



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN**  
**CONSTRUCCIONES**

**Estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de la quebrada**  
**“El Chorro” en el sector de Ucubamba**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**  
**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

**Autor:**

**XAVIER MARCELO ZAMBRANO VALDEZ**

**Director:**

**CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

**DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Marcelo y Ruth que han sido el soporte en cada etapa de mi vida, quienes con sus consejos me inspiran a luchar por mis metas; a mis hermanos Daniel y Juan José que con sus alegrías y apoyo me motivan día a día a seguir adelante y no darme por vencido.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, quiero agradecer a Dios que con su bendición y amor me ha dado las fuerzas para no rendirme y cumplir este sueño.

Agradecer a mis padres por todo el amor, el esfuerzo y paciencia, gracias por los valores que me han inculcado los cuales me ayudan día a día a mejorar como persona.

A mis hermanos, gracias por siempre estar a mi lado aconsejándome, por sus alegrías y apoyándome en todo momento.

A mis abuelos y familia en general por brindarme todo su cariño en esta etapa formativa.

También agradecer a la Universidad del Azuay, a sus docentes y especialmente a mi tutor, Ing. Javier Fernández de Córdova, por su paciencia, tiempo y conocimientos para poder cumplir esta meta.

**Estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de la quebrada “El Chorro” en el sector de Ucubamba**

**RESUMEN**

El proyecto consiste en realizar un estudio Hidrológico – Hidráulico de la quebrada “El Chorro” debido al incremento de caudal que se produce en la misma por las intensas lluvias. Se realiza una modelación tanto hidrológica como hidráulica, mediante los programas HEC-HMS y HEC-RAS, respectivamente. Para el estudio hidrológico también se utilizará el método racional para hallar los caudales máximos y compararlos con los del modelo HEC-HMS. Con estos estudios se pretende encontrar caudales máximos en distintos períodos de retorno y obtener los impactos que se podrían dar a lo largo del tramo.

**Palabras claves:** inundaciones, modelo hidrológico, modelo hidráulico, método racional, caudal máximo.



Ing. Javier Fernández de Córdova  
**Director de Tesis**



Ing. José Fernando Vázquez C.  
**Coordinador de Escuela**



Xavier Marcelo Zambrano Valdez  
**Autor**

**Hydrological - Hydraulic Research Study of a section of the “El Chorro” stream in the Ucubamba sector**

**ABSTRACT**

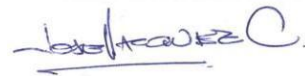
The project consists of performing a hydrological and hydraulic study of the “El Chorro” stream due to the increase in its flow rate caused by heavy rains. Both hydrological and hydraulic modeling using the HEC-HMS and HEC-RAS programs were performed respectively. For the hydrological study, the rational method was also used to find the maximum flow rates and compare them with those of the HEC-HMS model. These studies are intended to find maximum flow rates in different return periods and obtain the impacts that could occur along the study section.

**Keywords:** floods, hydrological model, hydraulic model, rational method, maximum flow.



Ing. Javier Fernández de Córdova W

**Thesis Director**



Ing. José Fernando Vázquez C.

**School Coordinator**

**Translated by**



Xavier Marcelo Zambrano Valdez

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>4</b>
<b>Ubicación e información disponible del proyecto .....</b>	<b>4</b>
1.1 Ubicación del proyecto .....	4
1.2 Información disponible .....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>Estudio Hidrológico .....</b>	<b>6</b>
2.1 Cuenca de la zona de estudio .....	6
2.2 Subcuencas de aporte en la zona de interés.....	8
2.3 Período de retorno .....	9
2.4 Tiempo de concentración .....	10
2.5 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia.....	11
2.5.1 Información INAMHI .....	11
2.5.2 Curvas IDF en la zona de proyecto .....	13
2.6 Hietograma de diseño .....	14
2.7 Uso del suelo: Metodología SCS y Número de Curva (NC).....	16
2.8 Hidrograma de diseño: Hidrograma unitario sintético del SCS .....	19
2.9 Modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS .....	20

2.9.1	Caudal base .....	21
2.9.2	Método Muskingum-Cunge (Cunge 1969) .....	22
2.9.3	Resultados de la modelación hidrológica.....	26
2.10	Método racional.....	30
2.10.1	Variables del método racional.....	31
2.10.2	Resultados del método racional .....	32
2.11	Análisis de resultados de caudales de diseño hallados por modelación en HEC-HMS y por el método racional .....	33
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>34</b>
<b>Estudio Hidráulico .....</b>		<b>34</b>
3.1	Modelación hidráulica .....	34
3.1.1	Tipos de modelos hidráulicos.....	34
3.1.2	Selección del modelo hidráulico .....	38
3.2	Modelo matemático HEC-RAS.....	38
3.3	Información topográfica .....	39
3.4	Parámetros hidráulicos .....	43
3.4.1	Número de Manning o coeficiente de rugosidad (n).....	43
3.4.2	Coeficientes de contracción y expansión .....	44
3.4.3	Condiciones de contorno.....	45
3.5	Resultados del modelo hidráulico HEC-RAS .....	45
3.5.1	Resultados numéricos de las simulaciones obtenidas en HEC-RAS .....	45
3.5.2	Nivel de agua en las secciones transversales .....	46
3.5.3	Nivel de agua en las estructuras .....	47
3.5.4	Perfil longitudinal de la quebrada del tramo de estudio para los niveles de avenida.....	49
3.5.5	Manchas de inundación.....	51
3.6	Análisis de impacto .....	59
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>61</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Características de la cuenca de la quebrada “El Chorro” .....	7
Tabla 2.2. Características de las subcuencas de aporte.....	9
Tabla 2.3. Cálculo del Tiempo de concentración de la cuenca de estudio como una sola unidad hidrológica.....	10
Tabla 2.4. Cálculo del Tiempo de Concentración de las subcuencas de aporte.....	11
Tabla 2.5. Ecuaciones IDF para la estación Ricaurte M0426. ....	13
Tabla 2.6. Método del Bloque alterno para un TR=100 años .....	15
Tabla 2.7. Área de cobertura vegetal (ha).....	18
Tabla 2.8. Resultados de los números de curva ponderado para las subcuencas de aporte .....	19
Tabla 2.9. Tiempo de retardo para las subcuencas de aporte.....	20
Tabla 2.10. Caudal Base asumido para las subcuencas de aporte.....	22
Tabla 2.11. Valores asumidos para el tránsito de avenidas para los distintos tramos.....	23
Tabla 2.12. Coeficientes de Rugosidad de corrientes naturales y planicies de inundación .....	25
Tabla 2.13. Caudales máximos a la salida de la cuenca de interés para distintos períodos de retorno, mediante modelación HEC-HMS .....	30
Tabla 2.14. Áreas de los diferentes usos de suelo de la cuenca de interés.....	31
Tabla 2.15. Parámetros calculados del método racional.....	32
Tabla 2.16. Caudales máximos a la salida de la cuenca de interés para distintos períodos de retorno, mediante el método racional.....	32
Tabla 2.17 Resumen de los caudales máximos de salida obtenidos por la modelación HEC-HMS y por el método racional.....	33
Tabla 3.1 Software comercial para modelación hidráulica de ríos (Pender, G. 2006) ....	36
Tabla 3.2 Tabla numérica de resultados de la simulación hidráulica, correspondiente a la sección 150.....	46



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la zona del estudio .....	<b>4</b>
Figura 2.1 Ubicación de la cuenca de la zona de estudio.....	<b>7</b>
Figura 2.2. Subcuencas de aporte.....	<b>8</b>
Figura 2.3. Ubicación de la estación pluviográfica de Ricaurte M0426.....	<b>12</b>
Figura 2.4 Curvas IDF para la subcuenca de la quebrada “El Chorro” .....	<b>14</b>
Figura 2.5 Hietograma de precipitación de diseño para TR= 100 años, en la cuenca de la quebrada “El Chorro” .....	<b>16</b>
Figura 2.6. Mapa de uso de suelo de la cuenca de la quebrada “El Chorro” .....	<b>17</b>
Figura 2.7. Modelo HEC-HMS de la cuenca del tramo de estudio.....	<b>21</b>
Figura 2.8. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 2 años).....	<b>27</b>
Figura 2.9. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 5 años).....	<b>27</b>
Figura 2.10. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 10 años) ....	<b>28</b>
Figura 2.11. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 25 años) ....	<b>28</b>
Figura 2.12. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 50 años) ....	<b>29</b>
Figura 2.13. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 100 años) ..	<b>29</b>
Figura 3.1. Topografía del tramo de estudio, entregada por el municipio de Cuenca .....	<b>40</b>
Figura 3.2. Secciones con poca información transversal .....	<b>40</b>
Figura 3.3. Vista en planta de los perfiles transversales a lo largo del tramo de estudio, en HEC-RAS.....	<b>41</b>
Figura 3.4. Implementación de perfil transversal con delimitación de márgenes.....	<b>42</b>
Figura 3.5. Perfil del puente en HEC-RAS .....	<b>42</b>
Figura 3.6. Perfil de alcantarilla en HEC-RAS.....	<b>43</b>

Figura 3.7. Sección 150 con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años.....	46
Figura 3.8. Puente con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas arriba .....	47
Figura 3.9. Puente con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas abajo.....	48
Figura 3.10. Alcantarilla con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas arriba .....	48
Figura 3.11. Alcantarilla con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas abajo .....	49
Figura 3.12. Resultados a lo largo del perfil longitudinal de la quebrada del tramo de estudio para los niveles de avenida .....	50
Figura 3.13. Vista en planta de los perfiles transversales a lo largo del tramo de estudio, en ArcGis. ....	52
Figura 3.14. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=2$ Años ( $Q = 5.41 m^3/s$ ) .....	53
Figura 3.15. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=5$ Años ( $Q = 8.27 m^3/s$ ) .....	54
Figura 3.16. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=10$ Años ( $Q = 10.94 m^3/s$ ).....	55
Figura 3.17. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=25$ Años ( $Q = 15.12 m^3/s$ ).....	56
Figura 3.18. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=50$ Años ( $Q = 18.94 m^3/s$ ).....	57
Figura 3.19. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de $Tr=100$ Años ( $Q = 23.84 m^3/s$ ).....	58

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Curvas IDF- Hietograma (Estación Ricaurte M0426) .....	63
Anexo 2: Áreas de cobertura vegetal y Cálculo del número de curva ponderado .....	68
Anexo 3: Cálculo del caudal máximo por el método racional .....	74
Anexo 4: Resultados numéricos obtenidos en la modelación HEC-RAS.....	76
Anexo 5: Secciones transversales (HEC-RAS) .....	88

**Estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de la quebrada “El chorro” en el sector de Ucubamba**

**INTRODUCCIÓN**

Las inundaciones han sido un problema a lo largo del tiempo, en distintas partes del mundo, no siendo la excepción en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Estas inundaciones se producen por distintos factores, que pueden ser: por desbordamientos de ríos o quebradas, lluvias torrenciales, deshielos, subidas de mareas, entre otros.

Estas inundaciones suelen generar ciertos inconvenientes, sobre todo si éstas se producen en zonas pobladas, llegando a ocasionar daños materiales e incluso pérdidas humanas.

El comportamiento tanto hidrológico como hidráulico de distintos tipos de ríos o quebradas, se los puede determinar estudiando las precipitaciones que se originen a lo largo del año.

Tanto los modelos hidrológicos como los hidráulicos son herramientas de gran importancia en la ingeniería para el estudio de inundaciones para tomar decisiones y ejecutar acciones, dichos modelos permite conocer el comportamiento de una avenida dentro de un cauce de un río y los impactos que se pueden llegar a generar a zonas aledañas al río.

La quebrada “El Chorro”, con una longitud total de 2,704 Km se encuentra ubicada en Molino Pamba, en la parroquia Ricaurte de la ciudad de Cuenca, Ecuador; su desembocadura es en el río Cuenca a la altura del sector de Ucubamba.

Un tramo de la quebrada que se encuentra ubicada en el sector de Ucubamba, ha ocasionado molestias a los moradores adyacentes a la misma, causando inundaciones y desbordamientos, cuando ocurren eventuales crecidas de caudal al generarse intensas precipitaciones en este sector.

Esta quebrada carece de estudios Hidrológicos – Hidráulicos, que permitan conocer los impactos que se pueden llegar a generar en la zona, los cuales afectan a los moradores de la misma, cuando se originan grandes avenidas de caudal, debido a las

precipitaciones que ocurren en el área donde se encuentra situada la quebrada. Debido a esta problemática se realiza este estudio en donde se aplicarán modelaciones hidrológicas e hidráulicas.

Para el presente estudio se utilizan los softwares HEC-HMS y HEC-RAS para las simulaciones hidrológicas e hidráulicas, respectivamente. Como un complemento del análisis hidrológico se utilizará el método racional para hallar los caudales máximos de diseño y compararlos con los resultados obtenidos en la modelación HEC-HMS.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Elaborar un estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de 363 metros de la quebrada “El Chorro” hasta su desembocadura en el río Cuenca, en el cual se realizarán modelaciones tanto hidrológicas como hidráulicas (1D), y de esta manera encontrar los caudales máximos en períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años; y hallar los impactos que se podrían generar a lo largo del tramo de estudio.

### Objetivos específicos

- Recopilar información necesaria para realizar las respectivas modelaciones.
- Obtener los caudales máximos, en distintos períodos de retorno, mediante el software HEC-HMS, el método racional y comparar los resultados.
- Elaborar el modelo hidráulico y correr con los hidrogramas de caudal máximo para diferentes períodos de retorno.
- Determinar los impactos generados en el tramo de estudio, con los resultados obtenidos por las distintas simulaciones.

## CAPÍTULO I

### Ubicación e información disponible del proyecto

#### 1.1 Ubicación del proyecto

La zona del estudio corresponde al tramo de la quebrada “El Chorro” comprendida entre una sección aguas arriba del puente ubicado en la Panamericana Norte, sector Ucubamba, punto de coordenadas UTM WGS84 zona 17S: 727899.00 E, 9681847.00 S, hasta la desembocadura en el río Cuenca, punto de coordenadas UTM WGS84 zona 17S: 728164.00 E, 9681893.00 S, con una longitud de 363 metros. Se encuentra dentro del sector urbano de la ciudad, es un área poblada tipo residencial (Figura 1.1).

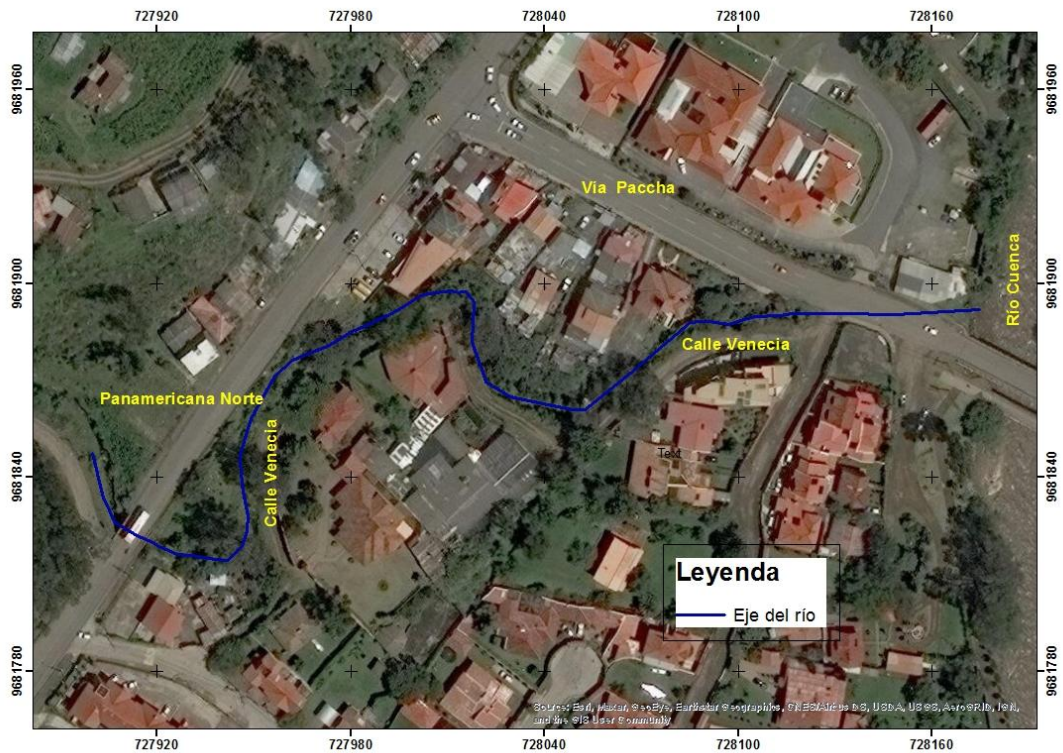


Figura 1.1. Ubicación de la zona del estudio

Fuente: Autor

## **1.2 Información disponible**

Con anterioridad al estudio, se realizó la recopilación de información técnica para el tramo de estudio.

La topografía del área estudiada fue entregada por el Municipio de Cuenca. De igual manera ETAPA EP, facilitó el Modelo Digital de Elevaciones de la zona de estudio.

Se cuenta con el mapa de uso y cobertura del suelo del SIG Tierras 2010 proporcionado por el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) de la Universidad del Azuay, el cual sirvió para calcular los números de curvas requeridos para la obtención de caudales de diseño, en el estudio hidrológico.

También se tiene la información hidrometeorológica del INAMHI, utilizada para hallar los caudales de diseño.

Para completar la información topográfica entregada por el Municipio de Cuenca se realizó el levantamiento en campo de las márgenes de inundación de algunas secciones transversales que son necesarias para el estudio.



## CAPÍTULO II

### Estudio Hidrológico

El propósito del estudio hidrológico es determinar los caudales máximos de avenida a partir de precipitaciones máximas y las características del territorio, para distintos períodos de retorno en la zona de interés.

Con la información disponible, se realizó el estudio hidrológico mediante dos métodos:

1. Con la información disponible del INAMHI de su estudio “Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación”, la información obtenida del mapa de uso y cobertura del suelo facilitada por el IERSE y con el modelo digital del elevaciones brindada por ETAPA EP; es posible la obtención de los caudales máximos mediante una modelación Hidrológica a través del software HEC-HMS.
2. Con el análisis del mapa de uso y cobertura del suelo brindada por el IERSE del SIG Tierras 2010, con la información de las características de la subcuenca de la quebrada que se tiene a través de visitas al campo y del modelo digital del terreno facilitado por ETAPA EP se obtienen los caudales máximos mediante el método racional.

#### 2.1 Cuenca de la zona de estudio

Mediante el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la zona de estudio, se procedió a generar la cuenca de la quebrada “El Chorro” del área de estudio (Figura 2.1).

Este MDE permite conocer las características y parámetros del terreno de interés (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Características de la cuenca de la quebrada “El Chorro”

Subcuenca	Área (ha)	Perímetro (m)	Cota mínima (ms.n.m)	Cota máxima (ms.n.m)	Desnivel (m)	Longitud del cauce principal (m)	Longitud desde el punto hidráulicamente más lejano de la subcuenca hasta la salida de la misma (LH) (m)
El Chorro	256.38	12204	2405.25	2624.30	219.05	2704.56	4408.28

Fuente: Autor

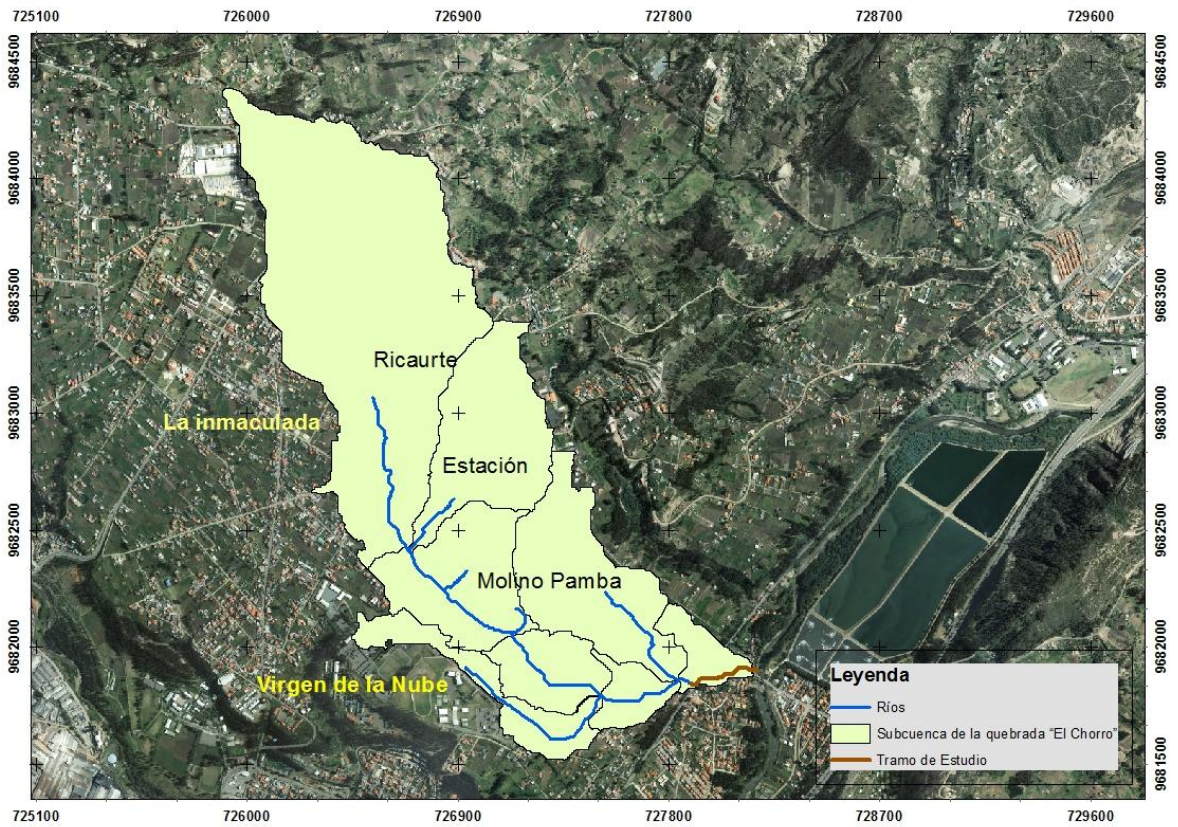


Figura 2.1 Ubicación de la cuenca de la zona de estudio

Fuente: Autor

### 2.2 Subcuencas de aporte en la zona de interés

La cuenca de la quebrada “El Chorro”, cuenta con varias quebradas que aportan al cauce principal, para la modelación en HEC-HMS, se consideraron 8 subcuencas (Figura 2.2) cuyas características se detallan en la Tabla 2.2.

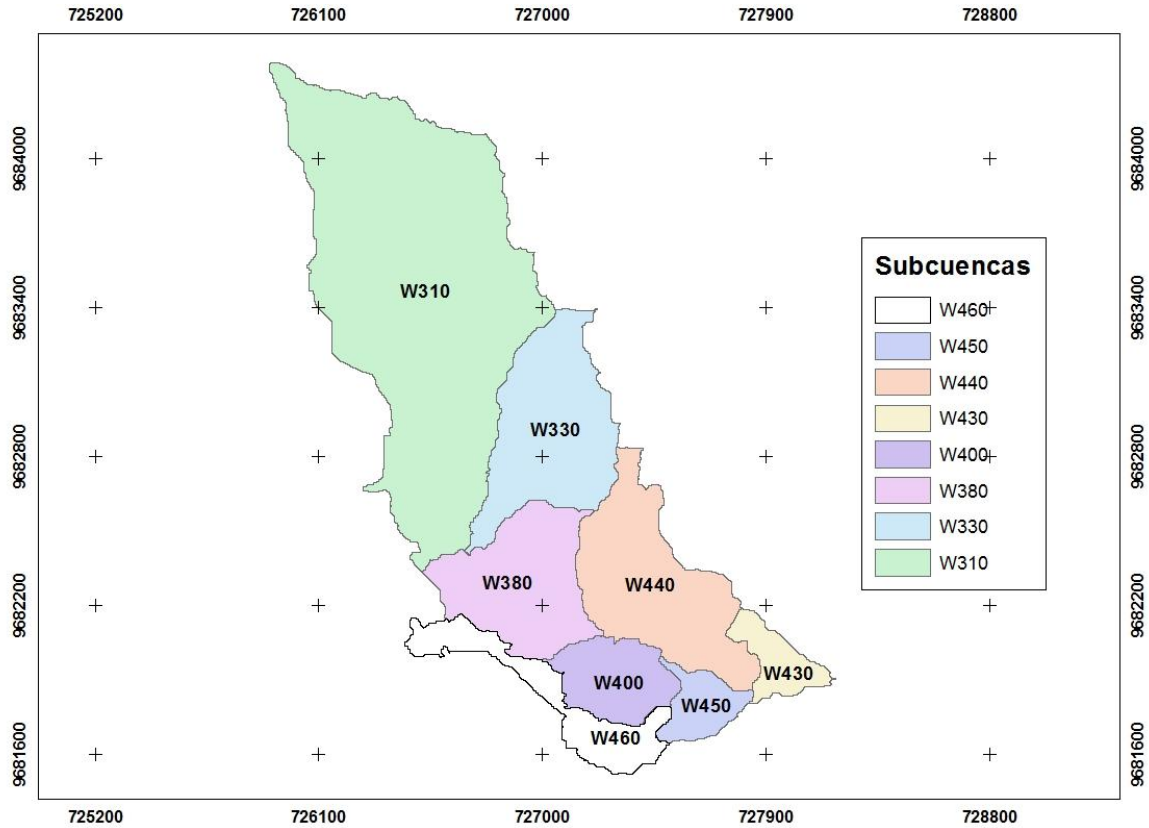


Figura 2.2. Subcuencas de aporte

Fuente: Autor

Tabla 2.2. Características de las subcuencas de aporte

Subcuenca	Área (ha)	Perímetro (m)	Cota mínima (ms.n.m)	Cota máxima (ms.n.m)	Desnivel (m)	Longitud del cauce principal (m)	Longitud desde el punto hidráulicamente más lejano de la subcuenca hasta la salida de la misma (LH) (m)
W310	118.88	7398	2497.31	2624.30	126.99	787.74	2491.46
W330	33.504	3744	2497.31	2574.43	77.12	338.04	1366.98
W380	27.28	3186	2467.98	2532.91	64.93	611.29	1008.85
W400	13.289	2052	2455.01	2510.33	55.32	528.80	683.23
W430	7.02	1854	2405.25	2479.87	74.37	388.75	601.92
W440	34.196	3990	2426.66	2535.42	108.76	575.66	1378.90
W450	7.227	2112	2426.66	2454.80	28.14	387.98	387.98
W460	14.979	4236	2454.80	2514.19	59.39	829.98	1427.80

Fuente: Autor

### 2.3 Período de retorno

El período de retorno es la frecuencia con la que se presenta un evento como lo son las lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, entre otros (Bello Mendoza y Velázquez Juárez, 2012).

