. (2021) modeló hidráulicamente a río Piura y su respectiva zona urbana adyacente mediante el uso de HEC-RAS 2d e Iber, luego procesó los cálculos con las condiciones del río obtenidas de distintos estudios realizados, para poder tener como resultado archivos ráster de tirante hidráulico y velocidades en cada punto cada 0.20 m.

También, Tarazona R. (2022) ha encontrado resultados con el fin de prevención de inundaciones en la Ciudad de Ica, modelando hidrológicamente la Cuenca del Río Ica. Dicho modelo le permitió calcular caudales máximos para distintos periodos de retorno con errores menores al 1%. A partir de este modelo se pudieron identificar las zonas de riesgo de inundación para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

2.2.1. Antecedentes Locales

Rudas (2023), en su tesis desarrolla una zonificación de Áreas Inundables en el Centro Poblado de Polloc ocasionado por avenidas extraordinarias del río la Encañada que son ocasionados por avenidas extraordinarias de este río. La zona de estudio consta de una longitud de río de 1200 m y un área de drenaje de 56.43 km². Y el modelamiento se desarrolló para máximas avenidas con periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, utilizando el modelo hidráulico bidimensional HEC RAS obteniendo mapas de tirantes y velocidades, donde se identificaron las áreas inundables según el nivel de peligrosidad básicamente para zonas de uso agrícola y pecuario que es el eje de desarrollo de la zona de estudio, que se constituye el más importante medio de vida de los pobladores del lugar.

Mantilla (2019) en Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico de la quebrada Chinchinmarca – sector 24 (Villa Huacariz) – Cajamarca determinó el modelamiento hidráulico y obtuvo las áreas inundables de acuerdo con el nivel de intensidad y diferentes riesgos de falla.

Rabanal Silva (2018) en la investigación “Zonificación de áreas inundables del barrio La Breña ocasionado por avenidas extraordinarias del río Grande de Celendín - Cajamarca.”, se modelaron hidráulicamente los valores de las máximas avenidas en el programa Iber, donde se observaron las áreas afectadas por inundación, mapas del tirante de agua, velocidades, peligrosidad, y otros, a partir de los que se propusieron medidas para mitigar los daños por inundaciones.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Aspectos generales

2.3.1.1. Topografía

Para Wolf y Ghilani (2015), la topografía se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la tierra, sin embargo, en un sentido más general, la topografía se puede considerar como la disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la tierra y nuestro medio ambiente. Con los avances de la tecnología se puede desarrollar una representación a detalle de la topografía utilizando vuelos de Dron con alta precisión que permite una mejor representación gráfica y visual de los puntos y objetos sobre el área de estudio.

2.3.1.2. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Bravo (2000), define un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada. Para ello, contaremos tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que nos facilitarán esta tarea. En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio.

2.3.1.3. Inundación

El Instituto Nacional de Defensa Civil (2011), define, “Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo,

el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes”

INDECI (2011), describe las inundaciones generan daños para la vida de las personas, sus bienes e infraestructura, pero además causan graves daños sobre el medio ambiente y el suelo de las terrazas de los ríos. Las inundaciones son causas de erosión y sedimentación de las fuentes de agua. En los ámbitos de planificación del desarrollo urbano y planificación del uso de la tierra es importante saber cuáles son las áreas susceptibles a ser afectadas por inundaciones. Además, resulta de utilidad diferenciar las áreas de inundación en función del nivel de peligro existente. Las inundaciones pueden clasificarse: Por su duración y origen.

2.3.1.4. Tipo de Inundación

INDECI (2011), señala que, se tiene dos tipos de inundación, según el tiempo de duración y según su origen, dichos conceptos se detallan a continuación.

- ***Según el tiempo de duración***

Inundaciones dinámicas o rápidas: Se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura, debido a que el tiempo de reacción es casi nulo.

Inundaciones estáticas o lentas: Se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal y del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo, a estas áreas se les denomina llanuras de inundación.

- ***Según su origen***

Inundaciones pluviales: Se produce por la acumulación de agua de lluvia en un lugar sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de lluvias intensas o persistentes.

Inundaciones fluviales: Causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina crecida.

Inundaciones por operaciones incorrectas de obras de infraestructura hidráulica o rotura: La rotura de una presa, por pequeña que ésta sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, infraestructura y al medioambiente.

Tabla 1. Rangos definidos para cada nivel de intensidad para inundaciones.

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad. del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	$H > 1.5 \text{ m}$	$H*V > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < H*V < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$	$0.25 \text{ m} < H*V < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$	$H*V < 0.25 \text{ m}$

Fuente: INDECI 2011.

2.3.1.5. Geomorfología de una cuenca

(Gaspari et al. 2012) Nos describe los parámetros de forma de relieve y de drenaje y los cuales se detallan a continuación.

2.3.1.6. Parámetros de Forma

Perímetro (P) (km): Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas topográficas, su determinación utilizando herramientas digitales es muy sencilla con resultados de alta precisión.

Longitud del máximo recorrido del río (km): Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca considerando el sentido de flujo de las aguas de escurrimiento superficial.

Área (A) (km²): Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas. Su unidad de medida puede ser kilómetro cuadrado, hectáreas u otras unidades de superficie.

Coficiente de compacidad de Gravelius (Kc): define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente, teniendo influencia sobre los escurrimientos y sobre la

marcha del hidrograma resultante de una precipitación. El K_c es adimensional y permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, y de esta manera representar esta característica.

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Donde:

K_c = coeficiente de compacidad, adimensional.

P = perímetro, en km

A = Área de la cuenca, en km^2

El K_c está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. En este momento ocurre la máxima concentración de agua, puesto que están llegando las gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca. Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma

Tabla 2: Formas de cuencas hidrográficas con base en el coeficiente de Gravelius

<i>Clase de geometría</i>	<i>Rango de clase</i>	<i>Forma de cuenca</i>
K_c	$K_c = 1$	redonda
K_c	$K_c = 1.25$	Oval redonda
K_c	$K_c = 1.50$	oblonga
K_c	$K_c \geq 1.75$	rectangular-oblonga

Fuente: (Gaspari et al. 2012)

Su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca. A medida que su K_c tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas.

Altitud media de la cuenca (A_m) Corresponde a la altitud representativa de una cuenca hidrográfica y se determina como el promedio ponderado de las altitudes existentes en la cuenca, para hallar dicha altitud se debe encontrar el cociente entre la sumatoria de los productos de las áreas entre curvas de nivel y la altitud media

entre curvas dividido entre el área total de la cuenca que está representada por la sumatoria de todas las áreas entre curvas de nivel que están encerradas dentro del perímetro.

Pendiente media de la cuenca (PM): Representa un parámetro muy importante en una cuenca hidrográfica ya que su valor influye grandemente en el proceso de erosión de las cuencas y el caudal máximo de escurrimiento en los cauces principal y secundarios, es un valor representativo de la topografía de la superficie de la cuenca hidrográfica. Para determinar la pendiente media de la cuenca se utilizó el mapa topográfico y el modelo digital de elevación, cuyo procedimiento se expresa a continuación.

$$PM = 100 \left[\frac{HL}{A} \right] \quad (2)$$

Donde:

PM = Pendiente media en %

H = Distancia vertical entre curvas medidas (equidistancia), en km

L = Longitud total de las curvas de nivel, en km

A = Superficie, en km²

2.3.1.7. Parámetros de Drenaje

Número de orden de la cuenca (N): Representa un parámetro muy importante a la vez que los caudales generados en una cuenca hidrológica dependen del grado de ramificación de sus afluentes previendo que a mayor ramificación existe una mayor probabilidad de tener un evento instantánea máximo extraordinario.

Método de Strahler (1957): Gaspari et al. (2012), uno de los más utilizados por su adaptabilidad a los ríos altoandinos indica que se debe realizar una numeración de los ríos iniciales con un orden número 1, para luego de la intersección de dos ríos de igual orden se obtenga un río de orden superior y cuando se interceptan dos ríos de orden diferente se toma el orden del río mayor por efecto de continuidad.

Pendiente media del cauce (J): Gaspari et al. (2012), indica que esta se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud de este (L). Considerando la topografía y recorrido del cauce principal. Es un parámetro importante en la determinación del tiempo de concentración en las cuencas hidrográficas y se lo puede expresar en porcentaje.

2.3.2. Modelamiento hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)

El Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers).

Con el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos.

La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso del modelaje es el cálculo de los hidrógrafos del flujo en sitios elegidos de la cuenca del río.

Función de infiltración y los parámetros correspondientes.

La función de infiltración debe escogerse de la siguiente lista:

- Servicio de Conservación de Suelos (SCS)
- Green y Ampt
- Inicial / Constante
- Inicial / déficit.
- No hay pérdida

Función del hidrograma unitario y los parámetros correspondientes.

La función del diagrama unitario debe ser escogerse de la siguiente lista:

- Clark.
- Snyder.

- SCS.
- Clark modificado.
- Definido por el usuario.
- Onda cinemática.

Función de recesión de las avenidas y los parámetros y variables correspondientes.

- Recesión.
- Flujo constante mensual.
- No hay flujo base.

En el caso de la función de infiltración, escogemos la del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, SCS. Se necesitan 3 tipos de datos: la pérdida inicial (en mm), el número de curva (CN) y el porcentaje de suelo impermeable en la cuenca. La pérdida inicial es la cantidad de lluvia en mm que se produce antes de ocasionar el flujo superficial. Por otro lado, el número de curva se define en base al tipo de suelo, cobertura vegetal, y prácticas de pastoreo. El porcentaje impermeable está dado por el área ocupada por lagunas y zonas rocosas que para propósitos prácticos puede considerarse impermeable.

Las estimaciones obtenidas que usan el programa mencionado deben ser usadas de manera prudente por el especialista, el cual debe tener un conocimiento cabal de la región del mundo en la cual se desempeña.

En una cuenca pequeña es probable que no sea necesario unir varias subcuencas para obtener el caudal de salida, mientras que en cuencas mayores es necesario realizar el tránsito de avenidas.

Los métodos que se utilizan comúnmente son los siguientes:

- Muskingum
- SCS
- Muskingum – Cunge.
- Onda Cinemática

Las variables de entrada del método de Muskingum son K y X, que se basan en mediciones de hidrogramas realizados en el cauce. K es una medida del tiempo de transporte de una onda de un punto a otro, expresándose en unidades de tiempo

(horas) y X es una variable adimensional que fluctúa entre 0 y 0.3 y que tiene un valor típico de 0.2.

En el método del SCS sólo se especifica un tiempo de retraso de la onda. Básicamente se “traslada” la onda de un tiempo a otro sin tomar en cuenta las pérdidas por fricción.

Tanto el método de la Onda Cinemática como el método de Muskingum – Cunge requieren datos de la geometría del canal principal, el cual se modela asumiendo que el canal es un trapecio, un triángulo o un círculo. Se necesita por lo tanto el ancho de la base (o diámetro), la inclinación de los taludes (z), el coeficiente de rugosidad del cauce ($n =$ coeficiente de Manning), la pendiente de la línea de energía, S_f y la longitud del tramo, L . La pendiente de la línea de energía se asume igual a la pendiente del canal en el tramo de interés.

Emplea el Modelo de hidrograma unitario SCS para transformar la precipitación en escorrentía. Utiliza un hidrograma unitario curvilíneo y adimensional para dirigir el exceso de precipitación a la salida de la subcuenca. Este expresa la descarga, q , como una relación de la descarga máxima, q_p para cualquier momento t como una fracción del tiempo de ascenso, T_p . El hidrograma unitario curvilíneo SCS “estándar” contiene el 37,5 por ciento de la escorrentía total antes de T_p . T_p se puede relacionar con la duración del exceso de precipitación como:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \dots (3)$$

en el que $t_r =$ duración del exceso de precipitación (paso de tiempo computacional) y $t_p =$ la diferencia de tiempo entre el exceso de precipitación y el pico del hidrograma unitario. Además, la descarga máxima del hidrograma unitario, Q_p (m^3/s), se puede relacionar con el área de la cuenca, A (Km^2) y T_p (hrs) :

$$Q_p = \frac{PRF * A}{T_p} \dots (4)$$

donde PRF es una constante "factor de tasa máxima". El hidrograma unitario curvilíneo SCS adimensional estándar emplea PRF igual a aproximadamente 484,

que, al cambiarlo, se puede calcular hidrogramas unitarios alternativos para cuencas con topografía variable y otras condiciones que afectan la escorrentía.

Se requiere de un tiempo de retraso [minutos], este puede relacionarse con el tiempo de concentración de la cuenca, T_c , utilizando:

$$t_p = 0.6 * T_c \dots (5)$$

Predicción de precipitación para diferentes tiempos de retorno

Los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o determinística, y parcialmente aleatoria. Un proceso de este tipo se conoce con el nombre de proceso estocástico. En algunos casos, la variabilidad aleatoria del proceso es tan grande comparada con su variabilidad determinística, que se justifica que el hidrólogo trate el proceso como puramente aleatorio. De esta manera, el valor de una observación del proceso no está correlacionada con los valores de observaciones adyacentes, y las propiedades estadísticas de todas las observaciones son iguales.

En teoría de la probabilidad y estadística, la distribución de probabilidad de una variable aleatoria es una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable la probabilidad de que dicho suceso ocurra, la distribución de probabilidad está definida sobre el conjunto de todos los sucesos y cada uno de los sucesos es el rango de valores de la variable aleatoria. También puede decirse que tiene una relación estrecha con las distribuciones de frecuencia. De hecho, la distribución de probabilidades de valores extremos tipo I o también llamada comúnmente Gumbel puede comprenderse como una frecuencia teórica, ya que describe cómo se espera que varíen los resultados en diferentes períodos de retorno.

2.3.2.1. Modelos de Distribución

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

Distribución Log Normal 3 parámetros: (Chow, 2000) citado por (MTC, 2011), la considera una de las funciones que más se ajusta a fenómenos de variables hidrológicas; la función de densidad que lo representa está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1/2(\ln(x-x_0)-u_y)^2}{S_y}} \dots (6)$$

Para $x > x_0$

Donde:

x_0 : parámetro de posición, U_y : parámetro de escala o media y S_y : parámetro de forma o varianza.

Pruebas de bondad de ajuste: MTC (2011) describe las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

- **Prueba Kolmogorov – Smirnov**

(Villon, 2016) citado por (MTC, 2011) describe este como el método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste.

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia “ Δ ” entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$:

$$\Delta = \text{máx} |F_0(x_m) - F(x_m)| \dots (7)$$

Con un valor crítico α que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 03). Si $\Delta < \alpha$, se acepta la hipótesis nula. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1} \dots (8)$$

Donde:

m = número de orden de dato x_m en una lista de mayor a menor

n = número total de datos

Tabla 3: Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Smirnov

Tamaño de la	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.19	0.22	0.24
34	0.18	0.20	0.23
40	0.17	0.19	0.21
45	0.16	0.18	0.20

Fuente: (MTC, 2011)

2.3.2.2. Hietograma de diseño

MTC (2011) describe que en Hidrología cuando se tratan variables con rangos aleatorios se hace necesario

trabajar con un conjunto de valores que representen la evolución de dicha variable, a esta variación representada en un gráfico en dos dimensiones se lo denomina Hietograma, existen metodologías varias para determinar dicho Hietograma y una de ellas es la de los Bloques Alternos, que representa la profundidad de precipitación en “ n ” intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $Td = n \cdot \Delta t$. Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la precipitación máxima ocurra en el centro de la duración requerida Td y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño.

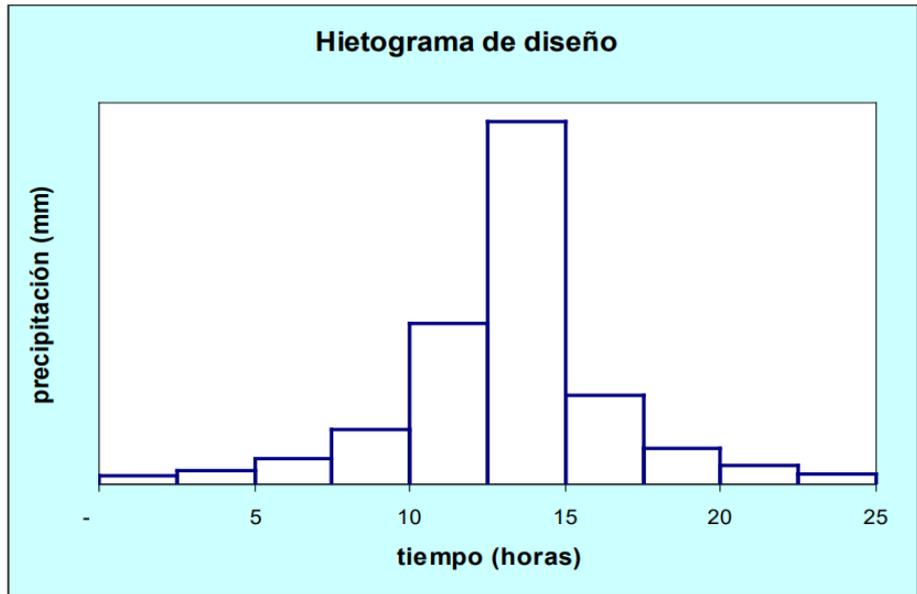


Figura 1. Hietograma de diseño de precipitaciones. Fuente (MTC, 2011)

2.3.2.3. Período de Retorno

Para Chow (2000), el período de retorno de un evento con una magnitud dada representa el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Primero se considera la situación de que no ocurra el evento de “T” años en “N” años. Esto requeriría una secuencia de N "fallas" sucesivas, de tal manera que:

$P(X < X_r \text{ cada año durante } N \text{ años}) = (1 - p)^N$; donde “p” representa la frecuencia de ocurrencia y “N” el número de años de análisis.

El complemento de esta situación es el caso donde se estima la probabilidad de que un evento con periodo de retorno de “T” años ocurra al menos una vez en N años; entonces sabiendo que la frecuencia “p” es el inverso del período de retorno “T”, se tiene:

$$P(X \geq X_r \text{ al menos una vez en } N \text{ años}) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \dots (9)$$

Donde el primer miembro representa el riesgo de falla “R”; por lo que, si deseamos encontrar el Período de retorno “T”, para un riesgo admisible “R” en un determinado número de años de análisis “N”, se tendrá:

$$T = \frac{1}{(1 - (1 - R))^{\frac{1}{N}}} \dots (10)$$

Criterios usuales

En caso de que no se apliquen criterios económicos, el periodo de retorno se fundamenta en variables como:

- Vida útil del elemento de análisis
- Tipo de elemento de análisis
- Facilidades de reparación y ampliación
- Peligro de pérdidas humanas

El número de años de análisis “N” muchas veces en caso de diseños se considera la vida útil de la obra, pero no necesariamente corresponde a ésta, más bien el responsable del estudio de acuerdo con las condiciones económicas y de pérdidas humanas es el que define el riesgo admisible de falla y el número de años de análisis.

Coefficiente de rugosidad de Manning (n)

El coeficiente de rugosidad de Manning ha sido estudiado para diferentes condiciones y sus materiales correspondientes, de acuerdo con ello Richard French, presenta una de las tablas más completas y acertadas para estimar su valor numérico.

Tabla 4. Coeficientes de rugosidad de Manning.

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces Naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida <30m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0.025	0.030	0.033
- Rectos con algunas piedras y puntos	0.030	0.035	0.040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0.035	0.045	0.050
- Meandros con muchas piedras	0.045	0.050	0.060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0.075	0.100	0.150
A.1.2 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	0.040	0.050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0.040	0.050	0.070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Pasto Corto	0.025	0.030	0.035
- Pasto Alto	0.030	0.035	0.050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin Cultivo	0.020	0.030	0.030
- Cultivos sombrados en línea en fase de madurez fisiológica	0.025	0.035	0.045
- Cultivos sombrados a volco en fase de madurez fisiológica	0.030	0.040	0.050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0.035	0.050	0.070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0.035	0.050	0.060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0.040	0.060	0.080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0.045	0.070	0.110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0.070	0.100	0.160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0.110	0.150	0.200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0.030	0.040	0.050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza las ramas	0.100	0.120	0.160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida >30m)			
En este caso los valores del coeficiente n sin 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		0.060
- Sección irregular y rugosa	0.035		0.100

Fuente: French (2000)

Tiempo de Concentración (T_c)

Para MTC (2011), es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . El tiempo de concentración real depende de muchos

factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

- Formula de Kirpich

$$T_c = 3.98 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \dots (11)$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (min)

L = máxima longitud del recorrido (km)

S = diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m)

(MTC, 2011).

2.3.2.4. Caudales Máximos

Si el periodo observado es de un año, el caudal de avenidas de ese año es el máximo caudal ordinario presentado en el cauce durante un año, y si el periodo es de varios años, entonces es un caudal de avenidas extraordinario.

El valor del caudal de avenidas extraordinario es necesario conocerlos a fin de diseñar las obras de captación, los aliviaderos de las presas, los muros de contención, para protección de riberas, la cota de las plataformas de maniobras de compuertas de barrajes en los ríos, etc.

Para (Guevara, 1991) citado por (MTC, 2011), para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las precipitaciones máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots (12)$$

Donde:

P_d = precipitación total (mm), d = duración en minutos y P_{24h} = precipitación máxima en 24 horas (mm)

(MTC, 2011)

2.3.3. Modelamiento hidráulico

Bladé y Castellet, (2021), indican que la modelación numérica del flujo en lámina libre es una herramienta cada vez más utilizada y con un creciente abanico de posibles aplicaciones. Sobre el modelo HEC-RAS concuerdan con muchos especialistas en que es un modelo numérico en continuo desarrollo, aplicable en el ámbito de la ingeniería hidráulica y fluvial, con una gran aceptación en proyectos de la administración pública, refieren además que para la aplicación del modelo a casos reales se debe conocer las bases teóricas esenciales sobre conceptos de régimen lento, régimen rápido, resalto, etc, además refieren que los aspectos clave a considerar en su ejecución están orientados al establecimiento de las condiciones de contorno, espaciamiento entre secciones, rugosidad.

Centro de Ingeniería Hidrológica (2016) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, desarrollador de HEC-RAS, software que se utiliza para modelar flujos de agua en ríos y canales, así como para realizar análisis de inundaciones y evaluaciones de riesgos desastres naturales.

HEC-RAS utiliza las ecuaciones de Saint Venant, las cuales son una derivación de la ecuación de Navier Stokes, y corresponden a un conjunto formado por las ecuaciones de Continuidad y Momentum.

- Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad se basa en el principio de la conservación de la masa donde el caudal que ingresa en un punto de control es la misma al final de la sección.

$$Q = A * V \dots (13)$$

Donde:

Q: Caudal (Volumen que fluye por unidad de tiempo)

A: Área de la sección transversal del flujo

V: Velocidad del flujo

En el software HEC-RAS la ecuación de continuidad modela el comportamiento del flujo de agua en una sección transversal de río o canal donde cambian las condiciones de flujo en varios puntos.

- Ecuación momentun

Es la ecuación del impulso o de la cantidad de movimiento, describiendo como la velocidad de flujo, el tirante de agua, la pendiente cambia a lo largo del cauce.

$$\frac{d}{dt}(A * V) + A * \frac{dV}{dt} + g * A * \frac{dh}{dx} + g * Q * \frac{dS}{dx} = -\tau_r \dots (14)$$

Donde:

A: Área

V: Velocidad

t: Tiempo

h: Elevación del flujo

x: Coordenada longitudinal del flujo

g: Gravedad

Q: Caudal

S: Pendiente

τ_r : Fuerza de corte

En el modelamiento en HEC-RAS utiliza dos esquemas de las ecuaciones de Saint Venant siendo uno de ellos "Full Momentun" donde esta resuelve las ecuaciones de cantidad sin omitir ningún término y en el segundo el método de onda difusa este omite los términos de la aceleración convectiva y local, se recalca que en los modelos no se simula una mezcla de agua-sedimento (flujo no newtionano), dando a entender que no se considera la viscosidad dinámica y cinemática

Al momento de realizar el modelamiento de inundación en HEC-RAS se debe verificar la rugosidad ya que estas serán diferentes en el cauce y las zonas de inundación, un dato a tomar en cuenta es el tiempo de retorno, por recomendación se podría utilizar el caudal dominante siendo esta la que más se acerca a la realidad.

- Ecuaciones 2D completas de Saint Venant o las ecuaciones de ondas difusas 2D

Para Quiroga et al. (2016), el modelo numérico **HEC-RAS-v5** desarrollado por la USACE. Este modelo resuelve las ecuaciones 2D completas de Saint Venant o las ecuaciones de ondas difusas 2D:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \dots (15)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 p g \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + pf + \frac{\partial}{\rho \partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h \tau_{xy}) \dots (16)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) = - \frac{n^2 q p \sqrt{p^2 + q^2}}{h^2} - gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + gf + \frac{\partial}{\rho \partial y} (h \tau_{xy}) \dots (17)$$

Donde:

h: profundidad del agua (m)

q y p: flujo específico en las direcciones x e y (m²/s)

ζ: Elevación de la superficie (m)

g: aceleración debida a la gravedad (m/s²)

n: es la resistencia de Manning

ρ: Densidad del agua (kg/m³)

τ_{xx}, τ_{yy} y τ_{xy}: Componentes del esfuerzo cortante efectivo

f: Coriolis (1/s)

Cuando se selecciona la onda difusiva, se desprecian los términos inerciales de las ecuaciones de momento (ecuación (14)).

Las ecuaciones completas de Saint Venant y la onda difusiva 2D. Ambos métodos proporcionaron los mismos resultados, pero la simulación para resolver las ecuaciones de ondas difusivas en 2D fue aproximadamente 20 veces más rápida.

2.3.3.1. Algoritmos empleados en las ecuaciones de Saint Venant

Las ecuaciones de Saint Venant, también conocidas como ecuaciones de aguas poco profundas, se utilizan para modelar el flujo unidimensional en canales abiertos. Su

resolución numérica requiere el uso de algoritmos específicos, entre los cuales destacan los siguientes:

- **Método de Diferencias Finitas (FDM):** Aproxima las derivadas espaciales y temporales mediante diferencias entre nodos. Esquemas comunes incluyen Lax-Friedrichs, MacCormack y el esquema implícito de Preissmann, este último ampliamente utilizado en software como HEC-RAS y MIKE 11.
- **Método de Volúmenes Finitos (FVM):** Conserva las variables integradas en volúmenes de control, siendo muy adecuado para modelar discontinuidades. Se utilizan resolutores como Godunov, Roe, HLL y HLLC. Es ampliamente aplicado en software 2D como Iber, TELEMAC y BASEMENT.
- **Método de Elementos Finitos (FEM):** Empleado en geometrías complejas y simulaciones bidimensionales o tridimensionales. Utilizado en modelos como TELEMAC.
- **Método de las Características (MOC):** Convierte el sistema de ecuaciones hiperbólicas en ecuaciones ordinarias a lo largo de trayectorias características. Fue popular en modelación de oleadas, aunque su uso ha disminuido frente a métodos más robustos.
- **Algoritmos Explícitos e Implícitos:** Los métodos explícitos son más simples, pero requieren pasos de tiempo pequeños para mantener la estabilidad (condición CFL). Los implícitos, como el de Preissmann, son más estables y permiten mayores intervalos de tiempo.

Estos algoritmos permiten simular flujos con precisión en distintas condiciones, siendo fundamentales en el diseño hidráulico, la gestión del riesgo de inundaciones y la planificación de infraestructura.

2.3.3.2. Número de Courant-Friedrichs- Lewy

El número de Courant garantiza la estabilidad del modelo, el paso de tiempo se estima según la condición de Courant-Friedrichs-Lewy:

$$Cr = \frac{c\Delta t}{\Delta x} = \frac{\sqrt{gh}\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \dots (18)$$

Donde:

Cr: Número de Courant
g: aceleración debida a la gravedad (m/s²)
c: celeridad (ms⁻¹)
h: profundidad del flujo (m)
 Δt : es el paso de tiempo
 Δx : Tamaño de la celda de la cuadrícula (m)

Costabille et al. (2021), describe el modelo HR2D permite al usuario elegir entre tres conjuntos de ecuaciones, a saber: ecuaciones de onda de difusión 2D (no consideradas en este trabajo); Ecuaciones de aguas poco profundas (SWE-ELM) con un enfoque euleriano-lagrangiano para resolver la advección; o un nuevo solucionador de ecuaciones de aguas poco profundas (SWE-EM), que utiliza un enfoque euleriano para la advección.

En un estudio las pruebas se realizaron utilizando el paso de tiempo de ajuste basado en Courant. Aunque el modelo SWE-ELM puede ejecutarse con un número de Courant superior a 1, todas las pruebas se ejecutaron con un valor máximo siempre menor que la unidad para poder comparar correctamente SWE-ELM y SWE-EM. Además, el número mínimo de Courant se estableció en 1/100 del número máximo de Courant.

2.3.3.3. Consideraciones del HEC-RAS para tránsito de avenidas.

HEC-RAS utiliza el método de transporte de sedimentos conocido como “Equation of Motion for Sediment Transport” (Ecuación de movimiento para el transporte de sedimentos”. Este método se basa en la ecuación de la cantidad de movimiento modificada para tener en cuenta el transporte de sedimentos en los canales fluviales. La ecuación general para el transporte de sedimentos en HEC-RAS es:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha \cdot A \cdot V) + \frac{\partial}{\partial t}(\alpha \cdot A \cdot V^2 + \beta \cdot p \cdot A) = \gamma \cdot A \cdot S_0 - \delta \cdot A \cdot V + \epsilon \cdot A \cdot Q_S \dots (19)$$

Dónde:

A: área de la sección transversal del flujo
V: Velocidad media del flujo
p: presión hidrostática del flujo

S_0 : pendiente del lecho del canal

Q_s : es la carga de sedimentos transportada por unidad de ancho

α , β , γ , δ y ε , son coeficientes empíricos que dependen de la naturaleza del lecho del canal y las características de los sedimentos

La ecuación describe cómo cambia la cantidad de movimiento en canal debido al transporte de sedimentos HEC-RAS utiliza métodos numéricos para resolver esta ecuación y modelar el transporte de sedimentos en función de los parámetros de modelos y las condiciones de flujo en el canal. (Ecuaciones Hidráulicas En el Modelo HEC-RAS 2D, s. f.)

Es fundamental tener en cuenta que los parámetros específicos del modelo, como α , β , γ , δ y ε , deben ser calibrados y ajustados según las condiciones del sitio y los datos disponibles para lograr resultados precisos en la simulación del transporte de sedimentos en HEC-RAS. La documentación de HEC-RAS proporciona información detallada sobre estos parámetros y su calibración.

2.1. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

MTC (2011), define los siguientes términos:

Caudal: Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado.

Cuenca hidrográfica: La superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura.

Curva intensidad – duración – frecuencia: Herramienta hidrológica fundamental utilizada para el diseño de obras de infraestructura, como drenajes pluviales, canales y carreteras.

Lluvia: Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro superior a 0.5 mm, o de gotas más pequeñas y muy dispersas.

Modelo de distribución: Arquetipo digno de ser utilizado o imitado y que se toma como pauta a seguir.

Inundaciones: Desbordes laterales de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables.

Máxima avenida: Es el máximo caudal calculado para un periodo de retorno determinado, que se utiliza para el diseño de diversas infraestructuras como muros de encauzamiento, sistemas de drenaje, alcantarillas, vertederos, puentes.

Periodo De Retorno: Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico o precipitación, es igualado o superado una vez cada "t" años.

Precipitación: Caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Ubicación geográfica

La zona de estudio se encuentra ubicada en la sierra norte del Perú, en la región Cajamarca, departamento de Cajamarca y distrito de la Encañada, con una altitud en la zona urbana del distrito de 3100 m.s.n.m. Se encuentra en la zona 17 sur, con coordenadas geográficas de 7°05'09"S 78°20'48"O, con coordenadas UTM para el punto de inicio del área de estudio de: 794050.18E y 9216471.06S.

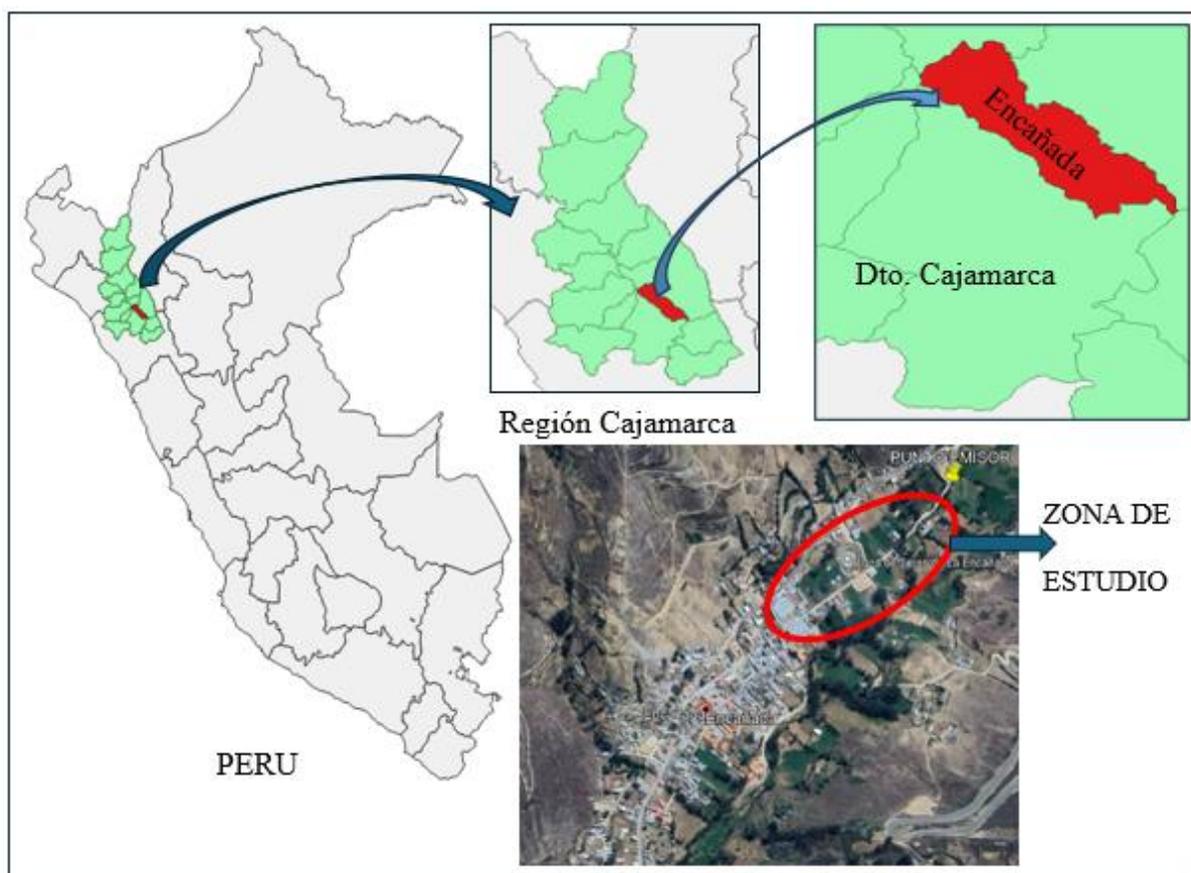


Figura 2. Mapa .de ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Earth Pro

3.1.2. Puntos vulnerables a inundación

Por las características topográficas correspondiente a una zona encañada por cuyo fondo cruza el río del mismo nombre con laderas planas muy cortas a cada margen y

con grandes dos grandes cerros (Calvario y Piruro) en las márgenes derecha e izquierda que se levantan generando una topografía accidentada con grandes pendientes, lo que genera que en caso de desborde del río las áreas plazas muy angostas sean inundadas, es así que el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) correspondiente al CENEPRED – PERÚ, tiene registrado como una de los puntos críticos de inundación como se puede visualizar en la Figura 3.

