

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE  
JAÉN



TESIS

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS  
AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA  
RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Jhon Jarli Rufasto Carrillo

ASESOR:

Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado

CAJAMARCA – PERÚ

2025

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### **- FACULTAD DE INGENIERÍA -**

**1. Investigador:** JHON JARLI RUFASTO CARRILLO

**DNI:** 74873844

**Escuela Profesional:** INGENIERÍA CIVIL

**2. Asesor:** Dr. Ing. JOSÉ ANTONIO CORONEL DELGADO

**Facultad:** DE INGENIERÍA

**3. Grado académico o título profesional**

- Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor

**4. Tipo de Investigación:**

- Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico

**5. Título de Trabajo de Investigación:**

“DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN – CAJAMARCA”

**6. Fecha de evaluación:** 26/08/2025

**7. Software antiplagio:**  TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)

**8. Porcentaje de Informe de Similitud:** 23%

**9. Código Documento:** Oid: 3117: 487030201

**10. Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 28/08/2025



**FIRMA DEL ASESOR**

Dr. Ing. JOSÉ ANTONIO CORONEL DELGADO  
DNI: 26722656

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



### ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

**TÍTULO** : DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA

**ASESOR** : Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0787-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 31 de diciembre de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **ocho días del mes de enero de 2026**, siendo a las diecisésis horas (04:00 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. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Secretario : M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA** presentado por el bachiller en Ingeniería Civil **JHON JARLI RUFASO CARRILLO**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén, asesorado por el Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : ..... 05 ..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... 11 ..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : ..... 16 ..... PTS

Diecisésis ..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara ..... **APROBADO** ..... con el calificativo de **Diecisésis** .....  
acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la  
presente a las ..... 11:30 ..... 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. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Vocal

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.  
Secretario

Dr. Ing. José Antonio Coronel Delgado.

COPYRIGHT 2025 by  
**JHON JARLI RUFAS TO CARRILLO**  
Todos los derechos reservados

## DEDICATORIA

*A mis padres Gabriel Rufasto Zamora y Genara Carrillo Díaz, este logro es el reflejo de todo lo que me han dado. Gracias por su sacrificio, por su cariño y por enseñarme, con su ejemplo, a nunca rendirme. Siempre estaré agradecido por su apoyo inquebrantable.*

*A mis tíos Juan Rufasto Valdez y Digna Castro Lozano, por su sabiduría, sus consejos siempre acertados, el cariño que me han brindado y por hacerme sentir como un hijo más en su familia, también va dedicado a mi tío Juan Rufasto Zamora, por el aprecio que me ha brindado a lo largo de los años.*

*A mis hermanos, porque su compañía, risas y paciencia han sido la chispa que me ha motivado a seguir adelante, incluso cuando los días se volvían difíciles.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis docentes, les agradezco por cada lección, por sus enseñanzas y por sus invaluables consejos, que me han impulsado a superar obstáculos y alcanzar metas que parecían inalcanzables.*

*A la casa de estudios, por ofrecerme un espacio de crecimiento, reflexión y desarrollo académico.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.    Planteamiento del Problema.....	1
1.2.    Identificación y Delimitación del Problema.....	2
1.3.    Objetivos .....	2
1.3.1.    Objetivo general:.....	2
1.3.2.    Objetivos específicos:.....	2
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	4
2.1.    Fundamentos Previos.....	4
2.1.1.    Referentes Internacionales .....	4
2.1.2.    Referentes Nacionales.....	5
2.1.3.    Referentes Locales.....	6
2.2.    Principios teóricos .....	8
2.2.1.    Representación Cartográfica y Levantamiento del Topográfico .....	8
2.2.2.    Hidrología .....	8
2.2.3.    Sistema Hidrológico.....	9
2.2.4.    Dinámica del ciclo del agua .....	10
2.2.5.    Cuenca fluvial .....	11
2.2.6.    Modelo HEC-RAS .....	12
2.2.7.    Expresión matemática del modelo unidimensional HEC-RAS.....	13
2.2.8.    Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca .....	14
2.2.9.    Factores geométricos que definen la cuenca.....	14
2.2.10.    Factores geomorfológicos .....	17
2.2.11.    Parámetros Relativos.....	22
2.2.12.    Evaluación pluviométrica .....	24
2.2.13.    Estimación del evento pluviométrico de diseño.....	30
2.2.14.    Curvas IDF para eventos pluviométricos.....	31
2.2.15.    Tiempo de convergencia del escurrimiento .....	32
2.2.16.    Factor de fricción de Manning .....	32
2.2.17.    Ecuación de Manning para un flujo uniforme .....	33
2.2.18.    Estimación del flujo máximo.....	34
2.2.19.    Máxima avenida.....	35

2.2.20. Método Racional y su Aplicabilidad.....	35
2.2.21. Inundación .....	35
2.2.22. Zona de inundación .....	36
2.2.23. Habilitación urbana .....	36
2.3. Definición de conceptos esenciales.....	37
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
3.1. Localización del área de estudio.....	39
3.1.1. Emplazamiento Geográfico.....	39
3.1.2. Ubicación Política .....	40
3.1.3. Rutas de acceso al área de estudio .....	42
3.2. Aspectos Geográficos.....	43
3.2.1. Clima .....	43
3.2.2. Límites.....	43
3.3. Características demográficas, sociales y económicas .....	44
3.3.1. Población.....	44
3.3.2. Viviendas.....	45
3.4. Servicios Públicos .....	45
3.4.1. Electrificación .....	45
3.4.2. Situación de las calles en el área de estudio .....	45
3.4.3. Agua y Desagüe .....	46
3.4.4. Educación.....	46
3.5. Caracterización desde un punto de vista fluvial de la Zanora Seca .....	46
3.5.1. Características Morfométricas .....	46
3.5.2. Características Hidrológicos e Hidráulicos .....	47
3.5.3. Características Geomorfológicas .....	48
3.5.4. Características Ambientales .....	49
3.6. Diagnóstico del área de estudio.....	49
3.7. Tiempo en el que se realizó la investigación.....	50
3.8. Materiales y Equipos .....	50
3.8.1. Materiales:.....	50
3.8.2. Equipos:.....	50
3.9. Procedimiento de la investigación.....	50
3.9.1. Determinación del período de estudio:.....	50
3.9.2. Levantamiento Topográfico del área de estudio.....	50
3.9.3. Determinación de la extensión de la cuenca.....	51
3.9.4. Series pluviométricas y selección de la distribución de probabilidad.....	51
3.9.5. Método para determinar el Caudal Máximo .....	51

3.9.6. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) .....	52
3.9.7. Modelación Hidráulica con HEC-RAS .....	52
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>56</b>
4.1. Resultados .....	56
4.1.1. Información topográfica .....	56
4.1.2. Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	56
4.1.3. Parámetros de forma .....	56
4.1.4. Parámetros de relieve.....	57
4.1.5. Parámetros relativos.....	60
4.1.6. Rugosidad de Manning .....	63
4.1.7. Cálculo del flujo uniforme a través de la alcantarilla.....	64
4.1.8. Evaluación Hidrológica de Precipitaciones Extremas.....	65
4.1.9. Evaluación Estadístico - Probabilística .....	68
4.1.10. Cálculo de intensidades máximas.....	69
4.1.11. Definición de la ecuación de la intensidad.....	72
4.1.12. Coeficiente de escorrentía .....	73
4.1.13. Tiempo de Concentración .....	74
4.1.14. Intensidad .....	74
4.1.15. Estimación del Caudal de Diseño .....	75
4.1.16. Modelamiento Hidráulico.....	76
4.1.17. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 10 años .....	79
4.1.18. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 20 años .....	80
4.1.19. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 100 años .....	82
4.1.20. Determinación del “TR” y modelamiento hidráulico, para un tirante crítico de 4.30m en la PROG. 0+000.....	83
4.2. Interpretación de los Resultados.....	87
4.2.1. Caudal de Diseño .....	87
4.2.2. Modelamiento Hidráulico .....	87
4.2.3. Comparación con Datos Históricos y Normativos .....	87
4.2.4. Evaluación de Sensibilidad del Modelo.....	88
4.3. Discusión de Resultados .....	88
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
5.1. Conclusiones.....	91
5.2. Recomendaciones.....	92
<b>CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>
BIBLIOGRAFÍA .....	94
ANEXOS .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipología de cuencas basada en el tamaño de su área .....	14
<b>Tabla 2.</b> Rangos indicativos del coeficiente de forma. ....	17
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de la pendiente de una cuenca. ....	21
<b>Tabla 4.</b> Valoraciones del coeficiente de masividad (cf).....	23
<b>Tabla 5.</b> Parámetros considerados para estimar el coeficiente de rugosidad mediante la ecuación 27. ....	33
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas del tramo de estudio, en la Zanora Seca.....	39
<b>Tabla 7.</b> Ubicación del área donde se realizó la investigación. ....	39
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de forma. ....	56
<b>Tabla 9.</b> Distribución de altimetría de la curva hipsométrica. ....	57
<b>Tabla 10.</b> Áreas y elevaciones entre dos contornos de la cuenca.....	58
<b>Tabla 11.</b> Distribución parcial de longitudes para el rectángulo equivalente. ....	59
<b>Tabla 12.</b> Datos para graficar el perfil Longitudinal del cauce de la Zanora. ....	60
<b>Tabla 13.</b> Parámetros de relieve.....	61
<b>Tabla 14.</b> Rugosidad del cauce principal de la Zanora.....	63
<b>Tabla 15.</b> Rugosidad de Manning de la alcantarilla.....	65
<b>Tabla 16.</b> Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación jaén.....	66
<b>Tabla 17.</b> Eventos pluviométricos intensos. ....	67
<b>Tabla 18.</b> Análisis probabilístico con los modelos de distribución. ....	68
<b>Tabla 19.</b> Precipitaciones máximas calculadas en la estación Meteorológica. ....	69
<b>Tabla 20.</b> Intensidades para precipitaciones con duraciones entre 1 hora y 48 horas.....	70
<b>Tabla 21.</b> Resumen de aplicación de regresión potencial. ....	71
<b>Tabla 22.</b> Regresión potencial. ....	71
<b>Tabla 23.</b> Intensidades máximas para diferentes tiempos de duración. ....	72
<b>Tabla 24.</b> Coeficientes de escorrentía.....	74
<b>Tabla 25.</b> Intensidades de diseño. ....	75
<b>Tabla 26.</b> Caudales de diseño. ....	75
<b>Tabla 27.</b> Análisis del tirante en la zona crítica, PROG. 0+000. ....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> La cuenca entendida como un sistema de flujo hidrológico.....	10
<b>Figura 2.</b> Ciclo hidrológico.....	11
<b>Figura 3.</b> Distribución de la extensión de la microcuenca hidrográfica.....	18
<b>Figura 4.</b> Ubicación del tramo de estudio y área de interés.....	40
<b>Figura 5.</b> Delimitación política donde se realizó la investigación.....	41
<b>Figura 6.</b> Ubicación política del distrito de Jaén y el área de estudio.....	42
<b>Figura 7.</b> Vista satelital y habilitaciones aledañas de la zona en estudio.....	44
<b>Figura 8.</b> Vivienda de 2 niveles, en el área de estudio.....	45
<b>Figura 9.</b> Perfil longitudinal de la Zanora Seca.....	46
<b>Figura 10.</b> Velocidades de la Zanora en la sección transversal de interés en el año de inundación.....	47
<b>Figura 11.</b> Sección en la Prog. 0+000 con tirante crítico.....	48
<b>Figura 12.</b> Secciones transversales de la Zanora, en el modelo HEC RAS.....	53
<b>Figura 13.</b> Rugosidad de Manning en el cauce y llanura de la Zanora.....	54
<b>Figura 14.</b> Velocidades y tirantes para el tiempo de retorno cuando sucedió la inundación.....	55
<b>Figura 15.</b> Curva hipsométrica de la Zanora Seca.....	58
<b>Figura 16.</b> Identificación del número de orden de la microcuenca.....	62
<b>Figura 17.</b> Rugosidad del cauce principal de la Zanora.....	63
<b>Figura 18.</b> Dimensiones de la alcantarilla agua arriba.....	64
<b>Figura 19.</b> Curvas IDF para intensidades máximas.....	73
<b>Figura 20.</b> Sección en la Prog. 0+000 con tirante crítico.....	77
<b>Figura 21.</b> Ingreso de caudales al software HEC-RAS.....	78
<b>Figura 22.</b> Registro de coeficientes de Manning.....	78
<b>Figura 23.</b> Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.....	79
<b>Figura 24.</b> Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.....	80
<b>Figura 25.</b> Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.....	81
<b>Figura 26.</b> Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.....	81
<b>Figura 27.</b> Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.....	82
<b>Figura 28.</b> Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.....	83
<b>Figura 29.</b> Análisis estadístico de tirante vs periodo de retorno.....	84
<b>Figura 30.</b> Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.....	86

<b>Figura 31.</b> Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000. ....	86
<b>Figura 32.</b> Parte alta – Vista de cuenca que da formación a la Zanora Seca.....	100
<b>Figura 33.</b> Parte alta – Formación de la Zanora en la Prog. 0+570.....	100
<b>Figura 34.</b> Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+570 aprox.....	101
<b>Figura 35.</b> Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+510 aprox.....	101
<b>Figura 36.</b> Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+500 aprox.....	102
<b>Figura 37.</b> Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+480 aprox.....	102
<b>Figura 38.</b> Parte Alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+450 aprox.....	103
<b>Figura 39.</b> Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+430 aprox.....	103
<b>Figura 40.</b> Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+400 aprox.....	104
<b>Figura 41.</b> Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+380 aprox.....	104
<b>Figura 42.</b> Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+320 aprox.....	105
<b>Figura 43.</b> Parte Media – Proximidad de la red de desagüe a la Zanora en la Prog. 0+280 aprox.....	105
<b>Figura 44.</b> Parte Baja - Vista del mercado “Nuevo Horizonte” en la Prog 0+230 aprox.....	106
<b>Figura 45.</b> Parte Baja - Recopilación de información de pobladores en la Prog. 0+200 aprox.	
.....	106
<b>Figura 46.</b> Parte Baja - Levantamiento topográfico con GPS diferencial en la Prog. 0+160 aprox.....	107
<b>Figura 47.</b> Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+080 aprox.....	107
<b>Figura 48.</b> Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+040 aprox.....	108
<b>Figura 49.</b> Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+000 aprox.....	108

## RESUMEN

La presente investigación denominado “Determinación de la zona de inundación ante máximas avenidas de la Zanora Seca de la habilitación urbana Ricardo Monteza de la ciudad de Jaén - Cajamarca” que se buscó determinar las zonas de inundación generadas por máximas avenidas en la Zanora Seca. El área de estudio presenta antecedentes de desbordamientos durante eventos de lluvias intensas, afectando directamente a viviendas, vías de comunicación y equipamientos urbanos. En este contexto, la investigación respondió a la siguiente interrogante técnica: ¿Cuáles son las zonas de inundación ante avenidas máximas en la Zanora Seca de la habilitación urbana Ricardo Monteza?, Se planteó como hipótesis que las precipitaciones máximas correspondientes a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años exceden la capacidad hidráulica del cauce, provocando desbordamientos e impactos negativos en la infraestructura urbana. Metodológicamente, se aplicó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y nivel descriptivo-aplicado. La evaluación hidrológica se desarrolló mediante el método racional, empleando datos de la estación pluviométrica Jaén y considerando parámetros geomorfológicos de la cuenca. A partir de los caudales de diseño calculados, se ejecutó la modelación hidráulica en el software HEC-RAS, simulando diferentes escenarios hidrológicos y delimitando zonas de desbordamiento a lo largo de un tramo de 570 metros lineales de la Zanora. Los resultados permitieron visualizar las zonas más vulnerables a inundación, tal es el caso que para un periodo de retorno  $TR = 10$  años y un caudal de  $7.62 \text{ m}^3/\text{s}$ , el área potencialmente inundable alcanza los  $1266.563 \text{ m}^2$ , para  $TR = 20$  años y un caudal de  $8.42 \text{ m}^3/\text{s}$ , el área potencialmente inundable alcanza los  $1312.039 \text{ m}^2$ , mientras que para  $TR = 100$  años y un caudal de  $10.62 \text{ m}^3/\text{s}$ , esta superficie se amplía a  $1436.137 \text{ m}^2$ . Teniendo en consideración que se tiene una señal histórica, la que vendría a ser el tirante (4.30m) en la PROG. 0+000, la misma que se consideró como instrumento de calibración en dicha sección, la cual fue generada por un caudal de  $7.77 \text{ m}^3/\text{s}$  y un tiempo de retorno de  $TR = 11.44$  años, alcanzando un área potencialmente inundable de  $1282.837 \text{ m}^2$ .

**Palabras clave:** modelamiento hidrológico-hidráulico, caudal de diseño, tiempo de retorno, zonas inundables, riesgo hídrico.

## ABSTRACT

This research project, entitled “Determination of the flood zone in the event of maximum floods in the Zanora Seca area of the Ricardo Monteza urban development in the city of Jaén, Cajamarca,” sought to determine the flood zones generated by maximum floods in the Zanora Seca area. The study area has a history of flooding during heavy rainfall events, directly affecting homes, roads, and urban infrastructure. In this context, the research addressed the following technical question: What are the flood zones in the event of maximum floods in the Zanora Seca of the Ricardo Monteza urban development? The hypothesis was that maximum rainfall corresponding to return periods of 2, 5, 10, 20, 25, 50, and 100 years exceeds the hydraulic capacity of the riverbed, causing flooding and negative impacts on urban infrastructure. Methodologically, a quantitative approach was applied, with a non-experimental design and a descriptive-applied level. The hydrological assessment was carried out using the rational method, employing data from the Jaén rain gauge station and considering geomorphological parameters of the basin. Based on the calculated design flows, hydraulic modeling was performed using HEC-RAS software, simulating different hydrological scenarios and delimiting overflow areas along a 570-meter stretch of the Zanora. The results allowed us to visualize the area's most vulnerable to flooding. For example, for a return period  $TR = 10$  years and a flow rate of  $7.62 \text{ m}^3/\text{s}$ , the potentially floodable area reaches  $1,266,563 \text{ m}^2$ , while for  $TR = 20$  years and a flow rate of  $8.42 \text{ m}^3/\text{s}$ , the potentially floodable area reaches  $1,312,039 \text{ m}^2$ , while for  $TR = 100$  years and a flow rate of  $10.62 \text{ m}^3/\text{s}$ , this area expands to  $1,436,137 \text{ m}^2$ . Taking into account that there is a historical signal, which would be the tie rod (4.30 m) in PROG. 0+000, the same that was considered as a calibration instrument in that section, which was generated by a flow rate of  $7.77 \text{ m}^3/\text{s}$  and a return period of  $TR = 11.44$  years, reaching a potentially floodable area of  $1,282,837 \text{ m}^2$ .

**Keywords:** hydrological-hydraulic modeling, design flow, return time, flood zones, water risk.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Planteamiento del Problema

El área geográfica conocida como Ricardo Monteza, situado en el distrito de Jaén, forma parte de la **microcuenca** que **origina** una **Zanora Seca de carácter intermitente**, la cual se **activa** hidráulicamente durante la **temporada de precipitaciones**, registrando **caudales máximos** durante el **primer trimestre del año**. La **expansión urbana acelerada** producto del crecimiento demográfico, social y económico ha generado un **incremento** notable de **edificaciones** en las inmediaciones del cauce, muchas de las cuales se han **emplazado** en zonas **marginales del lecho seco**, incrementando considerablemente la exposición al riesgo de inundación frente a eventos pluviométricos intensos.

Como medida frente a esta dificultad, el municipio provincial de Jaén, en el año 2021 ejecutó trabajos de ensanchamiento del cauce orientados a optimizar su eficiencia en el transporte del flujo hídrico. Sin embargo, no se ha realizado una evaluación exhaustiva que permita garantizar, que dicho ensanchamiento tenga una conducción optima del flujo, ante precipitaciones extremas. En este contexto, se vuelve imprescindible desarrollar un estudio basado en modelación hidrológica e hidráulica que permita identificar con exactitud las áreas susceptibles a inundación por avenidas máximas, de manera que las autoridades formulen estrategias de mitigación que reduzcan impactos sobre la infraestructura urbana y la población.

Históricamente, Jaén ha presentado una alta vulnerabilidad frente a fenómenos de inundación, atribuida tanto a su localización geográfica como al régimen pluviométrico de la región. De acuerdo con informes del Instituto Nacional de Defensa Civil (2017), el Fenómeno El Niño Costero ocasionó intensas inundaciones que impactaron tanto a las viviendas como a las vías situadas cerca de los cauces de agua. En particular, la Zanora del sector Ricardo Monteza presentó un desbordamiento significativo, provocando anegamientos y daños estructurales en edificaciones y calles colindantes.

Eventos históricos adicionales, como los registrados en 1998 y 2012, evidencian la reiterada susceptibilidad del sector ante precipitaciones extremas, generando crecidas súbitas en diversas Zanoras secas de la ciudad, incluida la del área en estudio. Esta reiterada ocurrencia hace evidente la apremiante necesidad de desarrollar estudios técnicos que analicen el comportamiento hidráulico del cauce y formulen propuestas orientadas a reducir el nivel de riesgo.

Desde una óptica de ordenamiento de espacio físico y administración del riesgo de desastres, la presente investigación representa una herramienta estratégica para la ciudad de Jaén. Su ejecución permitirá sustentar técnicamente decisiones sobre zonificación urbana, priorización de obras de control hidráulico y reubicación de estructuras vulnerables. Asimismo, el conocimiento de las áreas críticas facilitará la implementación de soluciones como defensas ribereñas, drenajes pluviales optimizados y estrategias de prevención comunitaria diseñados para minimizar los daños ocasionados por eventuales eventos extremos de origen hidrometeorológico.

La investigación desarrollada, por tanto, constituye un aporte sustancial a la gestión integral del riesgo urbano, brindando insumos técnicos clave para fortalecer la resiliencia territorial. Además, la metodología basada en modelamiento hidrológico-hidráulico puede ser replicada en otras Zanoras de características similares en la región, contribuyendo a un desarrollo urbano más sostenible y seguro.

## **1.2. Identificación y Delimitación del Problema**

En este contexto, el presente estudio busca precisar el siguiente planteamiento técnico:

*¿Qué zonas de la habilitación urbana Ricardo Monteza, atravesadas por la Zanora Seca en Jaén – Cajamarca, se ven afectadas por inundaciones en caso de avenidas máximas?*

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general:**

- Establecer los sectores expuestos a inundaciones durante avenidas extremas en la Zanora Seca de la habilitación urbana Ricardo Monteza, ubicada en Jaén, Cajamarca.

### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Caracterizar urbanísticamente la habilitación urbana Ricardo Monteza, considerando su estructura física, uso del suelo y grado de vulnerabilidad.
- Describir la Zanora Seca desde una perspectiva fluvial, considerando su morfología, régimen hidrológico y capacidad de conducción.
- Determinar el caudal pico y el periodo de retorno asociado a los eventos de avenida máxima que representan riesgo para la habilitación urbana Ricardo Monteza.
- Delimitar las áreas susceptibles a inundación dentro de la zona de estudio, a partir del uso de herramientas de modelación hidrológica e hidráulica del sistema.

Para alcanzar estos objetivos, se recurrió a la colección de información sistematizada pluviométrica de la estación Jaén, lo que permitió determinar los máximos caudales vinculados a diversos intervalos de recurrencia mediante análisis estadístico y probabilístico. Posteriormente, se ejecutó la modelación hidráulica en HEC-RAS, incorporando información topográfica y morfométrica del cauce, lo que permitió obtener modelos espaciales de inundación en función de distintos supuestos. La metodología se estructuró en dos etapas clave: una fase de simulación hidrológica para estimar los flujos máximos estimados en función a intervalos de recurrencia de 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años, y una segunda etapa de modelación hidráulica en régimen permanente para representar la propagación del flujo y las zonas de desborde.

Los resultados permitieron identificar los escenarios críticos en que los caudales asociados a un tiempo de recurrencia superior a 11.44 años, llegan a superar la señal histórica de inundación, superando los límites de capacidad hidráulica de la Zanora, generando desbordamientos, lo cual evidencia que la Zanora posee una deficiente capacidad hidráulica.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Fundamentos Previos

#### 2.1.1. Referentes Internacionales

Montoya & Rey (2019) desarrollaron la tesis de grado “*Análisis de vulnerabilidad por inundación del caño buque en el casco urbano del municipio de Villavicencio – Colombia*” de la Universidad Católica de Colombia, su propósito fue determinar las áreas propensas a inundaciones, en aras de formular un esquema de administración del riesgo orientado a la reducción de amenazas hidrometeorológicas. El trabajo de investigación se orientó mediante un enfoque metodológico no experimental, de tipo correlacional propositivo, tomando como unidad de análisis un trecho de 9.2 km del arroyo Ocoa. La recopilación de datos se basó en información cartográfica básica y registros pluviométricos proporcionados por estaciones meteorológicas locales. Los resultados indicaron que más de 0.80 km<sup>2</sup> del área evaluada evidencia una gran vulnerabilidad a las inundaciones, principalmente debido a la dinámica fluvial del cauce. Esta evidencia permitió concluir que la gestión integral del riesgo requiere la ejecución articulada de medidas estructurales (infraestructura de control de caudales) y no estructurales (ordenamiento territorial, monitoreo y alerta temprana). En ese sentido, el estudio aporta evidencia empírica sobre la utilidad del análisis hidromorfológico y climatológico como instrumentos esenciales para tomar decisiones en contextos urbanos expuestos a eventos extremos, subrayando la necesidad de una planificación territorial preventiva y resiliente.

Bladés & López (2020) realizaron un estudio denominado “*Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación*”, donde aplicaron técnicas de modelos numéricos hidrológicas e hidráulicas en un curso de agua a escala reducida, a fin de identificar debilidades estructurales tanto del terreno como de las obras civiles existentes. El estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo, y empleó herramientas de análisis espacial e hidrometeorológico como el software ArcGIS, cartografía temática y registros pluviométricos históricos. Los resultados permitieron identificar que zonas específicas, como Cine la Torre y el área urbana de Tarija, presentan alta susceptibilidad a eventos de aluvión, asociados a un tiempo de recurrencia estimado en diez años. En sus conclusiones, los autores enfatizan la necesidad apremiante de poner en marcha medidas de planificación urbana basadas en la evidencia científica, así como estrategias de intervención que fortalezcan el ordenamiento territorial. Asimismo, destacan la importancia de soportar impactos las infraestructuras urbanas ante fenómenos extremos de hidrometeorología, subrayando, la gestión del riesgo no debe limitarse

a acciones reactivas, sino priorizar acciones preventivas y de adaptación sustentadas en análisis técnicos rigurosos.

### **2.1.2. Referentes Nacionales**

Revelo (2023), en su trabajo de titulación denominado *“Determinación de áreas inundables por ocurrencia de avenidas máximas mediante modelización hidrológico e hidráulico, en la subcuenca Milagros, Yungay, Áncash”* en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo realizó una investigación con el propósito de delimitar las zonas con potencial de inundación ante eventos hidrometeorológicos extremos, mediante la aplicación de herramientas de simulación hidrológica e hidráulica. El análisis utilizó un método cuantitativo, de tipo aplicado y nivel representativo, tomando como unidad de análisis la subcuenca Milagros. Para la determinación de caudales de dimensionamiento, se utilizaron metodologías propias de la ingeniería hidrológica e hidráulica, obteniéndose valores comprendidos entre 9 y 20 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de recurrencia de 50, 100, 200 y 500 años. Los hallazgos posibilitaron la identificación de áreas vulnerables a inundación con un nivel de peligrosidad bajo; sin embargo, el estudio concluyó que dichas áreas deben ser monitoreadas de forma permanente y que es fundamental incorporar criterios de gestión del riesgo como herramienta para la gestión territorial. Este enfoque preventivo admite no solo atenuar la exposición de los habitantes si no de las infraestructuras ante eventos extremos, sino también fortalecer la capacidad adaptativa del territorio frente a escenarios de variabilidad climática. La investigación evidencia la utilidad de la modelación hidrológica como instrumento clave como apoyo al proceso de decisión en contextos urbanos en expansión.

Roque (2022) desarrolló un estudio *“Riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín”* de la Universidad Nacional Federico Villarreal, se orientó a evaluar el nivel de peligrosidad asociado a crecidas extremas correspondiente al tramo bajo del río Lurín, abarcando una superficie de 200.54 kilómetros cuadrados como unidad de análisis. El estudio se caracterizó por enfoque cuantitativo, basada en un enfoque no experimental y de naturaleza descriptiva, sustentada en el uso de datos hidrológicos, meteorológicos y cartográficos. A partir del tratamiento y análisis de los datos recolectados, Se calcularon caudales pico de 4.78 m<sup>3</sup>/s, 142.0 m<sup>3</sup>/s y 213.35 m<sup>3</sup>/s correspondientes a eventos con tiempos de recurrencia de 50, 100 y 200 años, respectivamente. Los resultados evidenciaron una progresión del riesgo hídrico, clasificando el nivel de peligrosidad como moderado para el evento de 50 años, para 100 años se estima altos y para 200 años muy alto. Las conclusiones de la investigación resaltan la necesidad inmediata de poner en práctica acciones de prevención y control, de carácter tanto estructural como no estructural, frente a escenarios de creciente severidad. Asimismo, se resalta

la importancia de incorporar criterios de evaluación del riesgo dentro de los planes de planificación urbana y de gestión territorial, como estrategia clave para someter la exposición y fortalecer la capacidad de resiliencia de las poblaciones vulnerables ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Chalco (2020) desarrolló un estudio denominado *“Determinación de zonas vulnerables a inundaciones en el tramo Puente Huachipala Atarjea del Río Rímac, distrito Lurigancho-Chosica para la mitigación de desastres”* en la Universidad San Ignacio de Loyola, el propósito central del estudio fue reconocer las zonas con mayor vulnerabilidad frente a desbordamientos fluviales, considerando diferentes intervalos de retorno vinculados a crecidas máximas. La investigación se estructuró siguiendo un enfoque no experimental, con carácter descriptivo y correlacional, tomando como unidad de análisis un trecho de 6.5 km<sup>2</sup> comprendido entre La Atarjea y Huachipa. Para el desarrollo del análisis, se emplearon técnicas de análisis documental y observación directa, a partir de las cuales se estimaron caudales máximos que oscilaron entre 285.92 y 757.34 m<sup>3</sup>/s, que corresponden a sucesos con períodos de retorno de 10, 50, 100, 500 y 1000 años. Los resultados permitieron delimitar zonas críticas altamente expuestas a eventos aluvionales, destacando sectores como la Asociación Huáscar y el entorno del Puente Huachipa. El estudio concluyó que la gestión del riesgo en estos espacios requiere el establecimiento de defensas ribereñas, encauzamientos y, como planes de evacuación, zonificación de uso del suelo y procedimientos de alerta anticipada. Igualmente, se valoró la importancia de integrar estas acciones dentro de una estrategia de ordenamiento territorial con enfoque preventivo, que considere la evolución de amenazas hidrometeorológicas en contextos urbanos densamente poblados.

### **2.1.3. Referentes Locales**

Aparicio (2021) en su estudio denominado *“Identificación de áreas inundables por máximas avenidas del río Quínuas en el centro poblado La Quispa”* en la Universidad Nacional de Cajamarca, realizó un estudio con la finalidad de delimitar las áreas susceptibles de anegamiento por efecto de máximas crecientes, en un tramo de 434,2 metros del curso fluvial Quínuas, ubicado en el poblado denominado La Quispa. El trabajo se enmarcó en un enfoque basado en un diseño no experimental de tipo descriptivo, y se sustentó en el uso de información cartográfica y topográfica para estimar caudales máximos asociados a períodos de recurrencia de 40, 25 y 15 años, obteniendo una valoración de 110,7; 123,9 y 136,84 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A partir de bases en la evaluación hidrológica e hidráulica, se determinó que el casco urbano se vería afectado por una superficie inundable de 479 m<sup>2</sup>, mientras que los terrenos de cultivo adyacentes

presentarían una zona anegable considerable, de aproximadamente 7 537 m<sup>2</sup>. El estudio concluyó que, a pesar de la escala relativamente local del evento, existe una afectación significativa sobre la infraestructura urbana y productiva, lo que evidencia la escasez de integrar criterios vinculados al manejo del riesgo en los procesos de desarrollo y organización del territorio rural. Asimismo, se acentúa la categoría de la cartografía de amenazas como instrumento técnico fundamental para la toma de decisiones preventivas en localidades expuestas a crecientes fluviales recurrentes.

Hernández (2019) en su tesis de pregrado “*Zonificación de áreas inundables de la localidad de Santa Bárbara ocasionado por avenidas extraordinarias de la quebrada Sambarbamba - Baños del Inca*” en la Universidad Nacional de Cajamarca, se trabajó desde la perspectiva cuantitativa, utilizando un diseño transversal sin manipulación de variables y nivel descriptivo, centrada en el análisis de peligros por inundación en la quebrada Sambarbamba, la cual posee una longitud de 927 metros. La investigación integró información cartográfica, imágenes satelitales y registros hidrológicos, con el objetivo de estimar caudales extremos relacionados con una posibilidad de sobrepasar el 25 %, relativos a intervalos de recurrencia de 10, 50, 100 y 200 años. La zonificación generada permitió identificar áreas inundables de 3,07 ha, 4,01 ha, 4,89 ha y 6,39 ha, respectivamente, en función de cada horizonte de recurrencia analizado. Los resultados revelan una tendencia progresiva de expansión del área de riesgo frente a avenidas extraordinarias, lo que evidencia la vulnerabilidad creciente del entorno ante la ocurrencia de eventos climáticos extremos. La investigación concluye que es fundamental incorporar este tipo de análisis en las estrategias de ordenamiento territorial y manejo del riesgo, destacando la ventaja de la modelación espacial como un instrumento técnico para anticipar escenarios de desastre y orientar a tomar acciones de mitigación de carácter estructural y no estructural. Asimismo, se refuerza la importancia de contar con datos hidrológicos confiables y actualizados para aumentar la eficacia en la respuesta ante fenómenos de severidad progresiva.

García (2019) realizó un estudio no experimental denominado “*Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú*” en la Universidad Nacional de Jaén, su investigación tuvo un carácter descriptivo, centrado en el estudio de la exposición a inundaciones en un sector de 2 150 metros del cauce fluvial Amojú. Para tal fin, aplicó el software Iber como herramienta de modelación hidráulica y zonificación de áreas potencialmente inundables ante precipitaciones extremas. Mediante el análisis pluviométrico e hidrológico, se estimó un caudal crítico de 150 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un horizonte de recurrencia de 140 años con una tolerancia de riesgo del 25 %. Los resultados del

modelado revelaron que el área 1 tendría una superficie anegable de 0,929 hectáreas, mientras que en el área 2 se presentarían 4820 metros cuadrados propensas a ser inundadas. Las conclusiones del estudio destacan la efectividad de los modelos hidráulicos como herramientas claves para delimitar sectores susceptibles y la implementación de acciones de mitigación. Asimismo, se evidencia que incluso eventos poco frecuentes pueden generar afectaciones significativas en áreas específicas del territorio, lo que justifica la necesidad de incorporar estudios de amenaza hídrica en los procesos de ordenamiento territorial y diseño urbano, bajo un enfoque preventivo y sostenible.

## **2.2. Principios teóricos**

### **2.2.1. Representación Cartográfica y Levantamiento del Topográfico**

- Representación Geográfica (Cartografía)**

Una plataforma de información geoespacial (SIG) es una plataforma informática creada con el propósito para capturar, almacenar, manejar, analizar, visualizar y compartir antecedentes que están geográficamente referenciados. Estas herramientas permiten realizar consultas espaciales, editar capas de información, Crear mapas temáticos y elaborar representaciones visuales que simplifican la toma de decisiones en varias áreas del saber territorial y medioambiental (Burrough & McDonnell, 1998; Longley et al., 2015).

- Levantamiento del terreno (Topografía)**

La cartografía se concibe como la disciplina que integra ciencia y técnica encargados de la elaboración, análisis y comunicación de mapas. Implica el uso de métodos técnicos para representar en un soporte plano y a escala las características físicas, geográficas, geológicas o políticas de una porción del territorio. A través de la cartografía se genera información visual precisa que sirve como base para estudios territoriales, planificación urbana y gestión del riesgo, entre otros (Monmonier, 2018; Kimerling et al., 2016).

### **2.2.2. Hidrología**

Disciplina del comportamiento del agua para analizar los mecanismos del ciclo del agua terrestre y resulta esencial en el dimensionamiento de infraestructuras de transporte y de drenaje. Según a lo señalado en el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú sobre Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2018), su aplicación en obras viales posibilita cuantificar y atenuar los efectos de la escorrentía superficial, las avenidas extremas y la erosión de la superficie del suelo.

La investigación hidrológica tiene como fundamento en la caracterización del proceso interrelacionado; evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía, que determinan la disponibilidad hídrica de una región. Con el propósito de estimar el flujo superficial generada por manifestaciones de lluvia intensa, se emplean formulaciones matemáticas y modelos como el método racional, el Curva Número del Servicio de Conservación de Suelos (SCS-CN) y otras ecuaciones empírico-estadísticas adaptadas a cuencas específicas.

La interacción hidrológica dentro de una cuenca depende de varios elementos, incluyendo la morfología del terreno, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y la utilización del suelo que deben identificarse para estimar caudales para proyectos como alcantarillas, cunetas, canales, etc. Asimismo, la simulación hidrológica mediante software especializado hace posible predecir la dinámica de la cuenca ante precipitaciones intensas.

El control de avenidas extraordinarias se apoya en obras como embalses de regulación, diques de contención y estructuras disipadoras de energía, mientras que la gestión del drenaje pluvial, tanto en entornos urbanos como en rurales, incorpora prácticas de conservación de suelo y sistemas de infiltración controlada.

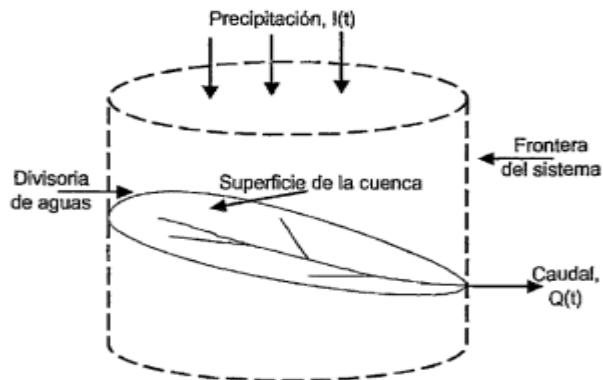
### **2.2.3. Sistema Hidrológico**

Este concepto abarca el aprovechamiento de acuíferos y cuerpos de agua superficiales en el marco de proyectos de edificación y urbanismo, englobando evaluaciones de su disponibilidad, distribución y calidad, así como el diseño de dispositivos y redes para su captación, almacenamiento, conducción, tratamiento y vertido (Monsalve, 2018). Según Mejía (2012), el sistema hidrológico incluye el análisis de los ciclos hidrológicos, la estimación de caudales y niveles, el diseño de drenajes pluviales, el manejo de inundaciones, el saneamiento de aguas residuales y la protección de los recursos hídricos.