El período de retorno también se conoce como intervalo de recurrencia y es un estimado de la probabilidad de un evento, en este caso de precipitación. El período de retorno es la inversa de la probabilidad que el evento sea excedido en un año determinado (Ecuación 1).

Una inundación de 50 años no quiere decir que ocurra regularmente cada 50 años o una vez cada 50 años. En un periodo de 50 años, la inundación de 50 años puede ocurrir una vez, dos veces o más.

$$TR = \frac{1}{1-P} \tag{Ecuación 1}$$

Donde:

TR= Período de retorno (años)

P es la probabilidad de que el valor no sea igualado o no excedido.

Para el presente estudio, se trabajó con periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

**2.4 Tiempo de concentración**

Es el tiempo que requiere una gota para recorrer una cuenca, desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de dicha cuenca. Con este tiempo se considera que toda la cuenca contribuye a la salida.

Existen algunos métodos para el cálculo del tiempo de concentración, para el presente estudio se trabajó con el método de Kirpich (1940), modificándola a unidades métricas (Ecuación 2), por lo tanto:

$$tc = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

tc= tiempo de concentración (min)

L= Longitud desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. (m)

S= Pendiente promedio de la cuenca. (m/m)

Tabla 2.3. Cálculo del Tiempo de concentración de la cuenca de estudio como una sola unidad hidrológica

Longitud desde el punto hidráulicamente más lejano de la cuenca hasta la salida de la misma (LH) (m)	Pendiente $(\frac{Desnivel}{LH})$	Tiempo de concentración (TC) (min)
4408.28	0.0497	40

Fuente: Autor

Tabla 2.4. Cálculo del Tiempo de Concentración de las subcuencas de aporte

Subcuenca	Longitud desde el punto hidráulicamente más lejano de la subcuenca hasta la salida de la misma (LH) (m)	Pendiente $\left(\frac{Desnivel}{LH}\right)$	Tiempo de concentración (TC) (min)
W310	2491.46	0.05097	25.25
W330	1366.98	0.056416	15.30
W380	1008.85	0.06436	11.51
W400	683.23	0.080968	7.80
W430	601.92	0.12397	6.01
W440	1378.90	0.078875	13.54
W450	387.98	0.07253	5.27
W460	1427.80	0.041595	17.79

Fuente: Autor

## 2.5 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Las curvas intensidad duración frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. Para determinar estas curvas IDF se debe tener datos pluviográficos de la zona de estudio y seleccionar la precipitación más intensa de diferentes duraciones en cada año con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú., s.f., p.34)

La elaboración de las curvas intensidad - duración - frecuencia, para la zona de interés del presente estudio se obtuvo directamente del estudio actualizado de lluvias intensas realizadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), del año 2015.

### 2.5.1 Información INAMHI

El INAMHI está a cargo de distintas estaciones pluviográficas en Ecuador, por lo que cuenta con un gran número de información tanto meteorológica como hidrológica a nivel nacional. Con la información base de estas estaciones el INAMHI ha generado distintos modelos de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación para estas estaciones.



Una de las estaciones del INAMHI, la M0426 se encuentra localizada en Ricaurte (Latitud: 728036.42, Longitud: 9684691.55), cuya ubicación se detalla en la figura 2.3.

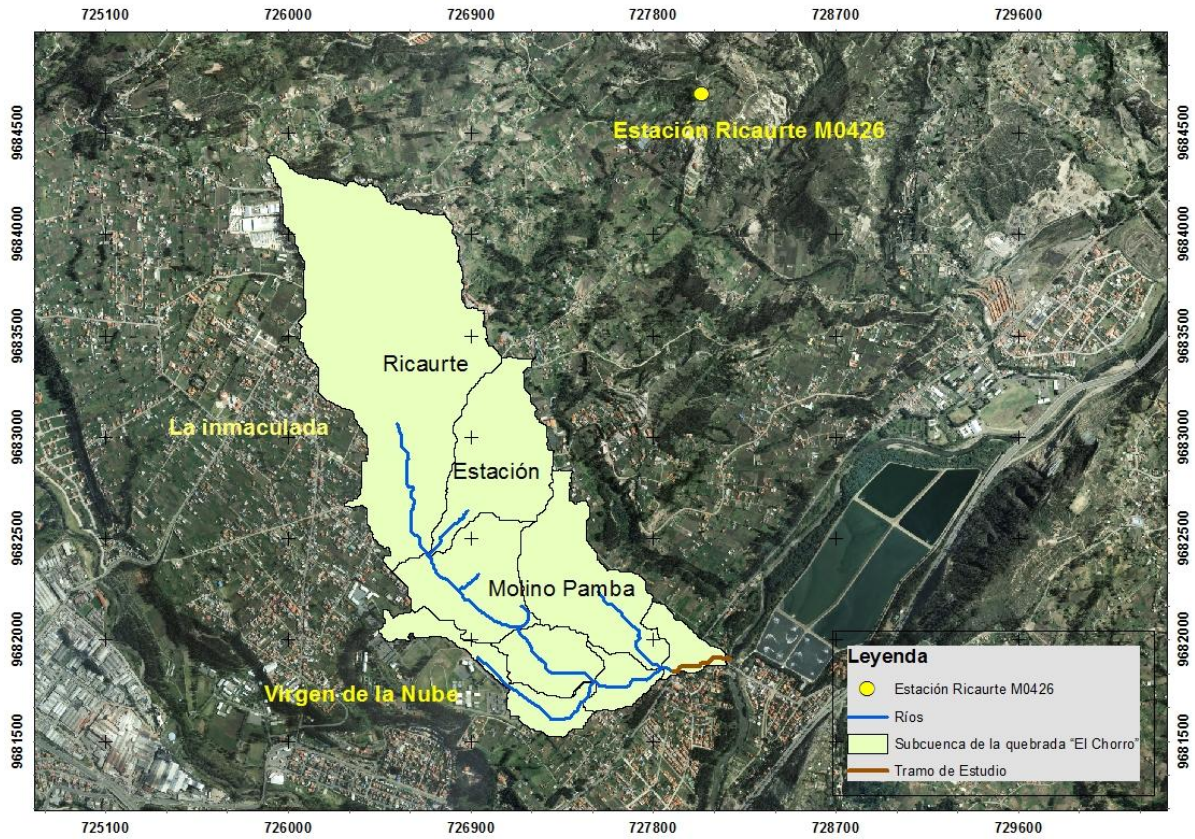


Figura 2.3. Ubicación de la estación pluviográfica de Ricaurte M0426

Fuente: Autor

Tabla 2.5. Ecuaciones IDF para la estación Ricaurte M0426.

Estación		Intervalo de tiempo	Ecuaciones
Código	Nombre	(minutos)	
M0426	Ricaurte	5<30	$i = 175.7083 * T^{0.1881} * t^{-0.4578}$
		30<120	$i = 529.6950 * T^{0.1728} * t^{-0.7781}$
		120<1440	$i = 1044.2776 * T^{0.1648} * t^{-0.9050}$

Fuente: INAMHI

De donde:

 $i$  = Intensidad (mm/h) $T$  = Periodo de retorno (años) $t$  = Tiempo de duración (minutos)

### 2.5.2 Curvas IDF en la zona de proyecto

Para el presente estudio se seleccionó la estación de Ricaurte M0426, como la representativa de la cuenca del proyecto, por lo que la obtención de las curvas IDF se las realizó mediante las fórmulas de la Tabla 2.5, pertenecientes a la estación de Ricaurte.

Para la construcción de las curvas IDF se disgregó el evento cada 10 minutos hasta los 90 minutos debido a que el tiempo de concentración de las distintas subcuencas de aporte es menor a ese tiempo (1 hora con 30 minutos) (Figura 2.4), con esto se asegura obtener el caudal máximo para la subcuenca de estudio (Coello G., 2015).

El cálculo de las curvas IDF para el presente estudio se lo puede observar detalladamente en el *cuadro 1 del Anexo 1*.



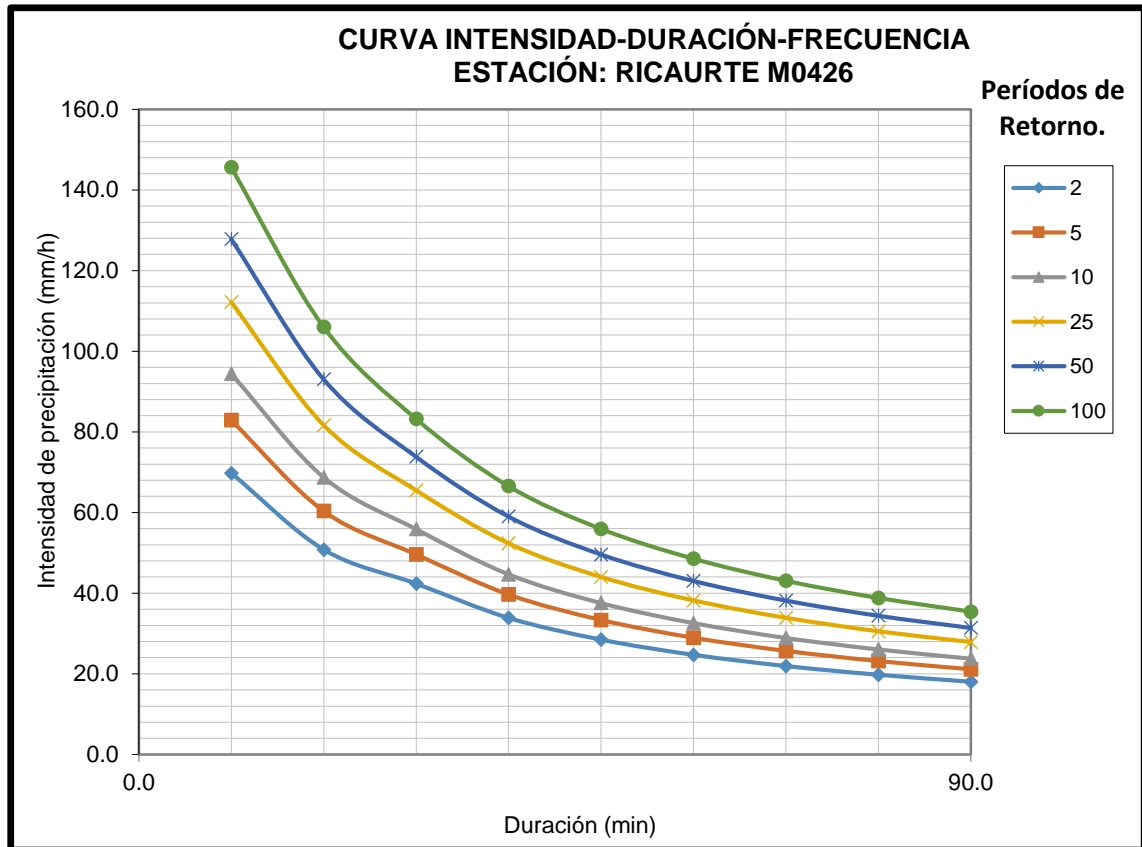


Figura 2.4 Curvas IDF para la subcuenca de la quebrada “El Chorro”  
Fuente: Autor

## 2.6 Hietograma de diseño

Para la construcción del hietograma se aplican las curvas IDF de la figura 2.4, dicho hietograma se elaboró con el método de bloques alternos.

El método de bloques alternos consiste en reordenar en una secuencia temporal de modo que se coloca la máxima precipitación para una duración específica en el centro del hietograma y se alterna el resto de valores de precipitación en orden descendente entre derecha e izquierda.

Para considerar la duración total del evento de diseño según Coello G. (2015), el caudal máximo en un río se produce cuando la precipitación es constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración de cada subcuenca. Por esto, tomando el valor del tiempo de concentración de la Tabla 2.3, se construye un hietograma para una duración de 40 minutos.

El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en (n) intervalos de tiempo sucesivos de duración  $\Delta t$ , sobre una duración total  $T_d = n \cdot \Delta t$ . Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $4\Delta t$ ,..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo  $\Delta t$ . (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú., s.f., p.41). Estos incrementos o bloques se reordenan en la secuencia temporal antes mencionada.

De esta manera se procedió a elaborar los hietogramas de diseño para los distintos períodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años), los valores de los hietogramas obtenidos se presentan en la hoja de cálculo en el *cuadro 2 del Anexo 1*, un detalle de estos resultados se los visualiza en la tabla 2.6 y en la figura 2.5.

Tabla 2.6. Método del Bloque alterno para un TR=100 años

Duración min	Intensidad mm/hr	Profundidad acumulada mm	Profundidad incremental mm	Tiempo min	Precipitación mm
5	199.9879409	16.66566174	16.66566174	0-5	1.295072545
10	145.6103604	24.26839341	7.602731663	5-10	1.730306549
15	120.9421538	30.23553845	5.967145046	10-15	5.103887464
20	106.0182777	35.33942592	5.103887464	15-20	7.602731663
25	95.72278837	39.88449515	4.545069236	20-25	16.66566174
30	83.2296034	41.6148017	1.730306549	25-30	5.967145046
35	73.82212258	43.06290484	1.448103139	30-35	4.545069236
40	66.53696608	44.35797739	1.295072545	35-40	1.448103139

Fuente: Autor

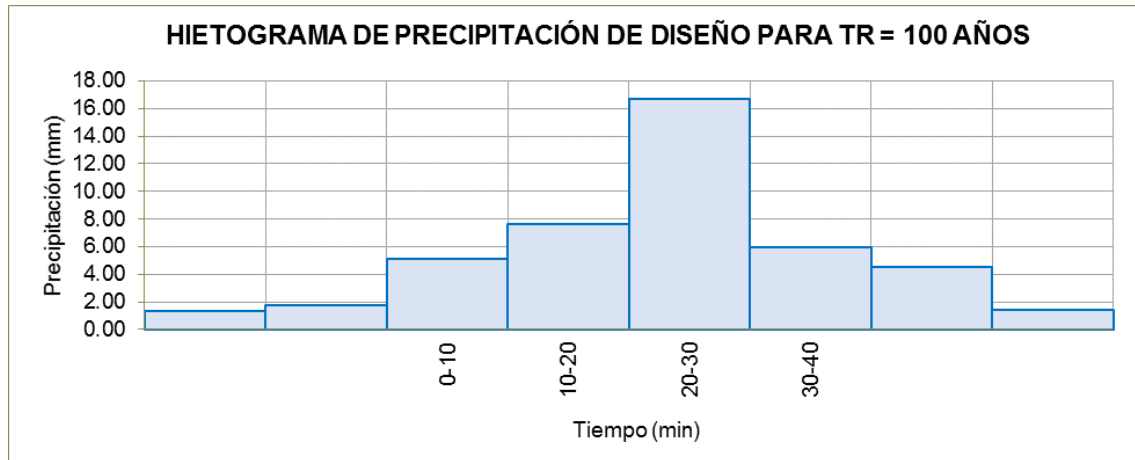


Figura 2.5 Hietograma de precipitación de diseño para TR= 100 años, en la cuenca de la quebrada “El Chorro”

Fuente: Autor

## 2.7 Uso del suelo: Metodología SCS y Número de Curva (NC)

El método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (S.C.S), actualmente Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), es una metodología utilizada para determinar la escorrentía generada por una tormenta. La aprobación de este método se basa en su simplicidad y en la facilidad de su uso en las cuencas que disponen de información hidrometeorológica (Consulproy, 2016).

Para determinar los factores de escorrentía, importantes para el cálculo del caudal máximo, se utilizó el mapa de uso de suelo de la subcuenca de la quebrada “El Chorro”, información proporcionada por el IERSE del SigTierras 2010 (Figura 2.6).

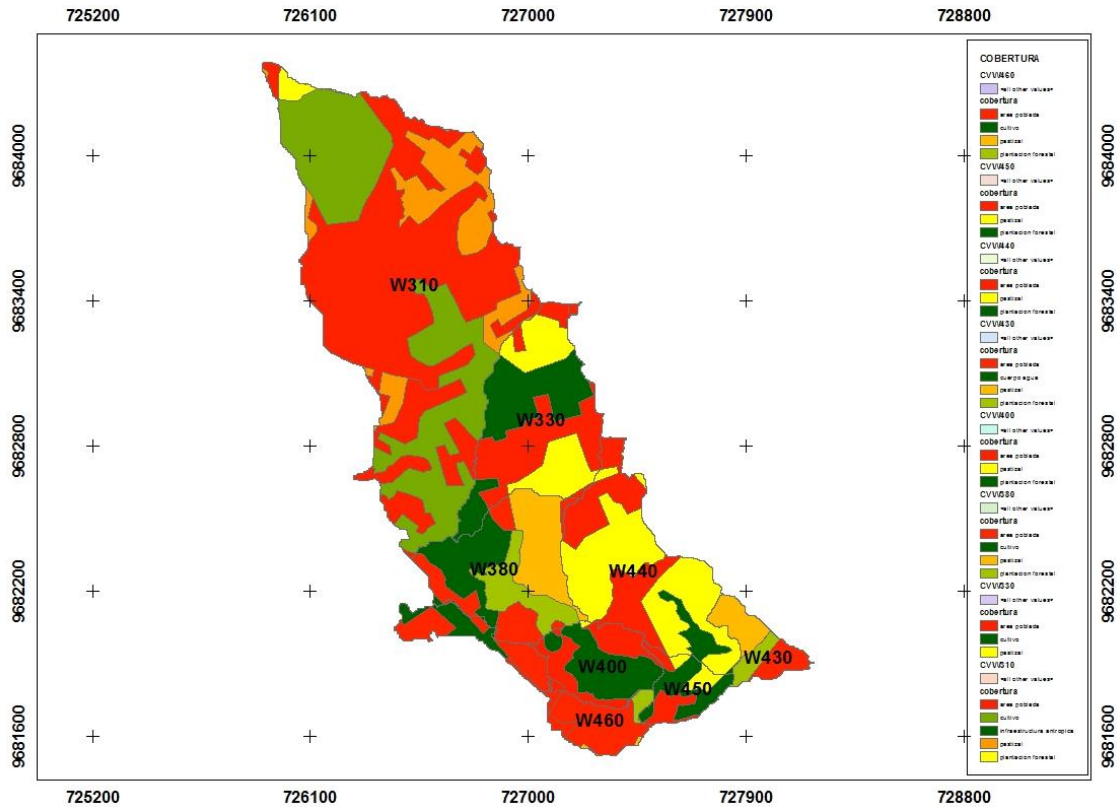


Figura 2.6. Mapa de uso de suelo de la cuenca de la quebrada “El Chorro”  
Fuente: Autor

En el mapa de la figura 2.6, las coberturas que sobresalen son: cultivo, pastizales, plantación forestal, área poblada, infraestructura antrópica, y cuerpo de agua (Tabla 2.7).

El método a utilizarse para el presente estudio es el SCS (1972) por contar con una variedad de información de la región de estudio como: características meteorológicas (Estación Ricaurte M0426), información topográfica (MDE), factores de usos de suelo, entre otras, que son parámetros indispensables para la aplicación del método SCS.

Debido a la clasificación de este método se consideró un suelo tipo C, de acuerdo a observaciones realizadas en campo y se selecciona las condiciones de humedad tipo II, en referencia a que estas condiciones han sido debidamente analizadas y utilizadas en estudios antes realizados en sectores cercanos a la subcuenca de la quebrada “El Chorro”, como los elaborados por Coello G. (2015) o de Consulproy (2016).

De esta manera los números de curva tomados de este método son: 78 cultivo, 70 plantación forestal, 98 área poblada, 74 pastizales, infraestructura antrópica 91 y cuerpo de agua 100. Esta información se puede consultar en el *Anexo 2*.

Tabla 2.7. Área de cobertura vegetal (ha)

Subcuenca	Cultivo	Plantación Forestal	Área Poblada	Pastizales	Infraestructura Antrópica	Cuerpo de Agua	Total
W310	39.63	1.2	63.17	14.88	2.28e-6	0	118.88
W330	11.96	0	12.02	9.53	0	0	33.51
W380	7.38	5.57	5.96	8.37	0	0	27.28
W400	0	7.46	5.73	0.0972	0	0	13.28
W430	0	1.63	2.2	3.19	0	3.2E-4	7.02
W440	0	2.14	11.24	20.81	0	0	34.19
W450	0	3.74	2.21	1.28	0	0	7.23
W460	2.41	0.724	11.72	0.13	0	0	14.98

Fuente: Autor

Debido a la variedad de usos de suelo, que tiene cada una de las subcuencas de aporte del tramo de estudio, se generan sus respectivos números de curva ponderados (Tabla 2.8), que se utilizarán para la respectiva incorporación en el modelo del HEC-HMS, el cálculo de los mismos se los puede apreciar en el *Anexo 2*.

$$NC \text{ Ponderado} = \frac{\sum(NC_i * A_i)}{\sum A_i}$$

**Ecuación 3**

De donde:

NC= Número de curva según la superficie.

A= Área considerada.

Tabla 2.8. Resultados de los números de curva ponderado para las subcuencas de aporte

Subcuenca	NC Ponderado
W310	88
W330	84
W380	80
W400	82
W430	81
W440	82
W450	79
W460	93

Fuente: Autor

### 2.8 Hidrograma de diseño: Hidrograma unitario sintético del SCS

El hidrograma es la respuesta de una unidad de un sistema hidrológico lineal que representa un gráfico de la variación en el tiempo de alguna información hidrológica. Los hidrogramas sintéticos son simulados y se obtienen utilizando características tanto fisiográficas como los parámetros de la cuenca de interés (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú., s.f.).

Con el método SCS, como el escogido, se debe tener en cuenta otro de los parámetros importantes que se requiere para la aplicación del método seleccionado para la determinación de caudales máximos, dicho parámetro es el tiempo de retardo (Lag Time).

El tiempo de retardo se puede considerar igual al 60 % del tiempo de concentración ( $t_c$ ),  $t_p = 0.6 * t_c$ , (Chow, Maidment y Mays, 1994).

En la tabla 2.9, se presentan los tiempos de retardo para las subcuencas de aporte.

Tabla 2.9. Tiempo de retardo para las subcuencas de aporte

Subcuenca	Tiempo de concentración (tc) (min)	Tiempo de retardo (tp) min
W310	25.25	15.15
W330	15.30	9.18
W380	11.51	6.90
W400	7.80	4.68
W430	6.01	3.60
W440	13.54	8.12
W450	5.27	3.16
W460	17.79	10.67

Fuente: Autor

## 2.9 Modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS

HEC-HMS es un programa elaborado por “El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU”, que permite calcular los hidrogramas de salida producidos por una cuenca a través de datos de la cuenca (área, forma, longitud del cauce principal, cobertura vegetal, pendiente del terreno, etc.) así como de datos de precipitaciones.

Para la modelación del estudio se realizó un pre-proceso a partir de HECGeo-HMS (Versión 10.2), esta es una extensión que permite conectar con ArcGis, para desarrollar una serie de entradas de modelado hidrológico y así trabajar en el HEC-HMS (Figura 2.7).

Para esta modelación se considera el tránsito de hidrogramas, Coello G. (2015) afirma que Muskingum-Cunge es un método más práctico que emplea las propiedades del cauce: sección, longitud y pendiente.

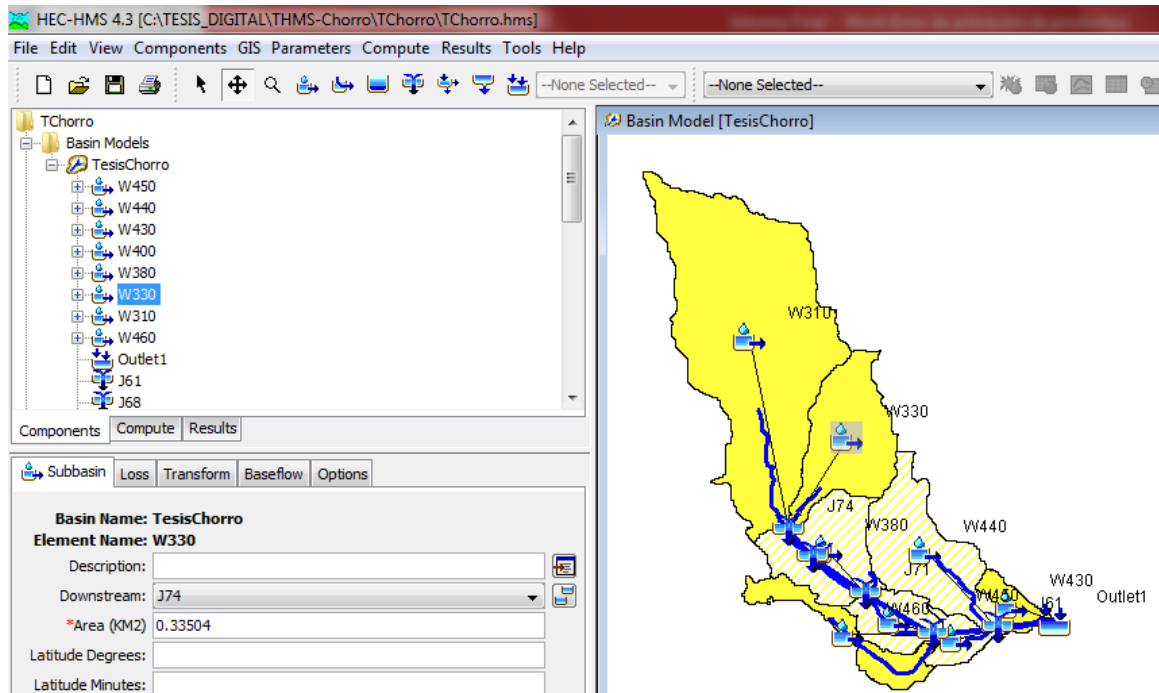


Figura 2.7. Modelo HEC-HMS de la cuenca del tramo de estudio  
Fuente: Autor

### 2.9.1 Caudal base

El modelo HEC-HMS además permite utilizar un caudal base, estos caudales varían conforme a las condiciones climáticas dependiendo de la época, para el presente estudio se aforó el caudal el día sábado 18 de abril del 2020 para estimar este caudal base.