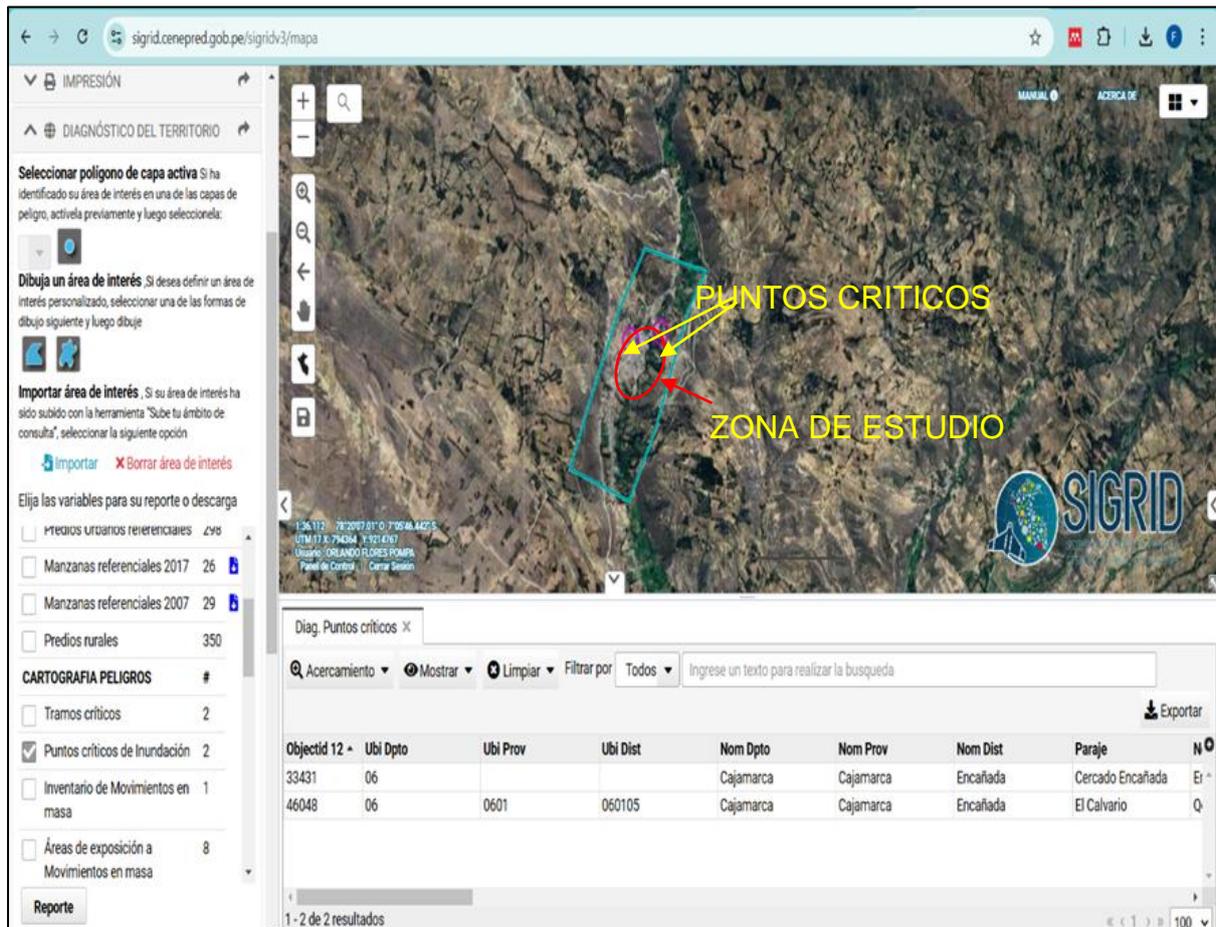


Figura 3. Puntos críticos de Inundación. Fuente SIGRID - CENEPRED.

3.1.3. Clima

Para SENAHMI (2023), La Encañada al encontrarse en la zona sierra sur del Perú cuenta con un clima frío, con variaciones de temperatura entre el día y la noche estacional con una disminución en las noches por debajo de los 10 °C, con una temperatura media anual de 13°C con una humedad relativa promedio de 75%,

variando con las estaciones secas y lluviosas al igual que las temperaturas y las precipitaciones que alcanzan un promedio anual de 900 mm.

3.1.4. Movimientos en masa

Dado a la naturaleza predominante de depósitos cuaternarios con presencia de gravas y arenas limo arcillosas, con estratificación en el sentido de la pendiente de las laderas, son muy propensas a desestabilización de sus taludes, lo que permite que cuando se presentan precipitaciones muy fuertes y duraderas éstas saturan los suelos y se constituyen como peligro de deslizamientos que generalmente por la forma la topografía afectaría el curso normal del río, como se puede observar en el registro en el SIGRID-CENEPRED.

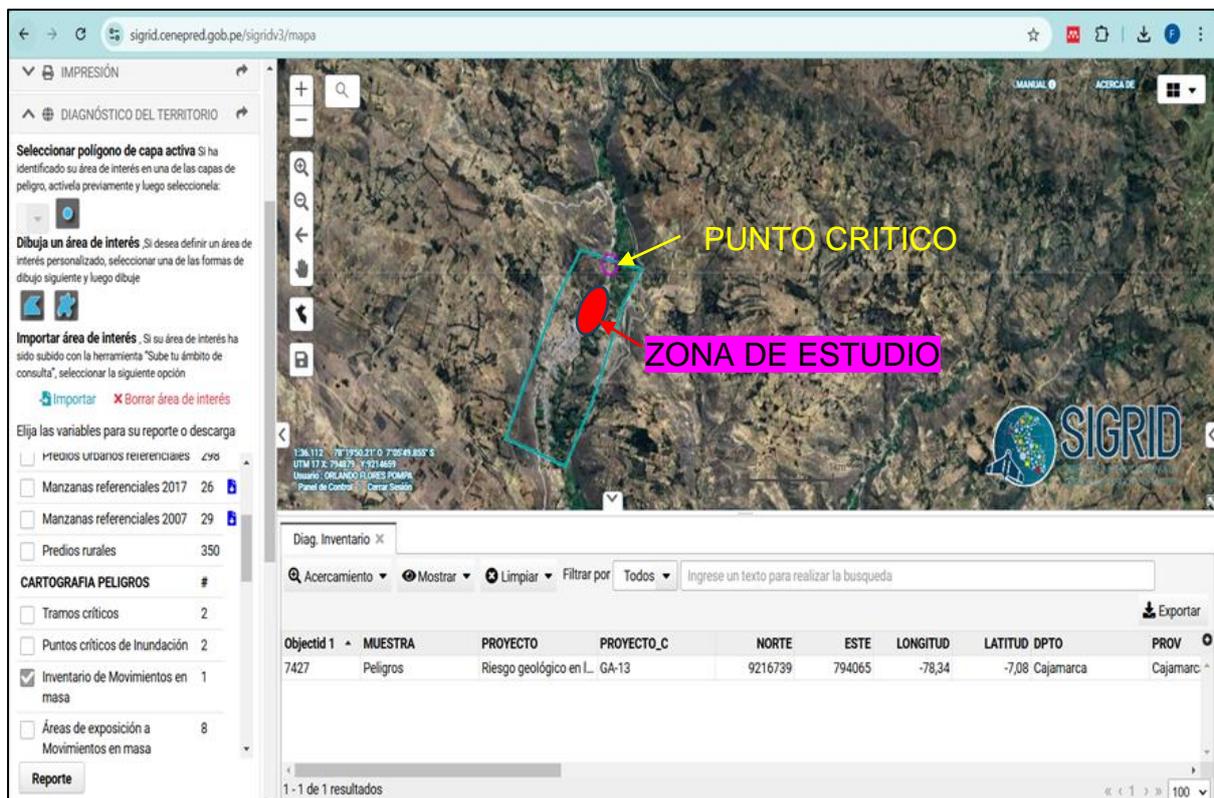


Figura 4. Puntos críticos de Movimientos en masa. Fuente SIGRID - CENEPRED.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Variable

Ya que esta investigación es descriptiva, se ha definida una única variable “Inundación” y 2 dimensiones: “Caudal en máximas avenidas” y “Zonas inundables”.

3.2.1.1. Inundación

Fenómeno hidrometeorológico que se caracteriza por el desbordamiento temporal del agua sobre terrenos como resultado de lluvias intensas, deshielos o un incremento repentino de caudal en ríos, quebradas o canales.

3.2.2. Dimensiones:

3.2.2.1. Caudal en Máximas Avenidas

Dada la aleatoriedad en los caudales que pueden generarse en la cuenca colectora, se seleccionan caudales representativos según el tipo de estructura y para un riesgo de falla aceptable.

3.2.2.2. Zonas Inundables

Las áreas susceptibles a inundación con diferente magnitud fueron variables que dependieron del volumen de agua que atraviesa una sección del río en un tiempo establecido.

3.2.3. Tipo de estudio

Para Hernández Sampieri (2018), los estudios **descriptivos** pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a los que se refieren. Desde luego, pueden integrar las mediciones o información de cada una de dichas variables o conceptos para decir cómo es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés, teniendo en cuenta un enfoque cuantitativo, esta condición es la que cumple la presente investigación orientada a la descripción de las áreas inundables para obtener su zonificación espacial.

3.2.4. Diseño de la investigación

Según Arias (2021), en el diseño **no experimental** no hay estímulos o condiciones experimentales a las que se sometan las variables de estudio, los

sujetos del estudio son evaluados en su contexto natural sin alterar ninguna situación; así mismo, no se manipulan las variables de estudio. Dentro de este diseño existen dos tipos: Transversal y longitudinal y la diferencia entre ambos es la época o el tiempo en que se realizan. Para la presente investigación se consideró un diseño de investigación no experimental del tipo transversal o transeccional descriptivo, ya que se estará describiendo las áreas inundables para un mismo momento para diferentes períodos de retorno de las máximas avenidas.

3.2.5. Método de Investigación

El Método utilizado en la investigación, fue el método analítico – sintético ya que se aplicaron simulaciones para diferentes escenarios y así poder observar las diferentes causas, los efectos y su correlación sintetizando el fenómeno para el entorno estudiado.

3.2.6. Población y muestra

POBLACIÓN

Áreas con sus medios de vida en la zona de expansión urbana de la ciudad de La Encañada, ubicada en el sector noreste.

MUESTRA

Dado que la población considerada en la investigación tiene un tamaño relativamente pequeño, por lo que la muestra analizada lo constituye toda la población.

UNIDAD DE ANÁLISIS

Área de influencia del río La Encañada y sus medios de vida de la población del sector noreste de la ciudad de La Encañada.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la recopilación de información necesaria para obtener la topografía, la caracterización de la cuenca colectora, así como los modelamientos tanto hidrológico como hidráulico para diferentes escenarios, se utilizaron:

Las técnicas de recolección de datos:

- a) **Análisis documental**, ya que se desarrolló un proceso de revisión de la información de fuentes primarias como, SIGRID – CENEPRED, SENAMHI, Imágenes Satelitales (MINEDU).
- b) **Inspección u observación de campo**, desarrollando varias visitas al área de estudio para obtener mediciones in situ de niveles de agua, secciones en el río, construcciones existentes, así como obras de ingeniería y uso de suelos en áreas de influencia del estudio.
- c) **Registro digital de información en campo**, desarrollado con vuelo de dron de la zona de estudio para obtener la topografía y registro de medios de vida en el área de influencia del estudio, además se realizó un levantamiento topográfico con estación total en el curso natural del río.

Los instrumentos de recolección de datos fueron:

- a) Documentos de archivo y fuentes gubernamentales.
- b) Libreta de campo levantamiento de información in situ.
- c) Registro digital de información para vuelo de dron y estación total.
- d) Registro fotográfico.

3.4. METODOS DE ANÁLISIS DE DATOS

- a) Análisis multiespectral de imágenes satelitales para desarrollar la delimitación y obtención de los parámetros necesarios para el modelamiento tanto hidrológico como hidráulico.
- b) La estadística descriptiva aplicado para el tratamiento de la información climatológica (precipitaciones en 24 h) desarrollando un análisis para la caracterización de la información histórica, así como para su tratamiento en procesos de consistencia y completación de datos.

- c) La estadística predictiva para la información histórica de los datos hidrometeorológicos y la determinación de la variable caudal de máximas avenidas para diferentes períodos de retorno.
- d) Modelamiento numérico tanto para determinar la hidrología de la cuenca de estudio, así como la hidráulica del río y su comportamiento en la zona de su entorno de influencia para diferentes escenarios.

3.5. PROCEDIMIENTO

En presente trabajo se desarrolló teniendo en cuenta tres fases muy importantes, las cuales son complementarias entre sí, y se correlacionan según lo indicado en la figura 5.

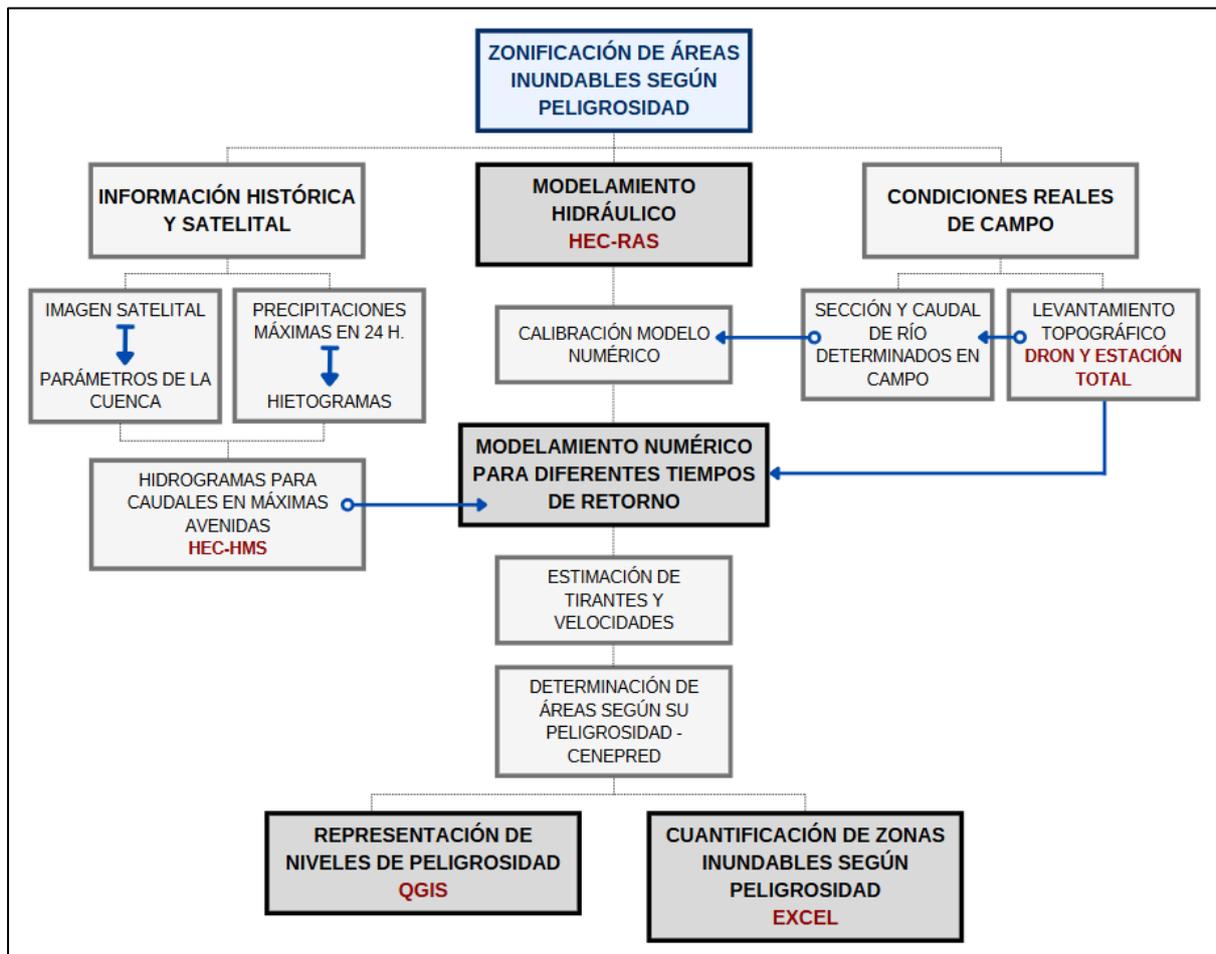


Figura 5. Fases para el desarrollo del trabajo de investigación.

3.5.1. PRIMERA FASE: Recopilación y tratamiento de información Histórica y Satelital

a) Recopilación de información cartográfica y satelital.

En cuanto a la información cartográfica para la delimitación y obtención de los parámetros geomorfológicos necesarios para una interpretación y correcto cálculo de los caudales que escurren sobre el lecho del río La Encañada, se optó por utilizar imágenes satelitales descargadas de portal MINEDU, los modelos digitales fueron generados con las imágenes satelitales ASTER, con una resolución espacial de 30 m. Dicha imagen se presenta en la figura 6, parte inferior izquierda.

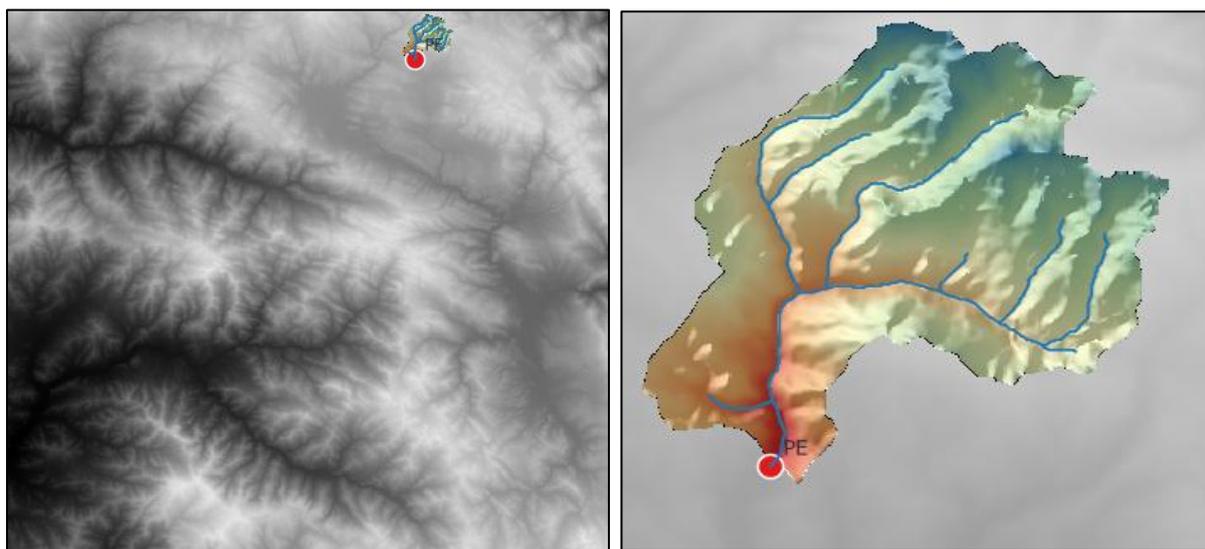


Figura 6. Modelo de elevación digital y delimitación de cuenca La Encañada.

b) Determinación de parámetros geomorfológicos de la Cuenca

Dada la naturaleza de la investigación se determinaron los parámetros geomorfológicos necesarios para la investigación, se utilizaron las herramientas dinámicas del QGIS software libre de procesamiento de información geográfica digital, teniendo en cuenta la topografía generada que se muestra en el plano de la figura 7, determinándose los parámetros necesarios para la investigación que se encuentran en la tabla 5.

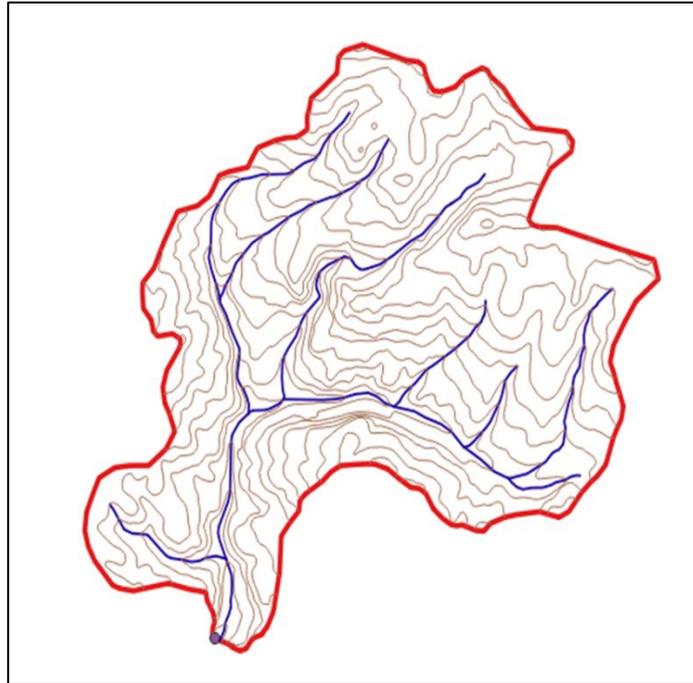


Figura 7. Cuenca hidrográfica La Encañada.

Tabla 5. Valores de los parámetros geomorfológicos necesarios de la cuenca.

PARAMETROS DE LA CUENCA		
Parámetro	Valor	Unidad
Área	40.890	km ²
Perímetro	32.281	km
Longitud cauce principal	9068.570	m
Cota máxima cuenca	3994.000	m.s.n.m
Cota mínima cuenca	3107.000	m.s.n.m
Altitud media	3716.000	m.s.n.m
Longitud todo los cauces	30.066	km
Coefficiente de compacidad (Kc)	1.420	adim.
Pendiente promedio de la cuenca	23.966	%

El tiempo de concentración para la cuenca del río La Encañada se calcula utilizando la fórmula (11), obteniéndose un valor de 61 minutos.

c) Número de Curva para la cuenca en estudio

Utilizando la información en Google Earth se identifica la información necesaria para cobertura vegetal y de uso de suelo, con lo que se determina el número de curva utilizando la fórmula (12) y la tabla 6.

$$NC = \frac{\sum NC_i * A_i}{\sum A_i} \dots (12)$$

Tabla 6. Número de curva para diferente condición hidrológica y uso de suelos.

Uso de suelo		Condición hidrológica	Número de la curva (en base a grupo hidrológico)			
MC-ID	MC-Name		A	B	C	D
1	BOSQUE	B	25	55	70	77
2	SELVA	B	45	66	77	83
3	ARBUSTO	R	55	72	81	86
4	AGRICULTURA	R	65	76	84	96
5	PASTO	B	39	61	74	80
6	URBANO	Nulo	74	84	90	92
7	AGUA	M	99	99	99	99

d) Información sobre peligros de inundación - CENEPRED

La información sobre identificación de áreas inundables utilizada fue la que registra el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED), en su portal SIGRID, en el cuál de acuerdo a la ubicación de la zona de estudio se identificaron dos puntos con peligro de inundación, uno de los cuales fue seleccionado para la presente investigación, ya que representa una amenaza latente por que el distrito de la Encañada está expandiendo su crecimiento hacia la zona noroeste no respetándose la faja marginal del río. En la figura 8 se identifican tanto predios rurales como urbanos que se encuentran en el área de influencia del punto con peligro de inundación por desborde del río la Encañada. En el Anexo 01 se presenta la ficha técnica de la identificación de zona con peligro de inundación.

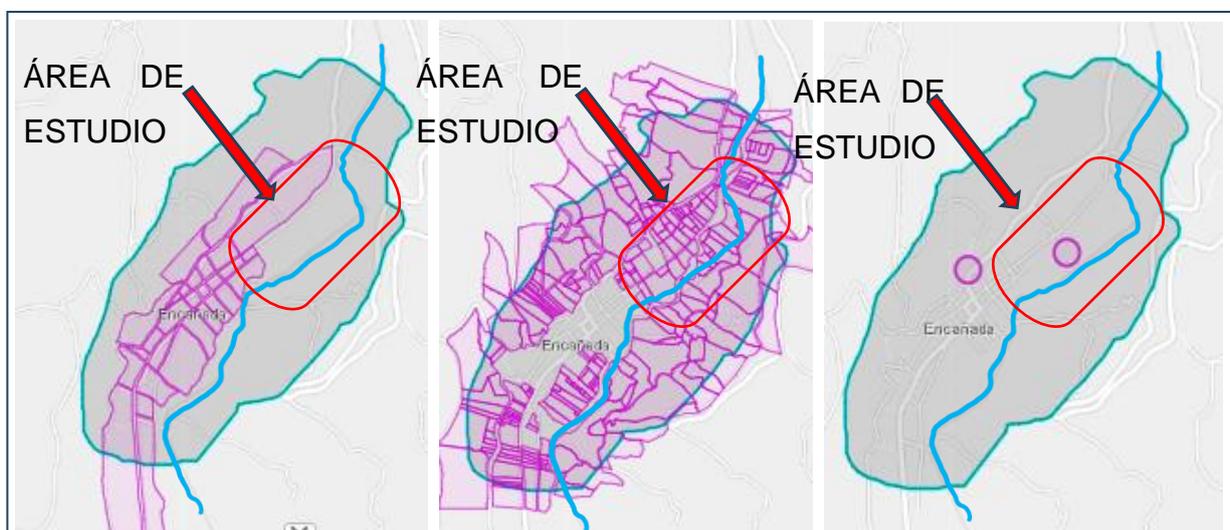


Figura 8. Identificación de registros de peligros de inundación SIGRID - CENEPRED.

Predios

Predios rurales

Puntos críticos -

e) Recopilación de información hidrológica.

Se utilizaron bases de datos gubernamentales como la Autoridad nacional del Agua (ANA) y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

f) Precipitaciones horarias estación La Encañada

Las precipitaciones máximas en 24 horas expresadas en mm, fueron obtenidas de dos fuentes:

PRIMERA FUENTE: ANA

Información que está registrada en su base digital Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua (ANDREA) de la plataforma de SNIRH (Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos) del ANA (Autoridad Nacional del Agua), se obtuvieron las precipitaciones máximas mensuales acumuladas en 24 horas para el período 1998-2018 (con la observación que para el año 2018 solo se tiene procesado hasta el mes de junio).



Figura 9. Fuente de descarga de datos de precipitaciones acumuladas en 24 horas en (mm) de la estación La Encañada.

SEGUNDA FUENTE: SENAMHI

Información que está registrada en la base de datos de SENAMHI, en cuya estación se tienen registrados los datos de las precipitaciones diarias en 24 horas, las cuales serán procesadas para obtener las precipitaciones máximas mensuales para completar la información del ANA desde el mes de julio del 2018 hasta diciembre del 2023.

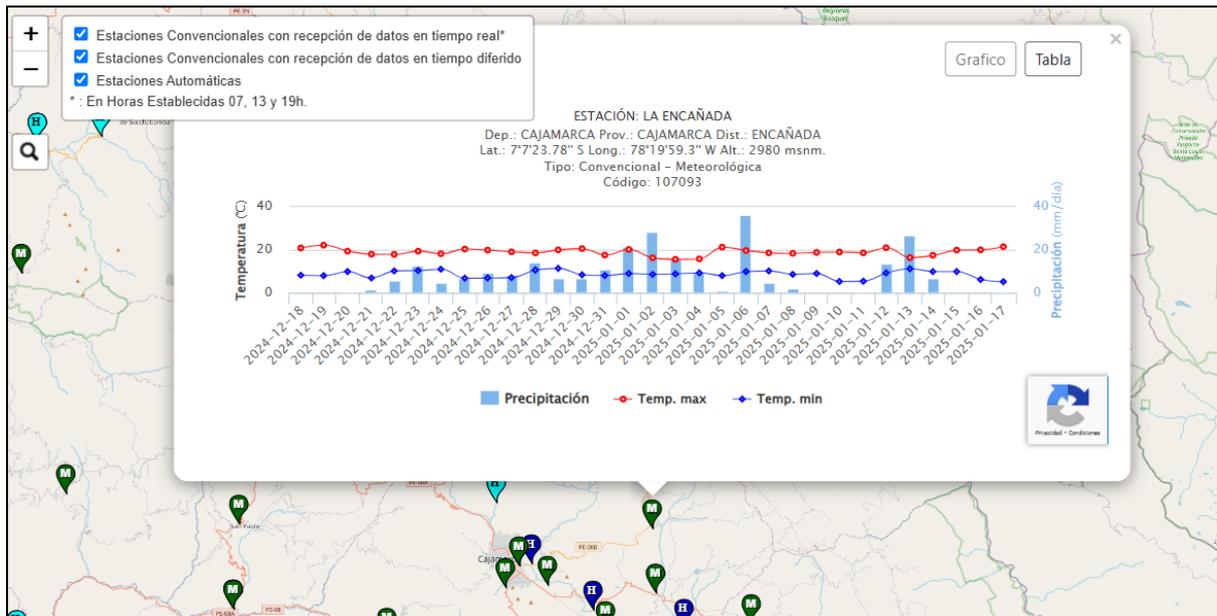


Figura 10. Información de precipitaciones diarias para los años 2018 al 2023. Fuente: SENAMHI.

INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS – ESTACIÓN LA ENCAÑADA.

Se desarrolla el consolidado de las precipitaciones máximas en 24 horas para la estación La Encañada, los resultados se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7. Información de precipitaciones máximas en 24 horas – Estación La Encañada.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
1998	14.6	30.2	18.9	28.6	15.8	3.9	0.4	4.4	16.4	33.4	9.5	21.8	33.4
1999	13.3	25.2	26	13.4	23	18.3	7.3	4.7	21.4	11.2	21.5	16.2	26
2000	8.9	15.8	21.7	14.5	12.3	6	0.5	6.1	13.4	1.6	11.5	15.2	21.7
2001	43.8	26.3	21.9	24.1	12.8	0.3	1.4	0.8	8.4	28	16.9	13.2	43.8
2002	12.1	24.6	33.5	17.6	3.5	3.8	1.4	1.1	13.1	24.7			33.5
2003	9.4	18.2	23.1	18.6	9.5	14.2	0	6.6	7.2	18.6	28.1	18.8	28.1
2004	27.3	14.5	16.8	14.1	10.9	2.8	9.4	0.5	10.8	34.9	11.9	19.4	34.9
2005	18.6	17.2	28.6	9.6	19.8	4.7	1.2	4.7	2.9	17.8	11.1	16	28.6
2006	21.7	22.2	26.7	41.5	4.6	9.5	8.6	2.9	13.3	20.5	11.4	13.2	41.5
2007	15.7	14.6	40.6	18.5	15.4	0	8	1.4	16.5	19.9	23.7	20.1	40.6
2008	23.8	16.8	23.1	23.2	8.3	7.6	5.8	6.3	20	32.3	21.3	15.4	32.3
2009	24.2	9.7	42.3	17.3	25.2	3	4.5	5.4	4.6	16	20.7	23.3	42.3
2010	11.7	22.3	28.8	15.4	22.6	6.2	4.2	0	7.3	23.9	19.9	20.8	28.8
2011	13.3	23.2	14.1	23.1	17.9	0.4	7.7	0	9.9	7.8	15.3	11.9	23.2
2012	22.2	21.7	19.4	16.7	12.6	10	0	7.5	1.5	21.5	24.7	12.6	24.7
2013	8.2	23.4	16.8	12.9	17.2	9.6	1.7	4.7	0	29.3	14.1	14	29.3
2014	19.1	28.5	30	12.9	12.1	0	0.2	0.4	14.5	14.4	27.7	22	30
2015	29.3	20.1	22.7	17.4	17.8	1.9	5.3	0	1.4	6.3	18.4	4.3	29.3
2016	14.6	16.4	24.9	18.4	2.1	8.5	0.5	0.9	17.3	24.6	4.8	31.8	31.8
2017	14.7	20.2	26.8	15.6	12	5	3.2	15.7	4.1	21.8	13.2	18.6	26.8
2018	14.6	20.9	18.3	20.8	16.8	3.8	0	0	20.8	26.5	28.8	13.3	28.8
2019	12.4	27.8	27	25.6	16	12	2.7	0	9.2	16.7	12.5	24.4	27.8
2020	20.6	17.2	23.6	21.4	20.3	12.4	23.1	0.9	9.7	23.1	22.6	37.9	37.9
2021	20	47.6	40.4	15.9	21.2	10.7	0.9	5.2	6.8	33.3	48	21.8	48
2022	17.6	44.6	37.4	28.9	12.2	9.8	3.2	4.6	17.2	21.3	3.5	28.3	44.6
2023	45.2	52.8	32.8	21.2	16.3	3.2	3.5	8.8	9	25.6	19.6	27.3	52.8
PROMEDIO	19.11	23.92	26.39	19.51	14.55	6.45	4.03	3.60	10.64	21.35	18.43	19.26	

g) Precipitaciones máximas en 24 horas para la cuenca de estudio

Las precipitaciones máximas en 24 horas obtenidas para la estación la encañada se llevó por transposición de datos a la altitud representativa de la cuenca de estudio (altitud media), teniendo en consideración también que al ser datos con una sola medición diaria se debe aplicar un coeficiente de corrección (1.13) y un factor de altitud de (3716/2980) donde el numerador es la altitud media de la cuenca y el denominador es la altitud de la estación La Encañada. Los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Precipitaciones máximas en 24 horas – cuenca del río La Encañada.

AÑO	PP Máx conocida E. Encañada (mm)	PP Máx corregida E. Encañada (mm)	PP Máx corregida cuenca La Encañada (mm)
1998	33.4	37.7	47.06
1999	26	29.4	36.64
2000	21.7	24.5	30.58
2001	43.8	49.5	61.72
2002	33.5	37.9	47.20
2003	28.1	31.8	39.60
2004	34.9	39.4	49.18
2005	28.6	32.3	40.30
2006	41.5	46.9	58.48
2007	40.6	45.9	57.21
2008	32.3	36.5	45.51
2009	42.3	47.8	59.60
2010	28.8	32.5	40.58
2011	23.2	26.2	32.69
2012	24.7	27.9	34.80
2013	29.3	33.1	41.29
2014	30	33.9	42.27
2015	29.3	33.1	41.29
2016	31.8	35.9	44.81
2017	26.8	30.3	37.76
2018	28.8	32.5	40.58
2019	27.8	31.4	39.17
2020	37.9	42.8	53.40
2021	48	54.2	67.64
2022	44.6	50.4	62.85
2023	52.8	59.7	74.40

h) Ajuste a una función de distribución de probabilidades

La información histórica de las precipitaciones máximas corregidas para la altitud media representativa de la cuenca del río La Encañada, fueron ajustadas a a diferentes modelos de distribución para determinar a cuál de ellos se ajusta mejor la información y así proveer de la información necesaria para la elaboración de los hietogramas.

Se utilizó la herramienta de simulación HIDROESTA, para desarrollar el ajuste a las funciones de distribución Normal, Log Normal 2 parámetros, Log normal 3

parámetros; Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Pearson tipo III, Gumbel y Log Gumbel. Los resultados se encuentran en el Apéndice 02.

i) Determinación del período de retorno (T)

Se tomó en cuenta los siguientes las condiciones de los elementos inmersos en la zona de estudio, los peligros y vulnerabilidades para estimar los valores de los riesgos admisibles “R” y el número de años de análisis “N”, teniendo los resultados en la Tabla 9 luego de aplicar la ecuación (11).

Tabla 9. Tiempos de retorno estimados para los elementos analizados.

N (años)	Tipo de elemento	R (%)	T (años)_{calc}	T(años)
30	Mercado distrital	10	285.24	285.00
	Viviendas	20	134.94	135.00
	Puentes C°	30	84.61	85.00
	Areas de cultivo	45	50.68	50.00

j) Elaboración de Hietogramas

Conocidos los períodos de retorno “T” y las precipitaciones máximas en 24 h, para la cuenca obtenidas a partir del modelo de distribución seleccionado (Log normal de 3 parámetros), se procedió a construir los Hietogramas para los 4 tiempos de retorno seleccionados utilizando el método de bloques alternos, considerando una duración de la tormenta representativa de 14 horas según el mapa de duraciones promedio para el Perú representado en la figura 11.

Tabla 10. Precipitaciones máximas en 24 horas en mm. para cada tiempo de retorno.

