



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS,
EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**

Milton Candelario Guzmán Mejía

Asesorado por el Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS,
EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MILTON CANDELARIO GUZMÁN MEJÍA

ASESORADO POR EL ING. WALTER ARNOLDO BARDALES ESPINOZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
EXAMINADOR	Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS,
EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de noviembre de 2017.

Milton Candelario Guzmán Mejía



ESCUELA DE INGENIERIA DE CIVIL
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 30 de septiembre de 2020

Ingeniero
Pedro Aguilar Polanco
Jefe del Área de Hidráulica
Escuela de Ingeniería civil
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Pedro Aguilar

Reciba un cordial saludo y deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente, es para hacer de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación titulado **SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS, EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil Milton Candelario Guzman Mejía, con numero de carné 201212707

El mencionado trabajo de graduación llena los requisitos para mi aprobación, por lo anterior, en mi calidad de asesor, me permito se continúe el proceso de admisión.

Atentamente,

Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
Col. 4279
Asesor.



M.Sc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
Maestro en Recursos Hidráulicos Opción Hidrología
Ingeniero Agrónomo
Colegiado 4279



Guatemala, 13 de octubre de 2,020

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director de Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Aguilar Polanco:

Le informo que he revisado la tesis graduación, **SIMULACION HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS, EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **MILTON CANDELARIO GUZMAN MEJIA**, CUI:17590066021201, Registro Académico: 201212707, quien contó con la asesoría de **el ING. WALTER ARNOLDO BARDALES ESPINOZA**, considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C

Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor del Departamento de Hidráulica

/mrrm.





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza y Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Juan Carlos Linares Cruz al trabajo de graduación del estudiante Milton Candelario Guzmán Mejía **SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

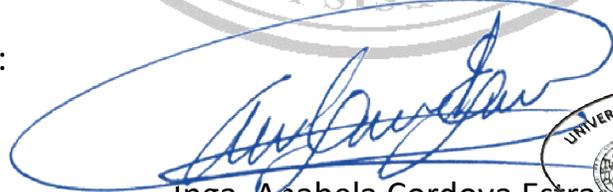
Guatemala, mayo 2021
/mrrm.



DTG. 218.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO LAS VACAS UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC RAS, EN UN TRAMO DE LA COLONIA SANTA LUISA, MUNICIPIO DE CHINAUTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Milton Candelario Guzmán Mejía**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Ernesto Herculano Guzmán y Edelmira Mejía, por su apoyo incondicional en todo momento.
Mi familia	Mi esposa e hija por el apoyo y comprensión que siempre me brindaron.
Mis hermanos	Elizabeth, William y Edith Guzmán, por sus ánimos para seguir adelante.
Mi familia en general	Por su cariño y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por brindarme salud y sabiduría para cumplir siempre mis metas.
- Mis padres** Ernesto Herculano Guzman y Edelmira Mejía Regalado, por su apoyo y confianza hacia mí, para realizar todo lo que me proponga.
- Mi familia** Mi esposa e hija por complementarme y apoyarme en lo que sea necesario.
- Mis amigos** Por brindarme su amistad y ayuda en cualquier circunstancia.
- Mi asesor** Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza, por brindarme su conocimiento y ayudarme a culminar mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SIMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Modelos de elevación digital.....	1
1.2. Tipos de flujo en canales	3
1.3. Delimitación de cuencas.....	6
1.3.1. Línea divisora de aguas.....	7
1.4. Modelos hidrológicos.....	8
1.5. Modelos hídricos	11
1.6. Obras de protección o mitigación	13
1.6.1. Obras transversales para control de inundaciones.....	14
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	17
2.1. Caracterización morfométrica.....	19
2.1.1. Parteaguas de la microcuenca	19
2.1.2. Tipo de cuenca de acuerdo al punto hacia el que drena	21
2.2. Caracterización fisiográfica.....	21
2.2.1. Área.....	21

2.2.2.	Perímetro.....	22
2.2.3.	Longitud de cauce principal.....	22
2.2.4.	Cauces permanentes, intermitentes y efímeros	24
2.2.5.	Orden de la cuenca	25
2.3.	Caracterización complementaria	27
2.3.1.	Geología.....	27
2.3.2.	Suelo	29
2.3.3.	Usos de tierra	30
2.3.4.	Población y comunidades.....	31
3.	MODELO HIDROLÓGICO	33
3.1.	Parámetros de cuenca	33
3.1.1.	Pendiente media de la cuenca	33
3.1.2.	Altura media de la cuenca	36
3.1.3.	Tiempo de concentración	39
3.2.	Caracterización climática	40
3.2.1.	Estaciones meteorológicas.....	40
3.2.2.	Precipitación media	41
3.2.3.	Temperatura media	43
3.3.	Hidrología.....	46
3.3.1.	Hietograma.....	46
3.4.	Parámetros para cálculo de caudales	60
3.4.1.	Abstracciones.....	60
3.4.2.	Porcentaje de impermeabilidad	62
3.4.3.	Curva número.....	64
3.4.4.	Caudales para distintos períodos de retorno.....	66
3.4.5.	Hidrograma.....	71

4.	MODELO HIDRÁULICO	79
4.1.	Caudales de diseño	79
4.2.	Topografía	79
4.2.1.	Río Principal	81
4.2.2.	Bancas.....	83
4.3.	Parámetros de sección	86
4.4.	Parámetros hidráulicos	86
5.	SIMULACIÓN	87
5.1.	Definir simulación	87
5.1.1.	Flujo crítico	94
5.1.2.	Flujo supercrítico	101
5.2.	Medidas de protección.....	107
5.3.	Simulación con medidas de protección	108
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	111
6.1.	Propuesta de medida de protección	111
6.1.1.	Costos	112
6.1.2.	Ventajas y desventajas	112
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA.....	119
	APÉNDICES	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Modelo digital de elevación con vista en perspectiva.....	2
2.	Representación de un modelo digital de elevación en formato raster....	2
3.	Delimitación cuenca	7
4.	Ejemplo de desembocadura de cuenca	8
5.	Diagrama de modelos conceptuales.	9
6.	Clasificación de modelos hidrológicos.....	10
7.	Ubicación de la microcuenca río Las Vacas en los departamentos de Guatemala.....	17
8.	Ubicación de la microcuenca en las vertientes de Guatemala	18
9.	Parte aguas microcuenca río Las Vacas.....	20
10.	Cauce principal río Las Vacas.....	23
11.	Cauces en microcuenca	25
12.	Orden de la microcuenca	26
13.	Geología de la microcuenca.....	28
14.	Tipo de suelo de la microcuenca.....	29
15.	Uso de suelo de la microcuenca	30
16.	Poblados y comunidades de la microcuenca	31
17.	Curvas a nivel tomadas para cálculo de pendiente media de la cuenca por método Alvord	35
18.	Altura media en la cuenca.....	38
19.	Estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca	41
20.	Isoyetas de precipitación promedio en cuenca río Las Vacas.....	43
21.	Isotermas de precipitación promedio en Cuenca río Las Vacas	45

22.	Ubicación del tramo de río A y estaciones cercanas	46
23.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 2 años.....	49
24.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 5 años.....	51
25.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 10 años.....	53
26.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 25 años.....	55
27.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 50 años.....	57
28.	Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 100 años....	59
29.	Clasificación de los usos de suelo en el área de la cuenca	61
30.	Ingreso de datos de hietogramas para los diferentes períodos de retornos calculados.....	67
31.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 2 años.....	68
32.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 5 años.....	68
33.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 10 años.....	69
34.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 25 años.....	69
35.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 50 años.....	70
36.	Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 100 años.....	70
37.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 2 años.....	72
38.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 5 años.....	73
39.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 10 años.....	74

40.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 25 años.	75
41.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 50 años.	76
42.	Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m ³ /s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 100 años.	77
43.	Visita y mediciones topográficas en tramo del río en Colonia Santa Luisa	80
44.	Ubicación del tramo de río en hoja cartográfica	80
45.	Fotografía aérea del tramo del río analizado, Colonia Santa Luisa.....	81
46.	Talud del puente Santa Marta en donde se sedimentan basura y suelo.....	82
47.	Vista de sección transversal del río.....	82
48.	Vista agua abajo del río y del puente Santa Marta.....	83
49.	Vista agua arriba del río y del puente Santa Marta.	84
50.	Situación del río Las Vacas en tramo.....	85
51.	Señas de inundación en puente Santa Marta.	85
52.	Creación de superficie, lineamiento y secciones del tramo del río analizado.....	87
53.	Exportación de los datos del tramo de río de AutoCAD a Hec-Ras.	88
54.	Resultado de exportar los tramos en río a Hec-Ras.	89
55.	Asignación del coeficiente de Manning para cada tramo.	90
56.	Caudales para cada período de retorno.....	91
57.	Simulación del río para flujo Critico.	92
58.	Simulación del río para flujo Supercrítico.	93
59.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 2 años.	95
60.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 5 años.	96
61.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 10 años.	97
62.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 25 años.	98

63.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 50 años.....	99
64.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 100 años.....	100
65.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 2 años.....	101
66.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 5 años.....	102
67.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 10 años.....	103
68.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 25 años.....	104
69.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 50 años.....	105
70.	Simulación tramo de río para un período de retorno de 100 años.....	106
71.	Simulación de la colocación de muros a los lados del río.....	107
72.	Tramo con la protección propuesta.....	108

TABLAS

I.	Longitud de curvas a nivel	36
II.	Alturas medias de la cuenca.....	37
III.	Precipitación promedio por área	42
IV.	Temperatura promedio por área	44
V.	Ecuaciones IDF para diferentes períodos de retorno de la estación INSIVUMEH.....	47
VI.	Calculo para lluvia de un período retorno de 2 años.....	48
VII.	Calculo para lluvia de un período retorno de 5 años.....	50
VIII.	Calculo para lluvia de un período retorno de 10 años.....	52
IX.	Calculo para lluvia de un período retorno de 25 años.....	54
X.	Calculo para lluvia de un período retorno de 50 años.....	56
XI.	Calculo para lluvia de un período retorno de 100 años.....	58
XII.	Parámetros físicos del área de la cuenca río Las Vacas	60
XIII.	Áreas por uso de suelo en la cuenca.....	62
XIV.	Porcentajes por uso de suelo	63

XV.	Números de curva de escorrentía por uso de suelo.....	65
XVI.	Caudales máximos para diferentes períodos de retorno.....	71
XVII.	Caudales de diseño para diferentes períodos de retorno.....	79
XVIII.	Presupuesto por protección, borde en río Las Vacas	112

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Significado
I	Intensidad
Km	Kilómetros
Km²	Kilómetros cuadrados
m	Metro
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
mm	Milímetro
Min	Minutos
Tr	Período de retorno
%	Porcentaje
P	Precipitación
s	Segundos
t	Tiempo

GLOSARIO

Abstracciones	Determinan la cantidad de precipitación que es absorbida por el suelo o retenida en la superficie de una cuenca.
Cauce	Terreno natural o artificial por donde corre un río, un canal o cualquier corriente de agua.
Cuencas	Son aquellas que hacen que el agua, descienda por la depresión hasta llegar a un río lago o mar.
Gaviones	Son estructuras que consisten en una caja construida con enrejado metálico, relleno con canto rodado.
Hidrograma	Es la representación gráfica del comportamiento del caudal en una cuenca para un tiempo específico de un evento de lluvia.
Hidrología	Es el estudio de comportamiento de factores como la precipitación, la temperatura, radiación e infiltración sobre la superficie de la cuenca.

RESUMEN

Parar la construcción de soluciones de inundaciones a causa de ríos desbordados que afectan a comunidades cercanas y en alto riesgo, se realiza un análisis de crecidas para diferentes períodos de retorno en tramos específicos que tienen esta problemática. Se toma el río Las Vacas, estudiando el tramo cercano a la Colonia Santa Luisa, Municipio de Chinautla, Guatemala, que pasa por debajo de un puente que da acceso a esta comunidad, utilizando software de análisis topográfico (AutoCAD), hidrológico (HEC-HMS), e hidráulicas (HEC-RAS).

A estos softwares se les agrega información de los parámetros morfológicos de la cuenca y datos históricos de estaciones meteorológicas que han sido obtenidas de instituciones nacionales y los datos de topografía realizada en el lugar de análisis tomando como principal punto de partida el puente.

Como consecuencia de este análisis se genera una simulación evaluada para diferentes períodos de retorno en los cuales la sección del río demuestra que no es suficiente para encausar los caudales que se producen en eventos extremos, y por lo tanto, es necesario generar propuestas para mejorar esto y así reducir el riesgo de inundación en las comunidades aledañas.

Como resultado del análisis realizado se proponen soluciones de ingeniería para evitar que la dinámica del río ante períodos de retornos altos afecte a las comunidades.

OBJETIVOS

General

Evaluar mediante simulaciones hidráulicas el comportamiento del río Las Vacas en el tramo de la Colonia Santa Luisa, municipio de Chinautla, Guatemala, mediante las herramientas del software HEC-RAS.

Específicos

1. Definir las características morfométrica y biofísica de la cuenca hasta el tramo del río en la Colonia Santa Luisa usando sistemas de información geográfica.
2. Estimar los caudales de crecida hasta el tramo del río en la Colonia Santa Luisa con el model SCS sobre la cuenca del río Las Vacas, implementado en el software o programa HEC_HMS.
3. Simular las propiedades hidráulicas del tramo con diferentes escenarios (tr 2, 5, 10, 25, 100) o eventos.
4. Determinar las cotas y áreas de inundación de los diferentes escenarios de crecidas máximas para la zona de interés.
5. Proponer las obras de protección para mitigar las inundaciones de dicha zona acorde a las propiedades hidráulicas del tramo en estudio.

INTRODUCCIÓN

De las cuencas principales en Guatemala se encuentra la cuenca río Motagua, que desemboca en el mar Caribe al Este del país. Dentro de esta se encuentra la subcuenca del río Plátanos, que a su vez está integrada por pequeñas cuencas de las cuales se tomará en análisis del río Las Vacas, subcuenca tipo endorreica que se delimita por su parteaguas entre los departamentos de Guatemala, El Progreso y Baja Verapaz.

En esta subcuenca existen puntos donde ocurren inundaciones a causa del desbordamiento de los ríos que se unen al cauce principal, causando pérdida de suelo, colocando en grave peligro a infraestructuras y lo principal que pone en riesgo la vida de las comunidades cercanas. Por esto se hace necesario evaluar tramos específicos, realizando una simulación hidráulica para determinar los factores y propiedades que inciden en dichos problemas y así proponer una solución específica que ayude a mitigar los efectos del río en el cauce.

La simulación se realizará utilizando el software HEC RAS por sus siglas en inglés HEC (Hydrologic Engineering Center), y RAS (River Analysis System), que permite la modelación hidráulica de ríos, permitiendo conocer el comportamiento de este en distintos escenarios y parámetros.