Esta toma de caudal se lo efectuó en la salida de la subcuenca de la zona de estudio, se colocó un flotador en el flujo del cauce y se tomó el tiempo que demora dicho flotador en recorrer 5 metros, este procedimiento se lo repitió 10 veces para poder sacar un tiempo promedio (Tiempo promedio= 9.6 segundos). De igual manera se procedió a sacar una sección promedio para este tramo de 5 m (Sección promedio= 0.2mx1.80m).

El caudal base considerado es de  $0.188 \text{ m}^3/\text{s}$ , este caudal se lo distribuyó de forma proporcional para cada subcuenca de aporte según su área, los caudales distribuidos se detallan en la Tabla 2.10.



Tabla 2.10. Caudal Base asumido para las subcuencas de aporte

Subcuenca	Caudal Base $m^3/s$
W310	0.0872
W330	0.0246
W380	0.0200
W400	0.0097
W430	0.0051
W440	0.0251
W450	0.0053
W460	0.0109

Fuente: Autor

Dentro del modelo estos parámetros se ingresan en el método “Constant Monthly” (constante mensual), en donde se asumirá un mismo caudal base para los 12 meses, esto para cada una de las subcuencas de aporte.

### 2.9.2 Método Muskingum-Cunge (Cunge 1969)

“Cunge (1969), propuso un método basado en el método de Muskingum, un método tradicionalmente aplicado al tránsito hidrológico” (Chow et al., 1994, p. 312).

Así, el método Muskingum-Cunge queda expresado como:

$$K = \Delta x / c \quad \text{Ecuación 4}$$

$$X = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{B \cdot S_0 \cdot c \cdot \Delta x} \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

De donde:

$\Delta x$ = Longitud del tramo del cauce considerado.

$c$ = “Celeridad”=velocidad media (m/s)

$Q$ = caudal ( $m^3/s$ )

$S_0$ = Pendiente media del cauce (adimensional)

$B$ = ancho de la superficie de agua (anchura del cauce)

El método Muskingum-Cunge, requiere de la geometría del canal principal, la inclinación de los taludes (z) así como el coeficiente de rugosidad del cauce (n= coeficiente de Manning).

El modelo también requiere introducir la celeridad de la onda, se considerará una celeridad de onda dinámica (Ecuación 6), que a diferencia de la celeridad de onda cinemática, esta tiene en cuenta la influencia de la aceleración y de la presión (Chow et al., 1994). La celeridad de la onda dinámica Cd se expresa:

$$Cd = \sqrt{g * y} \qquad \text{Ecuación 6}$$

De donde:

g= gravedad ( $m^2/s$ )

y= profundidad de flujo (m) (tirante)

Tabla 2.11. Valores asumidos para el tránsito de avenidas para los distintos tramos

Tramo	Rugosidad	Longitud (m)	Ancho de Cauce (m)	S (m/m)	Talud (z)	Tirante (m)	Celeridad de la onda (m/s)
J74-J80	0.040	224.22	2.8	0.0062	0.5	0.20	1.4
J80-J71	0.040	387.07	2.8	0.071382	0.5	0.20	1.4
J71-J68	0.040	528.80	3.8	0.0251	0.5	0.20	1.4
J68-J61	0.040	387.98	3.8	0.07253	0.5	0.20	1.4
J61-Outlet	0.040	388.75	4.0	0.054	0.5	0.20	1.4

Fuente: Autor

Los valores de la Tabla 2.11 no influyen en gran medida en los resultados de los hidrogramas en el modelo HEC-HMS, lo que se procura es considerar un tránsito real de avenidas en la subcuenca del tramo de estudio.

Los coeficientes de rugosidad de Manning fueron asumidos en todos los tramos de 0.040 valor obtenido de Vent Te Chow (1994) los cuales se recogen en la Tabla 2.12; la longitud de cada tramo se tomó conforme a las características descritas en la Tabla 2.2; S se refiere a las pendientes de cada tramo, datos que se generaron en el pre-poceso realizado en HECGeo-HMS y que se analizaron cuidadosamente para su incorporación al modelo; el ancho de cauce es un promedio de los anchos de cada tramo obtenidos en observaciones en campo; tanto el tirante como el talud de los tramos comprendidos entre J68-J61 y J61-Outlet se midieron en campo, dichos valores obtenidos en campo se asumieron también para los tramos restantes (J74-J80, J80-J71 y J71-J68).

Tabla 2.12. Coeficientes de Rugosidad de corrientes naturales y planicies de inundación

<b>Corrientes Naturales (ancho superficial &lt; 30 metros)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
b. Corriente montañosa sin vegetación en el canal, márgenes usualmente escarpadas, árboles y arbustos a lo largo de las márgenes sumergidas en eventos de crecidas.			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
<b>Planicies de inundación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
a. Pastizales sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en hileras maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduro	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medio a densos, en invierno	0.045	0.070	0.11
5 Matorrales medio a densos, en verano	0.070	0.10	0.16
d. Árboles			
1. Sauces densos, en verano	0.11	0.15	0.2
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, pocos árboles caídos, poca maleza, nivel de agua debajo de las ramas	0.080	0.10	0.12
5. Igual al anterior pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.10	0.12	0.16

Fuente: Ven Te Chow (1994)

### **2.9.3 Resultados de la modelación hidrológica**

A continuación, se presentan los hidrogramas obtenidos a través del modelamiento en HEC-HMS para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, los cuales servirán para el posterior análisis hidráulico del tramo de interés.

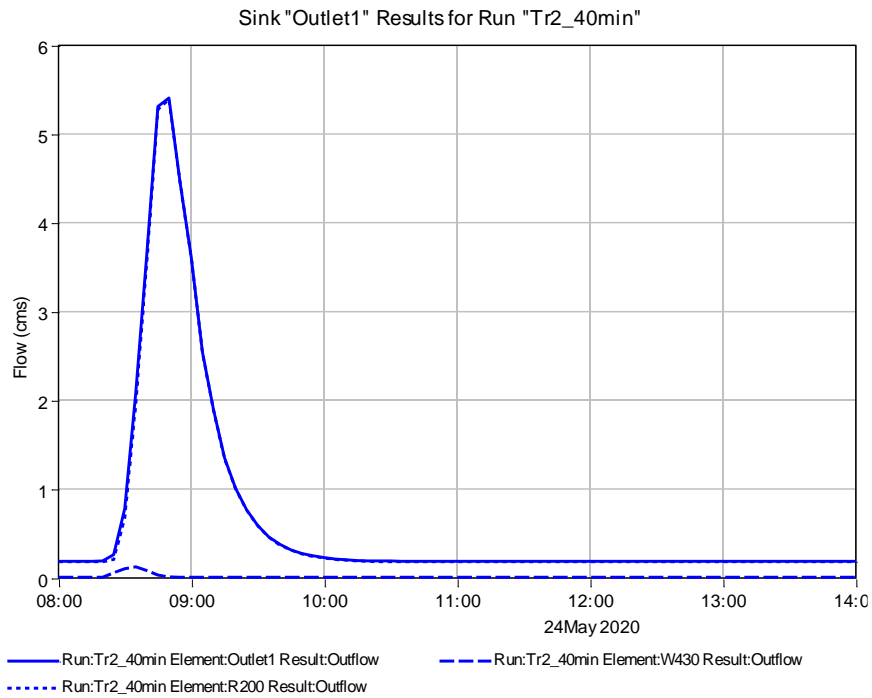


Figura 2.8. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 2 años)  
Fuente: Autor

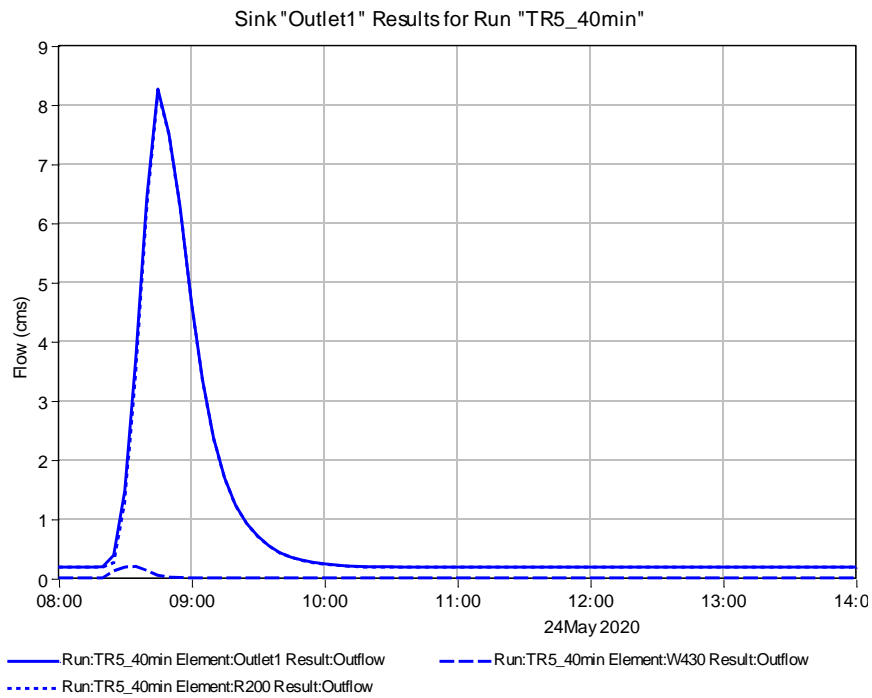


Figura 2.9. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 5 años)  
Fuente: Autor

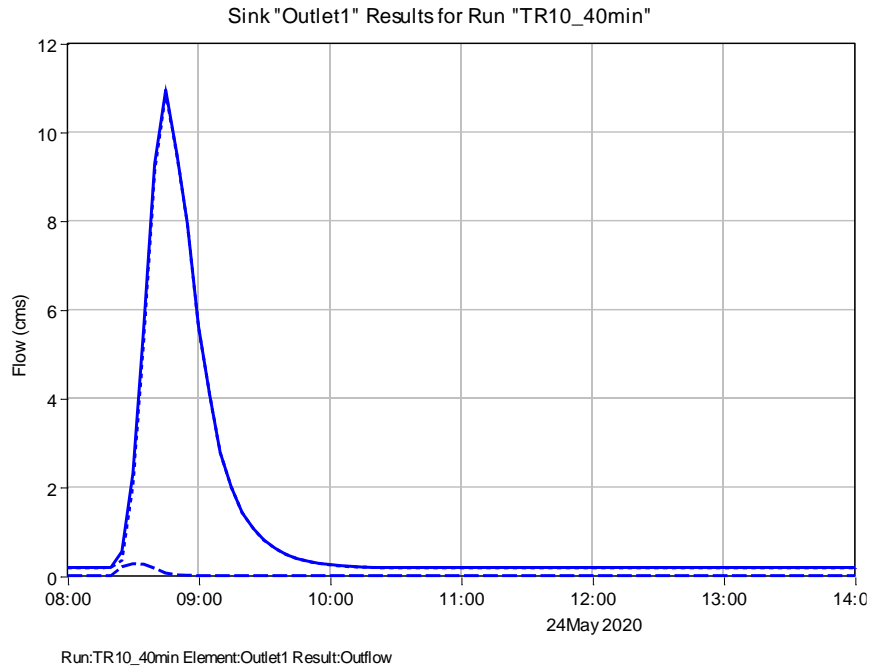


Figura 2.10. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 10 años)  
Fuente: Autor

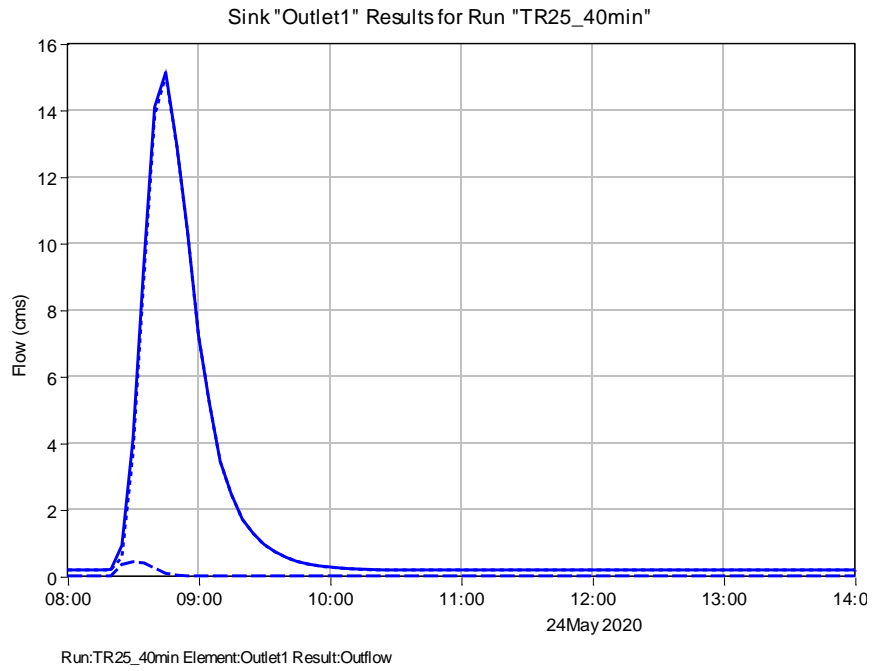


Figura 2.11. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 25 años)  
Fuente: Autor

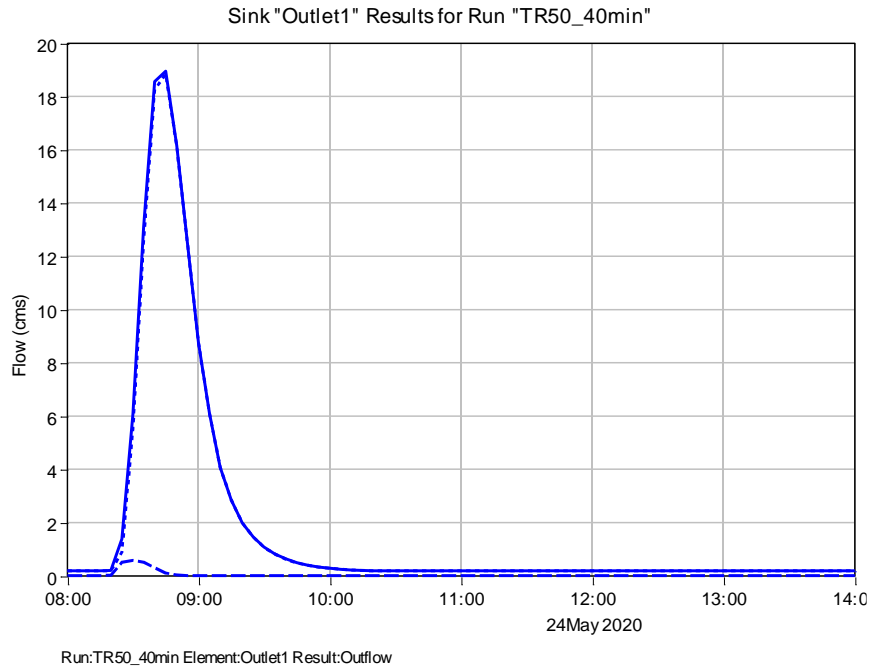


Figura 2.12. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 50 años)  
Fuente: Autor

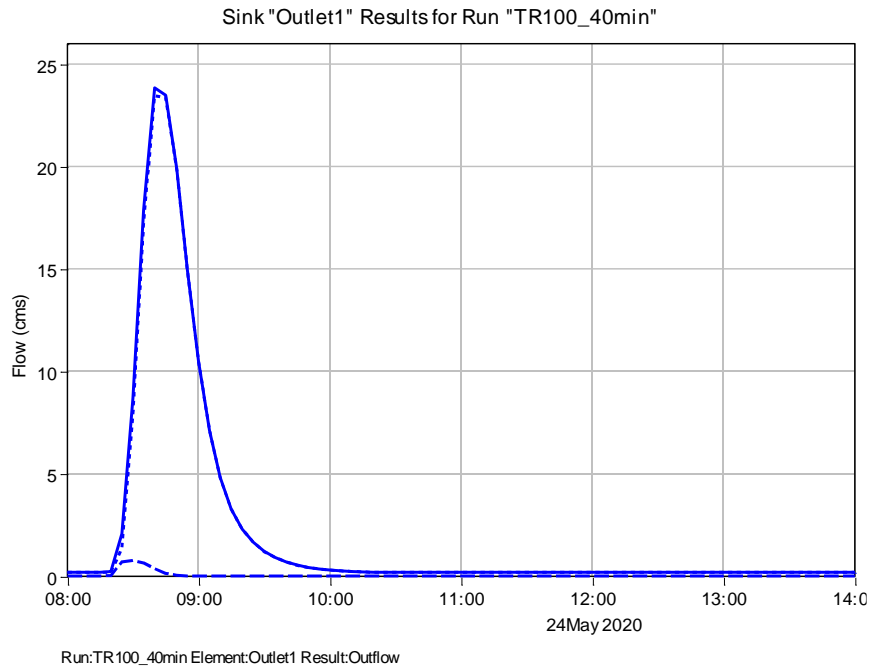


Figura 2.13. Hidrograma de salida de la cuenca del tramo de estudio. (Tr= 100 años)  
Fuente: Autor



En la Tabla 2.13, se expresan numéricamente los caudales máximos a la salida de la subcuenca de interés para los distintos periodos de retorno.

Tabla 2.13. Caudales máximos a la salida de la cuenca de interés para distintos períodos de retorno, mediante modelación HEC-HMS

Período de Retorno (años)	Caudal (m3/s)
2	5.41
5	8.27
10	10.94
25	15.12
50	18.94
100	23.84

Fuente: Autor

### 2.10 Método racional

Para estimar el caudal de diseño de la subcuenca de interés, es posible llevar a cabo el método racional, debido a que esta subcuenca es considerada pequeña al tener un área de 256.38 hectáreas (Estrada Gómez y Rojas Herrera, 2013).

No obstante estos caudales serán comparados con los resultados obtenidos del modelamiento en HEC-HMS.

El método racional tiene como variables el coeficiente de escorrentía superficial, la intensidad de la lluvia y el área de influencia de la cuenca.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360} \tag{Ecuación 7}$$

De donde:

C= Coeficiente de escorrentía superficial (adimensional).

I= Intensidad de la lluvia (mm/h).

A= Área de influencia de la cuenca (ha).

### 2.10.1 Variables del método racional

Considerando a toda la cuenca de interés como una sola unidad hidrológica, se implementarán las características de la cuenca de la Tabla 2.1.

Este método requiere de la intensidad de la lluvia, intensidad que fue analizada anteriormente. Para esta variable se aplicará las fórmulas de la Tabla 2.5, tomando en cuenta sus condiciones y un tiempo de concentración de la subcuenca de 40 minutos calculado en la Tabla 2.3.

El coeficiente de escorrentía superficial se define como la relación entre el volumen de agua escurrida superficialmente y el volumen de agua precipitada. El coeficiente de escorrentía depende de un gran número de elementos y no es constante para un área dada. El fenómeno físico que reproduce el coeficiente de escorrentía es el proceso de pérdidas que actual en diferentes vías (interceptación, infiltración, etc), y que depende de las características del uso y tipo de suelo. (Daza Orellana y Pérez León, 2013, p.44)

El coeficiente de escorrentía al no ser constante en el área de interés, se deberá hallar un coeficiente ponderado (Ecuación 8) para la aplicación de la fórmula del método racional.

$$C. Ponderado = \frac{\sum(Ci * Ai)}{\sum Ai} \quad \text{Ecuación 8}$$

C= Coeficiente de escorrentía según el tipo de superficie

A= Área considerada

Tabla 2.14. Áreas de los diferentes usos de suelo de la cuenca de interés

Uso de suelo	Area Total(ha)
Cultivo	61.3798858
Pastizal	58.2975007
Área poblada	114.237225
Plantacion forestal	22.4617661
Cuerpo de agua	0.00032034
Infraestructura antrópica	2.2849E-06

Fuente: Autor

Tabla 2.15. Parámetros calculados del método racional

Período de retorno	Intensidad (mm/h)	Área (ha)	C.Ponderado
2	34.1284	256.38	0.52018
5	39.9835	256.38	0.5591
10	45.0711	256.38	0.5859
25	52.8	256.38	0.628
50	59.52	256.38	0.6648
100	67.096	256.38	0.7069

Fuente: Autor

### 2.10.2 Resultados del método racional

En la tabla 2.16, se presentan los caudales de diseño de salida de la cuenca de interés para distintos períodos de retorno, mediante el método racional, caudales hallados a través de los parámetros de la Tabla 2.15.

Tanto los coeficientes de escorrentía, los cálculos de las variables y la determinación de los caudales de máximos por el método racional se los puede corroborar en la hoja de cálculo del *Anexo 3*.

Tabla 2.16. Caudales máximos a la salida de la cuenca de interés para distintos períodos de retorno, mediante el método racional.

Período de retorno (Años)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2	12.64
5	15.92
10	18.8
25	23.61
50	28.18
100	33.78

Fuente: Autor

### 2.11 Análisis de resultados de caudales de diseño hallados por modelación en HEC-HMS y por el método racional

Tabla 2.17 Resumen de los caudales máximos de salida obtenidos por la modelación HEC-HMS y por el método racional

Período de retorno. (Años)	Caudales obtenidos en la modelación HEC-HMS ( $m^3/s$ )	Caudales obtenidos por el método racional ( $m^3/s$ )
2	5.41	12.64
5	8.27	15.92
10	10.94	18.8
25	15.12	23.61
50	18.94	28.18
100	23.84	33.78

Fuente: Autor

Comparando los caudales de diseño obtenidos mediante el software HEC-HMS y los obtenidos por el método racional, se puede observar en que los resultados difieren, por lo que el modelamiento HMS resulta ser más confiable por la cantidad de información tanto meteorológica como características del terreno que se tiene e incorpora a dicho modelo, por lo tanto el análisis hidráulico contemplará los resultados obtenidos por la modelación HMS.

## CAPÍTULO III

### Estudio Hidráulico

El estudio hidráulico se centra en estudiar el comportamiento del movimiento o dinámica del agua, a su paso por la zona objeto de estudio, de modo que se compruebe la idoneidad de la sección del cauce en caso de una avenida (Cerener, s.f.).

La modelación de los sistemas hidráulicos, como herramienta tanto de diseño, como de revisión o toma de decisiones, es hoy en día una técnica importante en las prácticas modernas de la ingeniería civil.

#### 3.1 Modelación hidráulica

“En términos generales, la modelación hidráulica consiste en un procedimiento técnico que busca reproducir un fenómeno natural (mundo real) que, para el caso de interés, se enfoca en determinar el movimiento o dinámica del agua, utilizando modelos (simplificación) físicos y/o matemáticos” (IDEAM, 2018, p.25).

Esta reproducción de fenómenos naturales, creados a través de modelaciones ayuda a resolver problemas que se puedan generar para proponer y analizar diferentes soluciones.

##### 3.1.1 Tipos de modelos hidráulicos

“En la modelación de inundaciones se pueden utilizar diferentes metodologías, los más sencillos, conceptualmente, son los modelos adimensionales o 0D, los cuales no incluyen leyes físicas en la formulación de la ecuación para predicciones del flujo, sino simplemente ecuaciones empíricas, aplicables, generalmente, a grandes extensiones de flujos” (Timbe Castro, 2012, p.25).

También se puede utilizar modelos unidimensionales (1D), Bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D), cuya selección para poder implementarse se basa en la información que se tiene disponible.

“Hasta ahora los modelos 1D son los más usados, ya que tienen la ventaja de requerir poca información (secciones transversales, coeficiente de fricción), ser robustos y dar buenos resultados cuando el flujo ocurre alineado a lo largo del eje del cauce principal del río” (Pender y Néelz; Vojonic et al., citados por Timbe L. y Timbe E., 2012, p.89).

Para algunos expertos los modelos Bidimensionales (2D) son tecnología de punta para las simulaciones de inundaciones, una de las desventajas es que su aplicación está limitada por los altos requerimientos de datos, hardware y software (Timbe y Willems, 2011), sin embargo, hoy en día son muy utilizados debido a su precisión.

Los modelos tridimensionales (3D), por otro lado representan el estado más avanzado de la modelación, que al igual que los modelos bidimensionales se encuentran limitados por sus altos requerimientos, debido a la complejidad de los mismos estos modelos incrementan la carga computacional haciéndolos más lentos, pudiendo presentarse problemas de convergencia numérica que puede conducir a soluciones irreales (Coello G., 2015).

En la tabla 3.1, se presentan los tipos de modelos hidráulicos más representativos según Timbe (2012).