Tipo de elemento	R (%)	T(años)	PP_{24h}(mm)
Mercado distrital	10	285.00	96.78
Viviendas	20	135.00	88.82
Puentes C°	30	85.00	83.99
Areas de cultivo	45	50.00	78.55

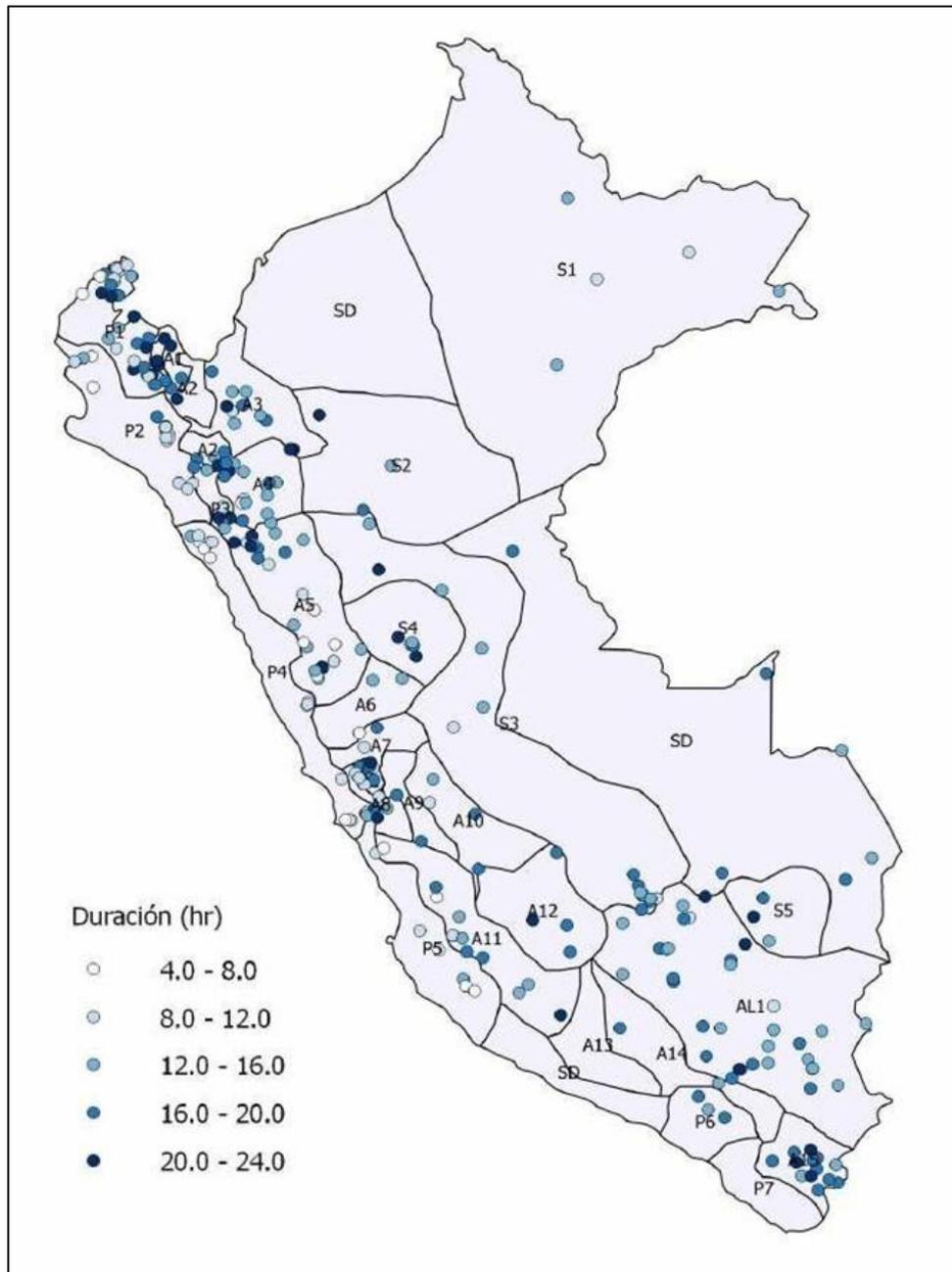


Figura 11. Mapa de duración de tormentas Perú. Fuente: <https://www.researchgate.net>

3.5.2. SEGUNDA FASE: Recopilación y procesamiento de información de campo

a) Levantamiento topográfico con Dron.

Dada la magnitud del área del levantamiento topográfico y el nivel de precisión requerido en la investigación se estimó conveniente para el área de influencia del peligro de inundación por desborde del río La Encañada desarrollarlo con un Drone Phantom 4 Pro, con los siguientes pasos:

- Planificación del vuelo. ...
- Configuración del vuelo en el campo. ...
- Vuelo y recopilación de imágenes. ...
- Referenciación geográfica de las imágenes.
- Procesamiento de la información con restitución de imágenes utilizando la fotogrametría.



Figura 12. Levantamiento topográfico con Drone Phantom 4 Pro.



Figura 13. Levantamiento topográfico en 3D del área de estudio.

b) Levantamiento topográfico con Estación total

Debido a que un vuelo de dron en un levantamiento topográfico arroja datos con un nivel de precisión muy adecuados pero al tomar la información desde el aire sobre el terreno a una altura determinada existe mucha probabilidad que la vegetación oculte algunos elementos importantes para el análisis de la investigación por lo que se hizo necesario desarrollar un levantamiento topográfico a nivel de detalle del lecho del río

con estación total y puntos de apoyo para el ensamblaje adecuado con el levantamiento con dron.



Figura 14. Uso de estación total para levantamiento del lecho del río y ensamblaje a imagen.



Figura 15. Levantamiento topográfico con ensamblaje de puntos del río.

c) Caracterización del río según información en campo.



Figura 16. Tipo de lecho del río representativo en la zona de estudio.

El río La Encañada en el tramo de estudio puede clasificarse como:

Un río con un patrón de drenaje Dendrítico dada la forma de sus afluentes tipo ramificaciones, en el tramo más desfavorable se puede decir que según su geomorfología es un río meándrico dado que existe una doble curvatura en su recorrido, según su comportamiento podemos decir que es un río torrencial debido a que se suaviza la pendiente y empiezan a aparecer las características fluviales. Su clasificación según el material de fondo se puede decir que es un río de lecho no cohesivo como puede notarse en la figura 16.

d) Selección y toma de datos de sección de río para calibración de modelo.

Debido a que no cuenta con información documentada de áreas inundables y puntos de desborde del río La Encañada, se optó por tomar información de una sección de río recta una sección transversal al flujo representativa, así como sus características geométricas como área de la sección, perímetro mojado y coeficiente de rugosidad

de Manning para el tipo de material en el lecho del río, con lo que determinó el caudal estimado en campo.

Con dicho caudal y los tirantes de la sección representativa se procederá a la calibración del modelo numérico determinando por tanteos el coeficiente de rugosidad en el modelo HecRas para el río el cual se encontró calibrado cuando se encontró una coincidencia con un error máximo del 5%.



Figura 17. Sección del río seleccionada para calibración del modelo numérico.

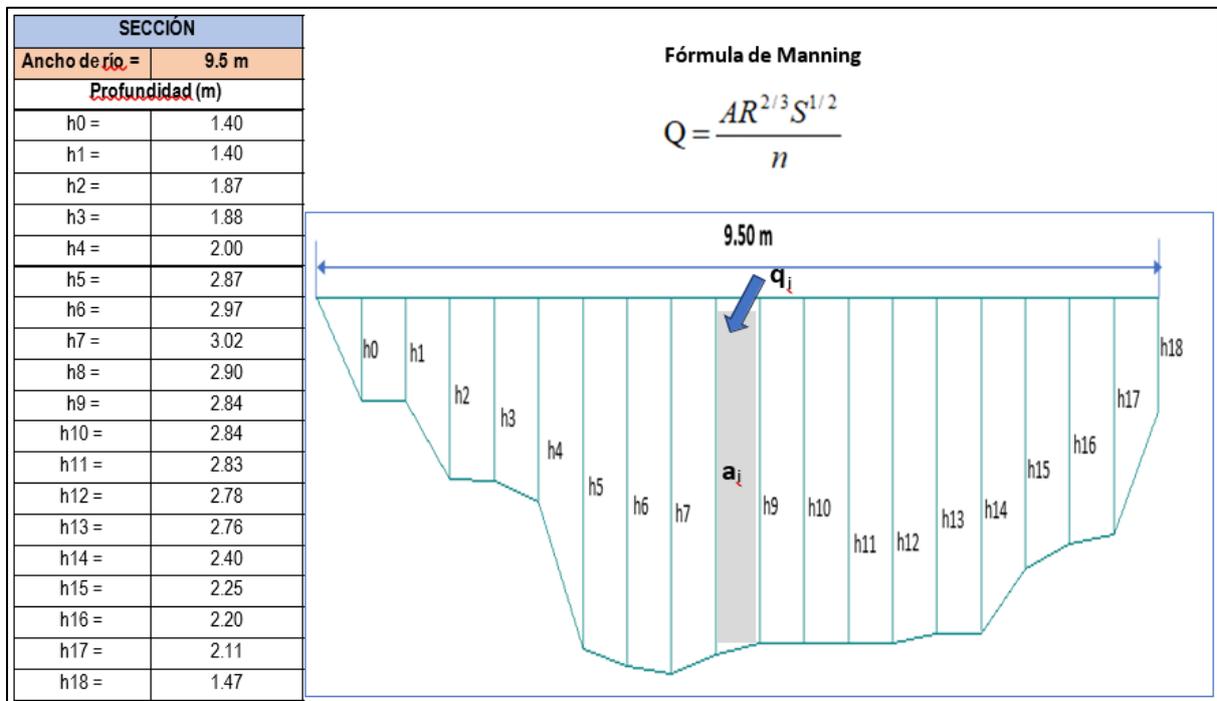


Figura 18. Medidas de la sección transversal para determinar el caudal de campo.

Se determinó el caudal real en campo en la sección de estudio utilizando la fórmula de Manning indicada en la figura 18 con la siguiente información procesada:

Tabla 11. Determinación del caudal real de campo para calibración del modelo

Área "ai" (m ²)	Perímetro mojado "P"(m)	R = ai/P (m)	Pendiente del río (S)	C. Manning (n)	qi (m ³ /s)
0.350	3.300	0.106	0.03	0.04	0.39
0.700	3.300	0.212	0.03	0.04	1.23
0.935	4.370	0.214	0.03	0.04	1.66
0.940	4.260	0.221	0.03	0.04	1.70
1.000	4.500	0.222	0.03	0.04	1.82
1.435	6.240	0.230	0.03	0.04	2.67
1.485	6.440	0.231	0.03	0.04	2.76
1.510	6.540	0.231	0.03	0.04	2.81
1.450	6.300	0.230	0.03	0.04	2.69
1.420	6.180	0.230	0.03	0.04	2.64
1.420	6.180	0.230	0.03	0.04	2.64
1.415	6.160	0.230	0.03	0.04	2.63
1.390	6.060	0.229	0.03	0.04	2.58
1.380	6.020	0.229	0.03	0.04	2.56
1.200	5.300	0.226	0.03	0.04	2.21
1.125	5.000	0.225	0.03	0.04	2.06
1.100	4.900	0.224	0.03	0.04	2.01
1.055	4.720	0.224	0.03	0.04	1.92
0.368	3.440	0.107	0.03	0.04	0.41
Caudal total para la sección de calibración Q(m³/s)					39.37

e) Medios de vida y estructuras dentro del área de investigación

En el área de influencia del estudio se identificaron los siguientes medios de vida y estructuras de mayor relevancia:



Figura 19. Puente carrozable de concreto con tablero de madera y acero, viviendas en las riberas del río.



Figura 20. Zonas de cultivos y pastos.



Figura 21. Comercio ambulante y venta de animales en mercado distrital de los días domingo.



Figura 22. Puente de concreto con apoyos contruidos en forma artesanal.

3.5.3. TERCERA FASE: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico

3.5.3.1. MODELAMIENTO HIDROLOGICO

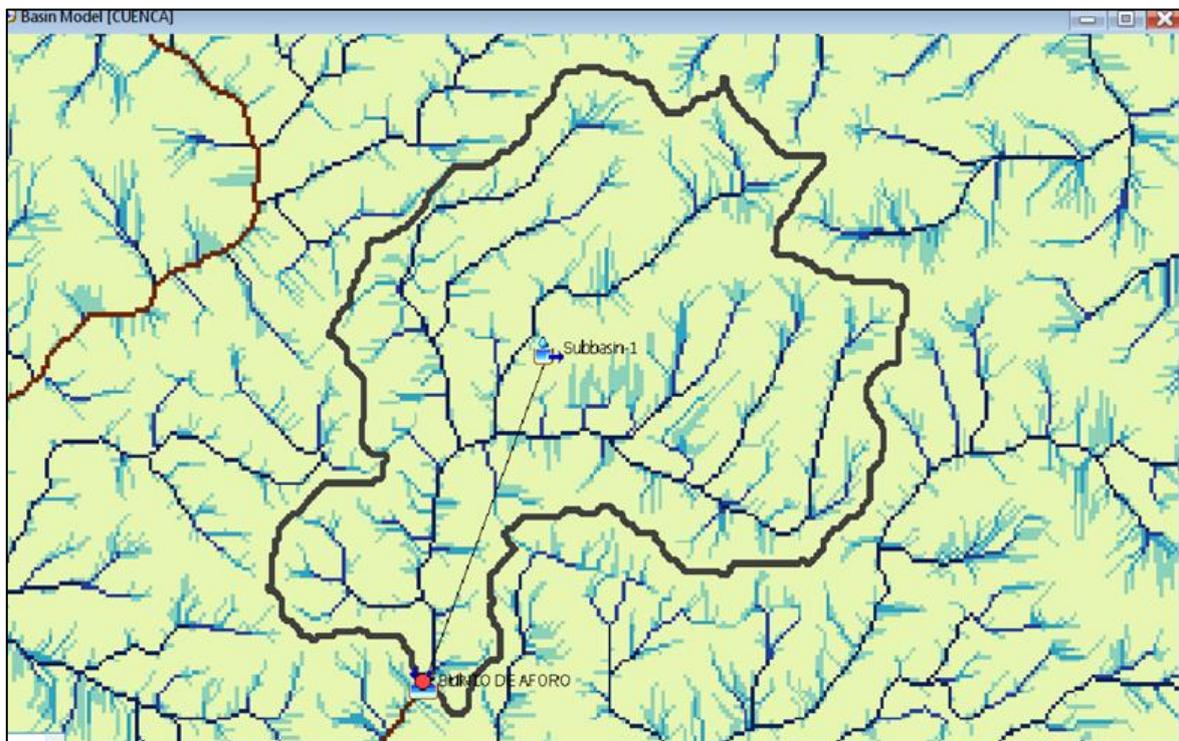


Figura 23. Modelo numérico en HechHms de la cuenca del río La Encañada.

En la figura 23 se presenta el modelo planteado para la simulación considerando una estación pluviométrica y una estación hidrométrica en el punto de salida de la cuenca, la estación pluviométrica será alimentada con los datos de los hietogramas y las características geomorfológicas de la cuenca.

Con la información recopilada y procesada en la primera y segunda fase desarrolladas anteriormente se procedió a modelar numéricamente la cuenca hidrológica utilizando el modelo HechHms, para determinar básicamente los hidrogramas de los caudales máximos extraordinarios para los períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años, los cuales se pueden visualizar en las figuras 24, 25, 26 y 27 respectivamente.

El proceso completo de modelamiento se encuentra en el apéndice 02 del presente informe.

3.5.3.2. MODELAMIENTO HIDRÁULICO

Software HecRas: El modelamiento hidráulico se desarrolló con el modelo numérico HecRas, para el modelamiento se tuvo en consideración tres etapas bien definidas, como son:

- Primera: Creación e ingreso de información de campo y de gabinete.
- Segunda: Calibración del modelo.
- Tercera: Simulación para cuatro períodos de retorno.

El proceso completo con las tres etapas se detalla en el Apéndice 03 de este informe.

Las figuras 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 representan los tirantes y las velocidades para los diferentes períodos de retorno estimados para la presente investigación.

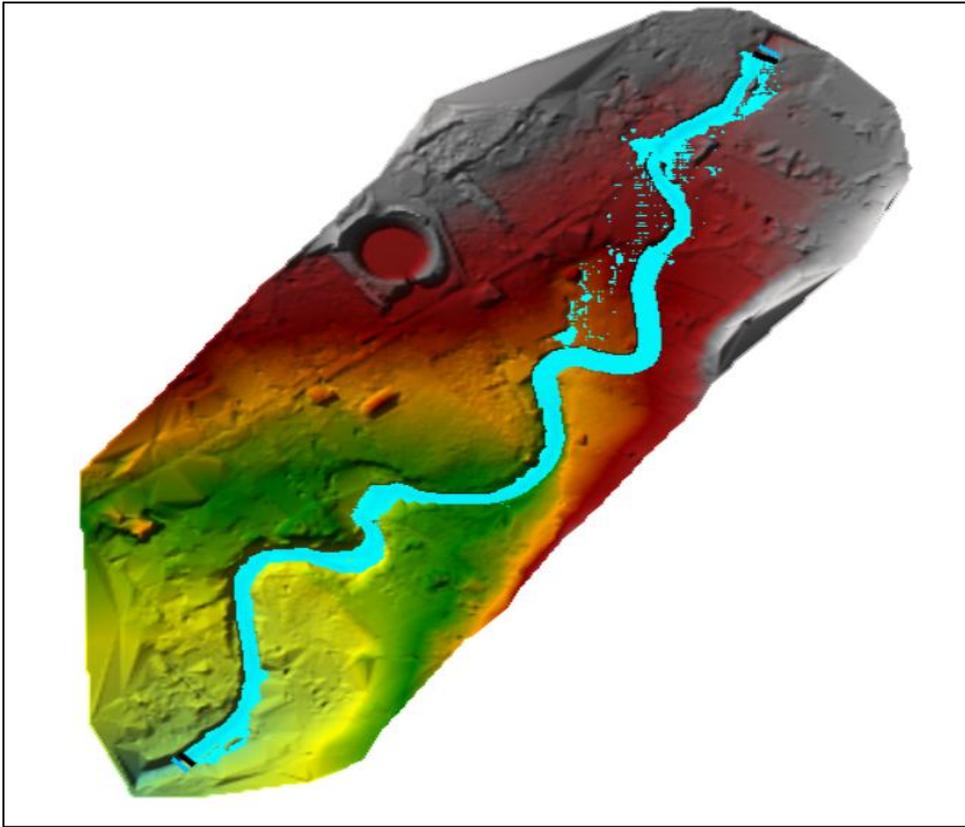


Figura 24. Tirantes para el período de retorno de 50 años.

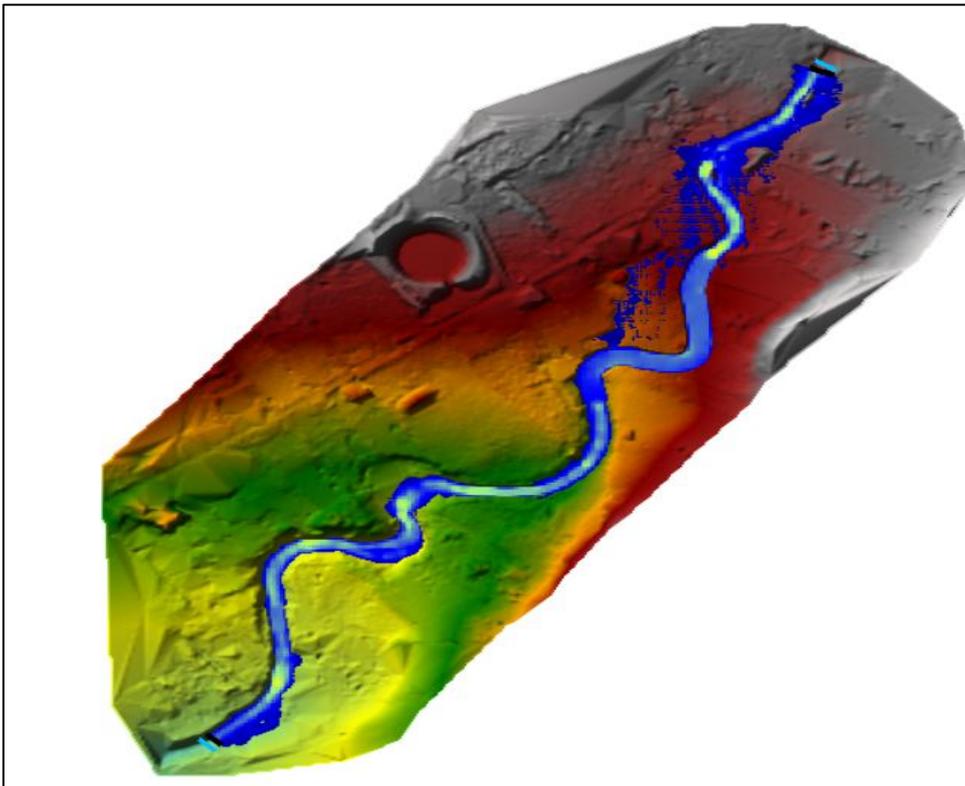


Figura 25. Velocidades para el período de retorno de 50 años.

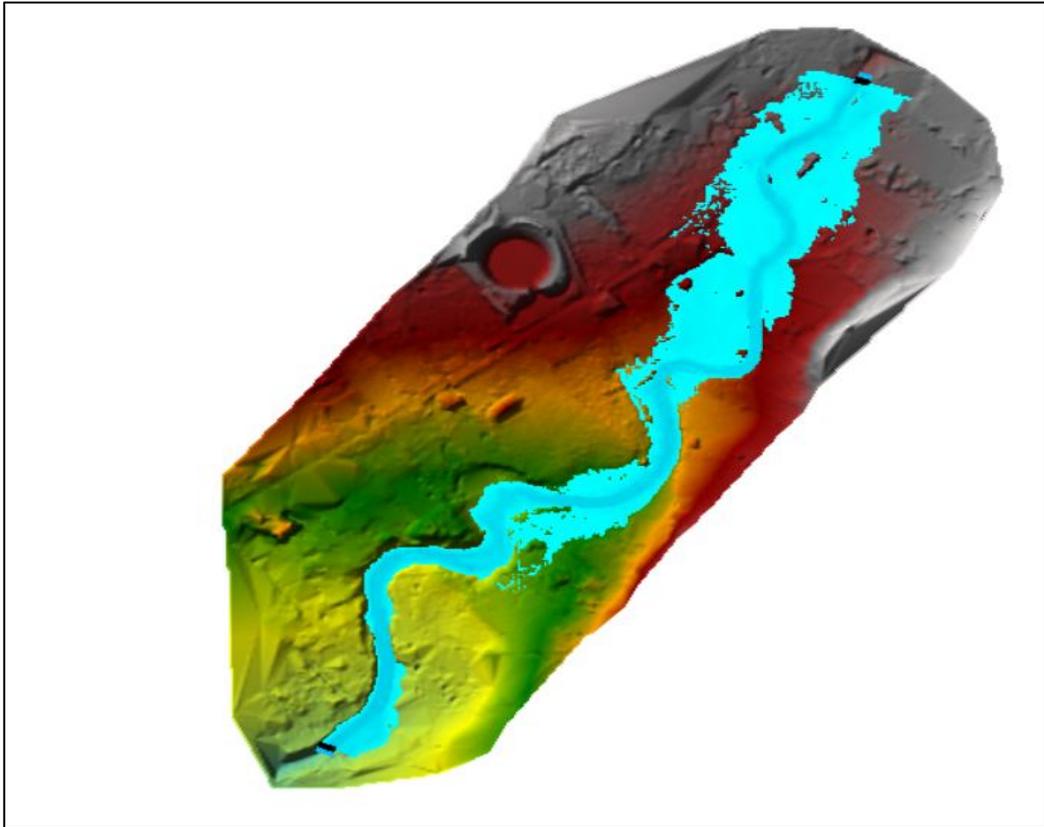


Figura 26. Tirantes para el período de retorno de 85 años.

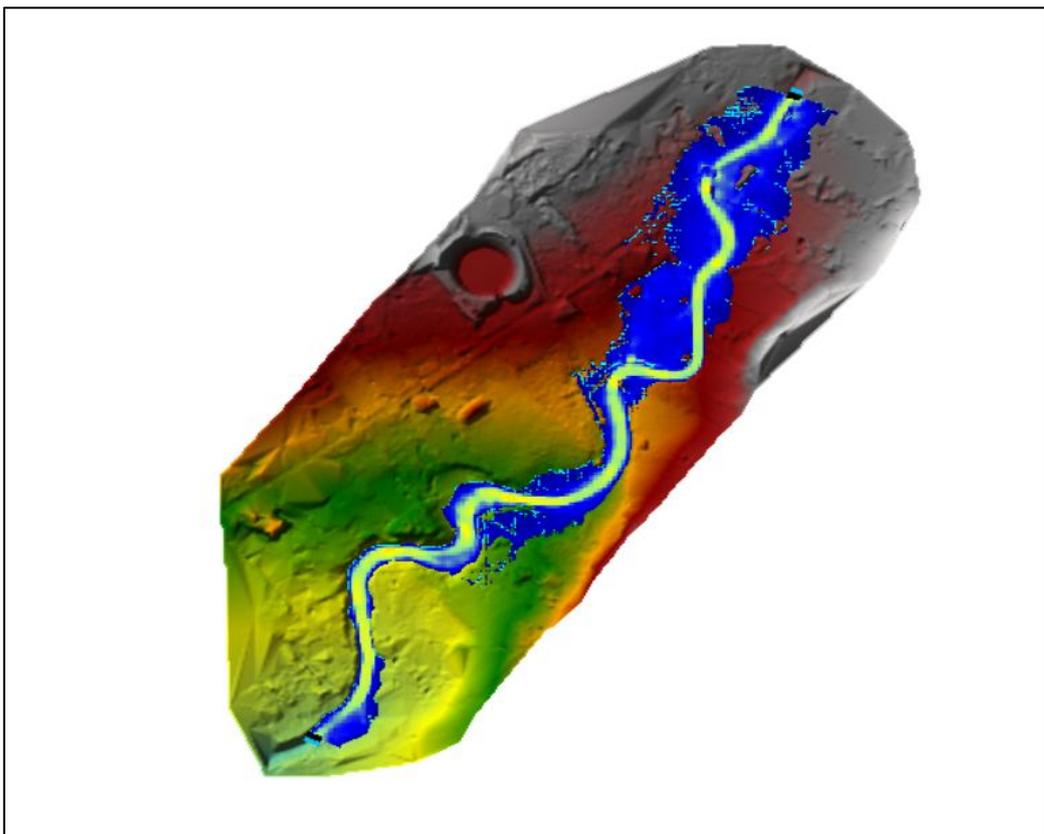


Figura 27. Velocidades para el período de retorno de 85 años.

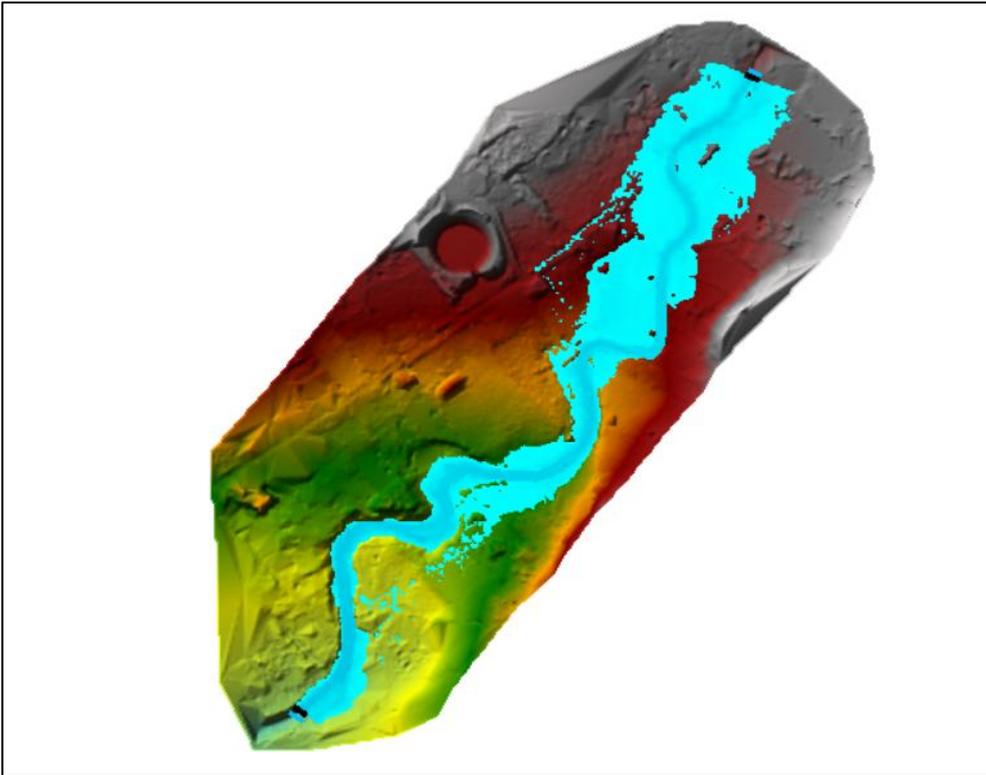


Figura 28. Tirantes para el período de retorno de 135 años.

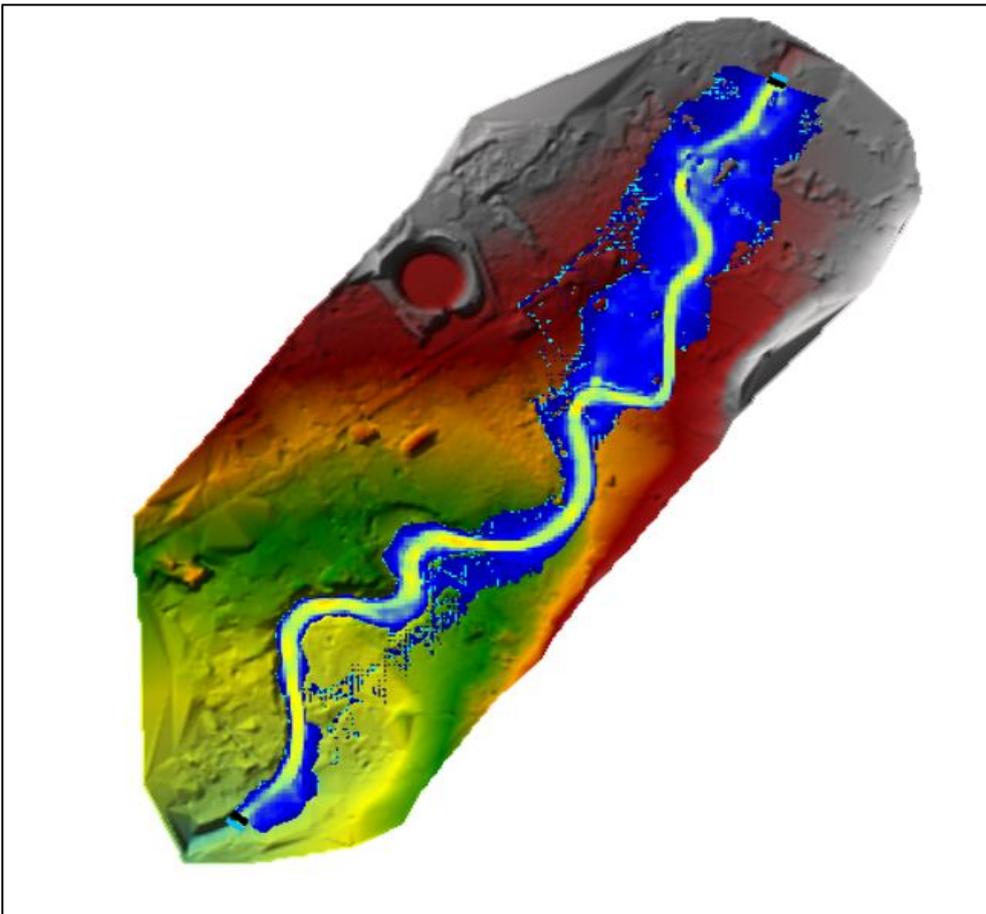


Figura 29. Velocidades para el período de retorno de 135 años.

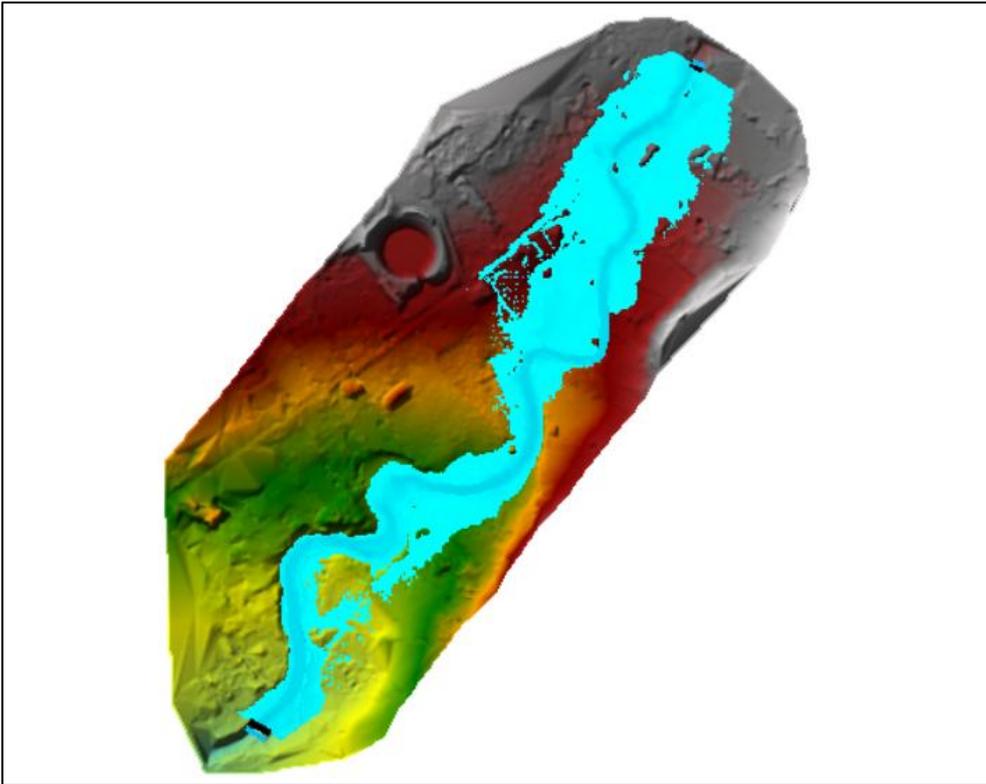


Figura 30. Tirantes para el período de retorno de 285 años.

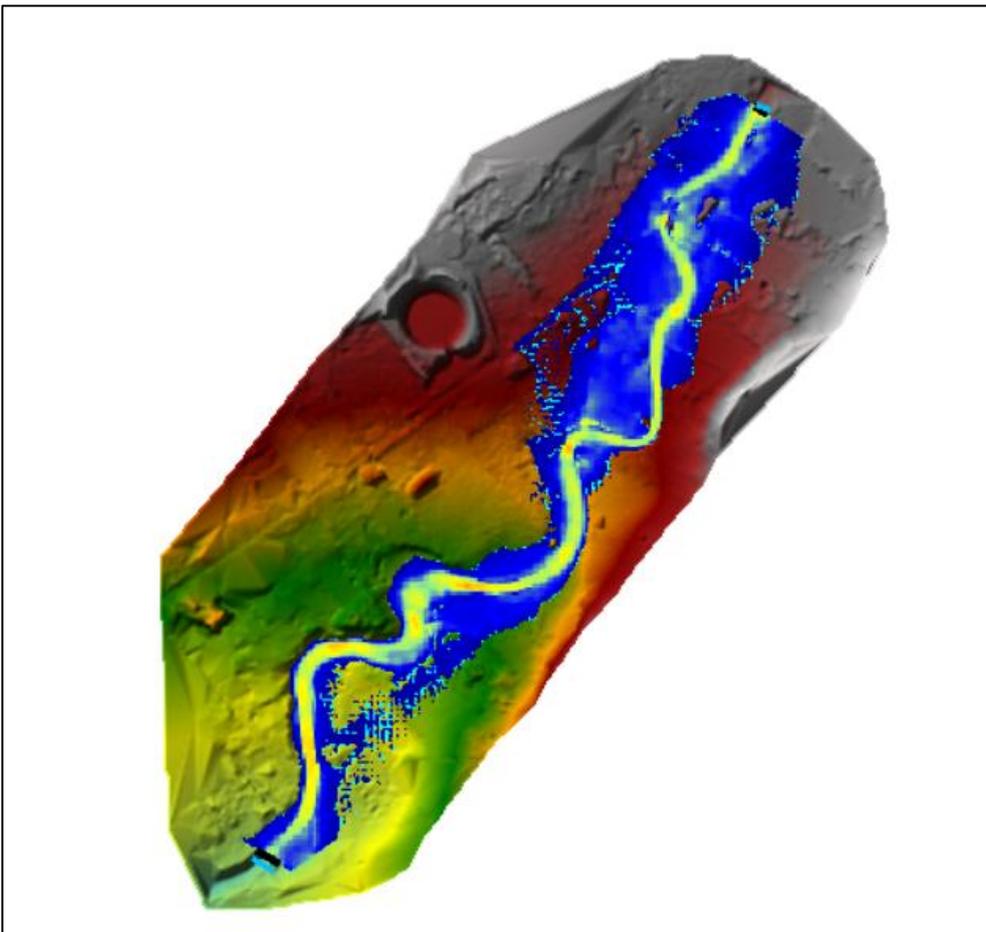


Figura 31. Velocidades para el período de retorno de 285 años.