Como resultado de la simulación se obtiene la respuesta de la sección del río, el cual presenta un riesgo a las comunidades aledañas en el tramo analizado ya que presenta inundaciones y altas velocidades provocada por eventos extremos.

1. GENERALIDADES

En cada etapa de la modelación de ríos a realizar se tratan distintos temas que se conocerán antes de definir los componentes físicos, meteorológicos e hidrológicos que afectan el comportamiento de la cuenca del río Las Vacas y su caudal de salida. A continuación, se desarrollan los temas generales que introducirán a la simulación de cauces y análisis hidráulicos.

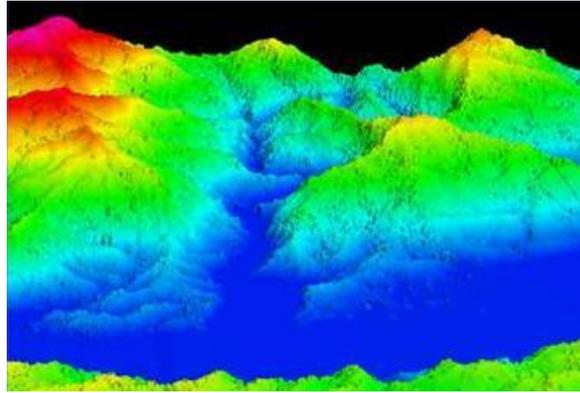
1.1. Modelos de elevación digital

Los modelos de elevación son una representación matemática y visual de valores de altura pueden representar una determinada región estudiada, según un punto de referencia (por ejemplo, el nivel medio del mar); caracteriza las formas del relieve y los elementos que se encuentren en el mismo como por ejemplo ríos, montañas, estructuras como puentes y casas.

Los valores de elevación del área estudiada pueden estar contenidos en un archivo de tipo ráster, con estructura regular, en este se utiliza equipo de cómputo y software especializados para poder trasladar la información de la proyección del área tomada en campo hacia los datos que puedan leer los softwares diseñados para modelos de elevación.

En los modelos de elevación hay dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, estas varían según el método que se emplea para generarlas y consisten en la cantidad de datos que se puedan obtener para un espacio digital.

Figura 1. **Modelo digital de elevación con vista en perspectiva**

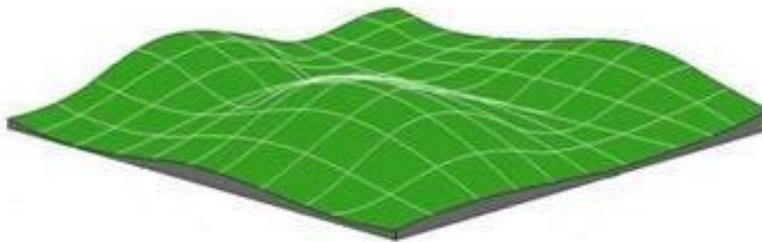


Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *México*.

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>.

Consulta: noviembre de 2019.

Figura 2. **Representación de un modelo digital de elevación en formato raster**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *México*.

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>.

Consulta: noviembre de 2019.

Los softwares al tener la lectura de los datos, proyectan una superficie y terreno a través de los modelos de elevación y así conocer la existencia, disposición, forma y posición de los elementos que conforman un espacio geográfico en campo:

Los modelos de elevación digital según (INEGI) son de dos tipos:

- Modelo digital de superficie: se encarga de representar todos los elementos existentes o presentes en toda la superficie de la tierra como, vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente.
- Modelo digital del terreno: recrea la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo, como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno, pudiendo hacer de esta forma un análisis de un área más limpia.

Los dos tipos de modelos se realizan utilizando una variedad de fuentes de datos y el uso de técnicas especializadas o métodos de obtención.

1.2. Tipos de flujo en canales

Los tipos de flujo en canales son dependiendo la variable de referencia que se tome.

- Flujo permanente y no permanente: este flujo obedece a la utilización del tiempo como variable; el flujo se mantiene permanente si los parámetros (tirante, velocidad, área, entre otros), no cambian con respecto al tiempo.
- Flujo uniforme y variado: es según la utilización del espacio como variable. El flujo es uniforme si los parámetros (tirante, velocidad, área, entre otros),

no cambian según el espacio, en cualquier sección del canal los elementos del flujo permanecen constantes.

El flujo variado se clasifica en gradual y rápidamente variado.

- Flujo gradual: es aquel en el que los parámetros cambian en forma gradual a lo largo del canal.
- Flujo rápidamente variado: es aquel en el que los parámetros varían instantáneamente con una distancia pequeña.

Los flujos de acuerdo a su erosionabilidad y estado pueden clasificar como:

- Flujo laminar y turbulento: el flujo en un canal está gobernado principalmente por efectos de las fuerzas viscosas y de gravedad con relación con las fuerzas de inercia internas del flujo.
 - Según el efecto de la viscosidad, el flujo puede ser laminar, de transición o turbulento, la importancia de la fuerza viscosa se mide a través del número de Reynolds, lo cual relaciona fuerza de inercia de velocidad con fuerzas viscosas definidas como:

$$R_e = \frac{v R}{\nu}$$

Donde:

R: Radio hidráulico de la sección transversal, en metros (m)

V: Velocidad media, en metros por segundo (m/s)

ν : Viscosidad cinemática del agua, en m²/s

En los canales se han comprobado resultados semejantes a flujos en tuberías, por lo que respecta a este criterio de clasificación. Para propósitos prácticos, en el caso de un canal se tiene:

- Flujo laminar para $Re < 580$, en este estado las fuerzas viscosas son relativamente más grandes que las fuerzas de inercia.
- Flujo de transición para $580 \leq Re \leq 750$, estado mixto entre laminar y turbulento.
- Flujo turbulento para $Re > 750$ en este estado las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia.

Flujo crítico, subcrítico y supercrítico: la relación con el efecto de la gravedad, el flujo puede ser crítico, subcrítico y Supercrítico; la importancia de la fuerza de gravedad se mide a través del número de Froude, que relaciona fuerzas de inercia de velocidad, con fuerzas gravitatorias, como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Donde:

V: Velocidad media de la sección, en m/s

g: Aceleración de la gravedad, en m/s²

L: Longitud característica de la sección, en m

Según en canales la longitud característica viene dada por la magnitud de la profundidad media o tirante medio $y(m)=A/T$, con lo cual se obtiene:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy(m)}}$$

Entonces por el número de Froude, el flujo puede ser:

- Flujo subcrítico si $F < 1$, en este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad siendo tranquilo y lento. En este tipo de flujo, toda singularidad, tiene influencias hasta aguas arriba.
- Flujo crítico si $F=1$ en este estado, las fuerzas de inercia y gravedad están en equilibrio.
- Flujo supercrítico si $F > 1$ las fuerzas de inercia son más pronunciadas, por lo que el flujo tiene gran velocidad, siendo rápido o torrencioso. En este tipo de flujo, toda singularidad, tiene influencias sobre aguas abajo.

1.3. Delimitación de cuencas

La delimitación de cuencas, se ha realizado mediante la interpretación de los mapas cartográficos. Este proceso ha ido evolucionando en el estudio de la hidrología superficial es de vital importancia conocer algunos parámetros, dichos parámetros son necesarios ya que gracias a ellos se puede calcular la cantidad de agua máxima que posiblemente puede ocurrir, predecir algunos desastres, hacer uso racional del agua, entre otros.

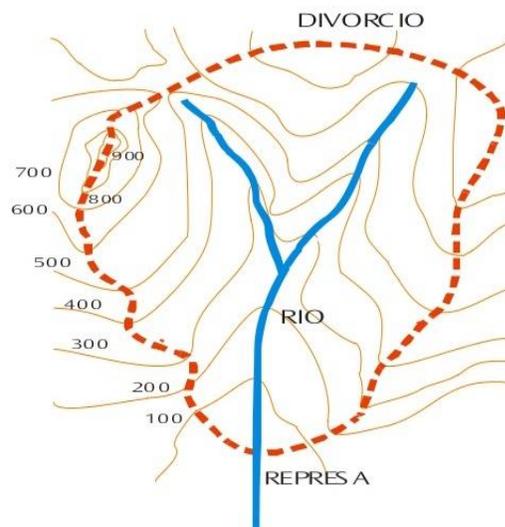
La cuenca hidrográfica se compone básicamente de un conjunto de superficies vertientes a una red de drenaje formada por cursos de agua que confluyen hasta resultar en un único lecho colector.

- Cuenca hidrográfica o topográfica: definida por la topografía, se delimita por un mapa.
- Cuenca hidrogeológica o hidrológica: engloba a las áreas subterráneas.
- Línea divisora de aguas: es el límite de la cuenca, parte más alta, donde el agua se distribuye a dos cuencas.

La delimitación se basa en 4 características:

- La línea divisora corta ortogonalmente a las curvas de nivel.
- Cuando la divisora se va trazando desde un nivel altitudinal mayor a un nivel altitudinal menor, esta línea corta a las curvas de nivel por su concavidad.

Figura 3. **Delimitación cuenca**



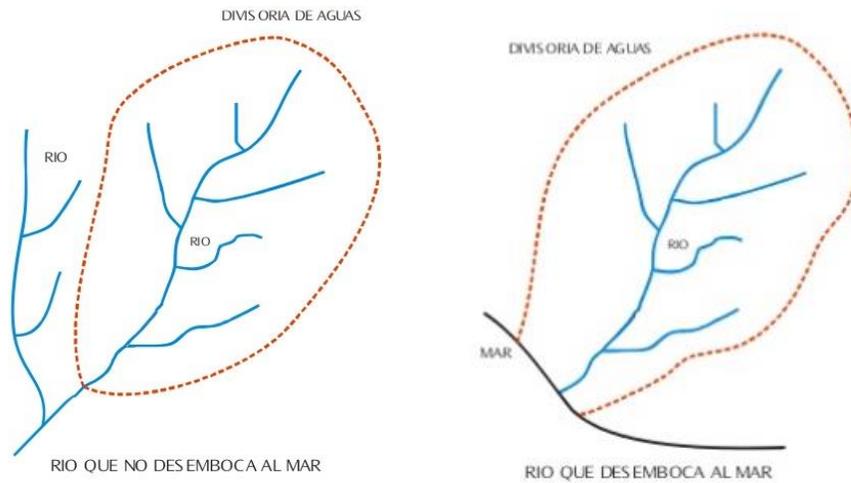
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *México*.

<https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgAR>. Consulta: noviembre de 2019.

1.3.1. Línea divisora de aguas

Al cortar el terreno por el plano normal a la divisoria el punto de intersección de está corresponde al de mayor altitud del terreno. La línea divisora nunca corta a un curso de agua natural, excepto en el punto de control o desembocadura.

Figura 4. **Ejemplo de desembocadura de cuenca**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *México*.
<https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgAR>. Consulta: noviembre de 2019.

1.4. Modelos hidrológicos

Se pueden enfocar en el análisis de tres características básicas útiles para la modelización hidrológica de cuencas:

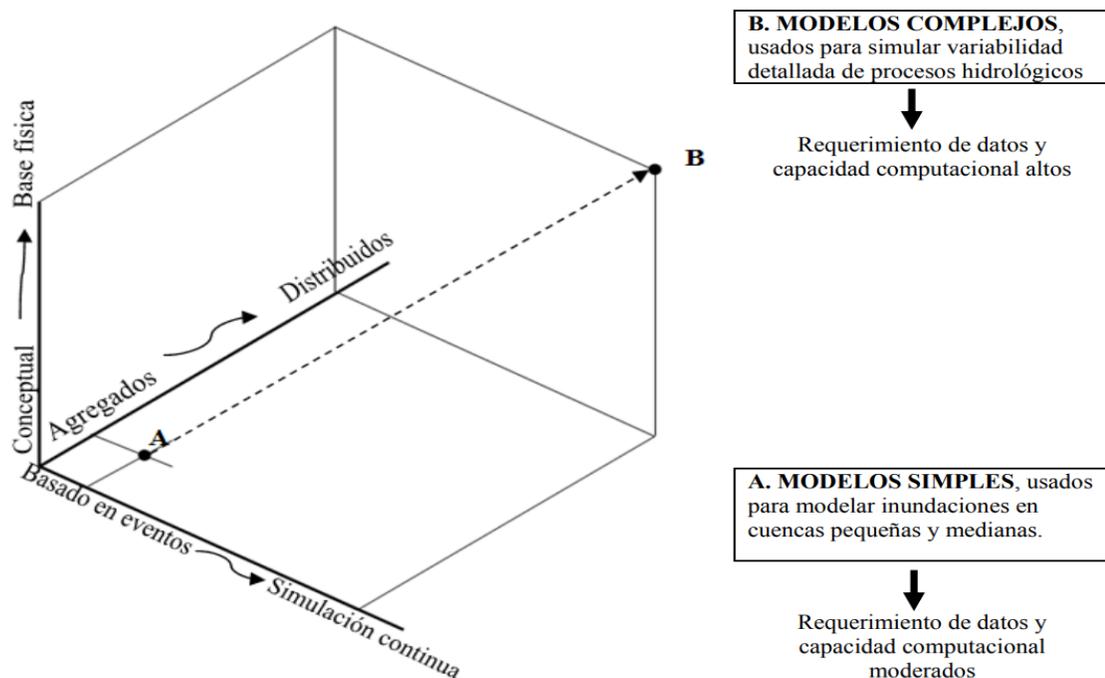
- De acuerdo a la conceptualización de los procesos básicos; pueden ser conceptuales o basados en procesos.
- De acuerdo a la naturaleza de los algoritmos básicos; pueden ser determinísticos o estocásticos.
- De acuerdo a su representación espacial; pueden ser agrupados o distribuidos.

- De acuerdo a la conceptualización de los procesos básicos

Se basan en relaciones entrada-salida, sin ningún intento de describir el comportamiento causado por procesos individuales. En el extremo opuesto se encuentran los modelos de caja blanca, en este se conocen todos los procesos involucrados en la transformación. Estos modelos se apoyan en ecuaciones físicas que representan todos los procesos involucrados en el fenómeno a simular y haciendo innecesario el proceso de calibración.

Así mismo, suele hablarse de modelos conceptuales o de caja gris, cuando se trabaja con modelos de los cuales se conocen algunos de los procesos internos del modelo.

Figura 5. **Diagrama de modelos conceptuales**



Fuente: MOLNAR, Peter. *Notes of watershed modelling*. p. 11.