Tabla 3.18 Software comercial para modelación hidráulica de ríos (Pender, G. 2006)

Método	Descripción	Área de Aplicación	Modelo	Datos de Ingreso	Resultados	Tiempo de Cálculo*
0D	No se incluyen leyes físicas en la simulación.	Evaluación a gran escala para extensión y profundidad de flujos de inundaciones.	ArcGIS Delta mapper	MDT Nivel de calado aguas arriba Nivel de calado aguas abajo	Extensión de inundación y profundidad de calados mediante la intersección del plano de la superficie de agua con el MDT	Segundos
1D	Solución de las Ecuaciones unidimensionales de St. Venant.	Diseño de modelos a escala, los cuales pueden estar en el orden de 10s a 100s de km dependiente del tamaño de la cuenca.	Mike 11 HEC-RAS SOBEK-CF Infoworks RS-ISIS	Secciones transversales del canal y de la planicie de inundación Hidrogramas de descarga aguas arriba Niveles de la superficie libre agua abajo	Profundidad del calados y velocidad promedio en cada sección transversal Extensión de la inundación mediante la intersección de la predicción del plano de niveles con el MDT Hidrograma de salida de flujo aguas abajo.	Minutos
1D+	1D más la inclusión de una celda de almacenamiento para la simulación de flujo de crecientes sobre planicies inundables.	Diseño de modelos a escala que pueden estar entre el orden de 10s y 100s de km dependiendo del tamaño de la cuenca, también tiene una aplicación potencial a gran escala si se utiliza con datos de algunas secciones transversales.	Mike 11 HEC-RAS Infoworks RS-ISIS	Igual que en modelos 1D	Igual que en modelos 1D	Minutos a horas
2D-	2D menos la ley de conservación de momentum para el flujo sobre planicies inundables	Modelación a gran escala o inundación de zonas urbanas, dependiendo de la dimensión de las celdas	LISFLOOD-FP	MDT Hidrograma de descarga aguas arriba Niveles de la superficie libre agua abajo	Extensión de la inundación Nivel de la superficie libre Hidrograma de descarga aguas abajo.	Horas

2D	Resolución de ecuaciones de onda superficiales bidimensionales.	Diseño de modelos a escala del orden de 10s km. Puede tener un uso potencial en modelación a gran escala si es aplicado con una malla apropiada.	TUFLOW GISPLANA Mike 21 TELEMAC SOBEK-OF Delft-FLS	MDT Hidrogramas de descarga aguas arriba Niveles de la superficie libre agua abajo	Extensión del área de inundación Nivel de la superficie libre Velocidades promediadas en vertical para cada nodo o celda computacional Hidrograma de flujo aguas abajo.	Horas a días
2D+	2D más la resolución para la velocidad vertical utilizando solamente continuidad.	Aplicado, generalmente, para modelación costera, donde velocidades en 3D son importantes. También se aplican a modelación de tramos de ríos en proyectos de investigación	TELEMAC 3D Delft-3D	MDT Hidrograma de descarga aguas arriba Distribución de la velocidad de ingreso al dominio Niveles de la superficie libre agua abajo	Extensión del área de inundación Nivel de la superficie libre Velocidades u,v, y w para cada celda computacional Hidrograma de de flujos aguas abajo	Días
3D	Resolución 3D de las ecuaciones tridimensionales de Reynolds (promediadas) – Navier Stokes	Predicciones locales de velocidades 3D en el canal principal y en las planicies de inundación	CFX FLUENT PHOENIX	MDT Hidrograma de descarga aguas arriba Distribución de velocidades de ingreso al dominio y de energía cinética turbulenta. Niveles de la superficie libre agua abajo	Extensión del área de inundación Nivel de la superficie libre Velocidades u,v, y w y energía cinética turbulenta para cada celda computacional Hidrograma de flujo de salida a. abajo	Días

*tiempo de cálculo estimado en el año 2006\**

Fuente: Timbe (2012)



### 3.1.2 Selección del modelo hidráulico

Para el análisis de impacto generado en el tramo de estudio ocasionado por los caudales obtenidos en el estudio hidrológico, se hace uso del software HEC-RAS versión 5.0.7 (*Hydrological Engineering Center – River Analysis System*), el cual permite estudiar cauces fluviales con aproximaciones unidimensionales.

Se eligió este software debido a la información que se dispone, por su compatibilidad con programas como Civil 3D y ArcGis, así también, se trabajará con este modelo por su gran aceptación y utilización en el medio. Esta herramienta se la encuentra disponible gratuitamente en la página del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU (US Army Corps of Engineers).

### 3.2 Modelo matemático HEC-RAS

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, en el que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario. Fue desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers. Este modelo permite representar ríos con cambios de régimen, secciones compuestas irregulares, puentes, pasos bajo vías, uniones, etc., y realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, transporte de sedimentos, etc. (Coello G., 2015).

HEC-RAS se encarga de la modelización hidráulica con varios tipos de análisis: régimen permanente unidimensional, no permanente unidimensional y bidimensional, transporte de sedimentos y análisis de calidad de agua (Benayas citado por Gutierrez García, 2020, p. 3).

HEC-RAS presenta las siguientes capacidades hidráulicas:

- Análisis de Perfiles Múltiples.
- Determinación de la profundidad crítica para cada sección.
- Determinación de los parámetros hidráulicos en cada sección.
- Opción de Flujo Efectivo: restringe el área de flujo.
- Opciones de Protección de Márgenes.
- Opción de ecuaciones de pérdidas friccionales (pérdidas entre secciones).

- Pendiente friccional promedio.
- Pendiente friccional media geométrica.
- Mejoras en el canal.
- Interpolación de secciones.
- Perfiles de corrientes tributarias.
- Resolver escenarios para coeficiente de rugosidad “n” de Manning.
- Generar datos almacenamiento - descarga para HEC-1.
- Opción partición del flujo (existe pérdida del caudal).
- Perfiles de Flujos bajo congelamiento. (Coello G., 2015, p.34)

Entre algunas de las características prácticas que tiene el modelo son las de editar gráficas de secciones, representaciones y cálculos hidráulicos de estructuras (puentes, alcantarillas, etc.) y visualizaciones gráficas de datos y de resultados, lo que le convierte en un modelo práctico que favorece al momento de realizar una modelación hidráulica.

### **3.3 Información topográfica**

La topografía en el modelo hidráulico es una información indispensable, ya que describe las características geométricas del área de estudio que van a ser utilizadas para la modelación, por lo que se sugiere ser lo más preciso al momento de realizar un levantamiento topográfico para así evitar errores y resultados ilógicos.

La municipalidad de Cuenca realizó un levantamiento topográfico del tramo de interés que fue entregado para el estudio, el cual fue analizado para su incorporación a la modelación hidráulica (Figura 3.1).

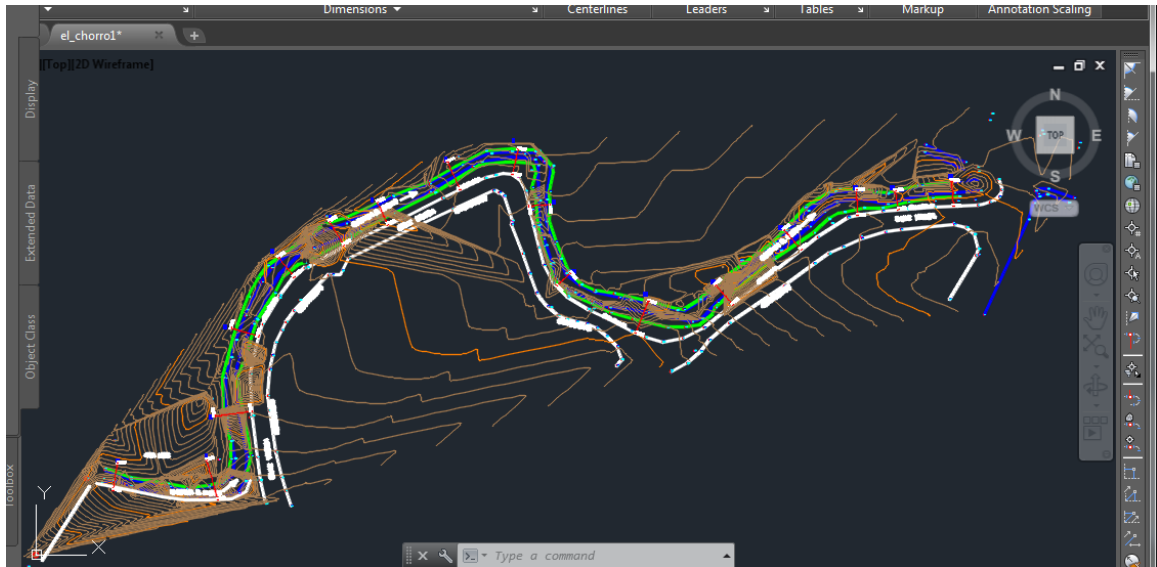


Figura 3.1. Topografía del tramo de estudio, entregada por el municipio de Cuenca  
Fuente: Municipio de Cuenca

Para un correcto análisis de la topografía entregada, se realizó una visita a campo para verificar la confiabilidad de la misma, luego de esta inspección se vio la necesidad de levantar cierta información para completar algunas secciones transversales en donde no se apreciaban de forma adecuada las zonas de probable inundación (Figura 3.2).

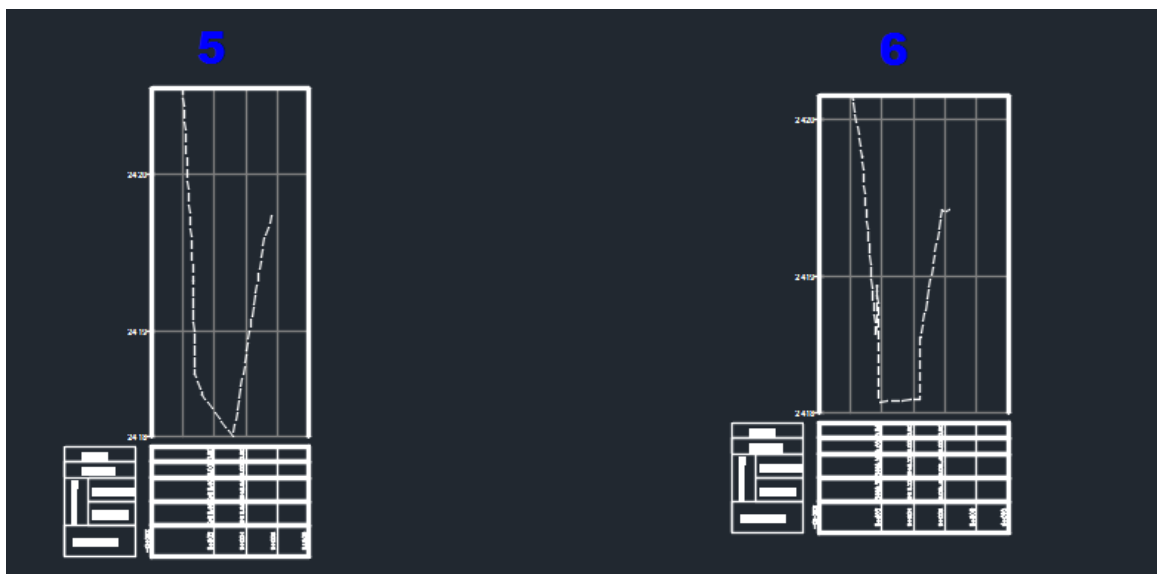


Figura 3.2. Secciones con poca información transversal  
Fuente: Municipio de Cuenca

Se levantaron secciones transversales a lo largo de los 363 metros de longitud que comprenden el tramo de estudio en los cuales se incluyen el cauce de la quebrada, un puente (6m de ancho) y una alcantarilla (55 m de longitud), el levantamiento consiste de 30 secciones del cauce y sus respectivas riberas de inundación, cada 10 metros en sentido longitudinal y transversalmente la longitud promedio de cada sección es de 15 metros (Figuras 3.3 y 3.4).

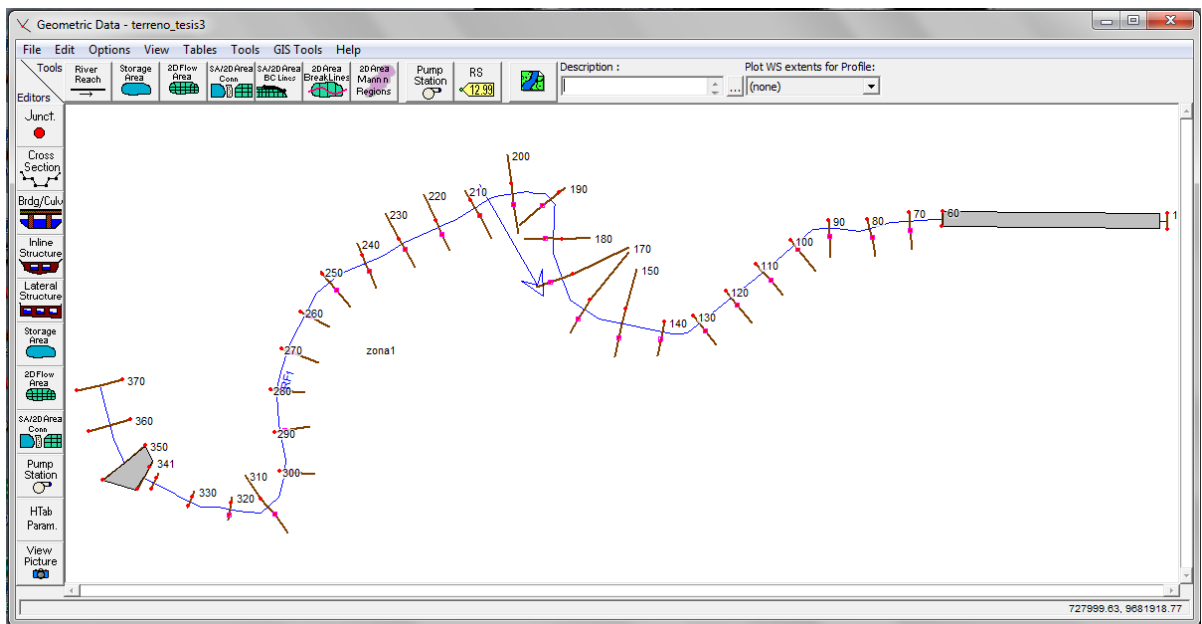


Figura 3.3. Vista en planta de los perfiles transversales a lo largo del tramo de estudio, en HEC-RAS.

Fuente: Autor

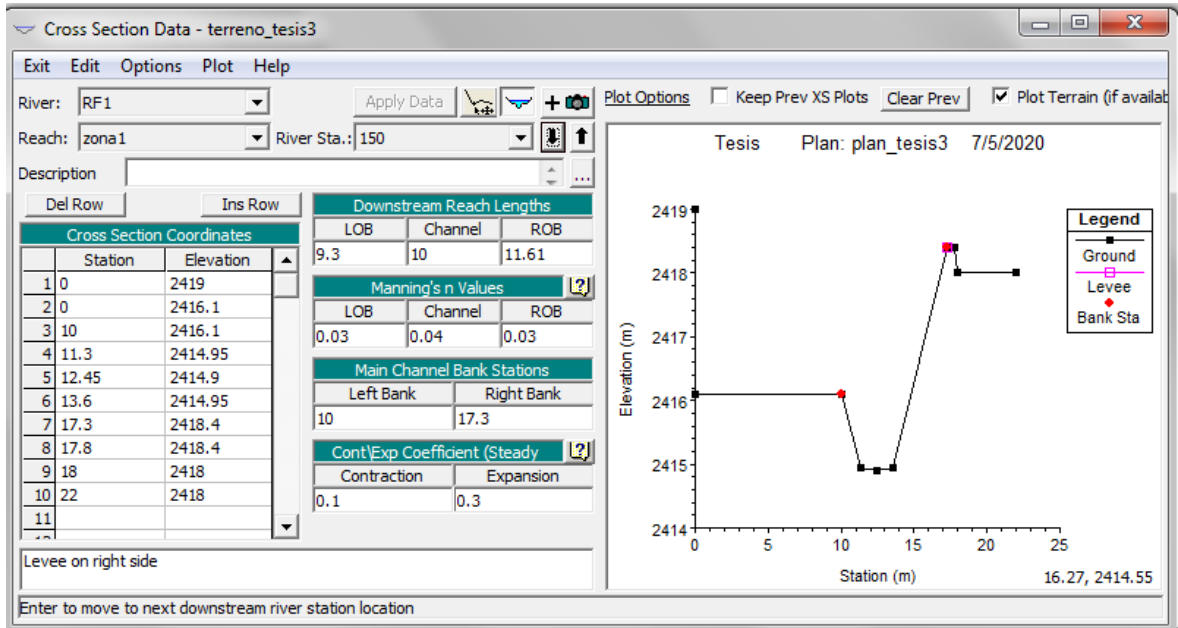


Figura 3.4. Implementación de perfil transversal con delimitación de márgenes.  
Fuente: Autor

De igual forma se procede a incorporar las estructuras presentes en el tramo de interés, en el cual se encuentra un puente aguas arriba y una alcantarilla aguas abajo que desemboca en el río Cuenca (Figuras 3.5 y 3.6).

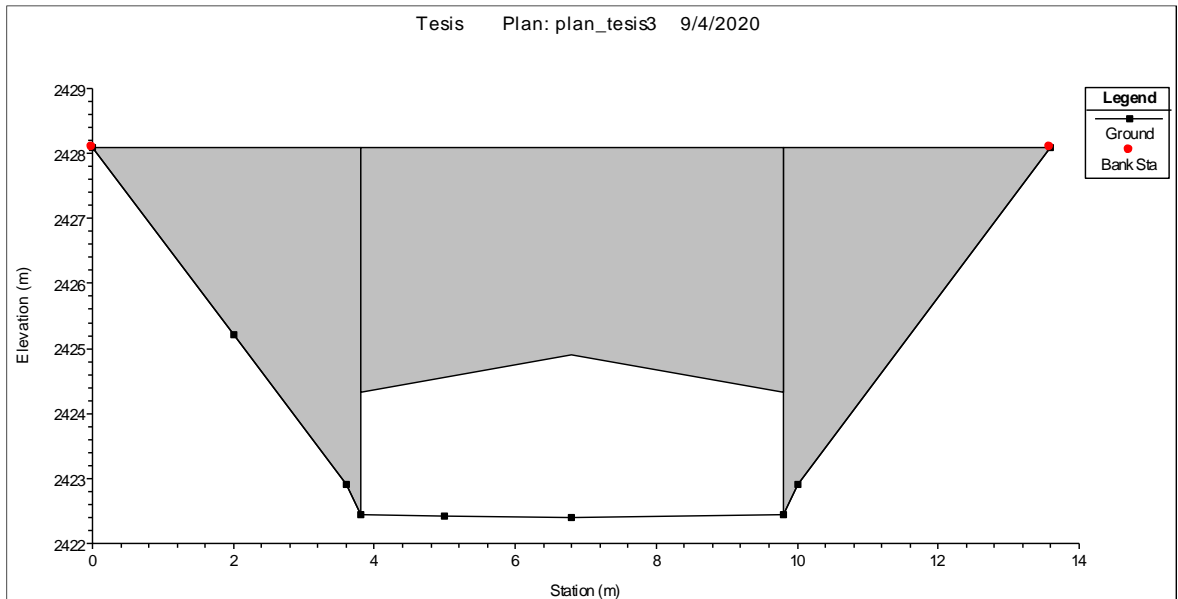


Figura 3.5. Perfil del puente en HEC-RAS  
Fuente: Autor

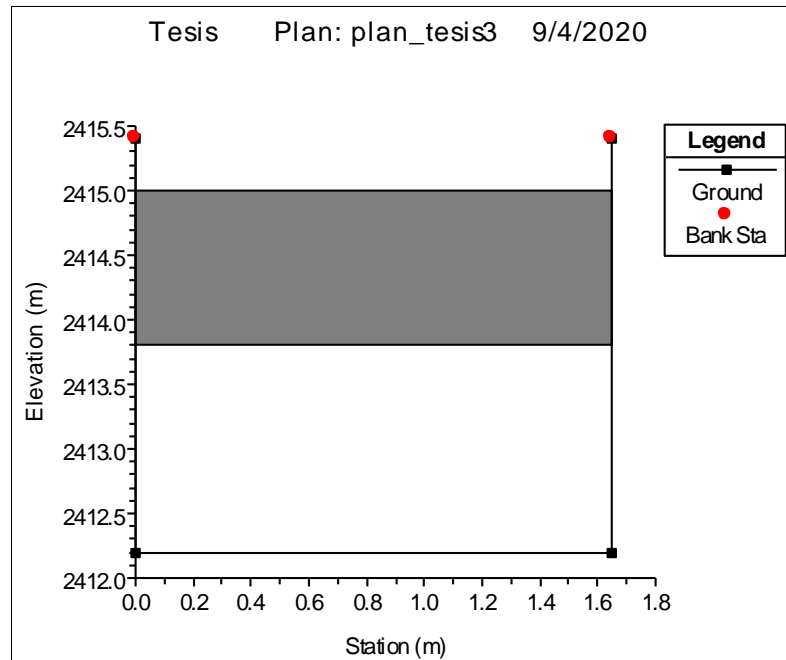


Figura 3.6. Perfil de alcantarilla en HEC-RAS

Fuente: Autor

Una vez revisado e incorporado las características geométricas del cauce, perfiles transversales y las estructuras respectivas al modelo HEC-RAS, se procede a introducir los parámetros hidráulicos.

### 3.4 Parámetros hidráulicos

A continuación, se fijan los parámetros hidráulicos que influyen directamente en el comportamiento del flujo:

#### 3.4.1 Número de Manning o coeficiente de rugosidad ( $n$ ).

En un modelo hidráulico una de las variables que más influyen en el comportamiento del modelo es el coeficiente de rugosidad, por lo que una variación en el valor de este parámetro puede traer consecuencias inadvertidas en el modelo a realizarse. Este coeficiente permite determinar la capacidad de transporte de una sección (Oliveras, 2016). El coeficiente de rugosidad de Manning es un índice que estima la resistencia a un flujo en un canal determinado (Chow, 1994).

El factor  $n$  es muy variable y depende de algunos factores, tales como: rugosidad superficial, vegetación, irregularidad del canal, alineamiento del canal, tamaño y forma de canal, entre otros.

Para la selección del coeficiente de rugosidad no existe un método exacto, por lo que existen varias tablas o fórmulas propuestas por diferentes autores para su determinación.

Para el estudio se tomaron los valores propuestos por Ven Te Chow (1994), (Tabla 2.12).

Para estimar los coeficientes de rugosidad en el modelo hidráulico, se realizó una visita a campo en donde se observaron las características tanto del cauce como de las planicies de inundación.

Para el lecho del río cuyas características se mantienen uniforme a lo largo del tramo de estudio prevalece un fondo con gravas y algunas rocas, por lo cual se toma un coeficiente de rugosidad con valor  $n= 0.040$  para la modelación hidráulica.

Para las planicies de inundación de todas las secciones levantadas en campo y que se agregaron en el modelo, se adoptaron valores de acuerdo al tipo/uso del suelo dominante, donde sobresalen pastos cortos y árboles con troncos sin retoños por lo que se incorpora en el modelo un valor de  $n=0.030$ .

### **3.4.2 Coeficientes de contracción y expansión**

Los coeficientes de contracción y expansión definen la brusquedad en la transición entre dos perfiles consecutivos según su morfología (Timbe Castro E. , 2012). Debido a estos cambios bruscos de contracción y expansión que se dan entre secciones transversales contiguas se generan pérdidas de energías.

El HEC-RAS requiere de estos coeficientes para tomar en consideración dichas pérdidas al momento de la modelación, los mismos fueron tomados del manual de HEC-RAS, en donde sugiere valores de 0.1 y 0.3 para contracción y expansión, respectivamente.

### 3.4.3 Condiciones de contorno

“Se entiende como condiciones de contorno aquellas que definen el comportamiento de un modelo en sus límites” (Oliveras, 2013). Coello G. (2015): “Las condiciones de frontera son necesarias para establecer la superficie de agua inicial en el extremo del sistema, aguas arriba y aguas abajo” (p.45).

Cuando el flujo se calcula en régimen subcrítico las condiciones de frontera se definen en el extremo aguas abajo, en caso de que se calcule en régimen mixto las condiciones de frontera se definen en extremos aguas arriba y aguas abajo, y si finalmente el cálculo del flujo se lo realiza en régimen supercrítico son necesarias las condiciones de frontera únicamente en aguas arriba.

El perfil del flujo elegido para modelar en el tramo de interés es el supercrítico ya que la pendiente del cauce del tramo es pronunciada. La condición de contorno por lo tanto será en aguas arriba y corresponderá a una profundidad normal (Normal Depth) calculado de acuerdo a la pendiente representativa del lecho del río.

Condición de frontera adoptada:

- Aguas arriba: Profundidad normal (Normal Depth) = 0.032 (pendiente representativa del lecho del río)

## 3.5 Resultados del modelo hidráulico HEC-RAS

Los resultados de la modelación hidráulica para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años se presentan a continuación de la siguiente manera.

### 3.5.1 Resultados numéricos de las simulaciones obtenidas en HEC-RAS

Los resultados numéricos obtenidos en la modelación, correspondientes a cada sección se recogen en la tabla del *Anexo 4*, un detalle de estos resultados del cálculo hidráulico se los visualiza en la Tabla 3.2., donde se presenta, el caudal circulante ( $Q_{Total}$ ), cota mínima topográfica del fondo del cauce ( $Min\ Ch\ El$ ), la cota de la lámina de agua ( $W. S. Elev$ ), la cota del calado o tirante crítico ( $Crit\ W. S$ ), la cota de la línea de energía ( $E. G. Elev$ ), la pendiente de la línea de energía ( $E. G. Slope$ ), la velocidad en el cauce central de la sección ( $Vel\ Chnl$ ), el área mojada ( $Flow\ Area$ ), el ancho de la lámina de agua ( $Top\ Width$ ) y el número de Froude de la sección ( $Froude\ \#\ Chl$ ).



Tabla 3.19 Tabla numérica de resultados de la simulación hidráulica, correspondiente a la sección 150.

Reach	River Sta	TR	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
zona1	150	2 Años	5.41	2414.9	2415.59	2415.67	2415.97	0.033086	2.75	1.97	3.7	1.2
zona1	150	5 Años	8.27	2414.9	2415.87	2415.87	2416.23	0.021865	2.67	3.09	4.32	1.01
zona1	150	10 Años	10.94	2414.9	2416.04	2416.04	2416.45	0.020436	2.82	3.88	4.71	0.99
zona1	150	25 Años	15.12	2414.9	2416.34	2416.34	2416.57	0.009822	2.27	7.72	15.1	0.71
zona1	150	50 Años	18.94	2414.9	2416.42	2416.42	2416.67	0.010519	2.44	8.91	15.2	0.74
zona1	150	100 Años	23.84	2414.9	2416.51	2416.51	2416.8	0.011028	2.6	10.3	15.3	0.76

Fuente: Autor

### 3.5.2 Nivel de agua en las secciones transversales

Los niveles de superficie libre del agua para los distintos períodos de retorno obtenidos en la modelación se incorporan en cada sección transversal, los resultados generados en el modelo HEC-RAS de las diferentes secciones se las puede visualizar en el Anexo 5. La Figura 3.7, muestra el detalle de los niveles obtenidos que se representan en la sección 150.