Software Qgis: Con la información del modelamiento numérico correspondiente a los niveles de agua (tirantes) y las velocidades en las áreas inundadas se procedió a la exportación de esta información al Qgis para mediante el producto entre los valores del tirante con la velocidad obtener los niveles de peligro de inundación para todas las zonas inundadas en estudio.

Se utilizó la metodología CENEPRED, para la calificación del peligro de inundación por desborde de ríos, los cuales se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Peligro de inundación según categorías (CENEPRED).

CATEGORIA	V*H
BAJO	$VH < 0.25$
MEDIO	$0.25 \leq VH < 0.5$
ALTO	$0.5 \leq VH < 1.5$
MUY ALTO	$1.5 \leq VH < X$
LECHO DE RIO	$VH \geq X$

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1.1. Caracterización del tramo de río estudiado

El tramo en estudio del río La Encañada ubicado en el sector Noreste de la ciudad de La Encañada se puede decir que según su geomorfología es un río meándrico dado que existe una doble curvatura en su recorrido, según su comportamiento podemos decir que es un río torrencial debido a que se suaviza la pendiente y empiezan a aparecer las características fluviales. Su clasificación según el material de fondo se puede decir que es un río de lecho no cohesivo como puede notarse en la figura 32.

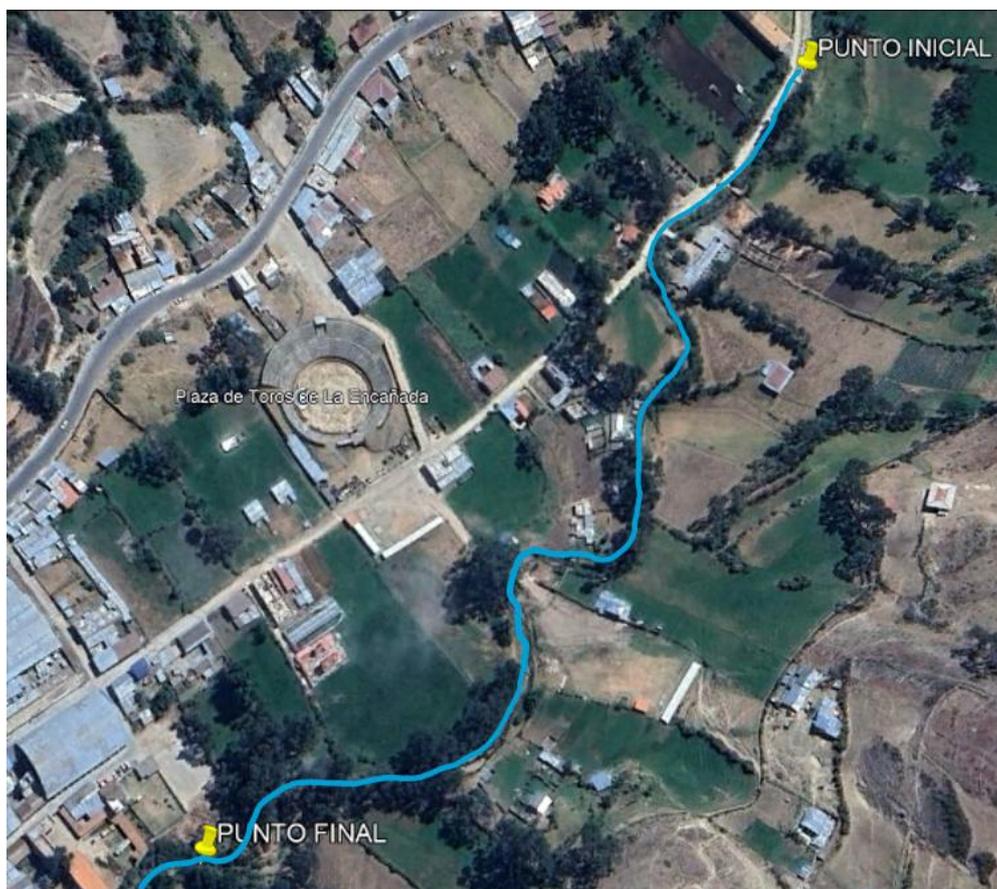


Figura 32. Recorrido del río con estructuras y medios de vida en peligro de inundación áreas de influencia.

4.1.1. Caracterización de eventos históricos relacionados.

Hace 46 años ocurrió una inundación muy importante en el área de estudio. Según la información hablada que se pudo recuperar de los pocos habitantes tan antiguos de la zona con conciencia del evento ocurrido se estima que el caudal máximo más cercano a este evento es el correspondiente al del Tiempo de Retorno de 85 años que viene a ser de 112 m³/s.

Esto se ha podido inferir a partir de las estimaciones de tirantes recordadas por los habitantes a quienes se les consultó. Ellos indicaron que aproximadamente esta inundación ocupó gran parte del área de estudio hasta antes de donde se encuentra el coliseo y que los tirantes fueron de aproximadamente 80 cm de alto.

4.1.2. Caracterización de las áreas inundables

Actualmente las áreas inundables de la zona se encuentran en su mayoría cubiertas de pastizales, áreas de cultivo y lotizaciones que aún no han sido habitadas.

Como se pueden observar en la ortofoto de la zona de estudio, las áreas inundables se han clasificado en 4 según el medio de vida presente, las cuales serían de menor a mayor peligrosidad: Áreas de cultivo, Puentes de Concreto Artesanales, Viviendas y el Mercado Distrital; donde la pérdida de vidas humanas representa la mayor consecuencia de una inundación de gran envergadura en la zona.

4.1.3. Parámetros geomorfológicos

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río la encañada son los siguientes indicados en la Tabla 13 de los cuales el área de 40.890 km² será utilizado para el modelo en Hec-HHMS.

Tabla 13. Valores de los parámetros geomorfológicos necesarios de la cuenca.

PARAMETROS DE LA CUENCA		
Parámetro	Valor	Unidad
Área	40.890	km ²
Perímetro	32.281	km
Longitud cauce principal	9068.570	m
Cota máxima cuenca	3994.000	m.s.n.m
Cota mínima cuenca	3107.000	m.s.n.m
Altitud media	3716.000	m.s.n.m
Longitud todo los cauces	30.066	km
Coefficiente de compacidad (Kc)	1.420	adim.
Pendiente promedio de la cuenca	23.966	%

El tiempo de concentración para la cuenca del río La Encañada se calcula utilizando la fórmula (8), obteniéndose un valor de 61 minutos.

Ajuste a una distribución de probabilidad teórica.

La información de precipitaciones en 24 horas se ajustó al modelo de distribución de probabilidad Log Normal 3 parámetros.

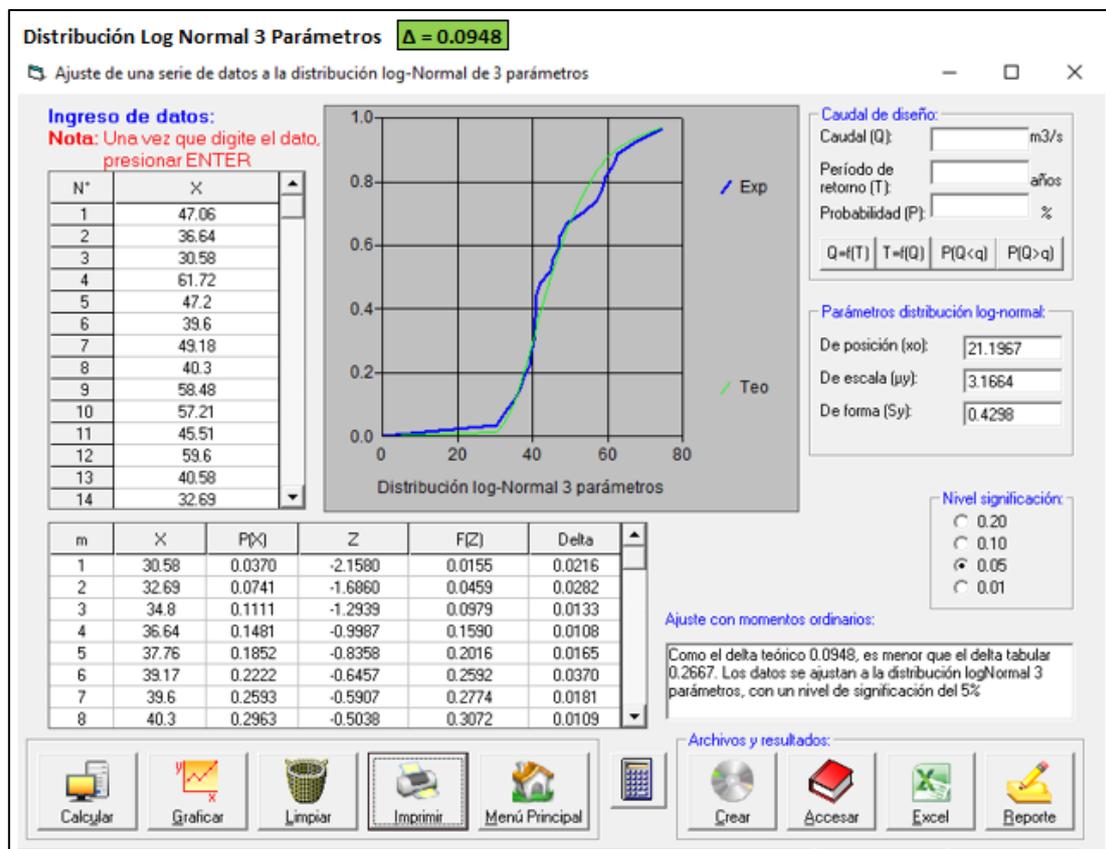


Figura 33. Distribución con mejor ajuste de la información (Log Normal 3 parámetros).

Número de Curva (NC): El número de curva para la cuenca colectora hasta el punto de aforo de la cuenca del Río La Encañada se ha calculado mediante la ecuación (12), obteniendo los valores descritos en la Tabla 14 a partir de los datos de la Figura 34.

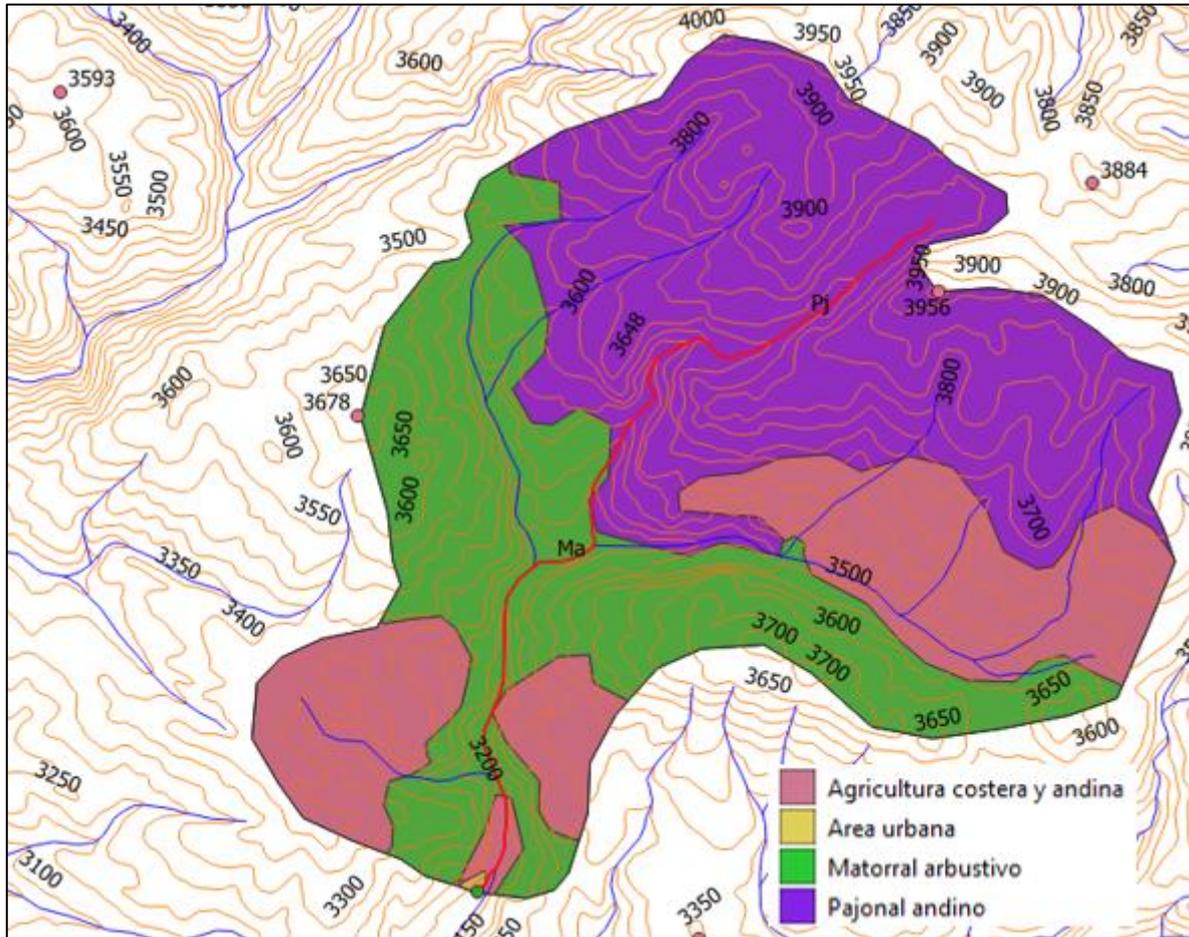


Figura 34. Mapa de cobertura y uso de suelo.

Tabla 14. Áreas y número de curva por tipo de cobertura de la cuenca.

Grupo hidrológico	Cobertura vegetal	Número de curva	Área (Km ²)	Área acumulada	NC_i*A_i
B	Agricultura andina	76	9.583	9.583	728.308
B	Área urbana	84	0.032	9.615	2.688
B	Matorral arbustivo	72	12.963	22.578	933.336
B	Pajonal andino y pastos	61	18.314	40.892	1117.154
			$\sum A_i = 40.892$		$\sum NC_i * A_i = 2781.486$

Con los datos de la tabla 14 aplicando la fórmula 12, se encuentra que el número de curva representativo de la cuenca es de **68**.

4.1.4. Hietogramas de precipitación

Para determinar los Hietogramas de Precipitación se utilizó la información de precipitaciones en 24 horas para la altitud media de la cuenca obtenidas de las fuentes ANA y SENAHMI para el periodo del 1998-2023. Se realizó el modelado en el programa de simulación hidrológica Hec-Hms para periodos de retorno de 50, 85, 135 y 285 años determinados a partir de la información de campo para las estructuras más representativas y medios de vida del área de estudio,

La duración de la tormenta representativa se obtuvo del mapa de duración de tormentas confeccionado para Perú que es de 14 horas promedio para la zona de estudio como se puede visualizar en la Figura 35.

Tabla 15. Precipitaciones máximas en 24 horas en mm. para cada tiempo de retorno.

Tipo de elemento	R (%)	T(años)	PP24h(mm)
Mercado distrital	10	285.00	96.78
Viviendas	20	135.00	88.82
Puentes C°	30	85.00	83.99
Areas de cultivo	45	50.00	78.55

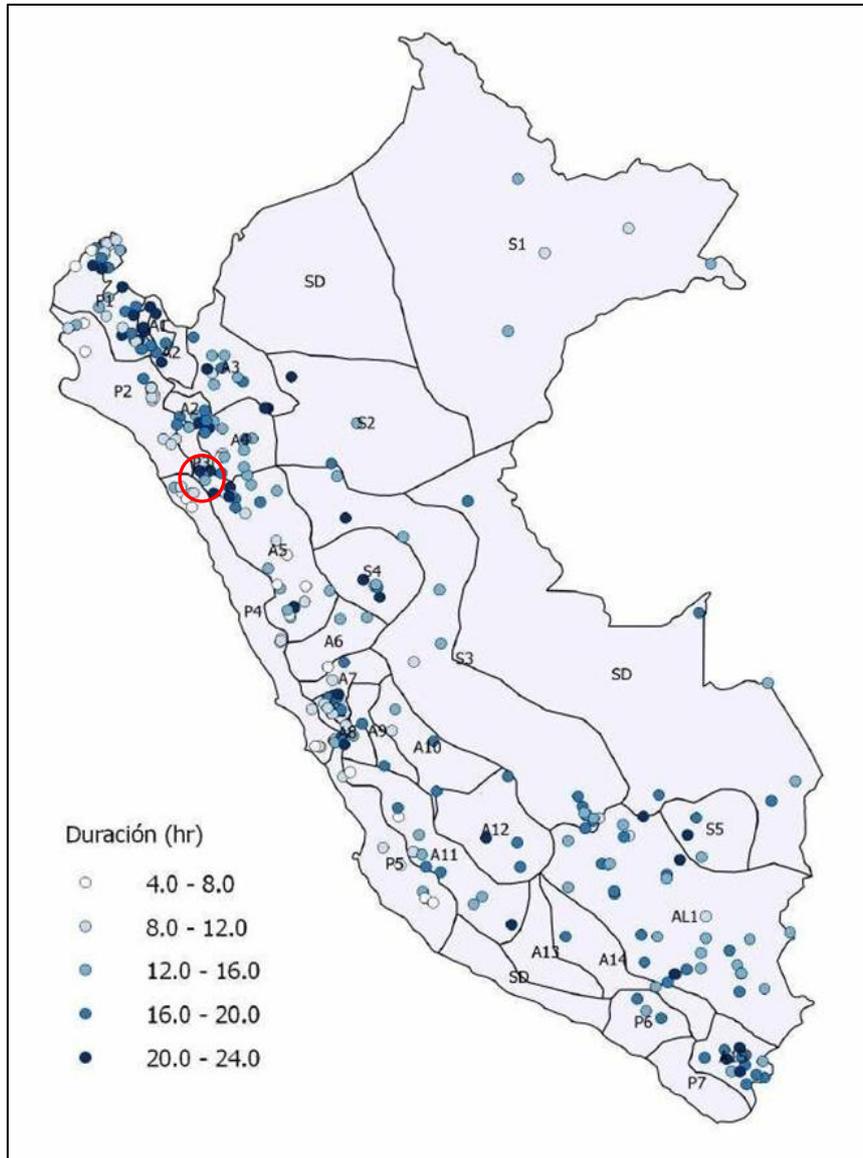


Figura 35. Mapa de duración de tormentas Perú. Fuente: <https://www.researchgate.net>

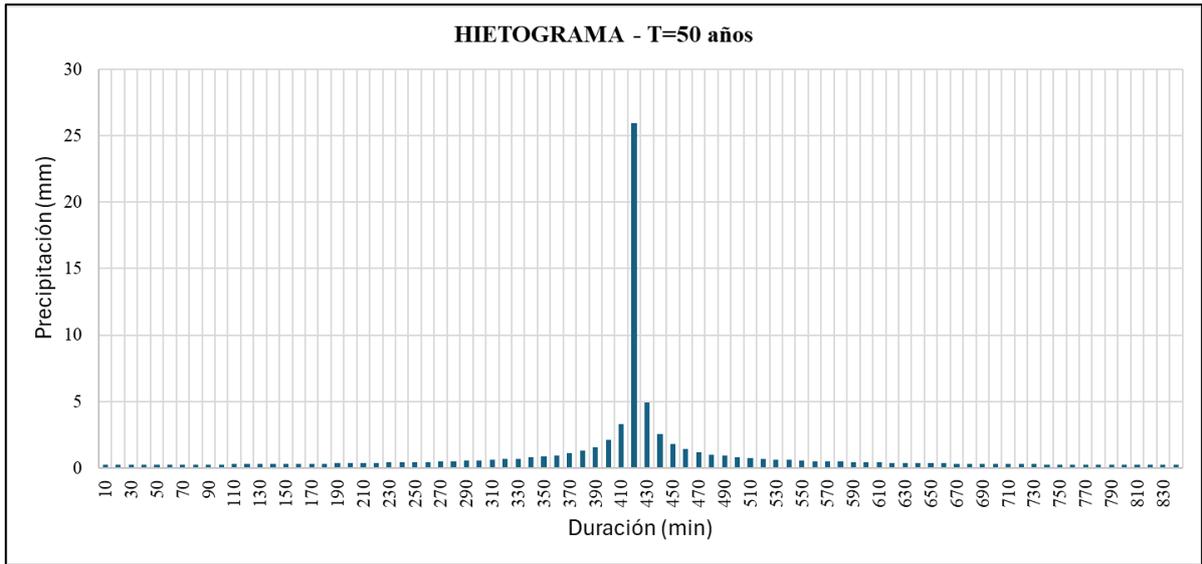


Figura 36. Hietograma de precipitación para períodos de retorno de 50 años.

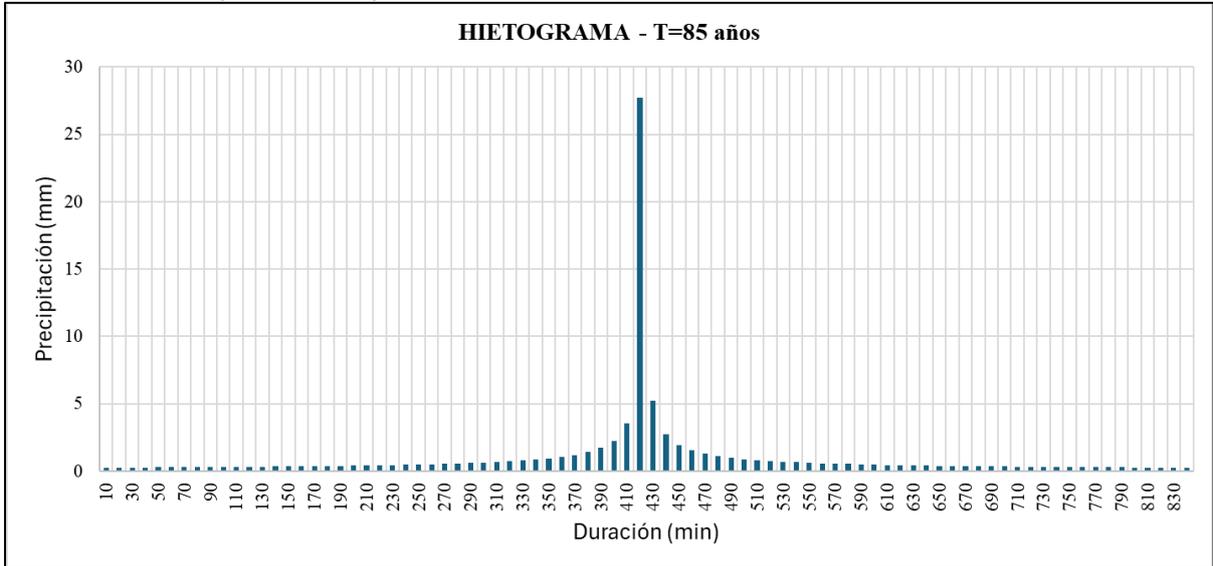


Figura 37. Hietograma de precipitación para períodos de retorno de 85 años.

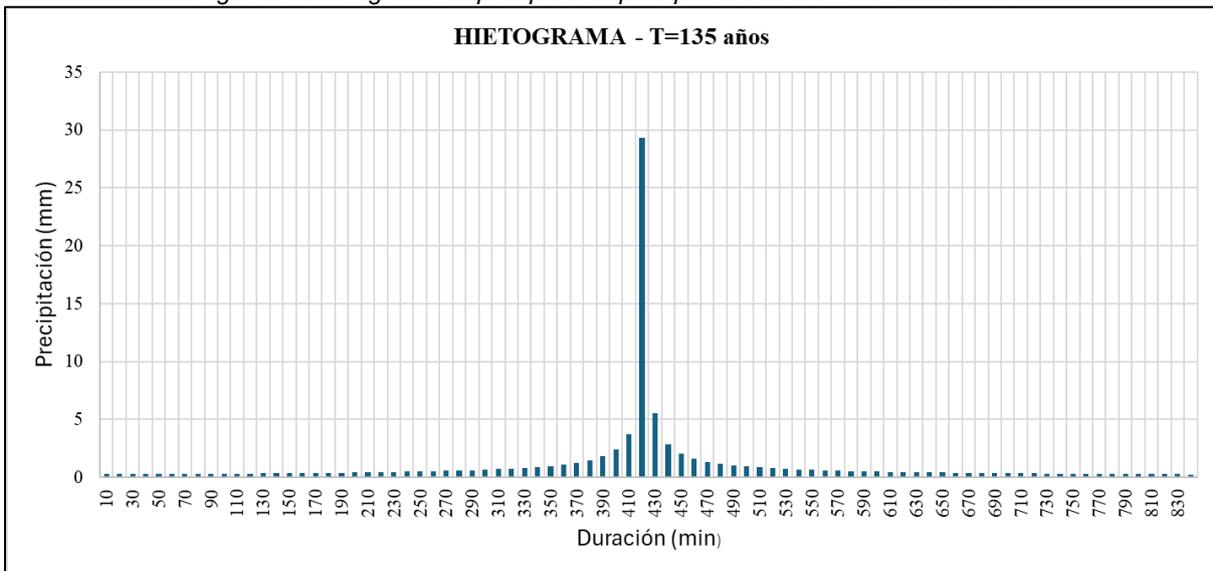


Figura 38. Hietograma de precipitación para períodos de retorno de 135 años.

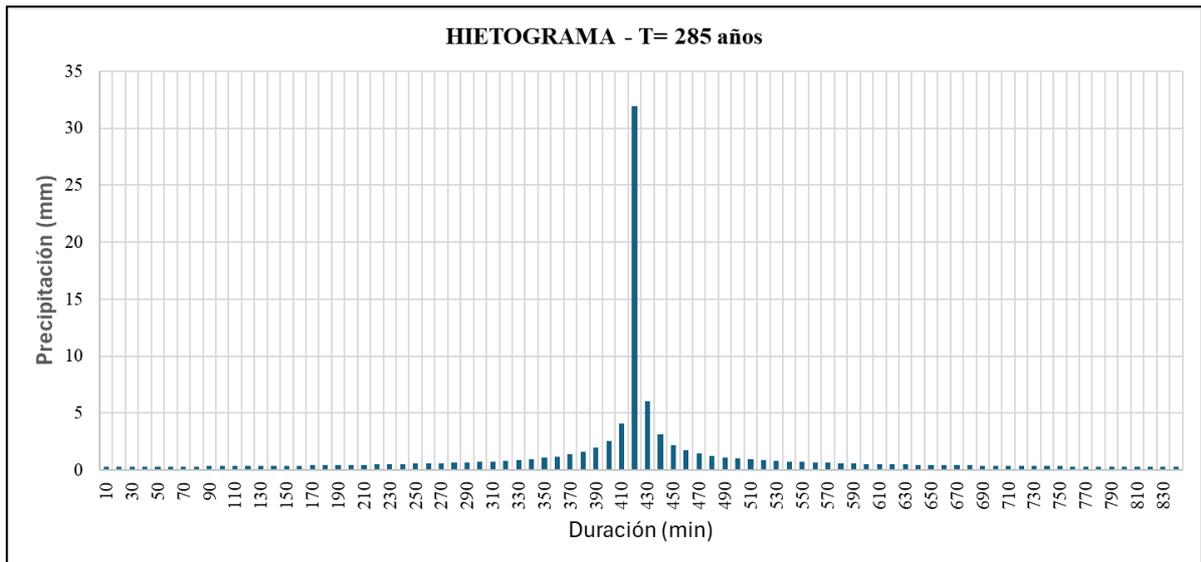


Figura 39. Hietograma de precipitación para períodos de retorno de 285 años.

4.1.5. Hidrogramas para caudales máximos extraordinarios

Con la información obtenida de los Hietogramas se procede al modelamiento hidrológico con el software de modelación Hec-Hms para las condiciones requeridas en la cuenca de estudio. El resultado de este modelamiento son los Hidrogramas para caudales máximos extraordinarios para los tiempos de retorno 50, 85, 135 y 285 años representados a continuación en las figuras 40, 41, 42 y 43, donde se han hallado los caudales máximos extraordinarios de 92.4, 112.0, 130.5 y 162.8 m³/s respectivamente, expresados en el título de las figuras.

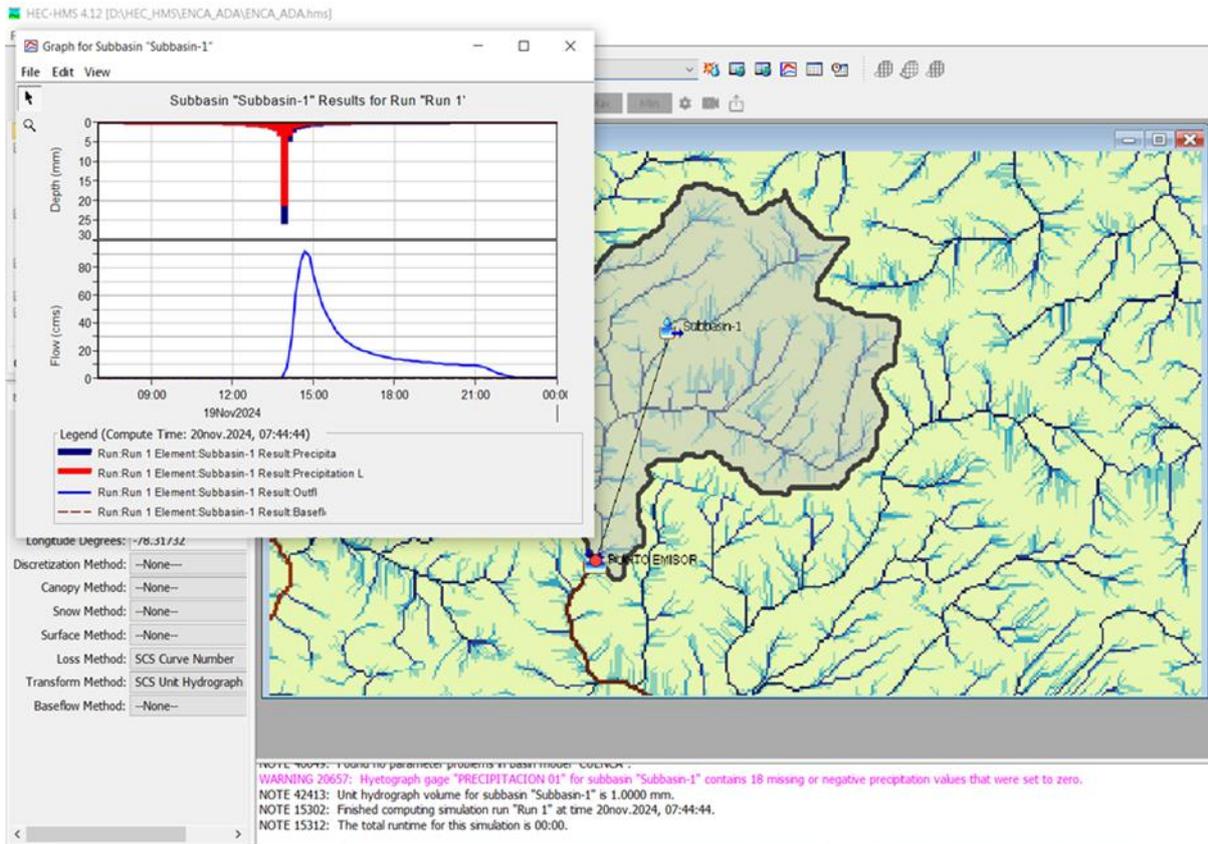


Figura 40. Hidrograma para un TR = 50 años cuenca del río La Encañada, caudal máximo = 92.4 m³/s.

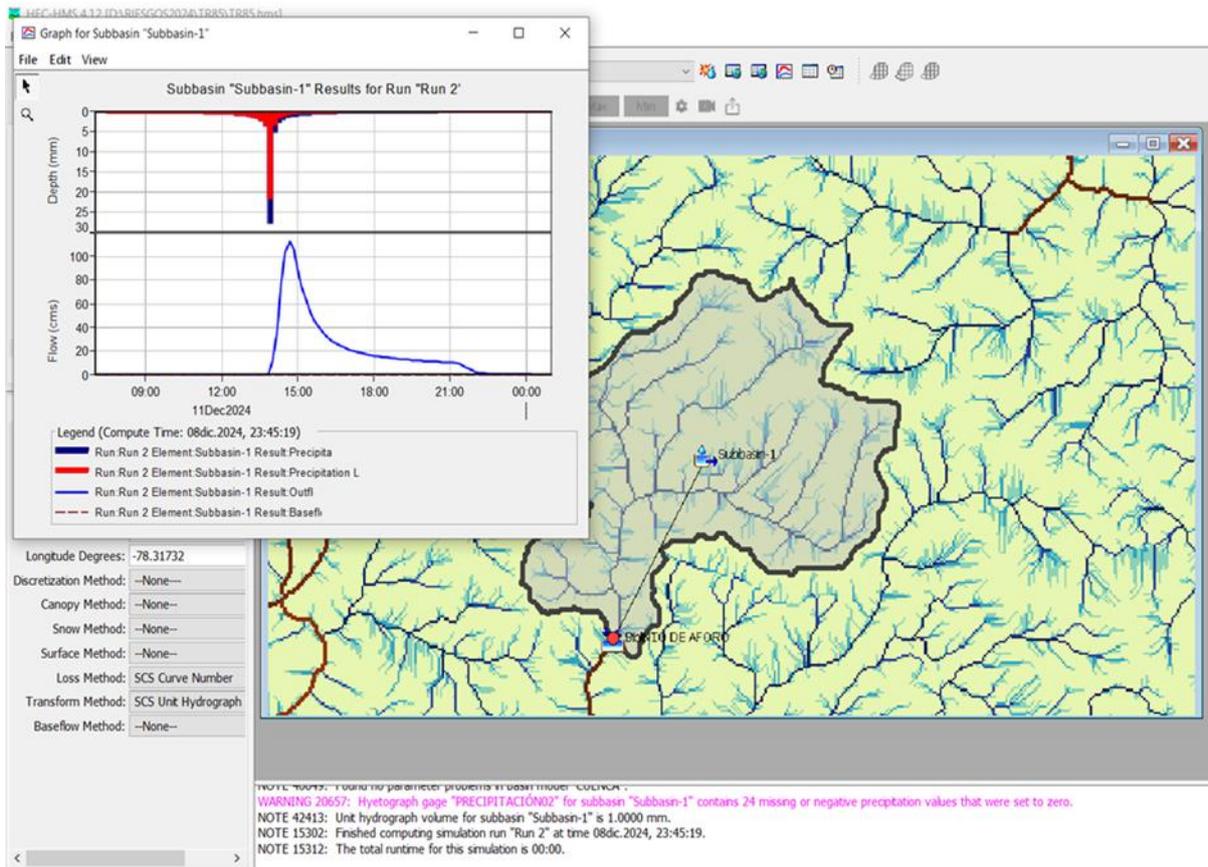


Figura 41. Hidrograma para un TR = 85 años cuenca del río La Encañada, caudal máximo = 112 m³/s.