- De acuerdo a la naturaleza de los algoritmos básicos

Un modelo formal puede escribirse como una expresión simbólica en términos lógicos de una situación idealizada, compartiendo las propiedades estructurales del sistema original. Éstos expresan el comportamiento del sistema por un conjunto de ecuaciones, como:

$$y_t = f^*(x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots; y_{t-1}, y_{t-2}, \dots; a_1, a_2, \dots) + \varepsilon_t$$

Donde

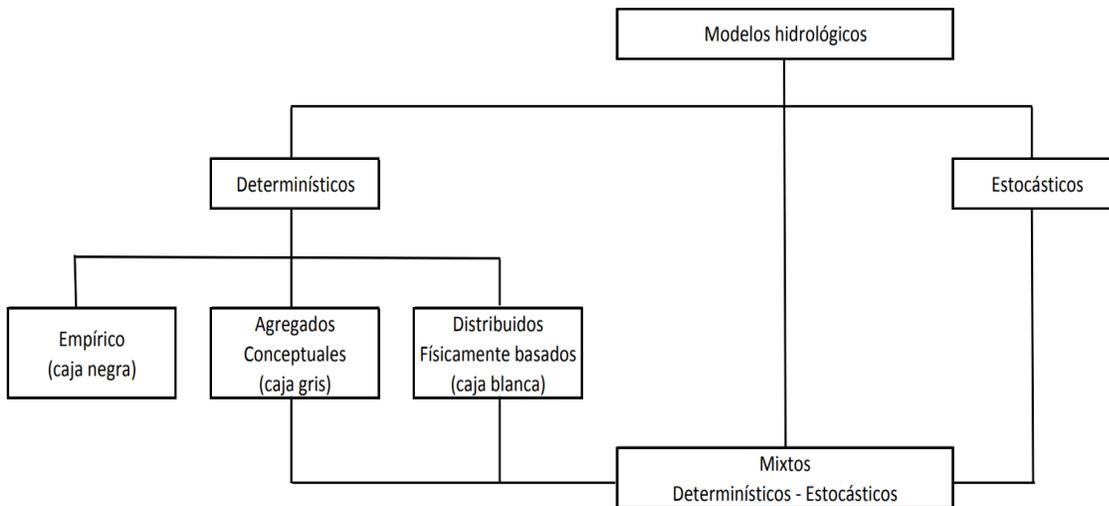
x_t , es la variable de entrada

$f^*(\cdot)$ es una función de forma específica

a_i $i=1,2$, son parámetros medios o estimados

ε_t , es una expresión de la falta de ajuste entre la salida observada y la salida ajustada $f^*(\cdot)$

Figura 6. **Clasificación de modelos hidrológicos**



Fuente: MOLNAR, Peter. *Notes of watershed modelling*. p. 11.

- De acuerdo a su representación espacial

Una de las principales limitaciones en la modelación de cuencas es el desconocimiento de las propiedades del suelo y de los procesos involucrados en los flujos subsuperficial y subterráneo. A medida que el tamaño de la cuenca incrementa, es más probable que los tipos de suelo y sus características varíen a lo largo y ancho de la cuenca y el uso de este tipo de modelo va perdiendo representatividad.

A pesar de que los modelos semi distribuidos representan mejor las posibles variaciones de las características del suelo, por ejemplo, efectos de pendiente, aun así, representa una simplificación.

1.5. Modelos hídricos

La evolución tecnológica de los ordenadores ha permitido desarrollar softwares potentes y gratuitos que sirven de gran ayuda en el sector de los recursos hídricos.

El software libre ingresa al mercado sin restricción, elimina la dependencia y ofrece la libertad para que el operador decida cual se acopla mejor a sus condiciones de trabajo.

El sistema de modelo hidrológico está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software ofrece muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológicos, incluye procedimientos necesarios para la simulación continua incluyendo la evapotranspiración, la fusión de la nieve, y la contabilidad de la humedad del suelo.

Las herramientas de análisis suplementarios se ofrecen para la optimización del modelo, el caudal de predicción, reducción de la profundidad del área y de la evaluación de la incertidumbre del modelo, el transporte de sedimentos y erosión, y la calidad de agua.

Los resultados de simulación se almacenan en HEC-DSS (Sistema de almacenamiento de datos), y se pueden utilizar en combinación con otros programas para los estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, la previsión de flujo, impacto futuro urbanización, el diseño del depósito vertedero, la reducción de daños por inundaciones, la regulación de inundación, y operación de los sistemas.

- Modelo TETIS

Ha sido desarrollado para realizar la simulación hidrológica en cuencas naturales, aunque dispone de submódulos para la simulación del efecto de embalses y del riesgo agrícola. El objetivo es obtener de la mejor forma posible la respuesta hidrológica ocasionada por la precipitación de lluvia o de nieve, teniendo en cuenta los diferentes procesos físicos involucrados y empleando la modelación distribuida de tipo conceptual.

- Modelo IBER

Es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujo en lámina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios. El modelo IBER consta de diferentes módulos de cálculo acoplados entre sí, incluye un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia, y un módulo de transporte de sedimentos por carga de fondo y por carga en suspensión.

- **Modelo MODFLOW**

Modelo tridimensional de agua subterránea por diferencias finitas desarrollado por el servicio Geológico de Estados Unidos. El modelamiento numérico es capaz de simular el flujo de agua subterránea en dos o tres dimensiones y simula los principales procesos físicos relacionados con el régimen del agua subterránea como recarga, evapotranspiración, bombeo, drenaje, entre otros.

- **Modelo SWMM**

El modelo de gestión de aguas pluviales de la EPA (SWMM) se utiliza para la planificación, análisis y diseño relacionados con la escorrentía de aguas pluviales, alcantarillas combinadas y sanitarias y otros sistemas de drenajes en áreas urbanas.

1.6. Obras de protección o mitigación

El diseño de las obras apropiadas en corrientes naturales, se determina en cada caso después de realizarse estudios hidrológicos y geomorfológicos, los resultados son relevantes pues presentan los pronósticos de probabilidad de ocurrencia del evento de precipitación y estimativos sobre magnitudes de los caudales medios, mínimos y de creciente, posibles zonas de inundación, velocidades de flujo, capacidad de transporte de sedimentos y socavación, erosión y posibles desbordes en el cauce.

1.6.1. Obras transversales para control de inundaciones

Se localizan de manera transversal en la corriente de un río, estas permiten controlar el transporte de sedimentos y material orgánico por una corriente de agua a través de la fijación de la pendiente de su lecho, además minimiza la velocidad del flujo y con estas obras se facilita el cambio de dirección y el almacenamiento del recurso hídrico.

- **Presas**

Es una obra trasversal para el control de caudales y de sedimentos en una corriente natural, se localiza en zonas de hondada sobre un río, aprovechando la garganta de este, principalmente para la generación de energía y abastecimiento de agua potable. Son construidas con diferentes materiales como: piedra, hormigón o materiales sueltos.

- **Disipadores**

Son estructuras diseñadas para reducir la alta velocidad de flujos agua abajo, logra disparar la energía cinética que es la producida por el movimiento y pasa de un régimen supercrítico a subcrítico, es decir pasar de una pendiente alta a una pendiente baja, logrando así disminuir la velocidad de la corriente.

- **Barreras de sedimentos**

Sirven para controlar los sólidos en suspensión en el agua, proporcionando una zona de contención controlada. Todos los materiales, después de cierto recorrido finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces.

La barrera de sedimentos es una fila de doble malla de retención, separadas de 1,00 m a 2,00 m, llenadas con paja, rastrojo, astillas de madera u otros materiales orgánicos mezclados correctamente.

- Diques de retención

Consta de un conjunto de barreras que cruzan un curso de agua o un conducto para controlar el nivel y velocidad del agua, uno de los objetos para construir diques es el desgaste del fondo de las cárcavas o quebradas por el efecto del arrastré ejercido por el agua.

- Obras Longitudinales de protección

Son obras localizadas en las laderas de los cauces u orillas, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente, existen revestimientos en hormigón o asfalto.

- Espigones

Son elementos laterales que tratan de proteger la orilla y al mismo tiempo desviar la corriente. Los espigones pueden ser construidos de diversos materiales tales como enrocados, bloques prefabricados de concreto, geotubos rellenos de material, gaviones o de productos orgánicos como troncos de árboles o bambú.

- Gaviones

Son estructuras que consisten en una caja construida con enrejado metálico, confeccionado con alambre especialmente galvanizado reforzado, estos gaviones se rellenan con canto rodado.

- Diques marginales

Son estructuras construidas dentro de los cauces, que tienen como objetivo dirigir y encauzar convenientemente el flujo de un río para proteger sus márgenes o rectificar su cauce, cuando la obra está terminada la corriente fluye paralela a estas estructuras. Se utilizan en aquellas zonas donde los cauces tienen islas, o son divagantes, o los márgenes son irregulares.

- Enrocados de protección

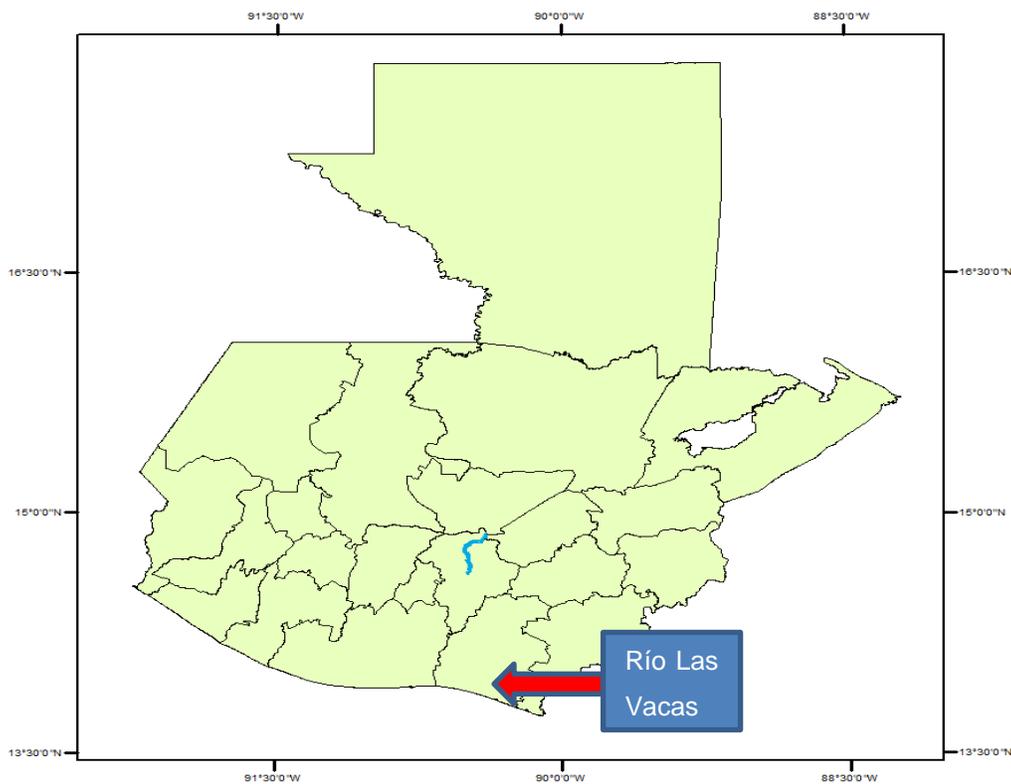
Es una obra longitudinal que pretende proteger los taludes de los márgenes de los ríos como su nombre lo indica el material de construcción de esta roca.

Se debe tener en cuenta el uso de piedras, con espesores superiores a 100 mm, las piedras pueden colocarse sueltas o pegadas con mortero o concreto.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca a analizar para su posterior modelado es la delimitada para el área tributaria del río Las Vacas, por lo cual se procederá a localizarlo utilizando el programa QGIS. A continuación, se presenta la localización del río y la delimitación

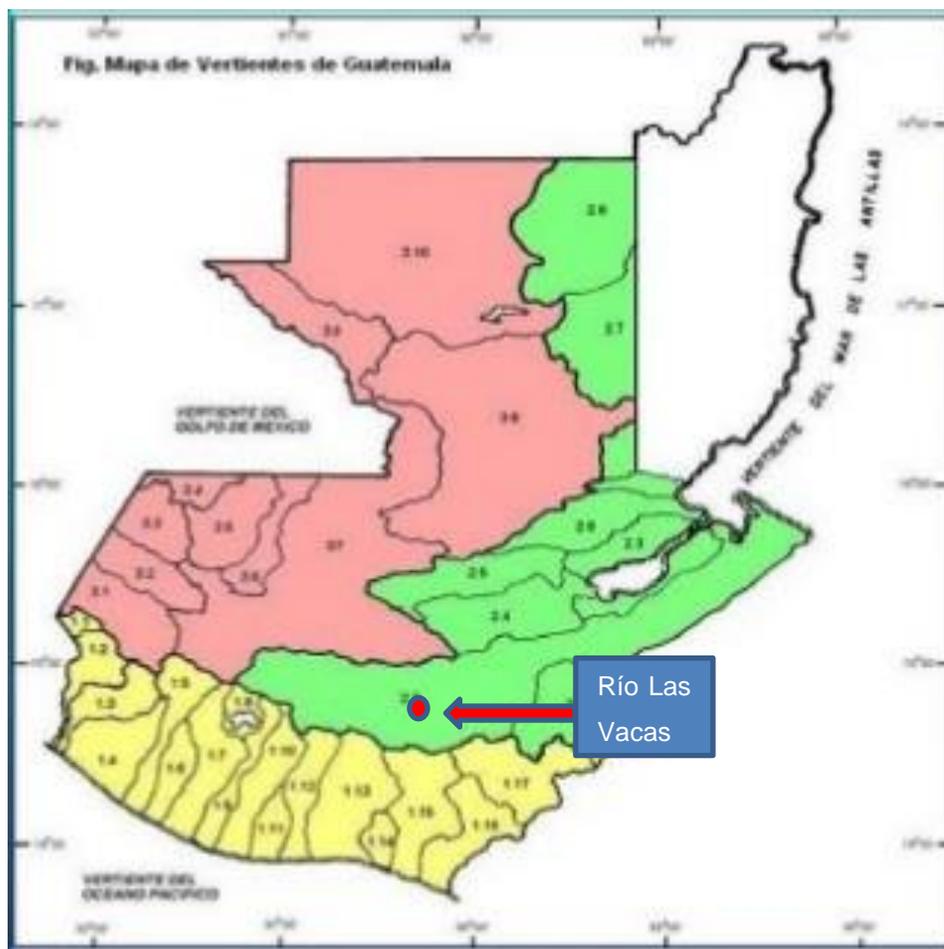
Figura 7. **Ubicación de la microcuenca río Las Vacas en los departamentos de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGIS 2020.