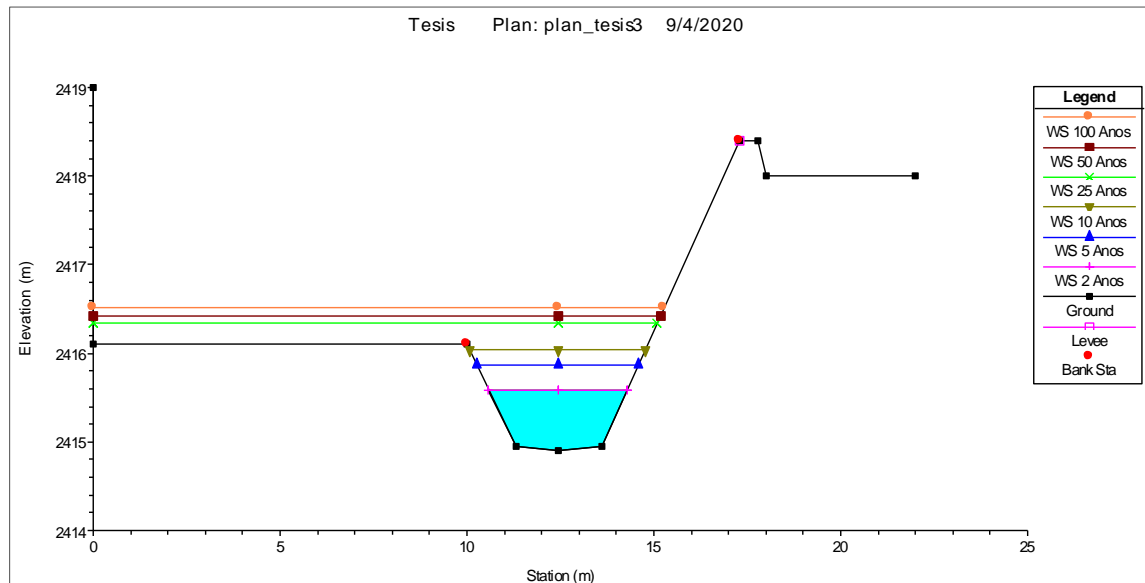


Figura 3.7. Sección 150 con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años

Fuente: Autor

### 3.5.3 Nivel de agua en las estructuras

En el tramo de estudio se han podido identificar un puente (de uso para el paso vehicular y peatonal) y una alcantarilla. El objetivo de incorporar estas dos estructuras al modelo, es poder examinar la capacidad hidráulica de ambas y poder dar una conclusión de su operatividad.

En las siguientes figuras se presentan los niveles de superficie libre de las distintas estructuras, vistas desde aguas arriba y aguas abajo.

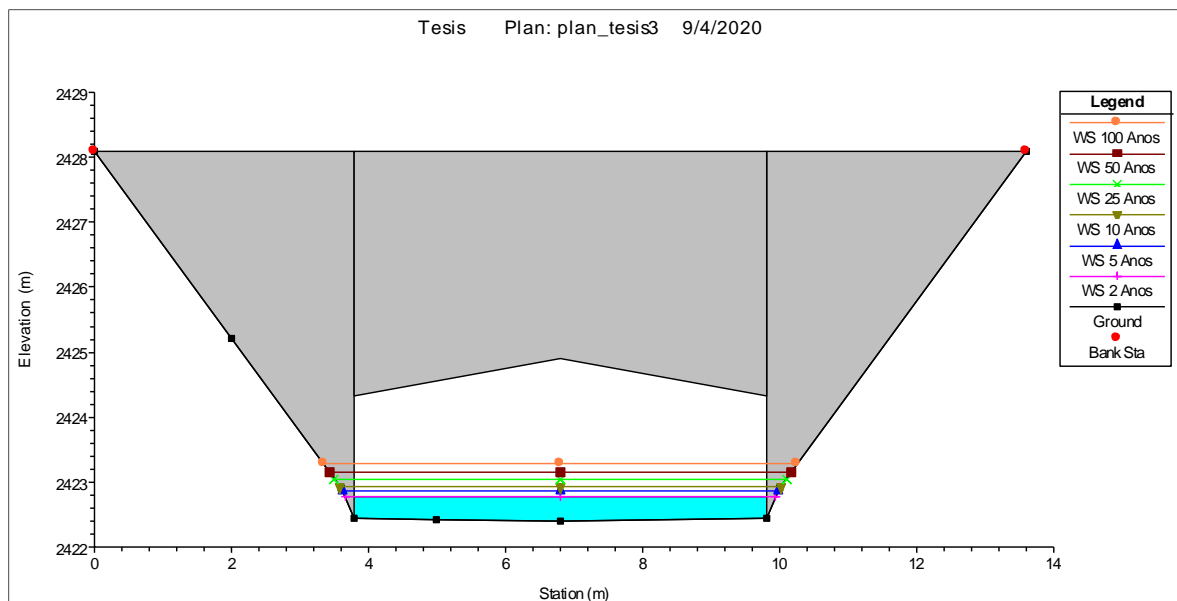


Figura 3.8. Puente con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas arriba

Fuente: Autor

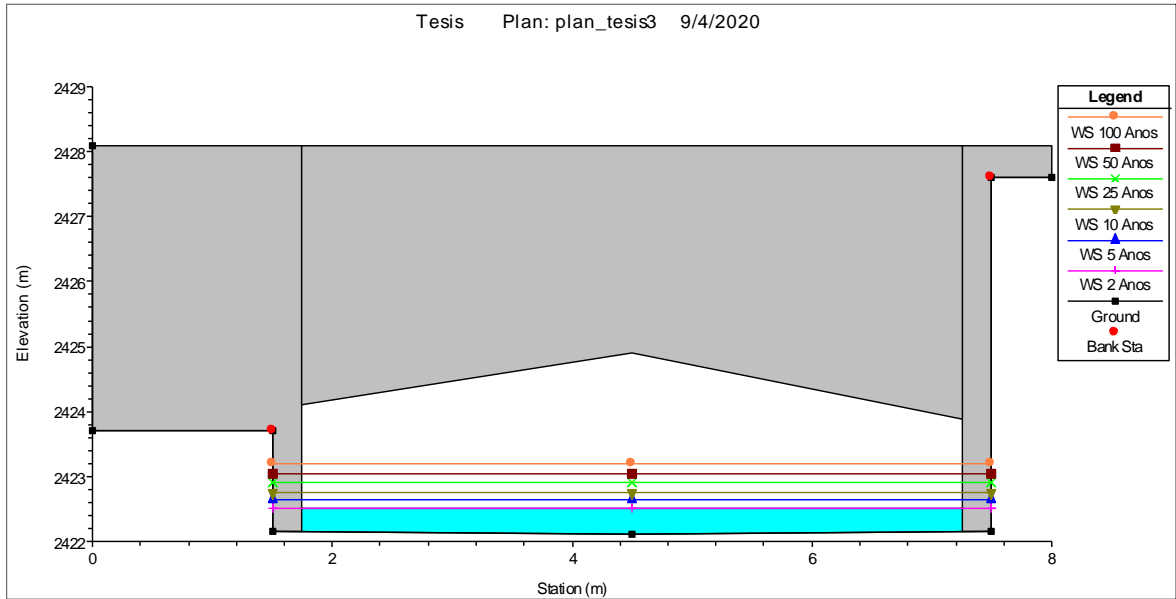


Figura 3.9. Puente con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas abajo.  
Fuente: Autor

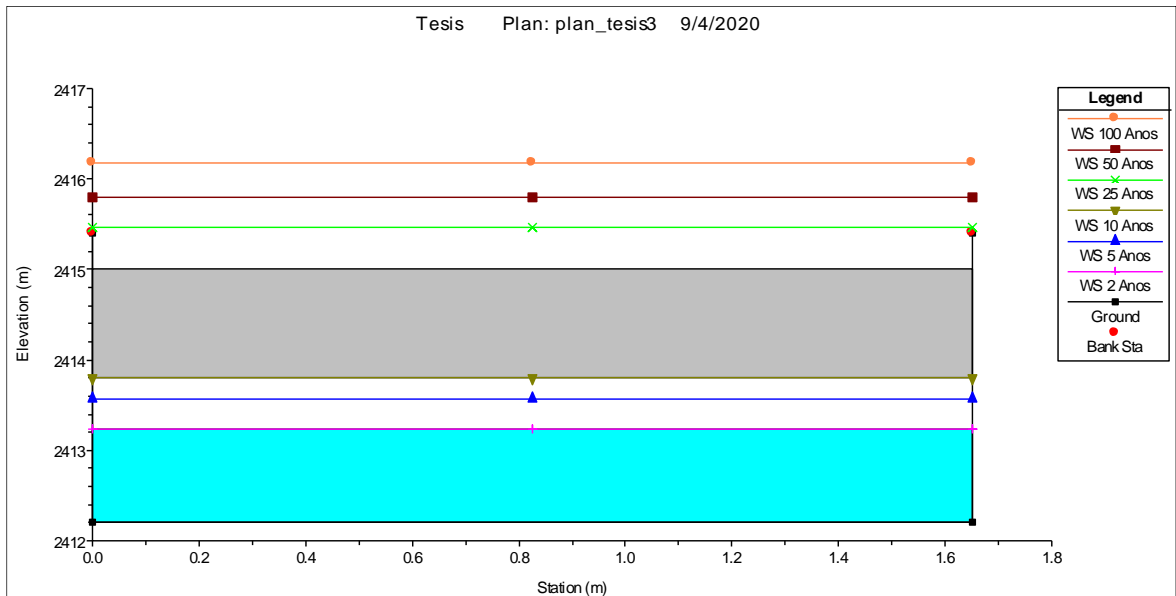


Figura 3.10. Alcantarilla con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas arriba.  
Fuente: Autor

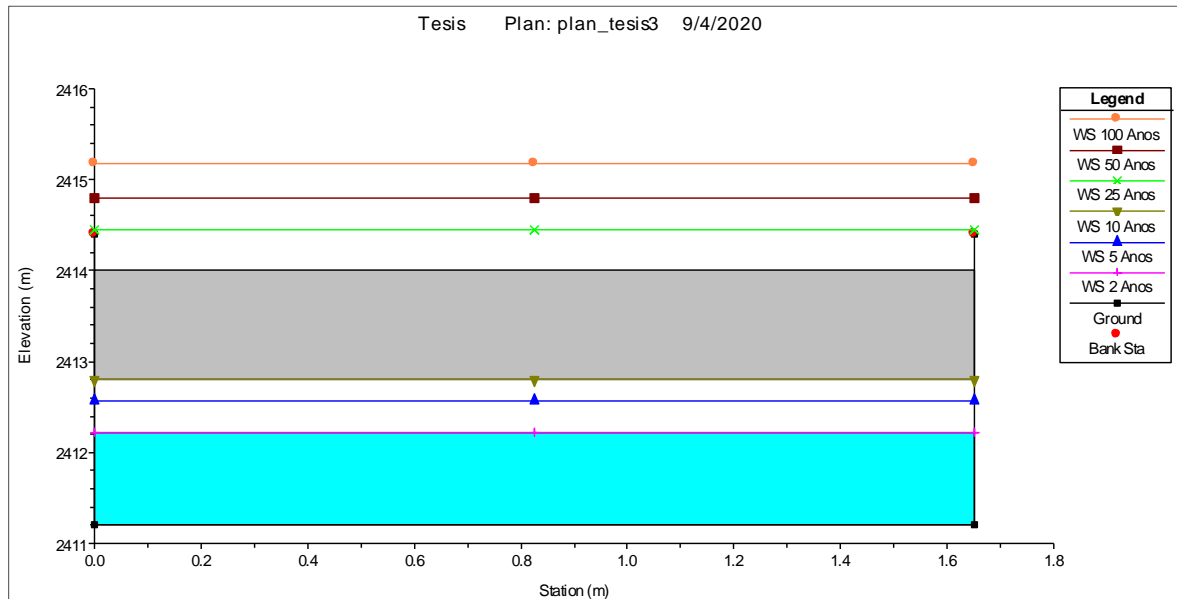


Figura 3.11. Alcantarilla con resultados de nivel de superficie libre de agua para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años, vista desde aguas abajo  
Fuente: Autor

Como se observa en las figuras expuestas, el puente tiene capacidad hidráulica suficiente que permite la circulación de los caudales de hasta un periodo de 100 años sin problemas.

La alcantarilla presente en el tramo de estudio cuenta con una longitud de 55 metros, una sección de entrada de 1.65 m de ancho por 1.60 m de alto y una sección de salida de 1.65 m de ancho por 1,80 m de alto. Para la simulación se consideró una sección de 1.65 m de ancho por 1.60 m de alto tanto para la entrada como para la salida de la alcantarilla para obtener un modelo crítico en el tramo de la misma. El caso que presenta la alcantarilla es distinto al del puente, ya que no permite el paso completo de los caudales pertenecientes a los 10, 25, 50 y 100 años.

### 3.5.4 Perfil longitudinal de la quebrada del tramo de estudio para los niveles de avenida

En la Figura 3.12, se presentan los resultados a lo largo del perfil longitudinal del tramo de interés, en el cual se encuentran los niveles de agua para los diferentes períodos de retorno.

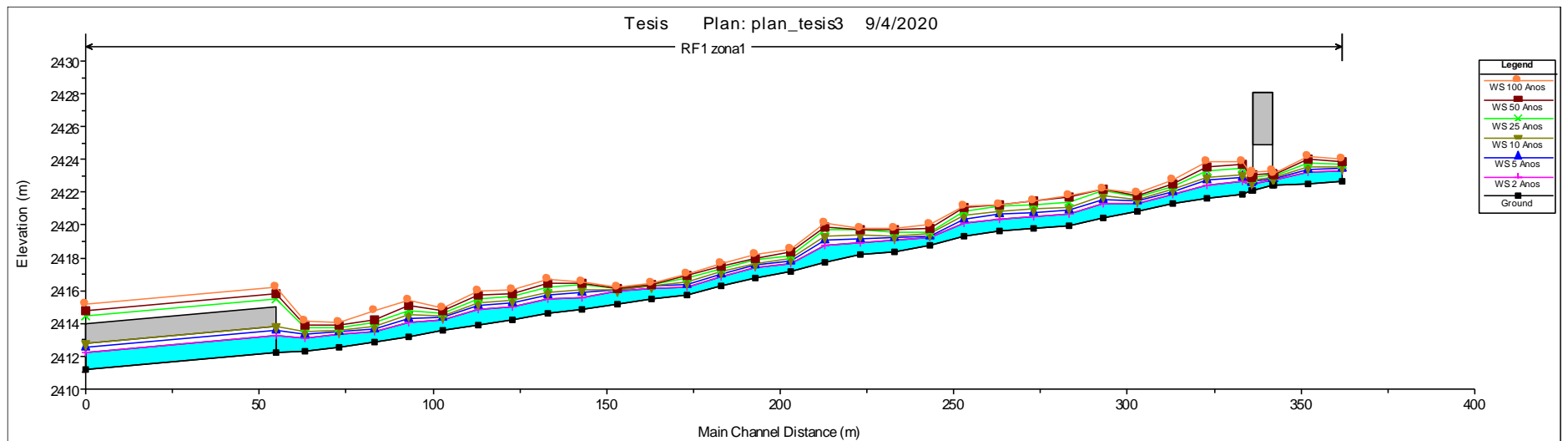


Figura 3.12. Resultados a lo largo del perfil longitudinal de la quebrada del tramo de estudio para los niveles de avenida  
Fuente: Autor

### **3.5.5 Manchas de inundación**

Las manchas de inundación son la representación de las áreas que se desbordan del lecho del río hacia las riberas de inundación, producto de la simulación hidráulica, estas áreas se originan mediante los caudales de diseño ingresados en la modelación. Las manchas obtenidas en el modelo sirven para estimar crecidas de caudal y realizar un análisis del impacto que esto puede generar en la zona de interés.

Las manchas para el presente estudio, se obtuvieron en la modelación realizada en el software HEC-RAS, al contar con información de la geometría del terreno de interés, se crea un MDE de las secciones en el modelo HEC-RAS a través del RAS Mapper, con los parámetros hidráulicos incorporados en el modelo y su posterior simulación, se obtiene como resultado las manchas de inundación generadas dentro del mismo RAS Mapper de HEC-RAS.

En la zona de estudio se elaboran 6 mapas de manchas de inundación, respecto a los caudales que se obtuvieron en el estudio hidrológico para los distintos períodos de retorno propuestos. Estos mapas de inundación se los exportan del HEC-RAS hacia el ArcGis para una mejor presentación y visualización de los resultados.

La vista en planta de las secciones transversales a lo largo del tramo de estudio y los 6 planos de inundación presentados en ArcGis se visualiza a continuación:

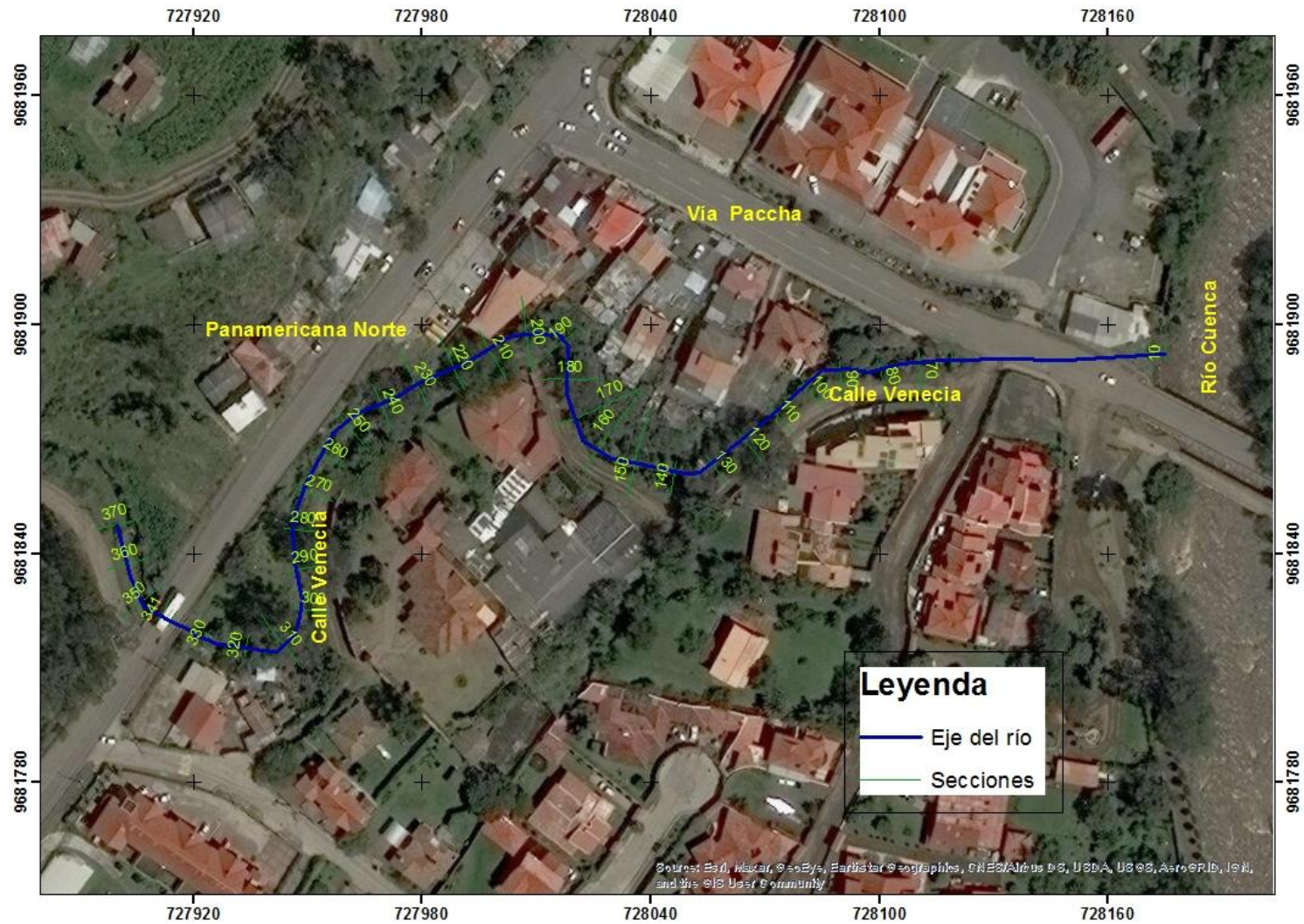


Figura 3.13. Vista en planta de los perfiles transversales a lo largo del tramo de estudio, en ArcGis.  
Fuente: Autor





Figura 3.14. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $Tr=2$  Años ( $Q = 5.41 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Fuente: Autor



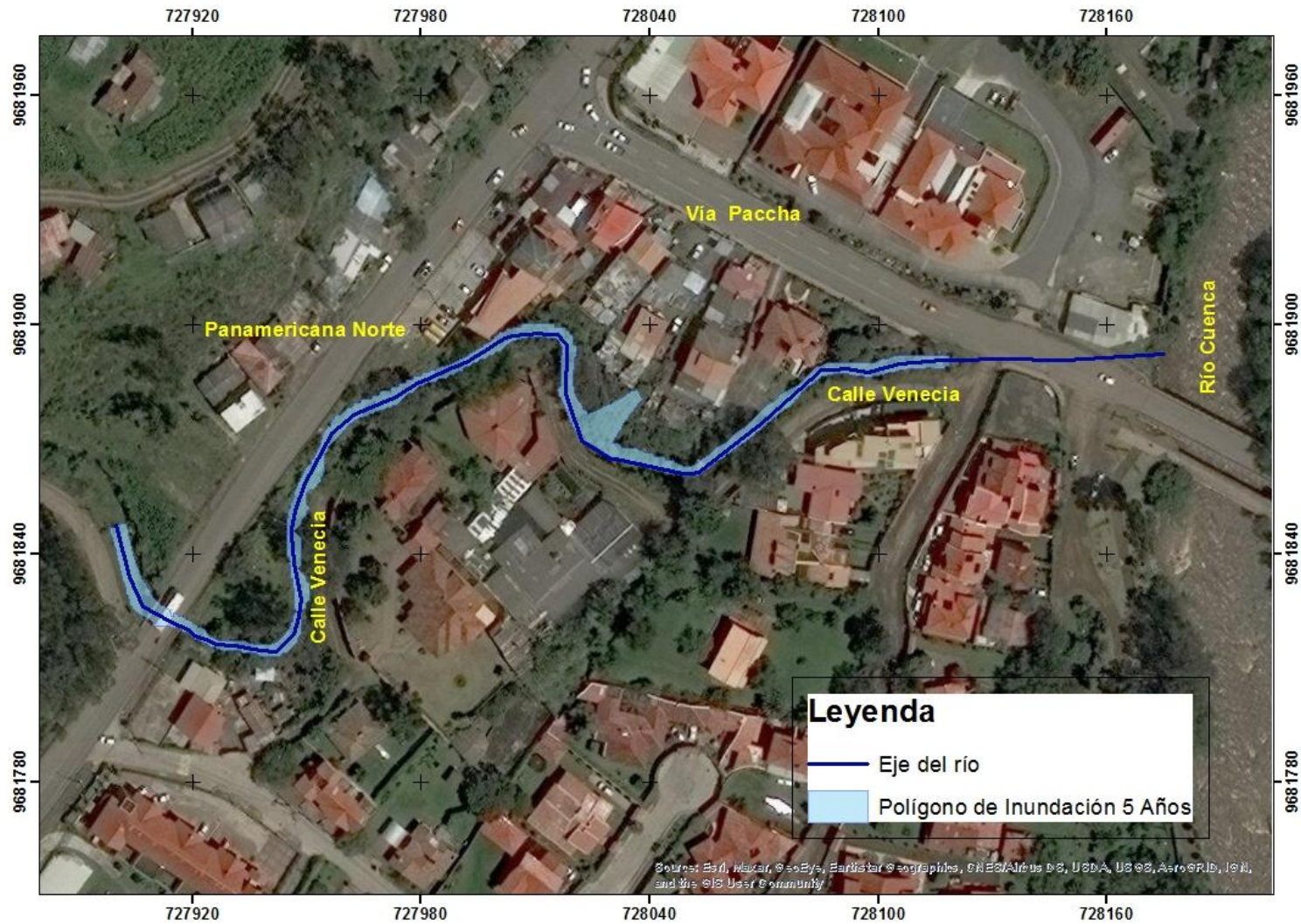


Figura 3.15. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $Tr=5$  Años ( $Q = 8.27 m^3/s$ )

Fuente: Autor





Figura 3.16. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $T_r=10$  Años ( $Q = 10.94 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Fuente: Autor



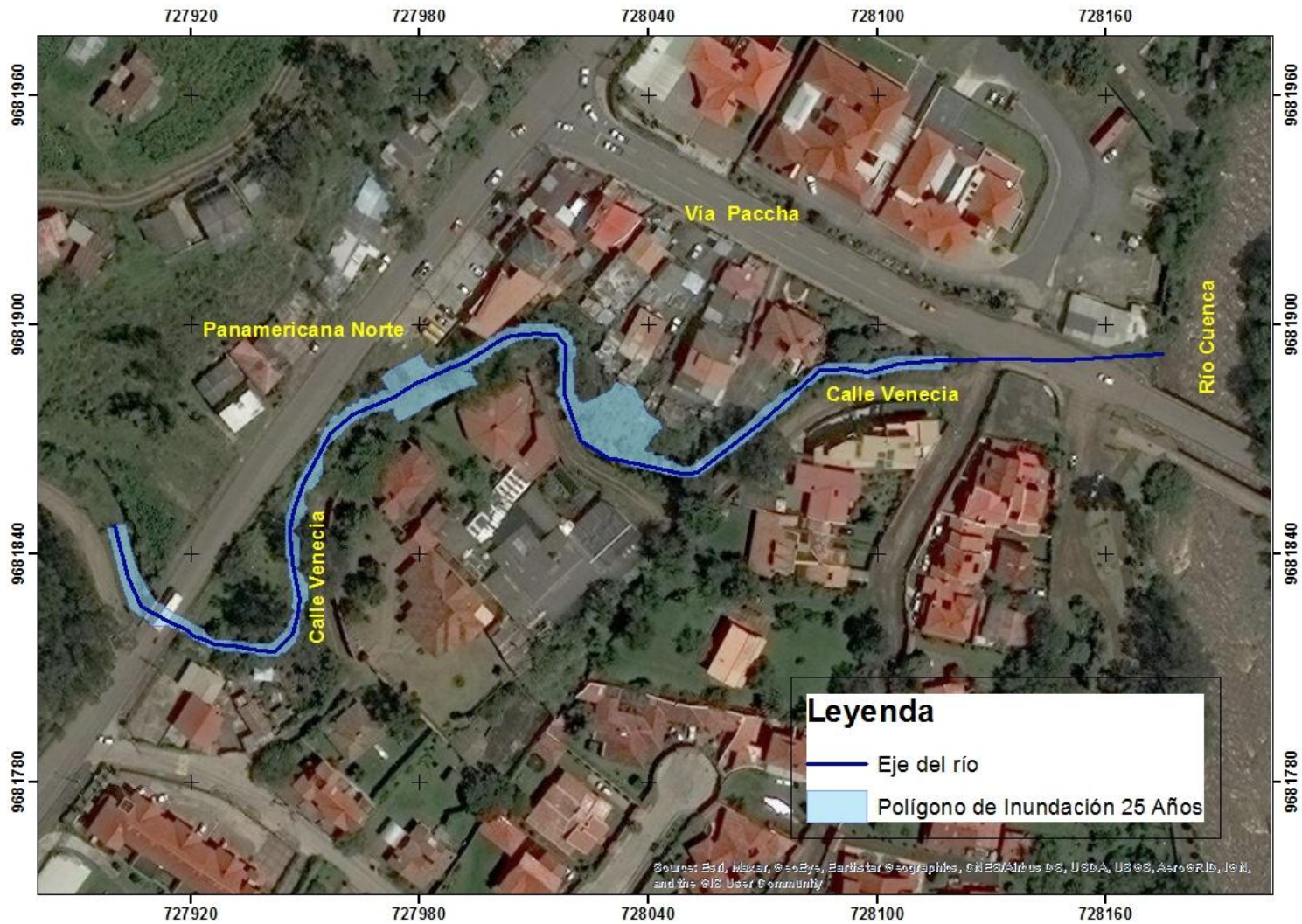


Figura 3.17. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $T_r=25$  Años ( $Q = 15.12 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Fuente: Autor