Seguidamente, se muestra un esquema que representa la dinámica de un episodio de lluvia en una cuenca: la señal de entrada  $I(t)$  representa la precipitación distribuida espacialmente, mientras que la señal de salida  $Q(t)$  corresponde al caudal de salida o punto de delimitación de la cuenca

**Figura 1.**

*La cuenca entendida como un sistema de flujo hidrológico.*



**Nota.** Tomado de Hidrología aplicada, Mejía (2012).

#### 2.2.4. Dinámica del ciclo del agua

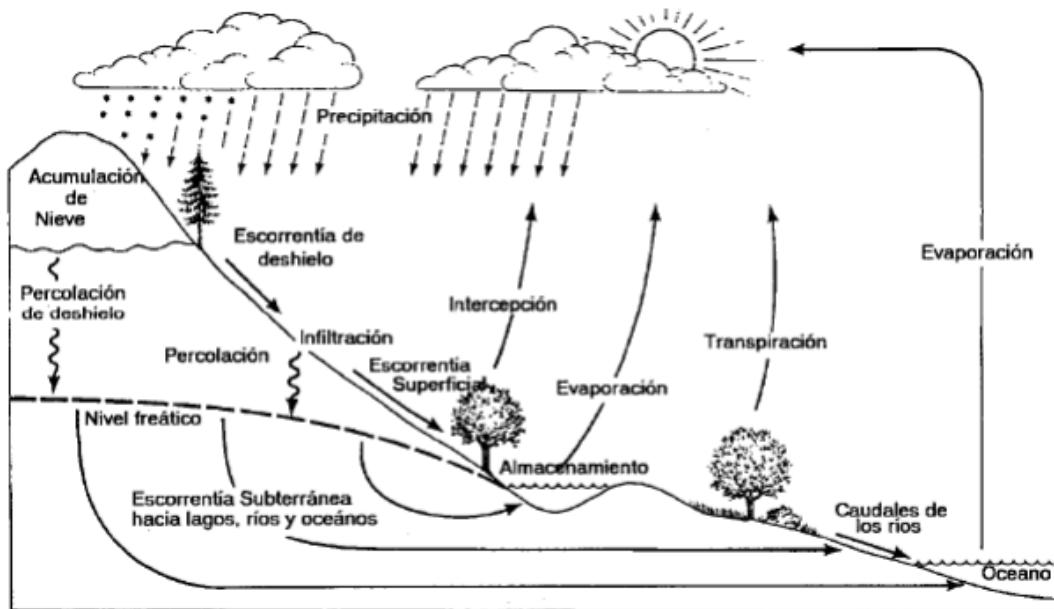
El ciclo del agua es un proceso constante de transferencia de agua entre la atmósfera, la superficie terrestre y el subsuelo, sustentado por la energía solar, y que asegura la distribución del recurso en diversos estados físicos (Chow et al., 1988). Este circuito integra fases esenciales: evaporación, transpiración, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía y almacenamiento en cuerpos de agua y acuíferos.

Inicialmente, la evaporación y la transpiración transforman el agua líquida en vapor, el cual asciende y se condensa formando nubes, preludio de la precipitación (Linsley et al., 1992). Parte de esta precipitación se infiltra, alimentando los acuíferos, mientras el excedente fluye como escorrentía superficial, nutriendo ríos y lagos. El equilibrio entre infiltración y escorrentía es crítico para regular los caudales y minimizar riesgos de inundaciones o sequías (Ponce, 1989).

Además, tanto los cambios climáticos como las actividades humanas pueden modificar el ciclo del agua. Las variaciones climáticas globales intensifican la aparición recurrente de fenómenos extremos, incluyendo períodos de sequía y precipitaciones torrenciales, afectando los patrones de disponibilidad de agua. A su vez, prácticas como la deforestación, la urbanización masiva y la sobreexplotación de aguas subterráneas reducen la permeabilidad del terreno, favoreciendo procesos de erosión y la degradación ambiental (Ward & Robinson, 2000).

**Figura 2.**

*Ciclo hidrológico*



**Nota.** Tomado de Cuenca hidrológica, Ordoñez (2011).

### 2.2.5. Cuenca fluvial

La evaluación de una cuenca de drenaje es esencial para entender la dinámica hídrica en un territorio dado. Una cuenca de drenaje se describe como el área geográfica cuyos escurrimientos de precipitación confluyen en un mismo receptor, como un río, lago u océano (Chow et al., 1988). Entender una cuenca desde un punto de vista hidrológico es de suma importancia para la conservación del suelo, la gestión integral de recursos hídricos y el diseño de estructuras hidráulicas.

La delimitación de la cuenca está definida por las divisorias topográficas, que canalizan el flujo superficial a distintos sistemas de drenaje. Dentro de ella se distinguen subcuenca, afluentes y zonas de captación, los cuales aportan caudal al cauce principal. Su caracterización requiere evaluar parámetros geomorfológicos, climáticos, edáficos y de cobertura vegetal, pues estos factores condicionan conjuntamente la respuesta hidrológica (Ponce, 1989).

El análisis del balance de recursos hídricos de la cuenca resulta de la interacción entre precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía. Alteraciones en estos procesos, ya sea por fenómenos naturales o actividades antrópicas, modifican la disponibilidad de agua y pueden generar impactos severos, tales como eventos de escorrentía y reducción de la

sobrecarga de acuíferos en contextos de deforestación o urbanización descontrolada (Linsley et al., 1992).

En la práctica de la gestión integral de cuencas, desde un punto de vista integrado promueve una armonización entre los objetivos de desarrollo socioeconómico y la conservación del recurso vital como el agua. Lo cual conlleva a la restauración de superficies degradadas, implementación de infraestructuras de drenaje sostenible y construcción de obras hidráulicas adaptadas a las condiciones naturales del territorio (Ward & Robinson, 2000).

## **2.2.6. Modelo HEC-RAS**

La simulación hidráulica se considera un recurso clave para entender y proyectar la dinámica del agua en cauces naturales y artificiales, resultando clave en el estudio de inundaciones, en el diseño de obras hidráulicas y en la planificación del territorio. En este contexto, el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineers, se ha convertido en una plataforma ampliamente utilizada a nivel internacional para modelar el comportamiento del flujo en canales de régimen libre, en condiciones permanentes y como en no permanentes (Brunner, 2020).

HEC-RAS permite realizar simulaciones unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D) del comportamiento del flujo en ríos, quebradas y redes hidráulicas. En el enfoque 1D, el flujo se analiza a lo largo del eje longitudinal del cauce, mientras que en el enfoque 2D se considera también la variación espacial transversal y lateral, lo que proporciona mayor precisión para representar áreas inundables, sobre todo en zonas urbanas o valles amplios (USACE, 2016).

En términos teóricos, la simulación del comportamiento hidráulico del software HEC-RAS. a modelación hidráulica con HEC-RAS se fundamenta en la resolución de las ecuaciones de Saint-Venant. Se trata de un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen el comportamiento del flujo de agua en canales abiertos, tomando en cuenta la preservación de la masa (continuidad) y del momento (cantidad de movimiento). Estas ecuaciones posibilitan la simulación de cómo se comporta el agua bajo condiciones de flujo rápido o flujo que cambia gradualmente, como en el caso de las crecidas o los desbordes de diques (Chow, 1959).

La modelación con HEC-RAS implica varias etapas: levantamiento topográfico del terreno (DEM), definición del trazado del cauce, ingreso de datos de geometría hidráulica, parámetros de resistencia (coeficientes de Manning), escenarios de frontera, caudales de entrada, entre otros. A partir de esta información, el modelo genera perfiles de superficie libre, mapas de inundación, velocidades de flujo y análisis hidráulico de estructuras (puentes, compuertas, alcantarillas), los

cuales son indispensables para la gestión de la inseguridad y así como la planificación de estrategias de mitigación.

En zonas andinas como Cajamarca, caracterizadas por cuencas hidrográficas estrechas, pendientes pronunciadas y eventos de precipitación intensos, el uso de HEC-RAS permite anticipar posibles escenarios de desborde y orientar la implementación de intervenciones tanto estructurales como no estructurales, contribuyendo a un mandato integral del peligro de desastres.

La capacidad de modelar eventos extremos —como lluvias intensas o avenidas torrenciales— convierte a HEC-RAS en una herramienta clave para los gobiernos locales, empresas de ingeniería y autoridades de defensa civil. Su incorporación dentro de plataformas de información geográfica (SIG) y datos topográficos de alta precisión, un ejemplo tal por los generados por drones o LIDAR, potencia su aplicabilidad para estudios espaciales y la toma de disposiciones informadas (Merwade et al., 2008).

### **2.2.7. Expresión matemática del modelo unidimensional HEC-RAS**

El HEC-RAS es un modelo desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Estadounidense (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center – HEC), es una herramienta hidráulica que permite estimar diversos parámetros, desde profundidades del caudal del agua y la dinámica sedimentológica. Su base de cálculo se desarrolla empleando ecuaciones de la conservación de la energía, integrando la ecuación de Manning y considerando las pérdidas por contracciones y expansiones del flujo. (Ríos, 2023).

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \left( \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right) + he \quad (01)$$

En esta ecuación,  $Y$  representa las profundidades de agua en las secciones transversales 1 y 2;  $Z$  indica las cotas del terreno en dichas secciones;  $V$  corresponde a las velocidades promedio;  $g$  es la aceleración debida a la gravedad, y  $he$  denota la pérdida de carga entre las secciones contiguas 1 y 2. Por otro lado, la ecuación de Manning se formula de la siguiente forma:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_0^{1/2} \quad (02)$$

Donde  $Q$  representa el caudal en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ),  $A$  es el área mojada de la sección en metros cuadrados ( $m^2$ ),  $R_h^{2/3}$  corresponde al radio hidráulico de la sección en metros (m), y  $S_0^{1/2}$  indica la pendiente del terreno (m/m).

## 2.2.8. Parámetros Geomorfológicos de una Cuenca

Según Camino et al. (2018), los parámetros geomorfológicos comprenden atributos físicos y métricos que describen la configuración morfológica del relieve dentro de una cuenca hidrográfica. Estos parámetros son de mucha importancia para interpretar la dinámica hidrológica de la cuenca y los procesos naturales asociados.

Los parámetros geomorfológicos se clasifican de la siguiente manera:

## 2.2.9. Factores geométricos que definen la cuenca

### a. Superficie de la cuenca

Corresponde a la totalidad del territorio que contribuye con escorrentía hacia un cauce principal y sus tributarios. Esta superficie abarca desde las zonas de cabecera, ubicadas en sectores elevados, hasta el punto de delimitación o de aforo, que en muchos de los casos son cuerpo receptor como el mar, un lago u otro sistema fluvial. Las dimensiones de una cuenca pueden oscilar significativamente, desde unidades hidrográficas de escala reducida que comprenden unos pocos kilómetros cuadrados, hasta macrocuenca que abarcan por miles de kilómetros cuadrados (Camino et al., 2018).

**Tabla 1.**

*Tipología de cuencas basada en el tamaño de su área*

Superficie de la cuenca (Km <sup>2</sup> )	Clasificación
Inferior a 25	Cuenca de escala muy reducida
Entre 25 y 500	Cuenca de tamaño reducido
De 500 a 2,500	Cuenca de dimensión media a pequeña
Entre 2,500 y 5,000	Cuenca de dimensión media a grande
Superior a 5,000	Cuenca de gran extensión

**Nota.** Tomado de Caracterización hidrológica, Codero, 2017.

### **b. Perímetro (P)**

El contorno de una cuenca hidrográfica corresponde a una longitud que recorre la línea divisoria de aguas, es decir, el contorno que delimita el área de drenaje. Este parámetro se enuncia comúnmente en kilómetros y, en conjunto a la superficie de la misma, ofrece una aproximación general a la forma y compactación de la cuenca (Bedient, Huber & Vieux, 2013).

### **c. Longitud del cauce principal (L)**

Se precisa como el curso del río más distante o más extenso, desde el punto más alejado desde la delimitación de la cuenca hasta el inicio del cauce, siguiendo todas sus curvaturas y cambios de dirección. Este valor, medido en kilómetros, es fundamental conocer otros parámetros que caracteriza a la cuenca como el tiempo que tarda en llegar una gota de agua desde la cuenca alta hasta el punto de interés, como el índice de sinuosidad (Linsley, Franzini, Freyberg & Tchobanoglous, 1992).

### **d. Ancho promedio de la cuenca (Ap)**

Representa la división entre la parte más ancha de una cuenca o microcuenca y la longitud de del río principal, según la ecuación 3:

$$F = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} = \frac{B}{L} \quad (03)$$

**Donde:**

- B : representa el ancho de la microcuenca (km),
- L : es la dimensión del río principal (km),

Este parámetro de la microcuenca o cuenca permite caracterizar la morfología general de la cuenca y su nivel de compactación, lo que afecta directamente la velocidad del escurrimiento y la reacción hidrológica frente a sucesos de lluvia (Chin, 2006).

### **e. Coeficiente de Gravelius (Cc)**

Es una medida empleada para caracterizar la configuración de una microcuenca o cuenca en términos de su forma y grado de compacidad. Cuanto más se aproxime el valor del coeficiente a la unidad, mayor será la regularidad y compacidad de la cuenca, lo cual indica una forma más circular o equidimensional. En contraste, valores significativamente superiores a 1 reflejan una configuración más alargada o irregular, lo que puede influir en el comportamiento hidrológico del

área analizada (Camino et al., 2018). La expresión matemática propuesta por Gravelius permite cuantificar esta característica geométrica.

$$Cc = 0.28 \frac{Pc}{\sqrt{A}} \quad (04)$$

**Donde:**

- $Cg$  : Coeficiente de Gravelius
- $P$  : Contorno de la microcuenca o cuenca en Km
- $A$  : Área de la microcuenca o cuenca en  $\text{Km}^2$

#### f. Razón de Elongación (Re)

Este índice morfométrico cuantifica la proporción entre la longitud característica de la microcuenca o cuenca y la superficie de la misma, proporcionando la data suficiente del contorno hidrográfico. Una relación cercana a uno denota una microcuenca casi circular, mientras que valores por debajo de uno reflejan un patrón más alargado. Según Mediero (2021), la expresión matemática para determinar este índice es la siguiente; según Mediero (2021), la fórmula que se tiene en cuenta es la siguiente:

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc} \quad (05)$$

**Donde:**

- $Re$  : Relación de elongación.
- $Lc$  : Distancia del cauce principal
- $A$  : Área de la microcuenca.

#### g. Coeficiente de forma de la cuenca (F)

Es un coeficiente utilizado para describir la geometría de la microcuenca de manera cuantitativa mediante el fraccionamiento entre su área y la longitud máxima del cauce elevado al cuadrado. Este factor permite determinar la tendencia de una microcuenca a ser más alargada o compacta, lo que influye de manera directa en la reacción hidrológica ante episodios de lluvia. El cálculo se realiza con base en la siguiente relación:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (06)$$

**Donde:**

- F : Factor de forma  
 A : Superficie de la microcuenca  
 L : Medida del cauce principal

**Tabla 2.**

*Rangos indicativos del coeficiente de forma.*

Rango estimado	Caracterización de la forma de la cuenca
> 0.22	Configuración altamente alargada
0.22 – 0.300	Forma alargada
0.300 – 0.37	Levemente alargada
0.37 – 0.450	Forma intermedia (ni alargada ni ancha)
0.450 – 0.60	Moderadamente ensanchada
0.60 – 0.80	Estructura ancha
0.80 – 1.20	Muy ancha
> 1.200	Morfología que circunda el punto de desagüe

**Nota.** Tomado de Hidrología, Delgadillo y Moreno, 2011.

## 2.2.10. Factores geomorfológicos

### a. Valor medio de la pendiente de la cuenca

Representa el valor medio de inclinación del relieve dentro de los límites de una cuenca de drenaje. Este parámetro se determina a partir de la razón entre la sustracción altitudinal total existente entre la parte más alta y el punto de salida de la microcuenca, respecto a la distancia horizontal correspondiente. Su cálculo permite caracterizar la energía del flujo superficial de agua y la evolución del movimiento del caudal dentro del sistema hidrográfico (Camino et al., 2018).

$$J = 100 \times \frac{(\sum Li)(E)}{A} \quad (07)$$

**Donde:**

- J : Pendiente promedio de la microcuenca (%)

$\Sigma L_i$  : Total de las longitudes correspondientes a las curvas de nivel (km)

E : Separación uniforme entre las curvas de nivel (km)

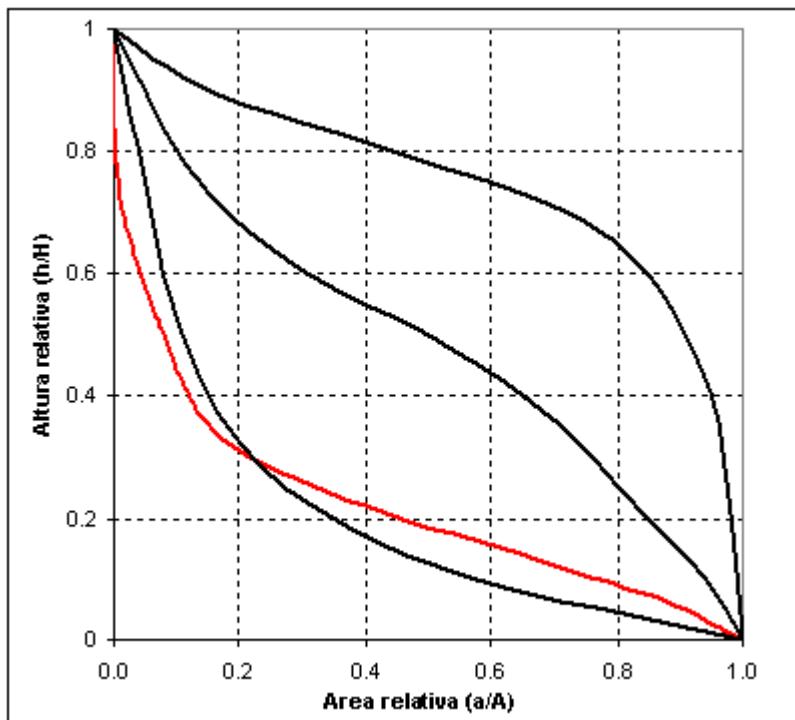
A : Superficie de la microcuenca ( $\text{km}^2$ )

### b. Curva de elevación de la microcuenca

Constituye la herramienta a medida de esquema permite analizar la distribución relativa de las altitudes de una microcuenca o superficie terrestre. Esta representación muestra la proporción del área total en función de su elevación, lo cual facilita la interpretación del grado de disección del relieve y la etapa de evolución geomorfológica del territorio (Camino et al., 2018).

**Figura 3.**

*Distribución de la extensión de la microcuenca hidrográfica.*



**Nota:** Adaptado de Camino et al. (2018).

### c. Determinación de la altitud promedio de la microcuenca.

La altitud promedio de la microcuenca hidrográfica se conoce como su elevación media dentro de su delimitación. Este parámetro se obtiene al integrar las curvas de nivel, ponderando el área comprendida entre ellas. Su cálculo es importante porque influye directamente en los procesos de escorrentía, evapotranspiración, tipo de cobertura vegetal y distribución térmica. La altitud

media puede ser estimada mediante métodos gráficos, estadísticas de puntos de control topográfico o utilizando modelos digitales del terreno (Chow, Maidment & Mays, 1994).

$$Em = \frac{\sum a \times e}{A} \quad (08)$$

**Donde:**

- Em : Altitud media
- a : Superficie entre 2 contornos
- E : Elevación media entre 2 contornos
- A : Superficie total de la microcuenca

#### d. Cálculo de la Altura Media

La altura media se refiere a la sustracción entre la altitud mínima y máxima dentro de una microcuenca, dividida por dos, lo cual proporciona un valor representativo del rango altitudinal. Este valor se utiliza para caracterizar el gradiente vertical promedio del terreno y tiene una fuerte correlación con la energía potencial de escurrimiento. A mayor altura media, suele corresponder una mayor rapidez de escorrentía y una dinámica hidrológica más rápida ante eventos de precipitación (Linsley et al., 1992).

$$H = Em + H_0 \quad (09)$$

**Donde:**

- H : Altura media
- Em : Altura media
- Ho : Altitud del punto de aforo

#### e. Rectángulo Equivalente

Se dice a la figura geométrica teórica representativa de una forma simplificada de una microcuenca hidrográfica. Tiene la misma superficie que la cuenca real, pero dimensiones rectangulares determinadas por su longitud máxima (L) y un ancho promedio (A/L). Esta conceptualización permite analizar la conformación morfológica de la microcuenca de forma estandarizada y facilita cálculos como el tiempo de concentración o la relación de elongación. Su

aplicación permite simplificar el comportamiento hidrológico para efectos comparativos o modelación empírica (Chin, 2006).

Se toma como referencia el lado de mayor longitud del rectángulo equivalente como:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (10)$$

**Donde:**

Cg : K

Se toma como referencia el lado de menor longitud del rectángulo equivalente como:

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (11)$$

**Donde:**

Cg : K

Lm : Amplitud del lado mayor del rectángulo.

L : Amplitud del lado menor del rectángulo.

Cg/K : Coeficiente de Gravelius.

A : Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### f. Índice de Pendiente

Es un parámetro que cuantifica la inclinación media del terreno dentro de una cuenca, expresada generalmente en porcentaje. Se determina mediante la diferencia de alturas entre dos puntos representativos (por ejemplo, entre la parte alta de la microcuenca y la salida de la microcuenca), dividida por la distancia horizontal correspondiente. Este valor es determinante en el análisis de escorrentía, dado que las inclinaciones fuertes incrementan la velocidad del escurrimiento

superficial, por ende, reduciendo infiltraciones y aumentan la probabilidad de erosión e inundaciones (Bedient, Huber & Vieux, 2013). La ecuación es la siguiente:

$$Ip = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} X \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (12)$$

**Donde:**

- Ip : Índice de pendiente
- N : Número de curvas de nivel existentes en el rectángulo.
- ai : Cotas de las n curvas de nivel consideradas.
- Bi : Fracción de la superficie total de la cuenca,  $ai - (ai-1)$ .
- L : Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente

#### **g. Pendiente característica de la cuenca**

Representa el valor medio de la inclinación de una microcuenca, considerando tanto su longitud como sus variaciones altitudinales. Puede calcularse mediante la fórmula:

$$S = \frac{(H_{max} - H_{min})}{L} \cdot 100 \quad (13)$$

Donde  $S$  es la pendiente (%),  $H_{min}$  y  $H_{max}$  representa la altitudes mínima y máxima, respectivamente, y  $L$  es la dimensión del cauce principal. Este parámetro condiciona la velocidad de escurrimiento, la fuerza erosiva del caudal y su habilidad para transportar. Las pendientes pronunciadas trae como consecuencia escorrentías rápidas y eventos de creciente más intensos (Morales, 2020).

**Tabla 3.**

*Clasificación de la pendiente de una cuenca.*

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Descripción geomorfológica</b>	<b>Implicancia hidrológica</b>
<b>0 – 3 %</b>	Muy suave	Relieve plano o ligeramente ondulado	Escorrentía lenta; alta infiltración; menor riesgo de avenidas.

3 – 8 %	Suave	Relieve ondulado o colinas bajas	Escorrentía moderada; infiltración aceptable; eventos controlables.
8 – 15 %	Moderada	Laderas suaves; zonas de transición topográfica	Escorrentía rápida; riesgo medio de erosión o crecidas.
15 – 30 %	Fuerte	Laderas pronunciadas o quebradas	Alta velocidad de escurrimiento; mayor riesgo de avenidas y erosión.
> 30 %	Muy fuerte o escarpada	Relieves montañosos o abruptos	Escorrentía torrencial; muy alto riesgo de deslizamientos e inundaciones.

**Nota:** Tomado de Morales (2020).

## 2.2.11. Parámetros Relativos

### a. Coeficiente de Masividad

El coeficiente de masividad, es un índice morfométrico que fracciona la altitud media de la cuenca con el área de la microcuenca, su fórmula general es:

$$T = \frac{H}{A} \quad (14)$$

**Donde:**

H : Altitud media de la microcuenca en Km

A : Superficie de la microcuenca en Km<sup>2</sup>

T : Coeficiente de masividad Km

Este coeficiente tiene una valoración máxima de uno, correspondiente a una representación íntegramente circular. Cuenca con valoraciones cercanas a la unidad su tiempo de concentración son significativamente pequeñas y respuestas rápidas ante eventos de lluvia, mientras que formas alargadas presentan menor masividad y tiempos de respuesta más prolongados. Es un indicador útil para conocer la forma geométrica de la cuenca y compacidad de la misma (Strahler, 1957; Morales, 2020).

**Tabla 4.***Valoraciones del coeficiente de masividad (cf).*

<b>Valor de Cf</b>	<b>Forma de la cuenca</b>	<b>Interpretación hidrológica</b>
<b>0.80 – 1.00</b>	Casi circular	Alta masividad. Respuesta hidrológica rápida. Escorrentía intensa y menor tiempo de concentración.
<b>0.60 – 0.79</b>	Moderadamente compacta	Respuesta intermedia. Cuenca eficiente en conducción de escorrentía.
<b>0.40 – 0.59</b>	Alargada o irregular	Respuesta más lenta. Mayor tiempo de concentración. Menor riesgo inmediato de inundación.
<b>&lt; 0.40</b>	Muy alargada o ramificada	Alta dispersión del escurrimiento. Reducción de caudales pico.

**Nota:** Morales, 2020.**b. Tipo de corriente**

El tipo de corriente se clasifica en función del flujo del agua dentro del cauce y puede ser efímera, intermitente o perenne, esto depende de con cuanta agua dispone una microcuenca en el año (Strahler, 1957). Este parámetro es de mucha importancia para conocer el comportamiento estacional de la red de drenaje y sus implicancias del escurrimiento superficial y la recarga hídrica (Morales & Gutiérrez, 2020).

**c. Número de Orden de Cauce**

Se refiere al ordenamiento jerárquico de los ríos y arroyos dentro de una cuenca, utilizando el método de Strahler, en el cual los arroyos de primer orden son los más pequeños y sin afluentes, y los de orden superior resultan de la confluencia de cursos del mismo orden (Strahler, 1952). Este parámetro permite establecer la complicación estructural del conjunto de drenaje y su grado de desarrollo (Pérez, 2015).

#### **d. Densidad de Drenaje**

Hace referencia a la proporción que existe entre la longitud total de los arroyos de una microcuenca y el área de esta (Horton, 1945). Se expresa en km/km<sup>2</sup> y permite identificar el grado de dissectación del terreno. Un valor elevado puede indicar terrenos impermeables, precipitaciones intensas o pendientes pronunciadas (Chorley et al., 1984). Su fórmula es:

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (15)$$

Donde  $L_t$  es la distancia total de los arroyos y  $A$  la superficie de la microcuenca.

#### **e. Sistema de Strahler**

Es un método de ordenamiento jerárquico de ríos, ampliamente utilizado en hidrología y geomorfología fluvial. Propone que, si dos cauces de orden similar se unen, el cauce resultante incrementa su orden en una unidad; si son de diferente orden, el cauce conserva el orden mayor (Strahler, 1952). Esta metodología facilita el estudio estructural de los arroyos de drenaje y la evaluación del desarrollo hidrográfico de la microcuenca.

#### **f. Pendiente promedio del curso de agua**

La pendiente promedio del curso de agua se calcula mediante la relación entre la sustracción de elevaciones y la longitud del arroyo primario. Representa el grado de inclinación del cauce principal, que tiene una interferencia muy entrelazada con la velocidad del agua que transcurre por el arroyo y el poder erosivo del agua (Schumm, 1956). Se formula generalmente en porcentaje (%) y se estima de la manera siguiente:

$$S = \frac{h_1 - h_2}{L} \times 100 \quad (16)$$

Donde  $h_1$  es la altitud de la naciente,  $h_2$  la altitud de la desembocadura, y  $L$  la longitud total del cauce.

### **2.2.12. Evaluación pluviométrica**

#### **2.2.12.1. La precipitación**

Es el proceso mediante el cual el agua que se contiene en la atmósfera se vierte a la superficie de la tierra mediante un evento denominado precipitación, nieve, granizo o llovizna. Representa una de las principales entradas del ciclo hidrológico y tiene una influencia directa sobre los

procesos de flujo superficial, infiltración y almacenamiento en la tierra (Ponce, 1989). Su medición se realiza mediante pluviómetros y pluviógrafos, que registran la cantidad y la intensidad con la que se presenta (Arnaldo & Sierra, 2015).

#### **2.2.12.2. Verificación de la consistencia de la información**

La verificación de la consistencia de la información tiene como objetivo detectar errores sistemáticos o aleatorios en los registros de datos de lluvia. Este proceso es crucial, ya que asegura la fiabilidad de la información antes de su uso en estudios hidrológicos más avanzados. La consistencia puede evaluarse mediante métodos visuales y estadísticos que identifican discontinuidades, anomalías o cambios bruscos en los registros históricos (Linsley, Kohler & Paulhus, 1982).

#### **2.2.12.3. Análisis de curva doble masa**

Es una técnica estadística utilizada con el fin de comprobar la coherencia interna de los registros de precipitación. Este procedimiento implica contrastar la precipitación total registrada en una estación con la de una o varias estaciones cercanas consideradas de referencia. Si la relación entre ambas series es constante, la gráfica mostrará una línea recta; si existe un cambio en la pendiente, se asume que ha habido un cambio en las condiciones de medición o en el entorno (WMO, 2012). Esta herramienta permite ajustar la serie histórica para mantener la coherencia con la región de estudio (Gupta, 2011).

#### **2.2.12.4. Evaluación de discontinuidades en la consistencia de la media**

La evaluación de discontinuidades en la consistencia en la media busca identificar cambios abruptos en la media de la serie de precipitación que pueden estar asociados a errores en la recolección de datos, cambios en el instrumental o en el entorno físico de la estación meteorológica (p. ej., urbanización o deforestación). Este tipo de análisis suele apoyarse en pruebas estadísticas de Pettitt, de Buishand y Rangos de Mann-Kendall para detectar puntos de cambio (Mimikou & Baltas, 1997). Detectar estos saltos es esencial para corregir o ajustar las series y asegurar su uso en análisis comparativos o modelación hidrológica.

#### **2.2.12.5. Análisis de Probabilidad Hidrológica y Ajuste**

Cuando se realiza la recopilación y análisis de registros de precipitación o caudales, es posible identificar valores extremos —máximos o mínimos— conocidos como caudales pico. Estos eventos extremos tienen una relevancia significativa en la dinámica del sistema hidrológico, ya que suelen generar impactos importantes, y su frecuencia de ocurrencia es inversamente proporcional a su magnitud. El análisis de frecuencia tiene como objetivo central establecer,

mediante técnicas probabilísticas, la probabilidad de ocurrencia de estos eventos extraordinarios, lo cual permite una adecuada planificación y gestión del riesgo hídrico (Villa, 2014).

#### 2.2.12.6. Distribución Normal

Esta distribución se apoya en el teorema del límite central, que señala que al combinar o promediar una cantidad considerable de variables aleatorias independientes, su comportamiento tiende a aproximarse a una distribución normal, sin depender de la forma original de dichas variables. La distribución normal se representa mediante una fórmula matemática específica que indica cómo se concentran y dispersan los valores en torno a la media de la población (Villa, 2014).

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2S^2}} \quad (17)$$

**Donde:**

$f(x)$  : Función de la densidad normal de la variable “X”.

$x$  : variable independiente.

$\mu$  : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de “x”.

$S$  : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de “x”.

#### 2.2.12.7. Distribución Log Normal (2 parámetros)

Este tipo de distribución se emplea en el ámbito hidrológico cuando las variables analizadas derivan del producto de múltiples factores aleatorios. Es adecuada para describir fenómenos cuyos valores, al ser transformados logarítmicamente, tienden a seguir una distribución normal, lo que posibilita representar eventos con sesgo positivo, como caudales o precipitaciones extremas (Villa, 2014).

$$f(x) = \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{-(\log x - \bar{\log x})}{S_y^2}\right)^2} \quad (18)$$

**Donde:**

$y = \log x$

$\mu_y = \bar{y}$

$S_y$  = Desviación estándar de "y"

$x$  = Variable independiente.

$\bar{x}$  y  $S$  = Parámetro de distribución

$S$  = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de "x".

#### 2.2.12.8. Distribución Log Normal (3 parámetros)

La distribución Log-Normal de tres parámetros viene siendo una extensión de la distribución Log-Normal clásica. Se emplean cuando la data representa variables positivas y asimétricas, como caudales máximos, precipitaciones intensas o concentraciones de contaminantes. Esta distribución es adecuada cuando el logaritmo del valor observado sigue una distribución normal, pero con un desplazamiento adicional introducido por un tercer parámetro (el parámetro de ubicación) (Haan, 1977).

La función de densidad de probabilidad (PDF) se expresa de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{(z - \theta)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x - \theta) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right), x > \theta \quad (19)$$

Donde:

$\mu$  : Media del logaritmo natural de la variable transformada,

$\sigma$  : Desviación estándar del logaritmo,

$\theta$  : El parámetro de ubicación (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Esta distribución se utiliza de manera extensa en hidrología para estudiar la frecuencia de eventos extremos, particularmente en registros de caudales máximos anuales.

#### 2.2.12.9. Distribución Gamma (2 parámetros)

Es una función de probabilidad continua, utilizada en el modelamiento de variables hidrológicas como la precipitación diaria o mensual. Su utilidad radica en su capacidad para representar fenómenos con valores estrictamente positivos y distribución asimétrica (Haan, 1977).

La función que describe la densidad de probabilidad se expresa a continuación:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, x > 0 \quad (20)$$

**Donde:**

- $\alpha$  : Parámetro de forma,
- $\beta$  : Parámetro de escala,
- $\Gamma(\alpha)$  : Función Gamma evaluada en  $\alpha$  (Wilks, 2011).

El parámetro de forma determina el grado de sesgo de la distribución, mientras que el de escala ajusta la dispersión. Este modelo es frecuentemente utilizado en investigaciones de frecuencia de lluvias y proyecto de estructuras hidráulicas.

#### 2.2.12.10. Distribución Gamma tres parámetros

La distribución Gamma tres parámetros constituye una extensión de la versión que posee dos parámetros, añadiendo un parámetro de ubicación  $\theta$ , que desplaza la distribución en el eje horizontal. Este modelo permite una mayor flexibilidad al ajustar datos que no comienzan en cero, como caudales o tiempos de respuesta hidrológica (Gupta, 2011).

La función que representa su densidad se define:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} (x - \theta)^{\alpha-1} e^{-(x-\theta)/\beta}, x > \theta \quad (21)$$

Este modelo es apropiado cuando se evidencia un retardo en el inicio del evento o una condición mínima a partir de la cual comienza la distribución de probabilidades (Chow et al., 1994). Su calibración suele realizarse mediante métodos de momentos o máxima verosimilitud.

#### 2.2.12.11. Distribución Log Pearson tipo III

Se trata de un enfoque habitual en el análisis de frecuencia de eventos extremos, como las crecientes máximas anuales. Este modelo combina la transformación logarítmica de la información utilizando la distribución Pearson Tipo III, permitiendo una representatividad más acertada de valores máximos de caudal en series hidrológicas (Villa, 2014).

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta (y - \varepsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\varepsilon)}}{x\Gamma(\beta)} \quad (22)$$

**Donde:**

$$y = \log x$$

$$\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left[ \frac{2}{C_S(y)} \right]$$

$$\varepsilon = \bar{y} - S_y \sqrt{\beta}$$

$x_0$  = Parámetros de posición origen

$\beta$  = Parámetro de escala

$\gamma$  = Parámetro de forma

#### 2.2.12.12. Distribución Gumbel

Es una herramienta estadística comúnmente utilizada para el estudio de valores extremos, especialmente en el análisis de precipitaciones anuales máximas. Su función es estimar la frecuencia esperada de eventos extremos, de los cuales se destacan las lluvias intensas o crecidas, que superen ciertos umbrales críticos (Villa, 2014).

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (23)$$

**Donde:**

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

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

$\alpha$  = Parámetro de concentración

$\beta$  = Parámetro de localización

### 2.2.12.13. Distribución Log Gumbel

Es una distribución utilizada en la investigación de situaciones extremas, especialmente en investigaciones de hidrología donde los valores transformados logarítmicamente siguen una distribución tipo Gumbel. Este modelo resulta útil en la representación de registros anuales más altos de caudal o precipitación, especialmente cuando los datos presentan una cola superior más pesada (Singh, 1992).

Su función de distribución acumulativa (CDF) puede expresarse como:

$$F(x) = \exp \left\{ -\exp \left[ -\frac{\ln(x) - \mu}{\beta} \right] \right\}, x > 0 \quad (24)$$

**Donde:**

$\mu$  : Parámetro de localización,

$\beta$  : Parámetro de escala.

Al aplicar la transformación logarítmica a los datos y luego ajustar la distribución Gumbel, se logra una mejor representación en fenómenos con alta variabilidad y sesgo positivo (Stedinger, Vogel & Foufoula-Georgiou, 1993).

### 2.2.13. Estimación del evento pluviométrico de diseño

La tormenta proyectada para diseño es un procedimiento técnico utilizado para cuantificar la precipitación que puede ocurrir una región específica durante una tormenta de baja y máxima intensidad y duración. Este análisis se fundamenta en el estudio de serie de data histórica meteorológico e hidrológico que suceden en el área de interés. Esta herramienta resulta fundamental en el dimensionamiento y planificación de infraestructuras de control y drenaje de aguas de lluvia, tales como sistemas de alcantarillado, drenaje vial y otras estructuras hidráulicas (MTC, 2018).

Este proceso analítico contempla dos etapas principales:

**Obtención de registros históricos:** consiste en reunir y organizar la información pluviométrica y meteorológica disponible de la zona de interés. A partir de los datos históricos, se determina la

magnitud y frecuencia de eventos de precipitación ocurridos en el pasado, clasificados por intensidad y duración.

**Identificación de la precipitación de diseño:** con la recopilación de los datos, se procede a aplicar metodologías estadísticas y modelos hidrológicos para definir el evento crítico de diseño. Estos métodos permiten generar escenarios de tormenta representativos, considerando variables como la intensidad pluviométrica, el tiempo de ocurrencia y las particularidades físicas de la cuenca hidrográfica.

#### **2.2.14. Curvas IDF para eventos pluviométricos**

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia constituyen diagramas que muestran y que describen el comportamiento temporal y probabilístico de eventos de precipitación. Se trata de herramientas imprescindibles en ingeniería hidrológica para proyectar obras que regulen el flujo de agua de lluvia.

##### **a. Intensidad**

Corresponde a la razón de precipitación, comúnmente medida en mm/h y fluctúa a lo largo del desarrollo temporal del evento de lluvia, reflejando su severidad en función del tiempo (Lavado, 2020).

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (25)$$

**Donde:**

- |         |   |                             |
|---------|---|-----------------------------|
| I       | : | Intensidad (mm/hr)          |
| T       | : | Duración de la lluvia (min) |
| T       | : | Periodo de retorno (años)   |
| K, m, n | : | Parámetros de ajuste        |

##### **b. Duración**

Hace referencia al intervalo temporal continuo durante el cual ocurre el evento de precipitación, desde su inicio hasta su finalización. El análisis de las curvas intensidad, duración y frecuencia nos permite identificar la dependencia entre la intensidad del evento pluviométrico y su duración, proporcionando una visión clara del comportamiento hidrológico de la tormenta (Lavado, 2020).

### c. Frecuencia

Este elemento indica la probabilidad estadística de que se presenten distintas intensidades de lluvia para un tiempo de retorno determinado. Mediante esta curva, se analiza la probabilidad de que un evento de cierta magnitud vuelva a ocurrir dentro del periodo de estudio (Lavado, 2020).

#### 2.2.15. Tiempo de convergencia del escurrimiento

El tiempo de concentración es un indicador hidrológico que refleja el período necesario para que una gota de agua, procedente del punto más alejado de una cuenca, llegue al punto de salida principal, generalmente un cauce principal. Este indicador refleja el tiempo total necesario para que las aguas superficiales sigan el trayecto a través del sistema de drenaje natural o artificial, hasta el punto de control. Un valor elevado del tiempo de concentración implica un mayor lapso para que el agua de escorrentía se acumule, lo cual repercute de forma directa en el diseño de sistemas de drenaje y regulación de caudales (Villegas, 2014).

La relevancia de calcular este parámetro de manera exacta reside en su influencia en la planificación y dimensionamiento de infraestructuras hidráulicas. Como lo señala el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018): *"La estimación precisa del tiempo de concentración es crucial para el diseño adecuado de infraestructuras hidrológicas y para comprender el comportamiento hidrológico de una cuenca durante eventos de lluvia"* (p. 65). Una adecuada determinación del tiempo de concentración contribuye significativamente a un manejo eficiente del recurso hídrico y la disminución de riesgos derivados de eventos extremos.

Para calcularlo, se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$t_c = t_o + t_f \quad (26)$$

Donde:

$t_o$  : Tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

$t_f$  : Tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés  $= \sum L_i / V$

#### 2.2.16. Factor de fricción de Manning

La valoración de  $n$  conlleva profundos criterios de experiencia e ingeniería, con el fin de dar una determinación correcta, conlleva a entender factores que lo afectan, consultar tablas y establecer el valor de  $n$  conlleva a un proceso analítico, a su vez la rugosidad superficial representa la forma de los materiales que constituyen el lecho del arroyo (Chow, 1994).