El lugar donde se encuentra el río es llamado Microcuenca, y el nombre es de río Las Vacas, que es parte de la subcuenca llamada río Plátanos, que a su vez desemboca en el cauce principal de la cuenca río Motagua. La microcuenca se encuentra al Norte del departamento de Guatemala, en la vertiente hidrográfica del mar Caribe, que se une al río Motagua entre los departamentos de Guatemala, El Progreso y Baja Verapaz. Sus coordenadas son latitud Norte 14°42'44" y longitud Oeste 90°31'28".

Figura 8. **Ubicación de la microcuenca en las vertientes de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

La microcuenca río Las Vacas posee una superficie total de 392,8 kilómetros cuadrados

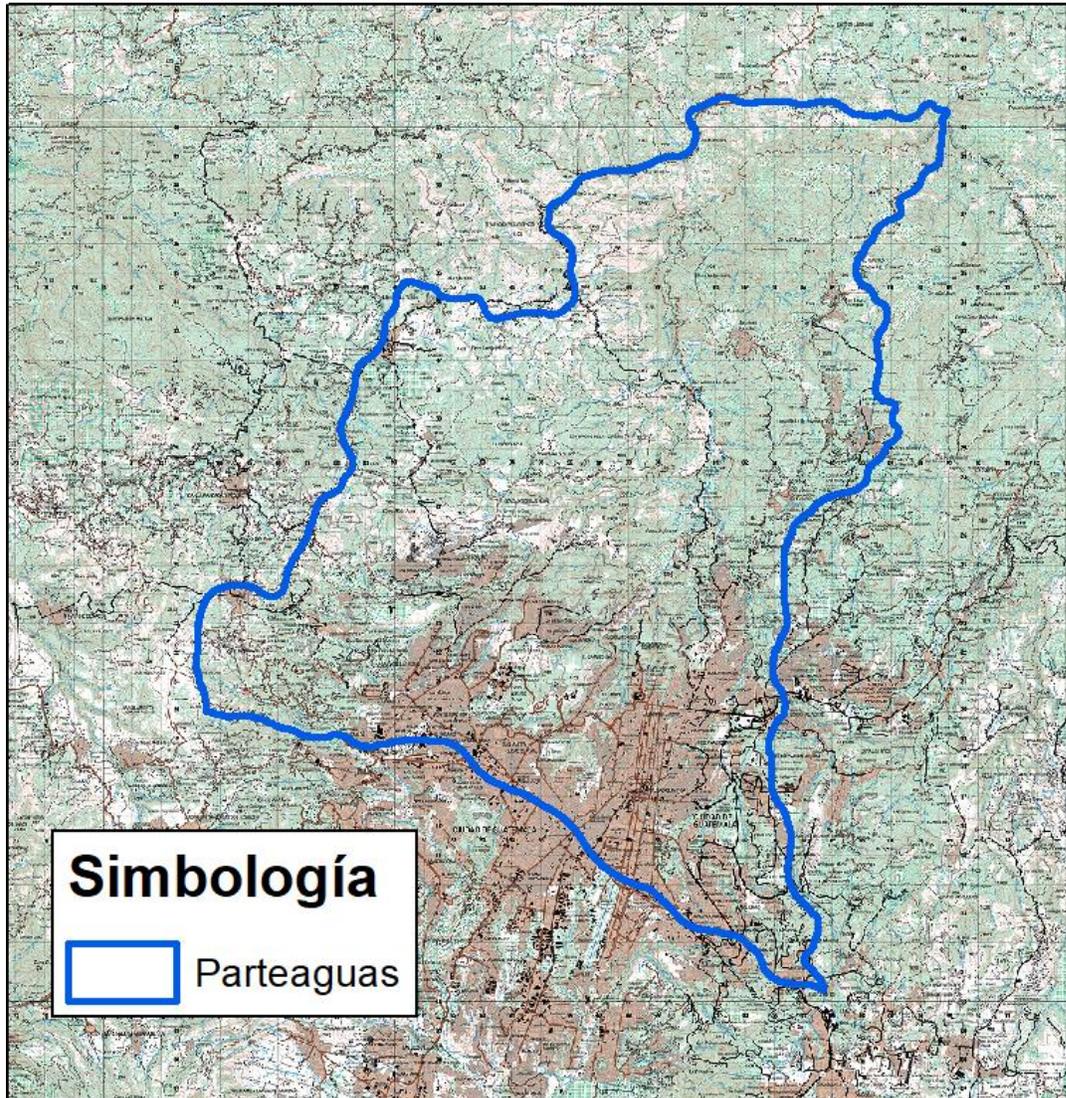
2.1. Caracterización morfométrica

Es la caracterización de forma o figura física de una cuenca hidrográfica, tomando como parámetro su tamaño y formación para el análisis del drenaje, pendientes y formación a partir del cálculo de valores numéricos. Algunos de los parámetros ayudan a definir el tipo de cuenca y por lo tanto, entender el comportamiento de la misma.

2.1.1. Parteaguas de la microcuenca

Utilizando las cotas más altas de una región se establece los límites de la cuenca donde las aguas que precipitarán sobre ella escurrirán hacia el cauce principal y punto de salida. A esta delimitación se llama Parteaguas.

Figura 9. **Parte aguas microcuenca río Las Vacas**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGIS 2020.

Para la delimitación del parteaguas se utilizó el programa de georreferenciación geográfica QGIS en donde se utilizaron hojas cartográficas de Guatemala para corroborar que las curvas a nivel fueran de acuerdo a la limitación de la microcuenca.

2.1.2. Tipo de cuenca de acuerdo al punto hacia el que drena

Por su punto de drenaje se clasifican 3 tipos de cuencas, las exorreicas que drenan sus aguas al mar o al océano, como el caso de la cuenca del río Motagua; las cuencas Endorreicas desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar; y las cuencas Arreicas, donde las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en la red de drenaje.

La microcuenca del río Las Vacas es considerada cuenca Endorreicas ya que este drena en conjunto al río Plátanos hacia otro cuerpo de agua (río Motagua), más grande.

2.2. Caracterización fisiográfica

Los parámetros a desarrollar son importantes en el comportamiento y respuesta del agua en su recorrido en la cuenca, por lo que se utiliza programas de análisis geográfico para su exactitud y una mejor representación geográfica de cada elemento caracterizado.

2.2.1. Área

El área de la microcuenca está comprendida por la extensión territorial que lo conforma, en proyección horizontal, dentro del parteaguas que la delimita. Es una magnitud que define la cuenca, y ayuda a calcular el volumen total de agua que la microcuenca drena.

El área determinada por medio de sistemas de información geográfica es de 392,76 Km² en donde se delimitó la microcuenca a analizar.

2.2.2. Perímetro

La longitud del contorno de la microcuenca, delimitado por sistemas de información geográfica es de 106,35 kilómetros.

2.2.3. Longitud de cauce principal

El cauce principal de la cuenca representa la longitud del cauce que atraviesa desde el punto más alejado y altos hasta el punto o puntos de descarga, estos se muestran a continuación.

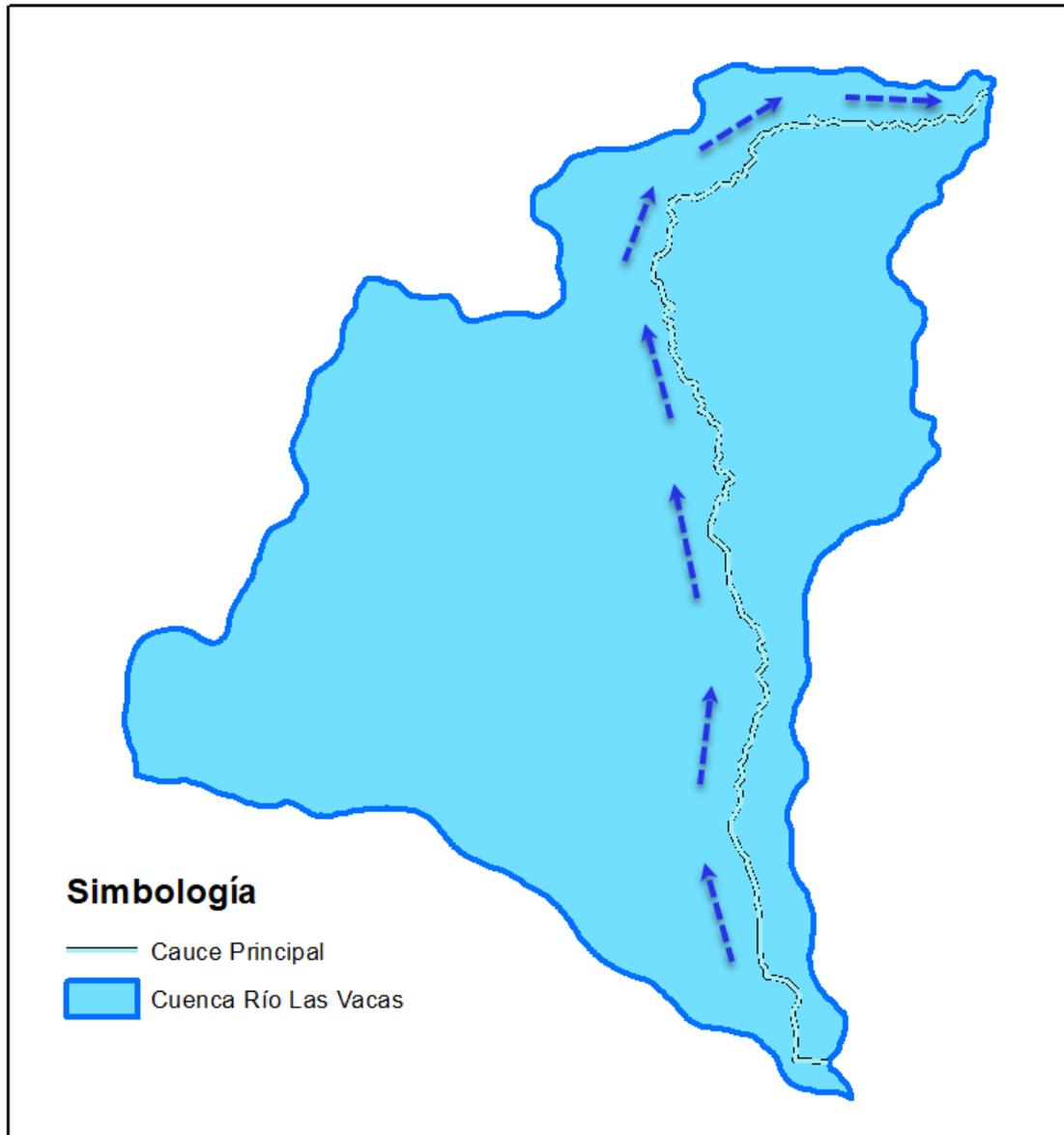
El cauce principal de una cuenca es distinguido por las siguientes características:

El curso superior, ubicado en lo más alto del relieve, en donde la erosión del río es vertical.

El curso medio, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle. El curso inferior, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos arrastrados por la sedimentación, formando llanuras aluviales o valles.

A continuación, se muestra el cauce principal de la microcuenca río Las Vacas.

Figura 10. **Cauce principal río Las Vacas**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

La longitud del cauce principal es de 44,83 kilómetros.

2.2.4. Cauces permanentes, intermitentes y efímeros

Las corrientes de agua o cauces que conforman a una cuenca se subdividen de la siguiente manera:

- **Permanentes:** ríos que contienen agua todo el tiempo, ya que el nivel freático permanece arriba del fondo del cauce.
- **Intermitentes:** ríos que llevan agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvias; su aporte cesa cuando el nivel freático desciende por debajo del fondo del cauce.
- **Efímeros:** es aquella corriente que solo lleva agua cuando llueve.

Estos tipos de cauces en la subcuenca se pueden observar en la siguiente ilustración.

Figura 11. **Cauces en microcuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

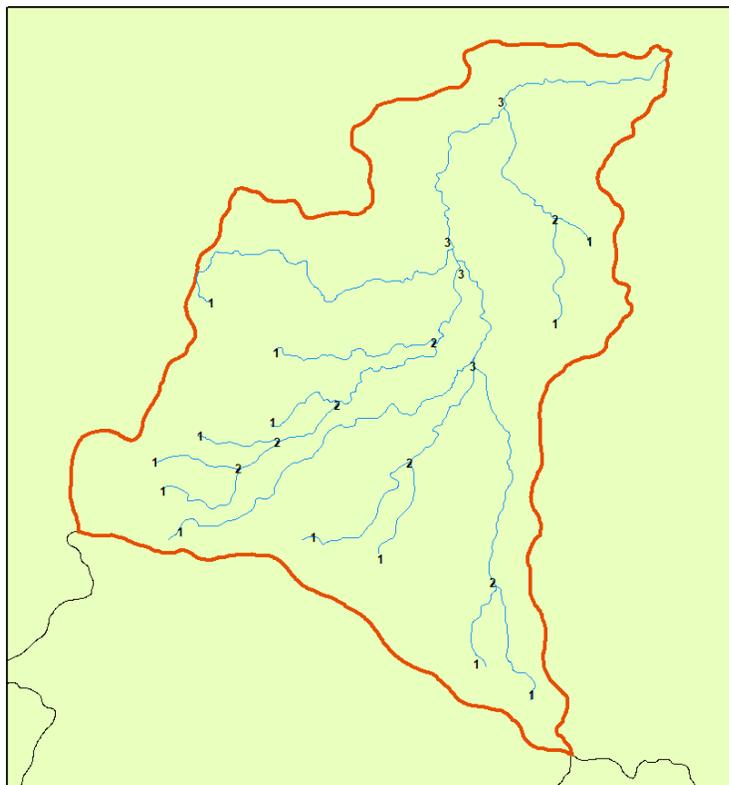
2.2.5. Orden de la cuenca

Es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Dentro existen diferentes tipos de orden de corrientes, estas se enumeran para poder ser identificadas, las permanentes e intermitentes.

De las distintas corrientes que hay estas se forman a partir de una corriente principal; una corriente de orden 2 tiene solo tributarios de 1er orden y una corriente de orden 2 otra de orden 3, forman otra de orden 3.

Según el método Strahler el orden de corrientes es una jerarquía de los cauces. Los cauces de primer orden son los más extremos de la red, que recogen la escorrentía de las otras corrientes. Los cauces de segundo orden son los resultantes de la unión de dos o más segmentos de primer orden, los de tercer orden resultan de la unión de dos o más cauces de segundo orden y así sucesivamente. El río colector principal es el que tiene el orden mayor.

Figura 12. **Orden de la microcuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

La microcuenca del río las Vacas tiene un orden de 3 según el método de Shreve.