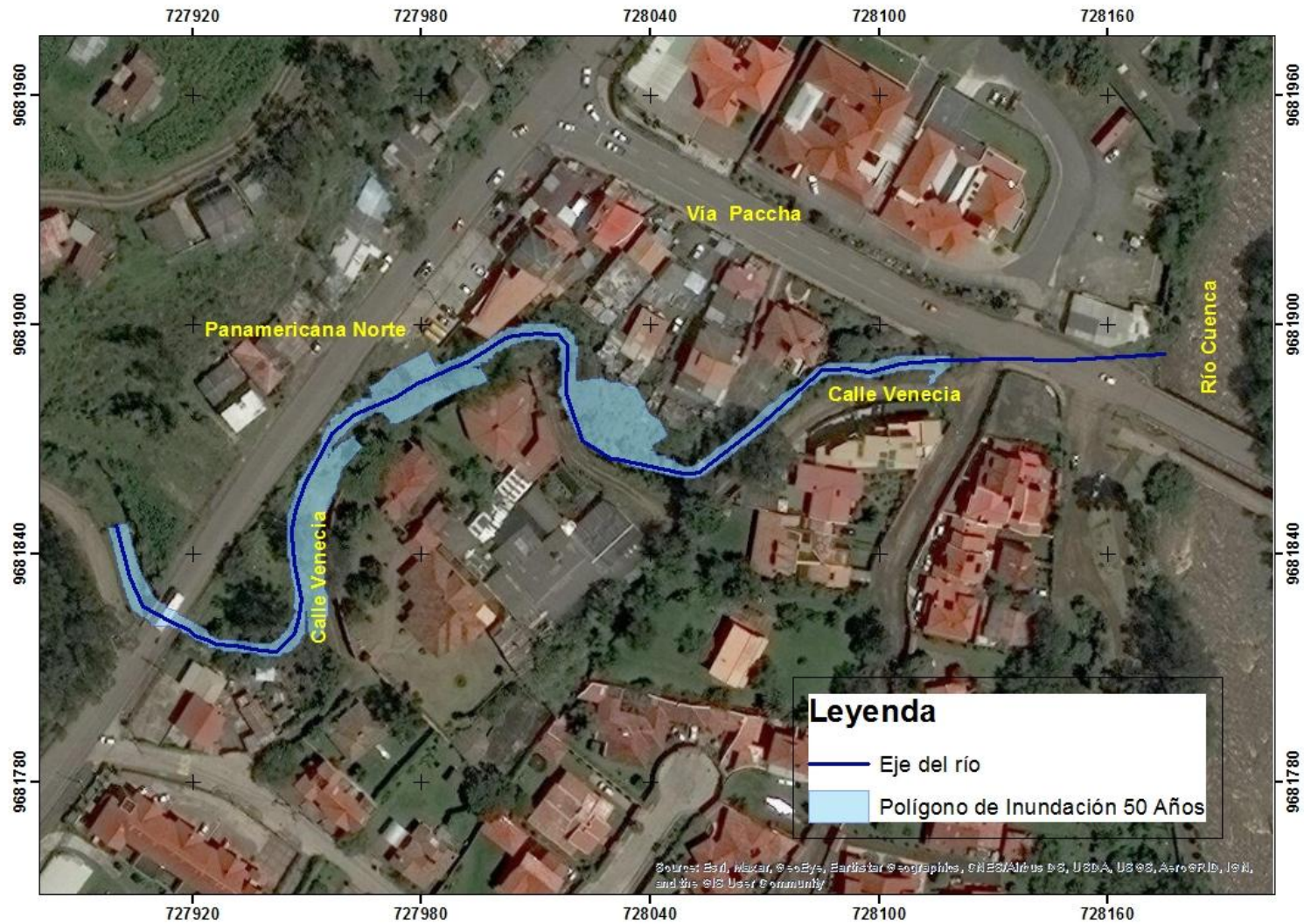


Figura 3.18. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $Tr=50$  Años ( $Q = 18.94 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Fuente: Autor



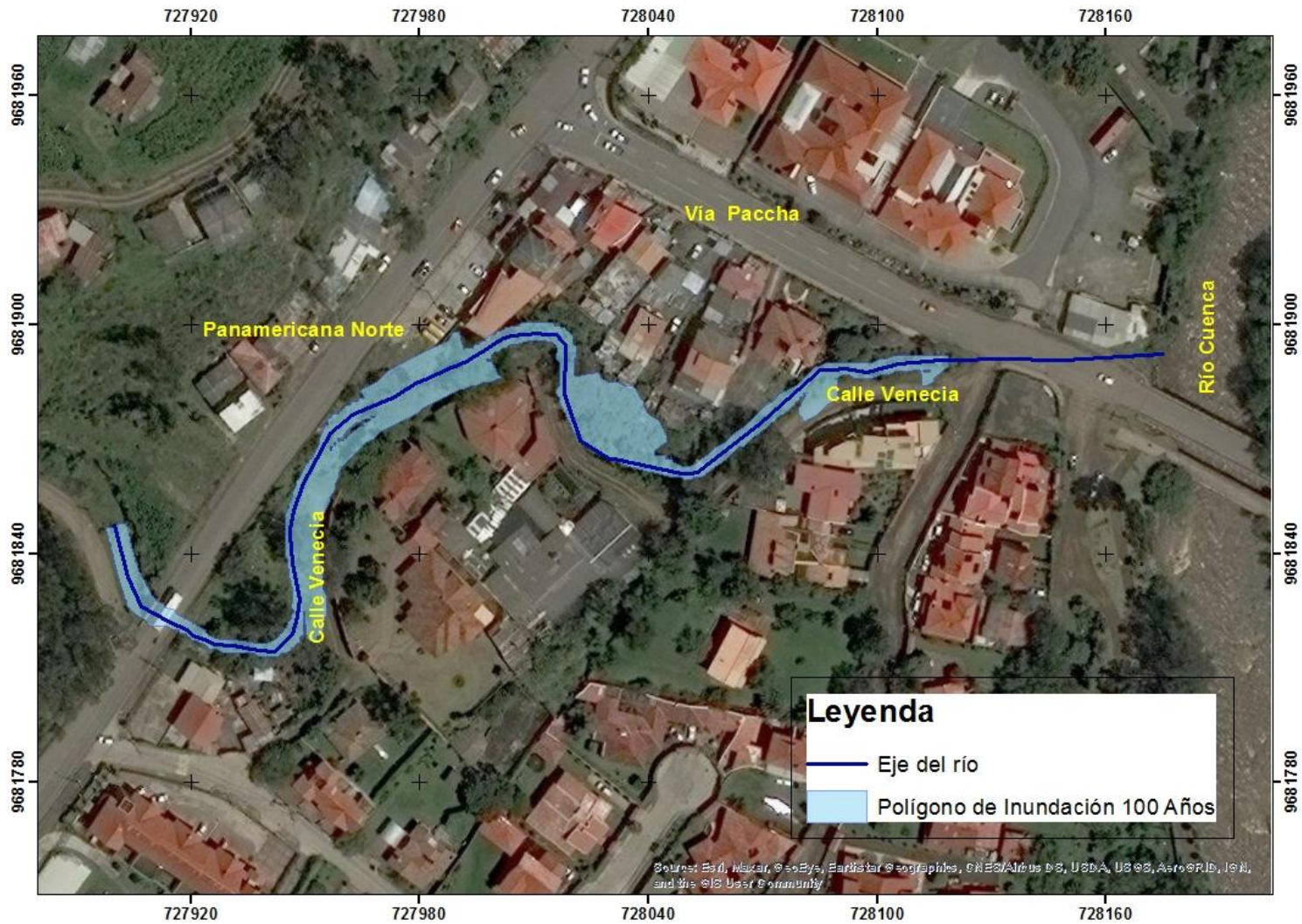


Figura 3.19. Mancha de inundación en el tramo de estudio, con caudal de  $T_r=100$  Años ( $Q = 23.84 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Fuente: Autor

### 3.6 Análisis de impacto

Con los caudales obtenidos en el modelamiento hidrológico junto a los mapas generados en la simulación hidráulica se realiza un breve análisis del impacto en el tramo estudiado ante los distintos escenarios obtenidos.

En los mapas de inundación se observan las zonas afectadas por el desbordamiento de la quebrada para los distintos casos de la simulación.

Para las simulaciones realizadas con los caudales de 2, 5 y 10 años se observa un comportamiento similar en donde se evidencia riesgo de inundaciones en la sección 160 y sus secciones aledañas, en este tramo se encuentra afectada una casa con un gran terreno, que se inunda a partir de una avenida de  $5.41 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondiente al caudal de 2 años.

Desde los caudales de 25 años en adelante, se presentan mayores zonas afectadas conforme crece el caudal, según el modelo existen inundaciones en la calle Venecia y terrenos colindantes a la quebrada, donde se verían también damnificadas las casas que están junto a la calle mencionada.

Estas inundaciones obtenidas en la modelación además de ocasionar molestias a los moradores podrían representar un riesgo para la vida de los mismos, a más de causar daños materiales en el sector. Las inundaciones visualizadas podrían también trasladar residuos presentes en la quebrada o en los márgenes de la misma, como basura, materiales, que significan un peligro para la salud de las personas. Estos residuos podrían desplazarse a través del flujo hasta llegar a la alcantarilla situada aguas abajo pudiendo taponarla y de esta manera obstruir el paso del caudal lo cual significaría un incremento en los niveles de agua a lo largo de la quebrada agravando los daños antes mencionados.

Como se observó en los resultados, existe una falta de capacidad del embaulamiento al final de la quebrada la cual no permite el paso completo del caudal cuando se presentan grandes avenidas, generando desbordamientos en las secciones previas a la alcantarilla. El presente estudio servirá para que el Municipio pueda tomar una decisión y ejecutar acciones que permitan mejorar la circulación del flujo en este tramo final del estudio.

## CONCLUSIONES

Para el estudio del tramo de la quebrada ubicada en el sector Ucubamba, se logró incorporar información necesaria para la realización de los estudios tanto hidrológicos como hidráulicos, consultando distintas fuentes como el IERSE, el INAMHI o ETAPA EP., las mismas que fueron cuidadosamente analizadas y complementada con datos levantados en campo.

Para la cuenca del tramo de interés a través de las curvas IDF determinadas por el INAMHI se obtuvieron los caudales de diseño para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Los caudales se los generó a partir de la modelación hidrológica a través del software HEC-HMS y por el método racional. Los caudales máximos elegidos para el estudio hidráulico fueron los obtenidos mediante la modelación HEC-HMS, los cuales son: para un Tr de 2 años caudal de 5,41 m<sup>3</sup>/s, para un Tr de 5 años caudal de 8,27 m<sup>3</sup>/s, para un Tr de 10 años caudal de 10.94 m<sup>3</sup>/s, para un Tr de 25 años caudal de 15.12 m<sup>3</sup>/s, para un Tr de 50 años caudal de 18.94 m<sup>3</sup>/s y para un Tr de 100 años caudal de 23.84 m<sup>3</sup>/s.

Una vez establecidos los hidrogramas de caudales máximos se procedió a generar un modelo hidráulico del tramo de estudio mediante el software HEC-RAS, dicho modelo fue examinado para los distintos escenarios producidos por los caudales de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Para la modelación en HEC-RAS se incorporaron parámetros hidráulicos que fueron examinados meticulosamente, para incorporar la geometría en el modelo fue necesario completar la topografía entregada por la Municipalidad de Cuenca.

Como conclusión general de las simulaciones de avenidas para los distintos eventos generados, es la presencia continua de sectores con alto riesgo de inundación a lo largo del tramo de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bello Mendoza, L., y Velázquez Juárez, S. J. (2012). Cálculo del período de retorno. Universidad Nacional Autónoma de México. C.D.Mx., México. Obtenido de: <http://ru.ffyl.unam.mx/handle/10391/3722>
- Cerener. (s.f.). Metodología estudio hidrológico. Obtenido de Cerener: [https://www.cerener.es/?page\\_id=392](https://www.cerener.es/?page_id=392)
- Chow, V. T. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. Santa fé de Bogotá, Colombia: McGRAW-GILL.
- Chow, V. T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santa Fé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- Coello G., C. (2015). Análisis de vulnerabilidad de eventos de crecida y diseño de obras físicas para la protección de márgenes e infraestructura del río Tarqui. Cuenca, Ecuador.
- Consulproy. (2016). Análisis de vulnerabilidad a eventos de crecida y diseño de obras físicas para la protección de la margen derecha del río Cuenca, en el sector de Guangarcucho, predio donde se implantará la nueva planta de tratamiento de aguas residuales de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Daza Orellana, M. J., y Pérez León, P. A. (2013). Estudio para determinar la variación del coeficiente de escorrentía y su impacto en la capacidad de la red de alcantarillado en los colectores de las calles Aribumba e Imbabura (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Estrada Gómez, Y. A., y Rojas Herrera, D. A. (2013). Comparación entre el método racional y el método del número de curva para la estimación de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto residencial refugio de Bassedonia I (Trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gutiérrez García, W. R. (2020). Análisis del impacto de rellenos artificiales en eventos de inundación para el río Yanuncay, en el tramo Misicata-AV. de las Américas, empleando un modelo hidráulico 1D en régimen impermanente (Tesis de Pregrado). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.
- IDEAM. (23 de Julio de 2018). Protocolo de modelación Hidrológica e Hidráulica. Obtenido de IDEAM: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023833/Protocolo\\_Modelacion\\_HH.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023833/Protocolo_Modelacion_HH.pdf)
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Quito, Ecuador.



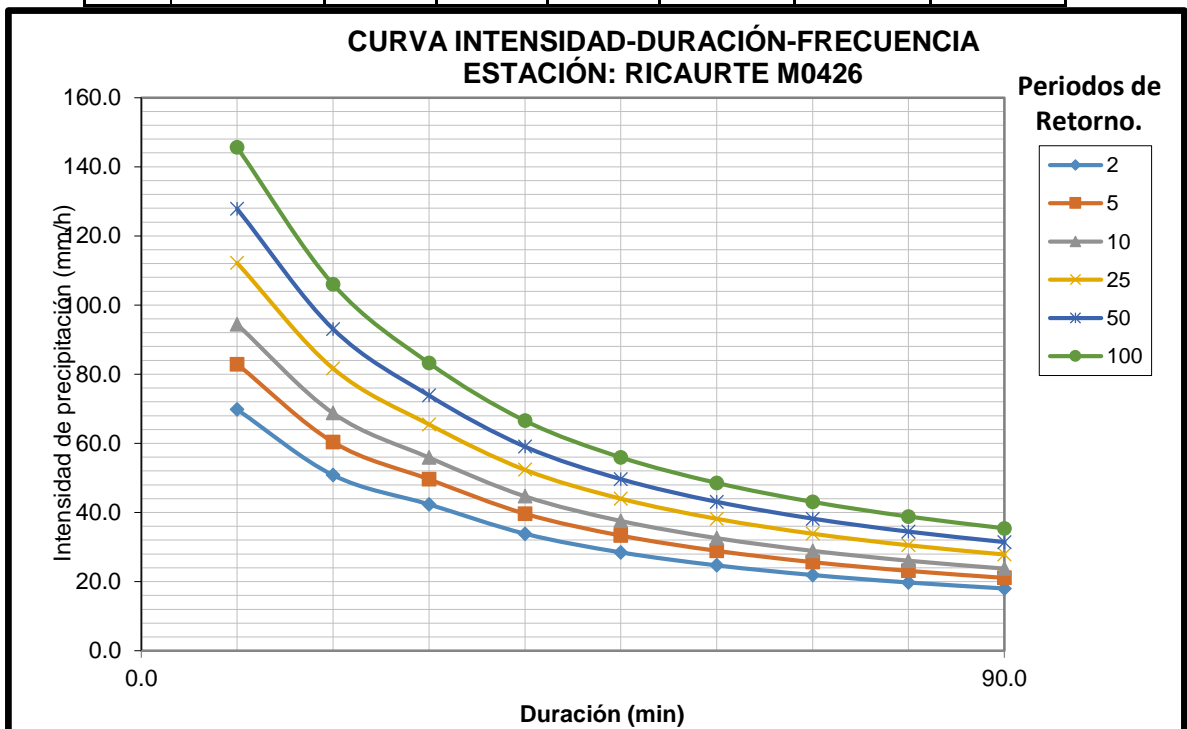
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (s.f.). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Perú.
- Oliveras, J. (25 de Marzo de 2013). Condiciones de contorno en HEC-RAS, simulación en régimen permanente. Obtenido de HidrojING:  
<http://www.hidrojing.com/condiciones-de-contorno-en-hec-ras/>
- Oliveras, J. (22 de Febrero de 2016). Como seleccionar el coeficiente de rugosidad de Manning en cauces naturales. Obtenido de HidrojING:  
<http://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>
- Timbe Castro, E. (2012). Estudio para la mitigación del impacto causado por el río Cuenca en el tramo de la PTAR Ucubamba. Cuenca, Ecuador.
- Timbe Castro, L., y Timbe Castro, E. (2012). Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay. Cuenca, Ecuador.
- Timbe, L., y Willems, P. (2011). Desempeño de modelos hidráulicos 1D y 2D para la simulación de inundaciones. Maskana.

ANEXOS

Anexo 1: Curvas IDF- Hietograma (Estación Ricaurte M0426)

Cuadro 1: Intensidades de diseño para duraciones menores a 1 hora 30 minutos

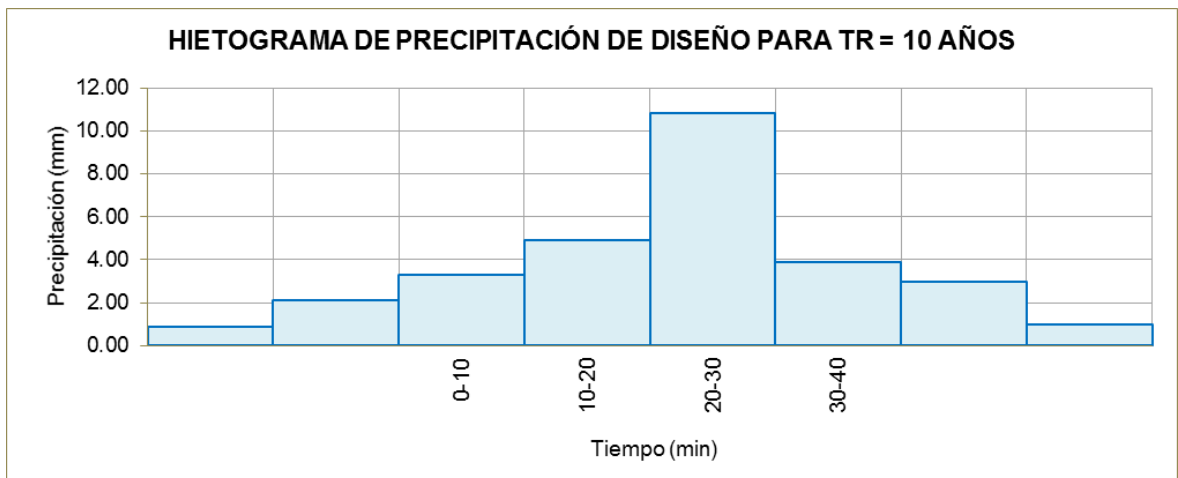
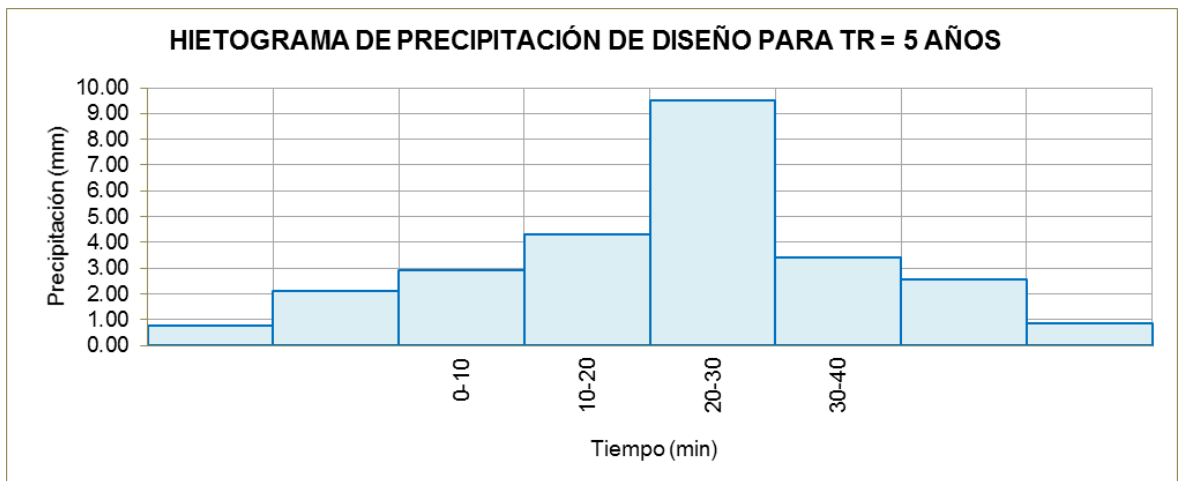
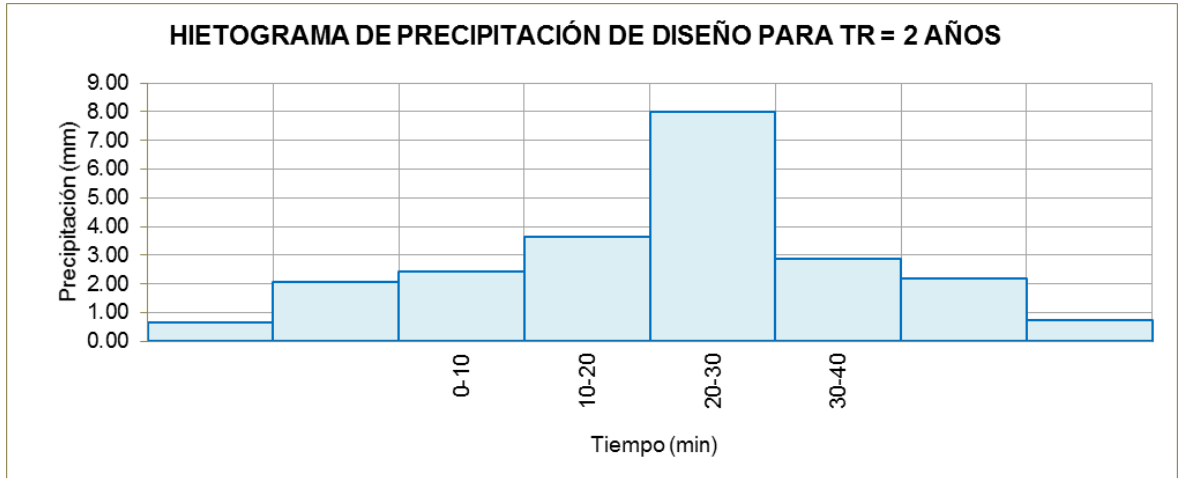
Estación Ricaurte M0426							
Duración		Período de Retorno (años)					
Hr	Min	2	5	10	25	50	100
0.17	10.00	69.76	82.88	94.43	112.19	127.81	145.61
0.33	20.00	50.79	60.35	68.75	81.68	93.06	106.02
0.50	30.00	42.33	49.60	55.91	65.50	73.83	83.23
0.67	40.00	33.84	39.65	44.70	52.36	59.03	66.54
0.83	50.00	28.45	33.33	37.57	44.02	49.62	55.93
1.00	60.00	24.69	28.92	32.60	38.20	43.06	48.53
1.17	70.00	21.90	25.65	28.92	33.88	38.19	43.05
1.33	80.00	19.74	23.12	26.06	30.53	34.42	38.80
1.50	90.00	18.01	21.10	23.78	27.86	31.41	35.40