**Tabla 5.***Parámetros considerados para estimar el coeficiente de rugosidad mediante la ecuación 27.*

<b>Condiciones del Cauce</b>		<b>Valores</b>	
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

**Nota:** Adaptado de Chow, 1994.

Por su parte (Cowan, 1956) establece una ecuación para determinar la rugosidad de Manning, las cual se detalla a continuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (27)$$

### 2.2.17. Ecuación de Manning para un flujo uniforme

Determinar el flujo uniforme a través de una sección geométrica que conduzcan agua, en su aplicabilidad es la ecuación de Manning, que se ve afectado por coeficientes como la rugosidad de la sección mojada, la pendiente, área de ingreso del flujo (Chow, 1994).

$$Q = \frac{1}{n} A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (28)$$

**Donde:**

- Q : Flujo en  $m^3/s$
- A : Área de sección geométrica en  $m^2$
- R : Radio hidráulico m
- S : Pendiente en m/m

## 2.2.18. Estimación del flujo máximo

### a. Método Racional

La metodología se fundamenta en calcular la magnitud del flujo de escorrentía que se origina de una precipitación de diseño, valiéndonos de distintos componentes hidrológicos y características geométricas de la cuenca. Este procedimiento permite determinar el caudal pico que debe ser evacuado adecuadamente por estructuras de drenaje pluvial, se aplica mediante esta fórmula:

$$Q = CIA \quad (29)$$

**Donde:**

- Q : Caudal máximo generado en  $m^3/s$
- C : Coeficiente de escorrentía
- I : Intensidad máxima de precipitación en mm/h
- A : Área de la cuenca ( $km^2$ )

### b. El coeficiente de escorrentía

Este coeficiente representa la proporción de precipitación que no es absorbida por el terreno ni se pierde por evaporación, y que, en consecuencia, contribuye al escurrimiento superficial hacia la red de drenaje o cuerpos receptores (Chiarito et al., 2018). En función de este valor, MTC (2018) establece la sucesiva ecuación:

$$C = \frac{(P_d - P_o) \times (P_d - 23P_o)}{(P_d - 11P_o)^2} \quad (30)$$

**Donde:**

- C : Coeficiente de escorrentía
- Pd : Precipitación máxima diaria (mm)
- Po : Umbral de escorrentía

### **2.2.19. Máxima avenida**

Se entiende como el punto máximo alcanzado por el caudal de agua durante un episodio de inundación en una zona específica. Este valor representa el incremento más elevado del caudal de un río en sectores bajos, provocado por precipitaciones intensas u otros fenómenos meteorológicos extremos. Este parámetro hidrológico es fundamental para evaluar niveles de vulnerabilidad y establecer acciones preventivas y de mitigación ante desastres naturales (MINAGRI, 2016).

En ese sentido, puede definirse como el valor más alto del caudal observado en un cuerpo de agua como consecuencia de una tormenta o lluvia extraordinariamente intensa ocurrida en un intervalo corto. Esta condición hidrológica, de naturaleza transitoria, está generalmente asociada a inundaciones súbitas.

### **2.2.20. Método Racional y su Aplicabilidad.**

Para evaluar hidrológicamente un cauce o una alcantarilla, con el propósito de proteger a la población frente a caudales máximos de escorrentía, resulta suficiente emplear el método racional, especialmente en cuencas de pequeña extensión, ya que únicamente se necesita estimar el caudal pico. En cambio, cuando el objetivo es proyectar una obra de almacenamiento y se requiere conocer el hidrograma de escurrimiento, es indispensable aplicar un método basado en hidrogramas. (Ríos Cruz et al., 2018).

### **2.2.21. Inundación**

Se entiende como la acumulación o desbordamiento de agua en un área cuando el volumen supera la capacidad del terreno para absorber e infiltrar el agua, o excede la capacidad de los sistemas de drenaje. Puede originarse por lluvias extremas, deshielos rápidos, crecidas fluviales o roturas de presas y manifestarse como flujos repentinos de gran energía o como

encharcamientos prolongados, con potencial de causar daños significativos a la población y al entorno (INDECI, 2019).

## **2.2.22. Zona de inundación**

Corresponde a los terrenos susceptibles de anegarse durante episodios pluviométricos intensos, avenidas de ríos u otros eventos hidrológicos que incrementen el nivel de las corrientes o cuerpos de agua. Su delimitación obedece a la altimetría, la proximidad a cauces y las condiciones de escurrimiento, factores que determinan el grado de vulnerabilidad frente a llenados o desbordes (Metzger, 2019).

## **2.2.23. Habilitación urbana**

Proceso de acondicionamiento de un terreno para su uso urbano, que incluye el diseño y la ejecución de redes y en saneamiento básico, alcantarillado, vialidad, energía eléctrica, entre otras—, a fin de posibilitar la edificación y el funcionamiento ordenado de viviendas, comercios y servicios en el predio (MML, 2013).

En tal sentido garantizar la precisión técnica y el cumplimiento de la normativa nacional vigente, este estudio incorpora las disposiciones de las normas peruanas aplicables al desarrollo urbano y al diseño de infraestructuras hidráulicas.

- **Ley N.<sup>a</sup> 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD):** Proporciona la base para la administración del riesgo de desastres en el país, promoviendo la evaluación y reducción de riesgos ante amenazas naturales.
- **Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible (Decreto Supremo N.<sup>o</sup> 022-2016-VIVIENDA):** Establece lineamientos para la planificación urbana en áreas expuestas a inundaciones y otros riesgos.
- **Norma Técnica Peruana NTP 399.010-1:2009 ("Gestión del Riesgo de Desastres - Identificación de Peligros y Evaluación de Riesgos por Fenómenos de Origen Natural"):** Establece directrices con el fin de detectar y valorar los riesgos naturales, incluyendo inundaciones.
- **Decreto Supremo N.<sup>o</sup> 003-2011-VIVIENDA, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos:** Establece normas para la utilización y conservación de los cuerpos de agua, incluyendo cauces naturales susceptibles a desbordes.

- **Manual de Evaluación de Peligros Naturales en el Perú (CENEPRED, 2015):** Documento técnico que orienta la identificación y zonificación de áreas vulnerables a desastres naturales.
- **Código Nacional de Diseño de Estructuras Hidráulicas (MTC, 2018):** Pauta que establece parámetros para el diseño y análisis de estructuras hidráulicas expuestas a avenidas extraordinarias.

### 2.3. Definición de conceptos esenciales

- **Avenida máxima:**

Se trata del flujo máximo que puede ocurrir en un cauce, ya sea natural o construido, durante un episodio de lluvia intensa, generalmente vinculado a un tiempo de retorno. Representa un elemento central en la ingeniería hidráulica, permite dimensionar obras de drenaje para condiciones extremas (Viessman & Lewis, 2002).

- **Caudal de diseño:**

Se trata del flujo seleccionado como referencia de dimensionamiento de estructuras hidráulicas. Se calcula en función de un tiempo de retorno específico, y su correcta estimación es primordial para la seguridad hidráulica de las infraestructuras urbanas y rurales (Chow, Maidment & Mays, 1988).

- **Coeficiente de escorrentía (C):**

Se trata de un valor adimensional que indica la fracción de lluvia que se convierte en escorrentía superficial. Depende de características como la cobertura vegetal, tipo de suelo, pendiente y uso del suelo. Valores altos indican menor infiltración y mayor volumen de escorrentía (Bedient, Huber & Vieux, 2013).

- **Curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia):**

Herramienta hidrológica que permite determinar la intensidad media de una precipitación en función de la frecuencia y su duración de ocurrencia. Se utiliza comúnmente para generar lluvias de diseño en estudios de drenaje y control de inundaciones (Pilgrim & Cordery, 1993).

- **Evento hidrológico extremo:**

Hace referencia a lluvias o caudales con magnitudes poco frecuentes, pero de gran intensidad, capaces de generar impactos significativos en el entorno natural o urbano. Estos eventos suelen

asociarse a tiempos de ocurrencia largos, como 100 o 200 años, y se están observando más a menudo por el cambio climático (MINAM, 2022).

- **HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System):**

Es un programa creado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército estadounidense, que posibilita la simulación del caudal de agua en canales y ríos. Su aplicación en régimen permanente o no permanente facilita la estimación de niveles de espejos de agua, velocidad de flujo y zonas potenciales de inundación (Brunner, 2016).

- **Inundación:**

Se define como la acumulación transitoria de agua en zonas que usualmente permanecen secas, causada por desbordamientos de cauces, lluvias inusuales, obstrucción de drenajes y como también fallas en infraestructuras hidráulica. Representa uno de los riesgos naturales más comunes y destructivos en zonas urbanas (CENEPRED, 2015).

- **Método racional:**

Técnica práctica utilizada para valorar el caudal pico de escorrentía superficial en cuencas pequeñas. Se fundamenta en la relación directa entre el caudal, la magnitud de la lluvia, el área de la cuenca y un coeficiente de escorrentía. Su aplicabilidad es adecuada en zonas urbanas con escasa infiltración (Chow, Maidment & Mays, 1988).

- **Periodo de retorno (TR):**

Se define como el tiempo promedio que se espera transcurra entre dos eventos hidrológicos de igual o mayor intensidad. Se expresa en años y es clave para definir el nivel de riesgo aceptado en la planificación de estructuras hidráulicas (Te Chow, 1964).

- **Tiempo de concentración (Tc):**

Se define como el tiempo que necesita una gota de agua para recorrer desde el punto más distante de la cuenca hasta su punto de salidas. Es fundamental para definir la persistencia crítica de la lluvia en el método racional, y se estima según la fórmula de Kirpich (1940) (Viessman & Lewis, 2002).

- **Zona de inundación:**

Área susceptible de ser anegada por el desborde de un cauce natural o artificial. Su delimitación mediante modelamiento numérico vital para la mitigación del riesgo, la planificación urbana y la definición de zonas de protección ribereña (CENEPRED, 2015).

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Localización del área de estudio

#### 3.1.1. Emplazamiento Geográfico

La zona de estudio se ubica en la microcuenca de la Zanora Seca, el tramo donde se realizó la investigación cuenta con un tramo de 570 metros, con coordenadas geográficas del punto de inicio del modelamiento E = 743215 m y N = 9367326 y punto concluyente E = 742883 m y N = 9366919. Estas coordenadas se describen en la tabla 6.

**Tabla 6.**

*Coordenadas del tramo de estudio, en la Zanora Seca.*

Punto	Este (mts)	Norte (mts)	Altitud (m.s.n.m)
P1	743215	9367326	740
P2	742883	9366919	796

Por otra parte, el área donde se centró el presente estudio se desarrolla dentro de la habilitación urbana “Ricardo Monteza”, y se ubica al Noroeste de la localidad de Jaén, región Cajamarca que se detalla en la tabla 6.

**Tabla 7.**

*Ubicación del área donde se realizó la investigación.*

Departamento	:	Cajamarca
Provincia	:	Jaén
Distrito	:	Jaén
Sector	:	Habilitación Urb. Ricardo Monteza
Zona	:	17M
Este (E)	:	743119.367
Norte (N)	:	9367147.339
Elevación Media	:	1113.474 m.s.n.m.

**Figura 4.**

*Ubicación del tramo de estudio y área de interés.*



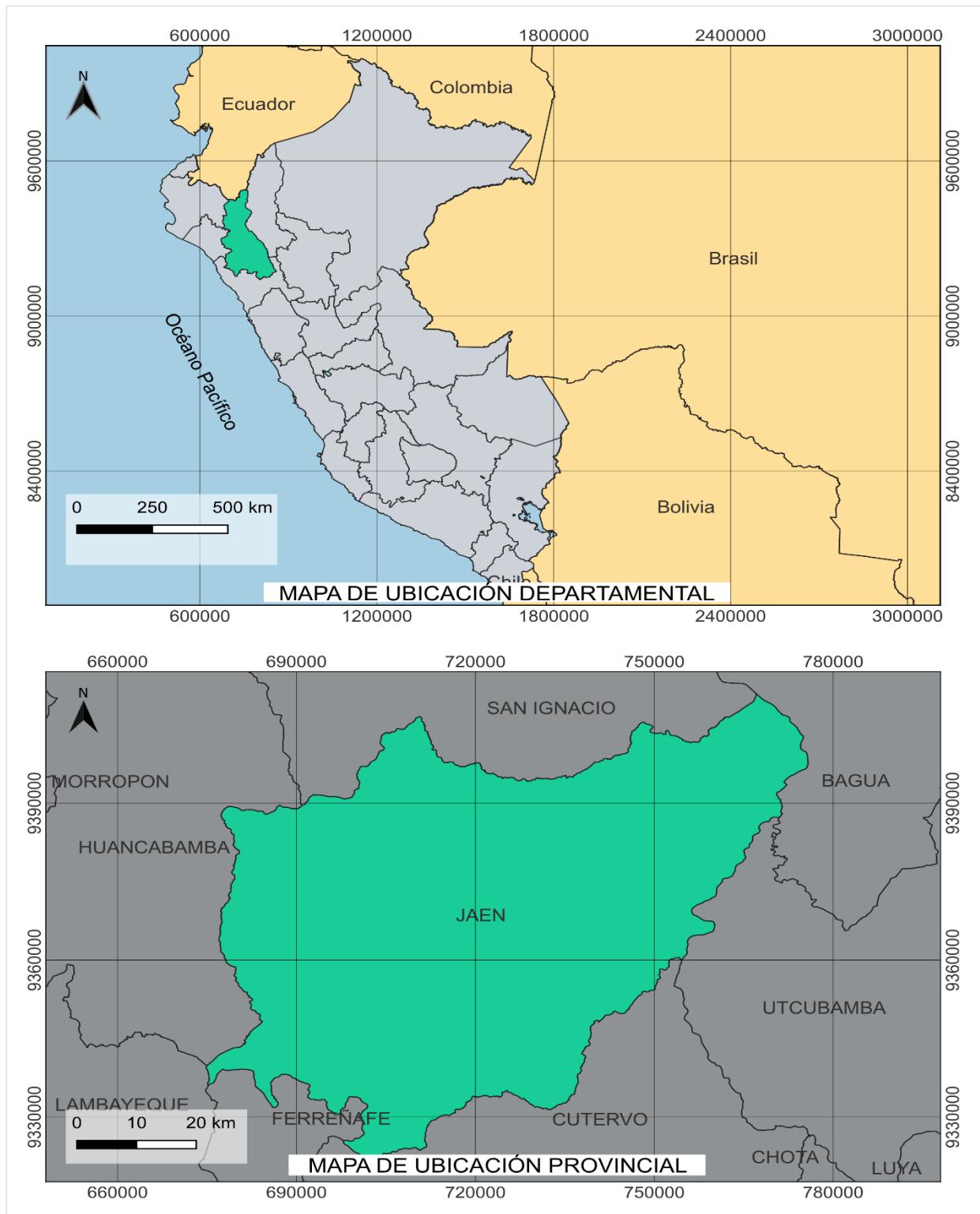
**Nota:** El punto final se encuentra fuera del casco urbano, mientras el punto de inicio se ubica en el área de interés, dentro de la ciudad.

### **3.1.2. Ubicación Política**

El ámbito geográfico considerado en el estudio actual se desarrolla dentro de la habilitación urbana “Ricardo Monteza”, Noroeste de la localidad de Jaén, situada en el departamento de Cajamarca, provincia y distrito de Jaén.

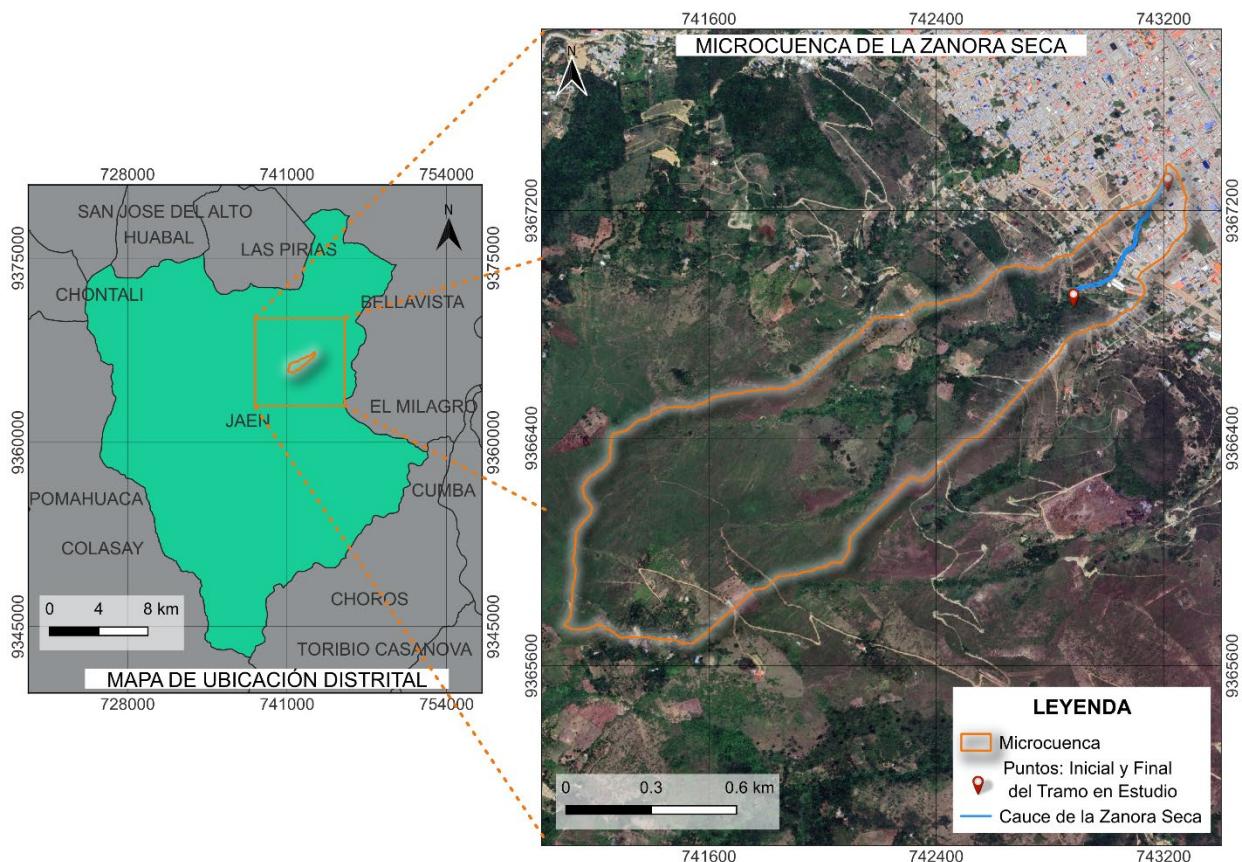
**Figura 5.**

*Delimitación política donde se realizó la investigación.*



**Figura 6.**

*Ubicación política del distrito de Jaén y el área de estudio.*



**Nota:** El tramo de estudio consta de 570 metros, contenido en la microcuenca de la Zanora Seca.

### 3.1.3. Rutas de acceso al área de estudio

#### 3.1.3.1. Vía Terrestre

##### Lima, Trujillo, Chiclayo y Lambayeque

Se continúa por la Panamericana Norte hasta el kilómetro 785, luego se toma la carretera Lambayeque – Olmos. En Olmos, se gira a la derecha hacia la Interoceánica Norte y se asciende hasta el abra de Porculla (2,137 m.s.n.m.), descendiendo posteriormente hacia Chamaya. Desde allí, se toma un desvío a la izquierda hacia la carretera Chamaya – Jaén.

### **Paita y Piura**

Se continúa por la Carretera Interoceánica Norte pasando por Cruz de Caña, Vicús y el desvío a La Matanza hasta llegar a Olmos. Luego, girando a la izquierda por la Interoceánica Norte, se asciende hasta el abra de Porculla (2,137 m.s.n.m.) y se desciende hacia Chamaya. Desde allí, se toma a la izquierda un desvío hacia la carretera Chamaya – Jaén.

### **Yurimaguas, Tarapoto y Moyobamba**

Avanzar por la carretera Interoceánica Norte hasta Chamaya, tomando en ese punto el desvío hacia Jaén.

### **Cajamarca, Bambamarca, Hualgayoc, Chota y Cutervo**

Tomar la carretera Cajamarca – Bambamarca, continuar hacia Chota y Cutervo hasta incorporarse a la Interoceánica Norte, girar a la derecha y seguir hasta Chamaya. Finalmente, tomar el desvío que conduce a Jaén.

#### **3.1.3.2. Vía Aérea**

Jaén cuenta con aeropuerto y se cuenta con el servicio de vuelos todos los días a la ciudad de Lima.

### **3.2. Aspectos Geográficos**

#### **3.2.1. Clima**

El clima predominante es cálido durante la mayor parte del año, con temperaturas que varían entre 25 °C y 30 °C. Las precipitaciones intensas se presentan generalmente en los primeros tres meses del año, mientras que en el resto del período se registran lluvias ligeras de manera ocasional.

#### **3.2.2. Límites**

La Zanora Seca forma parte de la habilitación urbana Ricardo Monteza y colindan con la habilitación urbana Santa Cecilia y con la habilitación urbana Mirasol II, las mismas que se ubican en la parte alta del distrito de Jaén, además es de suma importancia contar con un sistema de drenaje de aguas pluviales que garantice su correcto flujo.

A Parte de las calles de las habilitaciones urbanas antes mencionadas no cuentan con pavimento, lo que afecta directamente a las familias que residen en la zona y ocasiona un incremento en los niveles de contaminación ambiental, deteriora el patrimonio público y privado, y dificulta la circulación habitual de personas y vehículos, especialmente en temporada de lluvias.

La polución del aire generada por las partículas suspendidas puede ocasionar una elevada frecuencia de enfermedades respiratorias, como casos de asma y trastornos obstructivos. No existe un sistema de evacuación de aguas pluviales, generándose por tal motivo la Zanora antes mencionada.

En seguida, se muestra una figura representativa de la zona de estudio.

Figura 7.

### **Vista satelital y habilitaciones aledañas de la zona en estudio.**



### 3.3. Características demográficas, sociales y económicas

### 3.3.1. Población

La presente investigación se encuentra situada en la habilitación urbana Ricardo Monteza, la misma que forma parte del distrito de Jaén la cual tiene 94153 habitantes y una densidad de ocupación poblacional de 175.25 hab./km<sup>2</sup>, según Fuente: INEI – Censos 2017, con un índice de crecimiento de 0.91%.

### 3.3.2. Viviendas

La mayoría de las viviendas tienen un sistema constructivo de “albañilería confinada” de hasta 5 niveles y en su mayoría son viviendas de 2 niveles, las cuales están compuestas por columnas y vigas principales de concreto armado que confinan a la albañilería de ladrillo.

En las zonas de expansión de la habilitación urbana Ricardo Monteza, se encontró la proyección del mercado “NUEVO HORIZONTE”, la cual tiene un avance de construcción a base de madera y calamina.

**Figura 8.**

*Vivienda de 2 niveles, en el área de estudio.*



## 3.4. Servicios Públicos

### 3.4.1. Electrificación

Los habitantes de la habilitación urbana Ricardo Monteza y de las calles aledañas al ámbito de influencia de la zona de estudio, cuentan con suministro eléctrico las horas del días y alumbrado público, administrado por ELECTRO ORIENTE.

### 3.4.2. Situación de las calles en el área de estudio

El área de estudio cuenta calles pavimentadas y otras sin pavimentar, específicamente las calles aledañas a la Zanora y las calles que se encuentran aguas arriba de la se encuentran sin pavimentar, debido a que es una zona que se encuentra en crecimiento urbanístico

### 3.4.3. Agua y Desagüe

La población de Ricardo Monteza y sus calles vecinas dispone de servicios de agua potable y alcantarillado bajo la administración de EPS MARAÑÓN S.A.C.

### 3.4.4. Educación

Dentro del área analizada se sitúa la escuela inicial N° 447 El Edén – Jaén, adyacente a la zona en estudio.

## 3.5. Caracterización desde un punto de vista fluvial de la Zanora Seca

### 3.5.1. Características Morfométricas

- **Ancho del Cauce**

El ancho del cauce de la Zanora Seca es bastante irregular, pero, en promedio se tiene un ancho del cauce de 5.7 metros. Se ha podido evidenciar que los habitantes cada vez siempre ven reduciendo el ancho estable del cauce, que a futuro puede contraer mucho riesgo.

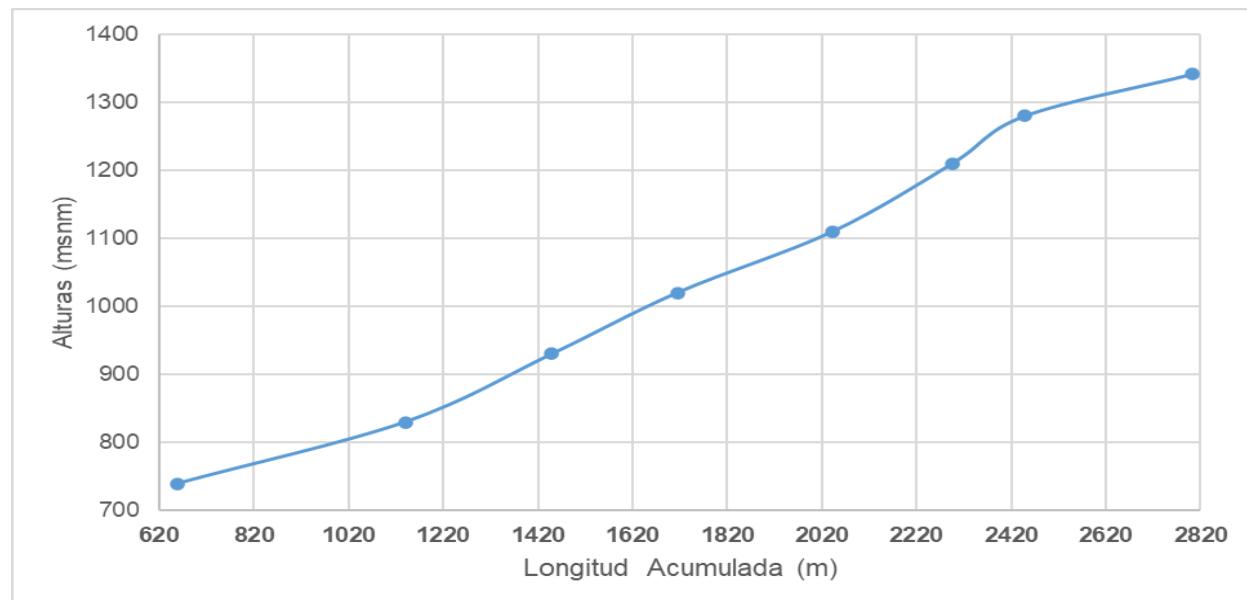
- **Pendiente del Cauce**

La Zanora, en su fase de madurez, tiene una pendiente media aproximada de 29.05%, común en ríos de alta montaña.

- **Perfil Longitudinal**

### Figura 9.

*Perfil longitudinal de la Zanora Seca.*



- **Tipo del Cauce**

La Zanora Seca es de tipo recto a lo largo del tramo de estudio, su flujo es muy intermitente a lo largo del año, sólo cargándose en tiempo de lluvias intensas.

### 3.5.2. Características Hidrológicos e Hidráulicos

- **Caudal Máximos**

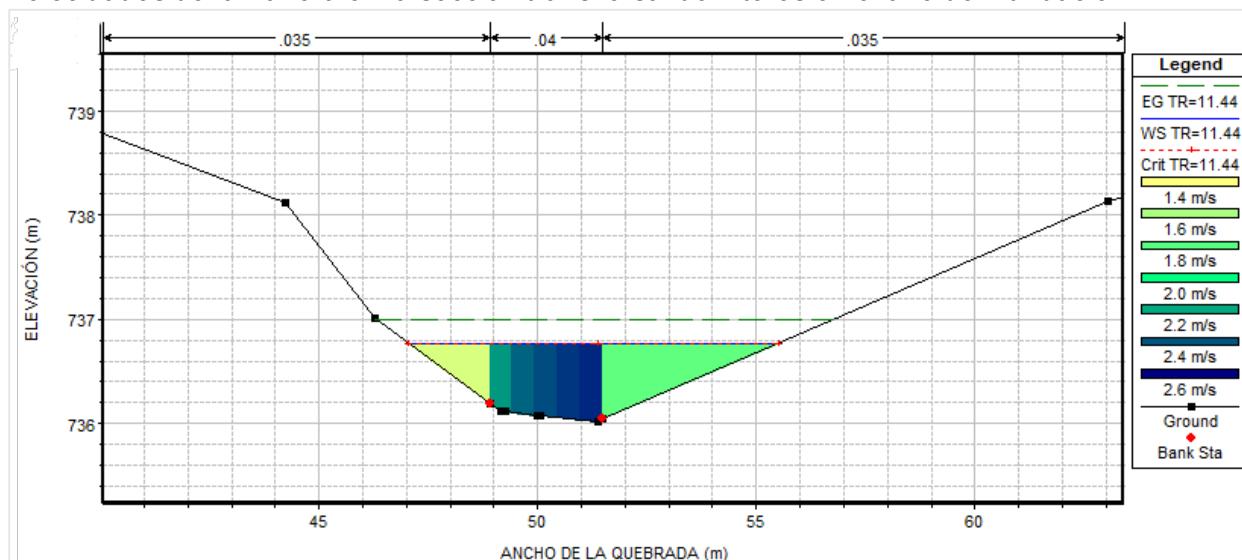
La Zanora Seca en eventos extremos se han podido evidenciar caudales de 7.77 m<sup>3</sup>/s, siendo muy riesgoso para los habitantes de la urbanización Ricardo Monteza.

- **Velocidades**

En el área de interés con coordenadas E = 743215 m y N = 9367326, denominado punto de inicio en el modelamiento unidimensional, se estimó una velocidad de 2.6 m/s en el eje de la Zanora y, una velocidad de 1.4 m/s en los bancos de la misma.

**Figura 10.**

*Velocidades de la Zanora en la sección transversal de interés en el año de inundación.*



- **Tirantes**

En la época que se originó la inundación se pudo evidenciar las marcas de la altura máxima que dejó la máxima avenida en la Zanora Seca, siendo 4.30 metros.

**Figura 11.**

Sección en la Prog. 0+000 con tirante crítico.



- **Rugosidad**

Según lo evidenciado en campo y con apoyo de la bibliografía “Hidráulica de Canales Abierto” y “Estructuras de Captación” se pudo determinar que la rugosidad del cauce principal es de  $n = 0.040$ , mientras que la rugosidad de llanura del cauce siendo  $n = 0.035$ .

### 3.5.3. Características Geomorfológicas

- **Tipo de Fondo**

El fondo de la Zanora, presenta un lecho compuesto principalmente por cantos rodados y rocas de grandes a mediados, con presencia de arenas y limo. El cauce tiene presencia de material suelto y semi rocoso, que en épocas de lluvias modifica la morfología local del cauce.

- **Estabilidad de Taludes**

Los márgenes de la Zanora presentan signos de inestabilidad por presencia de vegetación rala y partes que son erosivas, en épocas de máximas avenidas es susceptible a producirse erosión y socavación lateral.

- **Sedimentación**

Se llega a observar acumulación de material fino en el cauce, siendo un indicador de procesos activos de sedimentación, la presencia de rocas distribuidas irregularmente es señal de que el flujo no es constante.

#### **3.5.4. Características Ambientales**

- **Cobertura Vegetal**

La vegetación a lo largo de la Zanora es bastante densa, especialmente a orillas, son plantas nativas de la localidad, su crecimiento es irregular.

#### **3.6. Diagnóstico del área de estudio**

Para evaluar la susceptibilidad a inundaciones, se inspeccionó el tramo comprendido con una distancia del Km 0+000 y el Km 0+570, abarcando 570 m lineales de la Zanora Seca ubicada en la habilitación urbana Ricardo Monteza. En este diagnóstico se documentaron parámetros críticos como cotas transversales, acumulación de sedimentos y procesos de socavación, además se consultó a la población vulnerable y se tomó en consideración sus testimonios, en la que coincidieron y afirmaron que la zona crítica y de inundación se ubica en la parte baja de la Zanora entre la progresiva 0+000 y 0+030 aprox., la cual muestra una señal de inundación de 4.30m de altura, medido desde el fondo de la sección, dicha altura nos sirvió como tirante de agua, la cual fue un dato clave para determinar el caudal y que tiempo de retorno generó dicha inundación. En la progresiva Km 0+00 existe una alcantarilla rectangular de descarga de 1.35 m de base y 0.85 m de altura, la cual conduce un caudal máximo de 6.61 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, este valor resulta insuficiente frente al caudal recurrente durante los picos de avenidas para un período de retorno de 11.44 años, generándose una diferencia de 1.16 m<sup>3</sup>/s. Esta condición provoca inconvenientes a los residentes que edificaron sus viviendas cerca de la Zanora Seca, sin considerar las franjas marginales del cauce. En consecuencia, el área se vuelve altamente susceptible a inundaciones, ya que la alcantarilla no tiene la capacidad suficiente para evacuar los caudales. Dichos problemas se originan principalmente por la negligencia de la población, que no respetó la faja marginal y construyó sobre la infraestructura hidráulica que da continuidad al cauce, generando desbordes, daños materiales e incluso poniendo en riesgo sus propias vidas y viviendas.

### **3.7. Tiempo en el que se realizó la investigación.**

El estudio se desarrolló desde la primera semana de diciembre de 2023 hasta la última semana de junio de 2025.

### **3.8. Materiales y Equipos**

#### **3.8.1. Materiales:**

Herramientas manuales para el desbroce de vegetación.

Plano catastral de la localidad de Jaén, con referencia específica a la Zanora en la habilitación urbana "Ricardo Monteza". de la Zanora de la habilitación urbana Ricardo Monteza.

#### **3.8.2. Equipos:**

- GPS diferencial, cinta de medición 50 metros.
- Computadora portátil.
- Cámara de fotos
- Cinta de medición de lámina de vidrio de 5 metros.
- Impresora multifuncional.

### **3.9. Procedimiento de la investigación**

#### **3.9.1. Determinación del período de estudio:**

El primer trimestre del año corresponde a la época de lluvias en el área estudiada, periodo en el cual se registran los mayores índices pluviométricos. Estas precipitaciones intensas originan caudales pico que con frecuencia inundan y desbordan en la parte baja de la Zanora, afectando principalmente calles y viviendas ubicadas en dicha zona, en tal sentido surge la necesidad de una investigación desde un punto de vista hidrológico e hidráulico (SENAMHI, 2025).

#### **3.9.2. Levantamiento Topográfico del área de estudio**

Se efectuó el levantamiento topográfico con GPS Diferencial CATALYST DA2, con serie: 6343100502, se realizó la toma de puntos desde las progresivas comprendidas Km 0+000 y el Km 0+570, con coordenadas E = 743215 m y N = 9367326 y punto concluyente E = 742883 m y N = 9366919 respectivamente, levantamiento topográfico que comprendió el cauce de la Zanora seca.

### 3.9.3. Determinación de la extensión de la cuenca

Se definió la microcuenca hidrográfica ubicando el punto de descarga el sector más bajo de la Zanora Seca, de modo que la cuenca abarcase íntegramente el tramo analizado. Se estimaron los siguientes parámetros morfométricos: Indicadores de forma, características del relieve y parámetros comparativos.

### 3.9.4. Series pluviométricas y selección de la distribución de probabilidad.

Se emplearon los datos de la Estación Pluviométrica Jaén ( $5^{\circ} 40' 35.89''$  S,  $78^{\circ} 46' 26.96''$  W; 618 msnm) correspondientes al periodo 1993 – Junio del 2025, suministrados por SENAMHI. Dada su localización urbana y similitud climatológica con el área de interés, estos datos son típicos de las condiciones pluviométricas de la cuenca (SENAMHI, 2025).

Para modelar la precipitación anual máxima y estimar su posibilidad de ocurrencia, se compararon tres distribuciones:

- **Gumbel (EV1):** Estándar en estudios de eventos extremos, aunque tiende a subestimar los valores máximos en series con alta variabilidad (Chow et al., 1988).
- **Log-Pearson III:** Recomendada para análisis de caudales extremos, pero que en este caso no proporcionó el mejor ajuste (Bedient et al., 2013).
- **Log-Normal de 2 parámetros:** Seleccionada finalmente por presentar el ajuste más robusto, según las pruebas de validación de ajuste aplicadas (Te Chow, 1964). La distribución Log-Normal de dos parámetros redujo los errores de ajuste y representó de manera más precisa la distribución de lluvias extremas en el área de estudio.

### 3.9.5. Método para determinar el Caudal Máximo

Para estimar los caudales de diseño, siguiendo las directrices del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, confiabilidad en cuencas pequeñas con tiempos de concentración cortos y la disponibilidad de los datos mínimos requeridos, se optó por el Método Racional, apropiado para microcuenca urbanas con rápida respuesta hidrológica, cuando se cuenta con datos pluviométricos y morfométricos básicos (MTC, 2018). Este método se formula matemáticamente mediante la ecuación:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

**Donde:**

$$Q = \text{caudal de diseño (m}^3/\text{s})$$

C = coeficiente de escorrentía

I = intensidad de la lluvia para el período de retorno y duración de diseño (mm/h)

A = área de drenaje (ha)

Para afinar los cálculos se incorporaron los siguientes parámetros técnicos:

- **Tiempo de concentración (Tc):** se aplicó la ecuación de Kirpich (1940), que relaciona la longitud efectiva del cauce y la pendiente media de la cuenca para estimar el intervalo hasta que el agua llegue al punto de aforo.
- **Coeficiente de uniformidad:** Mide la homogeneidad de la precipitación sobre la microcuenca, reflejando variaciones locales en la intensidad de la lluvia.
- **Coeficiente de simultaneidad:** Evalúa la coincidencia temporal de las aportaciones de escorrentía desde diferentes subzonas, ajustando el caudal pico resultante.
- **Coeficiente de escorrentía (C):** Determinado mediante parámetros como la cobertura superficial y la pendiente de la microcuenca, cuantifica la fracción del agua precipitante que contribuye directamente al escurrimiento (MTC, 2018).

### 3.9.6. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Empleando las precipitaciones máximas correspondientes a períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, se construyeron las curvas IDF utilizando el modelo empírico desarrollado por Bell (1969). Este método establece una relación entre la intensidad de la lluvia, su duración y la probabilidad de ocurrencia, lo que permite diseñar estructuras hidráulicas considerando diversos escenarios pluviométricos (Bell, 1969).

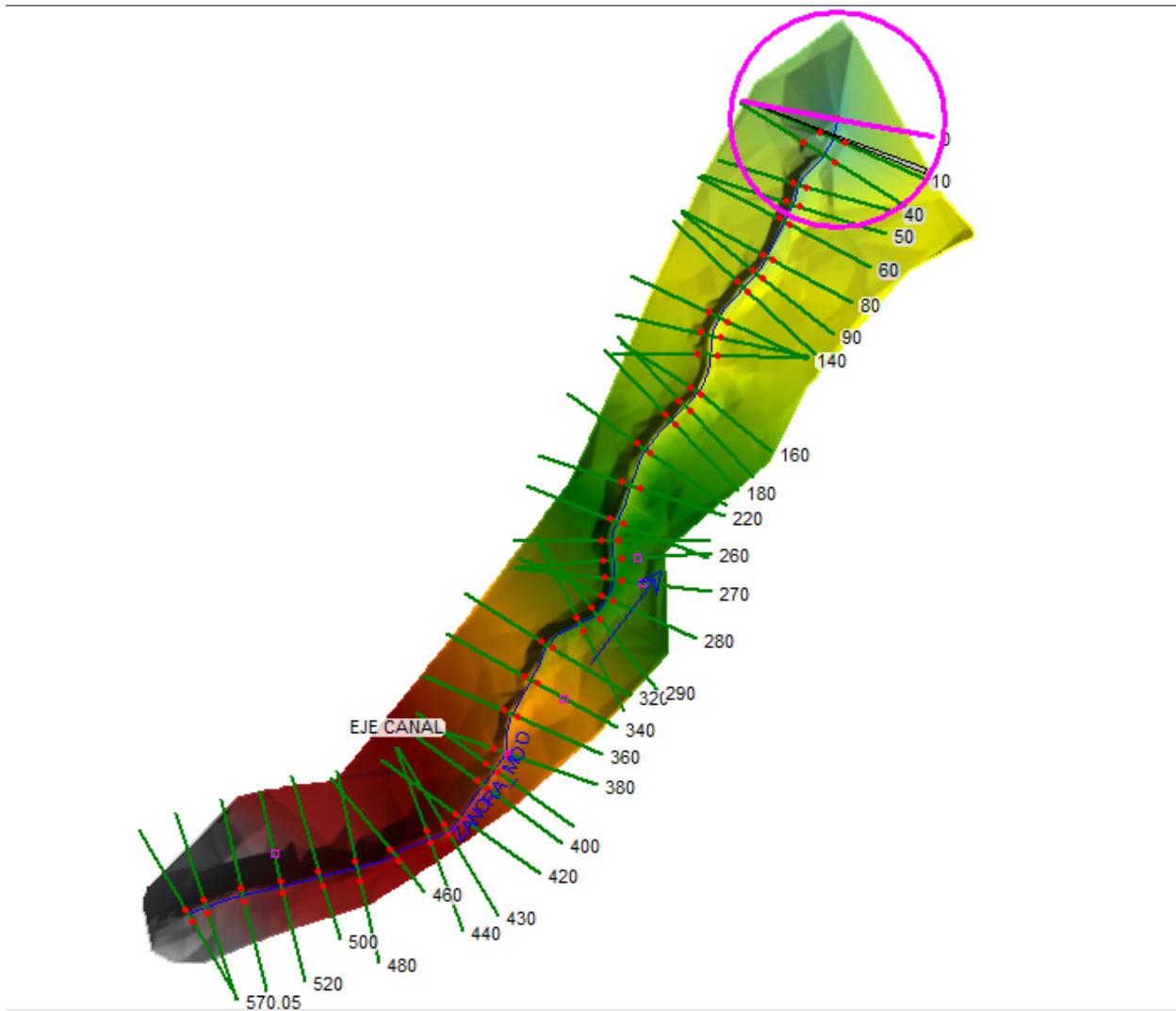
### 3.9.7. Modelación Hidráulica con HEC-RAS

Para caracterizar el régimen de flujo y los niveles de inundación en la Zanora Seca se empleó HEC-RAS (Brunner, 2016), siguiendo estos pasos:

- **Incorporación de datos topográficos:** Se incorporaron las secciones transversales levantadas a lo largo del segmento analizado.