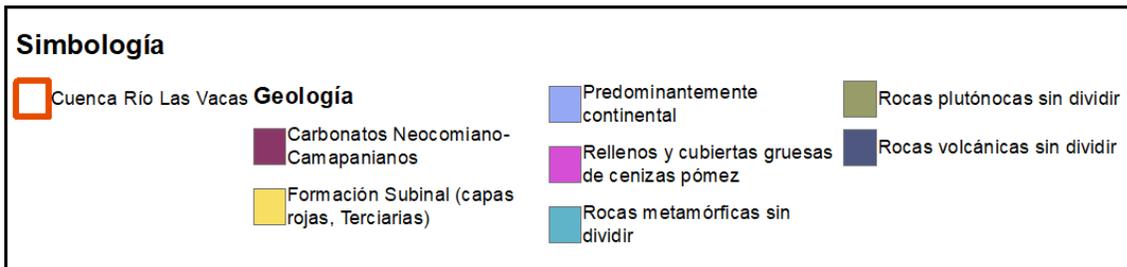
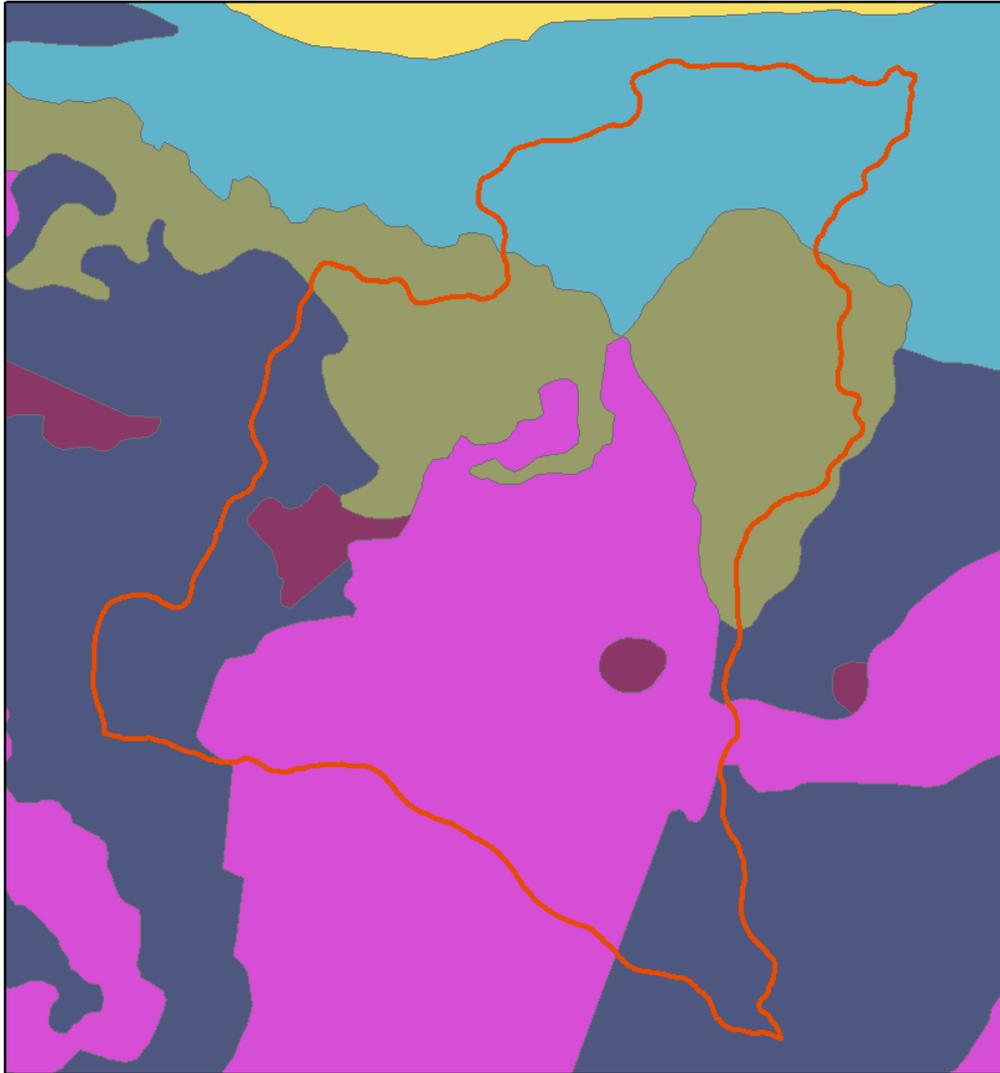
2.3. Caracterización complementaria

Se realiza una breve caracterización de factores que influyen en el comportamiento natural de la microcuenca, y su respuesta hidrológica ante eventos de lluvia, siendo estos factores influyentes la geología, el suelo y su uso.

2.3.1. Geología

La geología que se encuentra en la microcuenca son rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez en la parte alta y rocas metafóricas y rocas plutónicas en la parte media y baja.

Figura 13. **Geología de la microcuenca**

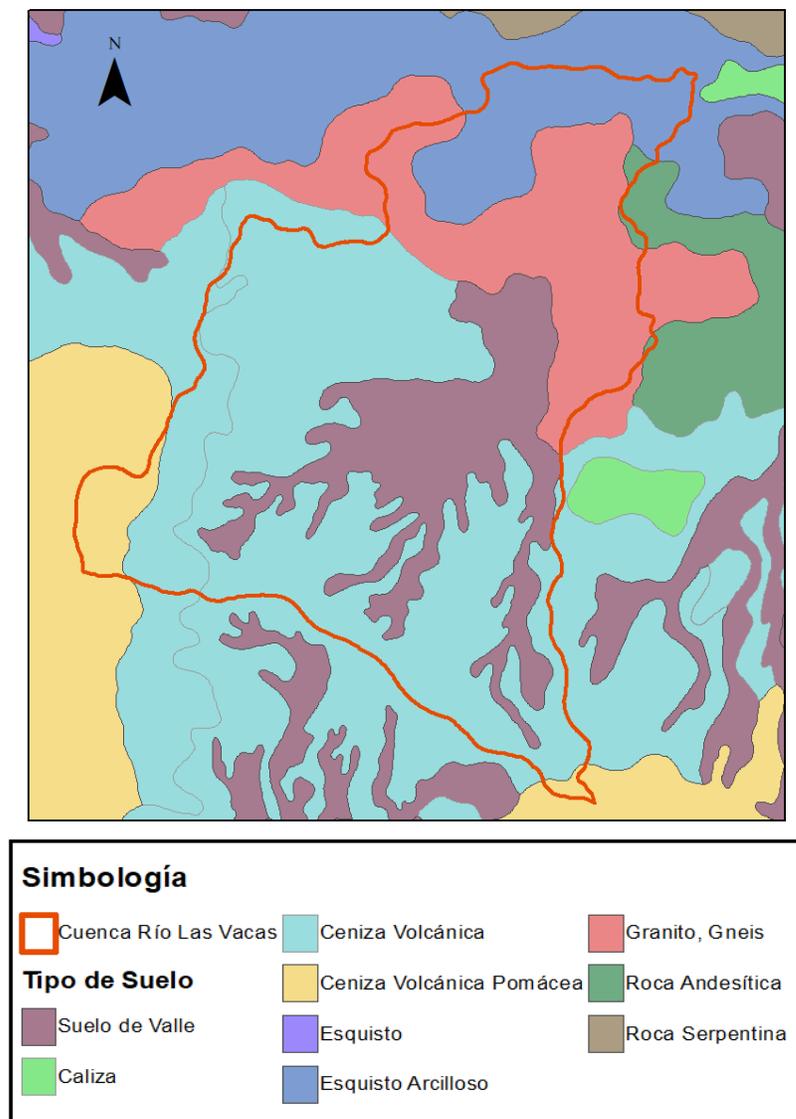


Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

2.3.2. Suelo

Entre el tipo de suelo que predomina en el área de la microcuenca es de tipo de valle, ceniza volcánica, granito, gneis y esquisto.

Figura 14. Tipo de suelo de la microcuenca

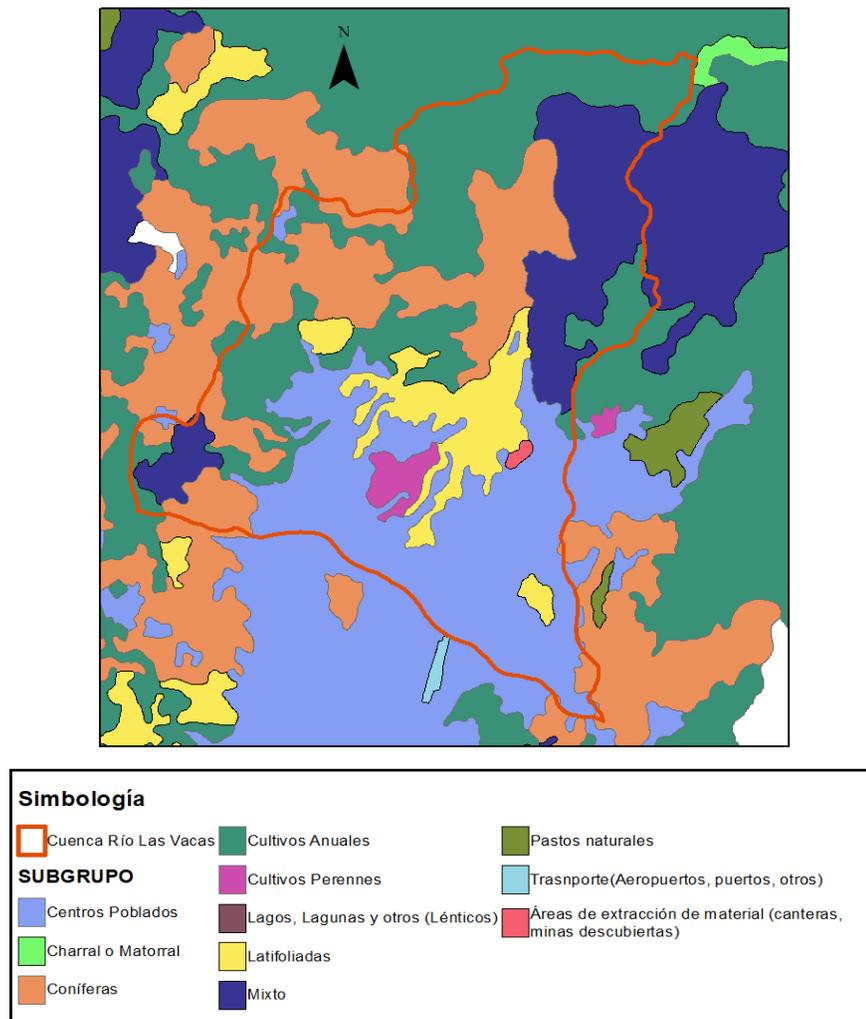


Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

2.3.3. Usos de tierra

El suelo que se encuentra en la microcuenca es mayormente usado por coníferas, cultivos y centros poblados. El uso del suelo ese debe tomar en cuenta en el análisis del comportamiento de la cuenca ante eventos, ya que es algo que puede variar de acuerdo a la actividad humana.

Figura 15. **Uso de suelo de la microcuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

2.3.4. Población y comunidades

Entre los centros poblados se puede observar parte de la ciudad de Guatemala y los municipios aledaños como Chinautla, Chuarrancho, San Pedro Ayampuc, San Raimundo, San José del Golfo. A continuación, se muestran el nombre de las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca.

Figura 16. Poblados y comunidades de la microcuenca



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGIS 2020.

3. MODELO HIDROLÓGICO

En función de la forma de la cuenca, se procede a calcular parámetros específicos que, junto al comportamiento hidrológico de la cuenca, se obtendrán los resultados para estimar los valores a ingresar en el simulador hidráulico, para diferentes períodos de retorno. A continuación, se procederá a determinar los valores de lluvia y caudales para la cuenca del río Las Vacas.

3.1. Parámetros de cuenca

El comportamiento del caudal, en respuesta de la lluvia que es captada por la formación de la cuenca puede ser determinada con base a la pendiente media, altura media y tiempo de concentración en la cuenca.

3.1.1. Pendiente media de la cuenca

La pendiente media de la cuenca demuestra el relieve del cual está conformado, además tiene una estrecha relación con la infiltración, escurrimiento, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea, porque la pendiente es directamente proporcional a la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en la cuenca.

Se utiliza el Método de J.W. Alvord para el cálculo de la pendiente media, y tiene la siguiente fórmula:

$$S = \frac{D * Ll}{A}$$

Donde:

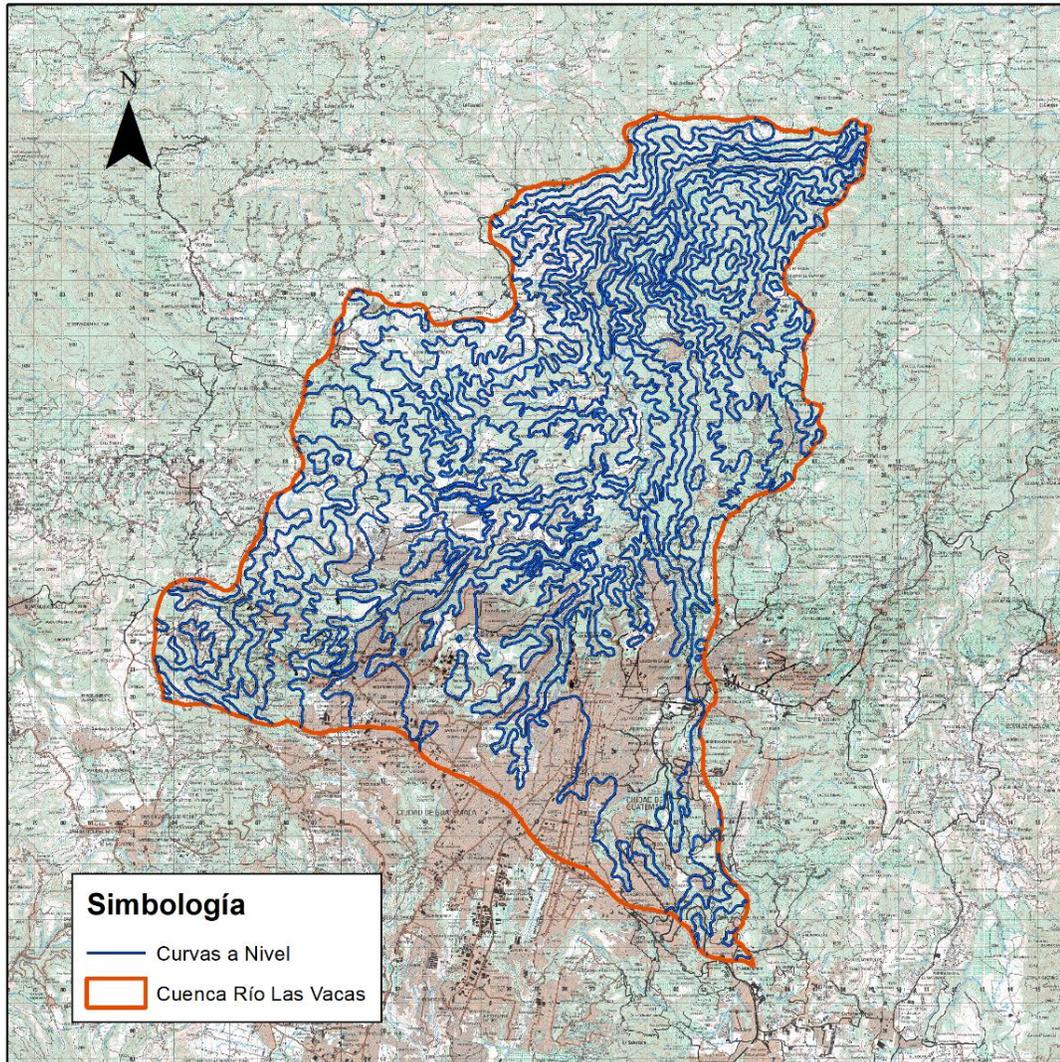
S = Pendiente media de la cuenca

D = Equidistancia entre curvas de nivel (0,1 Km)

Ll = Longitud total de todas las curvas de nivel comprendidas dentro de la cuenca

A = Área de la cuenca (392,76 Km²)

Figura 17. **Curvas a nivel tomadas para cálculo de pendiente media de la cuenca por método Alvord**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

Tabla I. **Longitud de curvas a nivel**

Altitud	Km
600	3,78
700	15,09
800	24,68
900	33,20
1 000	42,88
1 100	51,36
1 200	91,50
1 300	138,90
1 400	229,22
1 500	170,61
1 600	84,13
1 700	30,23
1 800	32,25
1 900	17,92
2 000	12,28
2 100	15,49
2 200	10,82
Total	1004,32

Fuente: elaboración propia, con base en información generada de QGis 2020.

$$S = \frac{(0,1 \text{ Km}) * (1004,32 \text{ Km})}{392,76 \text{ Km}^2} = 25,57 \%$$

El resultado representa la pendiente media de la cuenca que es 25,57 %.