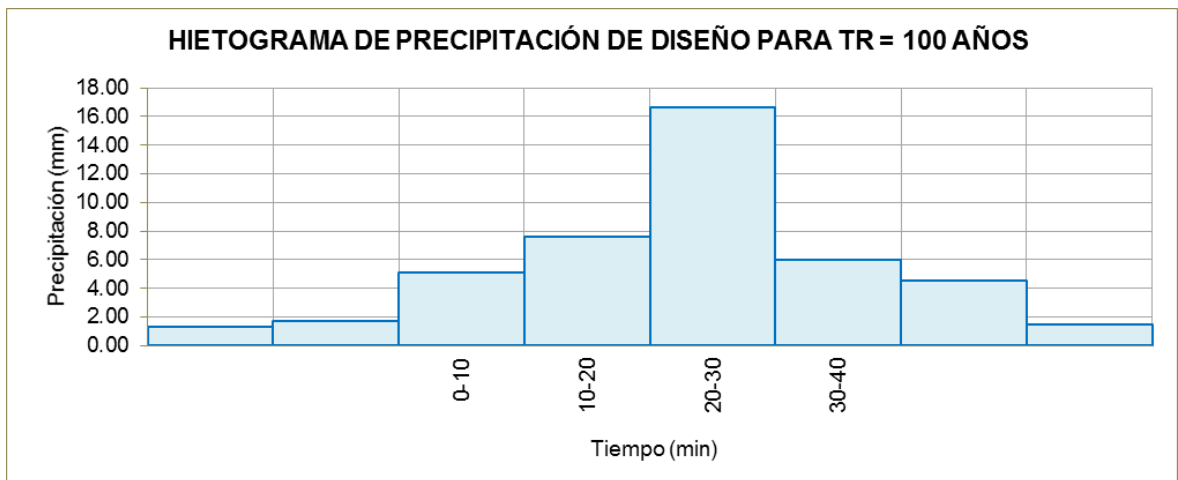
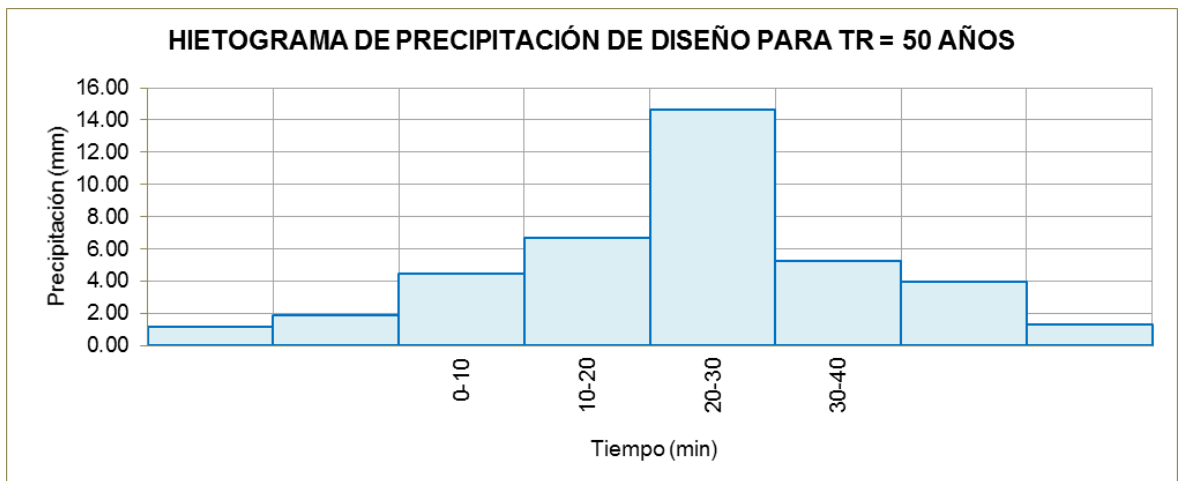
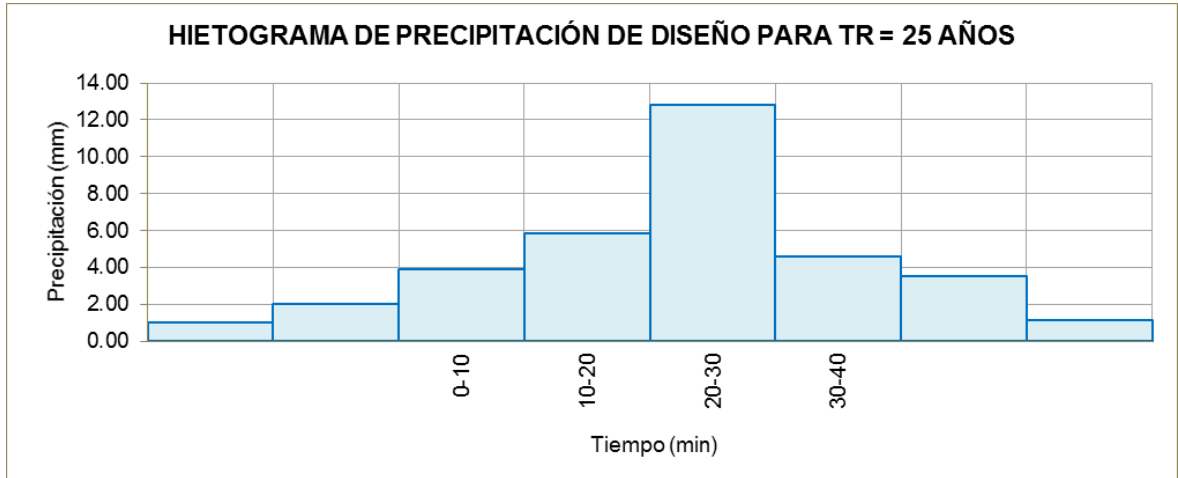


**Cuadro 2: Método del Bloque Alterno**

TR	Duración	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	Precipitación
	min	mm/hr	mm	mm	min	mm
2	5	95.81368668	7.98447389	7.98447389	0-5	0.658737034
	10	69.76153356	11.62692226	3.64244837	5-10	2.058762182
	15	57.94306186	14.48576546	2.858843204	10-15	2.445258809
	20	50.79307282	16.93102427	2.445258809	15-20	3.64244837
	25	45.86053144	19.10855477	2.177530494	20-25	7.98447389
	30	42.3346339	21.16731695	2.058762182	25-30	2.858843204
	35	37.54953052	21.9038928	0.736575855	30-35	2.177530494
	40	33.84394476	22.56262984	0.658737034	35-40	0.736575855
5	5	113.8361153	9.486	9.486	0-5	0.771749067
	10	82.88358637	13.814	4.328	5-10	2.095904374
	15	68.84207567	17.211	3.397	10-15	2.905208779
	20	60.34718309	20.116	2.905	15-20	4.327588123
	25	54.48683715	22.703	2.587	20-25	9.486342939
	30	49.59750638	24.799	2.096	25-30	3.396587855
	35	43.99147714	25.662	0.863	30-35	2.587121119
	40	39.6501661	26.433	0.772	35-40	0.862941811
10	5	129.6891993	10.80743327	10.80743327	0-5	0.869949608
	10	94.42614874	15.73769146	4.930258181	5-10	2.089748301
	15	78.42918436	19.60729609	3.869604635	10-15	3.309794958
	20	68.75127315	22.91709105	3.309794958	15-20	4.930258181
	25	62.07480171	25.86450071	2.947409665	20-25	10.80743327
	30	55.90849803	27.95424901	2.089748301	25-30	3.869604635
	35	49.58913447	28.92699511	0.972746093	30-35	2.947409665

	40	44.69541707	29.79694472	0.869949608	35-40	0.972746093
25	5	154.0835673	12.84029727	12.84029727	0-5	1.019196985
	10	112.1875833	18.69793054	5.857633267	5-10	2.020462814
	15	93.1816109	23.29540272	4.597472183	10-15	3.932363041
	20	81.6832973	27.22776577	3.932363041	15-20	5.857633267
	25	73.75099036	30.72957932	3.501813551	20-25	12.84029727
	30	65.50008426	32.75004213	2.020462814	25-30	4.597472183
	35	58.09657924	33.88967123	1.139629095	30-35	3.501813551
	40	52.36330232	34.90886821	1.019196985	35-40	1.139629095
50	5	175.5416058	14.62846715	14.62846715	0-5	1.14888382
	10	127.8110889	21.30184814	6.673380995	5-10	1.908240313
	15	106.1583003	26.53957507	5.237726927	10-15	4.479993128
	20	93.05870459	31.0195682	4.479993128	15-20	6.673380995
	25	84.02172601	35.0090525	3.989484307	20-25	14.62846715
	30	73.83458563	36.91729282	1.908240313	25-30	5.237726927
	35	65.48902805	38.20193303	1.284640211	30-35	3.989484307
	40	59.02622527	39.35081685	1.14888382	35-40	1.284640211
100	5	199.9879409	16.66566174	16.66566174	0-5	1.295072545
	10	145.6103604	24.26839341	7.602731663	5-10	1.730306549
	15	120.9421538	30.23553845	5.967145046	10-15	5.103887464
	20	106.0182777	35.33942592	5.103887464	15-20	7.602731663
	25	95.72278837	39.88449515	4.545069236	20-25	16.66566174
	30	83.2296034	41.6148017	1.730306549	25-30	5.967145046
	35	73.82212258	43.06290484	1.448103139	30-35	4.545069236
	40	66.53696608	44.35797739	1.295072545	35-40	1.448103139





**Anexo 2: Áreas de cobertura vegetal y Cálculo del número de curva ponderado**

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia=0.2S)				
Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas.	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio del lote				
	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calle y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow, Maidment y Mays (1994)

Subcuenca	Área (m2)	Área(KM2)	Área(ha)
W310	1188828	1.188828	118.8828
W330	335043	0.335043	33.5043
W380	272799	0.272799	27.2799
W400	132894	0.132894	13.2894
W430	70182	0.070182	7.0182
W440	341964	0.341964	34.1964
W450	72270	0.07227	7.227
W460	149787	0.149787	14.9787
	2563767	2.563767	256.3767

Subcuenca:	W310
Área (ha):	118.8828

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
cultivo (maiz suave)	217322.961	21.7322961	78	1695.119092
cultivo (maiz suave)	178989.518	17.8989518	78	1396.118241
plantacion forestal (eucalipto)	11966.6178	1.19666178	70	83.76632491
área poblada	26245.8358	2.62458358	98	257.2091913
área poblada	542884.317	54.2884317	98	5320.266309
infraestructura antropica (complejo industrial)	0.022849	2.2849E-06	91	0.000207926
área poblada	7578.42377	0.75784238	98	74.26855297
área poblada	37683.5271	3.76835271	98	369.2985655
área poblada	10783.7879	1.07837879	98	105.6811215
área poblada	6541.7985	0.65417985	98	64.10962526
pastizal	130926.218	13.0926218	74	968.8540098
pastizal	17904.9728	1.79049728	74	132.4967984
		118.8828		10467.18804

Número de Curva Ponderado (W310):	88.0462778
-----------------------------------	------------



Subcuenca:	W330
Área (ha):	33.5043

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
cultivo (maiz suave)	119551.472	11.9551472	78	932.5014828
pastizal	43947.7521	4.39477521	74	325.2133659
pastizal	51380.8958	5.13808958	74	380.2186287
área poblada	13047.4338	1.30474338	98	127.8648515
área poblada	105414.731	10.5414731	98	1033.064366
área poblada	1700.71489	0.17007149	98	16.66700594
		33.5043		2815.529701

Número de Curva Ponderado (W330):	84.0348761
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W380
Área (ha):	27.2799

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
cultivo (maiz suave)	73820.6755	7.38206755	78	575.8012691
plantacion forestal (eucalipto)	55708.8992	5.57088992	70	389.9622946
pastizal	83668.8038	8.36688038	74	619.149148
área poblada	13102.1519	1.31021519	98	128.4010884
área poblada	26181.6854	2.61816854	98	256.5805164
área poblada	20316.7842	2.03167842	98	199.1044855
		27.2799		2168.998802

Número de Curva Ponderado (W380):	79.5090452
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W400
Área (ha):	13.2894

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
plantacion forestal (eucalipto)	74643.9599	7.46439599	70	522.5077196
pastizal	972.442783	0.09724428	74	7.196076594
área poblada	1912.49057	0.19124906	98	18.74240756
área poblada	25881.4674	2.58814674	98	253.6383804
área poblada	29483.6393	2.94836393	98	288.9396654
		13.2894		1091.024249

Número de Curva Ponderado (W400):	82.0973294
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W430
Área (ha):	7.0182

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
plantacion forestal (eucalipto)	16266.7338	1.62667338	70	113.8671367
pastizal	31900.2193	3.19002193	74	236.0616229
área poblada	22011.8435	2.20118435	98	215.7160659
cuerpo de agua (rio)	3.203413	0.00032034	100	0.03203413
		7.0182		565.6768596

Número de Curva Ponderado (W430):	80.6014163
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W440
Área (ha):	34.1964

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
plantacion forestal (eucalipto)	21437.4777	2.14374777	70	150.0623439
pastizal	208132.445	20.8132445	74	1540.180097
área poblada	62651.0499	6.26510499	98	613.9802886
área poblada	49743.0269	4.97430269	98	487.481664
		34.1964		2791.704393

Número de Curva Ponderado (W440):	81.6373768
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W450
Área (ha):	7.227

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
plantacion forestal (eucalipto)	37354.9672	3.73549672	70	261.4847701
pastizal	12844.5657	1.28445657	74	95.04978654
área poblada	5703.90586	0.57039059	98	55.89827747
área poblada	16366.5612	1.63665612	98	160.3923001
		7.227		572.8251342

Número de Curva Ponderado (W450):	79.2618146
-----------------------------------	------------

Subcuenca:	W460
Área (ha):	14.9787

Uso de suelo y cobertura vegetal.	Área(m2)	Área (ha)	Número de Curva (NC)	Área (ha) x NC
cultivo (maiz suave)	24114.2312	2.41142312	78	188.0910037
plantacion forestal (eucalipto)	7239.00556	0.72390056	70	50.67303889
pastizal	1296.69146	0.12966915	74	9.595516811
área poblada	11240.455	1.1240455	98	110.156459
área poblada	20153.5866	2.01535866	98	197.5051483
área poblada	82412.4883	8.24124883	98	807.6423852
área poblada	3330.5419	0.33305419	98	32.63931065
		14.9787		1396.302862

Número de Curva Ponderado (W460):	93.2192288
-----------------------------------	------------

Resultados:

Subcuenca	NC Ponderado
W310	88.04627785
W330	84.03487614
W380	79.5090452
W400	82.09732941
W430	80.60141627
W440	81.63737684
W450	79.26181461
W460	93.2192288

## Anexo 3: Cálculo del caudal máximo por el método racional

Coeficientes de escorrentía a utilizar con el método racional.						
Características de la superficie	Período de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Áreas desarrolladas						
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95
Concreto/techo	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)						
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)						
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47
Promedio, 2-7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53
Pendiente, superior al 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55
Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente, superior al 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46
Pendiente, superior al 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51
Áreas no desarrolladas						
Áreas de cultivos						
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
Pendiente, superior al 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54
Pastizales						
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente, superior al 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53
Bosques						
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47
Pendiente, superior al 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52

Fuente: Chow, Maidment y Mays (1994)

Uso del suelo	Área (m <sup>2</sup> )	Área (Ha)	Coficiente de escorrentía (Tr=2 años)	Coficiente de escorrentía (Tr=5 años)	Coficiente de escorrentía (Tr=10 años)	Coficiente de escorrentía (Tr=25 años)	Coficiente de escorrentía (Tr=50 años)	Coficiente de escorrentía (Tr=100 años)
cultivo (maiz suave)	613798.86	61.379886	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
pastizal	582975.01	58.297501	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
area poblada	1142372.2	114.23722	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
plantacion forestal (eucalipto)	224617.66	22.461766	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47
cuerpo de agua (rio)	3.203413	0.0003203	1	1	1	1	1	1
infraestructura antropica (complejo industrial)	0.022849	2.285E-06	0.8	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
Total:	2563767	256.3767						

TR (años)	TC (min)	I (mm/hr)	A (ha)	C.Ponderado	Q (m <sup>3</sup> /s)
2	40	34.1284	256.38	0.52018	12.6430315
5	40	39.9835	256.38	0.5591	15.9203255
10	40	45.0711	256.38	0.5859	18.8062973
25	40	52.8	256.38	0.628	23.6143072
50	40	59.52	256.38	0.6648	28.1796488
100	40	67.096	256.38	0.7069	33.7781807

## Anexo 4: Resultados numéricos obtenidos en la modelación HEC-RAS

Reach	River Sta	TR	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
zonal	370	2 Años	5.41	2422.7	2423.27	2423.33	2423.61	0.03202	2.58	2.1	4.26	1.17
zonal	370	5 Años	8.27	2422.7	2423.43	2423.51	2423.87	0.03202	2.96	2.79	4.49	1.2
zonal	370	10 Años	10.94	2422.7	2423.56	2423.66	2424.09	0.03203	3.24	3.38	4.68	1.22
zonal	370	25 Años	15.12	2422.7	2423.73	2423.87	2424.38	0.03204	3.57	4.23	4.94	1.23
zonal	370	50 Años	18.94	2422.7	2423.88	2424.03	2424.62	0.03205	3.82	4.96	5.15	1.24
zonal	370	100 Años	23.84	2422.7	2424.04	2424.23	2424.89	0.03204	4.08	5.84	5.4	1.25
zonal	360	2 Años	5.41	2422.52	2423.2	2423.2	2423.5	0.02447	2.43	2.22	3.75	1.01
zonal	360	5 Años	8.27	2422.52	2423.41	2423.41	2423.79	0.02327	2.72	3.04	4.04	1
zonal	360	10 Años	10.94	2422.52	2423.58	2423.58	2424.02	0.02291	2.94	3.72	4.27	1.01
zonal	360	25 Años	15.12	2422.52	2423.8	2423.8	2424.33	0.02249	3.2	4.72	4.58	1.01
zonal	360	50 Años	18.94	2422.52	2423.99	2423.99	2424.57	0.02214	3.39	5.59	4.84	1.01
zonal	360	100 Años	23.84	2422.52	2424.2	2424.2	2424.85	0.02181	3.58	6.65	5.13	1.01
zonal	350	2 Años	5.41	2422.4	2422.75	2422.86	2423.13	0.06007	2.73	1.98	6.27	1.55
zonal	350	5 Años	8.27	2422.4	2422.83	2423	2423.4	0.06887	3.34	2.48	6.34	1.7





















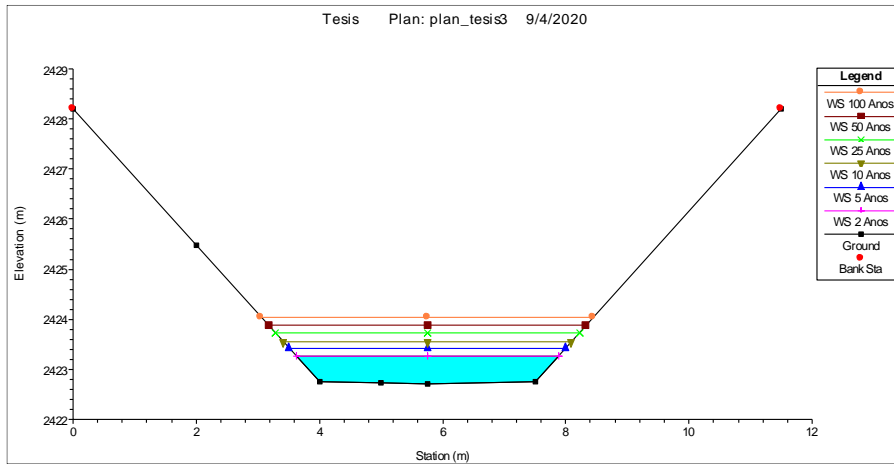




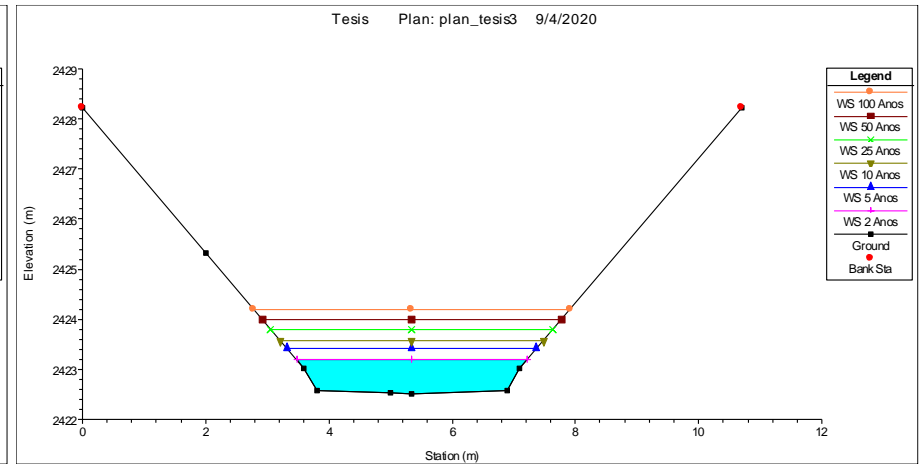
zonal	60	2 Años	5.41	2412.2	2413.24	2413.24	2413.75	0.01755	3.16	1.71	1.65	0.99
zonal	60	5 Años	8.27	2412.2	2413.57	2413.57	2414.25	0.02016	3.65	2.27	1.65	0.99
zonal	60	10 Años	10.94	2412.2	2413.8	2413.8	2414.68	0.02408	4.14	2.64	1.65	1.04
zonal	60	25 Años	15.12	2412.2	2415.46	2415.46	2416.47	0.04503	4.45	3.4	1.65	0.79
zonal	60	50 Años	18.94	2412.2	2415.79	2415.79	2416.97	0.04299	4.8	3.94	1.65	0.81
zonal	60	100 Años	23.84	2412.2	2416.18	2416.18	2417.56	0.04114	5.2	4.59	1.65	0.83
zonal	10	2 Años	5.41	2411.2	2412.21	2412.24	2412.75	0.01867	3.23	1.67	1.65	1.03
zonal	10	5 Años	8.27	2411.2	2412.57	2412.57	2413.25	0.02016	3.65	2.27	1.65	0.99
zonal	10	10 Años	10.94	2411.2	2412.8	2412.8	2413.68	0.02408	4.14	2.64	1.65	1.04
zonal	10	25 Años	15.12	2411.2	2414.45	2414.45	2415.47	0.04593	4.48	3.38	1.65	0.79
zonal	10	50 Años	18.94	2411.2	2414.79	2414.79	2415.97	0.04298	4.8	3.94	1.65	0.81
zonal	10	100 Años	23.84	2411.2	2415.18	2415.18	2416.56	0.04113	5.2	4.59	1.65	0.83

Anexo 5: Secciones transversales (HEC-RAS)