**Figura 12.**

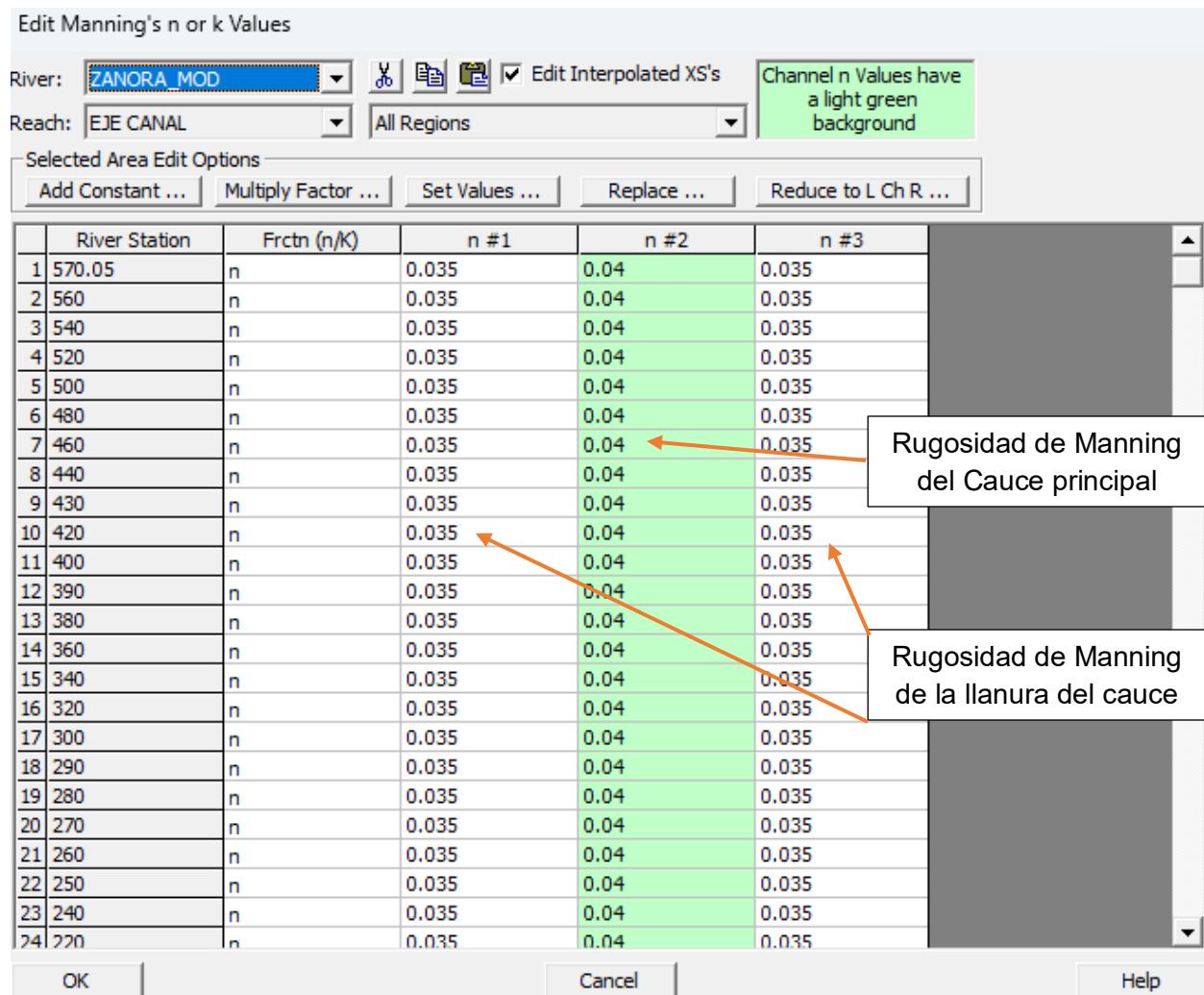
Secciones transversales de la Zanora, en el modelo HEC RAS.



- **Configuración de parámetros hidráulicos:** Se asignaron valores de rugosidad de Manning ( $n$ ) según la tipología del material y la vegetación presente en cada sección. En modelo se adjudicó la rugosidad de Manning; para el cauce de la Zanora  $n = 0.040$ , mientras para la llanura se empleó  $n = 0.035$ .

**Figura 13.**

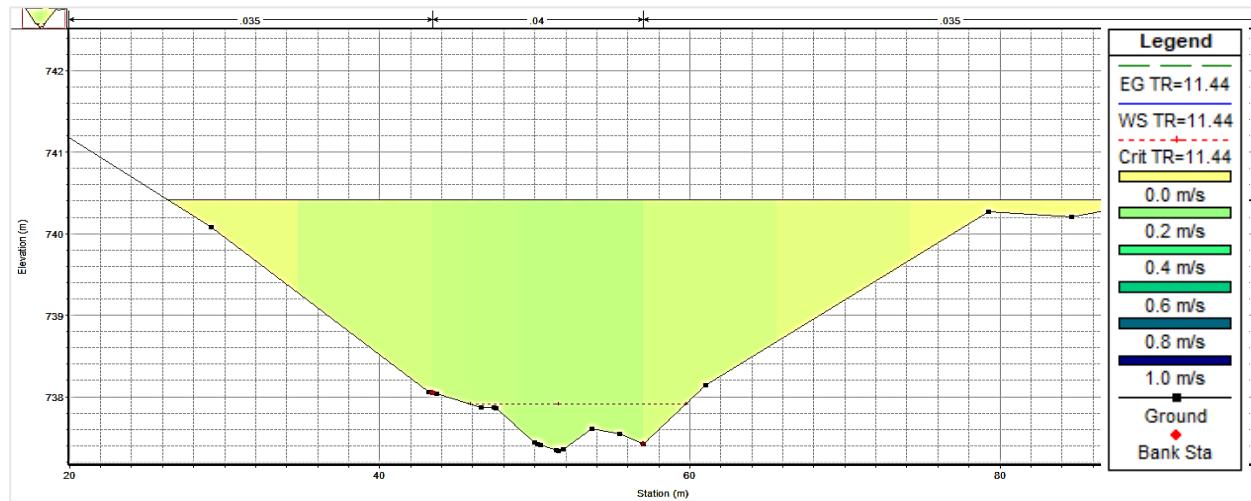
*Rugosidad de Manning en el cauce y llanura de la Zanora.*



- **Corriendo escenarios de caudal de diseño:** Se simularon los caudales correspondientes a tiempos de ocurrencia de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 y 200 años (TR2–TR200).
- **Análisis de niveles de agua:** Se registraron las cotas máximas en cada perfil transversal, identificando los sectores con potencial a inundarse.

**Figura 14.**

*Velocidades y tirantes para el tiempo de retorno cuando sucedió la inundación.*



- **Superposición cartográfica:** Los resultados hidráulicos se integraron al plano catastral de Jaén, delimitando las áreas vulnerables a inundarse y estimar los tirantes.
- **Validación del Modelo Numérico**

La calibración del modelo se realizó al cotejar las simulaciones con datos de campo y estudios previos. Este proceso incluyó la comparación de los tirantes de agua resultantes en eventos históricos y la comprobación de los parámetros hidráulicos mediante iteraciones sucesivas, hasta conseguir un coeficiente de correlación aceptable entre los valores simulados y los observados (Brunner, 2016).

- **Verificación de los Parámetros Utilizados en el Modelamiento Hidráulico**

Coeficiente de fricción de Manning ( $n$ ): Se seleccionaron basados en literatura técnica y en referencias de cauces análogos (Chow, 1959), ajustándose durante la calibración para optimizar la concordancia con los registros históricos.

Secciones transversales: Los perfiles del cauce se obtuvieron mediante topografía de alta precisión y se contrastaron con levantamientos anteriores, corrigiendo cualquier discrepancia detectada (Brunner, 2016).

Condiciones de contorno: Se fijaron a partir de datos de estaciones hidrométricas cercanas, de modo que los caudales y niveles de entrada y salida reflejaran las condiciones reales del sistema. Adicionalmente, se realizaron análisis de sensibilidad para valorar el efecto de distintos escenarios en los límites del modelo (USACE, 2016).

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Información topográfica

Los datos topográficos empleados en el modelo hidráulico provienen de un levantamiento de las secciones transversales de la Zanora Seca realizado en diciembre de 2023. Como resultado de este trabajo se generaron archivos en formato DWG y Shapefile, que sirvieron como insumo para la simulación de flujo.

#### 4.1.2. Delimitación de la cuenca hidrográfica

Se definió el perímetro de la cuenca y se caracterizaron sus atributos fisiográficos —área, morfometría, orientación, pendiente media, red de drenaje, cobertura y uso del suelo, forma y altimetría— utilizando imágenes satelitales y planos topográficos de alta resolución. Este enfoque permitió cuantificar y describir con detalle las variables clave para el estudio hidrológico (Ver Anexo 2).

#### 4.1.3. Parámetros de forma

Se obtuvieron directamente de la delimitación de la microcuenca los valores de área, perímetro y longitud, mientras que el factor de forma se calculó con la ecuación (06) y el índice de compacidad con la ecuación (04).

**Tabla 8.**

*Parámetros de forma.*

<b>Parámetros de Forma</b>	
Superficie	1.225 km <sup>2</sup>
Contorno o perímetro	6.230 km
Longitud principal	2.745 km
Índice de forma de la microcuenca	0.19
Índice de Compacidad	1.58

Del valor obtenido del índice de compacidad (Coef. Gravelius) que es igual a 1.58, Se establece que la microcuenca tiene una "FORMA RECTANGULAR O ALARGADA", según la clasificación de Máximo Villon.

#### 4.1.4. Parámetros de relieve

Se empleó el software ArcGIS para definir la distribución altimétrica de la microcuenca generadora de la Zanora en la habilitación urbana Ricardo Monteza, de donde se derivaron los parámetros de relieve:

##### a. Cálculos para la obtención de la curva Hipsométrica.

**Tabla 9.**

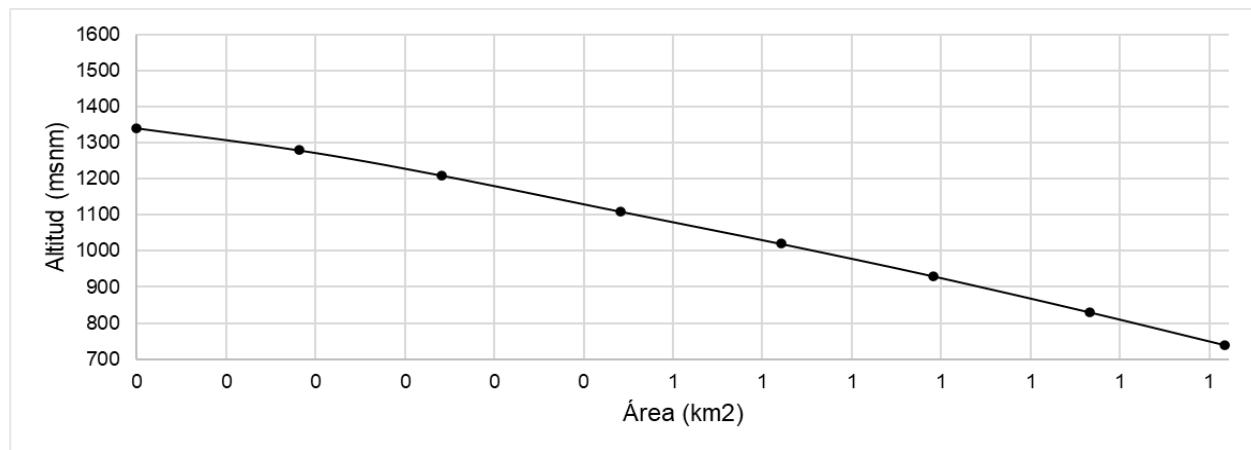
*Distribución de altimetría de la curva hipsométrica.*

Altitud (msnm)		Áreas que				% del total	% del total que queda sobre la altitud
		Áreas Parciales (Km2)	Áreas Acumuladas (Km2)	quedan sobre las altitudes (Km2)			
739.02	830.00	0.1294	0.1294	1.0956	10.5630	89.4370	
830.00	930.00	0.1358	0.2652	0.9598	11.0838	78.3532	
930.00	1020.00	0.1574	0.4226	0.8024	12.8503	65.5029	
1020.00	1110.04	0.1531	0.5757	0.6493	12.4982	53.0046	
1110.04	1210.00	0.1625	0.7382	0.4868	13.2677	39.7369	
1210.00	1280.00	0.1796	0.9178	0.3072	14.6601	25.0769	
1280.00	1341.43	0.1432	1.0610	0.1640	11.6886	13.3883	
1341.43	1422.77	0.1640	1.2250	0.0000	13.3883	0.0000	
<b>Suma</b>		<b>1.2250</b>			<b>100.0000</b>		

Utilizando los valores de la tabla de altimetría, se genera el gráfico de la curva hipsométrica.

**Figura 15.**

*Curva hipsométrica de la Zanora Seca.*



La representación gráfica de la curva hipsométrica refleja el relieve de la Zanora de la habilitación urbana Ricardo Monteza.

**b. Cálculo de elevación media.**

**Tabla 10.**

*Áreas y elevaciones entre dos contornos de la cuenca.*

a	e	a*e
0.13	784.51	101.52
0.14	880.00	119.49
0.16	975.00	153.48
0.15	1065.02	163.06
0.16	1160.02	188.54
0.18	1245.00	223.59
0.14	1310.72	187.68
0.16	1382.10	226.68
<b>1.23</b>		<b>1364.04</b>

Empleando los datos de la tabla 10 y empleando la ecuación (06), se obtiene una **elevación media de 1113.474 msnm**.

### c. Cálculo de altura media

Se realizó el cálculo de la altura media empleando la ecuación (09) y se obtuvo como resultado  $H = 374.45\text{m}$ .

### d. Rectángulo equivalente

Para calcular el lado mayor del rectángulo equivalente se emplea la ecuación (10), con la cual se obtiene un valor de  $2.653\text{km}$ .

Para calcular el lado menor del rectángulo equivalente se emplea la ecuación (11), con la cual se obtiene un valor de  $0.46\text{km}$ .

**Tabla 11.**

*Distribución parcial de longitudes para el rectángulo equivalente.*

Nº	Cota (msnm)	Áreas Parciales (km <sup>2</sup> )	Li (km)	Longitud Menor (km)	Longitud acumulada (km)
1	739.02	0.1294	0.2803	0.4617	0.2803
2	830	0.1358	0.2941	0.4617	0.5744
3	930	0.1574	0.3410	0.4617	0.9153
4	1020	0.1531	0.3316	0.4617	1.2470
5	1110.04	0.1625	0.3520	0.4617	1.5990
6	1210	0.1796	0.3890	0.4617	1.9880
7	1280	0.1432	0.3101	0.4617	2.2981
8	1341.43	0.1640	0.3552	0.4617	2.6534

### e. Índice de pendiente

Para estimar el índice de pendiente se emplea la ecuación (12), con la cual se obtiene un valor de Índice de pendiente  $Ip = 14.198$ .

#### f. Pendiente de la cuenca

La pendiente de la microcuenca se calcula teniendo en cuenta el criterio del rectángulo equivalente y empleando la ecuación (13), donde se obtiene el valor de  $S = 25.77\%$  de pendiente de la cuenca.

#### g. Perfil Longitudinal del cauce de la Zanora.

Se determinó tomando en cuenta los siguientes puntos:

**Tabla 12.**

*Datos para graficar el perfil Longitudinal del cauce de la Zanora.*

curva de nivel	Cota menor (msnm)	Cota mayor (msnm)	Diferencia entre cotas (Ah)	Longitud del Tramo (m)	Longitud Acumulada
1	739.02	830.0000	90.9800	656.635	656.635
2	830	930.0000	100.0000	483.306	1139.941
3	930	1020.0000	90.0000	309.359	1449.3
4	1020	1110.0400	90.0400	264.638	1713.938
5	1110.04	1210.0000	99.9600	328.205	2042.143
6	1210	1280.0000	70.0000	252.686	2294.829
7	1280	1341.4300	61.4300	153.386	2448.215
8	1341.43	1422.7700	81.3400	353.267	2801.482

#### 4.1.5. Parámetros relativos

Dentro de los parámetros relativos de la cuenca se tienen los siguientes:

##### a. Coeficiente de masividad

Es un parámetro asociado a la erosión en la cuenca que permite distinguir cuencas de igual altura media con relieve diferente. Sin embargo, no es suficiente para evaluar completamente la predisposición a la erosión, ya que puede presentar valores idénticos cuando la altura media y el área aumentan proporcionalmente. El cálculo mediante la ecuación (14) arroja  $T = 0.909$ .

### **b. Pendiente del cauce**

La pendiente del cauce se calcula asumiendo el tramo más largo del cauce y empleando la ecuación (16), donde se obtiene el valor de  $S = 29.05\%$  de pendiente del cauce.

### **c. Tiempo de Concentración (Tc)**

El tiempo de concentración, también denominado tiempo de equilibrio, representa el intervalo que tarda la partícula de agua más distante de la cuenca en llegar al punto de salida. Se asume que la duración de la precipitación es al menos igual al tiempo de concentración y que la lluvia se distribuye de manera uniforme a lo largo de toda la cuenca. Este parámetro está estrechamente vinculado tanto con el volumen máximo de escorrentía como con el tiempo de recesión; tiempos de concentración muy cortos generan volúmenes máximos intensos y recesiones rápidas, mientras que tiempos más largos producen volúmenes máximos atenuados y recesiones más prolongadas. Para estimar el tiempo de concentración existen diversas fórmulas empíricas, siendo las más empleadas la de Kirpich (1940) y la propuesta por California Culverts Practice (1942), que arrojan  $T_c = 12.39$  min y  $T_c = 12.37$  min respectivamente. El tiempo promedio de concentración considerado para los cálculos posteriores es  $T_c = 12.38$  min.

### **d. Número de orden de la cuenca**

Se trata de un valor que se vincula directamente con la cantidad de ramificaciones presentes en la red de drenaje. A medida que el número de orden aumenta, también se incrementa el potencial de erosión, la capacidad de transporte de sedimentos y, en consecuencia, la proporción de escorrentía directa en comparación con otra cuenca de área similar. El número de orden de una cuenca es altamente sensible a los efectos de escala, por lo que es imprescindible definir este parámetro de manera explícita.

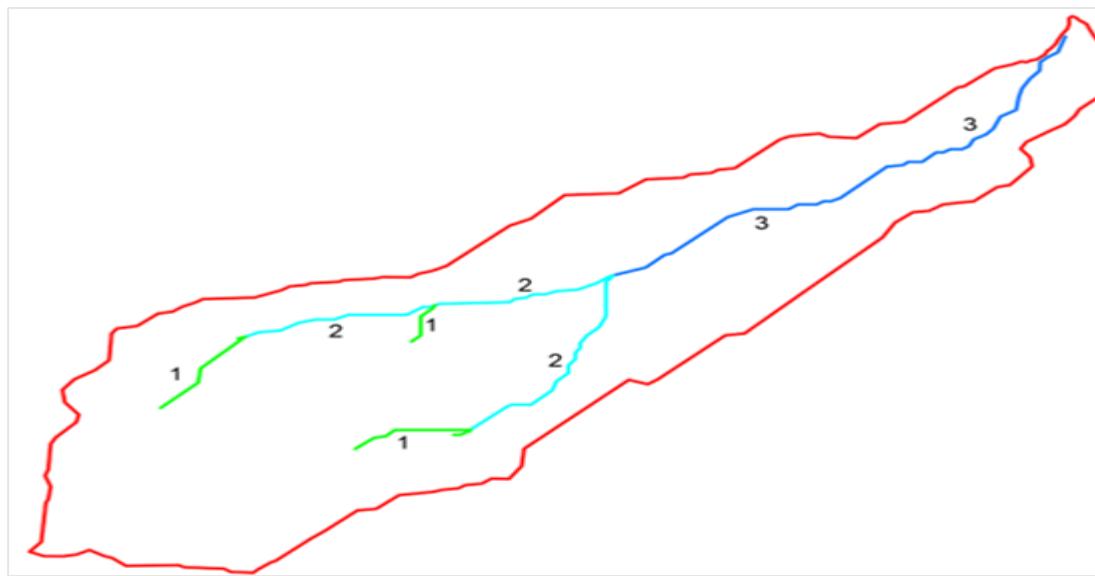
**Tabla 13.**

*Parámetros de relieve.*

Orden de Río	Nro Quebradas	Longitud (Km)
Orden 1	3	0.7366
Orden 2	2	1.4062
Orden 3	1	1.3013

**Figura 16.**

*Identificación del número de orden de la microcuenca.*



La evaluación de los indicadores geomorfológicos derivados de la modelación de la microcuenca permitió cuantificar su incidencia en la dinámica hidrológica. Al describir la microcuenca mediante parámetros de forma, relieve y relativos, se obtuvo información esencial para la construcción de modelos hidrológicos, el cálculo de escorrentías y la planificación del manejo del recurso hídrico.

La microcuenca presenta una superficie de 1.225 km<sup>2</sup>, un contorno de 6.230 km y una longitud principal de 2.745 km. El índice de forma (0,19) revela una configuración alargada, asociada a tiempos de concentración prolongados y respuestas menos súbitas ante precipitaciones intensas. De igual modo, el coeficiente de compacidad (1,58) refleja una geometría irregular que influye en las variaciones de velocidad del escorrimento.

En lo relativo al relieve, la elevación media de 1 113,47 msnm y la altura media de 374,45 m apuntan a un terreno abrupto. Un pendiente promedio del 25,77 % y un índice de pendiente de 14,198 indican un drenaje muy eficaz y un elevado potencial de escorrentía, lo que eleva la vulnerabilidad a la erosión y al traslado de sedimentos

Los parámetros relativos confirman estas tendencias: un coeficiente de Fournier de 0,909 denota alta agresividad erosiva de la lluvia y, por tanto, mayor vulnerabilidad a procesos torrenciales. La pendiente media del cauce, del 29,05 %, favorece velocidades de flujo elevadas, y un tiempo de concentración promedio de 12,38 minutos, evidencia una rápida respuesta de la microcuenca ante sucesos pluviométricos extremados, con riesgo elevado de avenidas súbitas.

Comparativamente, las bases con tiempos de concentración inferiores a 15 min suelen asociarse a inundaciones repentinas y generación rápida de caudales, subrayando la necesidad de estructuras para mitigar el desbordamiento del flujo y prácticas de conservación de suelos. Pendientes superiores al 20 % suelen relacionarse con mayor probabilidad de erosión y deslizamientos, lo cual demanda estrategias de manejo sostenible de taludes y cobertura vegetal.

#### 4.1.6. Rugosidad de Manning

##### a. Rugosidad del cauce principal

**Tabla 14.**

*Rugosidad del cauce principal de la Zanora.*

Condición del Cauce		Manning	
Material Considerado	Roca Cortada	$n_0$	0.025
Grado de Irregularidad	Moderado	$n_1$	0.010
Variación Transversal del Cauce	Gradual	$n_2$	0.000
Efecto Relativo de Obstrucciones	Despreciable	$n_3$	0.000
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005
<u>Cantidad de Meandros</u>	Menor	$n_5$	1.000
$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$		<b>n</b>	<b>0.040</b>

**Figura 17.**

*Rugosidad en la llanura de la Zanora.*

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
<b>A Cauces naturales</b>			
<b>A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida &lt; 30 m)</b>			
<b>A.1.1 Cursos en planicies</b>			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	<b>0,035</b>	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

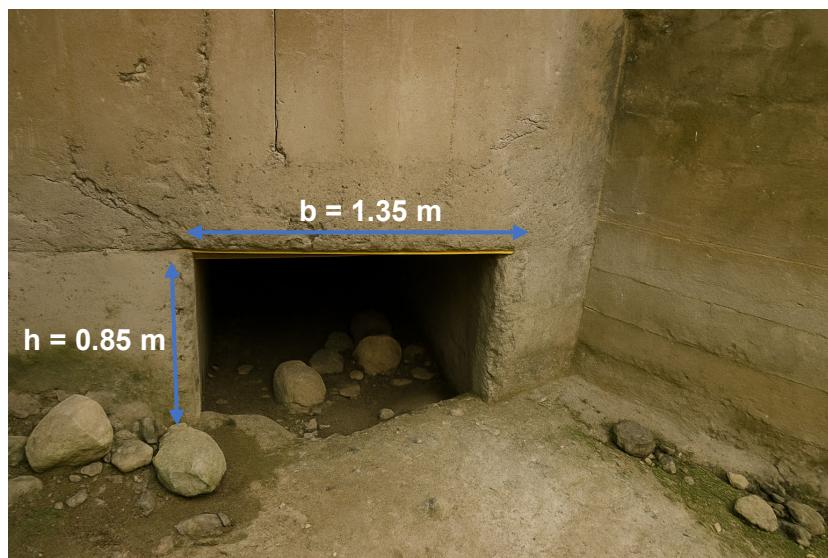
Según la descripción de la Zanora, la rugosidad del cauce es  $n = 0.035$ .

#### 4.1.7. Cálculo del flujo uniforme a través de la alcantarilla

##### a. Dimensiones de la alcantarilla

**Figura 18.**

*Dimensiones de la alcantarilla agua arriba.*



##### b. Área de la alcantarilla

El área de la alcantarilla está definida por la multiplicación de las dimensiones 1.35 m por 0.85 m, resultándonos un valor de 1.15 m<sup>2</sup>.

##### c. Radio hidráulico de la alcantarilla

El cálculo del radio hidráulico se empleó a través de las dimensiones de la alcantarilla, y calculada mediante la ecuación:

$$R = \frac{b * h}{b + 2h} \quad (31)$$

Obteniendo como resultante el valor de R igual a 0.38 m

##### d. Pendiente de la alcantarilla

Se determinó una pendiente de 0.035 m/m.

### e. Coeficiente de rugosidad de la alcantarilla

Se determinó según la tabla 15, el valor de 0.017

**Tabla 15.**

*Rugosidad de Manning de la alcantarilla.*

c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	<b>0.013</b>	0.015
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
<b>4. Sin pulir</b>	<b>0.014</b>	<b>0.017</b>	<b>0.020</b>
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	

**Nota:** Tomado de Chow, 1994.

### f. Cálculo del flujo

Según la ecuación 28, se determinó el caudal máximo que puede conducir la alcantarilla un valor de 6.61 m<sup>3</sup>/seg.

#### 4.1.8. Evaluación Hidrológica de Precipitaciones Extremas

Con el fin de analizar los eventos extremos de precipitación en la microcuenca, se utilizaron los registros de lluvias máximas en 24 horas provenientes de la estación meteorológica de Jaén, gestionada por SENAMHI. El procesamiento estadístico de estos datos considera el periodo comprendido entre 1993 y 2025:

**Tabla 16.***Precipitaciones máximas en 24 horas – Estación jaén.*

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. ESTACIÓN JAÉN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
TESIS :	DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	Presentado por:								BACH. RUFASTO CARRILLO JHON JARLI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
ESTACION: JAEN MET CP				LAT.: 5° 40' 35.89"								DEP.: CAJAMARCA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
CATEGORIA: "CP"				LONG.: 78° 46'26.96"								PROV.: JAEN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
PARAMETRO: :PRECIP. MAX. EN 24 HORAS (mm)				ALT.: 618 msnm								DIST.: JAEN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>AÑOS</th><th>ENE.</th><th>FEB.</th><th>MAR.</th><th>ABR.</th><th>MAY.</th><th>JUN.</th><th>JUL.</th><th>AGO.</th><th>SET.</th><th>OCT.</th><th>NOV.</th><th>DIC.</th><th>TOTAL</th><th>P. MAX.</th><th>PROM.</th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1993</td><td>7.87</td><td>62.56</td><td>45.19</td><td>11.78</td><td>18.82</td><td>7.73</td><td>4.67</td><td>36.10</td><td>72.94</td><td>24.81</td><td>38.85</td><td>30.44</td><td>361.76</td><td>72.94</td><td>30.15</td><td></td></tr> <tr><td>1994</td><td>14.70</td><td>58.46</td><td>35.44</td><td>57.94</td><td>13.87</td><td>12.24</td><td>6.56</td><td>4.75</td><td>48.20</td><td>7.54</td><td>17.39</td><td>14.06</td><td>291.15</td><td>58.46</td><td>24.26</td><td></td></tr> <tr><td>1995</td><td>4.94</td><td>25.51</td><td>23.81</td><td>22.74</td><td>10.18</td><td>4.60</td><td>10.26</td><td>56.98</td><td>7.81</td><td>9.52</td><td>41.22</td><td>36.00</td><td>253.57</td><td>56.98</td><td>21.13</td><td></td></tr> <tr><td>1996</td><td>7.90</td><td>25.70</td><td>18.00</td><td>11.20</td><td>16.50</td><td>14.70</td><td>0.50</td><td>6.70</td><td>13.70</td><td>19.80</td><td>18.40</td><td>38.00</td><td>191.10</td><td>38.00</td><td>15.93</td><td></td></tr> <tr><td>1997</td><td>11.00</td><td>16.70</td><td>14.40</td><td>30.00</td><td>9.66</td><td>4.24</td><td>7.41</td><td>11.97</td><td>13.34</td><td>23.74</td><td>31.61</td><td>33.94</td><td>208.01</td><td>33.94</td><td>17.33</td><td></td></tr> <tr><td>1998</td><td>26.59</td><td>76.25</td><td>41.16</td><td>37.27</td><td>31.44</td><td>18.50</td><td>3.10</td><td>21.82</td><td>23.25</td><td>29.68</td><td>35.65</td><td>15.39</td><td>360.10</td><td>76.25</td><td>30.01</td><td></td></tr> <tr><td>1999</td><td>24.97</td><td>73.60</td><td>17.34</td><td>16.95</td><td>20.36</td><td>17.86</td><td>5.91</td><td>6.16</td><td>27.57</td><td>24.92</td><td>23.13</td><td>44.23</td><td>303.00</td><td>73.60</td><td>25.25</td><td></td></tr> <tr><td>2000</td><td>7.10</td><td>70.45</td><td>49.15</td><td>39.80</td><td>67.99</td><td>18.06</td><td>8.18</td><td>75.14</td><td>40.81</td><td>3.61</td><td>10.89</td><td>18.02</td><td>409.20</td><td>75.14</td><td>34.10</td><td></td></tr> <tr><td>2001</td><td>33.88</td><td>32.71</td><td>26.26</td><td>22.64</td><td>14.83</td><td>3.29</td><td>7.08</td><td>77.94</td><td>61.48</td><td>10.96</td><td>75.31</td><td>17.95</td><td>384.33</td><td>77.94</td><td>32.03</td><td></td></tr> <tr><td>2002</td><td>7.26</td><td>31.63</td><td>38.37</td><td>18.24</td><td>27.04</td><td>4.05</td><td>12.70</td><td>1.26</td><td>8.14</td><td>25.28</td><td>34.01</td><td>29.71</td><td>237.69</td><td>38.37</td><td>19.81</td><td></td></tr> <tr><td>2003</td><td>6.93</td><td>54.34</td><td>15.18</td><td>15.46</td><td>17.14</td><td>28.03</td><td>8.93</td><td>2.30</td><td>11.12</td><td>15.67</td><td>37.01</td><td>17.92</td><td>230.03</td><td>54.34</td><td>19.17</td><td></td></tr> <tr><td>2004</td><td>7.50</td><td>6.80</td><td>17.70</td><td>30.60</td><td>38.10</td><td>18.00</td><td>2.40</td><td>7.20</td><td>17.00</td><td>19.40</td><td>18.20</td><td>12.00</td><td>194.90</td><td>38.10</td><td>16.24</td><td></td></tr> <tr><td>2005</td><td>6.50</td><td>42.00</td><td>36.20</td><td>31.00</td><td>10.20</td><td>18.30</td><td>1.90</td><td>14.50</td><td>18.70</td><td>27.90</td><td>78.50</td><td>31.50</td><td>317.20</td><td>78.50</td><td>26.43</td><td></td></tr> <tr><td>2006</td><td>18.50</td><td>38.70</td><td>23.00</td><td>9.40</td><td>13.50</td><td>26.50</td><td>1.30</td><td>8.50</td><td>5.60</td><td>11.70</td><td>15.50</td><td>16.00</td><td>188.20</td><td>38.70</td><td>15.68</td><td></td></tr> <tr><td>2007</td><td>7.60</td><td>27.00</td><td>32.50</td><td>29.00</td><td>29.30</td><td>13.00</td><td>27.20</td><td>7.50</td><td>7.20</td><td>45.90</td><td>38.90</td><td>22.60</td><td>287.70</td><td>45.90</td><td>23.98</td><td></td></tr> <tr><td>2008</td><td>17.00</td><td>37.20</td><td>63.70</td><td>10.20</td><td>15.80</td><td>26.90</td><td>17.40</td><td>3.40</td><td>9.93</td><td>24.57</td><td>77.48</td><td>9.96</td><td>313.54</td><td>77.48</td><td>26.13</td><td></td></tr> <tr><td>2009</td><td>21.47</td><td>54.12</td><td>29.48</td><td>13.67</td><td>22.19</td><td>8.30</td><td>8.30</td><td>14.64</td><td>14.52</td><td>20.23</td><td>59.48</td><td>23.59</td><td>289.99</td><td>59.48</td><td>24.17</td><td></td></tr> <tr><td>2010</td><td>16.60</td><td>32.80</td><td>5.50</td><td>41.50</td><td>12.50</td><td>13.30</td><td>4.00</td><td>22.90</td><td>10.70</td><td>24.00</td><td>12.10</td><td>30.00</td><td>225.90</td><td>41.50</td><td>18.83</td><td></td></tr> <tr><td>2011</td><td>25.50</td><td>39.50</td><td>48.90</td><td>39.80</td><td>70.60</td><td>4.50</td><td>21.80</td><td>5.80</td><td>2.50</td><td>30.80</td><td>23.50</td><td>38.70</td><td>351.90</td><td>70.60</td><td>29.33</td><td></td></tr> <tr><td>2012</td><td>23.80</td><td>32.60</td><td>22.50</td><td>27.50</td><td>7.80</td><td>17.00</td><td>6.40</td><td>6.80</td><td>5.20</td><td>26.00</td><td>23.20</td><td>12.20</td><td>211.00</td><td>32.60</td><td>17.58</td><td></td></tr> <tr><td>2013</td><td>9.40</td><td>47.00</td><td>10.30</td><td>18.80</td><td>12.90</td><td>9.00</td><td>6.40</td><td>7.40</td><td>14.00</td><td>56.90</td><td>0.70</td><td>18.60</td><td>211.40</td><td>56.90</td><td>17.62</td><td></td></tr> <tr><td>2014</td><td>14.60</td><td>20.00</td><td>38.60</td><td>50.30</td><td>47.80</td><td>8.00</td><td>10.00</td><td>11.90</td><td>6.50</td><td>9.70</td><td>30.80</td><td>20.50</td><td>268.70</td><td>50.30</td><td>22.39</td><td></td></tr> <tr><td>2015</td><td>49.50</td><td>16.60</td><td>73.00</td><td>15.60</td><td>21.60</td><td>4.00</td><td>51.00</td><td>7.00</td><td>6.00</td><td>13.60</td><td>15.00</td><td>20.60</td><td>293.50</td><td>73.00</td><td>24.46</td><td></td></tr> <tr><td>2016</td><td>25.60</td><td>23.40</td><td>2.20</td><td>28.60</td><td>12.50</td><td>9.20</td><td>15.40</td><td>13.20</td><td>11.60</td><td>17.40</td><td>23.00</td><td>27.40</td><td>209.50</td><td>28.60</td><td>17.46</td><td></td></tr> <tr><td>2017</td><td>19.20</td><td>11.20</td><td>37.80</td><td>26.80</td><td>22.50</td><td>12.80</td><td>9.40</td><td>21.70</td><td>3.40</td><td>17.40</td><td>15.00</td><td>39.60</td><td>236.80</td><td>39.60</td><td>19.73</td><td></td></tr> <tr><td>2018</td><td>15.70</td><td>63.80</td><td>10.00</td><td>27.80</td><td>23.60</td><td>6.80</td><td>16.30</td><td>7.40</td><td>11.40</td><td>21.20</td><td>54.40</td><td>15.60</td><td>274.00</td><td>63.80</td><td>22.83</td><td></td></tr> <tr><td>2019</td><td>10.20</td><td>44.00</td><td>22.40</td><td>17.40</td><td>19.40</td><td>6.00</td><td>41.20</td><td>3.50</td><td>10.60</td><td>8.40</td><td>7.00</td><td>25.30</td><td>215.40</td><td>44.00</td><td>17.95</td><td></td></tr> <tr><td>2020</td><td>25.50</td><td>19.40</td><td>18.00</td><td>12.00</td><td>15.20</td><td>6.00</td><td>12.40</td><td>5.60</td><td>5.60</td><td>2.50</td><td>44.80</td><td>52.40</td><td>219.40</td><td>52.40</td><td>18.28</td><td></td></tr> <tr><td>2021</td><td>16.80</td><td>9.70</td><td>60.60</td><td>15.60</td><td>27.20</td><td>19.00</td><td>17.10</td><td>10.20</td><td>24.00</td><td>26.00</td><td>30.50</td><td>19.00</td><td>275.70</td><td>60.60</td><td>22.98</td><td></td></tr> <tr><td>2022</td><td>20.60</td><td>25.40</td><td>47.40</td><td>11.00</td><td>32.60</td><td>18.20</td><td>9.00</td><td>5.30</td><td>37.20</td><td>25.20</td><td>23.50</td><td>27.00</td><td>282.40</td><td>47.40</td><td>23.53</td><td></td></tr> <tr><td>2023</td><td>13.40</td><td>14.50</td><td>49.20</td><td>38.00</td><td>20.40</td><td>8.20</td><td>5.60</td><td>17.50</td><td>12.40</td><td>37.00</td><td>10.50</td><td>22.40</td><td>249.10</td><td>49.20</td><td>20.76</td><td></td></tr> <tr><td>2024</td><td>12.00</td><td>42.50</td><td>18.60</td><td>30.50</td><td>6.40</td><td>9.60</td><td>4.20</td><td>0.00</td><td>3.80</td><td>14.70</td><td>7.50</td><td>5.50</td><td>155.30</td><td>42.50</td><td>12.94</td><td></td></tr> <tr><td>2025</td><td>22.00</td><td>55.00</td><td>29.40</td><td>36.40</td><td>13.40</td><td>24.00</td><td>S/D</td><td>S/D</td><td>S/D</td><td>S/D</td><td>S/D</td><td>S/D</td><td>180.20</td><td>55.00</td><td>30.03</td><td></td></tr> <tr> <td><b>SUMA</b></td><td><b>552.11</b></td><td><b>1231.13</b></td><td><b>1021.28</b></td><td><b>845.49</b></td><td><b>743.32</b></td><td><b>419.90</b></td><td><b>364.00</b></td><td><b>503.06</b></td><td><b>566.21</b></td><td><b>676.03</b></td><td><b>973.03</b></td><td><b>786.11</b></td><td><b>7538.97</b></td><td><b>1547.42</b></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td><b>PROM.</b></td><td><b>16.73</b></td><td><b>37.31</b></td><td><b>30.95</b></td><td><b>25.62</b></td><td><b>22.52</b></td><td><b>12.72</b></td><td><b>11.38</b></td><td><b>15.72</b></td><td><b>17.69</b></td><td><b>21.13</b></td><td><b>30.41</b></td><td><b>24.57</b></td><td><b>269.25</b></td><td><b>55.27</b></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	P. MAX.	PROM.		1993	7.87	62.56	45.19	11.78	18.82	7.73	4.67	36.10	72.94	24.81	38.85	30.44	361.76	72.94	30.15		1994	14.70	58.46	35.44	57.94	13.87	12.24	6.56	4.75	48.20	7.54	17.39	14.06	291.15	58.46	24.26		1995	4.94	25.51	23.81	22.74	10.18	4.60	10.26	56.98	7.81	9.52	41.22	36.00	253.57	56.98	21.13		1996	7.90	25.70	18.00	11.20	16.50	14.70	0.50	6.70	13.70	19.80	18.40	38.00	191.10	38.00	15.93		1997	11.00	16.70	14.40	30.00	9.66	4.24	7.41	11.97	13.34	23.74	31.61	33.94	208.01	33.94	17.33		1998	26.59	76.25	41.16	37.27	31.44	18.50	3.10	21.82	23.25	29.68	35.65	15.39	360.10	76.25	30.01		1999	24.97	73.60	17.34	16.95	20.36	17.86	5.91	6.16	27.57	24.92	23.13	44.23	303.00	73.60	25.25		2000	7.10	70.45	49.15	39.80	67.99	18.06	8.18	75.14	40.81	3.61	10.89	18.02	409.20	75.14	34.10		2001	33.88	32.71	26.26	22.64	14.83	3.29	7.08	77.94	61.48	10.96	75.31	17.95	384.33	77.94	32.03		2002	7.26	31.63	38.37	18.24	27.04	4.05	12.70	1.26	8.14	25.28	34.01	29.71	237.69	38.37	19.81		2003	6.93	54.34	15.18	15.46	17.14	28.03	8.93	2.30	11.12	15.67	37.01	17.92	230.03	54.34	19.17		2004	7.50	6.80	17.70	30.60	38.10	18.00	2.40	7.20	17.00	19.40	18.20	12.00	194.90	38.10	16.24		2005	6.50	42.00	36.20	31.00	10.20	18.30	1.90	14.50	18.70	27.90	78.50	31.50	317.20	78.50	26.43		2006	18.50	38.70	23.00	9.40	13.50	26.50	1.30	8.50	5.60	11.70	15.50	16.00	188.20	38.70	15.68		2007	7.60	27.00	32.50	29.00	29.30	13.00	27.20	7.50	7.20	45.90	38.90	22.60	287.70	45.90	23.98		2008	17.00	37.20	63.70	10.20	15.80	26.90	17.40	3.40	9.93	24.57	77.48	9.96	313.54	77.48	26.13		2009	21.47	54.12	29.48	13.67	22.19	8.30	8.30	14.64	14.52	20.23	59.48	23.59	289.99	59.48	24.17		2010	16.60	32.80	5.50	41.50	12.50	13.30	4.00	22.90	10.70	24.00	12.10	30.00	225.90	41.50	18.83		2011	25.50	39.50	48.90	39.80	70.60	4.50	21.80	5.80	2.50	30.80	23.50	38.70	351.90	70.60	29.33		2012	23.80	32.60	22.50	27.50	7.80	17.00	6.40	6.80	5.20	26.00	23.20	12.20	211.00	32.60	17.58		2013	9.40	47.00	10.30	18.80	12.90	9.00	6.40	7.40	14.00	56.90	0.70	18.60	211.40	56.90	17.62		2014	14.60	20.00	38.60	50.30	47.80	8.00	10.00	11.90	6.50	9.70	30.80	20.50	268.70	50.30	22.39		2015	49.50	16.60	73.00	15.60	21.60	4.00	51.00	7.00	6.00	13.60	15.00	20.60	293.50	73.00	24.46		2016	25.60	23.40	2.20	28.60	12.50	9.20	15.40	13.20	11.60	17.40	23.00	27.40	209.50	28.60	17.46		2017	19.20	11.20	37.80	26.80	22.50	12.80	9.40	21.70	3.40	17.40	15.00	39.60	236.80	39.60	19.73		2018	15.70	63.80	10.00	27.80	23.60	6.80	16.30	7.40	11.40	21.20	54.40	15.60	274.00	63.80	22.83		2019	10.20	44.00	22.40	17.40	19.40	6.00	41.20	3.50	10.60	8.40	7.00	25.30	215.40	44.00	17.95		2020	25.50	19.40	18.00	12.00	15.20	6.00	12.40	5.60	5.60	2.50	44.80	52.40	219.40	52.40	18.28		2021	16.80	9.70	60.60	15.60	27.20	19.00	17.10	10.20	24.00	26.00	30.50	19.00	275.70	60.60	22.98		2022	20.60	25.40	47.40	11.00	32.60	18.20	9.00	5.30	37.20	25.20	23.50	27.00	282.40	47.40	23.53		2023	13.40	14.50	49.20	38.00	20.40	8.20	5.60	17.50	12.40	37.00	10.50	22.40	249.10	49.20	20.76		2024	12.00	42.50	18.60	30.50	6.40	9.60	4.20	0.00	3.80	14.70	7.50	5.50	155.30	42.50	12.94		2025	22.00	55.00	29.40	36.40	13.40	24.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	180.20	55.00	30.03		<b>SUMA</b>	<b>552.11</b>	<b>1231.13</b>	<b>1021.28</b>	<b>845.49</b>	<b>743.32</b>	<b>419.90</b>	<b>364.00</b>	<b>503.06</b>	<b>566.21</b>	<b>676.03</b>	<b>973.03</b>	<b>786.11</b>	<b>7538.97</b>	<b>1547.42</b>			<b>PROM.</b>	<b>16.73</b>	<b>37.31</b>	<b>30.95</b>	<b>25.62</b>	<b>22.52</b>	<b>12.72</b>	<b>11.38</b>	<b>15.72</b>	<b>17.69</b>	<b>21.13</b>	<b>30.41</b>	<b>24.57</b>	<b>269.25</b>	<b>55.27</b>		
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	P. MAX.	PROM.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1993	7.87	62.56	45.19	11.78	18.82	7.73	4.67	36.10	72.94	24.81	38.85	30.44	361.76	72.94	30.15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1994	14.70	58.46	35.44	57.94	13.87	12.24	6.56	4.75	48.20	7.54	17.39	14.06	291.15	58.46	24.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1995	4.94	25.51	23.81	22.74	10.18	4.60	10.26	56.98	7.81	9.52	41.22	36.00	253.57	56.98	21.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1996	7.90	25.70	18.00	11.20	16.50	14.70	0.50	6.70	13.70	19.80	18.40	38.00	191.10	38.00	15.93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1997	11.00	16.70	14.40	30.00	9.66	4.24	7.41	11.97	13.34	23.74	31.61	33.94	208.01	33.94	17.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1998	26.59	76.25	41.16	37.27	31.44	18.50	3.10	21.82	23.25	29.68	35.65	15.39	360.10	76.25	30.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1999	24.97	73.60	17.34	16.95	20.36	17.86	5.91	6.16	27.57	24.92	23.13	44.23	303.00	73.60	25.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2000	7.10	70.45	49.15	39.80	67.99	18.06	8.18	75.14	40.81	3.61	10.89	18.02	409.20	75.14	34.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2001	33.88	32.71	26.26	22.64	14.83	3.29	7.08	77.94	61.48	10.96	75.31	17.95	384.33	77.94	32.03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2002	7.26	31.63	38.37	18.24	27.04	4.05	12.70	1.26	8.14	25.28	34.01	29.71	237.69	38.37	19.81																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2003	6.93	54.34	15.18	15.46	17.14	28.03	8.93	2.30	11.12	15.67	37.01	17.92	230.03	54.34	19.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2004	7.50	6.80	17.70	30.60	38.10	18.00	2.40	7.20	17.00	19.40	18.20	12.00	194.90	38.10	16.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2005	6.50	42.00	36.20	31.00	10.20	18.30	1.90	14.50	18.70	27.90	78.50	31.50	317.20	78.50	26.43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2006	18.50	38.70	23.00	9.40	13.50	26.50	1.30	8.50	5.60	11.70	15.50	16.00	188.20	38.70	15.68																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2007	7.60	27.00	32.50	29.00	29.30	13.00	27.20	7.50	7.20	45.90	38.90	22.60	287.70	45.90	23.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2008	17.00	37.20	63.70	10.20	15.80	26.90	17.40	3.40	9.93	24.57	77.48	9.96	313.54	77.48	26.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2009	21.47	54.12	29.48	13.67	22.19	8.30	8.30	14.64	14.52	20.23	59.48	23.59	289.99	59.48	24.17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2010	16.60	32.80	5.50	41.50	12.50	13.30	4.00	22.90	10.70	24.00	12.10	30.00	225.90	41.50	18.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2011	25.50	39.50	48.90	39.80	70.60	4.50	21.80	5.80	2.50	30.80	23.50	38.70	351.90	70.60	29.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2012	23.80	32.60	22.50	27.50	7.80	17.00	6.40	6.80	5.20	26.00	23.20	12.20	211.00	32.60	17.58																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2013	9.40	47.00	10.30	18.80	12.90	9.00	6.40	7.40	14.00	56.90	0.70	18.60	211.40	56.90	17.62																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2014	14.60	20.00	38.60	50.30	47.80	8.00	10.00	11.90	6.50	9.70	30.80	20.50	268.70	50.30	22.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2015	49.50	16.60	73.00	15.60	21.60	4.00	51.00	7.00	6.00	13.60	15.00	20.60	293.50	73.00	24.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2016	25.60	23.40	2.20	28.60	12.50	9.20	15.40	13.20	11.60	17.40	23.00	27.40	209.50	28.60	17.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2017	19.20	11.20	37.80	26.80	22.50	12.80	9.40	21.70	3.40	17.40	15.00	39.60	236.80	39.60	19.73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2018	15.70	63.80	10.00	27.80	23.60	6.80	16.30	7.40	11.40	21.20	54.40	15.60	274.00	63.80	22.83																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2019	10.20	44.00	22.40	17.40	19.40	6.00	41.20	3.50	10.60	8.40	7.00	25.30	215.40	44.00	17.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2020	25.50	19.40	18.00	12.00	15.20	6.00	12.40	5.60	5.60	2.50	44.80	52.40	219.40	52.40	18.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2021	16.80	9.70	60.60	15.60	27.20	19.00	17.10	10.20	24.00	26.00	30.50	19.00	275.70	60.60	22.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2022	20.60	25.40	47.40	11.00	32.60	18.20	9.00	5.30	37.20	25.20	23.50	27.00	282.40	47.40	23.53																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2023	13.40	14.50	49.20	38.00	20.40	8.20	5.60	17.50	12.40	37.00	10.50	22.40	249.10	49.20	20.76																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2024	12.00	42.50	18.60	30.50	6.40	9.60	4.20	0.00	3.80	14.70	7.50	5.50	155.30	42.50	12.94																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2025	22.00	55.00	29.40	36.40	13.40	24.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	180.20	55.00	30.03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<b>SUMA</b>	<b>552.11</b>	<b>1231.13</b>	<b>1021.28</b>	<b>845.49</b>	<b>743.32</b>	<b>419.90</b>	<b>364.00</b>	<b>503.06</b>	<b>566.21</b>	<b>676.03</b>	<b>973.03</b>	<b>786.11</b>	<b>7538.97</b>	<b>1547.42</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>PROM.</b>	<b>16.73</b>	<b>37.31</b>	<b>30.95</b>	<b>25.62</b>	<b>22.52</b>	<b>12.72</b>	<b>11.38</b>	<b>15.72</b>	<b>17.69</b>	<b>21.13</b>	<b>30.41</b>	<b>24.57</b>	<b>269.25</b>	<b>55.27</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

**Nota:** Tomado de la OGEI– SENAMHI

**Tabla 17.***Eventos pluviométricos intensos.*

<b>Precipitaciones máximas</b>	
<b>Año</b>	<b>Pmax(mm)</b>
1993	72.94
1994	58.46
1995	56.98
1996	38.00
1997	33.94
1998	76.25
1999	73.60
2000	75.14
2001	77.94
2002	38.37
2003	54.34
2004	38.10
2005	78.50
2006	38.70
2007	45.90
2008	77.48
2009	59.48
2010	41.50
2011	70.60
2012	32.60
2013	56.90
2014	50.30
2015	73.00
2016	28.60
2017	39.60
2018	63.80
2019	44.00
2020	52.40
2021	60.60
2022	47.40
2023	49.20
2024	42.50
2025	55.00

Las precipitaciones máximas anuales son de suma importancia para realizar la evaluación estadístico probabilística y ver a que presenta menos error y mejor se ajusta.

#### 4.1.9. Evaluación Estadístico - Probabilística

Con el objetivo de describir la distribución de los eventos extremos de precipitación, se aplicaron distintos modelos teóricos, incluyendo Normal, Logarítmico Normal (de 2 y 3 parámetros), Gamma (de 2 y 3 parámetros), Pearson Tipo III, Gumbel y Log-Gumbel. Cada modelo fue ajustado utilizando criterios de bondad de ajuste —principalmente el estadístico delta— y evaluado para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

Mediante el uso del software Hidroesta 2, se determinó que la distribución Log-Normal de dos parámetros presentó el menor error relativo, siendo la más adecuada para representar las precipitaciones de diseño en un periodo de 24 horas. Tanto el procesamiento de los datos como la estimación de los caudales de diseño se realizaron utilizando hojas de cálculo en Excel y el software Hidroesta, cuyos resultados se presentan en las tablas siguientes.

**Tabla 18.**

*Análisis probabilístico con los modelos de distribución.*

<b>ANÁLISIS PROBABILISTICO CON LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN</b>		
<b>MODELO</b>	<b>DELTA TEORICO</b>	<b>DELTA CRÍTICO</b>
NORMAL	0.1200	0.2404
<b>LOG NORMAL 2 PARAMETROS</b>	<b>0.1115</b>	<b>0.2404</b>
LOG NORMAL 3 PARAMETROS	No se ajusta	0.2404
GAMMA 2 PARAMETROS	0.1179	0.2404
GAMMA 3 PARAMETROS	0.1181	0.2404
LOG PEARSON TIPO III	No se ajusta	0.2404
GUMBEL	0.1282	0.2404
LOG GUMBEL	0.1244	0.2404
<b>DELTA MENOR =</b>		<b>0.1115</b>

La distribución Log-Normal de dos parámetros se identificó como la más adecuada, dado que el análisis probabilístico arrojó el menor valor de delta, igual a 0.1115.

#### 4.1.10. Cálculo de intensidades máximas

Después de identificar que la distribución Log-Normal de dos parámetros ofrecía el mejor ajuste, se realizaron los cálculos de las precipitaciones máximas para cada periodo de retorno usando Hidroesta 2.

**Tabla 19.**

*Precipitaciones máximas calculadas en la estación Meteorológica.*

<b>PRECIPIT.MAX- DISTRIBUCION LOG NORM. 2 PARAMETROS</b>	
<b>T(años)</b>	<b>PMAX (mm/H)</b>
2	52.49
5	66.98
10	76.1
20	84.55
25	87.19
50	95.2
100	103.02
200	110.75
500	120.89

A partir de los registros de lluvias máximas correspondientes a cada periodo de retorno, se logró obtener intensidades para diferentes duraciones, las mismas que nos servirán para obtener los factores de ajuste aplicados en la ecuación de intensidad.

**Tabla 20.***Intensidades para precipitaciones con duraciones entre 1 hora y 48 horas.*

		NTENSIDADES (mm/hora)															
Tr	P(mm)	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	48
		60 min	120 min	180 min	240 min	300 min	360 min	480 min	600 min	720 min	840 min	960 min	1080 min	1200 min	1320 min	1440 min	2880 min
		0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.73	0.79	0.83	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.32
2	52.49	13.12	8.14	6.65	5.77	5.25	4.90	4.20	3.83	3.46	3.11	2.85	2.62	2.44	2.31	2.19	1.44
5	66.98	16.75	10.38	8.48	7.37	6.70	6.25	5.36	4.89	4.41	3.97	3.64	3.35	3.11	2.95	2.79	1.84
10	76.10	19.03	11.80	9.64	8.37	7.61	7.10	6.09	5.56	5.01	4.51	4.14	3.81	3.54	3.36	3.17	2.09
20	84.55	21.14	13.11	10.71	9.30	8.46	7.89	6.76	6.17	5.57	5.01	4.60	4.23	3.93	3.73	3.52	2.33
25	87.19	21.80	13.51	11.04	9.59	8.72	8.14	6.98	6.36	5.74	5.17	4.74	4.36	4.05	3.84	3.63	2.40
50	95.20	23.80	14.76	12.06	10.47	9.52	8.89	7.62	6.95	6.27	5.64	5.18	4.76	4.43	4.20	3.97	2.62
100	103.02	25.76	15.97	13.05	11.33	10.30	9.62	8.24	7.52	6.78	6.11	5.60	5.15	4.79	4.54	4.29	2.83
200	110.75	27.69	17.17	14.03	12.18	11.08	10.34	8.86	8.08	7.29	6.57	6.02	5.54	5.15	4.88	4.61	3.05
500	120.89	30.22	18.74	15.31	13.30	12.09	11.28	9.67	8.82	7.96	7.17	6.57	6.04	5.62	5.33	5.04	3.32

Con los valores obtenidos de las intensidades, se realizó las regresiones correspondientes para los diferentes intervalos de recurrencia, las cuales se muestran a continuación una tabla 21.

**Tabla 21.***Resumen de aplicación de regresión potencial.*

Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	118.90831031390	-0.54624907515
5	151.73325633121	-0.54624907515
10	172.39326376239	-0.54624907515
20	191.53548555992	-0.54624907515
25	197.51601402684	-0.54624907515
50	215.66148107989	-0.54624907515
100	233.37653131146	-0.54624907515
200	250.88769989072	-0.54624907515
500	273.85836604776	-0.54624907515
<b>Promedio =</b>	<b>200.65226759157</b>	<b>-0.54624907515</b>

Se lleva a cabo otra regresión de potencia entre las columnas del término constante de regresión (d) y el periodo de retorno (T), dependiendo del cambio de variable efectuado.

**Tabla 22.***Regresión potencial.*

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(ln x)^2
1	2	118.9083	0.6931	4.7784	3.3121	0.4805
2	5	151.7333	1.6094	5.0221	8.0828	2.5903
3	10	172.3933	2.3026	5.1498	11.8578	5.3019
4	20	191.5355	2.9957	5.2551	15.7428	8.9744
5	25	197.5160	3.2189	5.2858	17.0144	10.3612
6	50	215.6615	3.9120	5.3737	21.0221	15.3039
7	100	233.3765	4.6052	5.4527	25.1104	21.2076
8	200	250.8877	5.2983	5.5250	29.2732	28.0722
9	500	273.8584	6.2146	5.6126	34.8802	38.6214
9	912	1805.8704	30.8499	47.4551	166.2958	130.9133
<b>Ln (K) = 4.7783</b>		<b>K = 118.9008</b>		<b>m = 0.1443</b>		

Realiza la regresión potencial se obtuvieron los parámetros  $K = 118.9008$ ,  $m = 0.1442$  y el coeficiente de regresión  $n = -0.54624907515$

#### 4.1.11. Definición de la ecuación de la intensidad

Obtenidos los parámetros de regresión, se reemplazó en la ecuación de la intensidad, resultando la siguiente expresión:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} = \frac{118.90 \cdot T^{0.144264}}{t^{-0.54625}} \quad (32)$$

La intensidad pluviométrica observada en un periodo específico refleja cómo varía la magnitud de la lluvia a lo largo del evento. Generalmente, los mayores valores de intensidad se registran en lapsos breves, tales como 5, 10, 20, ... hasta 60 minutos, siendo característicos de eventos convectivos de corta duración y alta energía. Esta variabilidad temporal es primordial para la determinación de parámetros de diseño hidráulico y el análisis de riesgo de escorrentía superficial.

Empleando la ecuación (25), se calculó las intensidades para diferentes tiempos de persistencia y se graficó las curvas IDF.

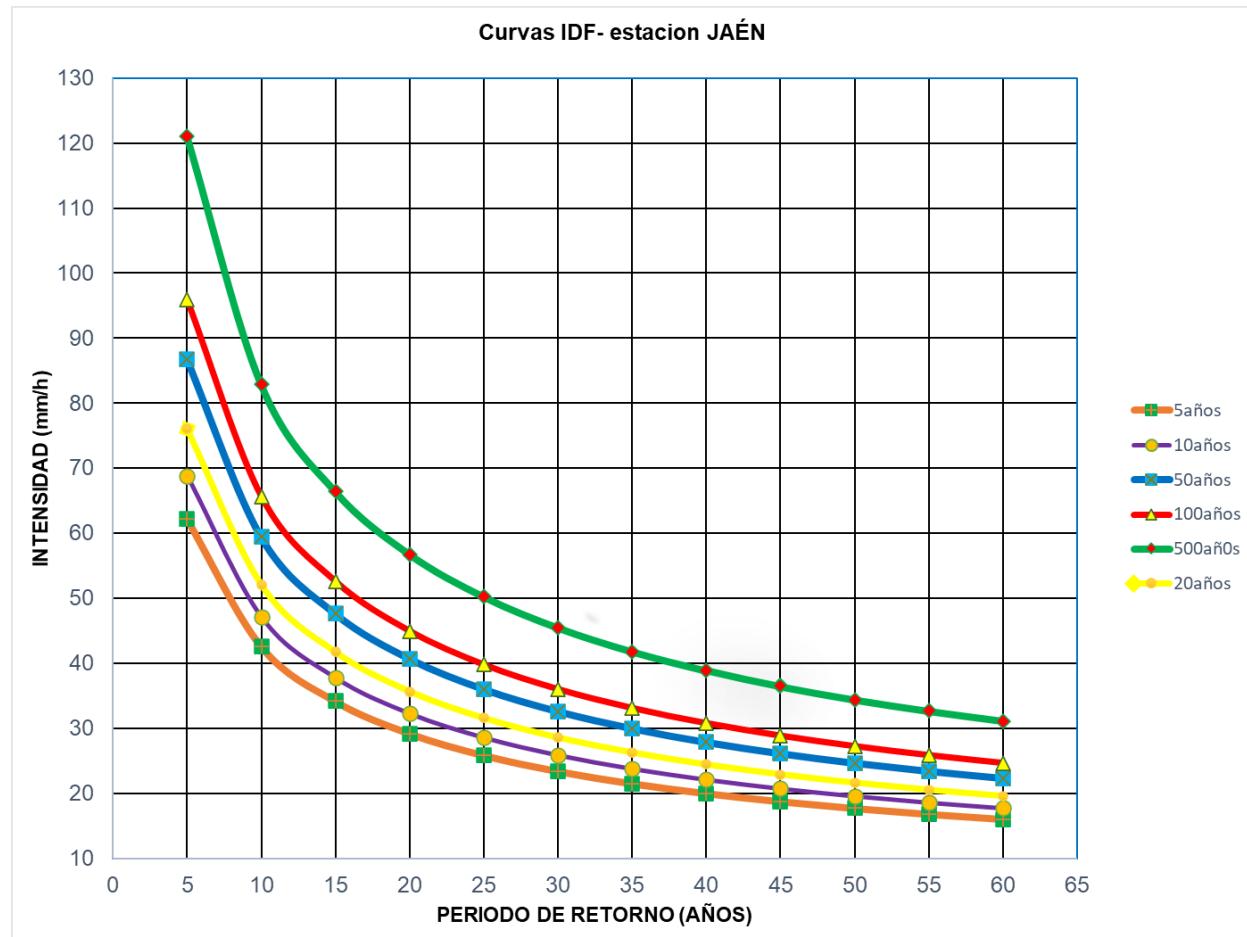
**Tabla 23.**

*Intensidades máximas para diferentes tiempos de duración.*

RETORNO	P.											
	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	62.26	42.64	34.17	29.20	25.85	23.40	21.51	19.99	18.75	17.70	16.80	16.02
10	68.81	47.12	37.76	32.27	28.56	25.86	23.77	22.10	20.72	19.56	18.57	17.71
20	76.04	52.07	41.73	35.66	31.57	28.58	26.27	24.42	22.90	21.62	20.52	19.57
50	86.79	59.43	47.63	40.70	36.03	32.61	29.98	27.87	26.13	24.67	23.42	22.33
100	95.92	65.68	52.63	44.98	39.82	36.04	33.13	30.80	28.88	27.27	25.88	24.68
500	120.99	82.85	66.39	56.74	50.23	45.46	41.79	38.85	36.43	34.39	32.65	31.13

**Figura 19.**

*Curvas IDF para intensidades máximas.*



#### 4.1.12. Coeficiente de escorrentía

Para determinar el Coeficiente de Escorrentía (C), se realiza el análisis de la siguiente tabla del manual de hidrología, la cual nos muestra parámetros según las peculiaridades de nuestra microcuenca.

**Tabla 24.***Coeficientes de escorrentía.*

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos vegetación	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

La cuenca que se está examinando es una región con cultivos, pastos, hierba, vegetación ligera y grama; el coeficiente de escorrentía promedio de esta área se conoce como coeficiente de escorrentía es 0.53.

#### 4.1.13. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración, también denominado tiempo de equilibrio, representa el intervalo que tarda la partícula de agua ubicada en el punto más lejano de la cuenca en alcanzar el punto de salida, con un valor promedio de  $T_c = 12.38$  minutos.

#### 4.1.14. Intensidad

Se calcula la intensidad para los diferentes períodos de recurrencia con el tiempo de concentración  $T_c = 13.38\text{min}$  y empleando la ecuación (25) de la intensidad.

**Tabla 25.***Intensidades de diseño.*

Periodo de Retorno	Intensidad (mm/h)
"T años"	"I"
2	33.25
5	37.94
6	38.96
7	39.83
8	40.61
9	41.30
10	41.94
<b>11.44</b>	<b>42.76</b>
20	46.35
25	47.86
50	52.89
100	58.46
200	64.61
500	73.74

#### 4.1.15. Estimación del Caudal de Diseño

Con el fin de determinar el caudal máximo asociado a precipitaciones fuertes, se utilizó el Método Racional a través de la ecuación (29), calculándose los caudales para varios períodos de retorno

**Tabla 26.***Caudales de diseño.*

Periodo de Retorno	Coefi. Escorrentía	Intensidad (mm/h)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
"T años"	"C"	"I"	"Q"
2	0.53	33.25	6.04
5	0.53	37.94	6.89
10	0.53	41.94	7.62
<b>11.44</b>	<b>0.53</b>	<b>42.95</b>	<b>7.77</b>
20	0.53	46.35	8.42
25	0.53	47.86	8.69
50	0.53	52.89	9.61
100	0.53	58.46	10.62
200	0.53	64.61	11.73
500	0.53	73.74	13.39

#### 4.1.16. Modelamiento Hidráulico

El propósito central del análisis hidráulico del cauce radica en la delimitación de áreas propensas a inundación, mediante la generación de mapas de amenaza hidrológica construidos a partir de simulaciones correspondientes a caudales picos asociados a diversos períodos de recurrencia.

El modelo se ejecutó utilizando HEC-RAS, un software del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU., especializado en el estudio del flujo unidimensional y bidimensional en cauces naturales y artificiales.

La configuración del modelo hidráulico se sustenta en la incorporación de información geométrica detallada, tanto en el perfil longitudinal como en las secciones transversales del cauce. Además, se consideraron los parámetros de rugosidad hidráulica representados mediante el coeficiente de Manning ( $n$ ), diferenciados según el tipo de material y cobertura el área de interés.

La asignación de los valores de rugosidad se realizó siguiendo la metodología propuesta por Ven Te Chow en su obra Hidráulica de Canales Abiertos, que integra criterios geotécnicos, morfológicos e hidráulicos para caracterizar con precisión la resistencia al flujo en lechos y márgenes fluviales.

Este análisis crítico examina los resultados obtenidos en la simulación hidrológica y el modelamiento computacional realizado con el software HEC-RAS, teniendo en cuenta los testimonios de los pobladores y las evidencias registradas en el área de interés la cual se muestra en la imagen a continuación, donde se evidencia una sección crítica en la progr. 0+000, que se puede evidenciar un tirante de 4.30m medido en campo y es ahí donde se desea realizar el análisis mediante modelamientos hidráulicos para determinar qué caudal y en qué tiempo de retorno generó ese tirante de agua. Dichos valores obtenidos se interpretarán en función de su relevancia técnica, se compararon con datos normativos e históricos y se evaluará la sensibilidad del modelo ante variaciones de los parámetros hidrológicos.

**Figura 20.**

Sección en la Prog. 0+000 con tirante crítico.



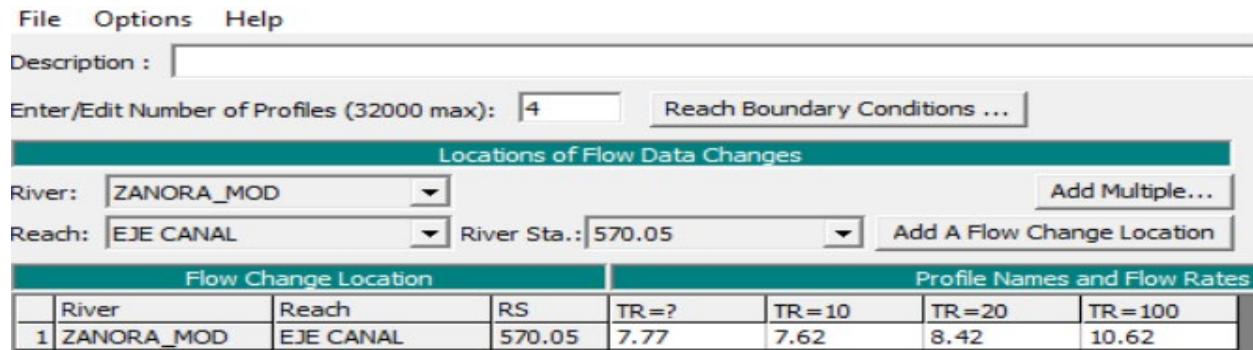
Los datos generales empleados para realizar el modelamiento hidráulico para diferentes períodos de retorno son:

- Topografía del área de estudio : Alineamiento + Secciones
- Coeficiente de Manning "n" utilizado :  $n_1 = 0.035$  y  $n_2 = 0.040$
- Pendiente : Pendiente crítica del software
- Caudal "Q" : Segundo el periodo de Retorno

Una vez cargada la información del relieve en el software HEC-RAS, se añadieron los caudales asociados a los distintos intervalos de retorno.

**Figura 21.**

*Ingreso de caudales al software HEC-RAS.*



Se registró el coeficiente de Manning de  $n_1 = 0.035$  y  $n_2 = 0.040$  debido a las características de la Zanora por ser de superficie de tierra con pastos, cultivos, grama, algunas rocas, vegetación ligera y hierba.

**Figura 22.**

*Registro de coeficientes de Manning.*

The screenshot shows the 'Selected Area Edit Options' dialog box. The 'River' is 'ZANORA\_MOD' and the 'Reach' is 'EJE CANAL'. The 'Edit Interpolated XS's' checkbox is checked. The 'Channel n Values have a light green background' message is displayed. A table titled 'Selected Area Edit Options' shows Manning n values for 24 river stations. The columns are 'River Station', 'Frctn (n/K)', 'n #1', 'n #2', and 'n #3'. The values are as follows:

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	570.05	n	0.035	0.04	0.035
2	560	n	0.035	0.04	0.035
3	540	n	0.035	0.04	0.035
4	520	n	0.035	0.04	0.035
5	500	n	0.035	0.04	0.035
6	480	n	0.035	0.04	0.035
7	460	n	0.035	0.04	0.035
8	440	n	0.035	0.04	0.035
9	430	n	0.035	0.04	0.035
10	420	n	0.035	0.04	0.035
11	400	n	0.035	0.04	0.035
12	390	n	0.035	0.04	0.035
13	380	n	0.035	0.04	0.035
14	360	n	0.035	0.04	0.035
15	340	n	0.035	0.04	0.035
16	320	n	0.035	0.04	0.035
17	300	n	0.035	0.04	0.035
18	290	n	0.035	0.04	0.035
19	280	n	0.035	0.04	0.035
20	270	n	0.035	0.04	0.035
21	260	n	0.035	0.04	0.035
22	250	n	0.035	0.04	0.035
23	240	n	0.035	0.04	0.035
24	220	n	0.035	0.04	0.035

#### 4.1.17. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 10 años

Para la modelación hidráulica para un periodo de recurrencia de TR=10años, se utilizó la siguiente información:

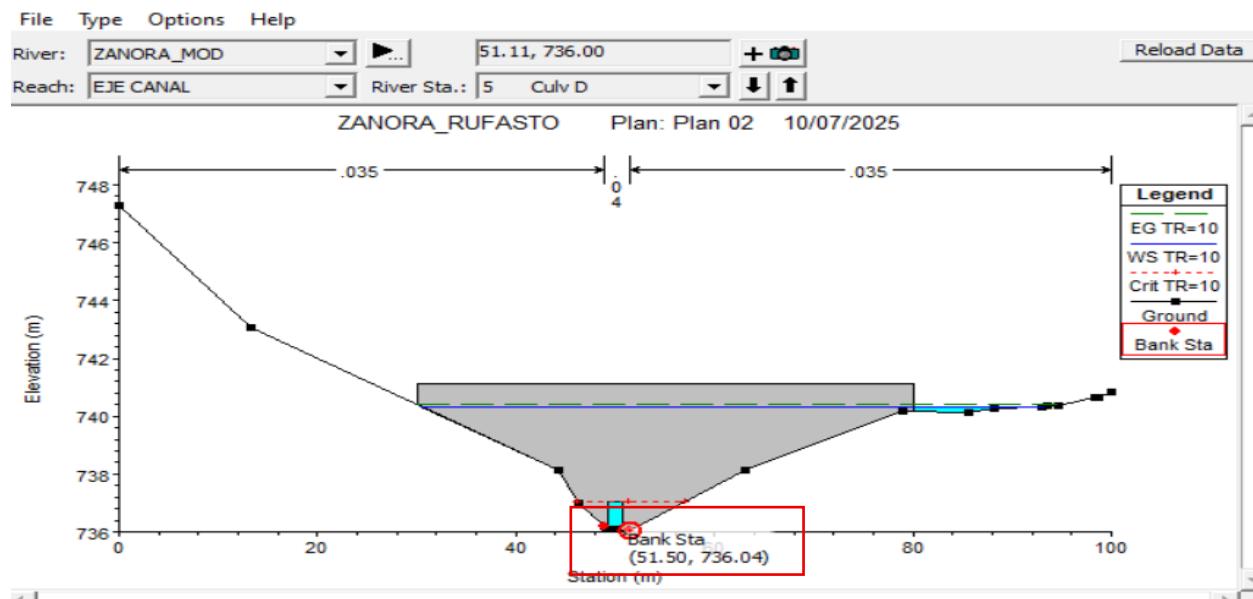
- Pendiente : Pendiente crítica del software
- Caudal "Q" (m<sup>3</sup>/s) : 7.62 m<sup>3</sup>/s

Una vez ingresada la información necesaria, se realiza el modelamiento y se identifican las secciones críticas, así como se aprecia en la figura 23, donde la zona más crítica se ubica en la parte baja, entre la progresiva 0+000 y 0+030, pero debido a que contamos con información de campo, donde en una avenida máxima se evidencio una marca histórica, que llegó a un tirante de agua de 4.30m. El área inundada para el periodo de recurrencia de TR=10 años, es de 1266.56 m<sup>2</sup>.

Realizando el análisis a la sección transversal ubicada en la PROG. 0+000, es necesario obtener la elevación del terreno y la cota del nivel de agua para conocer el tirante y así conocer si está próxima al tirante registrado en campo.

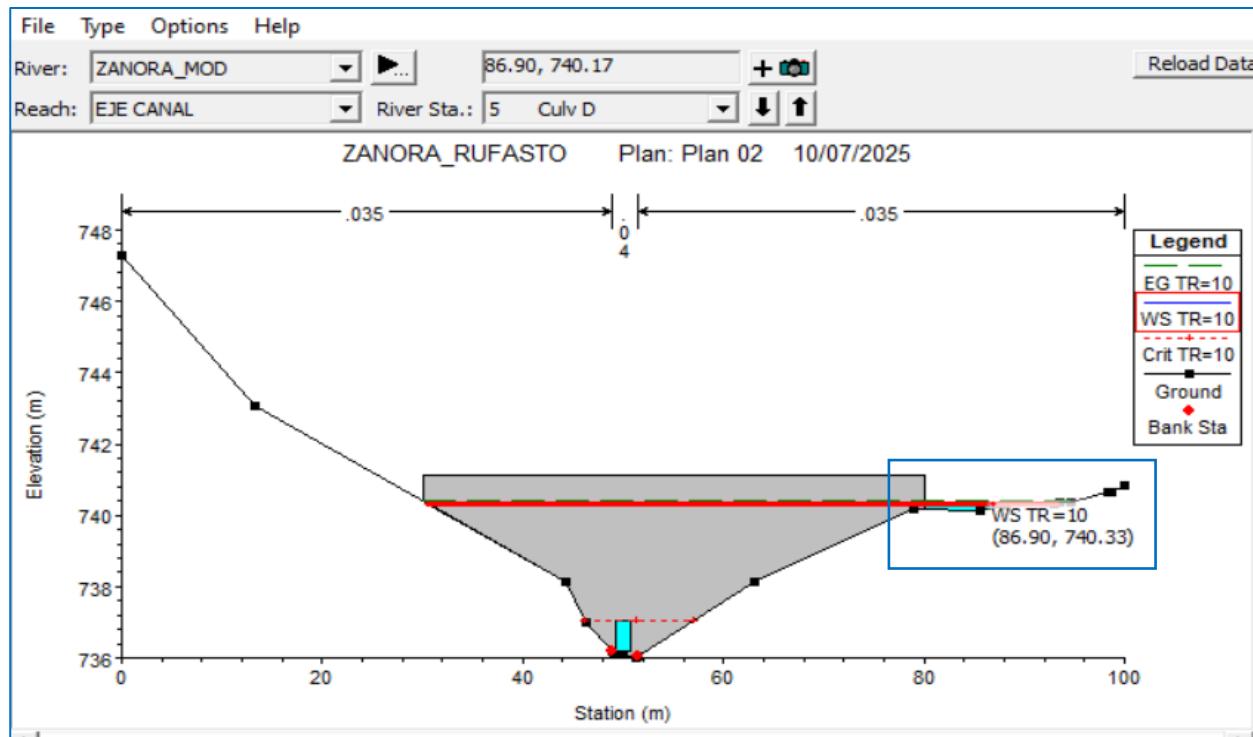
**Figura 23.**

*Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.*



**Figura 24.**

*Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.*



Teniendo la cota de terreno 736.04m y la cota de nivel de agua que es igual a 740.33m, se obtiene un tirante de 4.29m, la cual es menor al tirante identificado en campo, por lo tanto, es necesario seguir analizando para un mayor periodo de retorno.