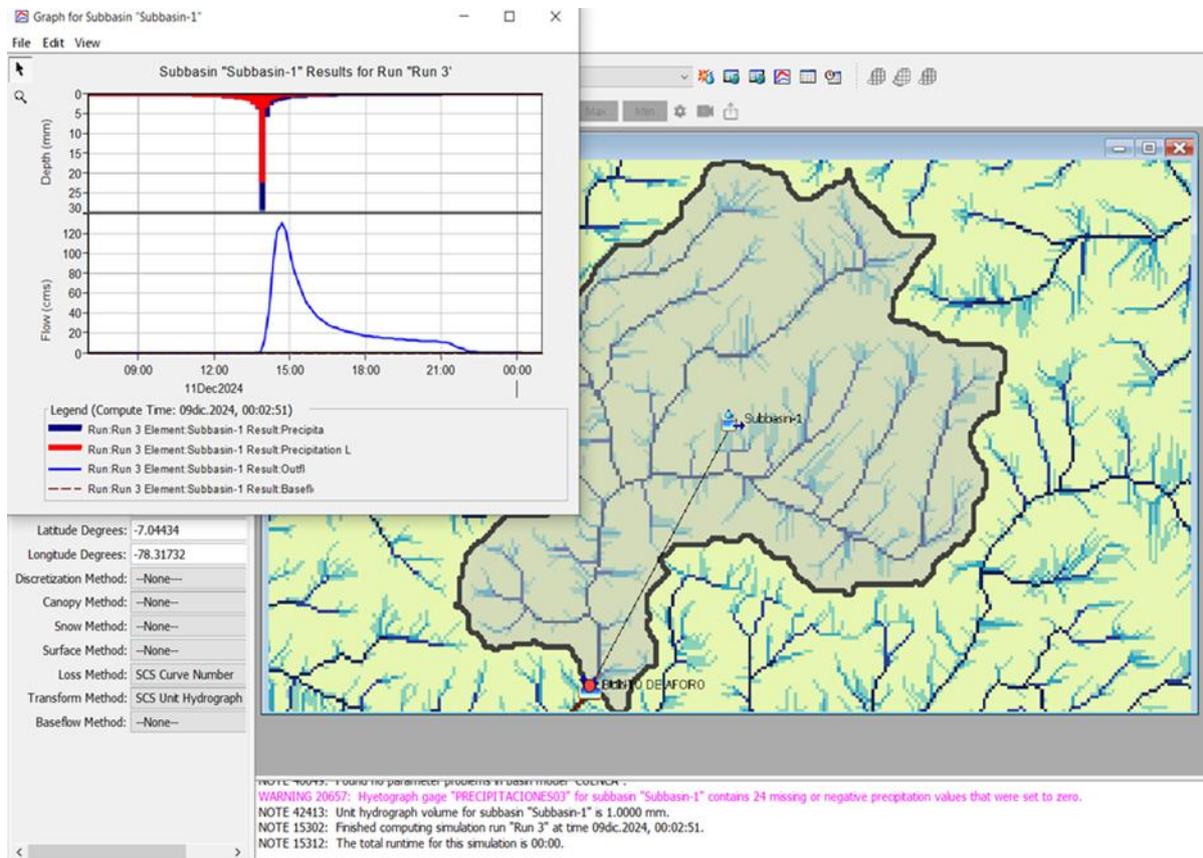


Figura 42. Hidrograma para un TR = 135 años cuenca del río La Encañada, caudal máximo = 130.5 m³/s.

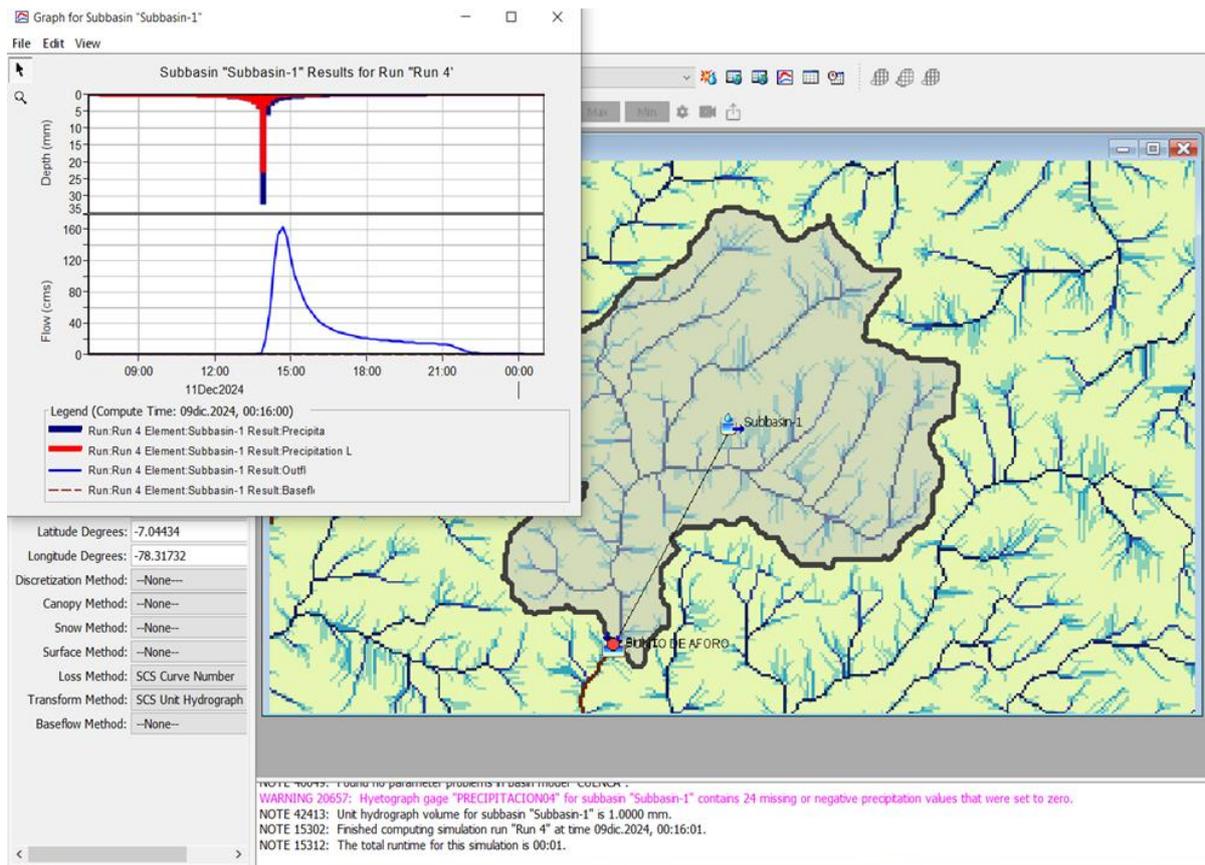


Figura 43. Hidrograma para un TR = 285 años cuenca del río La Encañada, caudal máximo = 162.8 m³/s.

4.1.6. Mapas de tirantes para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.

Los niveles de agua (tirantes) obtenidos en el modelamiento hidráulico desarrollado con el software Hec-Ras se pueden visualizar de acuerdo con el código de color indicado por rangos de altura en las figuras 44, 45, 46 y 47.

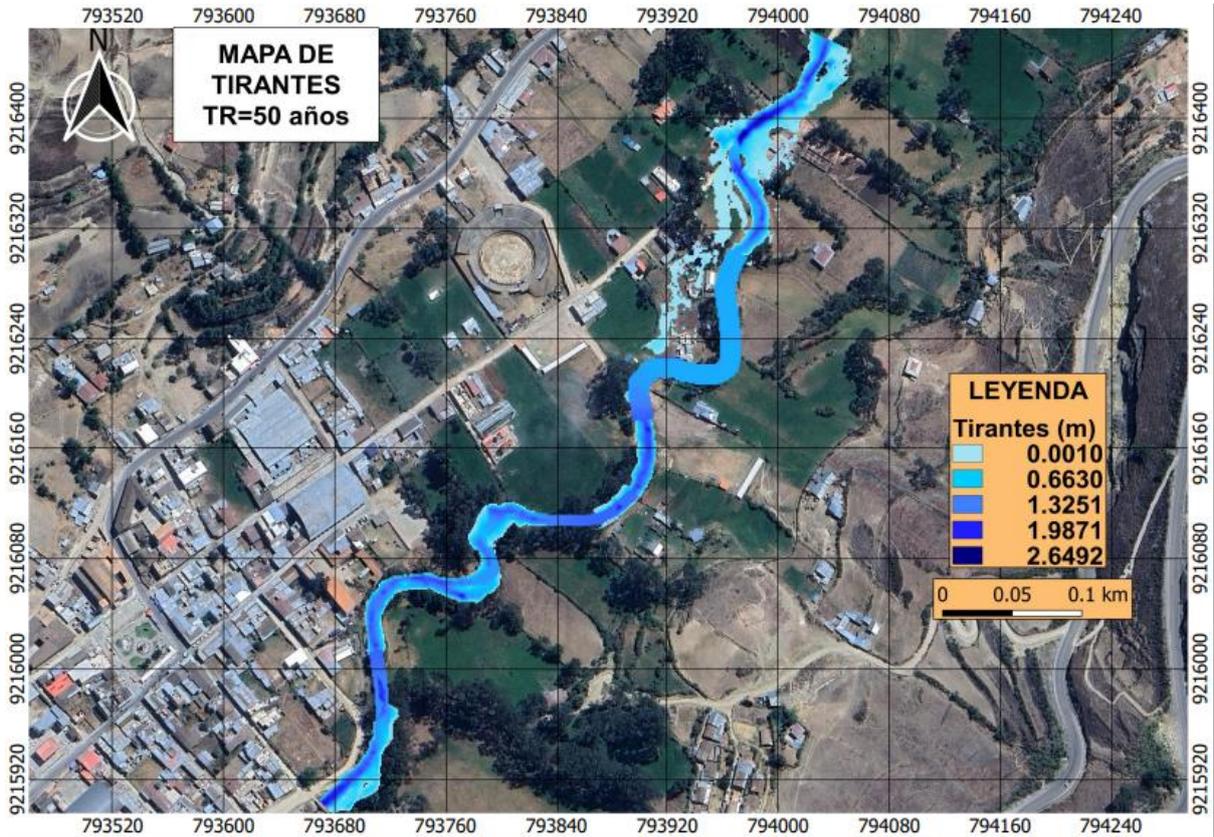


Figura 44. Mapa de tirantes para un período de retorno de 50 años.

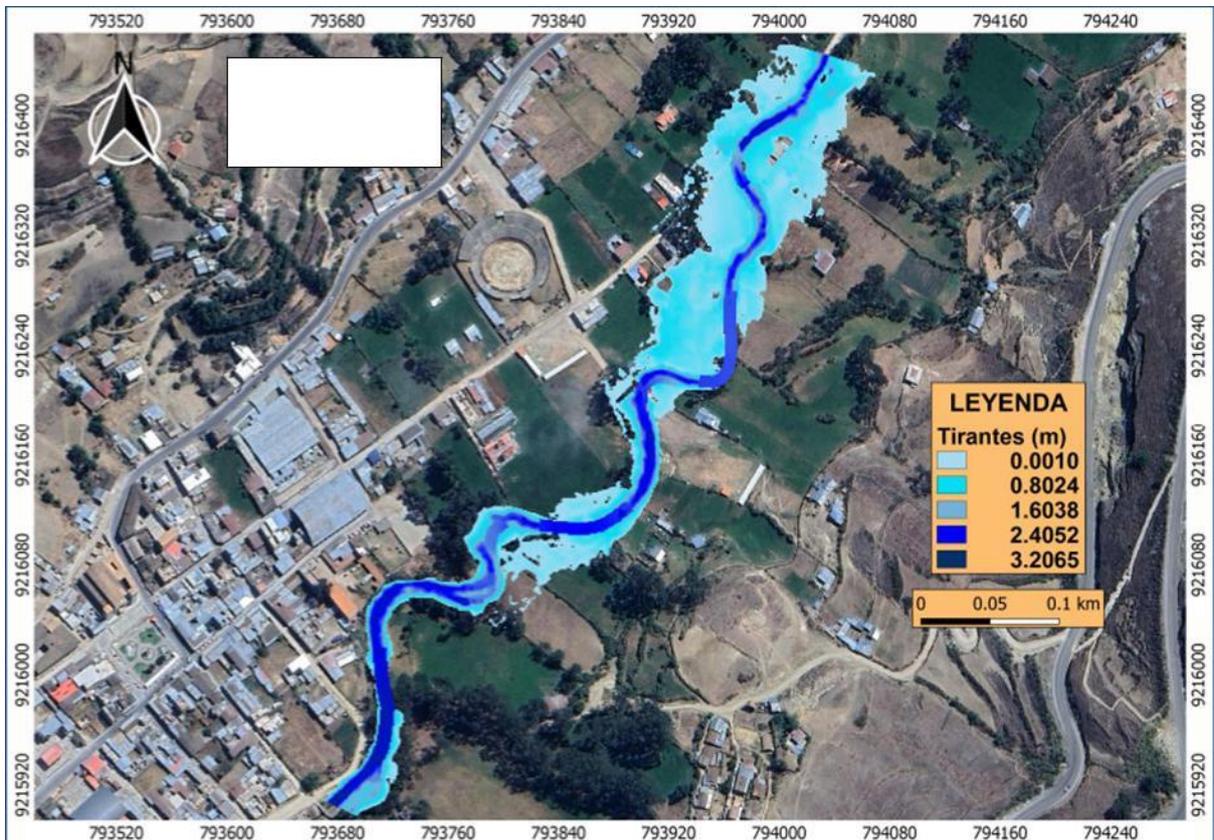


Figura 45. Mapa de tirantes para un período de retorno de 50 años.

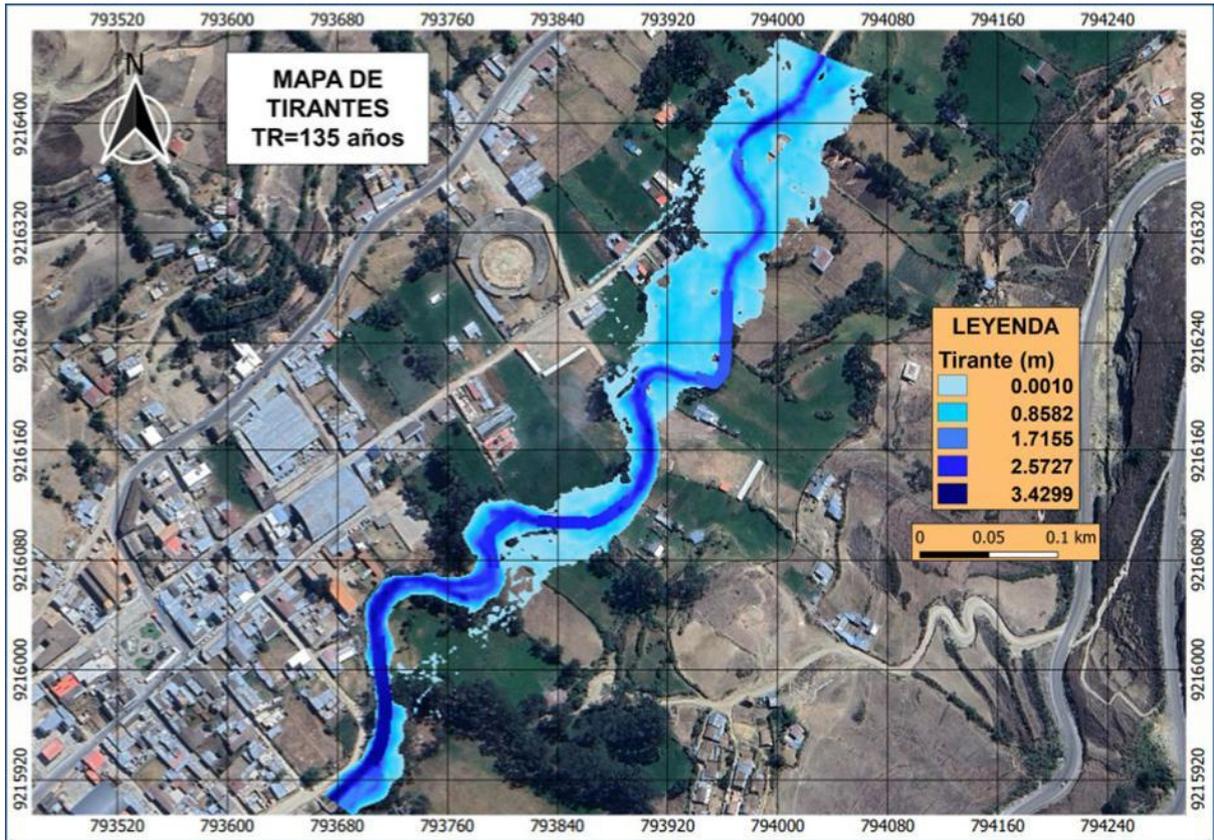


Figura 46. Mapa de tirantes para un período de retorno de 135 años.

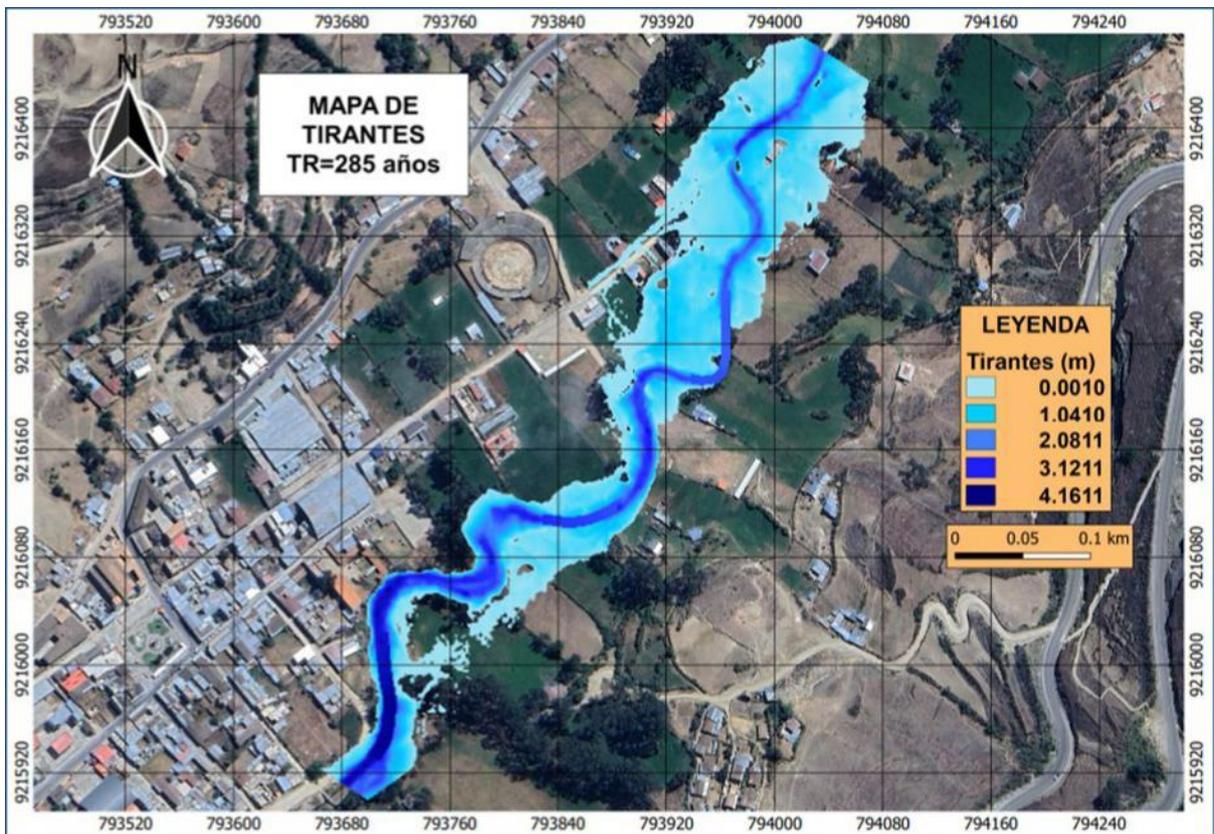


Figura 47. Mapa de tirantes para un período de retorno de 285 años.

4.1.7. Mapas de velocidades para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.

Las velocidades obtenidas en el modelamiento hidráulico desarrollado con el software Hec-Ras se pueden visualizar de acuerdo con el código de color indicado por rangos de velocidad en las figuras 48, 49, 50 y 51.

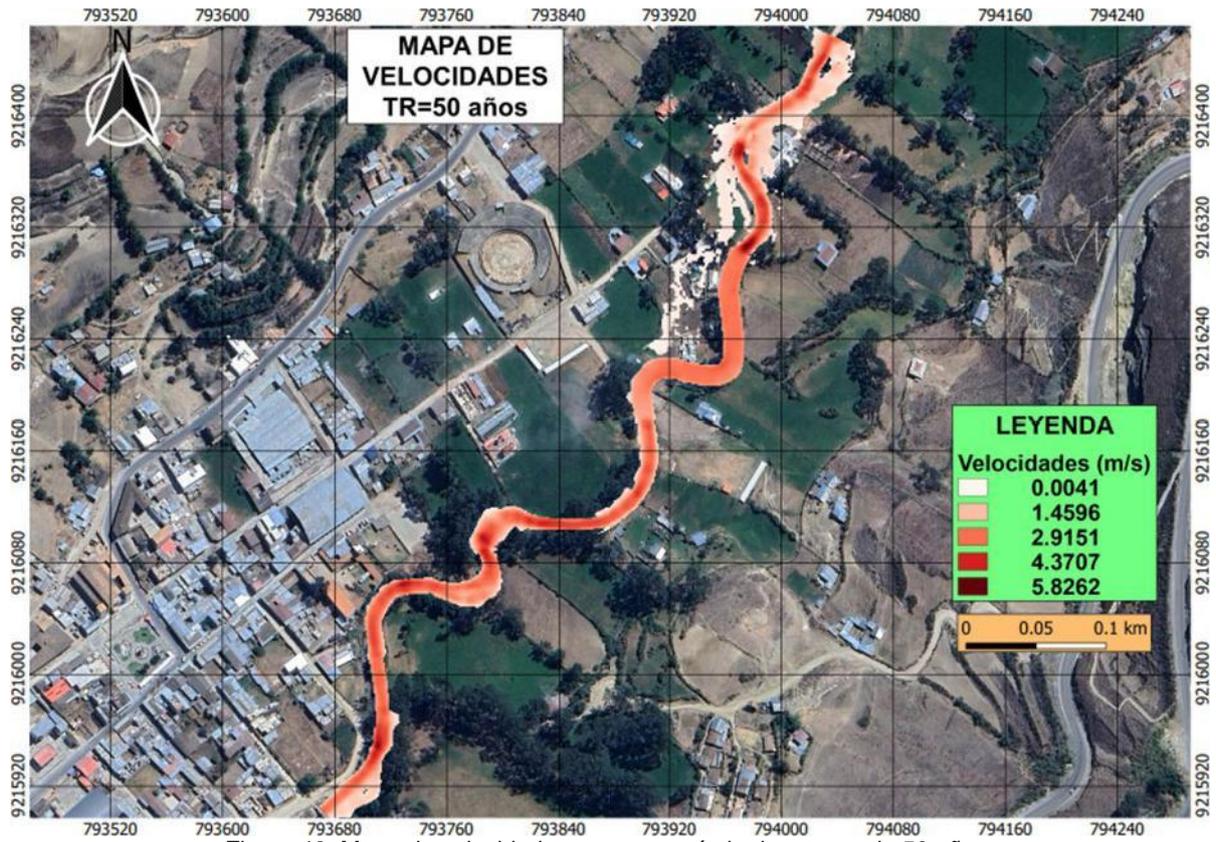


Figura 48. Mapa de velocidades para un período de retorno de 50 años.

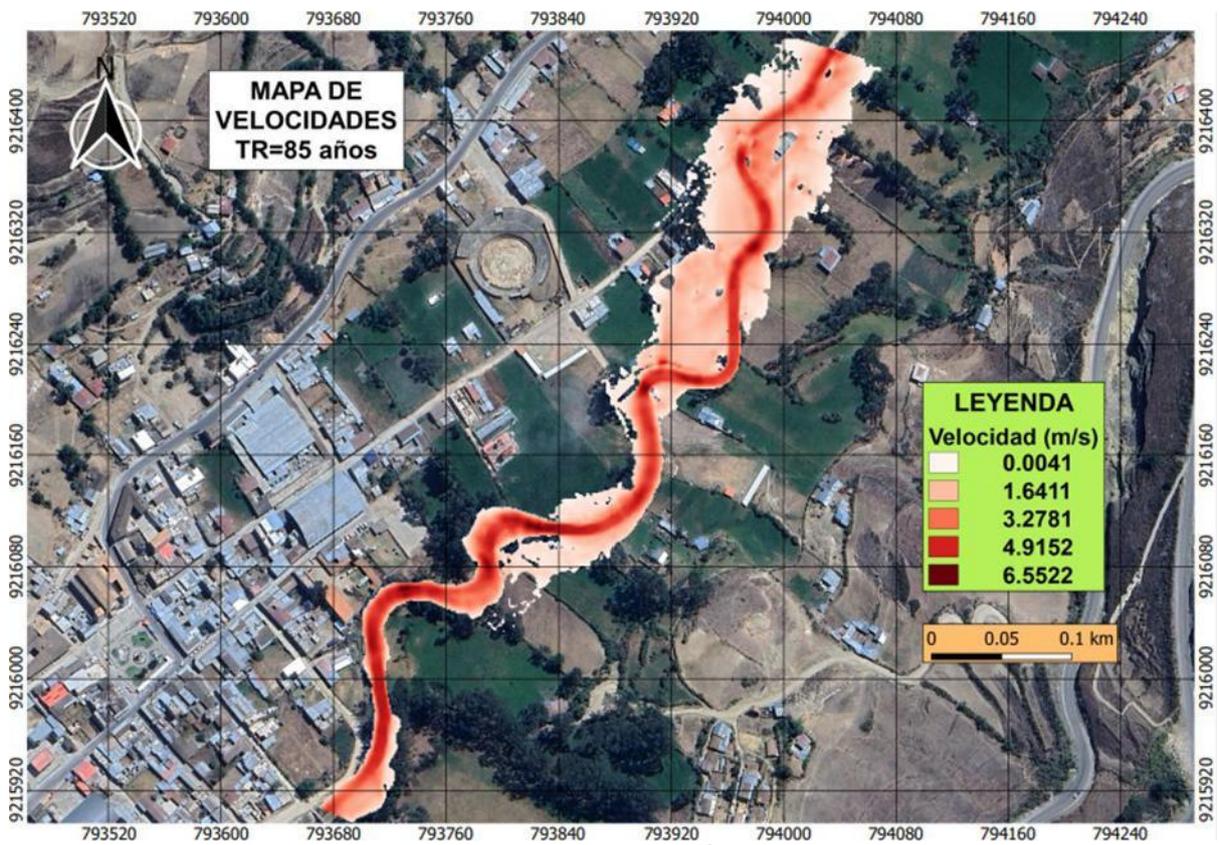


Figura 49. Mapa de velocidades para un período de retorno de 85 años.

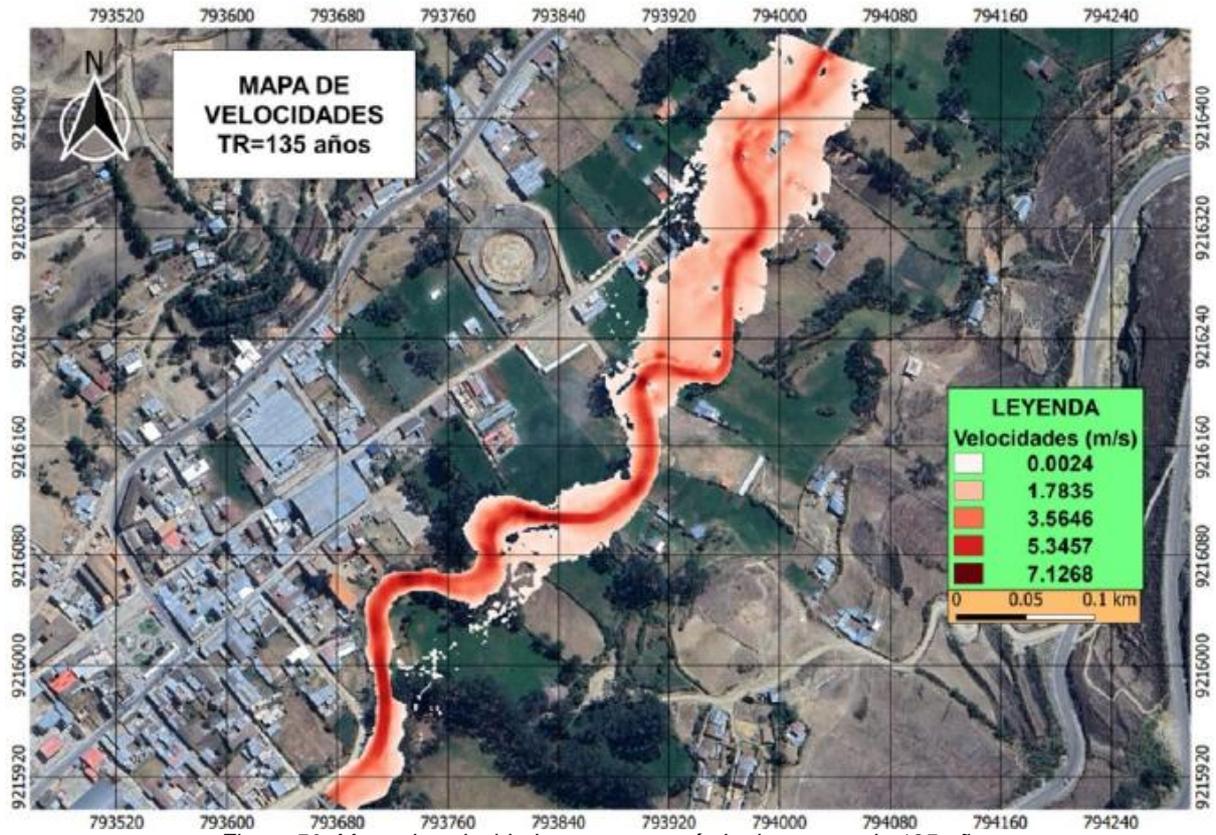


Figura 50. Mapa de velocidades para un período de retorno de 135 años.

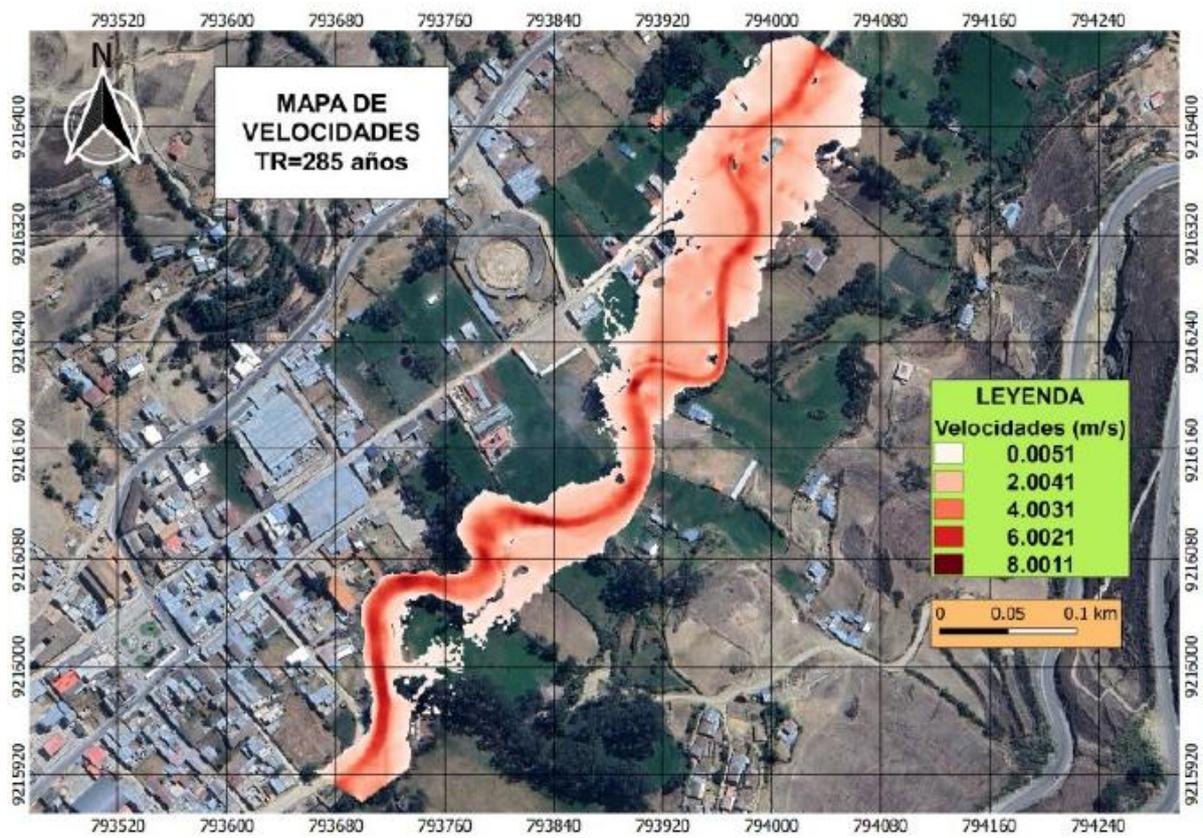


Figura 51. Mapa de velocidades para un período de retorno de 50 años.

4.1.1. Zonificación de áreas inundables según su peligrosidad para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.

La zonificación de áreas inundables según el nivel de peligrosidad considerando la caracterización del CENEPRED-Perú indicada en la tabla 12, fueron obtenidas mediante el modelamiento Geoespacial desarrollado con el Software QGIS, se pueden visualizar de acuerdo con el código de color indicado por escalas de nivel de peligrosidad en las figuras 52, 53, 54 y 55.

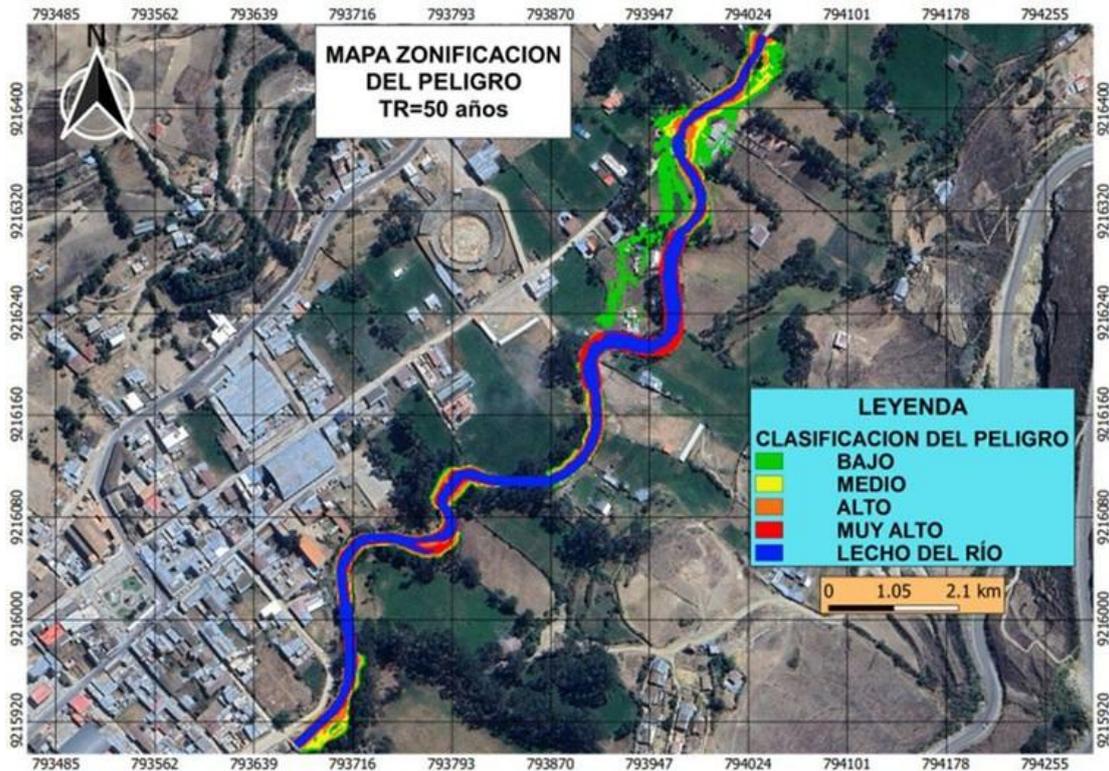


Figura 52. Mapa de zonificación de áreas inundables para un período de retorno de 50 años.