3.1.2. Altura media de la cuenca

La altura media de la cuenca permite comprender las diferencias entre las distribuciones en las temperaturas y precipitaciones en la cuenca, especialmente donde estos factores están muy relacionados con la altura de la cuenca.

Para este cálculo se realiza la siguiente tabla:

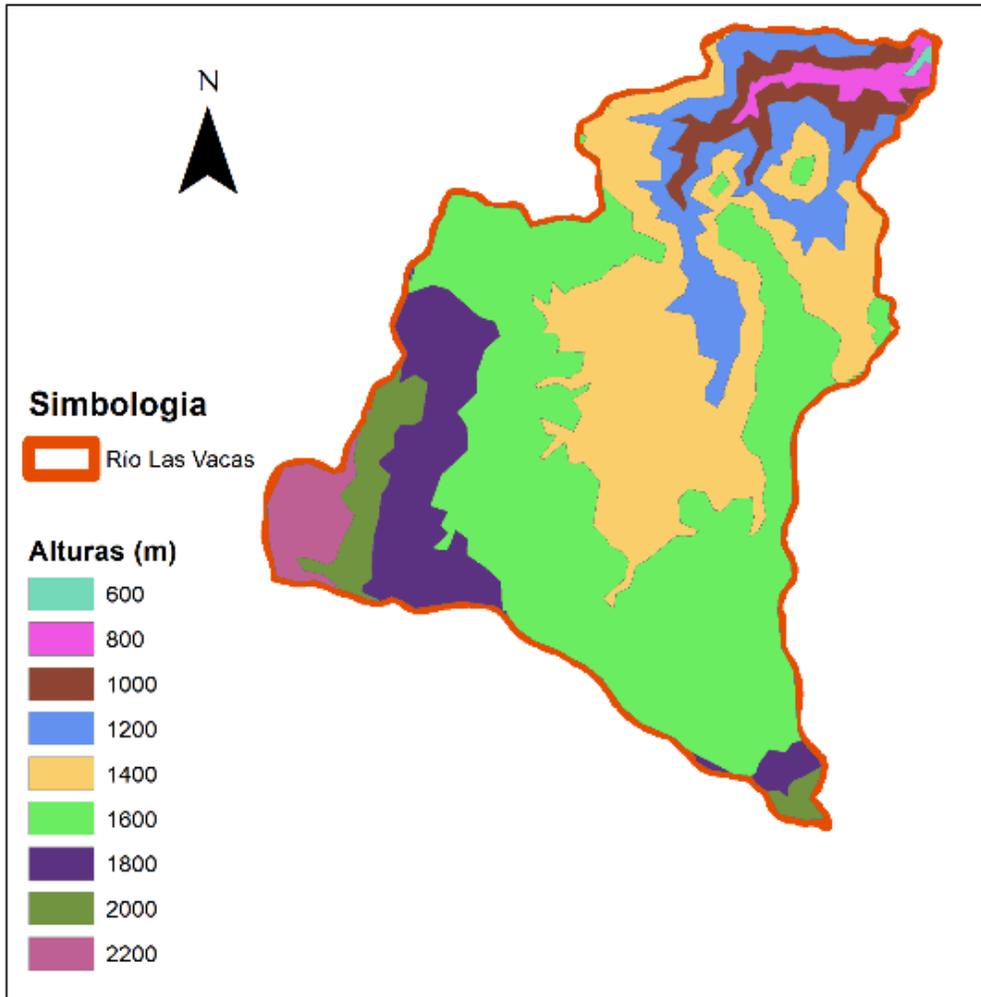
Tabla II. **Alturas medias de la cuenca**

Curvas	Rango de Inter (m)	Área (Km²)	Área* Rango
600	200	0,47	0,28
800	200	6,64	5,31
1 000	200	15,84	15,84
1 200	200	36,09	43,31
1 400	200	103,29	144,61
1 600	200	165,03	264,05
1 800	200	39,01	70,22
2 000	200	14,75	29,50
2 200	200	11,65	25,62
Total		392,76	598,74

Fuente: elaboración propia, con base en información generada de QGis 2020

Estas áreas están representadas por colores, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

Figura 18. **Altura media en la cuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

La altura media se calcula de la siguiente manera

$$A_m = \frac{598,74}{392,76} = 1,52 \text{ Km}$$

La altura media de la cuenca es de 1 524 metros.

3.1.3. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, que se denota como t_c , se define como el tiempo requerido para que una partícula de agua fluya desde el punto hidráulicamente más distante en la cuenca hidrográfica hasta la salida o punto de diseño. Los factores que afectan el tiempo de concentración son la longitud del flujo, la pendiente de la trayectoria del flujo y la rugosidad de la trayectoria del flujo. Para el flujo en los tramos superiores de una cuenca, las características de la lluvia, especialmente la intensidad, también pueden influir en la velocidad de la escorrentía.

La fórmula a utilizar es la de Pasini que consiste en:

$$T_c = 0,023 \left(\frac{AL_p}{Sp} \right)^{0,5}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (hr)

L_p = Longitud del curso principal (44,83 Km)

Sp = Pendiente del curso principal 25,57 %

A = Área de drenaje (área de la cuenca 392,76 Km²)

El cálculo es el siguiente:

$$T_c = 0,023 \left(\frac{392,76 * 44,83}{0,2557} \right)^{0,5} = 6,035 \text{ hora}$$

El tiempo de concentración desde el punto más alto, hasta el punto de salida del río es de 6,04 horas.

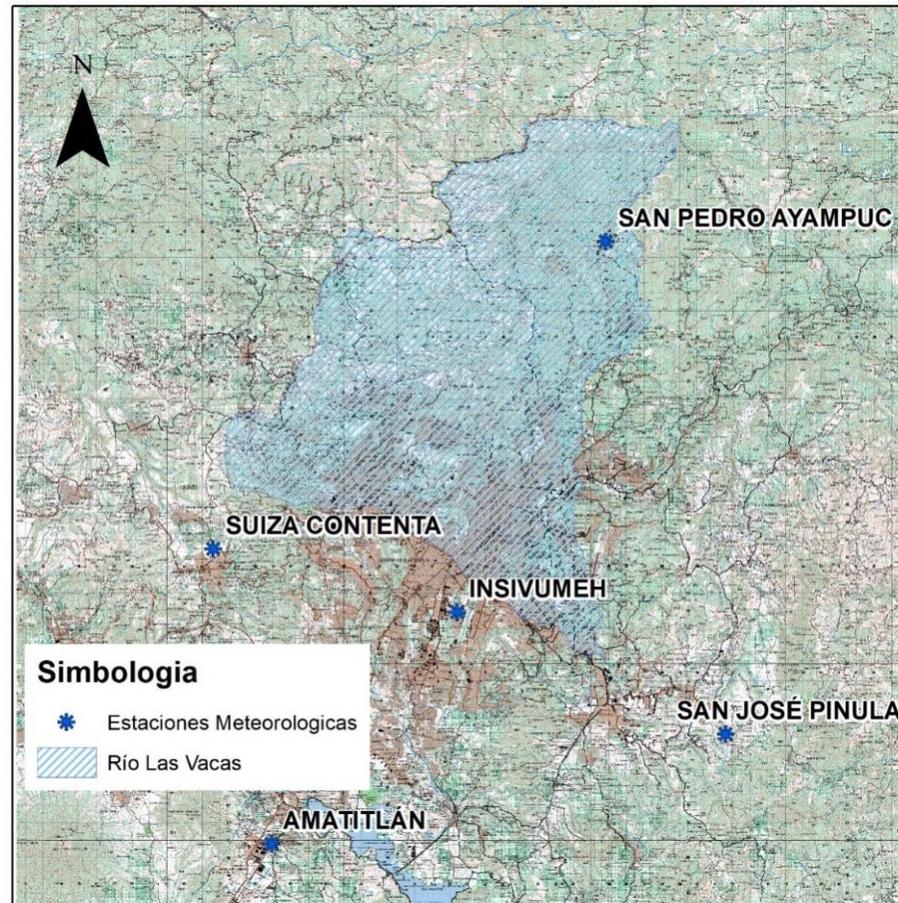
3.2. Caracterización climática

Los parámetros por analizar son necesarios para establecer valores representativos para eventos históricos que han ocurrido a lo largo de un periodo registrado en la región de estudio.

3.2.1. Estaciones meteorológicas

Dentro de la cuenca no se tiene la estación San Pedro Ayampuc y en los alrededores se puede encontrar como la más próxima la estación Suiza Contenta, Insivumeh, San José Pinula y Amatitlán. Estas estaciones meteorológicas se encuentran señaladas en la siguiente ilustración

Figura 19. **Estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

3.2.2. **Precipitación media**

El método de las curvas Isoyetas es uno de los más exactos para promediar la precipitación sobre un área, donde la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa y sobre este se dibujan las líneas de igual precipitación, siendo estas líneas las Isoyetas.

El método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un período determinado posteriormente. Los intervalos de profundidad de precipitación y de incremento de tiempo se toman de acuerdo a la necesidad del problema. Para trazar las Isoyetas, se recomienda superponer la cuenca a un mapa con curvas de nivel, así se toma en cuenta el efecto de la orografía.

Para determinar la precipitación media a través del método de Isoyetas se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{\sum a_i P_i}{\sum a_i}$$

Donde:

Pm = precipitación media anual (mm)

ai = Área entre Isoyetas en (Km²)

Pi = Precipitación media entre Isoyetas (mm)

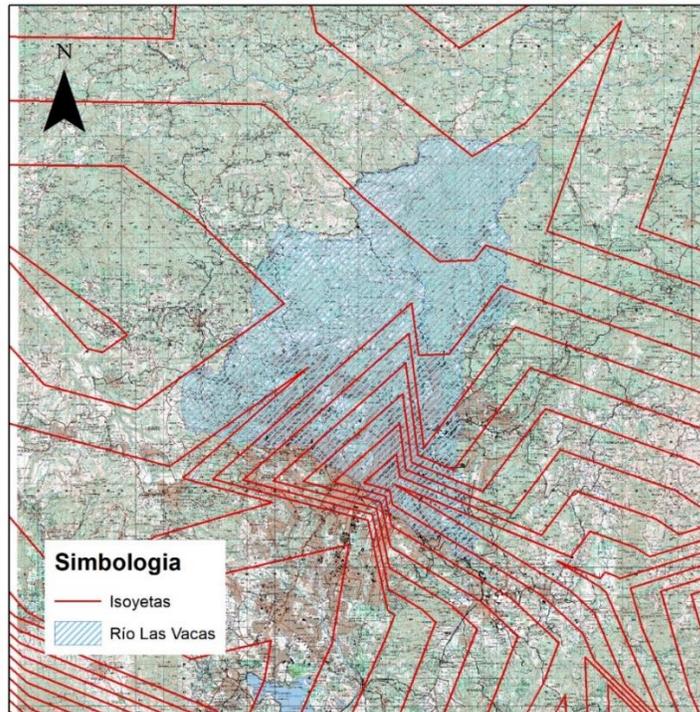
A continuación, se muestra las Isoyetas y las áreas calculadas para encontrar la precipitación media en la subcuenca.

Tabla III. **Precipitación promedio por área**

Num,	Área	P Promedio	P x A
1	1,522	1 000	1522,2
2	253,809	1 100	279 189,57
3	44,220	1 200	53 064,48
4	26,159	1 300	34 006,18
5	17,970	1 400	25 158
6	14,260	1 500	21 390
7	14,721	1 600	23 553,76
8	15,593	1 700	26 508,78
9	4,546	1 800	8 182,08
Σ	392,800		472 575,05

Fuente: elaboración propia, empleando información generada de QGis 2020.

Figura 20. **Isoyetas de precipitación promedio en cuenca río Las Vacas**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

$$Pm = \frac{472,575,05}{392,800} = 1203,09$$

La precipitación media anual en la cuenca río Las Vacas es 1 203,09 mm de lluvia.

3.2.3. **Temperatura media**

El método de las Isotermas es uno de los más exactos para promediar la temperatura sobre un área, donde la localización de las estaciones y la temperatura registrada se grafican en un mapa y sobre este se dibujan las líneas utilizando la misma metodología que las Isoyetas.