#### 4.1.18. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 20 años

Para la modelación hidráulica para un periodo de recurrencia de TR=20 años, se utilizó la siguiente información:

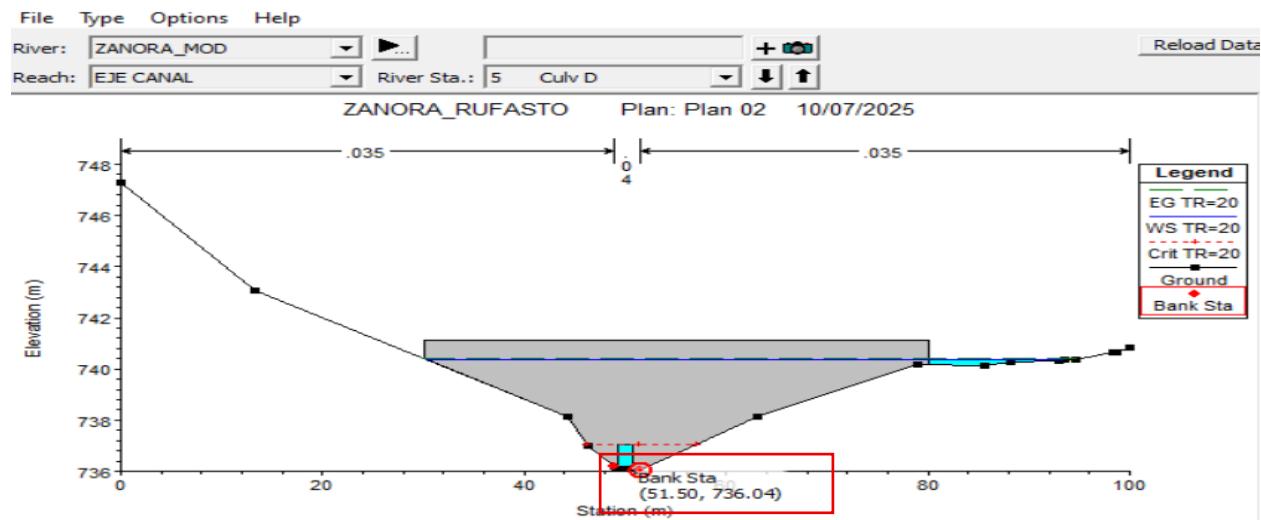
- Pendiente : Pendiente crítica del software
- Caudal "Q" (m<sup>3</sup>/s) : 8.42 m<sup>3</sup>/s

Una vez ingresada la información necesaria, se realiza el modelamiento y se identifican las secciones críticas, así como se aprecia en la figura 25, donde la zona más crítica se ubica en la parte baja, entre la progresiva 0+000 y 0+030, pero debido a que contamos con información de campo, donde en una avenida máxima se evidencio una marca histórica, que llegó a un tirante de agua de 4.30m. El área inundada para el periodo de recurrencia de TR=20 años, es de 1312.039 m<sup>2</sup>.

Realizando el análisis a la sección transversal ubicada en la PROG. 0+000, es necesario obtener la elevación del terreno y la cota del nivel de agua para conocer el tirante y así conocer si está próxima al tirante registrado en campo.

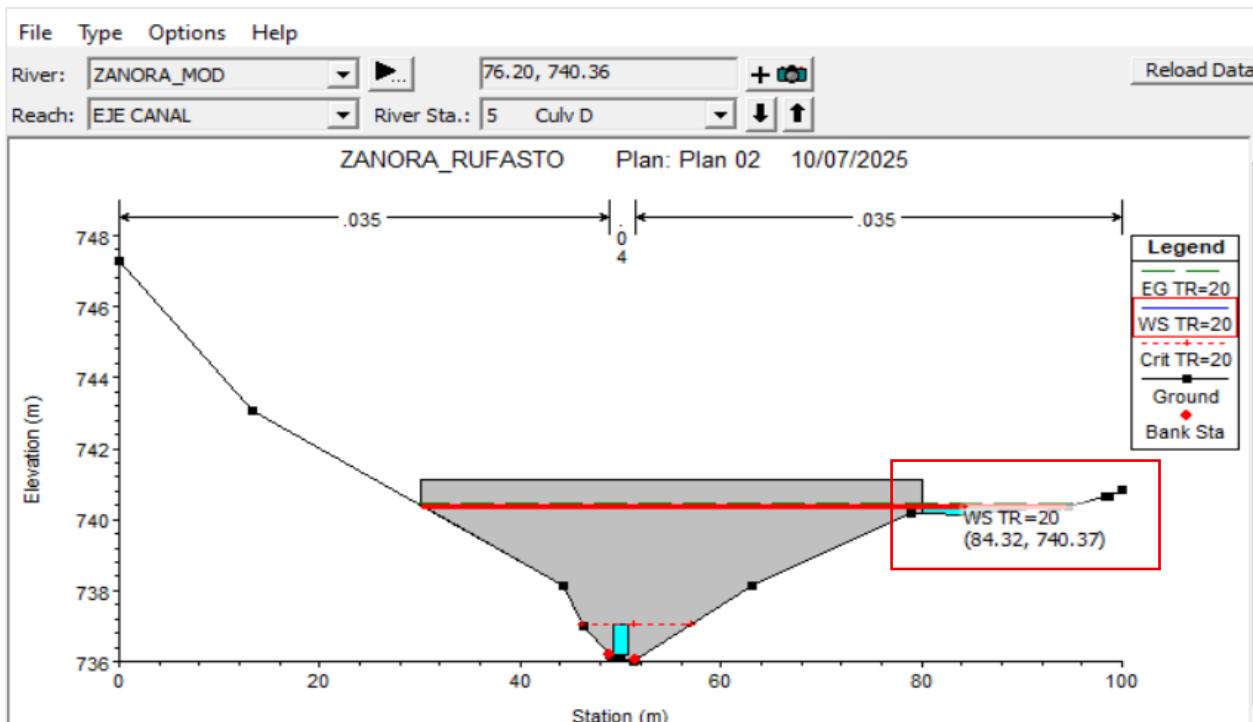
**Figura 25.**

*Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.*



**Figura 26.**

*Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.*



Teniendo la cota de terreno 736.04m y la cota de nivel de agua que es igual a 740.37m, se obtiene un tirante de 4.33m, la cual es mayor al tirante identificado en campo, pero debido a que se desea tener el valor exacto del periodo de retorno que generó ese tirante es necesario seguir evaluando.

#### 4.1.19. Modelamiento hidráulico para un periodo de retorno TR = 100 años

Para la modelación hidráulica para un periodo de recurrencia de TR=100 años, se utilizó la siguiente información:

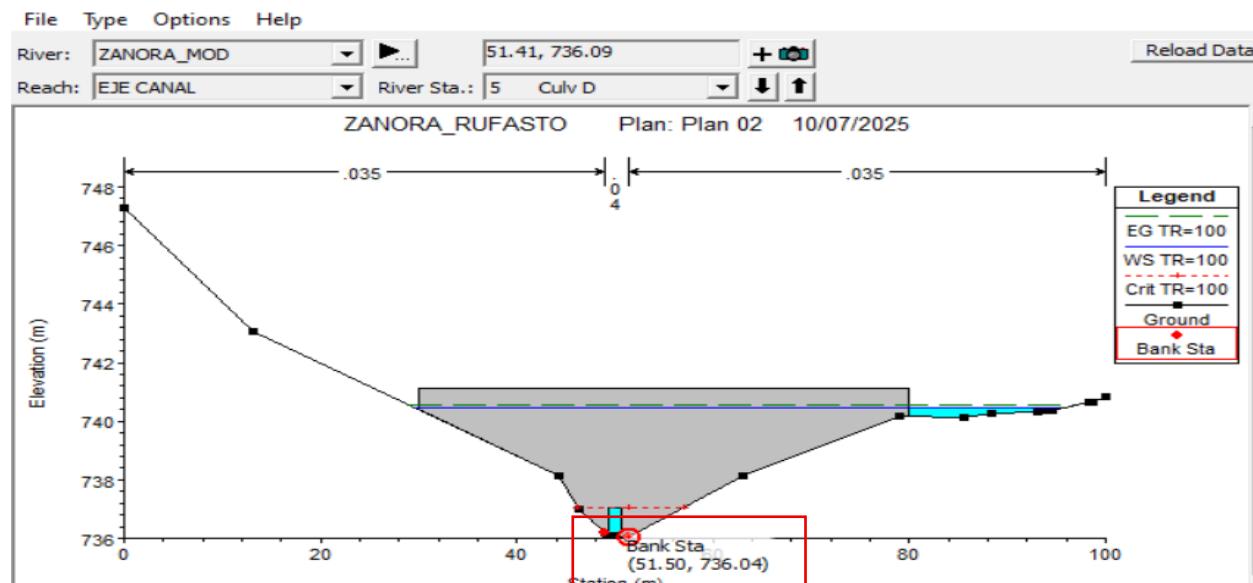
- Pendiente : Pendiente crítica del software
- Caudal “Q” (m<sup>3</sup>/s) : 10.62 m<sup>3</sup>/s

Una vez ingresada la información necesaria, se realiza el modelamiento y se identifican las secciones críticas, así como se aprecia en la figura 27, donde la zona más crítica se ubica en la parte baja, entre la progresiva 0+000 y 0+030, pero debido a que contamos con información de campo, donde en una avenida máxima se evidencio una marca histórica, que llegó a un tirante de agua de 4.30m. El área inundada para el periodo de recurrencia de TR=100 años, es de 1436.137 m<sup>2</sup>.

Realizando el análisis a la sección transversal ubicada en la PROG. 0+000, es necesario obtener la elevación del terreno y la cota del nivel de agua para conocer el tirante y así conocer si está próxima al tirante registrado en campo.

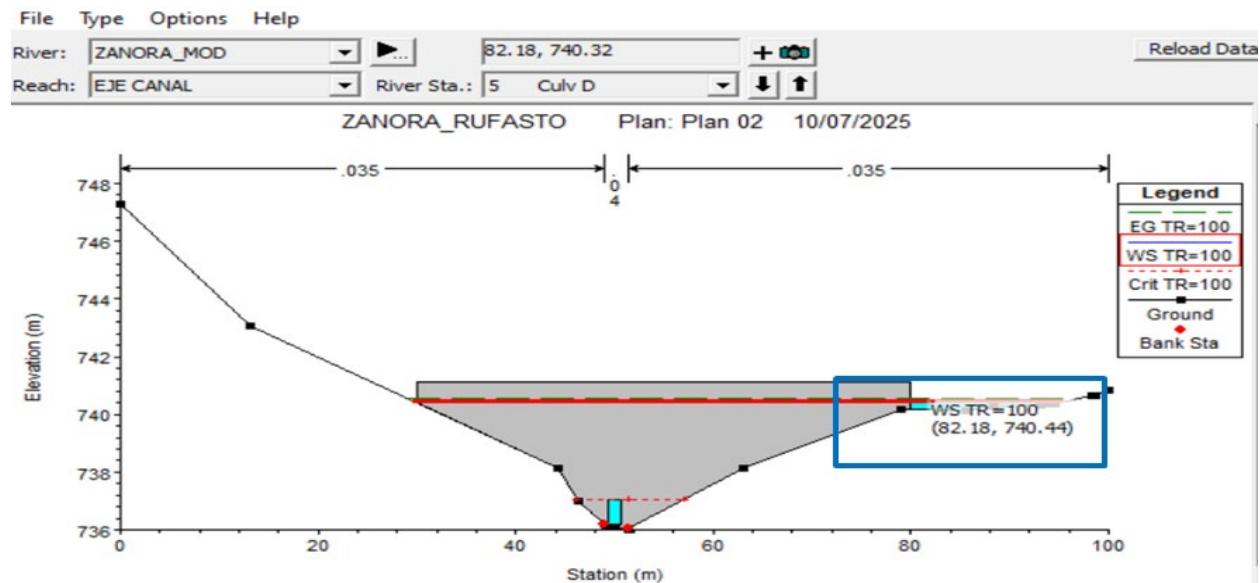
**Figura 27.**

*Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.*



**Figura 28.**

*Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.*



Teniendo la cota de terreno 736.04m y la cota de nivel de agua que es igual a 740.44m, se obtiene un tirante de 4.40m, la cual es mayor al tirante identificado en campo, pero debido a que se desea tener el valor exacto del periodo de retorno que generó ese tirante es necesario seguir evaluando.

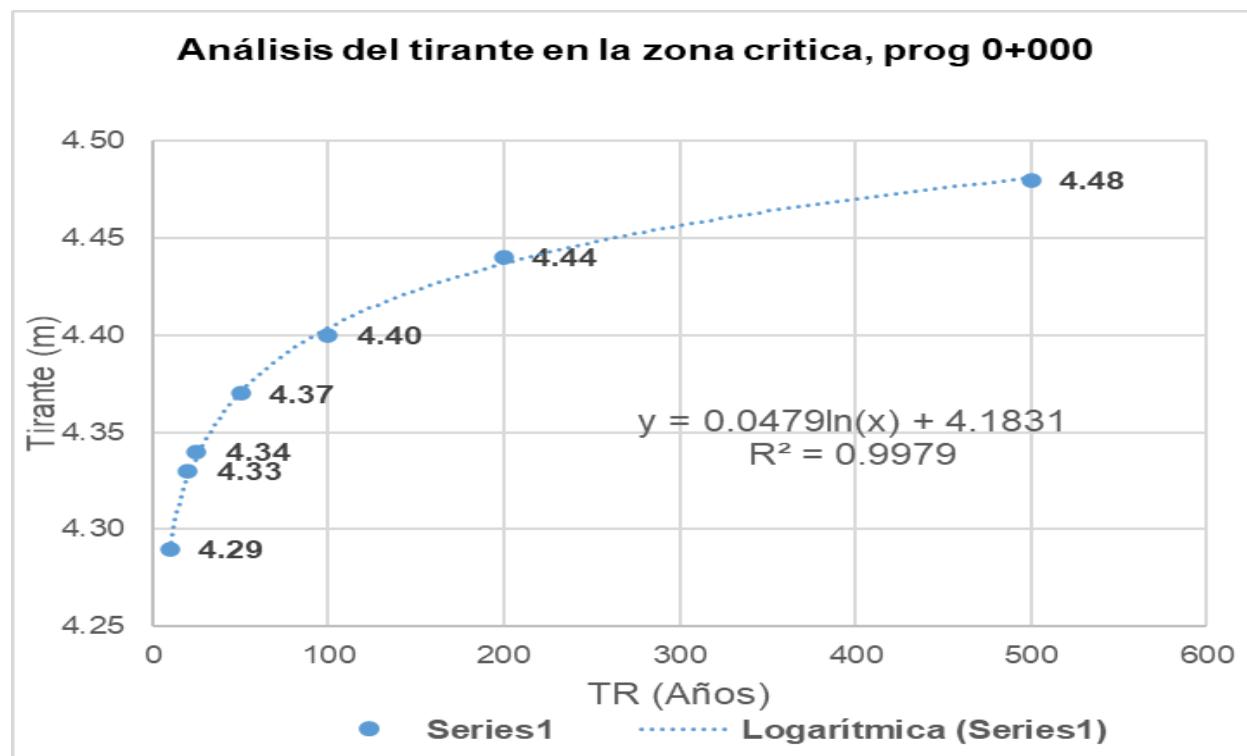
#### **4.1.20. Determinación del “TR” y modelamiento hidráulico, para un tirante crítico de 4.30m en la PROG. 0+000.**

A fin de identificar el periodo de retorno para un tirante específico, se requiere analizar los distintos intervalos de recurrencia, que se presentan en lo siguiente.

**Tabla 27.***Análisis del tirante en la zona crítica, PROG. 0+000.*

Periodo de Retorno (Años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s) "Q"	Cota de Terreno (m)	Cota de Agua (m)	Tirante (m)
10.00	7.62	736.04	740.33	4.29
20.00	8.42	736.04	740.37	4.33
25.00	8.69	736.04	740.38	4.34
50.00	9.61	736.04	740.41	4.37
100.00	10.62	736.04	740.44	4.40
200.00	11.73	736.04	740.48	4.44
500.00	13.39	736.04	740.52	4.48

A partir de la información recopilada, se elaboró un análisis estadístico que relaciona el tirante con el periodo de retorno, obteniéndose un gráfico basado en una ecuación logarítmica, que se presenta a continuación.

**Figura 29.***Análisis estadístico de tirante vs periodo de retorno.*

Mediante el análisis estadístico se obtuvo la ecuación logarítmica representativa con la que se estimó el periodo de recurrencia para un tirante de 4.30m.

**a. Cálculo del periodo de retorno “TR”**

Despejando la ecuación se obtiene:

$$X = e^{\frac{y-41833}{0.0479}}, \text{ donde "x" es el periodo de retorno y "y" el tirante.}$$

Para:  $y = 4.30$

Se obtiene  $x = 11.44$  años, por ende, el periodo de recurrencia es  $TR = 11.44$  años.

**b. Cálculo del Caudal para  $TR = 11.44$  años**

Empleando la ecuación del método racional se obtiene un  $Q = 7.77m^3/s$ .

**c. Modelamiento Hidráulico**

Para la modelación computacional para un periodo de retorno  $TR=11.44$  años, se utilizó la siguiente información:

- Pendiente : Pendiente crítica del software
- Caudal “Q” ( $m^3/s$ ) :  $7.77 m^3/s$

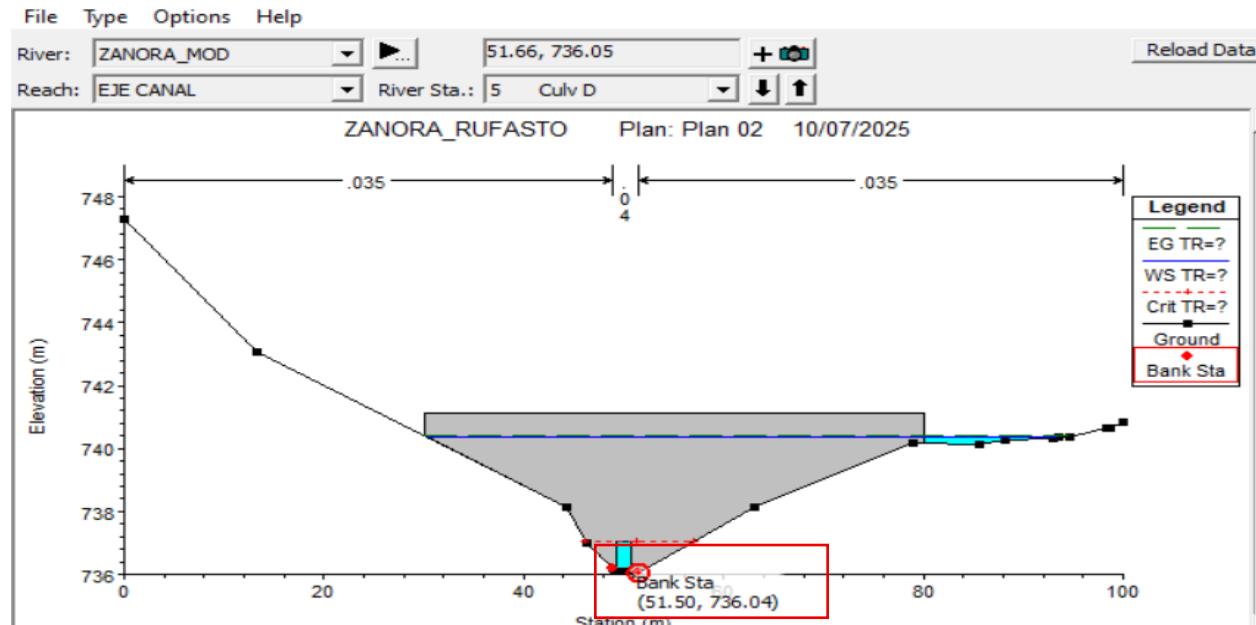
Una vez ingresada la información necesaria, se realiza el modelamiento para el tirante critico de 4.30m en la PROG. 0+000. La superficie afectada por inundación correspondiente a un periodo de retorno de  $TR = 11.44$  años.

Realizando el análisis a la sección transversal ubicada en la PROG. 0+000, es necesario obtener la elevación del terreno y la cota del nivel de agua para conocer el tirante y así corroborar que el caudal  $7.77 m^3/s$  nos genera el tirante crítico de inundación de 4.30m.

Teniendo la cota de terreno 736.04m y la cota de nivel de agua que es igual a 740.34m, se obtiene un tirante de 4.30m, la cual es el mismo tirante de inundación que el identificado en campo, por ende, se afirma que el periodo de recurrencia de  $TR=11.44$  años nos genera la zona de inundación crítica.

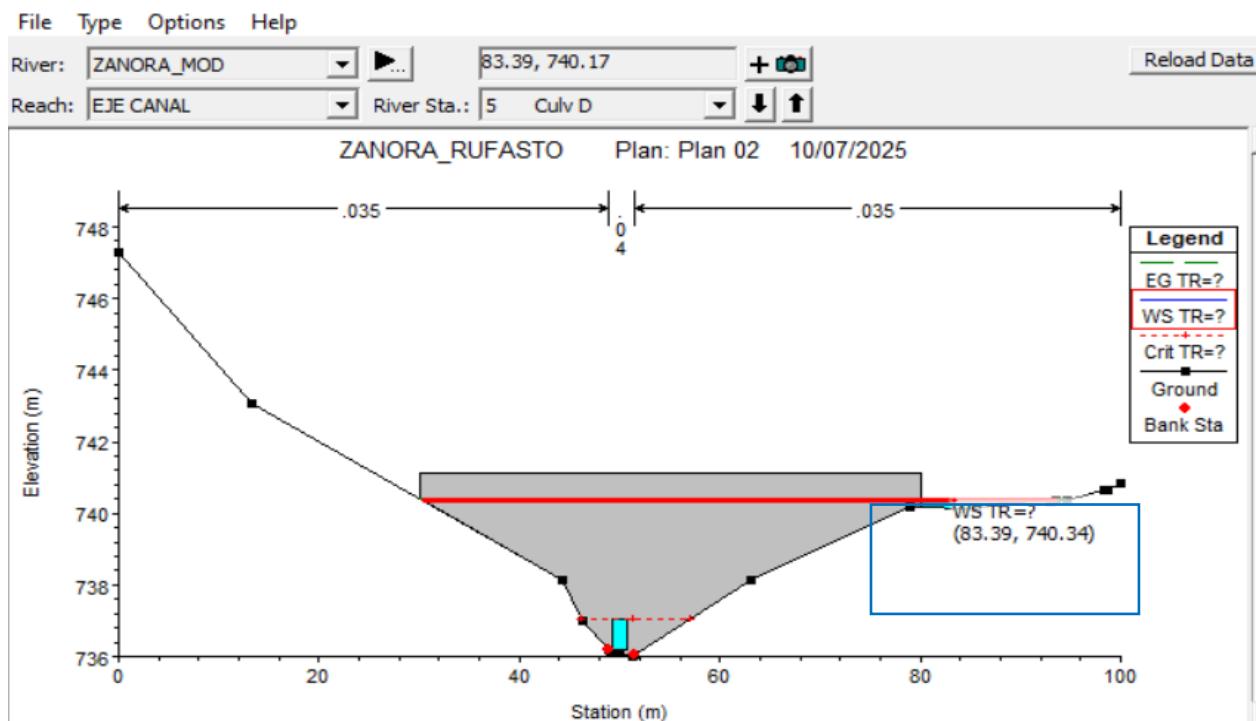
**Figura 30.**

*Identificación de la cota de terreno en la PROG. 0+000.*



**Figura 31.**

*Identificación de la cota de agua en la PROG. 0+000.*



## 4.2. Interpretación de los Resultados

### 4.2.1. Caudal de Diseño.

Para un intervalo de recurrencia de 11,44 años, el caudal de diseño calculado es de 7,77 m<sup>3</sup>/s, generando la inundación en la parte inferior del área:

- Coeficiente de escorrentía (C) : 0.53
- Intensidad de precipitación (I) : 42.76 mm/h
- Área de la cuenca (A) : 1.225 km<sup>2</sup>

Estos resultados son estables con los valores obtenidos en estudios análogos realizados en cuencas con características topográficas y climáticas semejantes.

### 4.2.2. Modelamiento Hidráulico

El modelamiento computacional con HEC-RAS permitió establecer la capacidad del cauce ante eventos extremos. Los principales resultados incluyen:

- Perfiles de flujo.
- Análisis de peligro de inundación en las zonas de estudio.
- Distribución del tirante de agua en las secciones transversales.
- Cotas del nivel de agua.

Se encontró que, para un TR = 11.44 años, la sección más crítica se encuentra en la progresiva 0+000, con área de inundación de 1282.837 m<sup>2</sup>, donde dicha sección genera problemas de inundación, es por ello que se debe proponer medidas de mitigación de daños.

### 4.2.3. Comparación con Datos Históricos y Normativos

Para validar los resultados, se compararon los caudales calculados con registros históricos de precipitaciones en la región y con normativas nacionales e internacionales:

Normativa Nacional: Se verificó que los valores obtenidos cumplen con los lineamientos establecidos en los manuales de diseño hidrológico del país.

Registros Históricos: La precipitación corregida es coherente con valores obtenidos en estudios previos en la zona.

Comparación con Modelos Internacionales: Se contrastaron los resultados con valores reportados en publicaciones de la WMO y el USACE.

#### **4.2.4. Evaluación de Sensibilidad del Modelo**

Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar el impacto de variaciones en los principales parámetros hidrológicos:

##### **a. Sensibilidad al Tiempo de Concentración (Tc)**

Variaciones en el tiempo de concentración (Tc) afectan la intensidad de la precipitación y, por ende, los caudales calculados. Se observó que:

Un aumento del 10% en Tc reduce el caudal en aproximadamente 5%.

Una reducción del 10% en Tc incrementa el caudal en aproximadamente 6%.

##### **b. Sensibilidad al Coeficiente de Escorrentía (C)**

Está ligado a las condiciones del suelo y el uso del mismo. Se analizó cómo cambios en la permeabilidad del suelo afectan los caudales:

Un incremento del 5% en C genera un aumento del 7% en el caudal de diseño. Una reducción del 5% en C disminuye el caudal en 6%.

##### **c. Sensibilidad al Coeficiente de Rugosidad (n)**

El coeficiente de fricción de Manning (n) impacta directamente en la capacidad del cauce para transportar el flujo. Se analizaron variaciones en su valor:

Un incremento en n provoca un mayor tirante de agua, lo que podría generar desbordamientos en algunas secciones. Una reducción en n mejora la capacidad de evacuación del cauce, pero podría subestimar riesgos de erosión.

### **4.3. Discusión de Resultados**

La modelación computacional hidrológica e hidráulica desarrollada para la Zanora Seca de la habilitación urbana Ricardo Monteza permitió analizar de forma integral el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios de precipitación extrema. A través de una metodología basada en la simulación de eventos asociados a distintos períodos de retorno, fue posible contrastar los resultados obtenidos con los referentes teóricos y normativos desarrollados en el marco conceptual, así como con los objetivos específicos propuestos en este estudio.

Desde la caracterización inicial de la cuenca, se identificó una superficie de drenaje de extensión moderada, con morfología alargada y pendiente promedio significativo en el cauce principal. Estas condiciones geomorfológicas explican una rápida concentración de las aguas pluviales

hacia el punto de salida, lo cual se refleja en un tiempo de concentración (Tc) relativamente corto, calculado mediante la fórmula de Kirpich. Esta rápida respuesta hidrológica valida la aplicación del método racional como una herramienta adecuada para estimar el caudal pico en cuencas urbanas de tamaño reducido, como la evaluada en este estudio.

A partir del estudio estadístico de la serie de precipitaciones máximas de 1993 a 2025, se determinó que la distribución Log-Normal de dos parámetros se ajusta mejor a los datos observados, conforme a los test de Kolmogórov-Smirnov y Chi-cuadrado. Esta distribución permitió obtener valores críticos de precipitación para intervalos de retorno entre 2 y 500 años, facilitando la elaboración del hietograma de diseño y la estimación de los caudales máximos.

Al aplicar el método racional, se observó una tendencia creciente del caudal de diseño conforme se incrementa el tiempo de retorno, siendo particularmente críticos los valores estimados para los escenarios mayores a 10 años. Estos resultados concuerdan con estudios similares como los realizados por Bladés y López (2020) y Revelo (2023), quienes también identificaron un comportamiento exponencial en la generación de caudales extremos bajo eventos hidrometeorológicos severos. Es importante señalar que el coeficiente de escorrentía (C) fue ajustado considerando el tipo de cobertura del suelo y la pendiente de la cuenca, permitiendo una representación más realista del impacto de la urbanización sobre la generación de escorrentía superficial. Asimismo, la intensidad de la precipitación (I) se determinó a partir de las curvas IDF generadas con base en el modelo de Bell (1969), cuyos parámetros fueron calculados específicamente para el contexto local, tal como lo establece el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (2018).

Una vez estimados los caudales de diseño, se procedió a su incorporación en el modelo hidráulico construido en el software HEC-RAS, trabajando bajo régimen permanente. Los resultados de esta modelación pusieron en evidencia que, a partir del periodo de recurrencia de 10 años, la capacidad hidráulica del cauce es superada en varios tramos, generando desbordamientos significativos que afectan directamente áreas urbanizadas aledañas a la Zanora. El tramo más crítico se identificó entre las progresivas 0+000 y 0+030, donde se observan los mayores niveles de agua y el mayor potencial de anegamiento. Esta zona coincide plenamente con los testimonios recogidos de la población residente, quienes señalan recurrentes episodios de inundación en dicho sector. La presencia de una alcantarilla rectangular con dimensiones de  $1.35\text{ m} \times 0.85\text{ m}$  se mostró insuficiente para evacuar los caudales superiores a  $6.89\text{ m}^3/\text{s}$ , generando condiciones de represamiento y subsecuentes desbordes.

La sensibilidad del modelo hidráulico fue evaluada modificando los principales parámetros de entrada, y los resultados revelaron que este es particularmente sensible al coeficiente de escorrentía (C), al tiempo de concentración (Tc) y al coeficiente de rugosidad de Manning (n). Pequeñas variaciones en cualquiera de estos factores generaron cambios significativos en los niveles de lámina de agua y en la extensión de las áreas inundadas. Esta sensibilidad refuerza la necesidad de calibrar adecuadamente los modelos y emplear valores representativos de las condiciones reales del área de estudio. Situaciones similares han sido reportadas en investigaciones como la de Roque (2022), quien también evidenció que la precisión de los parámetros hidráulicos es clave para garantizar la validez de los escenarios de simulación y el diseño de proyectos de mitigación eficaces.

Finalmente, los resultados del modelamiento fueron contrastados con la normativa técnica vigente en el país, particularmente con lo establecido en el Manual del MTC (2018) y los lineamientos del CENEPRED (2015). Se constató que los niveles de lámina de agua proyectados para eventos mayores a TR=10 años, superan los límites aceptables de seguridad hidráulica, lo cual indica un nivel elevado de riesgo urbano. Las edificaciones, las vías de comunicación y los servicios básicos ubicados en las inmediaciones del cauce se encuentran altamente expuestos, incrementando la vulnerabilidad de la población ante eventos extremos.

A partir de las simulaciones realizadas, fue posible identificar áreas con un elevado nivel de riesgo de inundación, constituyendo una herramienta clave para la planificación territorial y la gestión de desastres. Esta información permite formular estrategias de mitigación de tipo estructural — como la ampliación de cauces, la construcción de drenajes adicionales o defensas ribereñas — y de tipo no estructural — como la reubicación de viviendas, la regulación del uso del suelo y la implementación de sistemas de alerta temprana —. Las acciones propuestas se ajustan a los lineamientos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), de acuerdo con lo establecido en la Ley N.º 29664.

En suma, los resultados encontrados no solo dan la razón la hipótesis planteada en la investigación, sino que también evidencian la necesidad de adoptar decisiones técnicas urgentes para reducir la exposición de la población y proteger la infraestructura urbana en un contexto donde los eventos climáticos extremos tienden a incrementarse con mayor frecuencia e intensidad.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

1. La urbanización Ricardo Monteza, situada en la zona alta del distrito de Jaén y colindante con las urbanizaciones Santa Cecilia y Mirasol II, se caracteriza principalmente por edificaciones de material noble, aunque algunas construcciones utilizan materiales rústicos. Sus calles carecen de pavimentación, lo que afecta directamente a los habitantes y contribuye al incremento de la contaminación ambiental, deteriorando tanto el patrimonio público como privado. Además, esta condición dificulta el tránsito peatonal y vehicular, especialmente durante la temporada de lluvias. La urbanización carece de un sistema de drenaje adecuado que facilite la evacuación de las aguas pluviales en eventos de avenidas máximas, lo que representa un riesgo considerable durante el primer trimestre del año y puede ocasionar desbordes en casos de caudales extremos.
2. La Zanora Seca presenta un cauce de morfología rectilínea con ancho promedio de 5.7 m y pendiente media del 29.05 %, propia de cursos de agua de alta montaña en etapa de madurez, su régimen hidrológico es netamente intermitente, activándose únicamente durante eventos pluviales intensos, en los cuales puede alcanzar caudales máximos de hasta 7.77 m<sup>3</sup>/s y velocidades del orden de 2.6 m/s en el eje principal, estos valores, sumados a tirantes máximos de 4.30 m, evidencian un alto potencial de riesgo para las áreas aledañas, especialmente en la urbanización Ricardo Monteza. La rugosidad hidráulica estimada ( $n = 0.040$  en cauce principal) y la presencia de lecho compuesto por cantos rodados, arenas y limo, indican escenarios de flujo variable y capacidad de transporte sedimentológica de moderada a alta. Geomorfológicamente, los taludes muestran signos de inestabilidad y erosión lateral, acentuados por la vegetación rala en algunos tramos y acumulación irregular de material fino, lo que denota procesos activos de sedimentación. La cobertura vegetal ribereña, aunque irregular, contribuye parcialmente a la estabilidad del cauce. En conjunto, la Zanora Seca presenta una capacidad de conducción que, bajo eventos extremos, puede comprometer significativamente la seguridad de la población y requerir medidas de manejo hidráulico y control morfodinámico.
3. Del análisis hidrológico en base a datos históricos, se determinó que caudales asociados a períodos de retorno mayores o iguales a TR =10 años con un caudal de 7.62 m<sup>3</sup>/s, superan la capacidad hidráulica de la alcantarilla existente ( $1.35 \text{ m} \times 0.85 \text{ m}$ ) en la PROG. 0+000, presentando un escenario crítico en la parte baja de la Zanora Seca entre las PROG. 0+000 y 0+030, donde se presenta una señal histórica de inundación de 4.30m de altura, la que

vendría a ser el tirante en la sección 0+000, generado por un periodo de retorno de TR = 11.44 años y un caudal de 7.77 m<sup>3</sup>/s, generando desbordes y zonas de inundación que afectan directamente áreas habitadas.

4. La simulación hidráulica integrada, permitió visualizar las zonas más vulnerables a inundación, tal es el caso que para un periodo de retorno TR = 10 años, el área potencialmente inundable alcanza los 1266.563 m<sup>2</sup>, para TR = 11.44 años, el área potencialmente inundable alcanza los 1282.837 m<sup>2</sup>, para TR = 20 años, el área potencialmente inundable alcanza los 1312.039 m<sup>2</sup>, mientras que para TR = 100 años esta superficie se amplía a 1436.137 m<sup>2</sup>. La modelación hidráulica, mostró alta precisión en el comportamiento de flujos ante caudales máximos.

En la urbanización Ricardo Monteza y sus zonas colindantes, las actuales condiciones de la infraestructura vial, la falta de un sistema de drenaje pluvial y la cercanía a la Zanora Seca generan un entorno altamente vulnerable frente a lluvias intensas. Las estructuras existentes carecen de capacidad hidráulica suficiente para conducir caudales con periodos de retorno superiores a 10 años, lo que provoca desbordes e inundaciones que afectan directamente a los habitantes y sus propiedades. Esta situación se ve agravada por el régimen intermitente de la Zanora Seca, que en eventos extremos puede alcanzar velocidades, profundidades y caudales capaces de comprometer la estabilidad del cauce y aumentar el riesgo en las áreas circundantes, lo que evidencia la urgencia de implementar estrategias integrales de manejo hidráulico.

## 5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda a las autoridades locales y organismos técnicos la ampliación y adecuación del cauce de la Zanora Seca, especialmente en el tramo crítico comprendido entre las progresivas 0+000 y 0+030. Asimismo, se sugiere la reubicación de la alcantarilla existente, incrementando su sección para garantizar el paso seguro de caudales superiores a 6.04 m<sup>3</sup>/s, reduciendo así el riesgo de desbordamiento durante eventos de alta magnitud.
2. En vista de que los caudales generados por eventos de retorno de mayores a 10 años exceden la capacidad del sistema actual, es indispensable rediseñar el sistema de drenaje pluvial del sector Ricardo Monteza, incorporando soluciones sostenibles de drenaje urbano (SUDS) como canales abiertos, zanjas de infiltración y reservorios de retención, que mitiguen la generación de escorrentía superficial.

3. Se recomienda al municipio distrital de Jaén utilizar la delimitación de las zonas inundables obtenidas en esta investigación como base para establecer zonas no edificables o de restricción urbana. Esta medida permitirá reducir la exposición de la población y proteger la infraestructura crítica frente a posibles inundaciones.
4. Dado que la precisión de los modelos hidrológicos e hidráulicos depende directamente de la eficacia de los datos pluviométricos y topográficos, se recomienda instalar estaciones meteorológicas automáticas en puntos estratégicos de la ciudad, así como mantener actualizada la cartografía altimétrica del área urbana.
5. Se sugiere formular un Plan de Prevención y Reducción de Riesgos por Inundación en la Habilitación Urbana Ricardo Monteza, en coordinación con el CENEPRED y el INDECI, considerando escenarios de riesgo ante lluvias extraordinarias, protocolos de evacuación y sistemas de alerta temprana comunitarios.
6. Es necesario promover campañas de concientización ciudadana sobre el impacto del cambio climático, la adecuada gestión del agua y la importancia de mantener limpios los cauces naturales. La participación activa de la población es fundamental para reducir el riesgo de desastres y preservar la funcionalidad del sistema hidráulico urbano.
7. Finalmente, se recomienda que los resultados de esta tesis sean utilizados como base técnica preliminar para desarrollar estudios de preinversión a nivel de perfil y posterior expediente técnico, que permitan implementar obras de infraestructura resiliente con respaldo normativo y financiero.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Vásquez, C. H. (2021). *Identificación de áreas inundables por máximas avenidas del río Quínuas en el centro poblado La Quispa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4156>
- Bladés Benítez, M., & López Soto, J. (2020). Análisis hidrológico e hidráulico del potencial de inundación. *Revista Ingeniería y sus Alcances*, 4(10), 178–191.  
[https://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/1402/1/Articulo\\_No\\_1.pdf](https://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/1402/1/Articulo_No_1.pdf)
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Camino, A., Bó, M., Cionchi, J., & Del Río, J. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1).  
<https://www.redalyc.org/journal/3832/383257036005/383257036005.pdf>
- Chalco Collantes, J. A. (2020). *Determinación de zonas vulnerables a inundaciones en el tramo Puente Huachipala Atarjea del Río Rímac, distrito Lurigancho-Chosica para la mitigación de desastres* [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola].  
<https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/8a910c0e-93cf-4bb2-8c02-61566a0fcd78>
- Chiarito, E., Zimmermann, E., & Méndez, S. (2018). *Metodologías para la estimación del coeficiente de escorrentía en áreas urbanizadas mediante teledetección*. Editorial CURIHAM.
- Chow, V. T. (1988). Hidrología aplicada. Editorial Nomos S. A.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (J. G. Saldarriaga, Trad.; A. Zuluaga Ángel, Rev. Téc.). McGraw-Hill Interamericana. (Obra original publicada en 1959 como *Open-channel hydraulics*). ISBN: 958-600-228-4
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Applied hydrology* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Cordero, A. (2017). *Caracterización hidrológica del macro deslizamiento Guarumales*. Editorial Cuenca.
- Delgadillo Santander, A., & Moreno Barrios, A. (2011). *Hidrología*.  
<https://docplayer.es/18160946-Morfometria-de-cuencas.html>

- García Toclo, D. Y. (2019). *Modelado hidráulico del río Amojú aplicando el software Iber para zonificar áreas inundables en la ciudad de Jaén, Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <https://core.ac.uk/download/pdf/270319013.pdf>
- Hernández Regalado, J. (2019). *Zonificación de áreas inundables de la localidad de Santa Bárbara ocasionado por avenidas extraordinarias de la quebrada Sambarbamba - Baños del Inca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2583>
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2019). *Inundación*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/folletos/2010/inundacion.pdf>
- Kimerling, A. J., Buckley, A. R., Muehrcke, P. C., & Muehrcke, J. O. (2016). *Map use: Reading, analysis, interpretation* (8th ed.). Esri Press.
- Lavado Casimiro, W. (Ed.). (2020). *Estudios hidrológicos del SENAMHI: Resúmenes ejecutivos - 2020*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-90.pdf>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). Wiley.
- Mediero Orduña, L. (2021). *Hidrología*. Editorial Bellisco.
- Mejía Marcacuzco, J. (2012). *Hidrología aplicada*. Editorial Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Metzger, L. (2019). *Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico-hidráulico en Tumbes*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, Dirección de Hidrología - DHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-80.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (2012). *Hidrología de máximas avenidas en el Río Chincha*. [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12124475\\_03.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12124475_03.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Editorial MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (Resolución Directoral N.º 20-2011-MTC/14)*. <https://www.gob.pe/es/l/4443017>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de hidrología*. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Monsalve Saenz, G. (2018). *Hidrología en la ingeniería*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Monmonier, M. (2018). *How to lie with maps* (3rd ed.). University of Chicago Press.