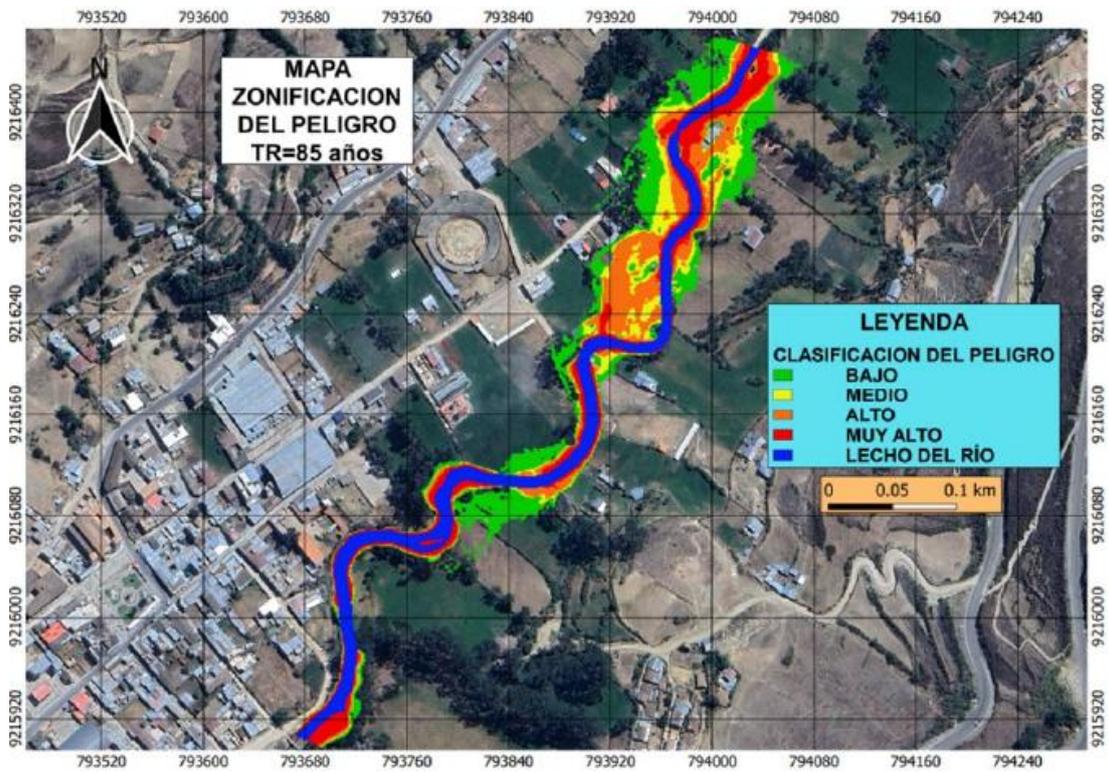


Figura 53. Mapa de zonificación de áreas inundables para un período de retorno de 85 años.

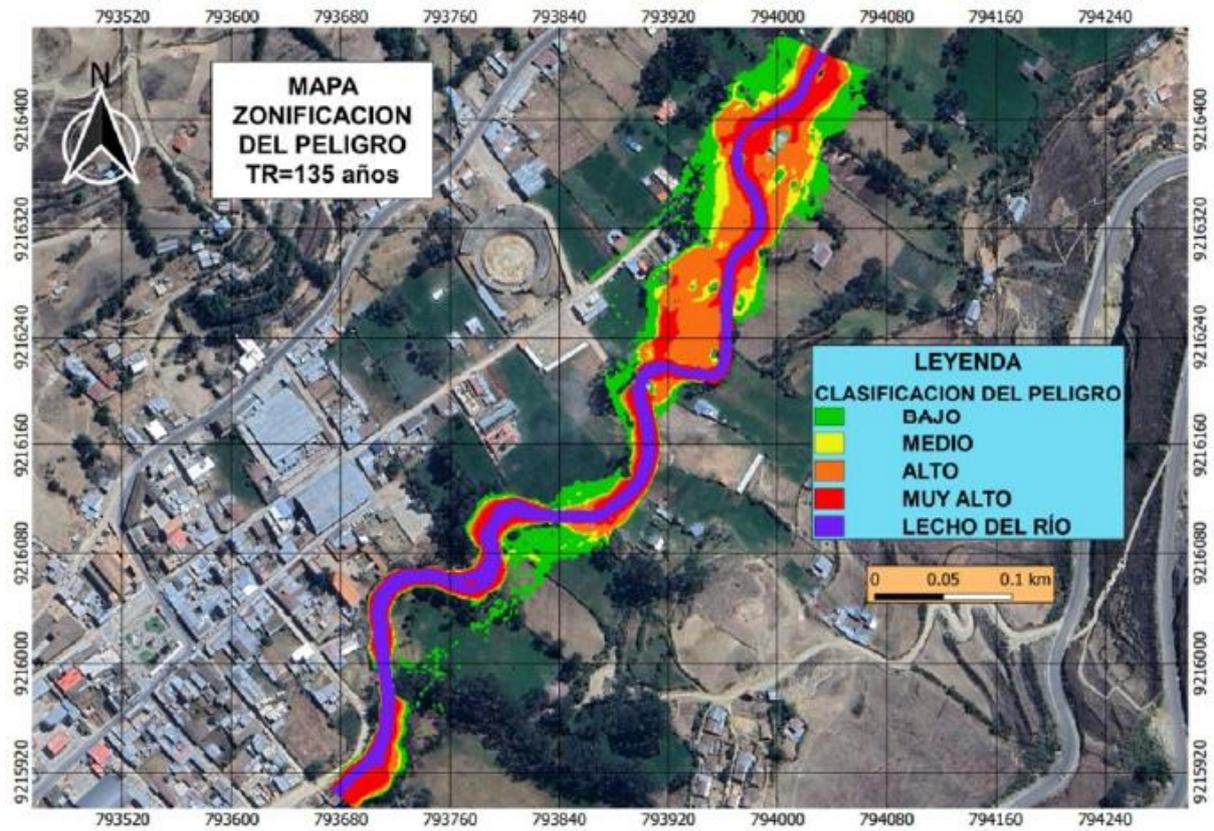


Figura 54. Mapa de zonificación de áreas inundables para un período de retorno de 135 años.

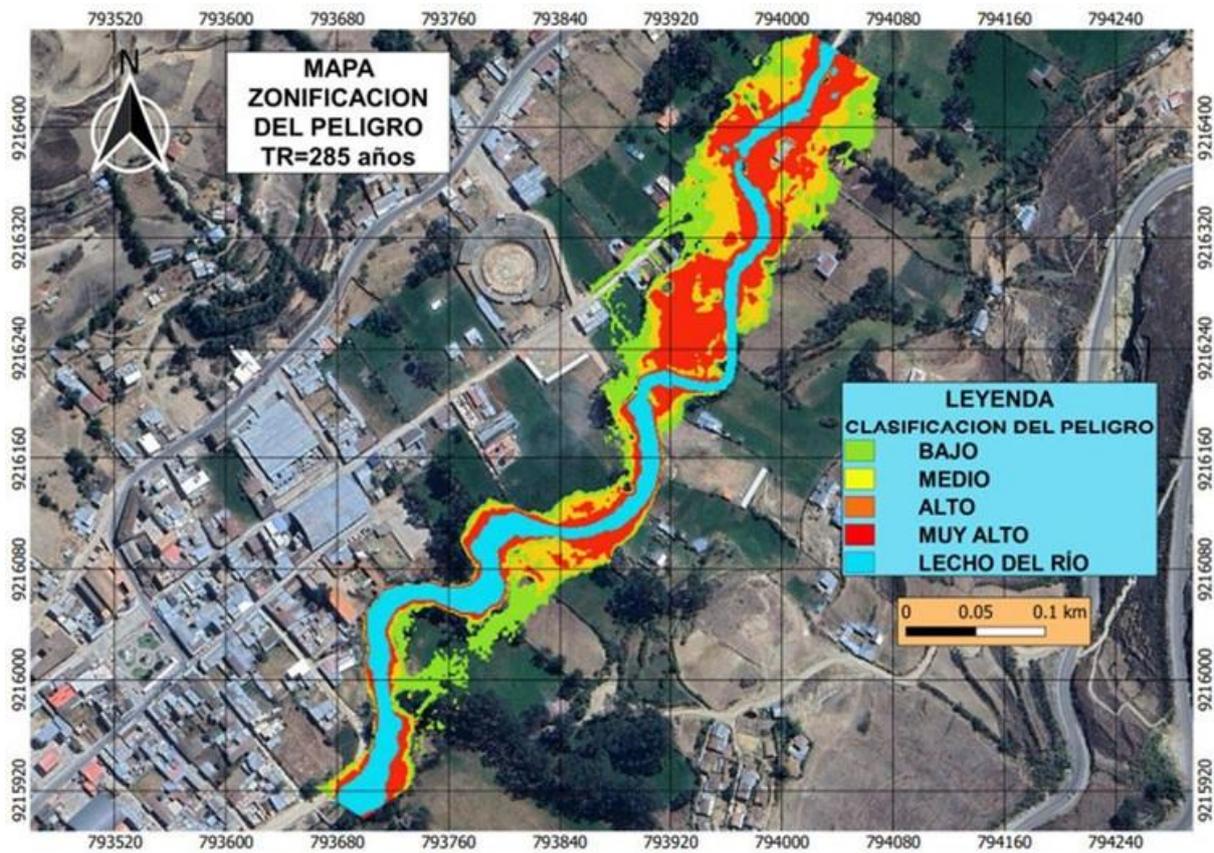


Figura 55. Mapa de zonificación de áreas inundables para un período de retorno de 285 años.

4.1.2. Elementos y medios de vida en peligro de ser afectados por las inundaciones para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.

De acuerdo con la identificación de campo de los medios de vida y principales estructuras hallados en la zona de estudio, de acuerdo con los Mapas de Zonificación según Nivel de Peligrosidad por inundación, se han obtenido los resultados presentados en la Tabla 16.

Tabla 16. Elementos y estructuras expuestas según el nivel de peligro en las zonas inundables.

Tiempo de análisis Tipo de elemento	NIVEL DE PELIGRO	TR (50 años)	TR (85 años)	TR (135 años)	TR (285 años)
VIVIENDAS (#)	BAJO	9	15	16	21
	MEDIO	2	4	13	18
	ALTO	2	4	27	0
	MUY ALTO	5	5	9	26
PUENTES (#)	BAJO	0	1	1	1
	MEDIO	1	1	1	1
	ALTO	3	3	1	0
	MUY ALTO	3	3	3	3
AREAS DE CULTIVO (Área Ha)	BAJO	0.1222	0.2917	0.6938	0.4292
	MEDIO	0.0169	0.1163	0.1431	0.3498
	ALTO	0.0151	0.0777	0.2732	0
	MUY ALTO	0.0323	0.0113	0.057	0.2777
MERCADO (Área Ha)	BAJO	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0
	MUY ALTO	0	0	0	0

Como se puede observar, en el caso de las viviendas como mínimo se verán afectadas 5 de ellas para cualquier tiempo de retorno, y de acuerdo con el tiempo de retorno estimado para este medio de vida 9 y 27 viviendas se encuentran en una zona de nivel Peligrosidad Muy Alto y Alto respectivamente. Claramente con este resultado podemos afirmar que estas viviendas presentan un riesgo alarmante de afectación por inundaciones, adicionando a esto el tipo de construcción de las viviendas encontradas en la zona de estudio es en su mayoría de materiales fácilmente deteriorables, lo que incrementa el riesgo de fatalidad.

Para los puentes de Concreto encontrados en la zona de estudio podemos observar que los 3 de ellos se encuentran en el nivel de Peligrosidad Muy Alto de acuerdo con

el tiempo de retorno estimado para estos elementos, además el hecho de que estos puentes se encuentran hecho de manera artesanal y probablemente sin ningún tipo de cálculo estructural y/o hidráulico, podemos afirmar que existe un inminente riesgo de fatalidad relacionado.

En las áreas de cultivo se han encontrado afectadas aproximadamente 0.0323 ha designadas como zona de peligrosidad muy alta, a su vez estas áreas realmente no requieren de un diseño estructural o cálculo hidráulico avanzado para prevención de inundaciones, lo que reduce el nivel de pérdida a únicamente los cultivos y tierras de estas áreas por lo cual a pesar de que hay una afectada por un riesgo de inundación de peligrosidad alto, esto no presenta un riesgo de fatalidad inminente aunque se deben plantear medidas de prevención para evitar la afectación de estas áreas ya que la principal actividad económica de la población de la zona es la agricultura.

Por último, referente al área ocupada por el mercado del Distrito de La Encañada, el área de afectación por niveles de peligrosidad alto y muy alto son solo de 0.0004 y 0.0014 ha. respectivamente, y en el mapa de zonificación de áreas inundables se puede visualizar claramente que no se encuentra afectada en su mayoría. Sin embargo, esta actividad económica, que reúne a agricultores, ganaderos, puestos de comida y ferias, podría verse gravemente impactada en caso de un colapso del puente que conecta la zona, o por posibles daños a los puestos de venta ubicados cerca del lecho del río. Estos factores podrían poner en riesgo el flujo comercial y la sostenibilidad de esta importante fuente de ingresos para la comunidad

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La recopilación de la información topográfica con Dron y Estación Total permitió una visión detallada del área de influencia del río La Encañada, lo que fue determinante para comprender las características del terreno y su influencia en la propagación de inundaciones. De acuerdo con la topografía se visualiza una cuenca con un río meándrico, índice de áreas de mayor riesgo en zonas de curvaturas, especialmente en las cercanías al cauce del río.
- La cuenca del río La Encañada muestra una forma geográfica con meandros, lo que indica que el río exhibe un doble giro a lo largo de su curso, generando zonas de retención de agua en determinados sectores. Esta clase de estructura geográfica incrementa el riesgo de inundaciones, especialmente en las regiones bajas adyacentes al río, tales como los campos cultivados y las casas ubicadas cerca del cauce del río.
- La obtención de información histórica y de campo sobre la lluvia en la cuenca del río La Encañada facilitó el reconocimiento de los comportamientos de flujo y las cantidades de precipitación en un periodo de 24 horas durante los años 1998 a 2023. Estos datos son fundamentales para analizar las circunstancias hidrológicas que inciden en la región, y se emplearon para crear los hietogramas de lluvia requeridos para las simulaciones hidrológicas, lo que posibilita modelar de forma más exacta los escenarios de inundación potenciales.
- A través del modelado numérico con el software HEC-HMS, se simularon diversos escenarios hidrológicos para diferentes tiempos de retorno estimados de acuerdo con la presencia de distintos medios de vida en la zona. Los resultados mostraron caudales máximos extraordinarios de 92.4, 112.0, 130.5 y 162.8 m³/s para los periodos de retorno de 50, 85, 135 y 285 años respectivamente, revelando que las zonas cercanas al río, especialmente las viviendas, se encuentran en alto riesgo de inundación en estos escenarios extremos. Las simulaciones evidencian la necesidad urgente de medidas de mitigación en las áreas de mayor vulnerabilidad.

- El sistema hidráulico desarrollado usando HEC-HMS indicó que las zonas cercanas al río La Encañada, incluyendo viviendas, puentes y el mercado local, están expuestas a inundaciones con distintos grados de riesgo. La simulación anticipa un efecto considerable en estas localidades durante eventos de desbordamiento, con la posibilidad de daños severos a la infraestructura y a las actividades económicas de la región.
- La ilustración visual de las regiones propensas a inundaciones ayudó a discernir de manera precisa las localizaciones más expuestas a inundaciones. Estas regiones abarcan tanto campos cultivables como viviendas, puentes y el mercado local. Las casas y puentes situados adyacentes al lecho del río son los que sufren mayor daño, presentando un grado de peligrosidad extremadamente alto. Los datos visuales permiten entender mejor las posibles consecuencias de una inundación y ofrecen una base para el desarrollo de estrategias preventivas y de reducción de riesgos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Establecimiento de sistemas de aviso anticipado, es esencial crear un esquema de supervisión y aviso anticipado frente a posibles inundaciones, utilizando tecnologías modernas como sensores de flujo en tiempo real y pronósticos meteorológicos recientes.
- Mejora de la infraestructura, es necesario realizar reforzamientos en las estructuras actuales, como los puentes improvisados y las casas más vulnerables, asegurando su capacidad para soportar eventos severos.
- Promoción de la educación y sensibilización a la población sobre los peligros de inundaciones, las acciones preventivas y los planes de evacuación. Esta estrategia proactiva facilitará una reacción más eficiente en situaciones de desbordamiento.
- Promover la relocalización de actividades en áreas de alto riesgo para prevenir pérdidas en vidas y bienes, se debería evaluar la posibilidad de trasladar actividades económicas importantes, como el mercado local, a zonas más seguras o implementar medidas protectoras y de resiliencia para asegurar su continuidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferrando, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista de urbanismo*, (15), ág-25.

Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 5-13.

Díaz, A. L. P. (2019). Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro. Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata; 1a ed; p. 52 .

Wolf, P., & Ghilani, C. (2015). *Topografía*. Alpha Editorial.

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1).

Martínez-Cantó, R., & Hidalgo, A. (2016). Modelización de inundaciones fluviales con iber. caso práctico de santiago del molinillo (león). *Revista de Las Ciencias Geomáticas*, 34(October),7–12.
https://www.researchgate.net/profile/Raquel_Martinez_Canto/publication/309611090_MODELIZACION_DE_INUNDACIONES_FLUVIALES_CON_IBER_CASO_PRACTICO_DE_SANTIAGO_DEL_MOLINILLO_LEON/links/5819c81a08aeffb29412dc48/MODELIZACION-DE-INUNDACIONES-FLUVIALES-CON-IBER-CA

Montero, A., Fiamma, G., Cueva, M., & Alvaro, C. (2021). Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura.

Rabanal Silva, D. J. (2018). Zonificación de áreas inundables del barrio La Breña ocasionado por avenidas extraordinarias del río Grande de Celendín - Cajamarca.

Rudas, C., & Paúl, E. (2023). Zonificación de Áreas Inundables en el Centro Poblado de Polloc ocasionado por Avenidas Extraordinarias del Río la Encañada-Cajamarca.

- Tarazona R., H. G. (2012). Modelamiento Hidrológico de la Cuenca del Río Ica con fines de prevención de Inundaciones en la Ciudad de Ica. Universidad Nacional Agraria La Molina, 1(511), 119 pag. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1656/AGR-OLI-CAS-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mantilla, F. (2019). Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico de la quebrada Chinchinmarca – sector 24 (Villa Huacariz) – Cajamarca. 24, 114. file:///C:/Users/admin/Music/bio/T L73 T277 2014.pdf
- Bladé y Castellet, E. (2021). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable: una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC.
- Bravo, J. D. (2000). Breve introducción a la cartografía ya los sistemas de información geográfica (SIG). Ciemat.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL, 1, 66-78.
- INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. Lima, Perú.
- Villón-Béjar, M. (2016). HidroEsta, software for hydrological calculations. Revista Tecnología en Marcha, 95-108.
- Gaspari, F. J. (2007). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) . Tesis de maestría. España, Universidad Internacional de Andalucía.
- Chow, V. (2000). Hidrología aplicada. Colombia: Editorial Nomos S. A.
- French, R. H. (2000). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill Interamericana.
- Quiroga, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agua, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/J.RIBA.2015.12.001>

Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., & Barca, P. (2021). Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, 603, 126962. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126962>

ANEXOS

ANEXO 01: FICHA TÉCNICA DE ZONA INUNDABLE POR DESBORDE DEL RÍO LA ENCAÑADA. FUENTE SIGRID - CENEPRED




FICHA TÉCNICA REFERENCIAL DE IDENTIFICACIÓN PUNTO CRÍTICO DEL SECTOR CERCADO ENCAÑADA, DISTRITO DE ENCAÑADA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

PROYECTO: OBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BARRIO DE OBREROS EN LA MANERA DERECHA DEL RÍO ENCAÑADO, SECTOR CERCADO ENCAÑADA, DISTRITO ENCAÑADA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

I. UBICACIÓN:

RÍO: CERRADA: SECTOR: NO SI

DEPARTAMENTO: PROVINCIA: DISTRITO: NO SI

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA: MUNICIPALIDAD: ADMINISTRACIÓN LOCAL CAL EN AREA:

II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN COORDENADAS UTM - DATUM: WGS 84:

TRAMO 1 : DESOLMATACIÓN Y BARRIOS (PARISH DERECHA)

ESTE INICIAL	70301	NORTE INICIAL	02 5210
ESTE FINAL	70302	NORTE FINAL	02 5210
LONGITUD	547.8 m	ZONA	17 Sur

III. EVALUACIÓN DE LA ZONA EXPUESTA A INUNDACIONES:

3.1. GEOLOGÍA

La zona en estudio presenta estructuras tales como, load marks, laminaciones, bioturbaciones, depositadas en secuencias directas, inversas y rítmicas. Su característica es que en las tres zonas presenta más de dos facies de sedimentación habiéndose reconocido rocas de los tres miembros que corresponden a calizas (mudstone, grainstone, packstone y grainstone), arcillitas, margas y dolomías. Como consecuencia, la litología de la zona presenta una gran heterogeneidad, pasando de facies líticas sedimentarias (arenas - cas de grano diverso, calizas, arcillitas, limolitas, etc.) a metamórficas (pizamas, cuarcitas, etc.) e igneas extrusivas (tufos, brechas volcánicas de diferente naturaleza, derrames andesíticos, tipo de suelco(Gravoso(Mayores a 2 mm, Arenoso(2 mm - 0.2 mm) y Arcilloso(menor de 0.002 mm) de las zonas de asentamientos, erosión fluvial (y si se han presentado repliación en las zonas altas de las quebradas). Si se han presenta caída de rocas en laderas de cerros. la seccion promedio del río es de 5.00 m de ancho y 1.00 de altura. El distrito de la Encañada provincia de departamento de Cajamarca, tiene una extensión 635.06 Km2.

3.2. HIDROLOGÍA

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS:
 Área de 45.13 km², perímetro 36.45 km, altitud media de la cuenca 3592.16 msnm, la pendiente de la cuenca es de 12.93 %, la pendiente del río de máximo recorrido es 6.37% y la longitud de máximo recorrido es de 14.84 km., tiempo de concentración 91.71 min, índice de gravellus 1.52, factor de forma 0.20, densidad de drenaje 0.80 km/km², coeficiente orográfico 0.29 y relación de confluencias 0.96.
 El río Encañado normalmente en época de estiaje presenta un caudal promedio de 1.0 m3/s, recargando su caudal en época de lluvias, no existe una estación hidrométrica que registre los caudales históricos de este, sin embargo de acuerdo a la huella en el cauce del río constatado se puede inferir un caudal de máximas avenidas de 5.0 m3/s aproximadamente.

IV. ÁREAS PROTEGIDAS:

Se anexa detalles de bienes reconocidos del río Encañado, si se anexa información histórica

Nombre	Superficie	Observaciones
Papa	-	-
Quilca	-	-
Huaca	-	-
Avra Pongca	-	-
Malla	-	-
Otras	-	-

Nombre	Superficie	Observaciones
Yacoma	-	-
Otros	-	-
Canchas	-	-
Equinos	-	-
Paracas	-	-
Otras	-	-

Nombre	Superficie	Observaciones
Bucumbas	-	-
Caracas	-	-
Puercos	-	-
Canchas	-	-

IV. POBLACIÓN EXPUESTA:

Alrededor de unas 100 familias aproximadamente cercanas al cauce del río Encañado, en el Cercado de la Encañada. En el presente verificado. Se anexa detalles de las viviendas con un promedio de 4 a 5.30 m de ancho y 1.00 de altura.

N° de Vivienda	Tipo	N° de Viviendas	Superficie	Problemas	Observaciones
100	Habitación y cocina				SERVICIO DE AGUA Y LUZ

IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Definición de daños e impacto probables se anexa la siguiente información:

N° de Viviendas afectadas	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	N° de personas afectadas (estimado)	Costo total de los daños (estimado)
100	X	X	-	-

CATEGORÍA DE DAÑOS	DAÑOS MATERIALES		DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS				DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS			DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS		
	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIOS BÁSICOS
Papa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yacoma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quilca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huaca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avra Pongca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN



Figura 56. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 57. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 58. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 59. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 60. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 61. Levantamiento Topográfico con Dron.



Figura 62. Levantamiento Topográfico con Dron.



Figura 63. Levantamiento Topográfico con Dron.

APÉNDICE 01: PROCESAMIENTO EN HEC – HMS

1. Georreferenciación de la cuenca mediante DEM.

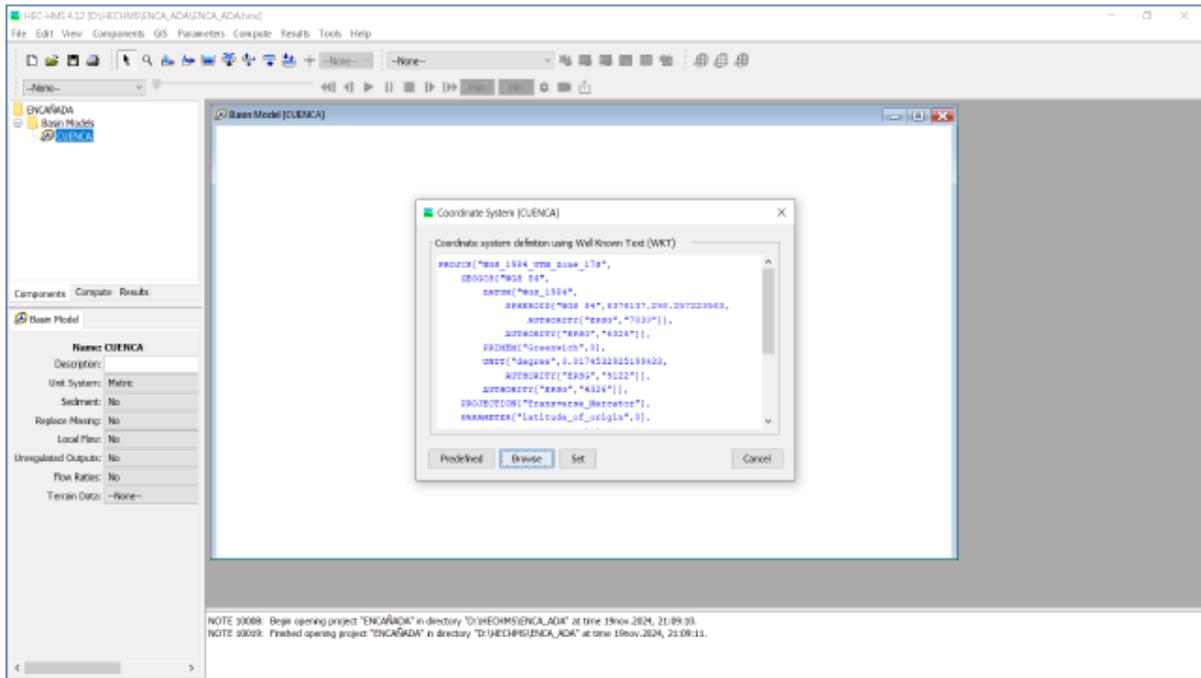


Figura 64. Georreferenciación de la cuenca mediante DEM.

2. Inserto del DEM de la zona de estudio

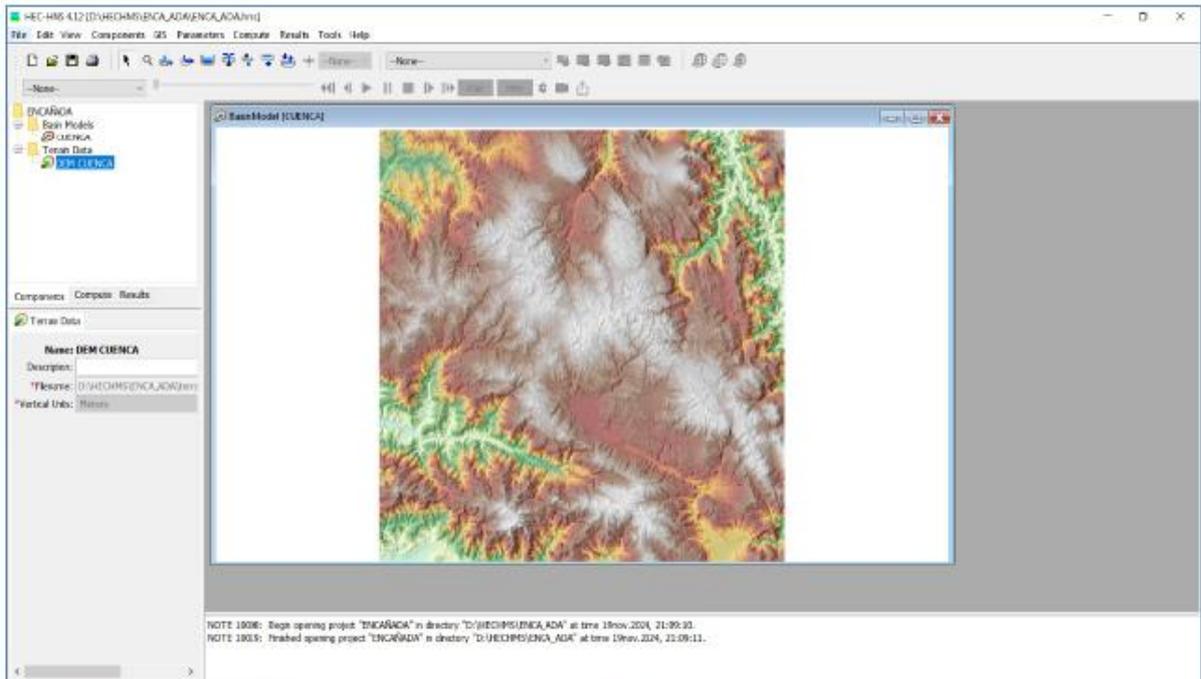


Figura 65. Inserto del DEM de la zona de estudio

3. Delimitación de la cuenca

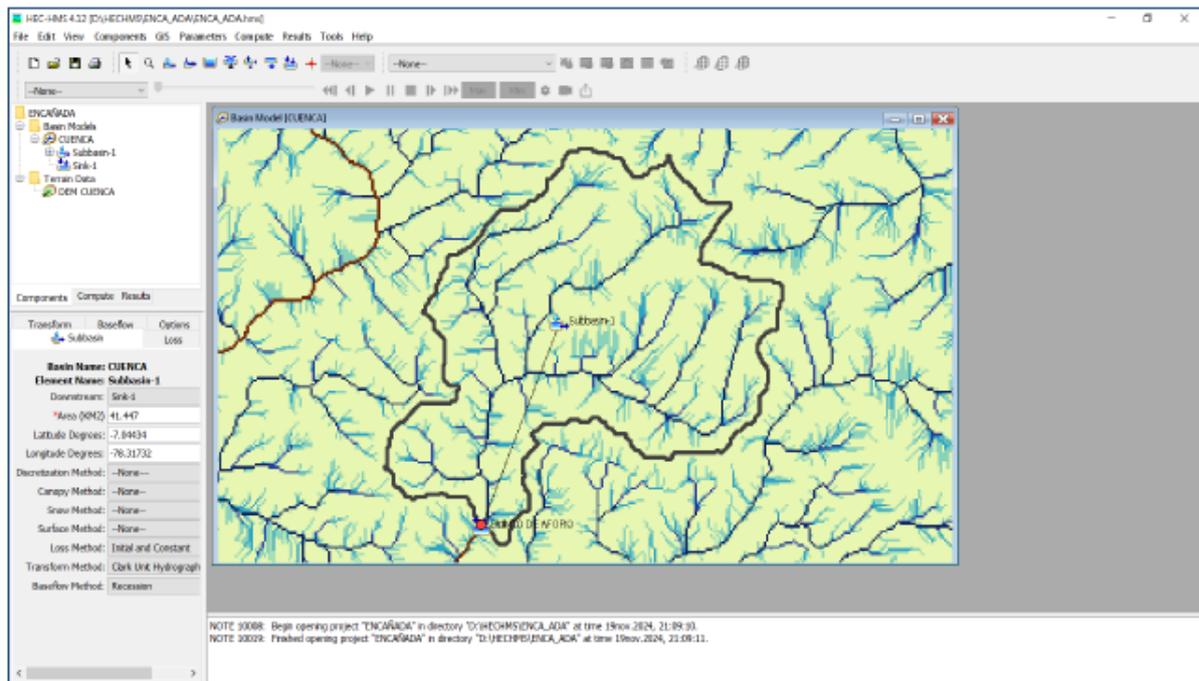


Figura 66. Delimitación de la cuenca.

4. Creación del administrador del modelo meteorológico

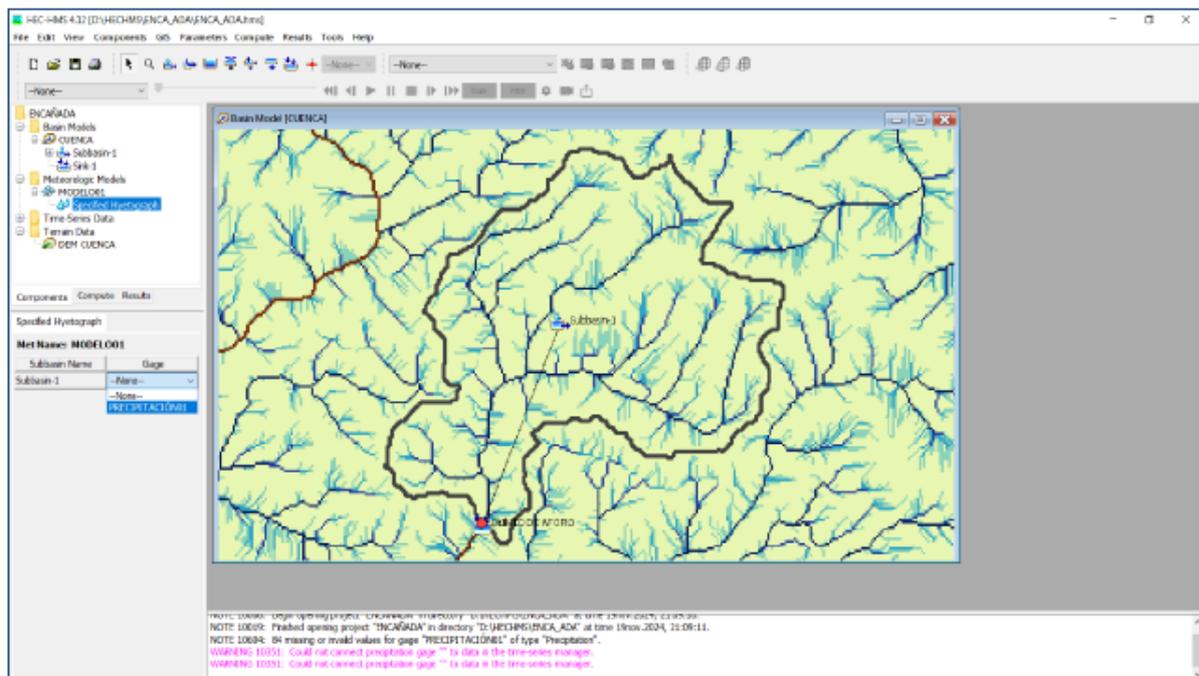


Figura 67. Creación del administrador del modelo meteorológico.