Estación 370

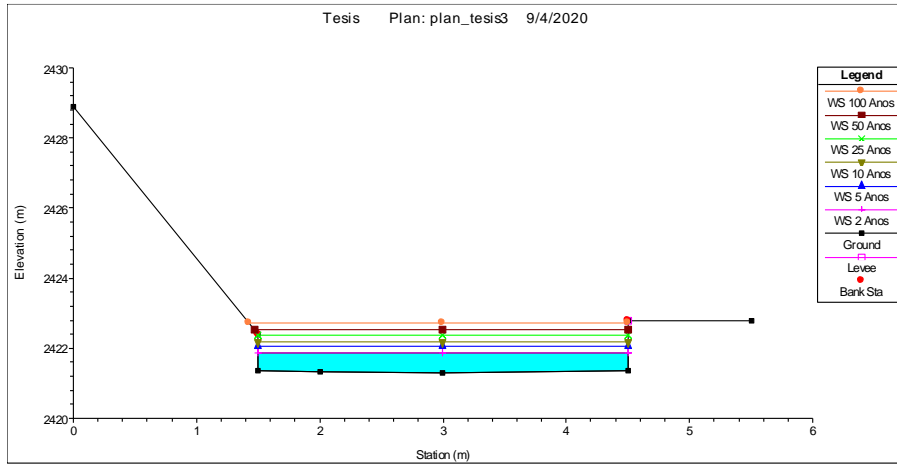


Estación 360

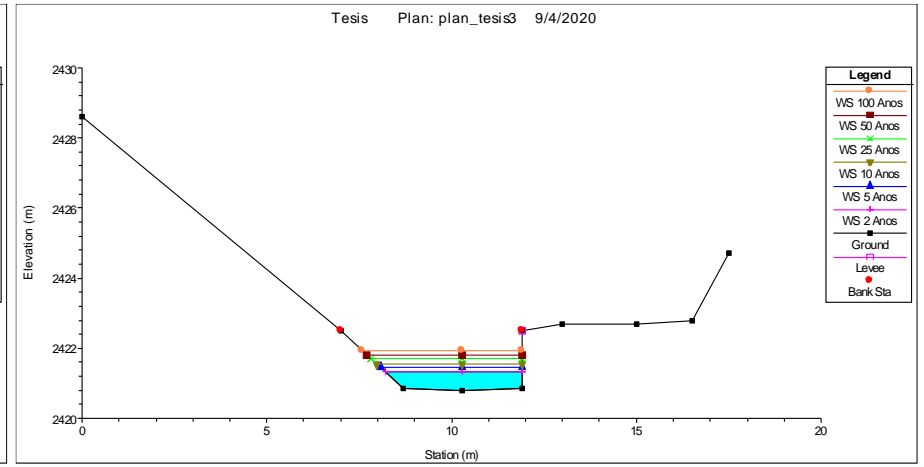




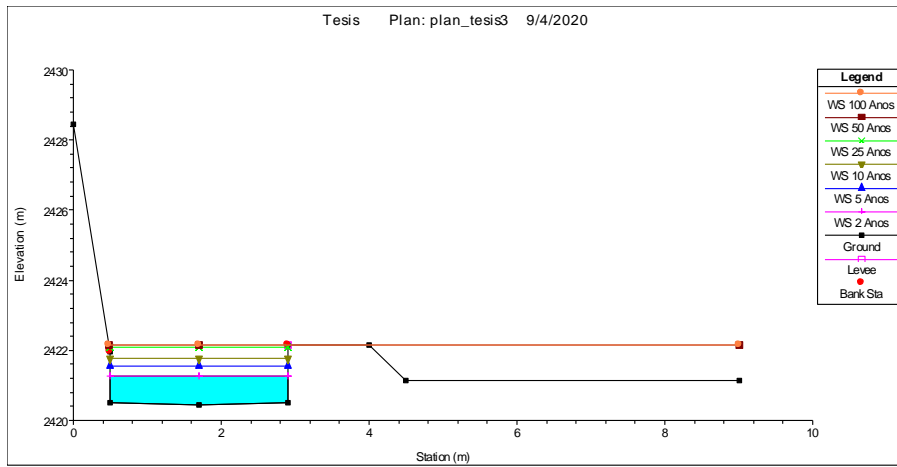
Estación 320



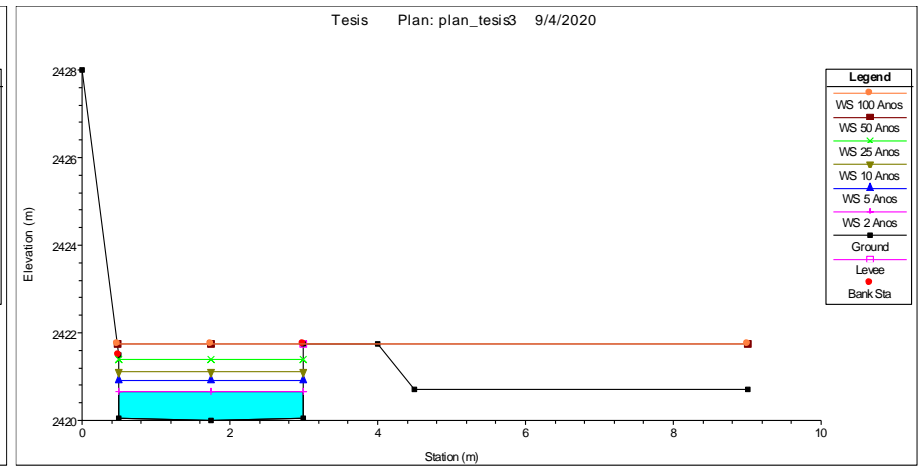
Estación 310



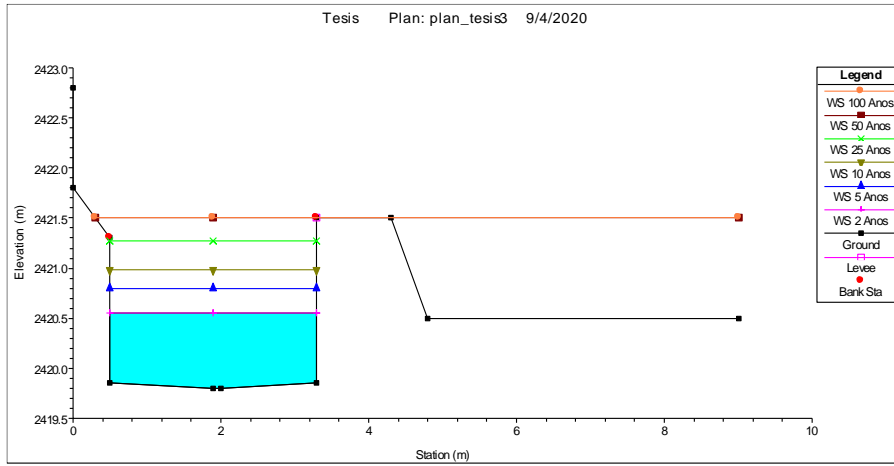
Estación 300



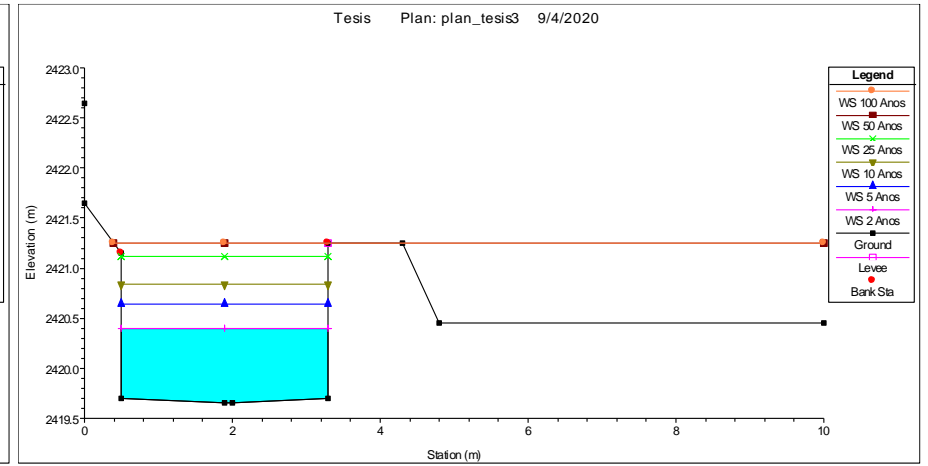
Estación 290



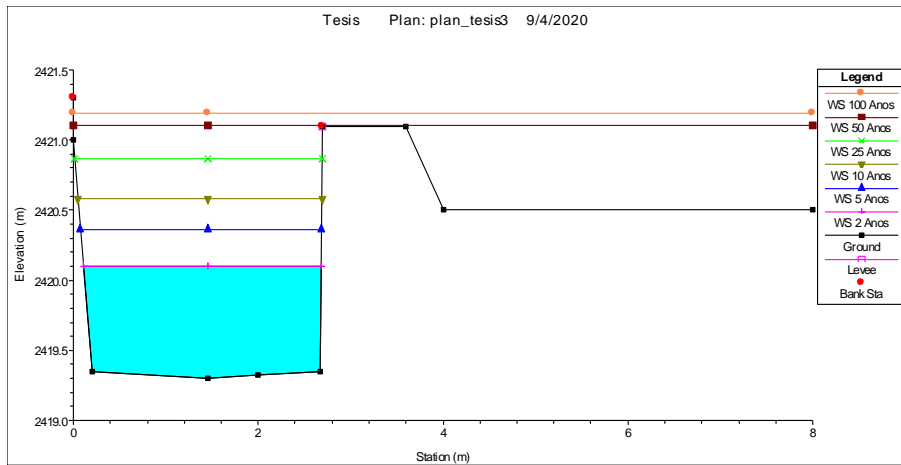
Estación 280



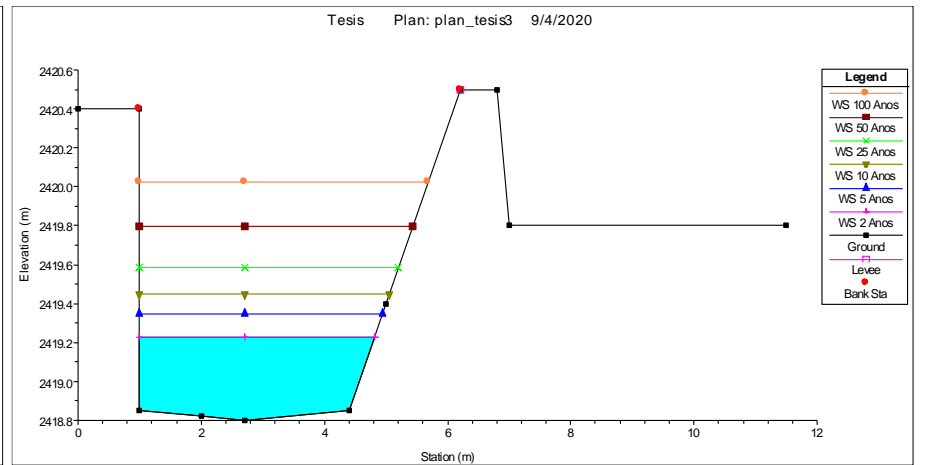
Estación 270



Estación 260

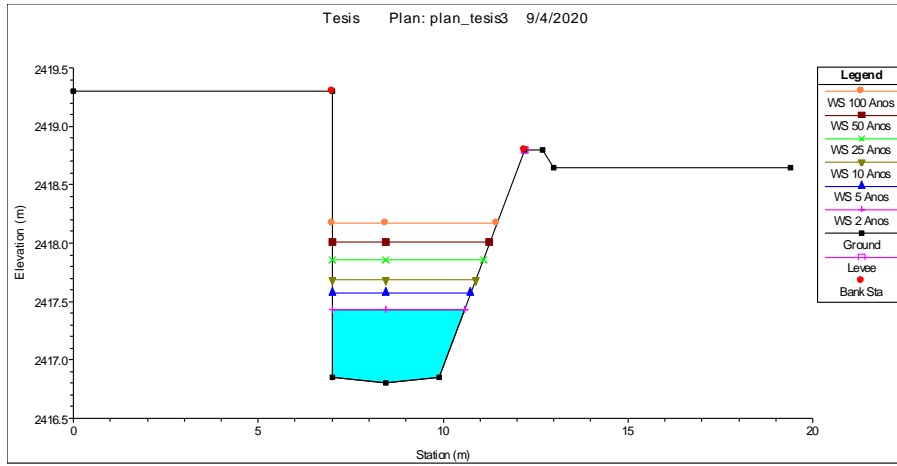


Estación 250

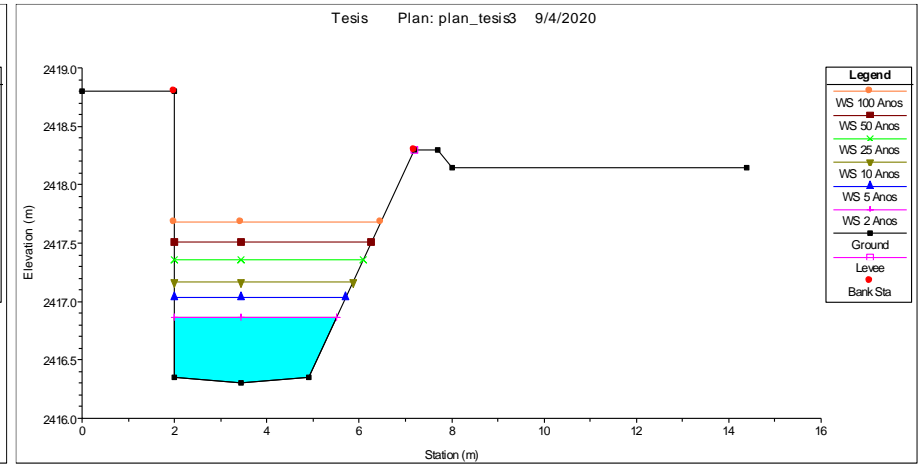




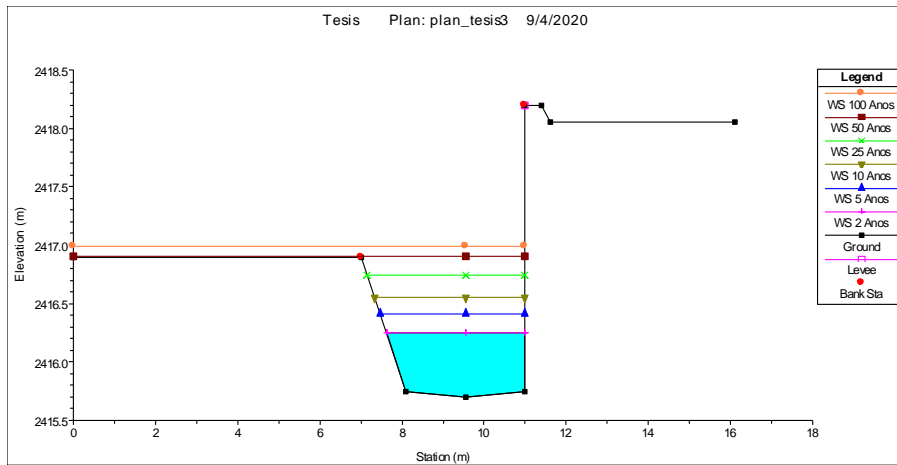
Estación 200



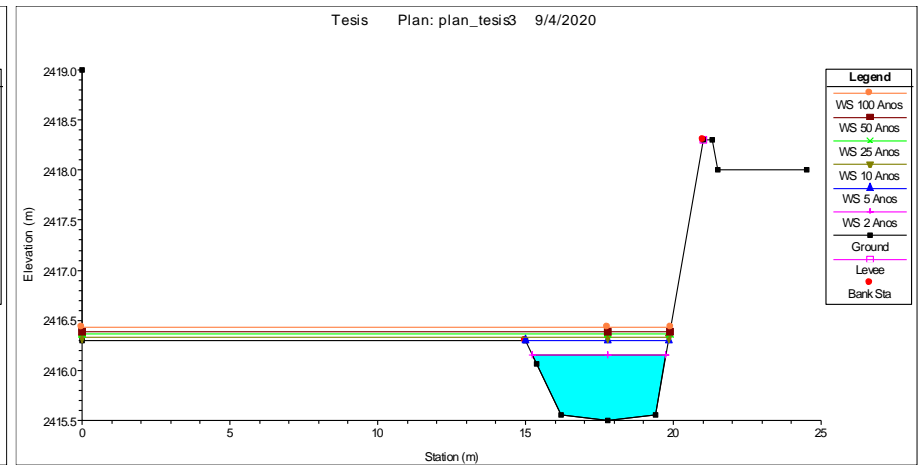
Estación 190



Estación 180

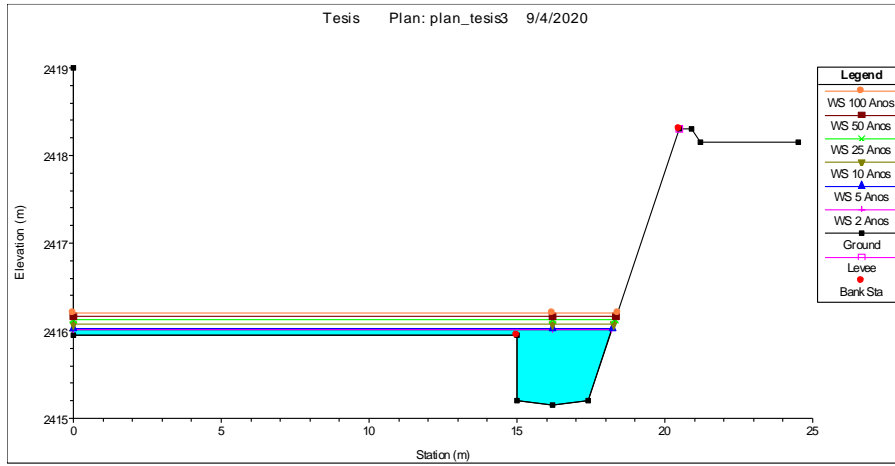


Estación 170

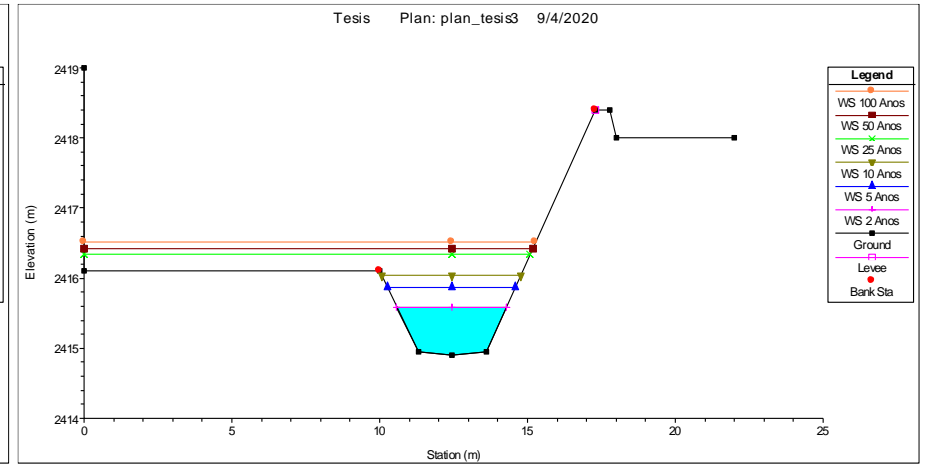




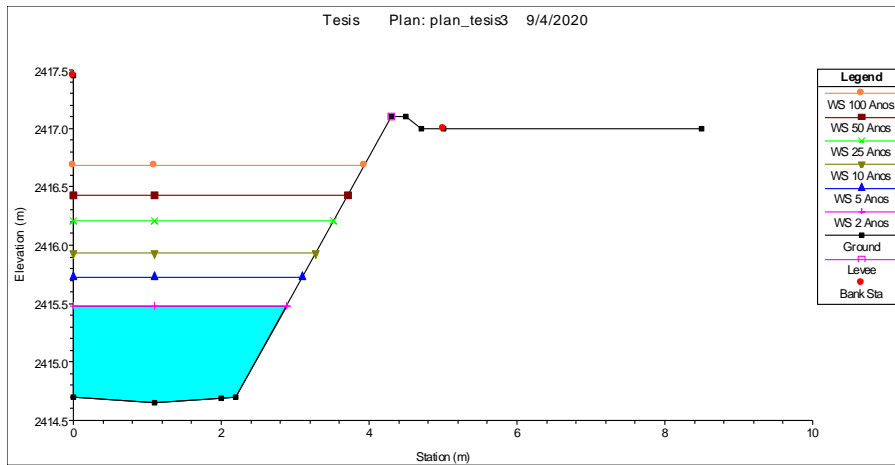
Estación 160



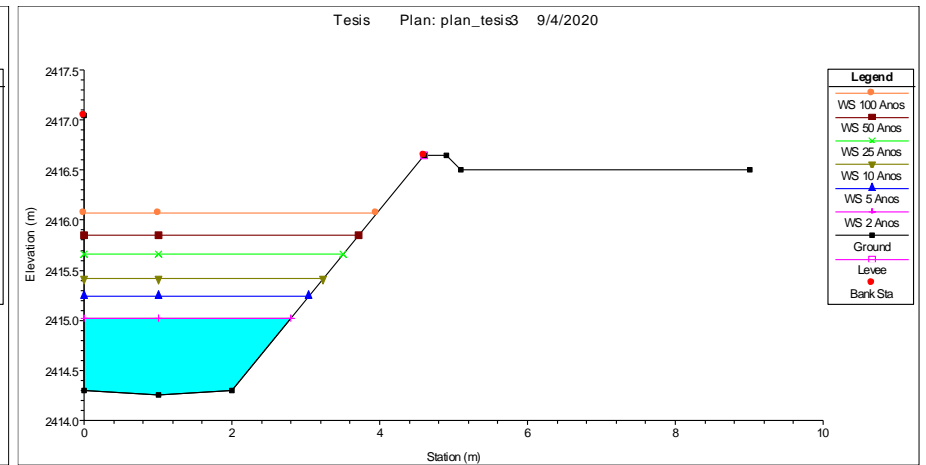
Estación 150



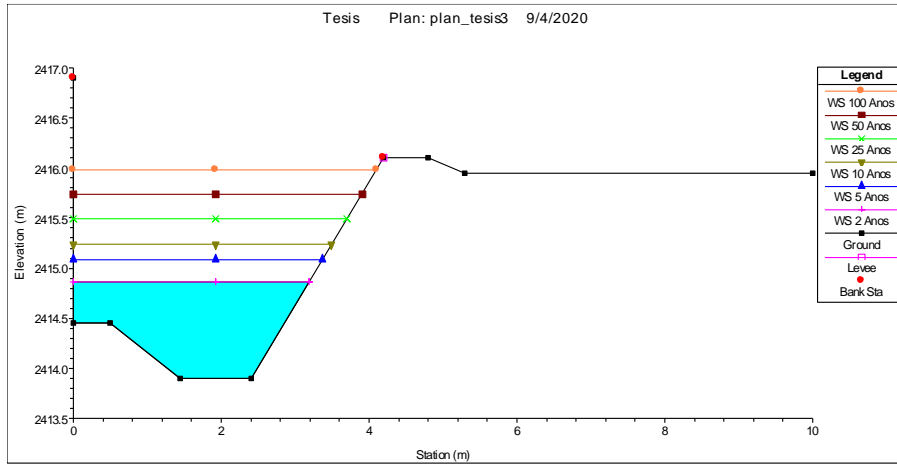
Estación 140



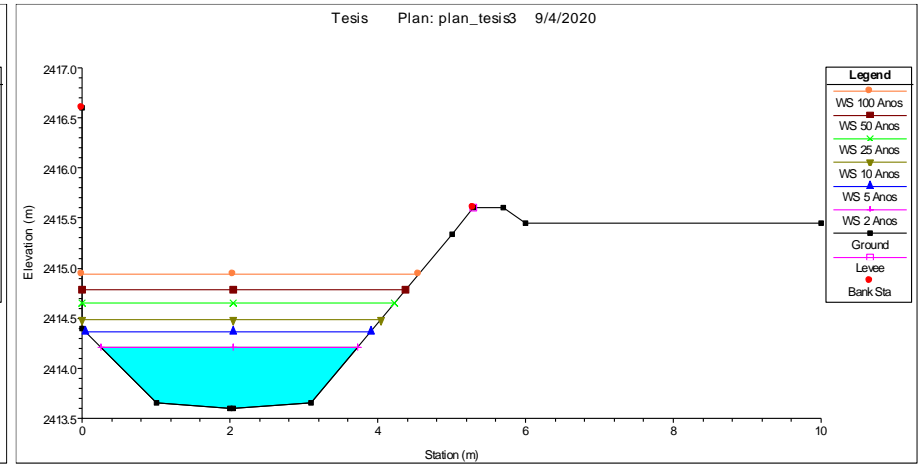
Estación 130



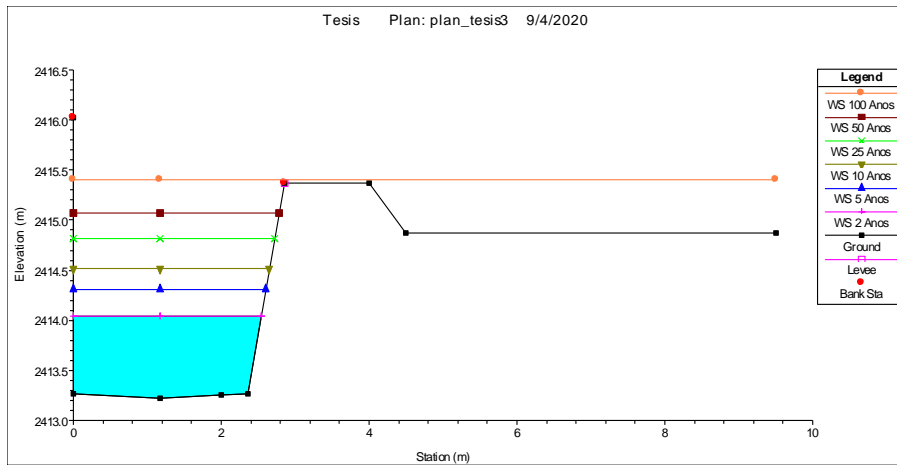
Estación 120



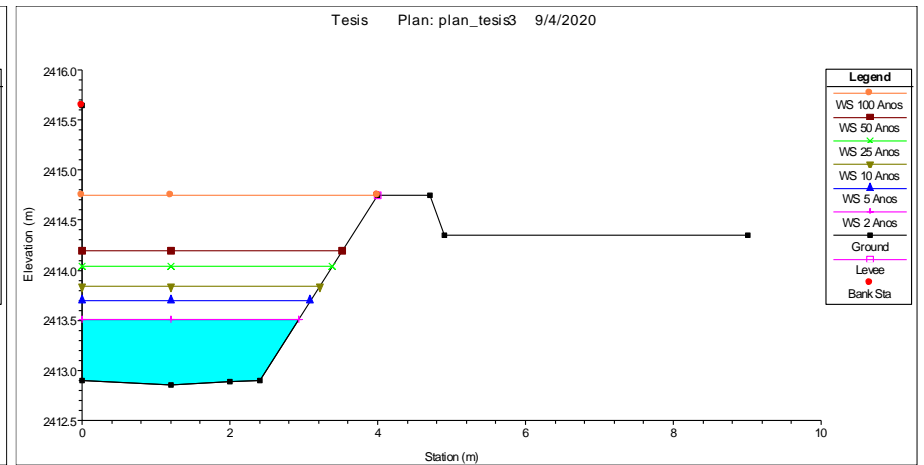
Estación 110



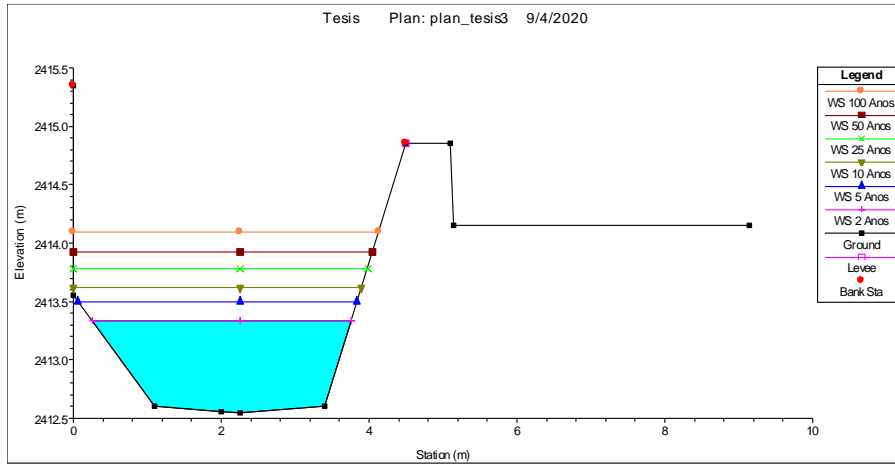
Estación 100



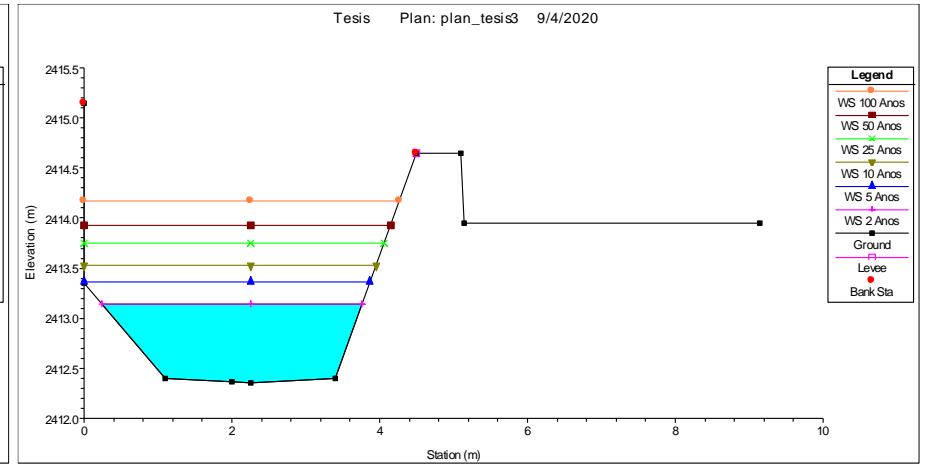
Estación 90



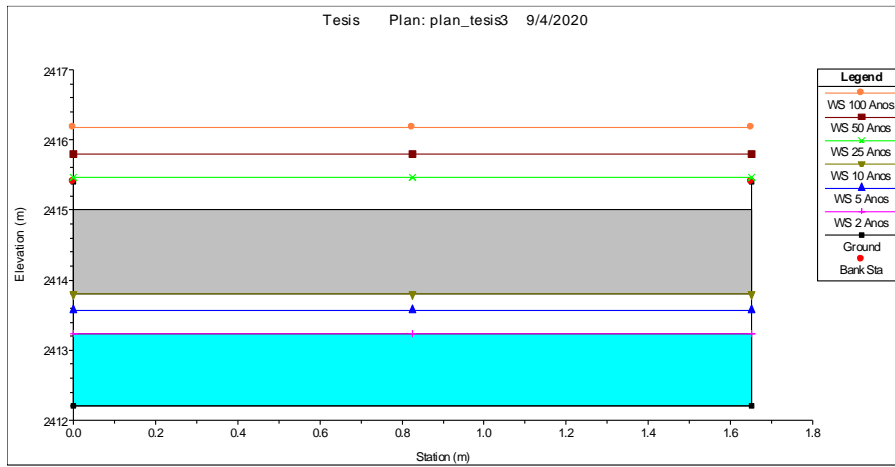
Estación 80



Estación 70



Alcantarilla (Aguas arriba)



Alcantarilla (Aguas Abajo)