- Montoya León, J. D., & Rey Vargas, J. C. (2019). *Análisis de vulnerabilidad por inundación del Caño Buque en el casco urbano del municipio de Villavicencio – Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1b9c12b6-69a2-4cdc-a66e-a4abd56bac3b/content>
- Municipalidad Metropolitana de Lima. (2013). *Guía para la habilitación urbana en asentamientos humanos y mitigación del riesgo*.  
<https://www.munlima.gob.pe/images/descargas/gerencias/GDU/SALT/guia-para-la-habilitacion-urbana-en-asentamientos-humanos-y-mitigacion-del-riesgo.pdf>
- Ordoñez, J. (2011). *Cuenca hidrológica*. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Revelo Sánchez, G. M. (2023). *Determinación de áreas inundables por ocurrencia de avenidas máximas mediante modelización hidrológico e hidráulico, en la subcuenca Milagros, Yungay, Áncash* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5601>
- Ríos Cruz, F., Alcocer Yamanaka, V. H., Bourguett Ortiz, V. J., & Domínguez Mora, R. 2018. *Método del hidrograma unitario racional modificado e hidrograma unitario trapezoidal*. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Argentina, septiembre 2018. IAHR – AIIH.
- Ríos, J. D. (2023). Comparación de los modelos HEC-RAS 1D y 2D para la simulación de ríos urbanos. *Revista EIA*, 20(40), Reia4005, 1–14. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1661>
- Roque Tapia, G. M. (2022). *Riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/6031>
- Ruiz Romera, E. (2010). *Hidrología aplicada: Escorrentía*.  
[https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47725/mod\\_resource/content/1/Material\\_Docente/Tema\\_5.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/47725/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_5.pdf)
- Sánchez San Román, J. (2022). *Hidrología superficial y subterránea*. Editorial Universidad de Salamanca.
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). *Frequency analysis of extreme events*. En D. R. Maidment (Ed.), *Handbook of hydrology* (pp. 18.1–18.66). New York: McGraw-Hill.
- Tedesco, C. (2019). *El ciclo del agua*.  
<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>

- Villa, F. (2014). *Métodos probabilísticos: Hidrología general*. Editorial San Pedro.  
<https://es.slideshare.net/freddysantiagord/metodos-probabilisticos-de-hidrologia>
- Villegas, P. (2014). *Tiempo de concentración de una cuenca*. [https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/#google\\_vignette](https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/#google_vignette)
- Villodas, R. (2008). *Guía de estudio de hidrología*. Universidad Nacional de Cuyo.
- Viramontes, O., Escoboza, L., Pinedo, C., & Reyes, V. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, 1(3), 21–31. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/56/1938>

# **ANEXOS**

# **ANEXO I:**

## **PANEL FOTOGRÁFICO**

**Figura 32.**

*Parte alta – Vista de cuenca que da formación a la Zanora Seca.*



**Figura 33.**

*Parte alta – Formación de la Zanora en la Prog. 0+570.*



**Figura 34.**

*Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+570 aprox.*



**Figura 35.**

*Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+510 aprox.*



**Figura 36.**

Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+500 aprox.



**Figura 37.**

Parte alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+480 aprox.



**Figura 38.**

*Parte Alta – Vista de la Zanora en la Prog. 0+450 aprox.*



**Figura 39.**

*Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+430 aprox.*



**Figura 40.**

*Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+400 aprox.*



**Figura 41.**

*Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+380 aprox.*



**Figura 42.**

*Parte Media – Vista de la Zanora en la Prog. 0+320 aprox.*



**Figura 43.**

*Parte Media – Proximidad de la red de desagüe a la Zanora en la Prog. 0+280 aprox.*



**Figura 44.**

*Parte Baja - Vista del mercado “Nuevo Horizonte” en la Prog 0+230 aprox.*



**Figura 45.**

*Parte Baja - Recopilación de información de pobladores en la Prog. 0+200 aprox.*



**Figura 46.**

Parte Baja - Levantamiento topográfico con GPS diferencial en la Prog. 0+160 aprox.



**Figura 47.**

Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+080 aprox.



**Figura 48.**

Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+040 aprox.



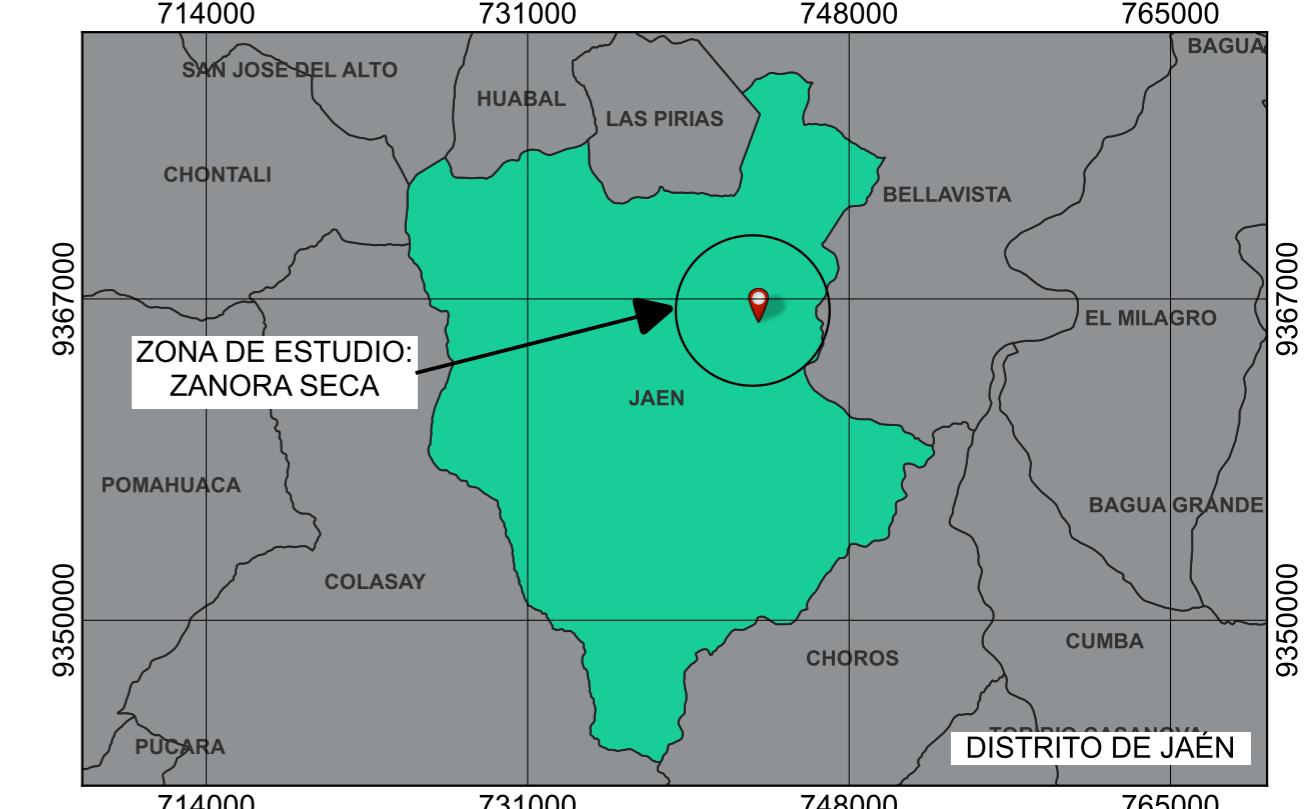
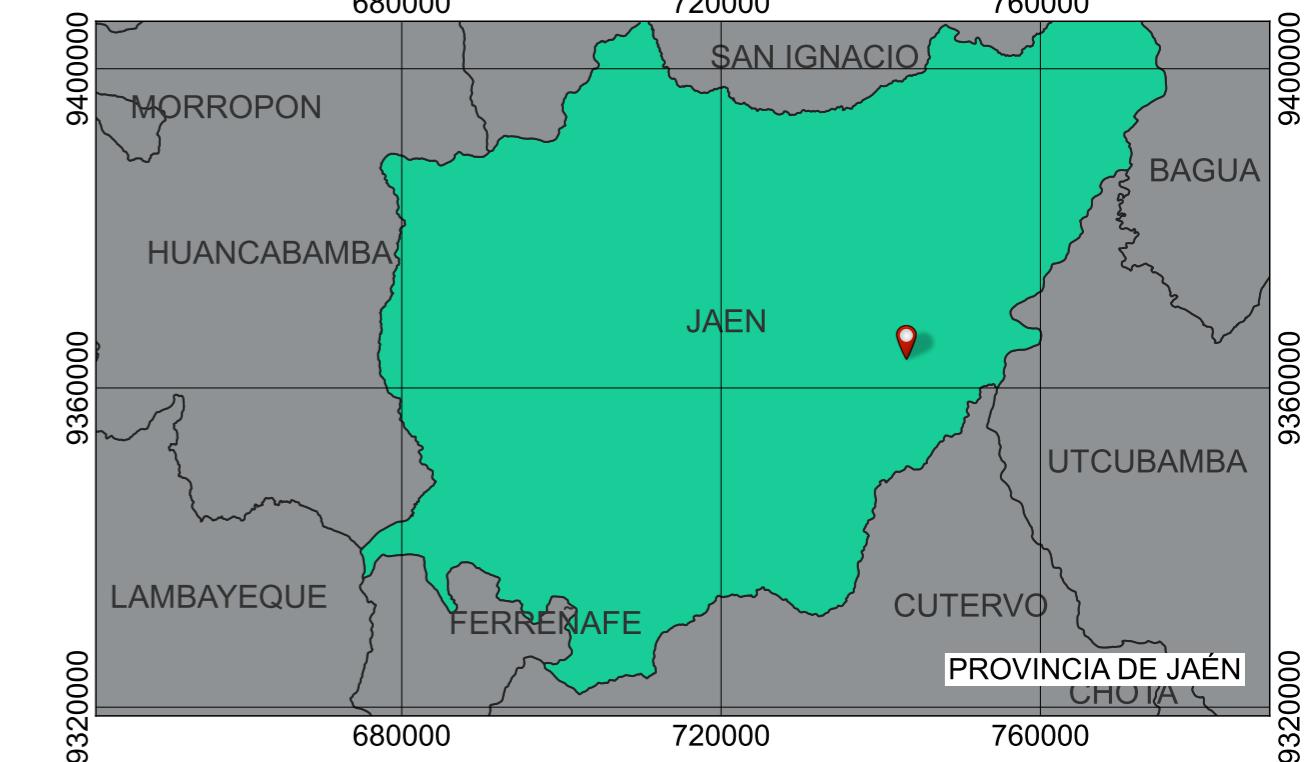
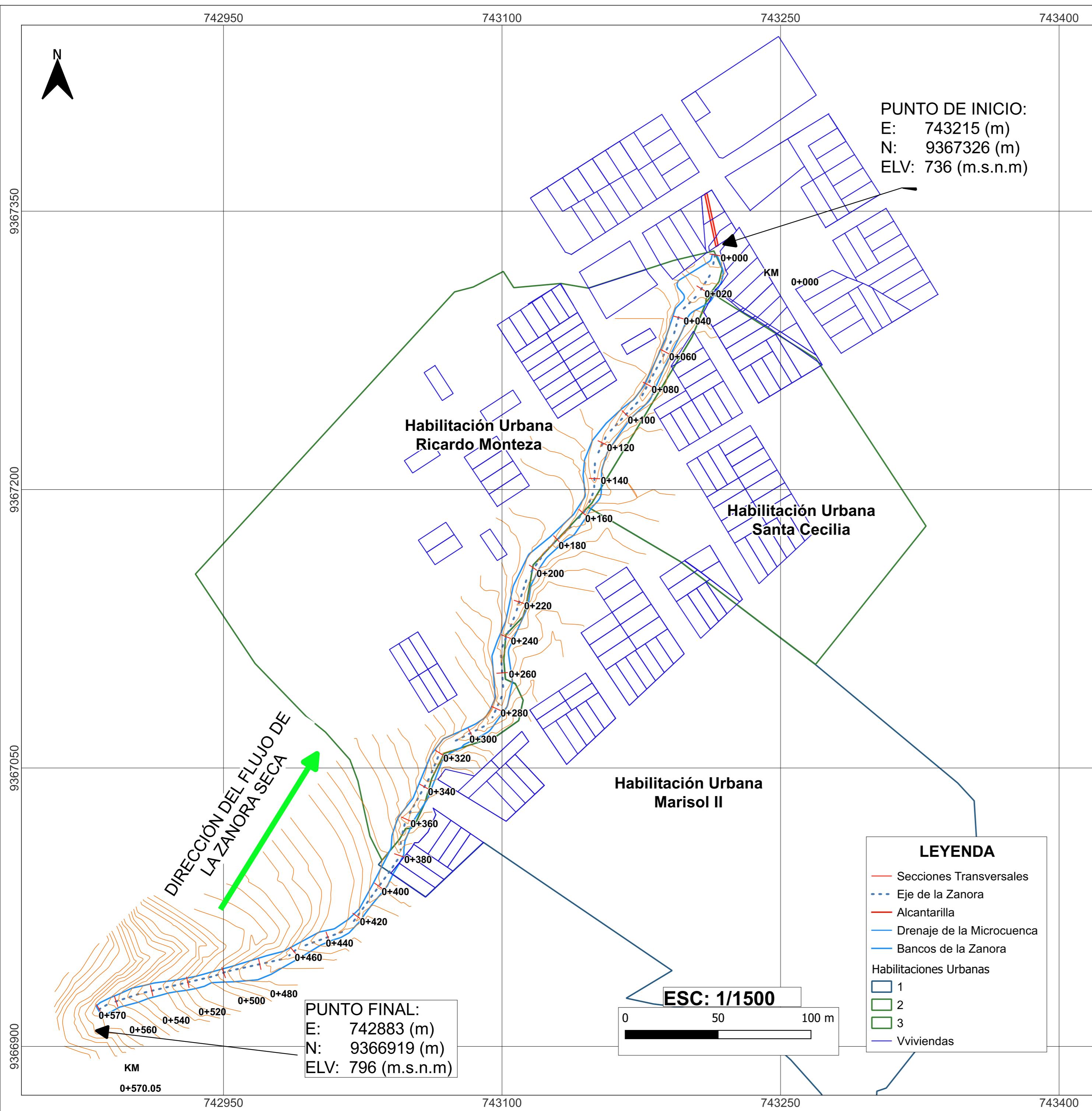
**Figura 49.**

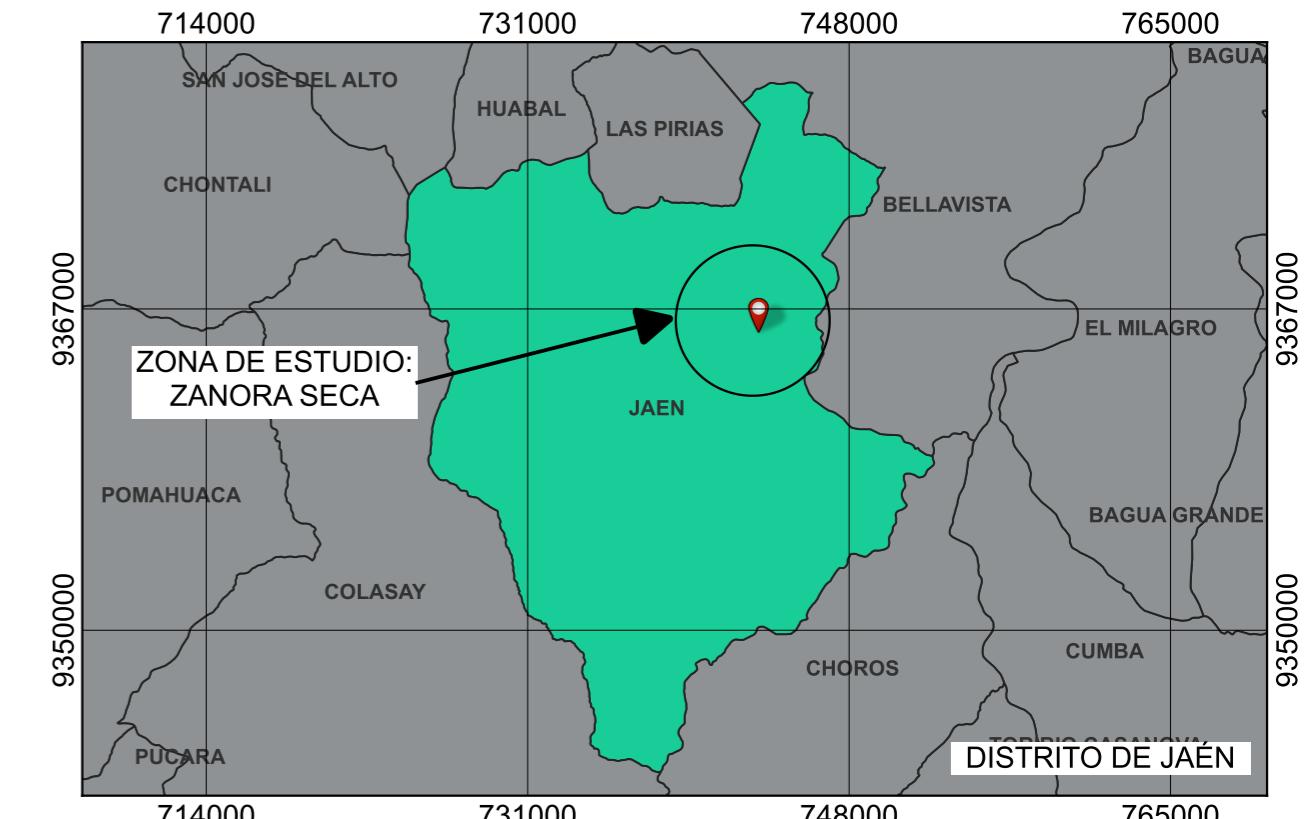
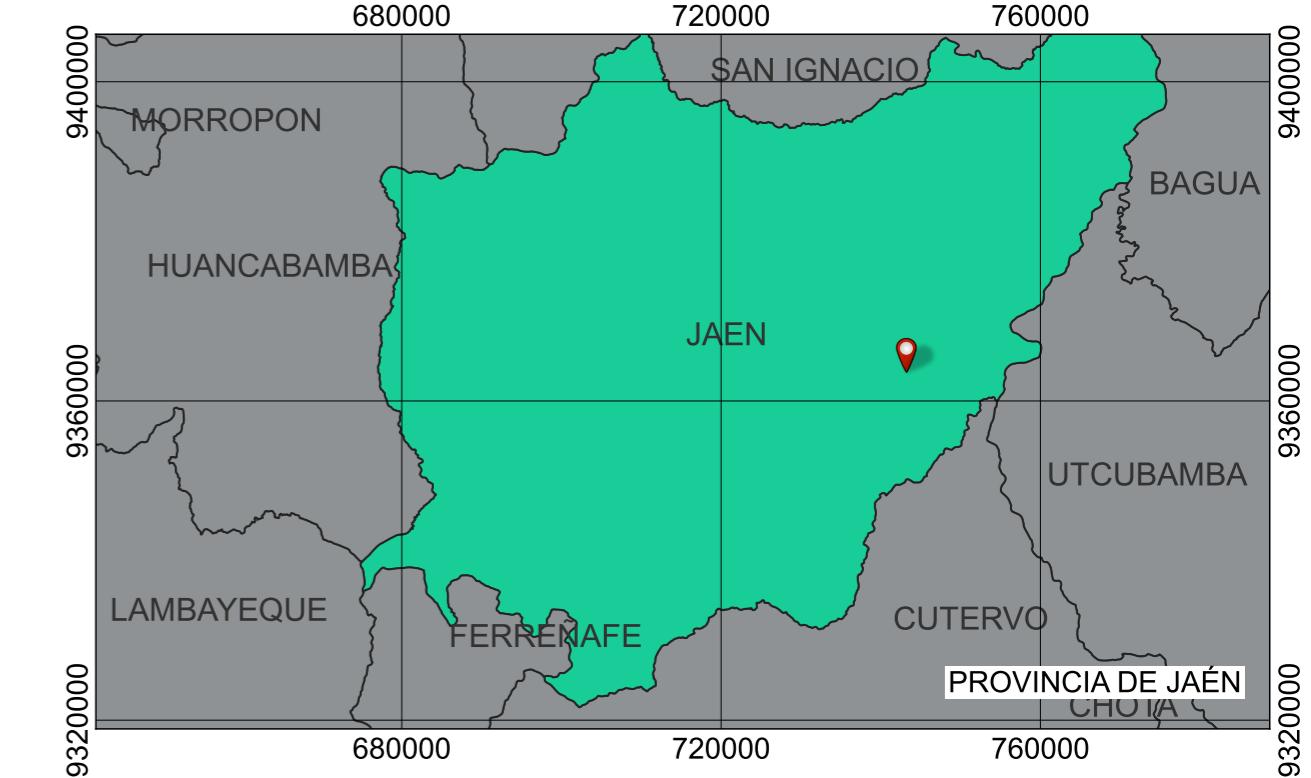
Parte Baja - Vista de la Zanora en la Prog 0+000 aprox.



## **ANEXO II:**

## **PLANOS**

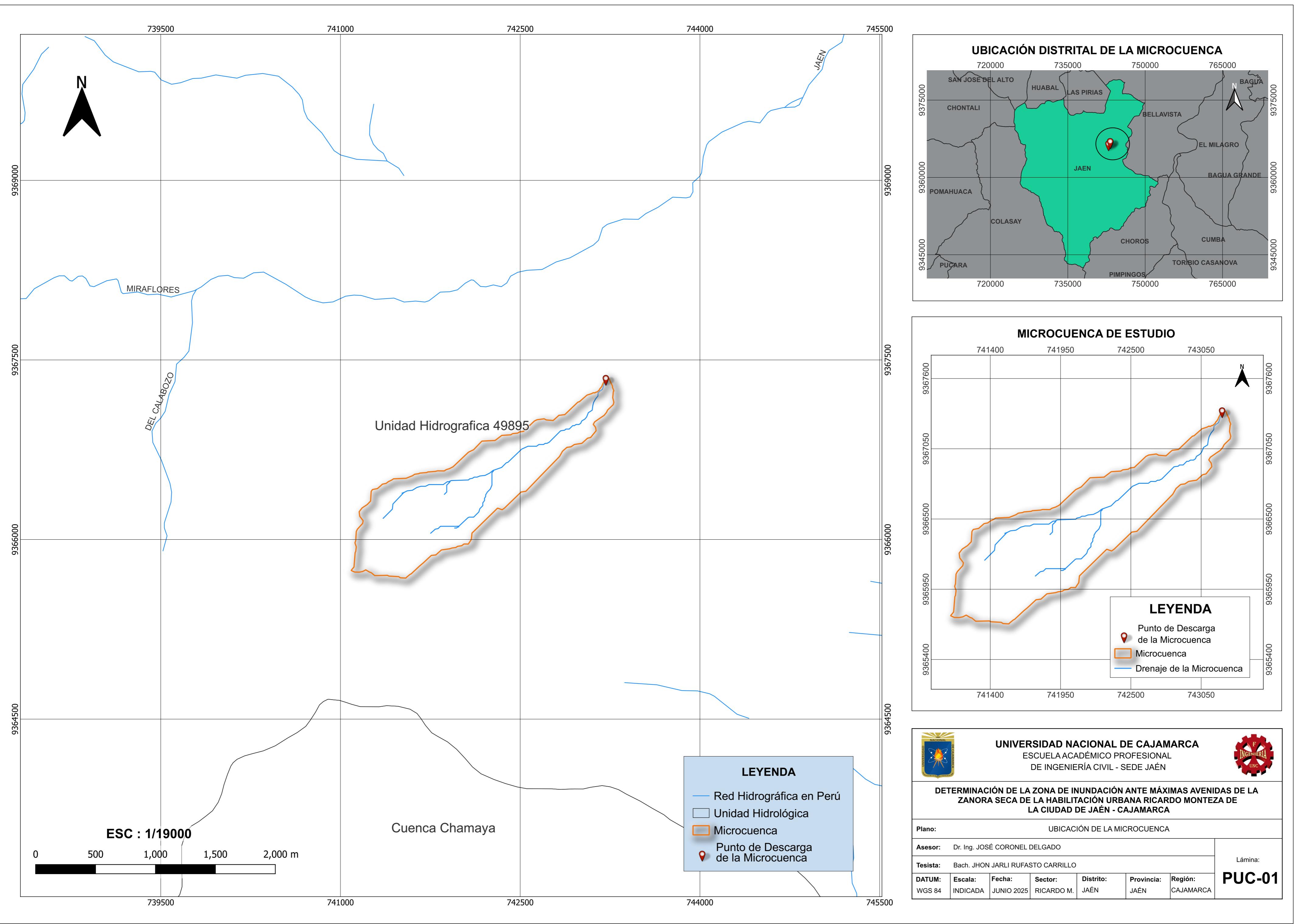


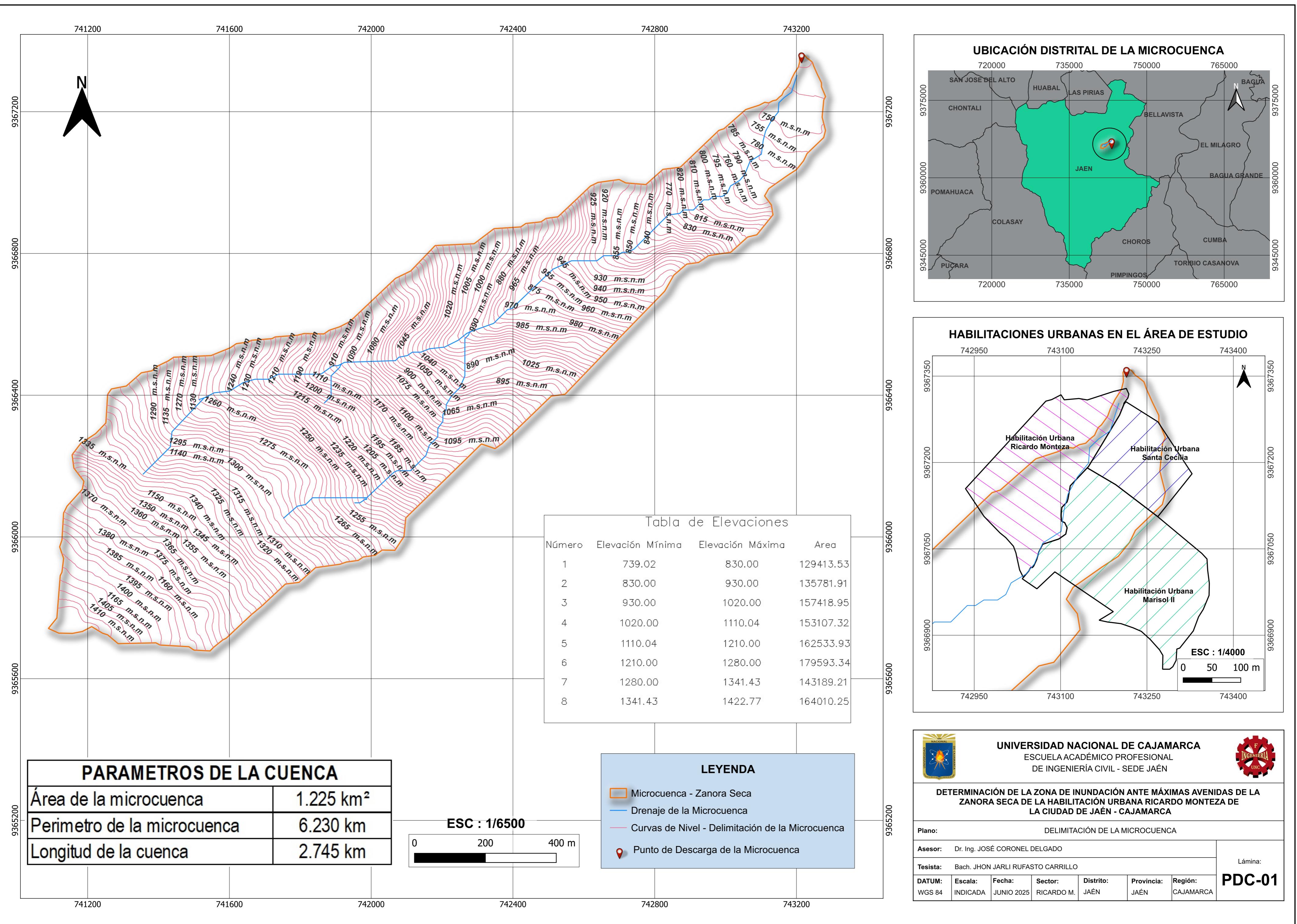


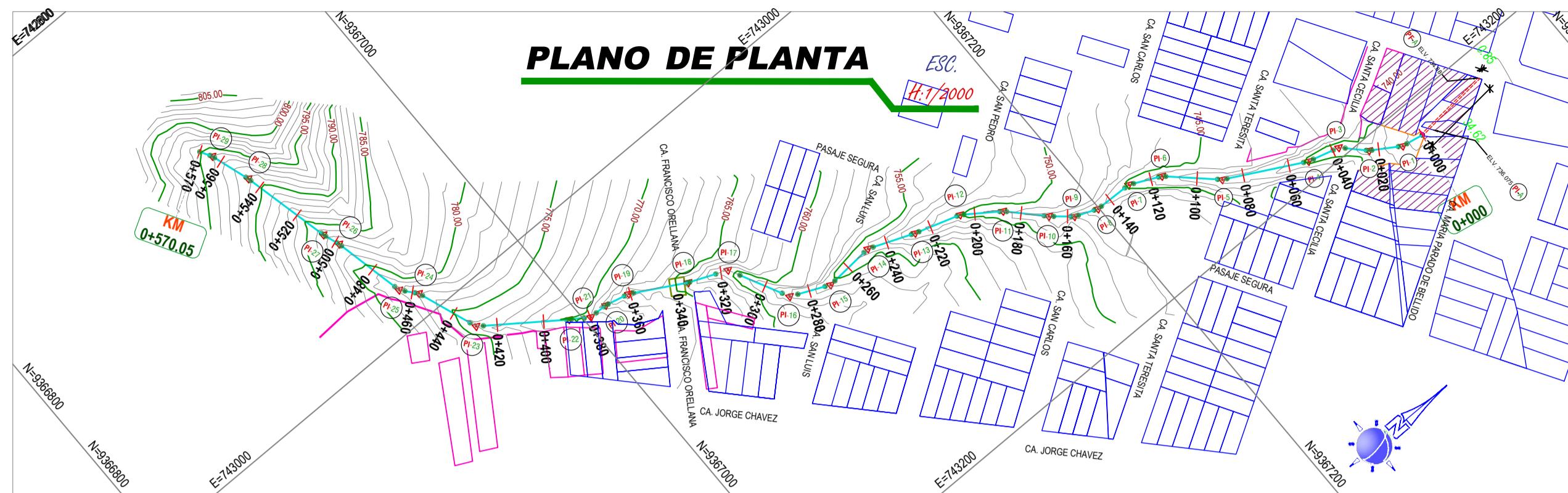
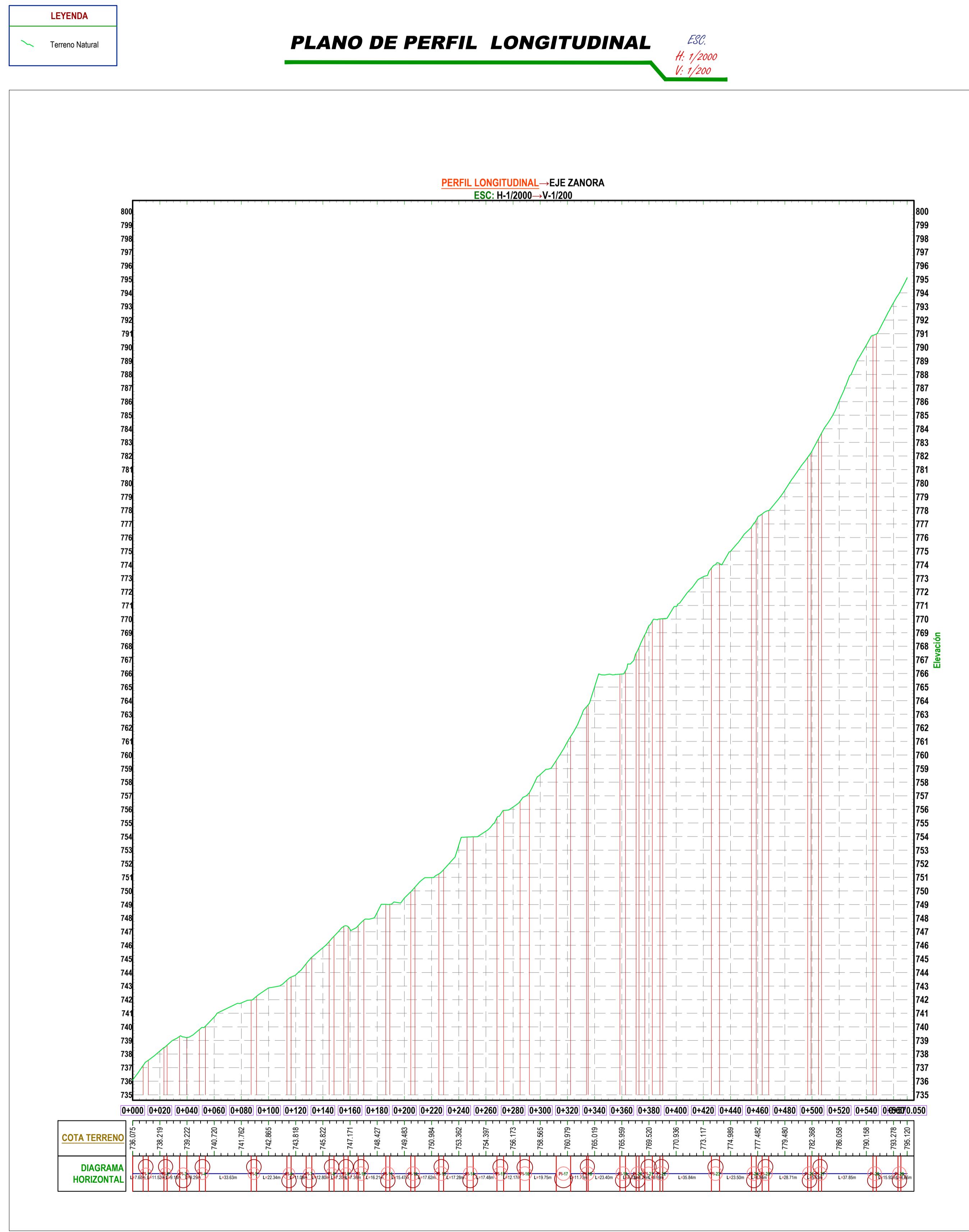
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN

**DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA**

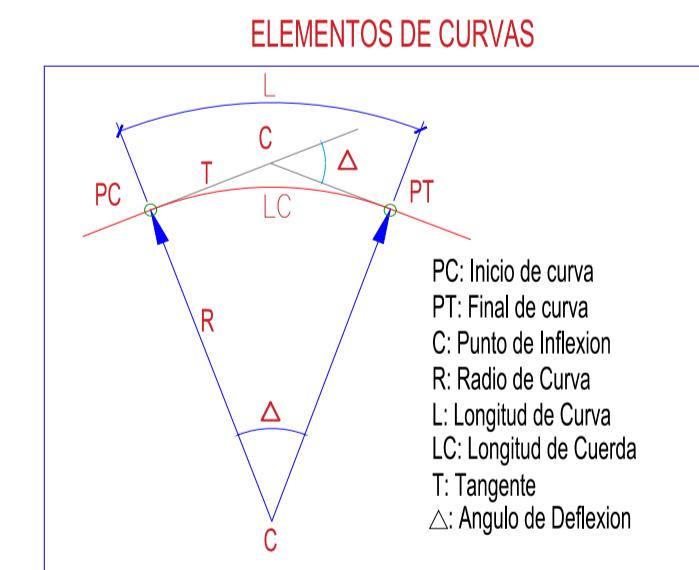
Plano:	UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN								
Asesor:	Dr. Ing. JOSÉ CORONEL DELGADO								
Tesista:	Bach. JHON JARLI RUFASO CARRILLO								
Escala:	INDICADA	Sector:	RICARDO M.	Distrito:	JAÉN	Provincia:	JAÉN	Región:	CAJAMARCA
Punto:	PU-02								