5. Resultados

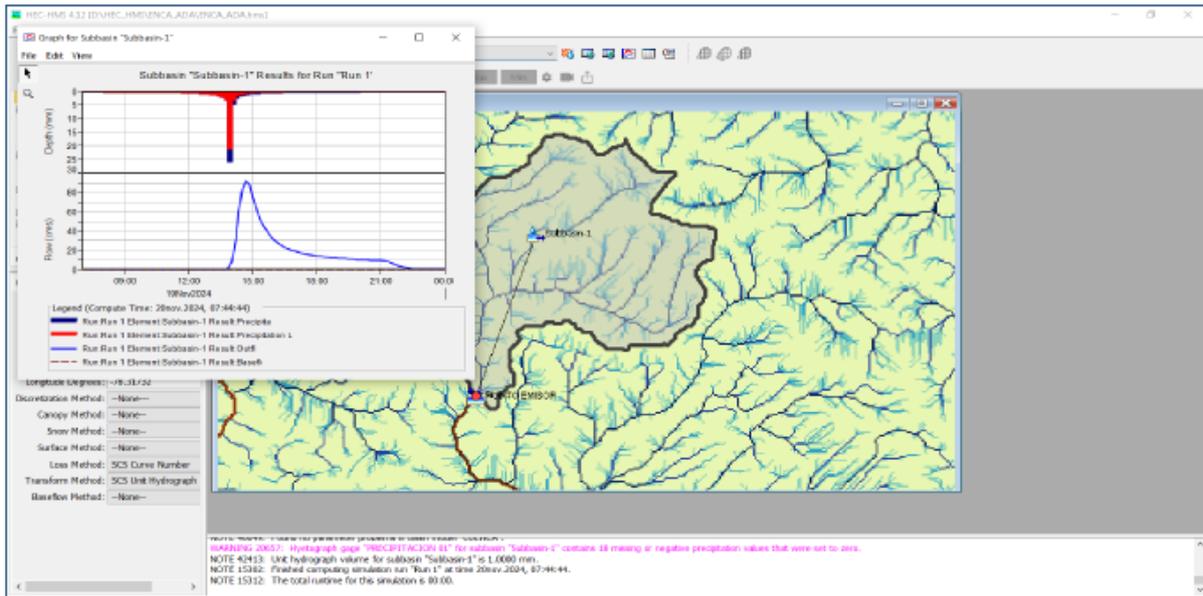


Figura 68. Resultados HEC-HMS

Caudal máximo = 92.4 m³/s

Hora que se produjo el caudal máximo: 14.40 pm

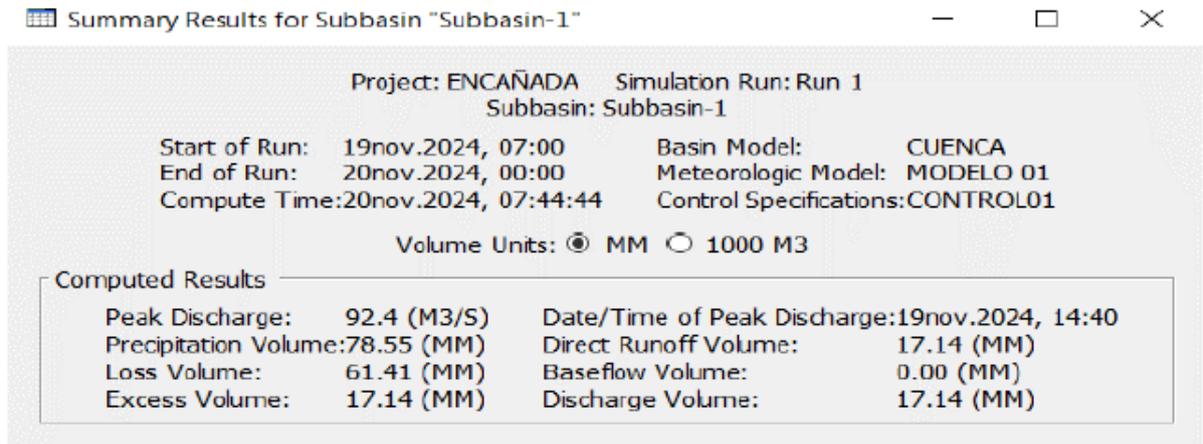


Figura 69. Resultados HEC-HMS

APÉNDICE 02: PROCESAMIENTO EN HEC – RAS

1. Exportación de DEM

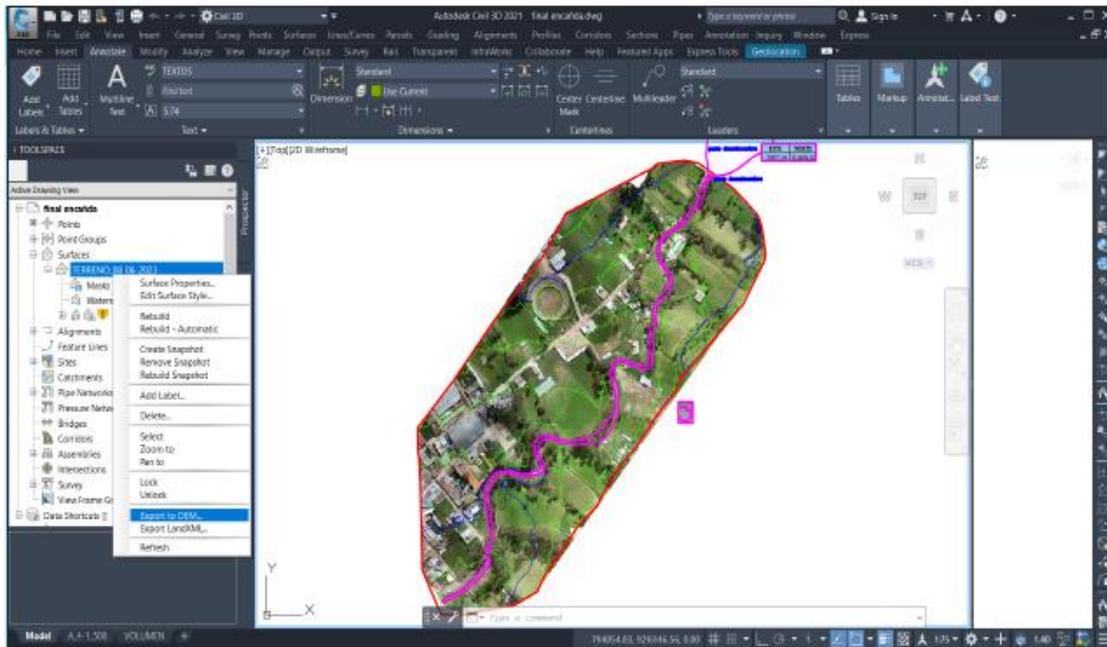


Figura 70. Exportación DEM.

2. Configuración de unidades en HEC-RAS.

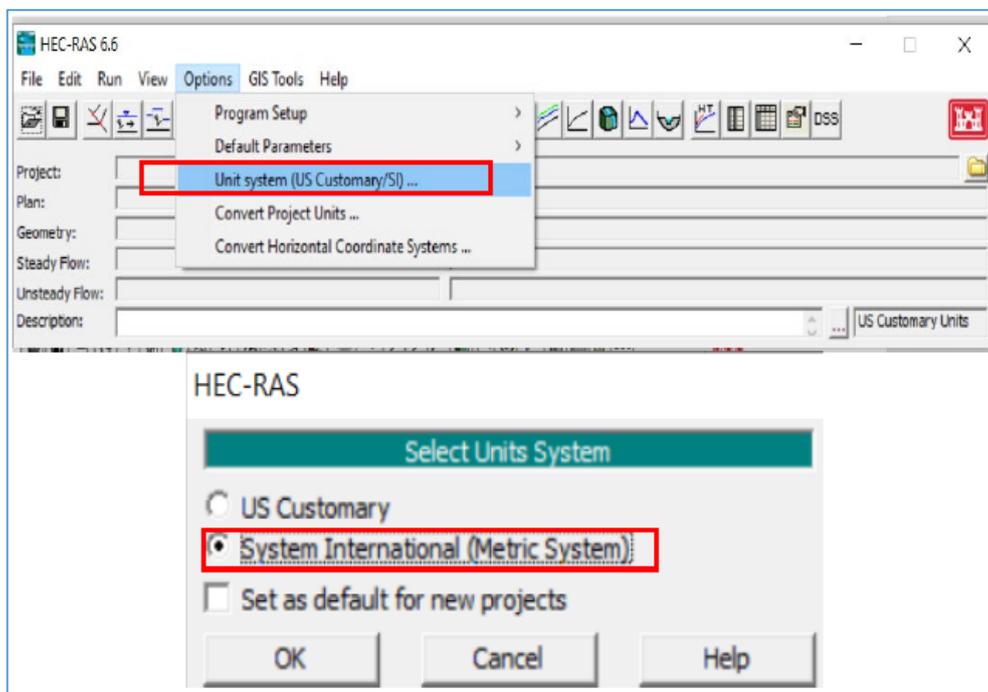


Figura 71. Configuración de unidades en HEC-RAS

3. Configuración y creación de terreno

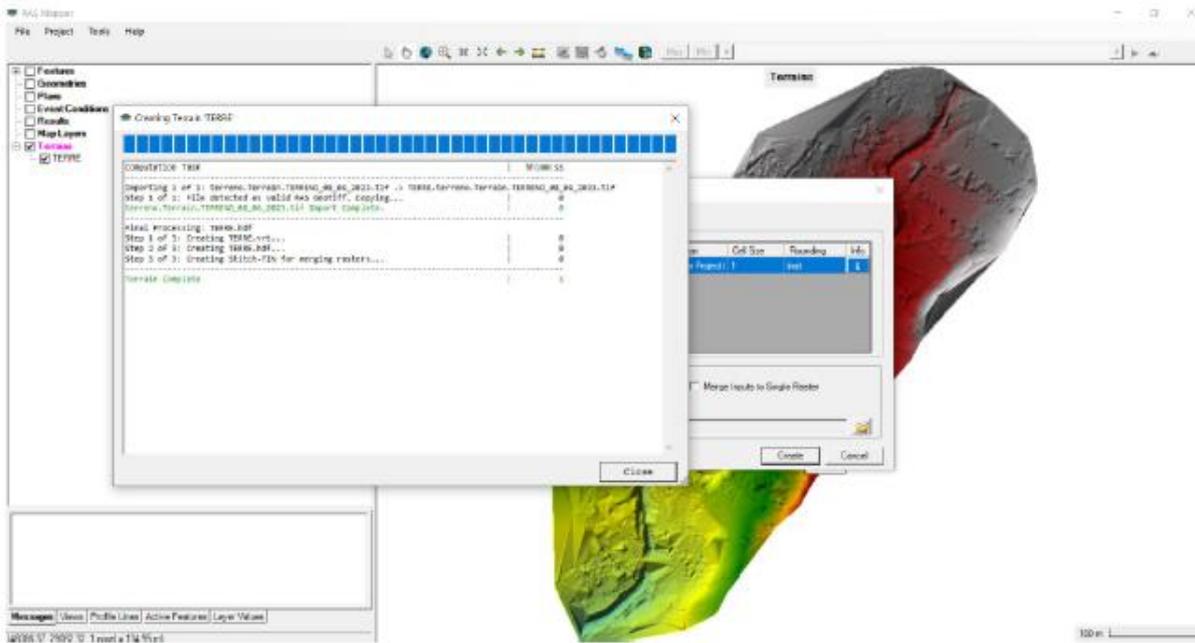


Figura 72. Configuración y creación de terreno,

4. Trazo de entrada y salida.

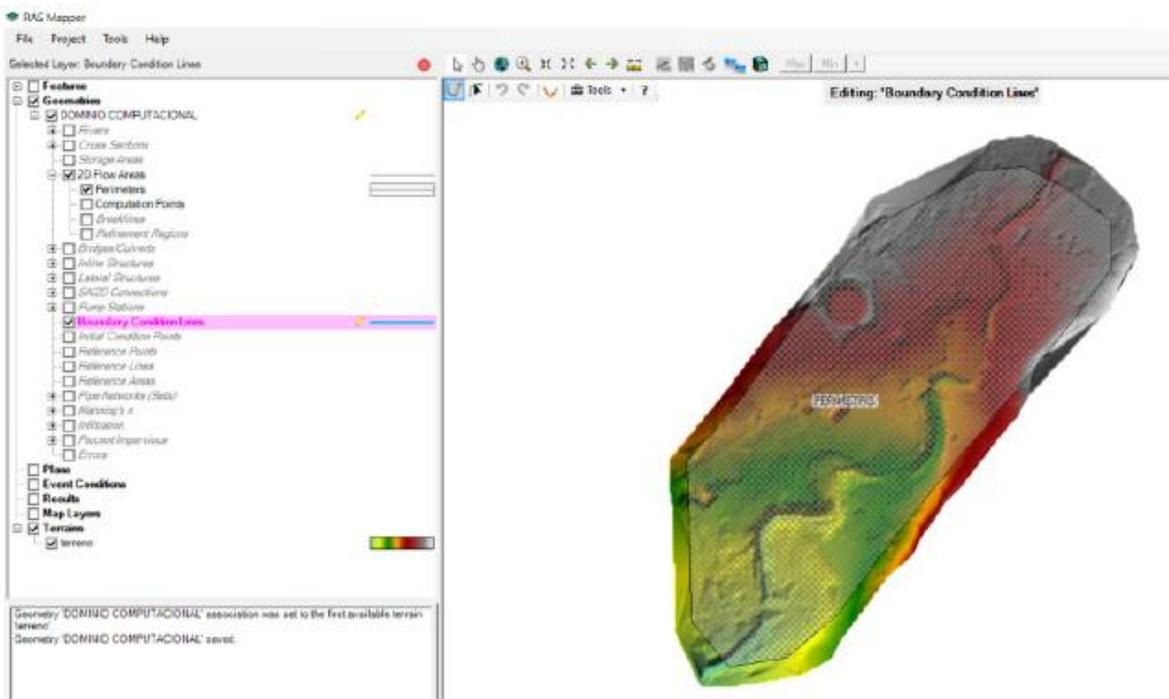


Figura 73. Trazo de entrada y salida.

5. Hora de inicio y final e ingreso de caudales.

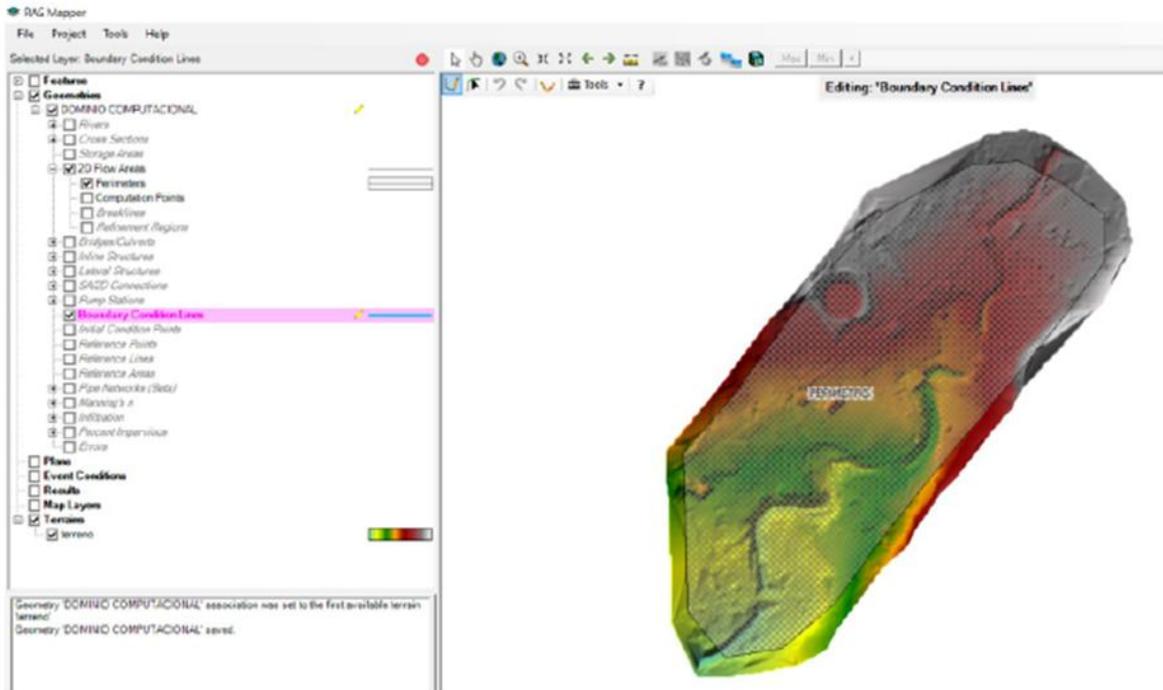


Figura 74. hora de inicio y final e ingreso de caudales.

6. Ingreso del valor de la pendiente.

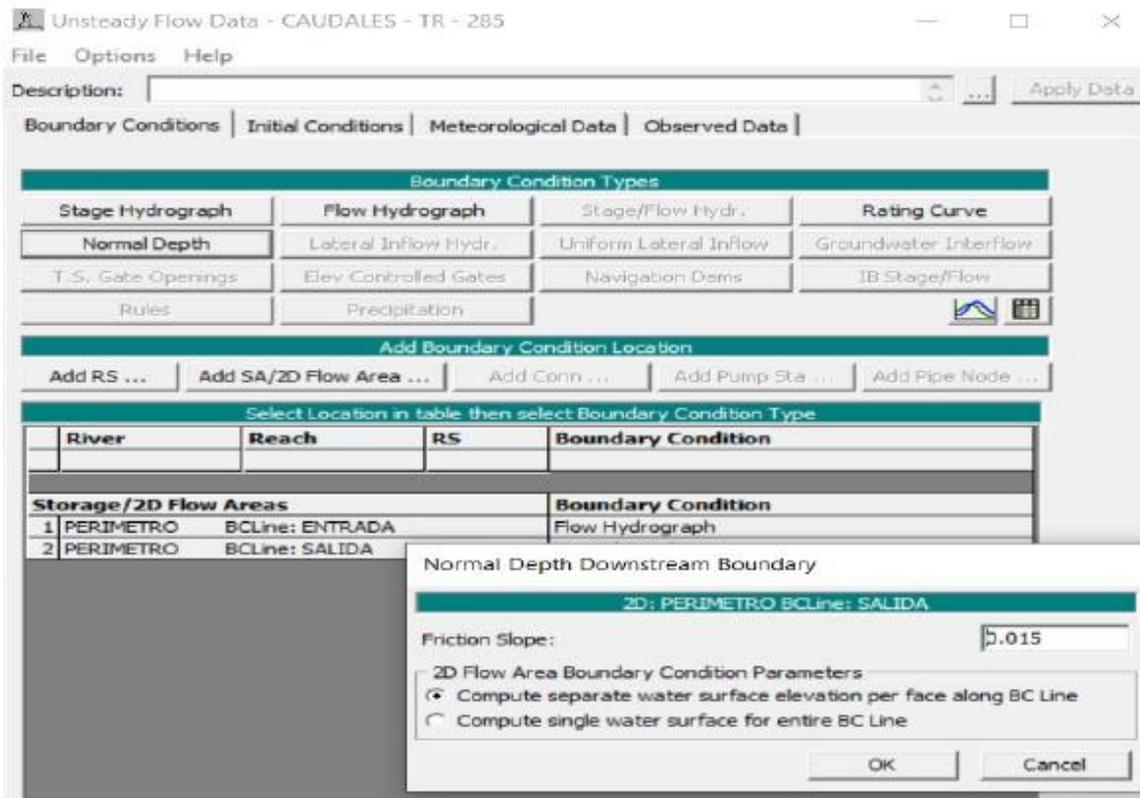


Figura 75. Ingreso del valor de la pendiente.

7. Resultado para TR-285

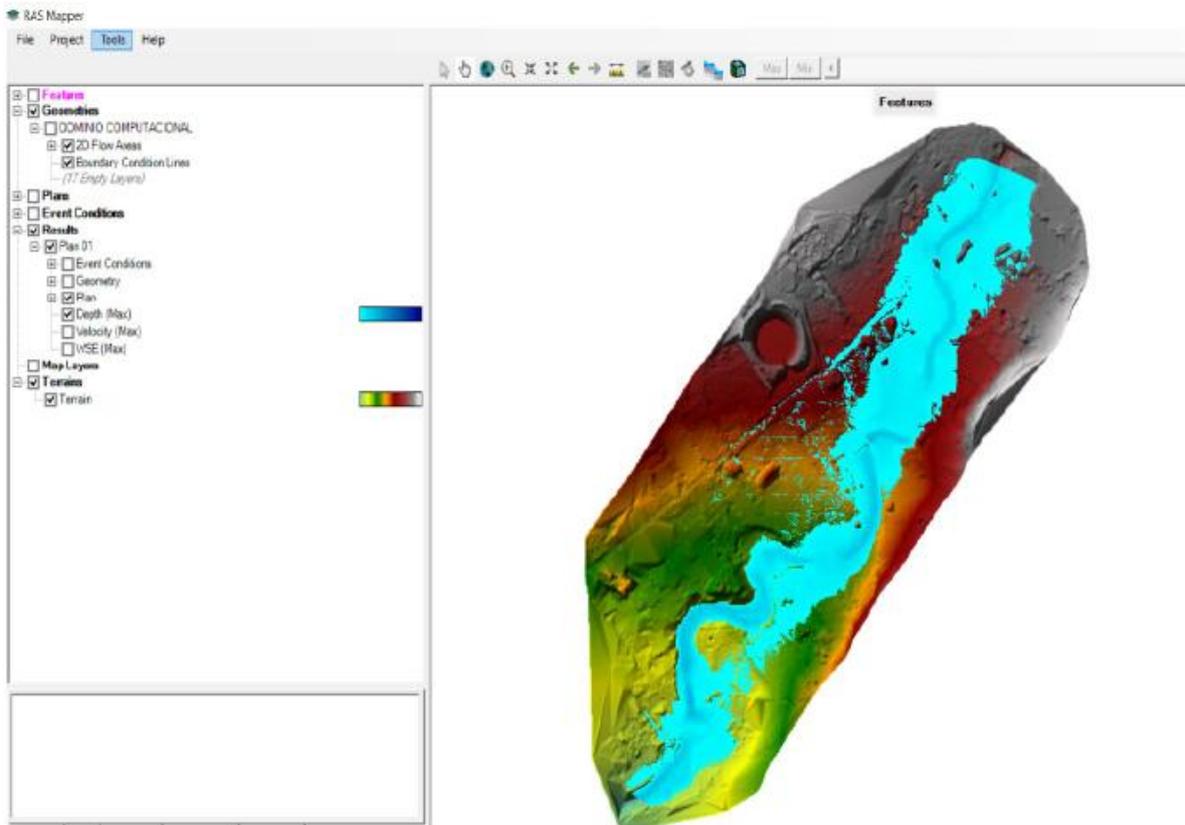


Figura 76. Resultado HEC-RAS TR-285.

APÉNDICE 03: PLANOS

4.1.2. Elementos y medios de vida en peligro de ser afectados por las **inundaciones para períodos de retorno de 50 años, 85 años, 135 años y 285 años.**

De acuerdo con la identificación de campo de los medios de vida y principales estructuras hallados en la zona de estudio, de acuerdo con los Mapas de Zonificación según Nivel de Peligrosidad por inundación, se han obtenido los resultados presentados en la Tabla 16.

Tabla 16. Elementos y estructuras expuestas según el nivel de peligro en las zonas inundables.

Tipo de elemento \ Tiempo de análisis	NIVEL DE PELIGRO	TR (50 años)	TR (85 años)	TR (135 años)	TR (285 años)
VIVIENDAS (#)	BAJO	9	15	16	21
	MEDIO	2	4	13	18
	ALTO	2	4	27	0
	MUYALTO	5	5	9	26
PUENTES (#)	BAJO	1	0	0	0
	MEDIO	1	1	0	0
	ALTO	3	2	2	0
	MUYALTO	0	2	3	5
AREAS DE CULTIVO (Área Ha)	BAJO	0.1222	0.2917	0.6938	0.4292
	MEDIO	0.0169	0.1163	0.1431	0.3498
	ALTO	0.0151	0.0777	0.2732	0
	MUYALTO	0.0323	0.0113	0.057	0.2777
MERCADO (Área Ha)	BAJO	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0
	MUYALTO	0	0	0	0

Como se puede observar, en el caso de las viviendas como mínimo se verán afectadas 5 de ellas para cualquier tiempo de retorno, y de acuerdo con el tiempo de retorno estimado para este medio de vida 9 y 27 viviendas se encuentran en una zona de nivel Peligrosidad Muy Alto y Alto respectivamente. Claramente con este resultado podemos afirmar que estas viviendas presentan un riesgo alarmante de afectación por inundaciones, adicionando a esto el tipo de construcción de las viviendas encontradas en la zona de estudio es en su mayoría de materiales fácilmente deteriorables, lo que incrementa el riesgo de fatalidad.

Para los puentes de Concreto encontrados en la zona de estudio podemos observar que los 3 de ellos se encuentran en el nivel de Peligrosidad Muy Alto de acuerdo con

el tiempo de retorno estimado para estos elementos, además el hecho de que estos puentes se encuentran hecho de manera artesanal y probablemente sin ningún tipo de cálculo estructural y/o hidráulico, podemos afirmar que existe un inminente riesgo de fatalidad relacionado.

En las áreas de cultivo se han encontrado afectadas aproximadamente 0.0323 ha designadas como zona de peligrosidad muy alta, a su vez estas áreas realmente no requieren de un diseño estructural o cálculo hidráulico avanzado para prevención de inundaciones, lo que reduce el nivel de pérdida a únicamente los cultivos y tierras de estas áreas por lo cual a pesar de que hay una afectada por un riesgo de inundación de peligrosidad alto, esto no presenta un riesgo de fatalidad inminente aunque se deben plantear medidas de prevención para evitar la afectación de estas áreas ya que la principal actividad económica de la población de la zona es la agricultura.

Por último, referente al área ocupada por el mercado del Distrito de La Encañada, el área de afectación por niveles de peligrosidad alto y muy alto son solo de 0.0004 y 0.0014 ha. respectivamente, y en el mapa de zonificación de áreas inundables se puede visualizar claramente que no se encuentra afectada en su mayoría. Sin embargo, esta actividad económica, que reúne a agricultores, ganaderos, puestos de comida y ferias, podría verse gravemente impactada en caso de un colapso del puente que conecta la zona, o por posibles daños a los puestos de venta ubicados cerca del lecho del río. Estos factores podrían poner en riesgo el flujo comercial y la sostenibilidad de esta importante fuente de ingresos para la comunidad

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La recopilación de la información topográfica con Dron y Estación Total permitió una visión detallada del área de influencia del río La Encañada, lo que fue determinante para comprender las características del terreno y su influencia en la propagación de inundaciones. De acuerdo con la topografía se visualiza una cuenca con un río meándrico, índice de áreas de mayor riesgo en zonas de curvaturas, especialmente en las cercanías al cauce del río.
- La cuenca del río La Encañada muestra una forma geográfica con meandros, lo que indica que el río exhibe un doble giro a lo largo de su curso, generando zonas de retención de agua en determinados sectores. Esta clase de estructura geográfica incrementa el riesgo de inundaciones, especialmente en las regiones bajas adyacentes al río, tales como los campos cultivados y las casas ubicadas cerca del cauce del río.
- La obtención de información histórica y de campo sobre la lluvia en la cuenca del río La Encañada facilitó el reconocimiento de los comportamientos de flujo y las cantidades de precipitación en un periodo de 24 horas durante los años 1998 a 2023. Estos datos son fundamentales para analizar las circunstancias hidrológicas que inciden en la región, y se emplearon para crear los hietogramas de lluvia requeridos para las simulaciones hidrológicas, lo que posibilita modelar de forma más exacta los escenarios de inundación potenciales.
- A través del modelado numérico con el software HEC-HMS, se simularon diversos escenarios hidrológicos para diferentes tiempos de retorno estimados de acuerdo con la presencia de distintos medios de vida en la zona. Los resultados mostraron caudales máximos extraordinarios de 92.4, 112.0, 130.5 y 162.8 m³/s para los periodos de retorno de 50, 85, 135 y 285 años respectivamente, revelando que las zonas cercanas al río, especialmente las viviendas, se encuentran en alto riesgo de inundación en estos escenarios extremos. Las simulaciones evidencian la necesidad urgente de medidas de mitigación en las áreas de mayor vulnerabilidad.

- El sistema hidráulico desarrollado usando HEC-HMS indicó que las zonas cercanas al río La Encañada, incluyendo viviendas, puentes y el mercado local, están expuestas a inundaciones con distintos grados de riesgo. La simulación anticipa un efecto considerable en estas localidades durante eventos de desbordamiento, con la posibilidad de daños severos a la infraestructura y a las actividades económicas de la región.
- La ilustración visual de las regiones propensas a inundaciones ayudó a discernir de manera precisa las localizaciones más expuestas a inundaciones. Estas regiones abarcan tanto campos cultivables como viviendas, puentes y el mercado local. Las casas y puentes situados adyacentes al lecho del río son los que sufren mayor daño, presentando un grado de peligrosidad extremadamente alto. Los datos visuales permiten entender mejor las posibles consecuencias de una inundación y ofrecen una base para el desarrollo de estrategias preventivas y de reducción de riesgos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Establecimiento de sistemas de aviso anticipado, es esencial crear un esquema de supervisión y aviso anticipado frente a posibles inundaciones, utilizando tecnologías modernas como sensores de flujo en tiempo real y pronósticos meteorológicos recientes.
- Mejora de la infraestructura, es necesario realizar reforzamientos en las estructuras actuales, como los puentes improvisados y las casas más vulnerables, asegurando su capacidad para soportar eventos severos.
- Promoción de la educación y sensibilización a la población sobre los peligros de inundaciones, las acciones preventivas y los planes de evacuación. Esta estrategia proactiva facilitará una reacción más eficiente en situaciones de desbordamiento.
- Promover la relocalización de actividades en áreas de alto riesgo para prevenir pérdidas en vidas y bienes, se debería evaluar la posibilidad de trasladar actividades económicas importantes, como el mercado local, a zonas más seguras o implementar medidas protectoras y de resiliencia para asegurar su continuidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferrando, F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista de urbanismo*, (15), ág-25.

Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., & Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 5-13.

Díaz, A. L. P. (2019). Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro. Gaspari, F., Rodríguez, A., Senisterra, G., Delgado, M., & Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata; 1a ed; p. 52 .

Wolf, P., & Ghilani, C. (2015). Topografía. Alpha Editorial.

Cárdenas, K. (2018). Análisis general de la gestión del riesgo por inundación en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 4(1).

Martínez-Cantó, R., & Hidalgo, A. (2016). Modelización de inundaciones fluviales con iber. caso práctico de santiago del molinillo (león). *Revista de Las Ciencias Geomáticas*, 34(October),7–12.
https://www.researchgate.net/profile/Raquel_Martinez_Canto/publication/309611090_MODELIZACION_DE_INUNDACIONES_FLUVIALES_CON_IBER_CASO_PRACTICO_DE_SANTIAGO_DEL_MOLINILLO_LEON/links/5819c81a08aeffb29412dc48/MODELIZACION-DE-INUNDACIONES-FLUVIALES-CON-IBER-CA

Montero, A., Fiamma, G., Cueva, M., & Alvaro, C. (2021). Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura.

Rabanal Silva, D. J. (2018). Zonificación de áreas inundables del barrio La Breña ocasionado por avenidas extraordinarias del río Grande de Celendín - Cajamarca.

Rudas, C., & Paúl, E. (2023). Zonificación de Áreas Inundables en el Centro Poblado de Polloc ocasionado por Avenidas Extraordinarias del Río la Encañada-Cajamarca.

Tarazona R., H. G. (2012). Modelamiento Hidrológico de la Cuenca del Río Ica con fines de prevención de Inundaciones en la Ciudad de Ica. Universidad Nacional Agraria La Molina, I(511), 119 pag. <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/1656/AGR-OLI-CAS-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Mantilla, F. (2019). Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico de la quebrada Chinchinmarca – sector 24 (Villa Huacariz) – Cajamarca. 24, 114. file:///C:/Users/admin/Music/bio/T L73 T277 2014.pdf

Bladé y Castellet, E. (2021). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable: una visión a partir del modelo HEC-RAS. Edicions UPC.

Bravo, J. D. (2000). Breve introducción a la cartografía ya los sistemas de información geográfica (SIG). Ciemat.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.

Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL, 1, 66-78.

INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. Lima, Perú.

Villón-Béjar, M. (2016). HidroEsta, software for hydrological calculations. Revista Tecnología en Marcha, 95-108.

Gaspari, F. J. (2007). Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) . Tesis de maestría. España, Universidad Internacional de Andalucía.

Chow, V. (2000). Hidrología aplicada. Colombia: Editorial Nomos S. A.

French, R. H. (2000). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill Interamericana.

Quiroga, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. RIBAGUA - Revista Iberoamericana Del Agua, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/J.RIBA.2015.12.001>

Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., & Barca, P. (2021). Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, 603, 126962. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126962>

ANEXOS

ANEXO 01: FICHA TÉCNICA DE ZONA INUNDABLE POR DESBORDE DEL RÍO LA ENCAÑADA. FUENTE SIGRID - CENEPRED




FICHA TÉCNICA REFERENCIAL DE IDENTIFICACIÓN PUNTO CRÍTICO DEL SECTOR CERCADO ENCAÑADA, DISTRITO DE ENCAÑADA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

PROYECTO: OBRAS DE CONSTRUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BARRIO DE OBREROS EN LA MANERA DERECHA DEL RÍO ENCAÑADO, SECTOR CERCADO ENCAÑADA, DISTRITO ENCAÑADA, PROVINCIA DE CAJAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

I. UBICACIÓN:

RÍO: CERRADO: SECTOR: NO SI

DEPARTAMENTO: PROVINCIA: DISTRITO: NO SI

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA: MUNICIPALIDAD: ADMINISTRACIÓN LOCAL DEL AGUA:

II. UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN COORDENADAS UTM - DATUM: WGS 84:

TRAMO 1 : DESOLMATACIÓN Y BARRIOS (PARTE DERECHA)

ESTE INICIAL	70301	NORTE INICIAL	02 5210
ESTE FINAL	70302	NORTE FINAL	02 5210
LONGITUD	547.8 m	ZONA	17 Sur

III. EVALUACIÓN DE LA ZONA EXPUESTA A INUNDACIONES:

3.1. GEOLOGÍA

La zona en estudio presenta estructuras tales como, load marks, laminaciones, bioturbaciones, depositadas en secuencias directas, inversas y rítmicas. Su característica es que en las tres zonas presenta más de dos facies de sedimentación habiéndose reconocido rocas de los tres miembros que corresponden a calizas (mudstone, grainstone, packstone y grainstone), arcillitas, margas y dolomías. Como consecuencia, la litología de la zona presenta una gran heterogeneidad, pasando de facies líticas sedimentarias (areniscas de grano diverso, calizas, arcillitas, limolitas, etc.) a metamórficas (pizarras, cuarcitas, etc.) e igneas extrusivas (tufos, brechas volcánicas de diferente naturaleza, derrames andesíticos, tipo de suelo(Graveloso(Mayores a 2 mm, Arenoso(2 mm - 0.2 mm) y Arcilloso(menor de 0.002 mm) de las zonas de asentamientos, erosión fluvial (y si se han presentado repliación en las zonas altas de las quebradas). Si se han presenta caída de rocas en laderas de cerros. la sección promedio del río es de 5.00 m de ancho y 1.00 de altura. El distrito de la Encañada provincia de departamento de Cajamarca, tiene una extensión 635.06 Km2.