Para determinar la temperatura promedio a través del método de Isotermas se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_p = \frac{\sum a_i T_i}{\sum a_i}$$

Donde:

T_p = Temperatura promedio anual en °C

a_i = área entre isotermas en km²

T_i = Temperatura promedio entre isotermas en °C

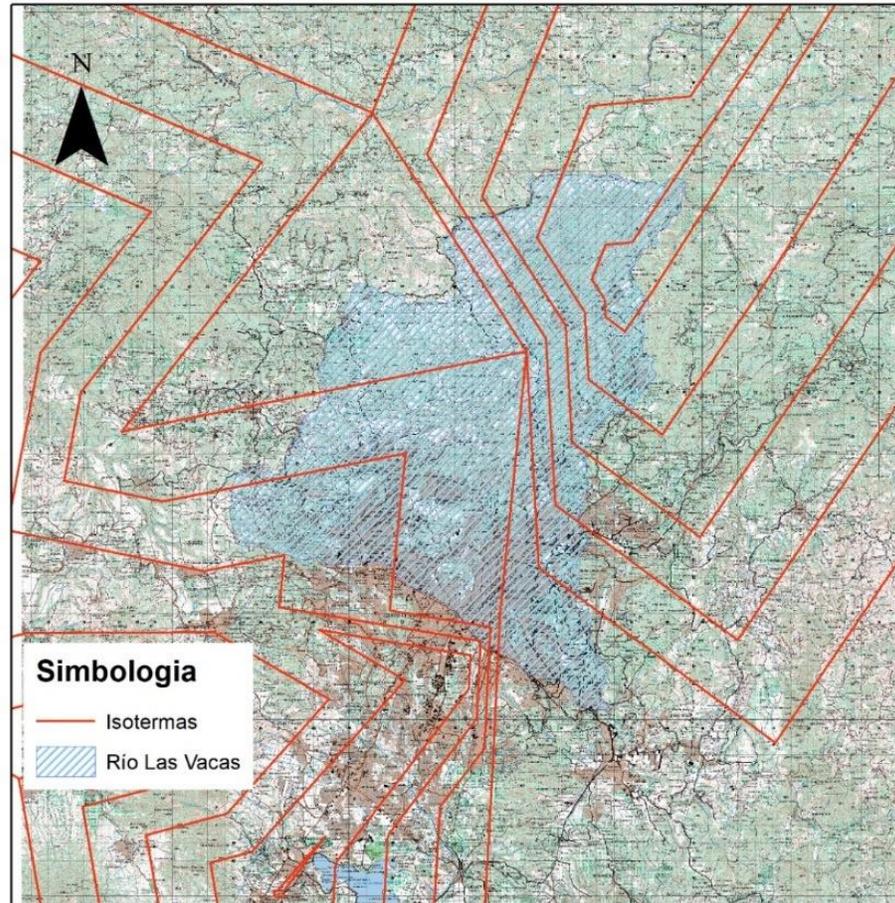
A continuación, se muestra las isotermas y las áreas calculadas para encontrar la temperatura promedio en la subcuenca.

Tabla IV. **Temperatura promedio por área**

Num,	Area	T Promedio	T x A
1	13,790	20	275,792
2	284,810	15	4272,15
3	48,843	10	488,427
4	45,358	5	226,7885
Σ	392,800		5263,158

Fuente: elaboración propia, con base en información generada de QGis 2020.

Figura 21. **Isotermas de precipitación promedio en Cuenca río Las Vacas**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

$$Tp = \frac{5263,158}{392,80} = 16,41$$

La temperatura promedio anual en la cuenca río Las Vacas es 16,41 °C.

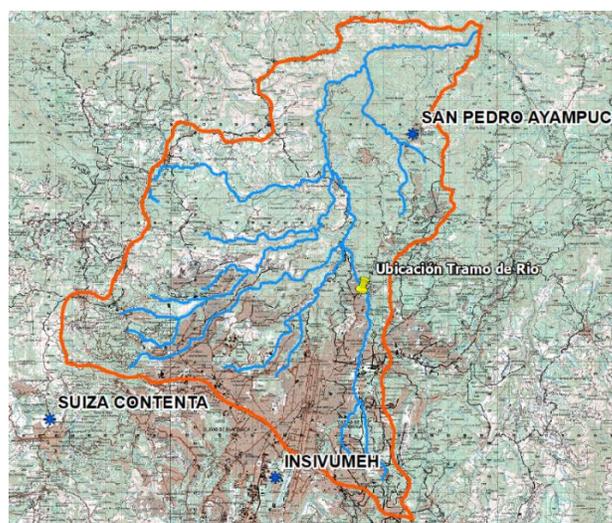
3.3. Hidrología

Es el estudio del comportamiento de factores como la precipitación, la temperatura, radiación e infiltración sobre la superficie de la cuenca, y su respuesta sobre el suelo del mismo. A continuación, se procederá a generar los datos de precipitación promedio para los distintos períodos de retorno a evaluar el tramo de río.

3.3.1. Hietograma

Utilizando los datos ya tabulados y analizados de las cuencas que se encuentran En base a las curvas IDF de las estaciones cercanas al proyecto se generó las curvas IDF específicamente para el Proyecto Logístico La Ceiba, COLCESA para los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, este se muestra a continuación.

Figura 22. **Ubicación del tramo de río A y estaciones cercanas**



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGis 2020.

La estación que tiene mayor influencia en la dinámica de precipitación del tramo del río Las Vacas analizada es la estación INSIVUMEH. La precipitación promedio a genera para los distintos períodos de retorno, estarán en función de las siguientes ecuaciones de curvas IDF.

Tabla V. **Ecuaciones IDF para diferentes períodos de retorno de la estación INSIVUMEH**

Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años
$i_{Tr} = \frac{1970}{(15 + t)^{0,958}}$	$i_{Tr} = \frac{1997}{(30 + t)^{1,161}}$	$i_{Tr} = \frac{1345}{(9 + t)^{0,791}}$
Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
$i_{Tr} = \frac{820}{(2 + t)^{0,656}}$	$i_{Tr} = \frac{900}{(2 + t)^{0,66}}$	$i_{Tr} = \frac{890}{(2 + t)^{0,649}}$

Fuente: elaboración propia, con base en información de INSIVUMEH.

Donde:

Tr= período de retorno (años)

i_{Tr} = intensidad de la lluvia (mm/h igual a milímetros por hora)

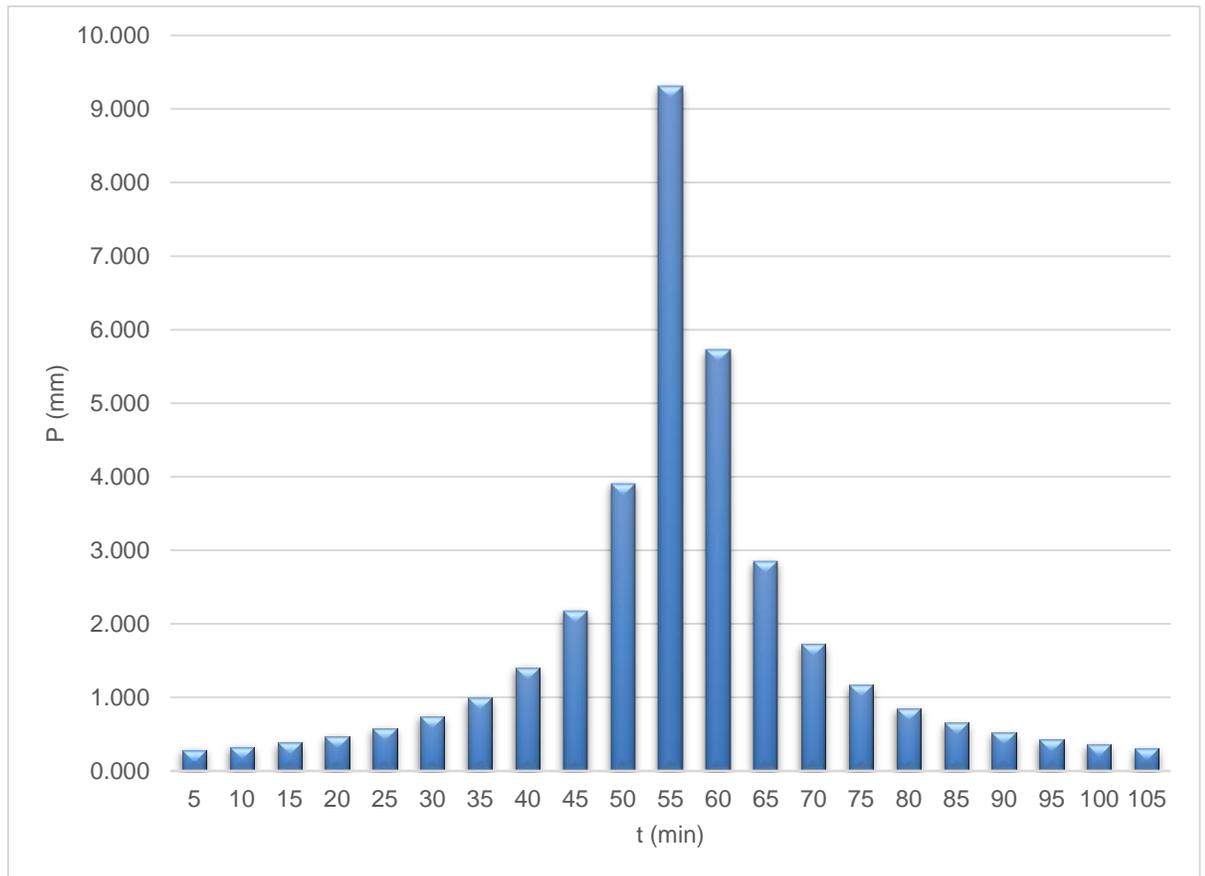
Utilizando la información de la estación con las Curvas IDF se procede a calcular la precipitación promedio para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años con sus respectivos Hietogramas.

Tabla VI. **Calculo para lluvia de un período retorno de 2 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	111,707	9,309	9,309	0,281
2	00:00-00:10	10	90,207	15,034	5,726	0,327
3	00:00-00:15	15	75,750	18,938	3,903	0,387
4	00:00-00:20	20	65,351	21,784	2,846	0,467
5	00:00-00:25	25	57,503	23,960	2,176	0,579
6	00:00-00:30	30	51,368	25,684	1,724	0,741
7	00:00-00:35	35	46,436	27,088	1,404	0,990
8	00:00-00:40	40	42,384	28,256	1,168	1,404
9	00:00-00:45	45	38,994	29,245	0,990	2,176
10	00:00-00:50	50	36,116	30,096	0,851	3,903
11	00:00-00:55	55	33,640	30,837	0,741	9,309
12	00:00-00:60	60	31,489	31,489	0,652	5,726
13	00:00-01:00	65	29,601	32,068	0,579	2,846
14	00:00-01:05	70	27,931	32,586	0,518	1,724
15	00:00-01:10	75	26,442	33,053	0,467	1,168
16	00:00-01:15	80	25,108	33,477	0,424	0,851
17	00:00-01:20	85	23,904	33,864	0,387	0,652
18	00:00-01:25	90	22,812	34,218	0,355	0,518
19	00:00-01:30	95	21,818	34,545	0,327	0,424
20	00:00-01:40	100	20,908	34,847	0,302	0,355
21	00:00-01:45	105	20,073	35,128	0,281	0,302

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 2 años**



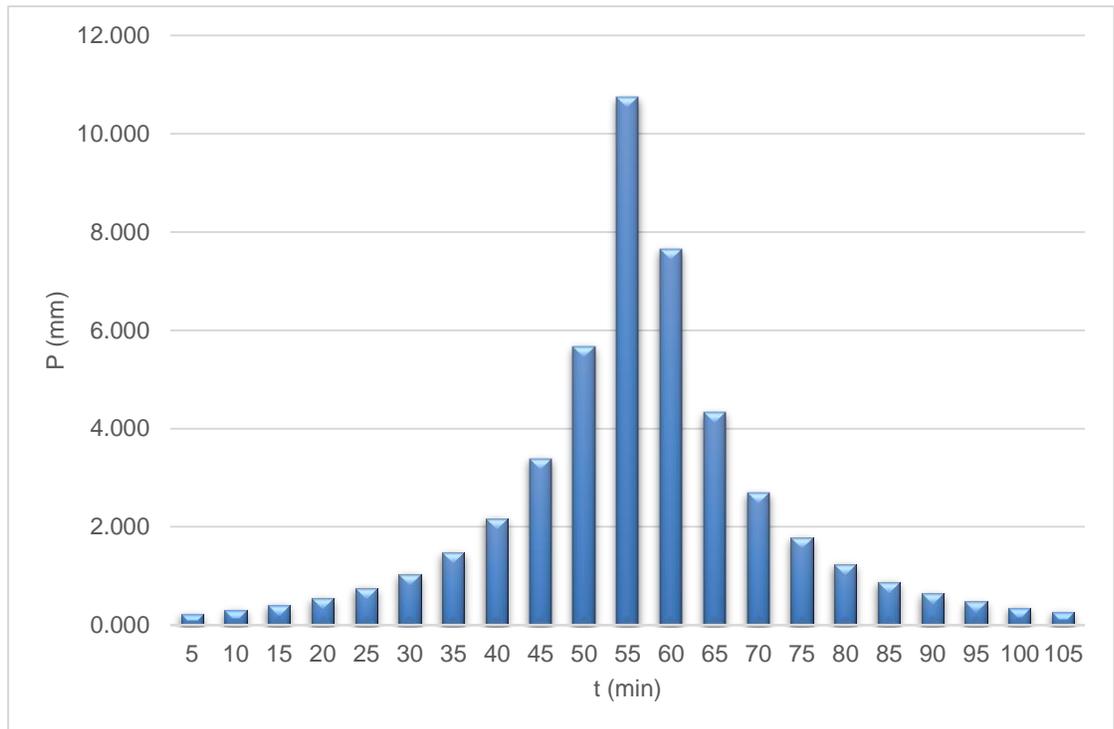
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Calculo para lluvia de un período retorno de 5 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	128,903	10,742	10,742	0,233
2	00:00-00:10	10	110,391	18,399	7,657	0,310
3	00:00-00:15	15	96,283	24,071	5,672	0,412
4	00:00-00:20	20	85,197	28,399	4,328	0,552
5	00:00-00:25	25	76,272	31,780	3,381	0,750
6	00:00-00:30	30	68,944	34,472	2,692	1,038
7	00:00-00:35	35	62,825	36,648	2,176	1,476
8	00:00-00:40	40	57,646	38,431	1,782	2,176
9	00:00-00:45	45	53,208	39,906	1,476	3,381
10	00:00-00:50	50	49,367	41,139	1,233	5,672
11	00:00-00:55	55	46,012	42,178	1,038	10,742
12	00:00-00:60	60	43,058	43,058	0,880	7,657
13	00:00-01:00	65	40,438	43,808	0,750	4,328
14	00:00-01:05	70	38,100	44,450	0,642	2,692
15	00:00-01:10	75	36,002	45,002	0,552	1,782
16	00:00-01:15	80	34,109	45,479	0,476	1,233
17	00:00-01:20	85	32,393	45,891	0,412	0,880
18	00:00-01:25	90	30,832	46,248	0,357	0,642
19	00:00-01:30	95	29,405	46,557	0,310	0,476
20	00:00-01:40	100	28,096	46,826	0,269	0,357
21	00:00-01:45	105	26,891	47,060	0,233	0,269