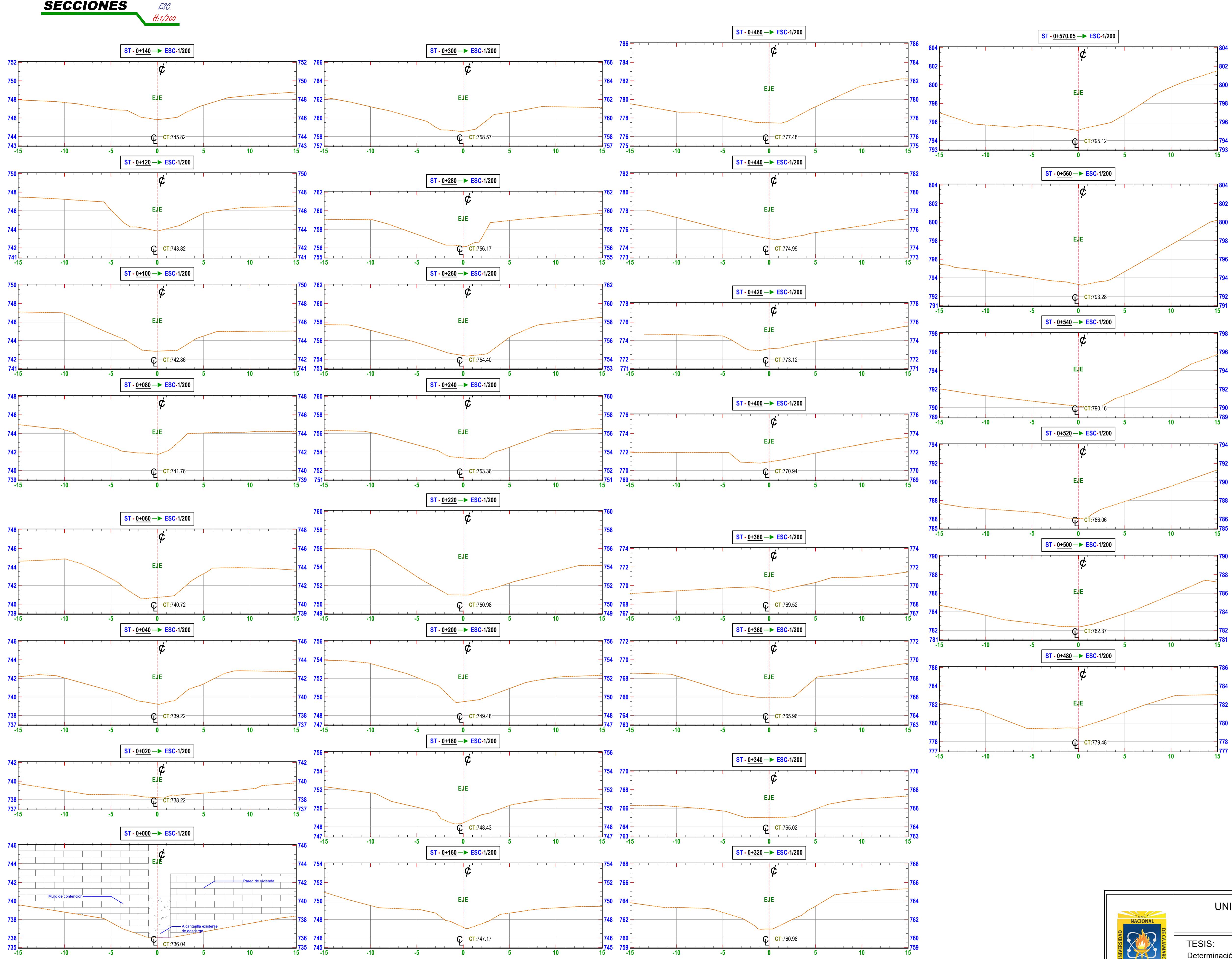




ELEMENTOS DE CURVA												
Nº	R	L	T	Δ	C	E	M	P.C.	P.T.	P.I. ESTE	P.I. NORTE	
PI-1	10.00	3.82	1.93	021°53'58"	3.80	0.19	0.18	0+007.68	0+011.50	743212.982	9367317.030	
PI-2	10.00	2.34	1.18	013°25'07"	2.34	0.07	0.07	0+023.02	0+025.36	743205.171	9367304.660	
PI-3	10.00	5.29	2.71	030°19'10"	5.23	0.36	0.35	0+034.53	0+039.82	743195.835	9367295.545	
PI-4	20.00	4.43	2.22	012°41'36"	4.42	0.12	0.12	0+049.11	0+053.54	743192.064	9367281.828	
PI-5	15.00	3.99	2.00	015°13'23"	3.97	0.13	0.13	0+087.17	0+091.16	743174.253	9367248.416	
PI-6	10.00	3.10	1.56	017°44'15"	3.08	0.12	0.12	0+113.50	0+116.60	743156.490	9367229.556	
PI-7	10.00	4.16	2.11	023°48'34"	4.13	0.22	0.22	0+127.69	0+131.85	743150.123	9367216.237	
PI-8	10.00	3.54	1.79	020°15'38"	3.52	0.16	0.16	0+144.64	0+148.18	743149.617	9367199.553	
PI-9	10.00	3.22	1.62	018°27'27"	3.21	0.13	0.13	0+155.38	0+158.60	743145.642	9367189.714	
PI-10	40.00	4.12	2.06	005°54'29"	4.12	0.05	0.05	0+165.98	0+170.11	743138.461	9367181.292	
PI-11	15.00	2.94	1.47	011°13'34"	2.93	0.07	0.07	0+186.31	0+189.25	743124.170	9367167.666	
PI-12	10.00	3.03	1.52	017°20'11"	3.01	0.12	0.11	0+204.72	0+207.74	743113.543	9367152.567	
PI-13	50.00	3.47	1.73	003°58'22"	3.47	0.03	0.03	0+225.36	0+228.83	743107.161	9367132.692	
PI-14	10.00	4.51	2.30	025°51'05"	4.47	0.26	0.25	0+246.11	0+250.62	743099.255	9367112.899	
PI-15	10.00	4.92	2.51	028°11'12"	4.87	0.31	0.30	0+268.10	0+273.02	743100.839	9367090.667	
PI-16	10.00	6.81	3.54	039°00'10"	6.68	0.61	0.57	0+285.19	0+292	743093.397	9367074.038	
PI-17	15.00	10.60	5.53	040°29'41"	10.38	0.99	0.93	0+311.75	0+322.35	743067.691	9367061.004	
PI-18	10.00	1.16	0.58	006°37'49"	1.16	0.02	0.02	0+334.08	0+335.24	743060.828	9367044.530	
PI-19	15.00	4.11	2.07	015°41'11"	4.09	0.14	0.14	0+358.63	0+362.74	743048.104	9367021.808	
PI-20	10.00	2.10	1.06	012°03'10"	2.10	0.06	0.06	0+370.56	0+372.67	743045.538	9367011.170	
PI-21	10.00	5.58	2.87	031°59'39"	5.51	0.40	0.39	0+376.92	0+382.51	743045.323	9367002.993	
PI-22	50.00	2.04	1.02	002°20'07"	2.04	0.01	0.01	0+388.10	0+390.13	743040.092	9366995.092	
PI-23	10.00	5.94	3.06	034°01'55"	5.85	0.46	0.44	0+425.97	0+431.91	743016.719	9366962.731	
PI-24	10.00	3.51	1.77	020°05'55"	3.49	0.16	0.15	0+455.42	0+458.92	742990.115	9366952.979	
PI-25	10.00	4.83	2.47	027°42'08"	4.79	0.30	0.29	0+463.29	0+468.12	742983.547	9366947.424	
PI-26	20.00	2.45	1.23	007°01'57"	2.45	0.04	0.04	0+496.84	0+499.29	742951.909	9366940.395	
PI-27	20.00	2.20	1.10	006°18'04"	2.20	0.03	0.03	0+504.82	0+507.02	742944.505	9366937.764	
PI-28	30.00	2.48	1.24	004°44'22"	2.48	0.03	0.03	0+544.87	0+547.35	742905.388	9366928.548	
PI-29	10.00	2.13	1.07	012°11'56"	2.13	0.06	0.06	0+563.26	0+565.39	742888.054	9366922.917	



## SECCIONES



## LEYENDA

Terreno Natural

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS:  
Determinación de la zona de inundación ante máximas avenidas de la  
zanora seca de la habilitación urbana Ricardo Montea de la ciudad de  
Jaén - Cajamarca

PLANO: Secciones Transversales

TESISTA:

Bach. Jhon Jarli Rufasto Carrillo

UBICACION:

Ricardo Montea

DATUM:

UTM - WGS84

ASESOR:

Dr. Ing. Jose Coronel Delgado

Sector

Jaén

Distrito

Jaén

Provincia

Cajamarca

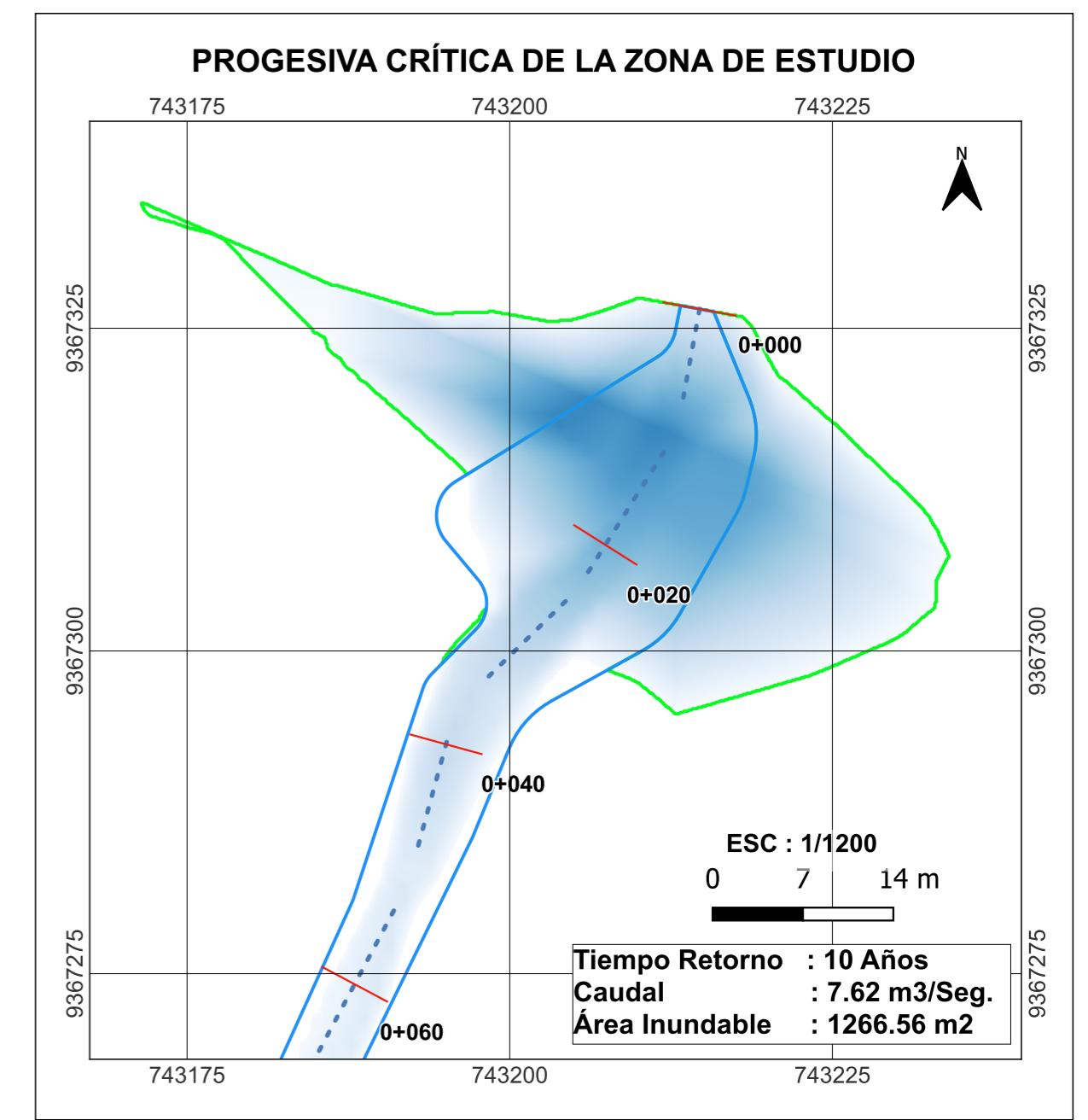
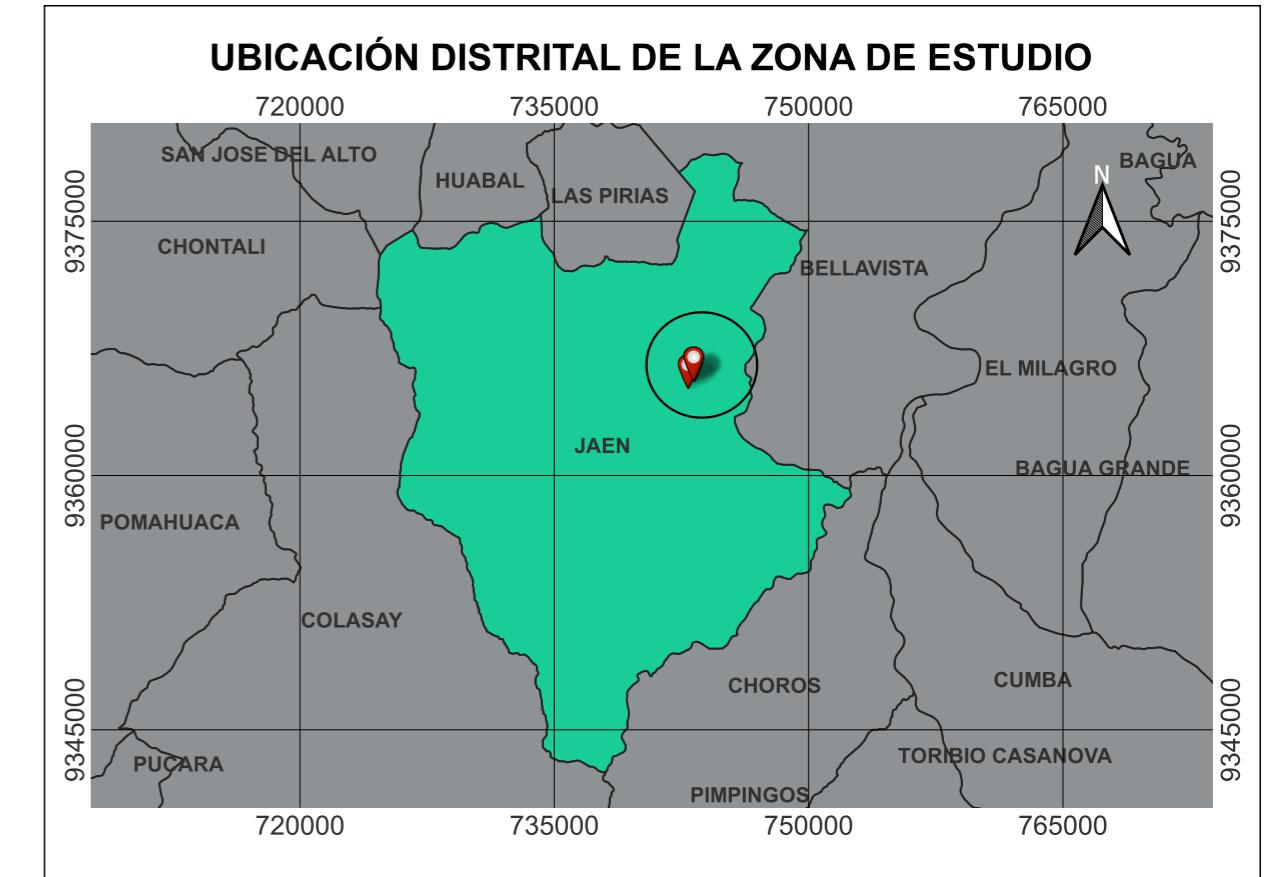
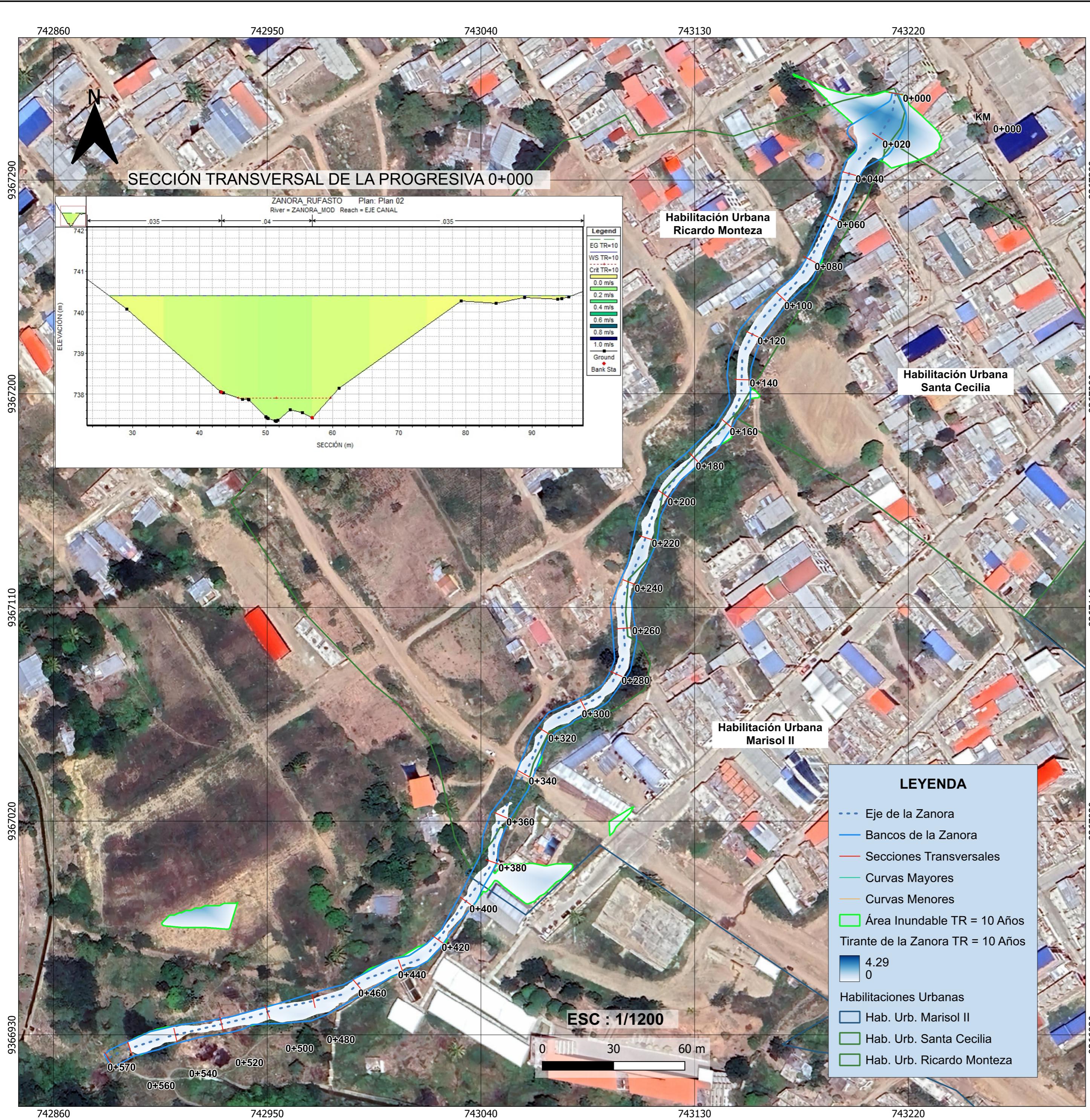
1:200

FECHA

Julio 2025



ST-01



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN

**DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA**

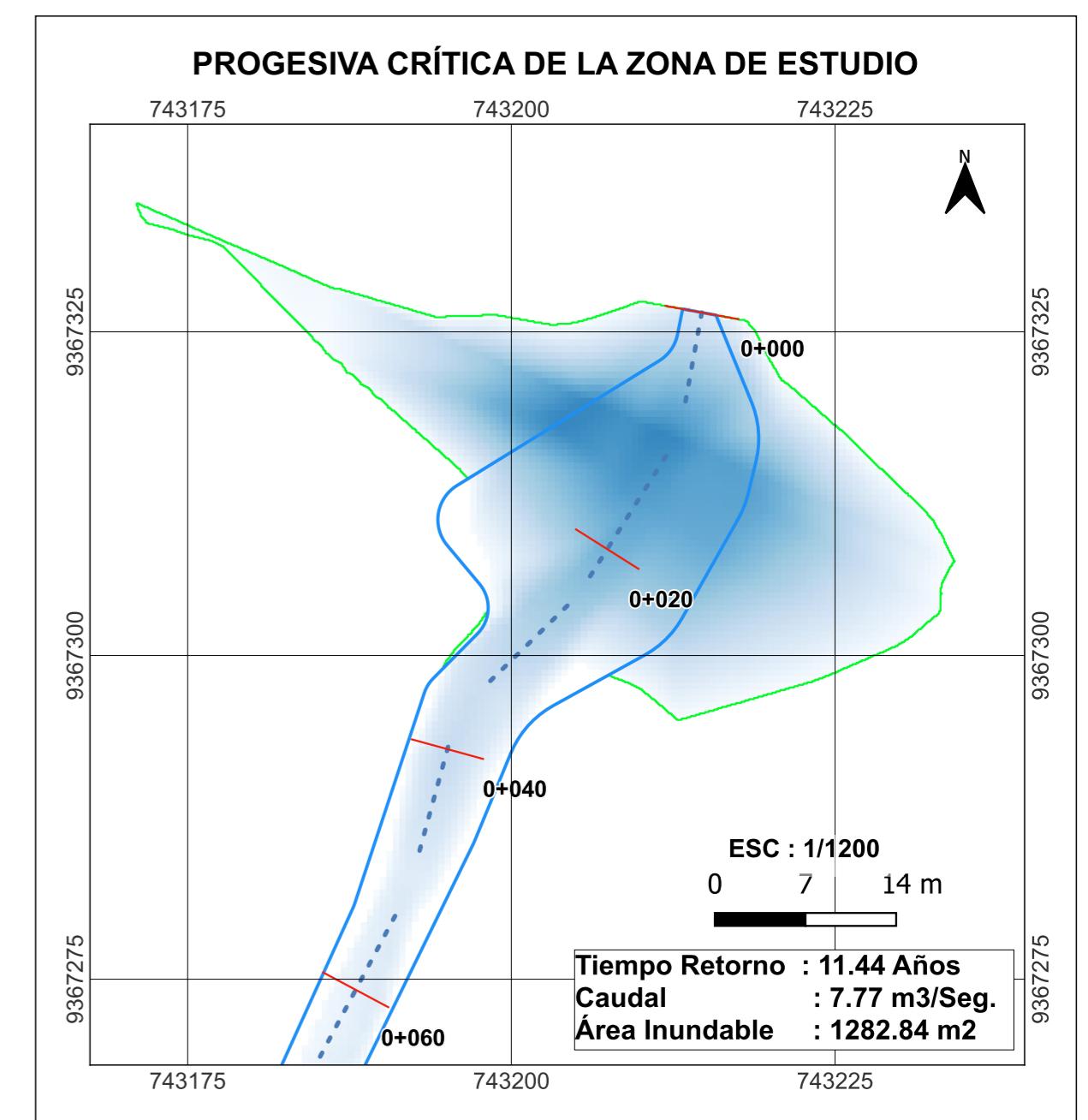
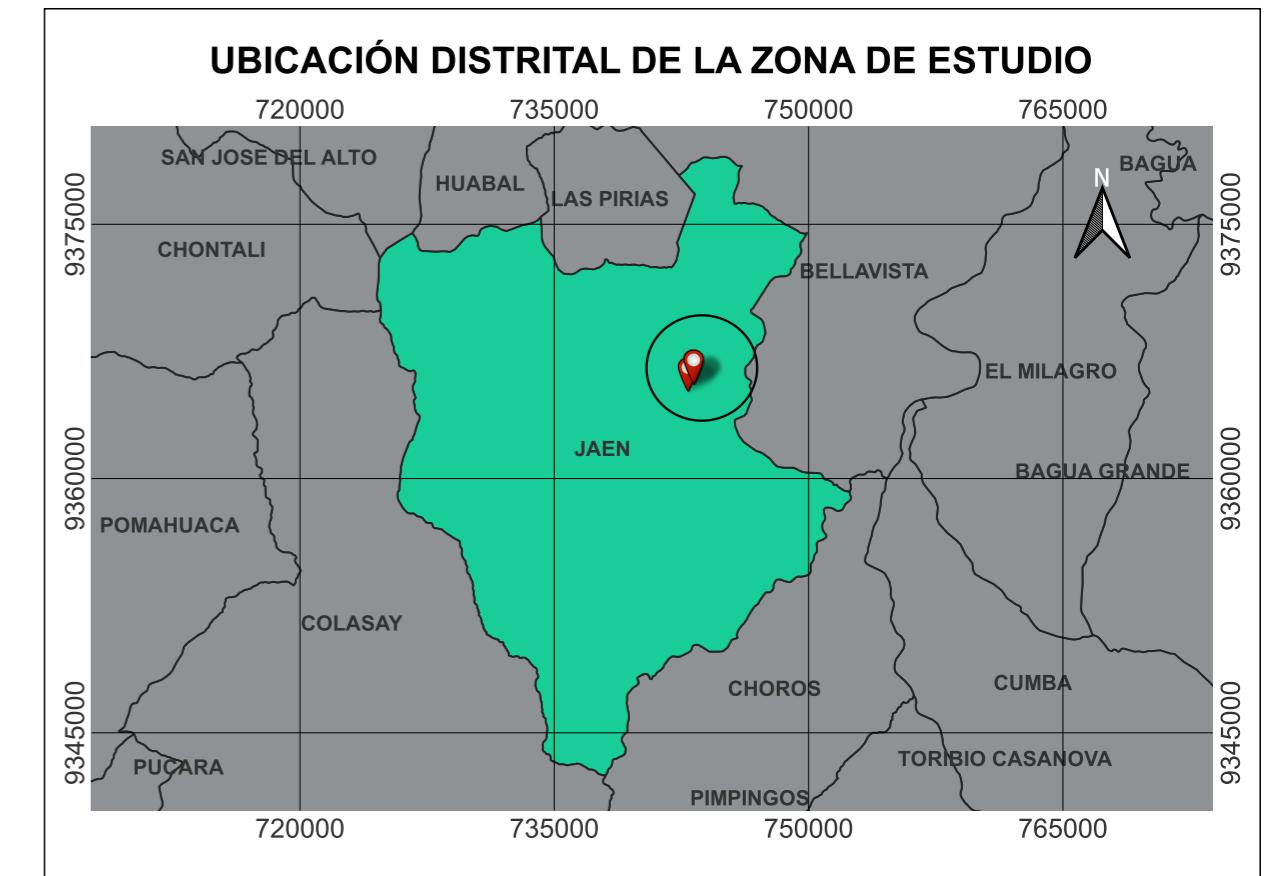
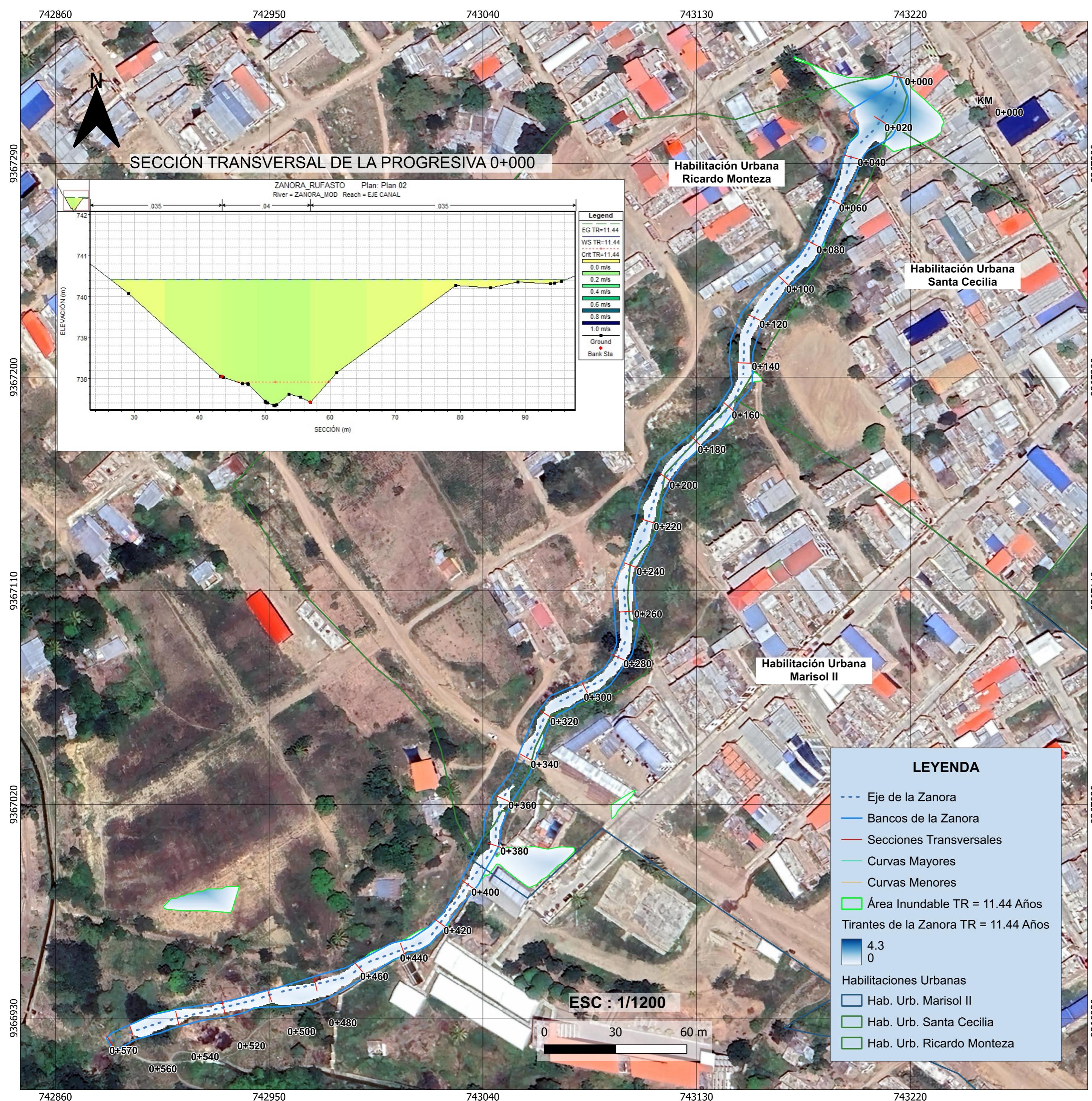
**Plano:** MODELAMIENTO CON HEC RAS - TR = 10 AÑOS

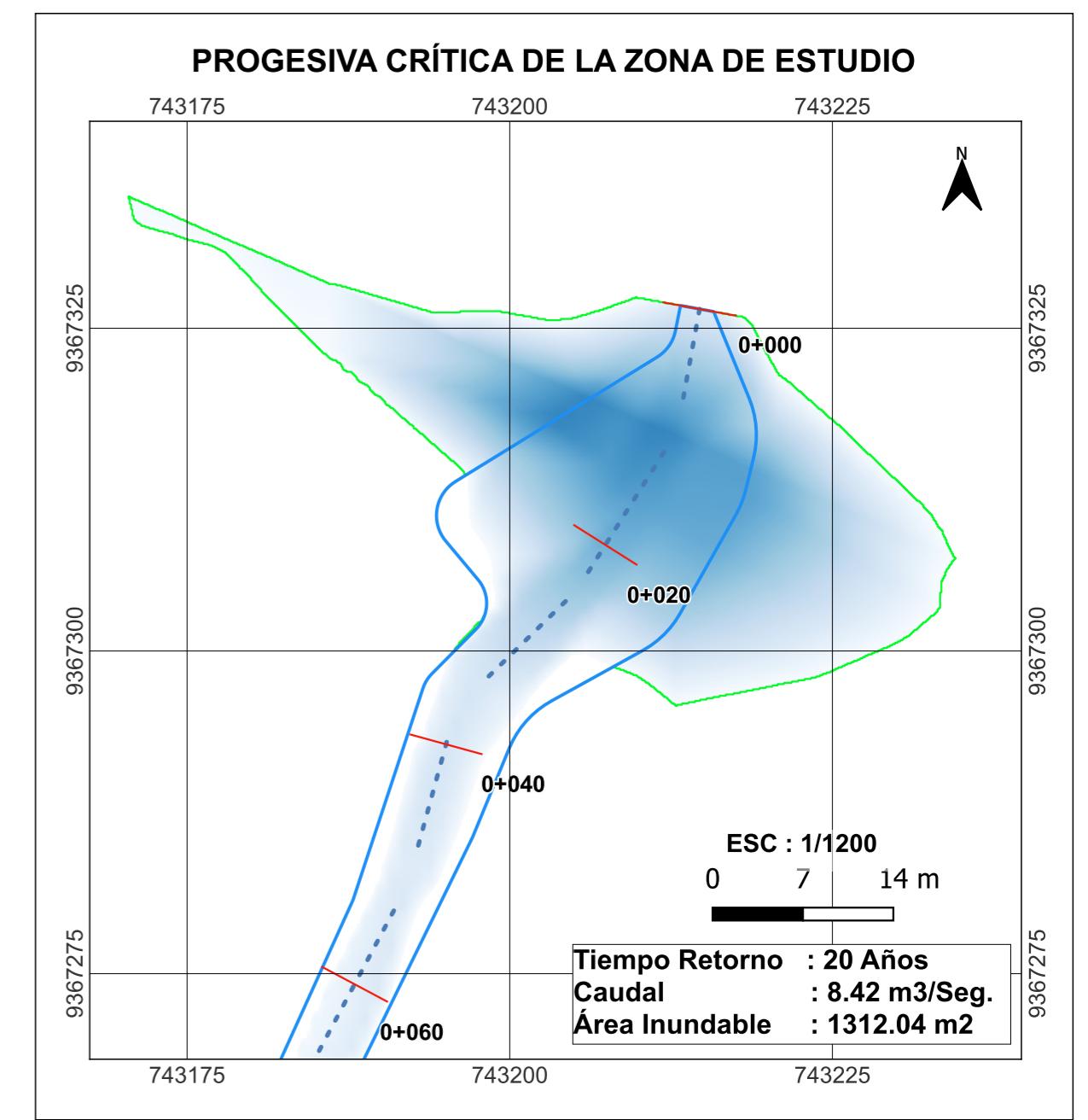
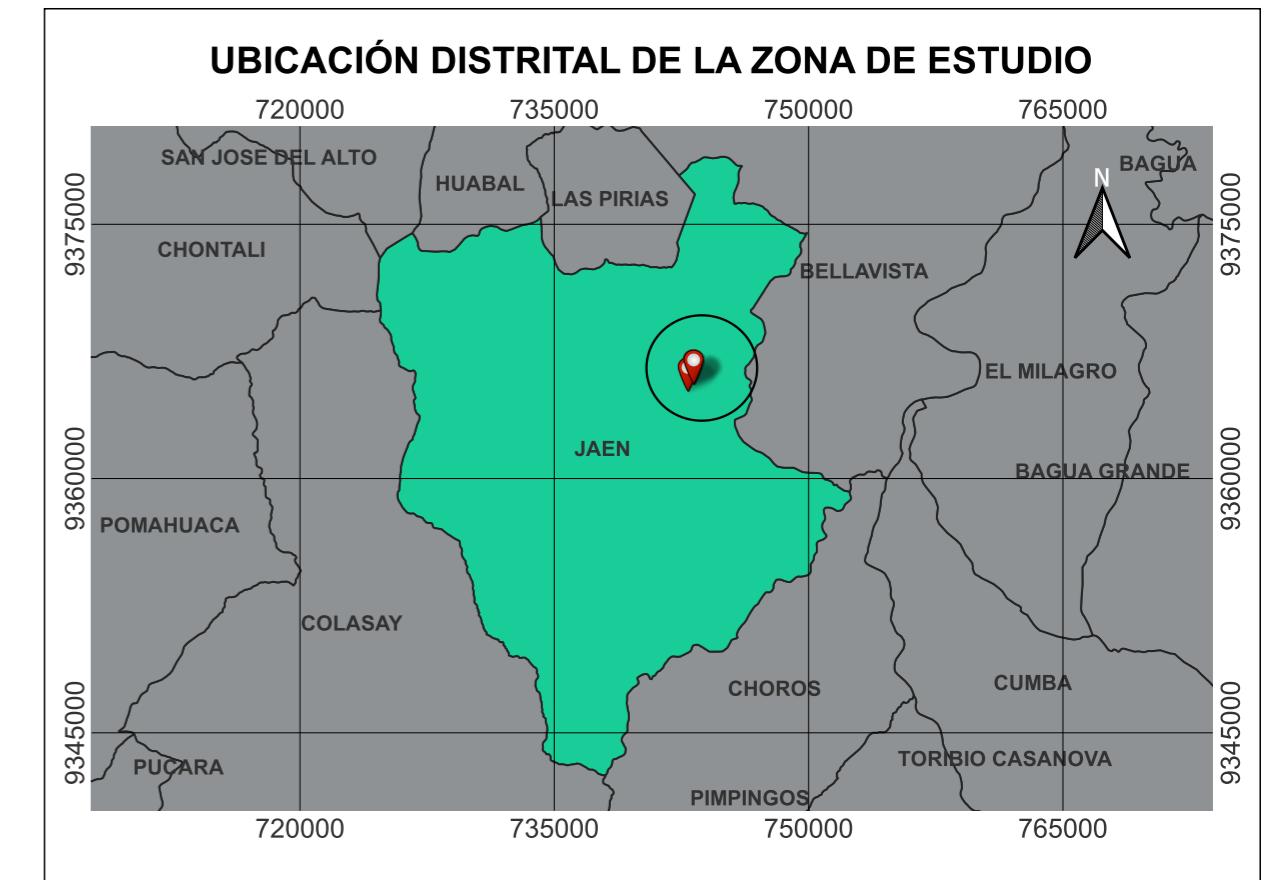
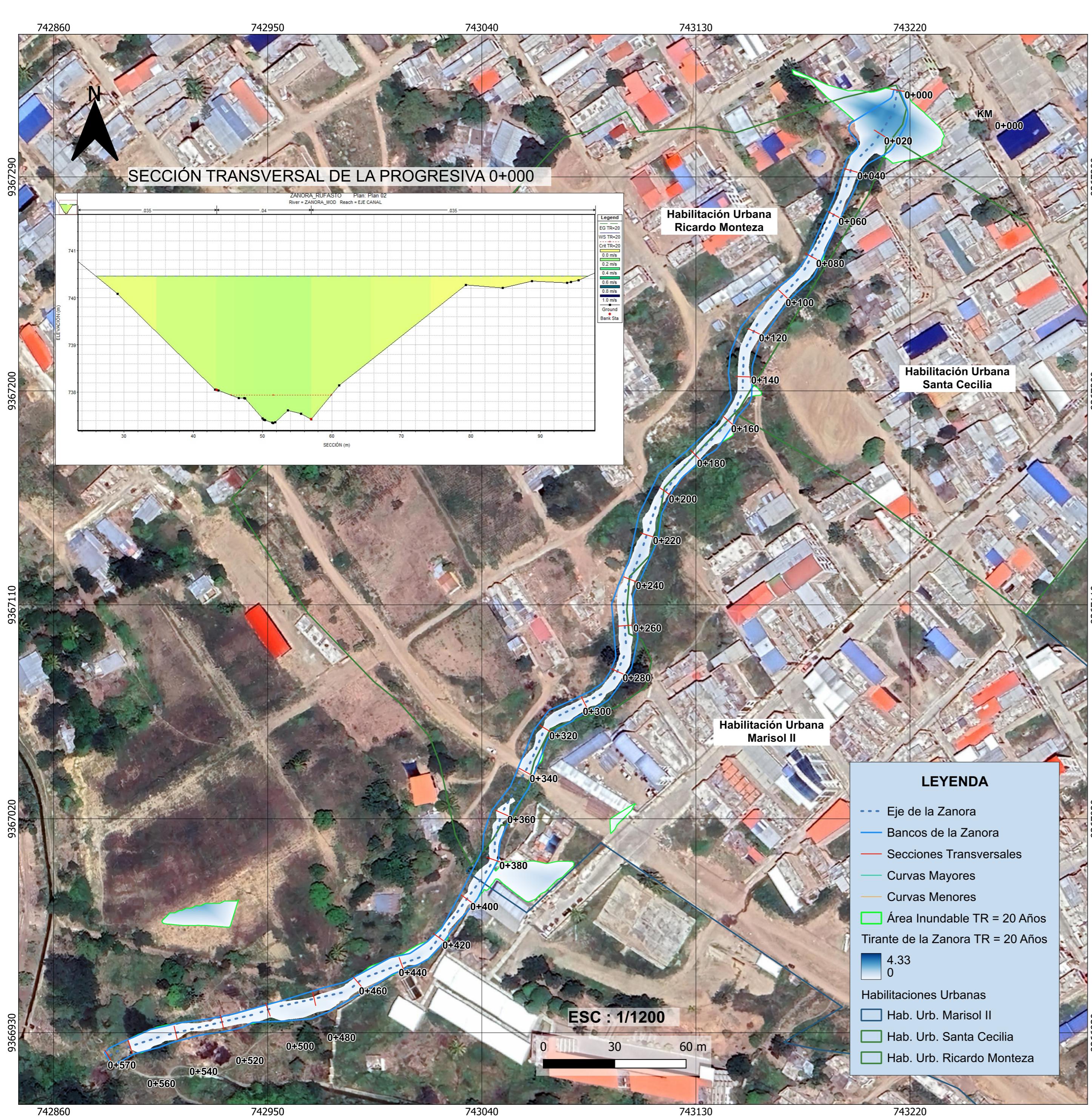
**Asesor:** Dr. Ing. JOSÉ CORONEL DELGADO

**Tesista:** Bach. JHON JARLI RUFASTO CARRILLO

**DATUM:** WGS 84   **Escala:** INDICADA   **Fecha:** JUNIO 2025   **Sector:** RICARDO M.   **Distrito:** JAÉN   **Provincia:** JAÉN   **Región:** CAJAMARCA

**Lámina:** MH-01





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA CIVIL - SEDE JAÉN

**DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE INUNDACIÓN ANTE MÁXIMAS AVENIDAS DE LA ZANORA SECA DE LA HABILITACIÓN URBANA RICARDO MONTEZA DE LA CIUDAD DE JAÉN - CAJAMARCA**

Plano: MODELAMIENTO CON HEC RAS - TR = 20 AÑOS

Asesor: Dr. Ing. JOSÉ CORONEL DELGADO

Tesista: Bach. JHON JARLI RUFASO CARRILLO

DATUM: WGS 84 Escala: INDICADA Fecha: JUNIO 2025 Sector: RICARDO M. Distrito: JAÉN Provincia: CAJAMARCA Región: MH-03

**Lámina:**