3.2. HIDROLOGÍA

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS:
 Área de 45.13 km², perímetro 36.45 km, altitud media de la cuenca 3592.16 msnm, la pendiente de la cuenca es de 12.93 %, la pendiente del río de máximo recorrido es 6.37% y la longitud de máximo recorrido es de 14.84 km., tiempo de concentración 91.71 min, índice de gravellus 1.52, factor de forma 0.20, densidad de drenaje 0.80 km/km², coeficiente orográfico 0.29 y relación de confluencias 0.96.
 El río Encañado normalmente en época de estiaje presenta un caudal promedio de 1.0 m3/s, recargando su caudal en época de lluvias, no existe una estación hidrométrica que registre los caudales históricos de este, sin embargo de acuerdo a la huella en el cauce del río constatado se puede inferir un caudal de máximas avenidas de 5.0 m3/s aproximadamente.

IV. ÁREAS PROTEGIDAS:

Se anexa detalles de bienes reconocidos del río Encañado, si se anexa información histórica

Nombre	Ubicación	Superficie (m ²)	Observaciones
Papa		-	
Quilca		-	
Huaca		-	
Avra Pongra		-	
Malla		-	
Otro		-	

Nombre	Ubicación	Superficie (m ²)	Observaciones
Yucra		-	
Otro		-	
Cancha		-	
Equino		-	
Parana		-	
Otro		-	

Nombre	Ubicación	Superficie (m ²)	Observaciones
Bucuma		-	
Caraca		-	
Puercu		-	
Cancha		-	

IV. POBLACIÓN EXPUESTA:

Alrededor de unas 100 familias aproximadamente cercanas al cauce del río Encañado, en el Cercado de la Encañada. En el presente verificado. Se anexa detalles de bienes reconocidos con un promedio de 4 a 5.30 m de ancho 1.00 de altura.

N° de familias	Tipo	N° de viviendas	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio	Edificio
100	Edificio I y vivienda						SERVICIO DE AGUA Y LUZ

IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Definición de daños e impacto probables se anexa la siguiente información:

N° de familias afectadas	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO	N° de viviendas con daños severos	Costo de reparación de daños
100	X	X	-	-

CATEGORÍA DE DAÑOS	DAÑOS MATERIALES		DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO				DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO			
	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO	DAÑOS MATERIALES	DAÑOS DE AGUA Y SERVICIO PÚBLICO		
Edificio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Papa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quilca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huaca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avra Pongra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malla	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ANEXO 2: PANEL FOTOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA INVESTIGACIÓN



Figura 56. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 57. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 58. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 59. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 60. Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Figura 61. Levantamiento Topográfico con Dron.



Figura 62. Levantamiento Topográfico con Dron.



Figura 63. Levantamiento Topográfico con Dron.

APÉNDICE 01: PROCESAMIENTO EN HEC – HMS

1. Georreferenciación de la cuenca mediante DEM.

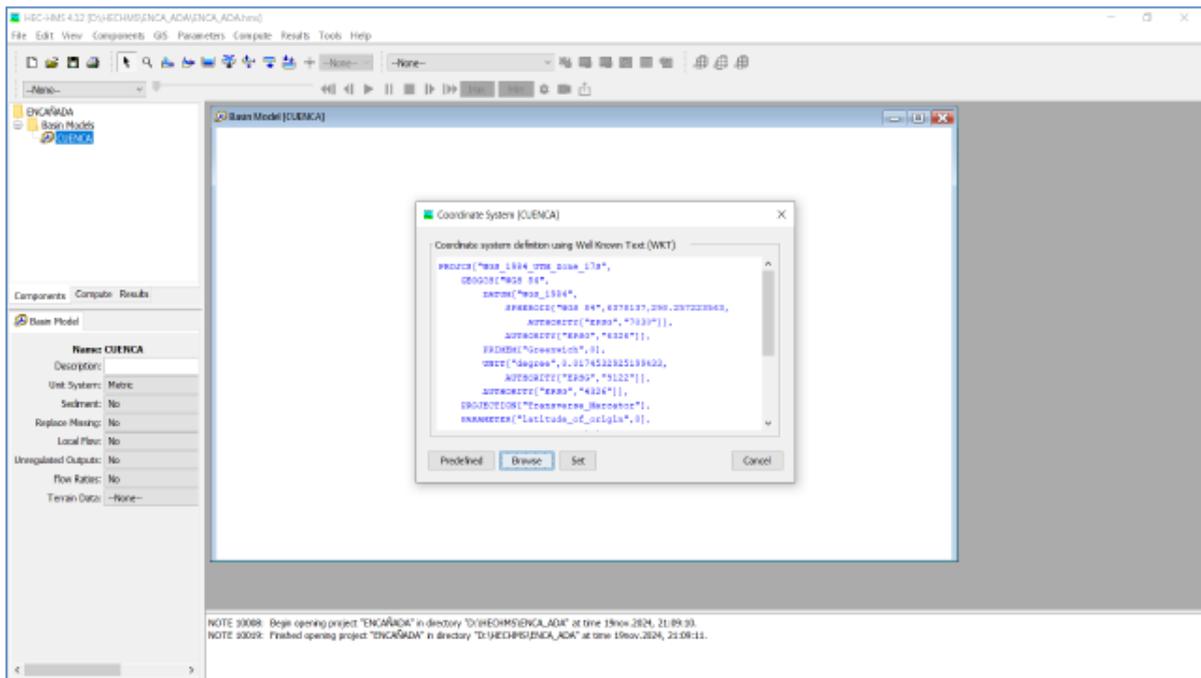


Figura 64. Georreferenciación de la cuenca mediante DEM.

2. Inserto del DEM de la zona de estudio

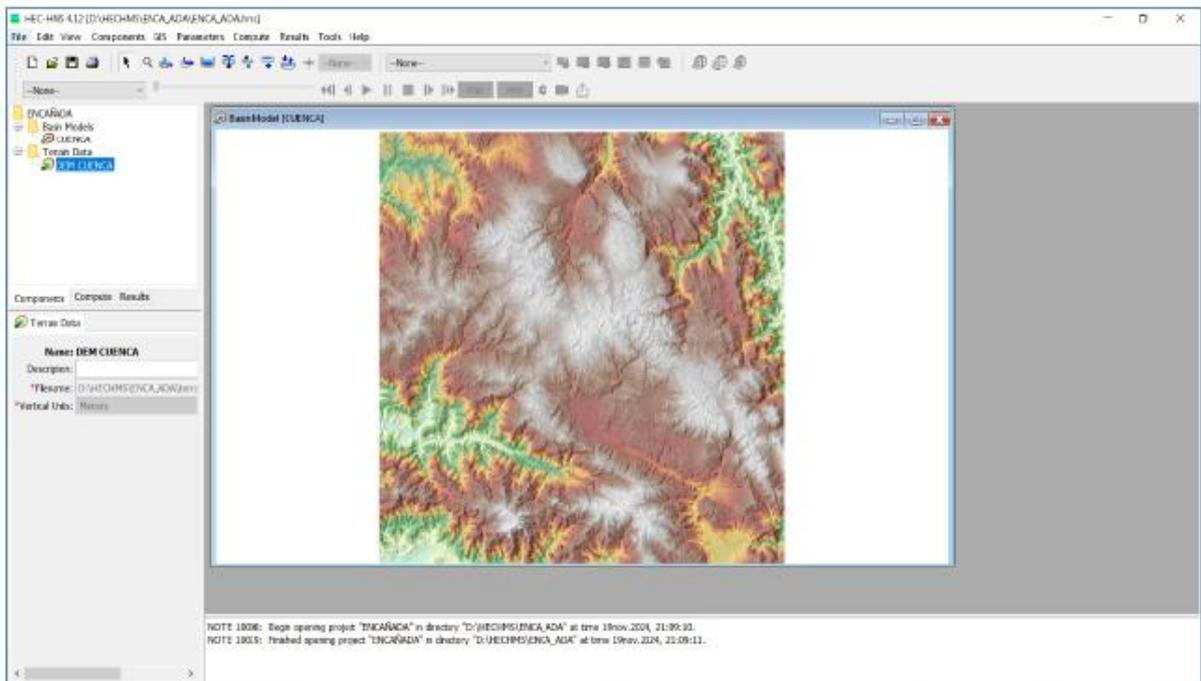


Figura 65. Inserto del DEM de la zona de estudio

3. Delimitación de la cuenca

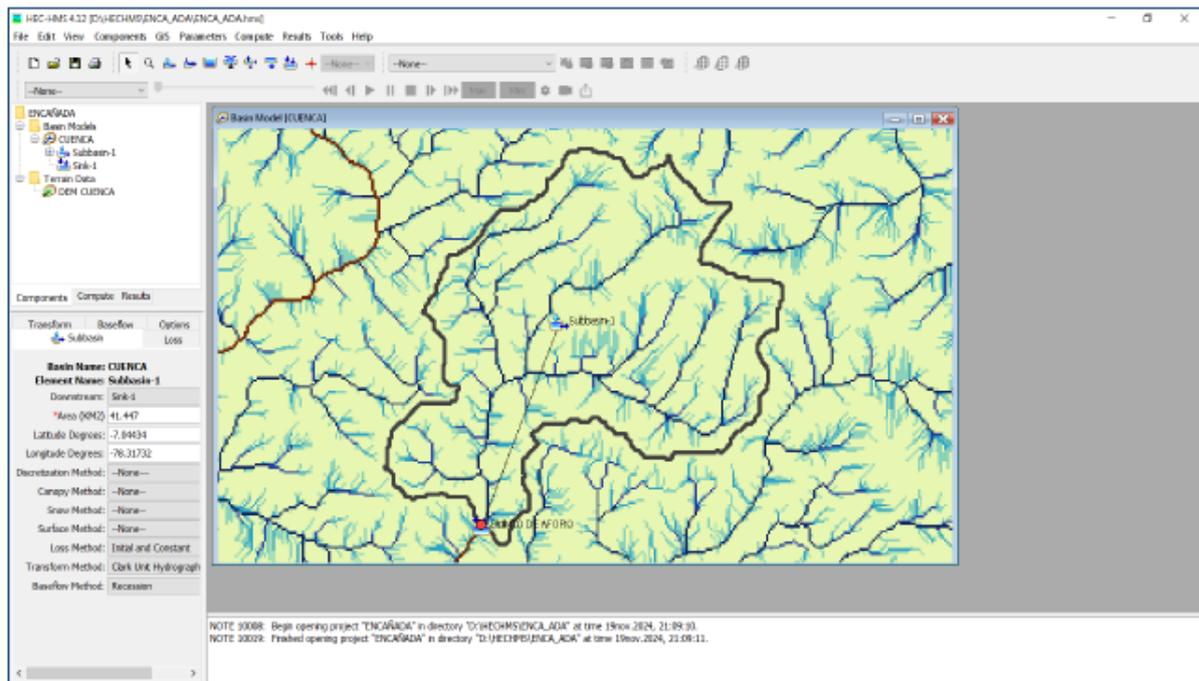


Figura 66. Delimitación de la cuenca.

4. Creación del administrador del modelo meteorológico

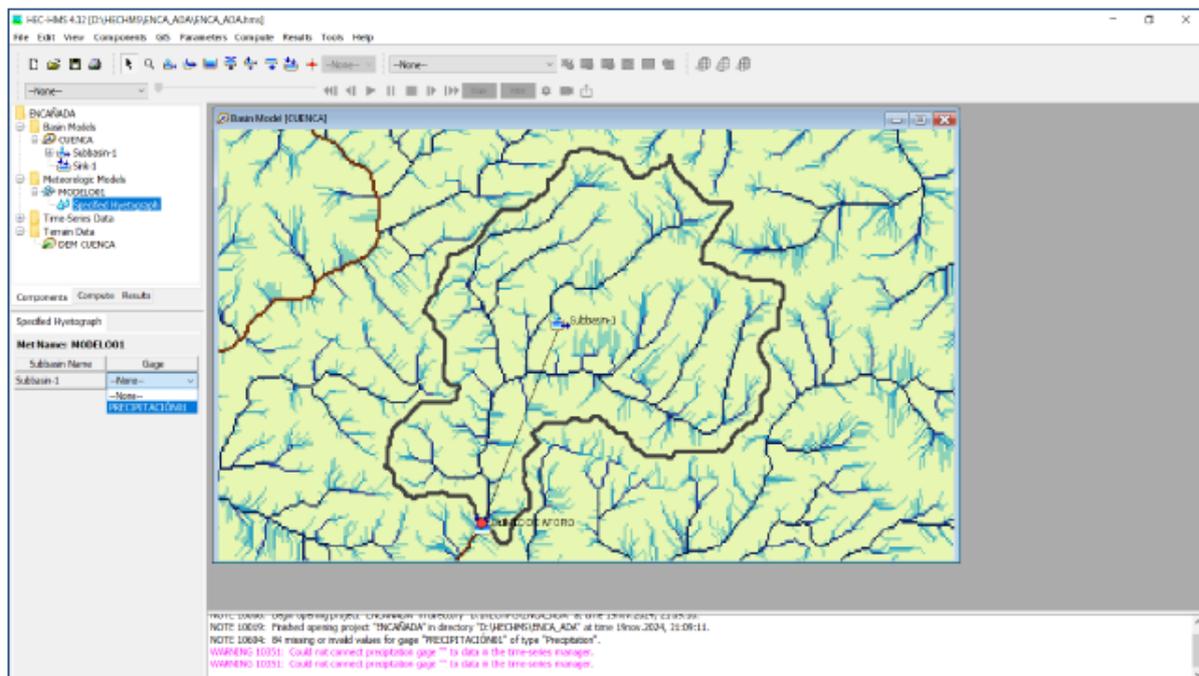


Figura 67. Creación del administrador del modelo meteorológico.

5. Resultados

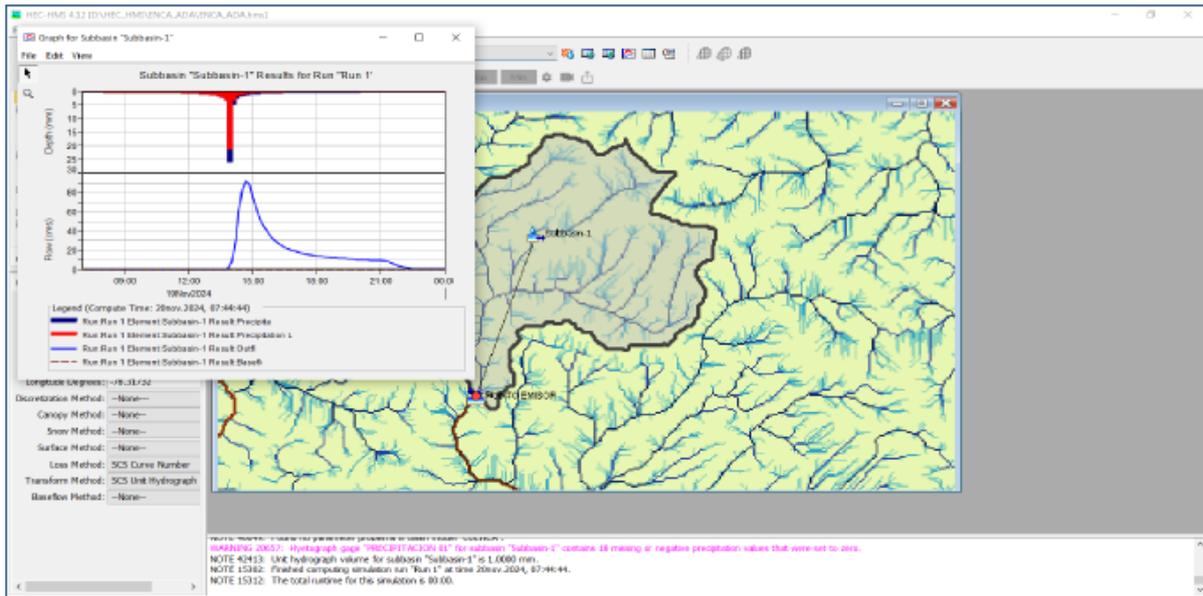


Figura 68. Resultados HEC-HMS

Caudal máximo = 92.4 m³/s

Hora que se produjo el caudal máximo: 14.40 pm

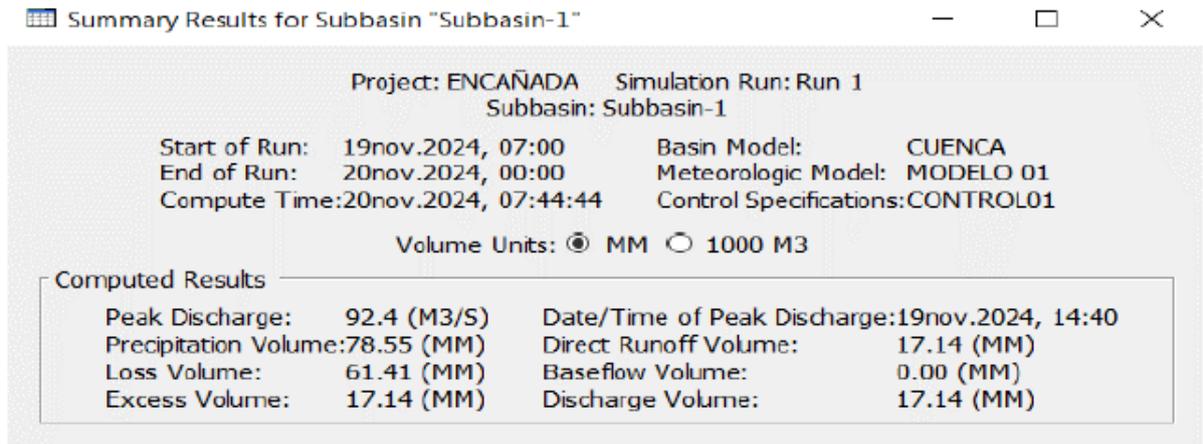


Figura 69. Resultados HEC-HMS

APÉNDICE 02: PROCESAMIENTO EN HEC – RAS

1. Exportación de DEM

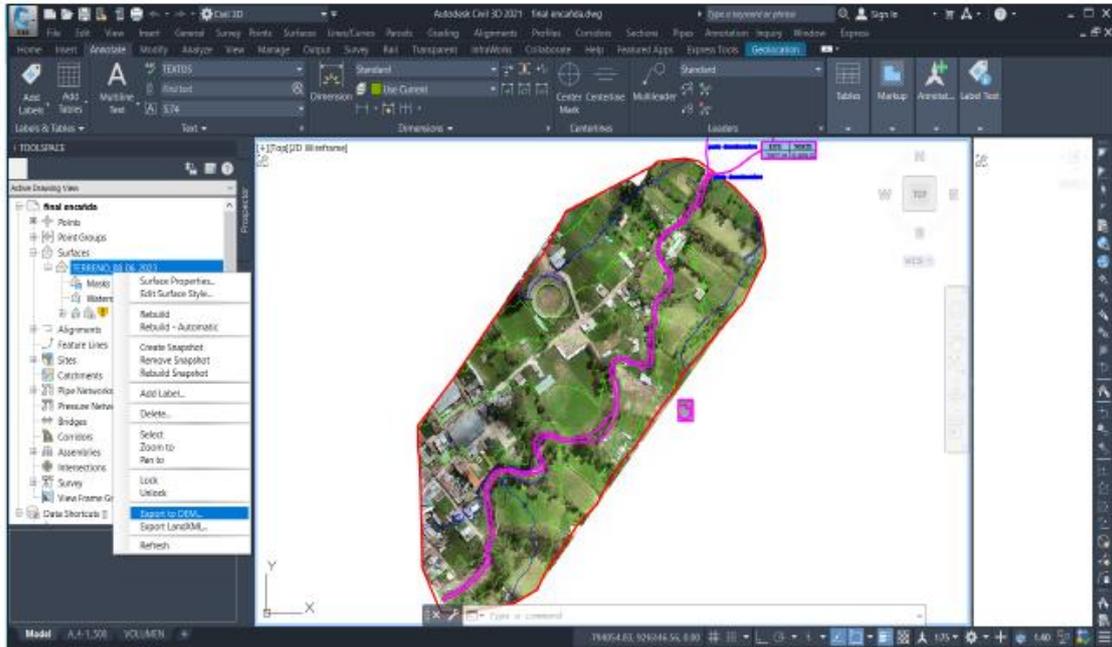


Figura 70. Exportación DEM.

2. Configuración de unidades en HEC-RAS.

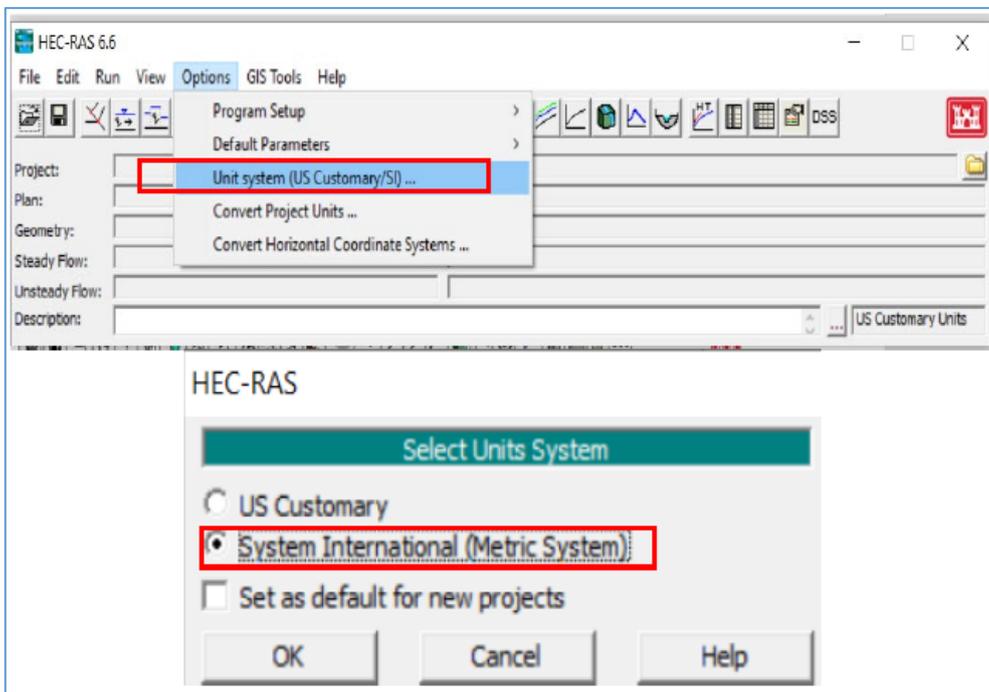


Figura 71. Configuración de unidades en HEC-RAS

3. Configuración y creación de terreno

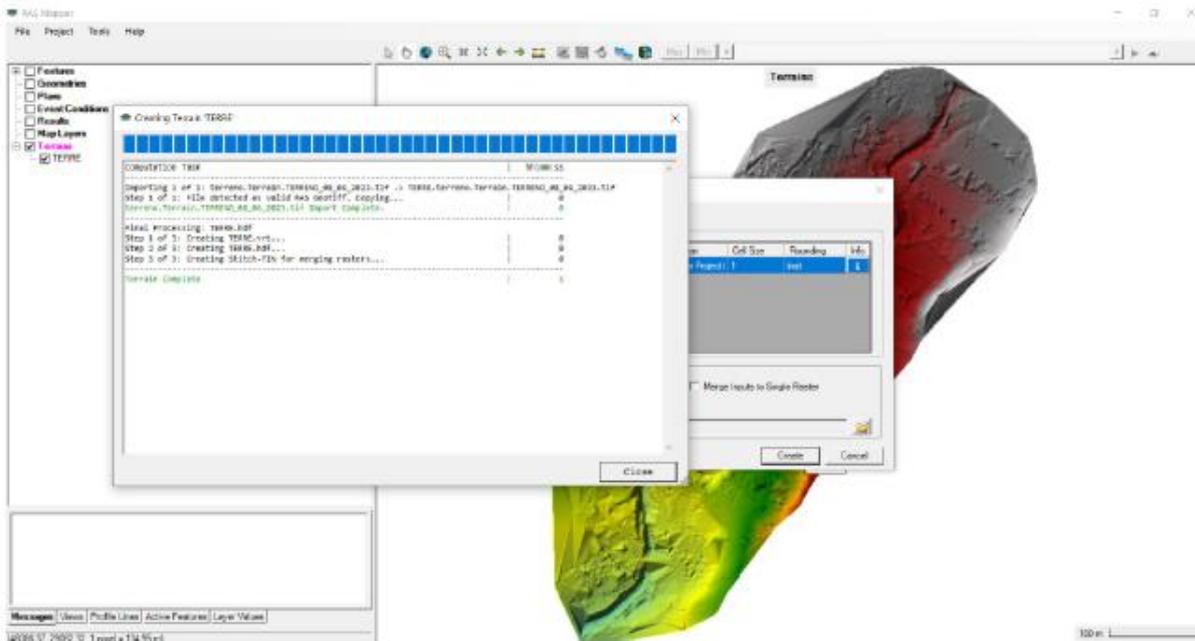


Figura 72. Configuración y creación de terreno,

4. Trazo de entrada y salida.

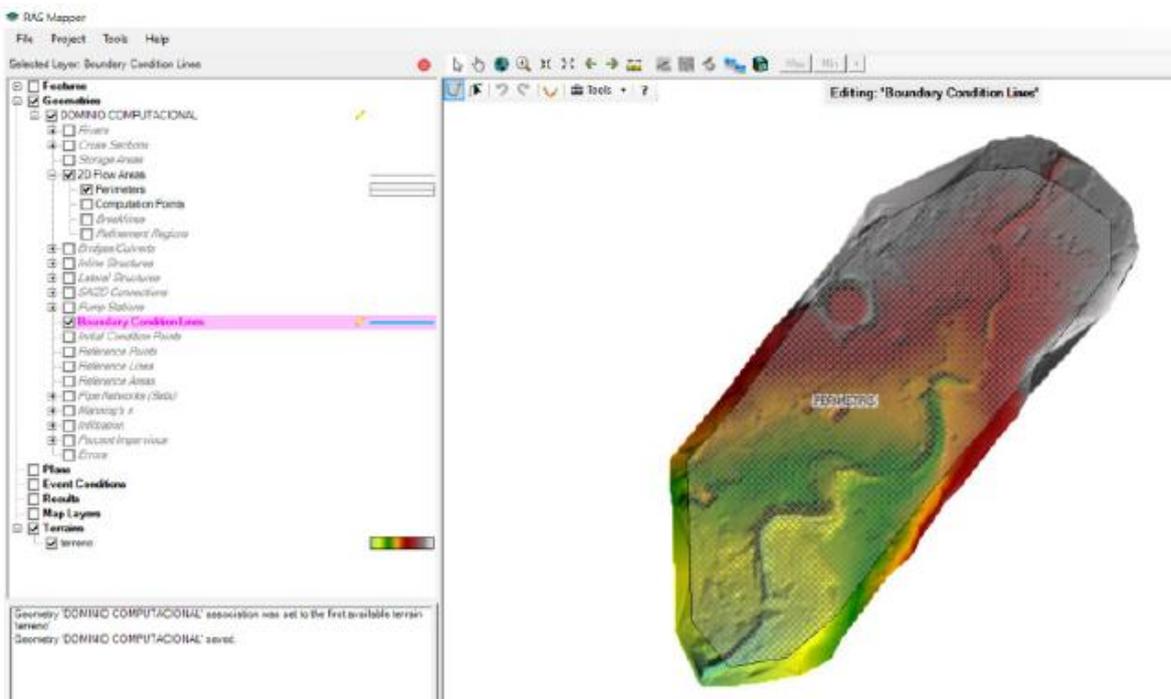


Figura 73. Trazo de entrada y salida.

5. Hora de inicio y final e ingreso de caudales.

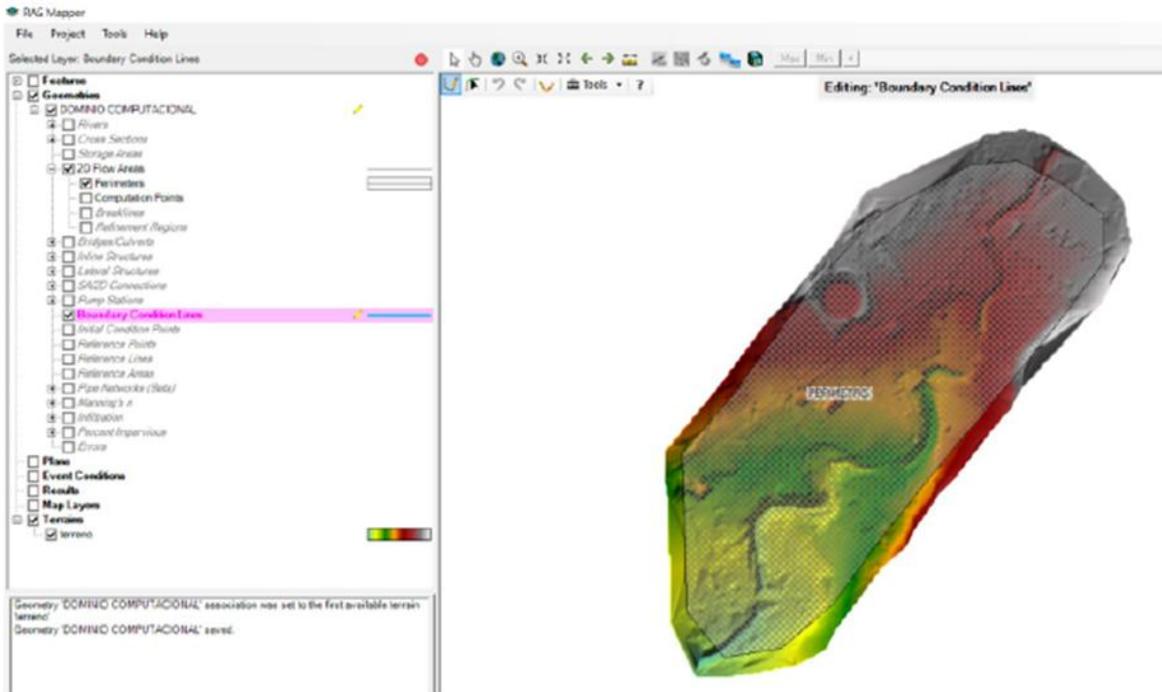


Figura 74. hora de inicio y final e ingreso de caudales.

6. Ingreso del valor de la pendiente.

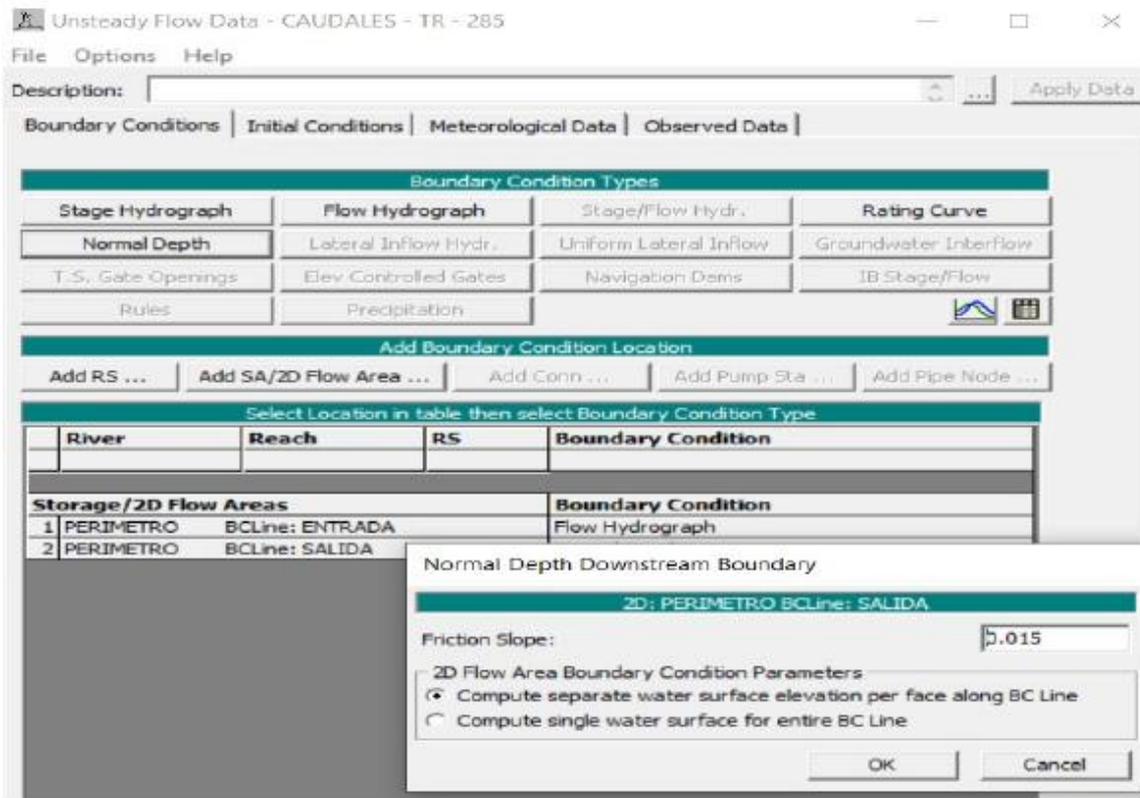


Figura 75. Ingreso del valor de la pendiente.

7. Resultado para TR-285

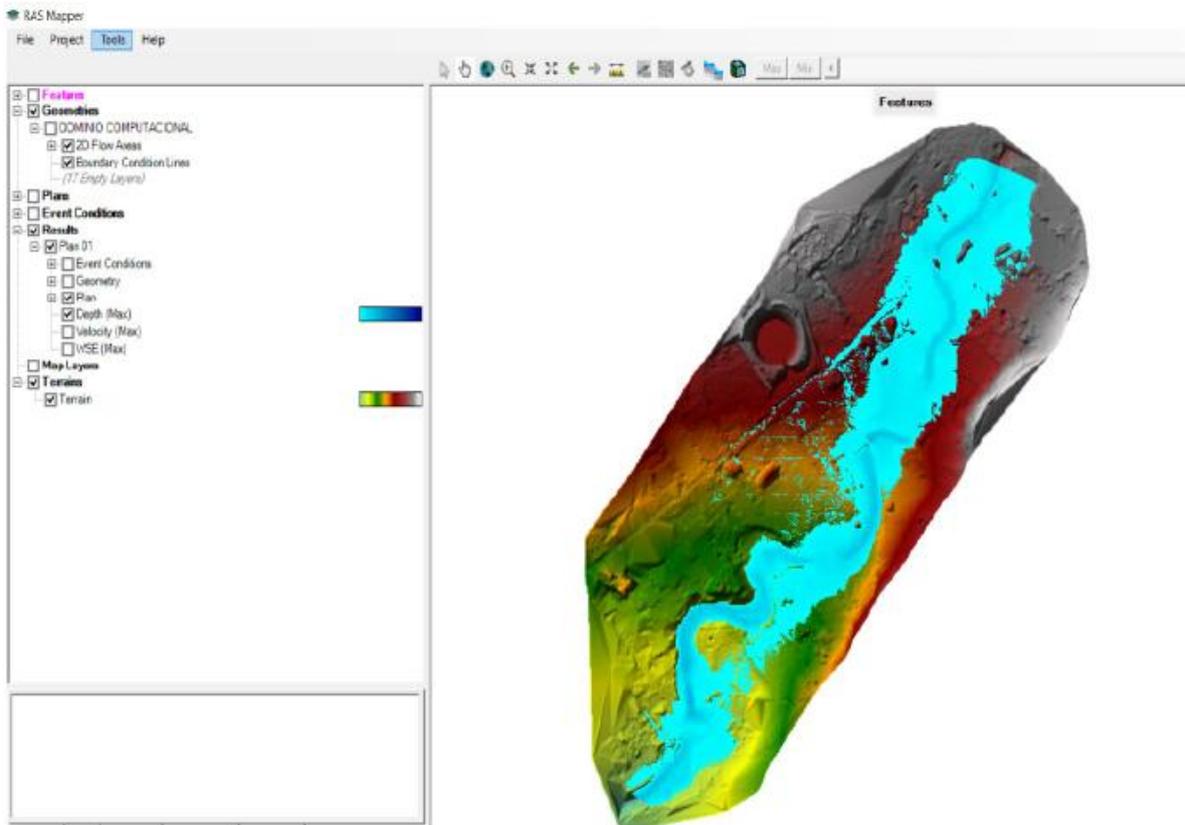


Figura 76. Resultado HEC-RAS TR-285.

APÉNDICE 03: PLANOS