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 5 años**



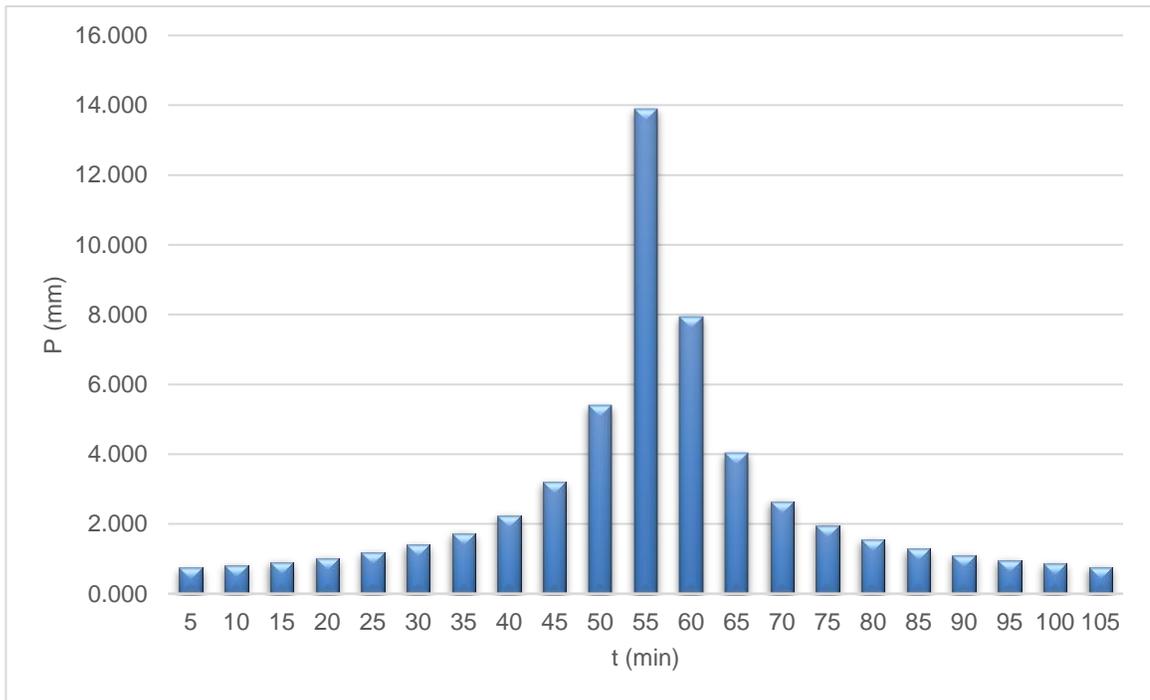
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Calculo para lluvia de un período retorno de 10 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	166,777	13,898	13,898	0,735
2	00:00-00:10	10	130,987	21,831	7,933	0,810
3	00:00-00:15	15	108,887	27,222	5,391	0,903
4	00:00-00:20	20	93,749	31,250	4,028	1,023
5	00:00-00:25	25	82,665	34,444	3,194	1,181
6	00:00-00:30	30	74,163	37,082	2,638	1,401
7	00:00-00:35	35	67,414	39,325	2,243	1,724
8	00:00-00:40	40	61,912	41,275	1,950	2,243
9	00:00-00:45	45	57,332	42,999	1,724	3,194
10	00:00-00:50	50	53,454	44,545	1,546	5,391
11	00:00-00:55	55	50,123	45,946	1,401	13,898
12	00:00-00:60	60	47,227	47,227	1,281	7,933
13	00:00-01:00	65	44,685	48,409	1,181	4,028
14	00:00-01:05	70	42,433	49,505	1,096	2,638
15	00:00-01:10	75	40,422	50,527	1,023	1,950
16	00:00-01:15	80	38,615	51,487	0,959	1,546
17	00:00-01:20	85	36,981	52,390	0,903	1,281
18	00:00-01:25	90	35,496	53,243	0,854	1,096
19	00:00-01:30	95	34,139	54,053	0,810	0,959
20	00:00-01:40	100	32,894	54,823	0,770	0,854
21	00:00-01:45	105	31,748	55,558	0,735	0,770

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 10 años**



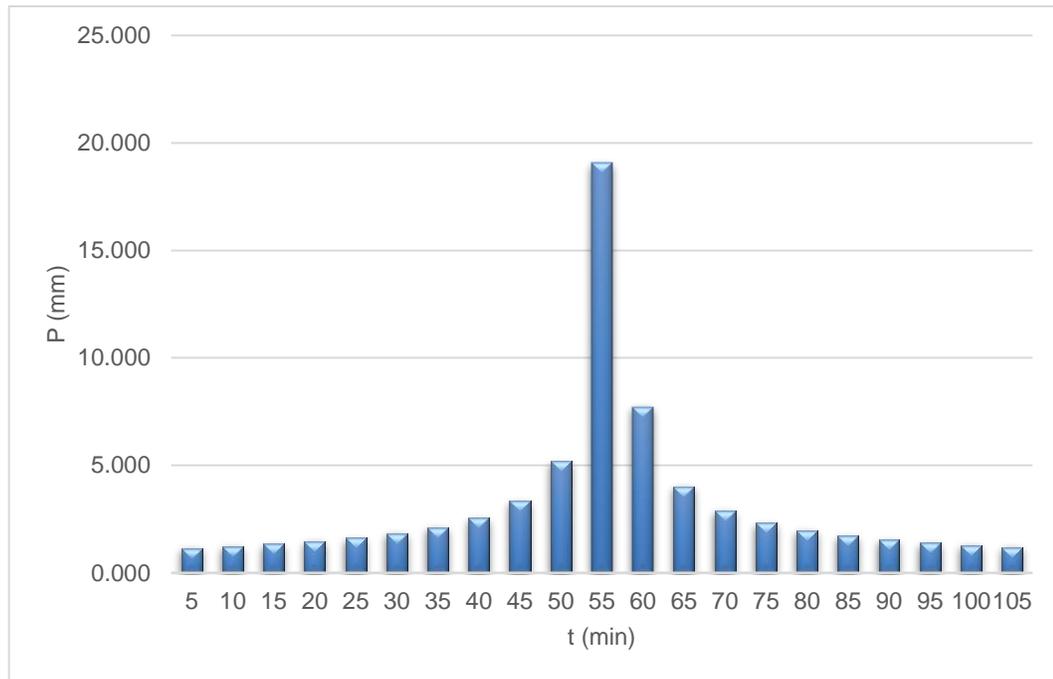
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Calculo para lluvia de un período retorno de 25 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	228,786	19,066	19,066	1,154
2	00:00-00:10	10	160,646	26,774	7,709	1,238
3	00:00-00:15	15	127,832	31,958	5,184	1,338
4	00:00-00:20	20	107,941	35,980	4,022	1,462
5	00:00-00:25	25	94,371	39,321	3,341	1,619
6	00:00-00:30	30	84,418	42,209	2,888	1,827
7	00:00-00:35	35	76,749	44,770	2,561	2,118
8	00:00-00:40	40	70,626	47,084	2,313	2,561
9	00:00-00:45	45	65,602	49,202	2,118	3,341
10	00:00-00:50	50	61,393	51,160	1,959	5,184
11	00:00-00:55	55	57,804	52,987	1,827	19,066
12	00:00-00:60	60	54,702	54,702	1,715	7,709
13	00:00-01:00	65	51,989	56,321	1,619	4,022
14	00:00-01:05	70	49,591	57,856	1,535	2,888
15	00:00-01:10	75	47,454	59,318	1,462	2,313
16	00:00-01:15	80	45,536	60,714	1,396	1,959
17	00:00-01:20	85	43,802	62,052	1,338	1,715
18	00:00-01:25	90	42,225	63,337	1,285	1,535
19	00:00-01:30	95	40,784	64,575	1,238	1,396
20	00:00-01:40	100	39,461	65,769	1,194	1,285
21	00:00-01:45	105	38,242	66,923	1,154	1,194

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 25 años**



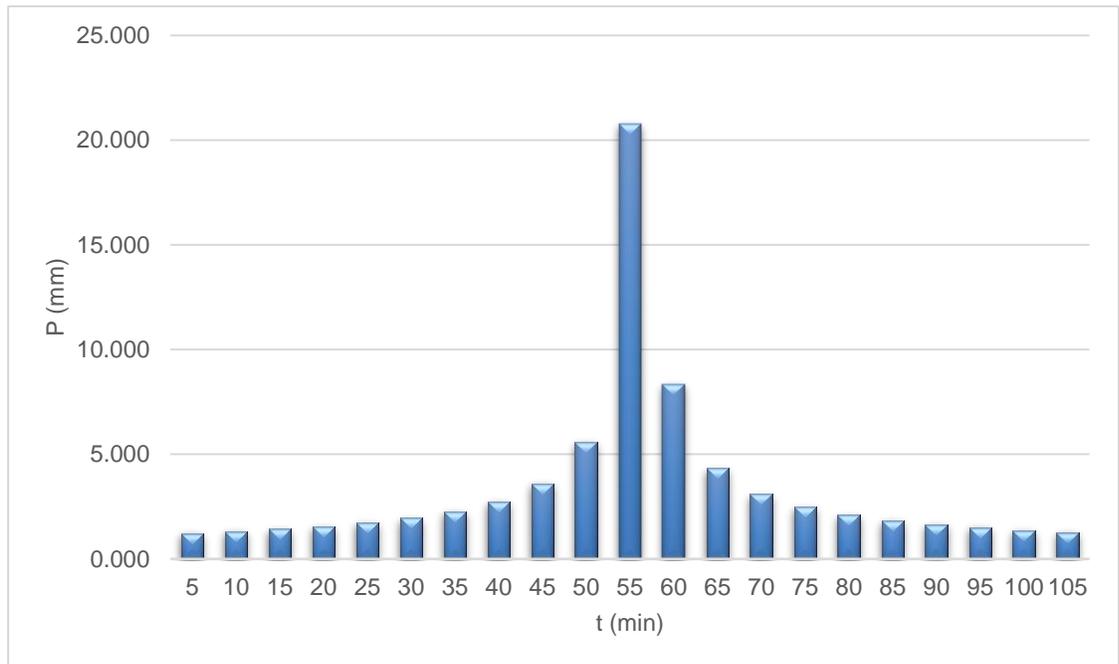
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Calculo para lluvia de un período retorno de 50 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	249,160	20,763	20,763	1,230
2	00:00-00:10	10	174,575	29,096	8,333	1,319
3	00:00-00:15	15	138,722	34,681	5,585	1,427
4	00:00-00:20	20	117,016	39,005	4,325	1,560
5	00:00-00:25	25	102,222	42,592	3,587	1,729
6	00:00-00:30	30	91,378	45,689	3,097	1,953
7	00:00-00:35	35	83,029	48,434	2,744	2,266
8	00:00-00:40	40	76,366	50,910	2,477	2,744
9	00:00-00:45	45	70,902	53,176	2,266	3,587
10	00:00-00:50	50	66,325	55,271	2,095	5,585
11	00:00-00:55	55	62,426	57,224	1,953	20,763
12	00:00-00:60	60	59,056	59,056	1,832	8,333
13	00:00-01:00	65	56,109	60,785	1,729	4,325
14	00:00-01:05	70	53,506	62,424	1,639	3,097
15	00:00-01:10	75	51,187	63,984	1,560	2,477
16	00:00-01:15	80	49,105	65,473	1,490	2,095
17	00:00-01:20	85	47,224	66,900	1,427	1,832
18	00:00-01:25	90	45,514	68,271	1,370	1,639
19	00:00-01:30	95	43,951	69,590	1,319	1,490
20	00:00-01:40	100	42,517	70,862	1,272	1,370
21	00:00-01:45	105	41,195	72,092	1,230	1,272

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 50 años**



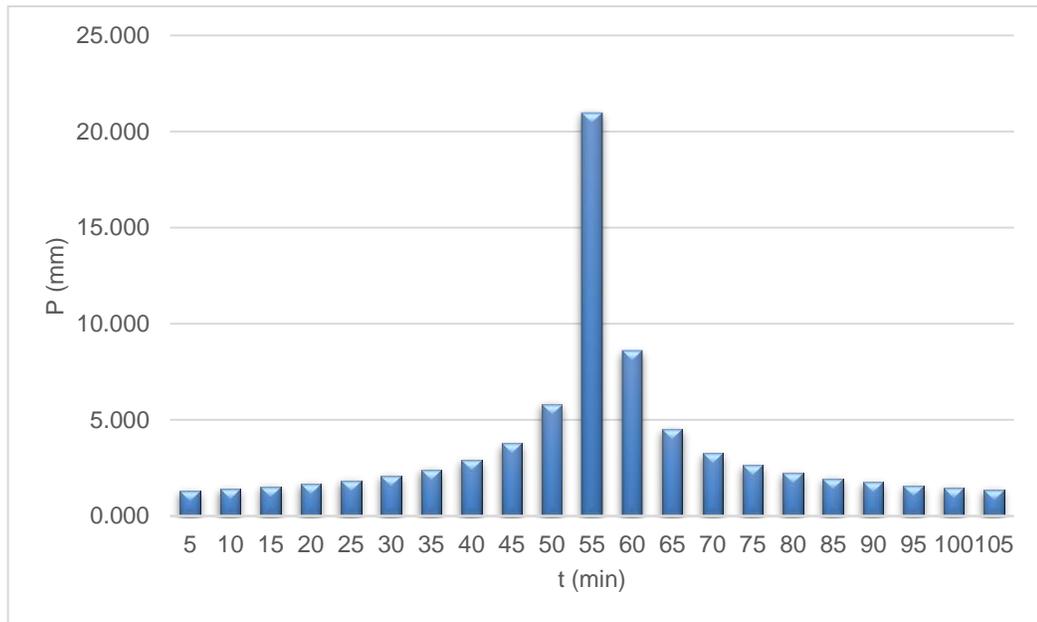
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Calculo para lluvia de un período retorno de 100 años**

No, Intervalo	Hora	t (min)	I (mm/hora)	P (mm)	DP (mm)	DP ordenados (mm)
1	00:00-00:05	5	251,722	20,977	20,977	1,319
2	00:00-00:10	10	177,420	29,570	8,593	1,413
3	00:00-00:15	15	141,524	35,381	5,811	1,526
4	00:00-00:20	20	119,718	39,906	4,525	1,666
5	00:00-00:25	25	104,818	43,674	3,768	1,843
6	00:00-00:30	30	93,875	46,937	3,263	2,076
7	00:00-00:35	35	85,433	49,836	2,899	2,403
8	00:00-00:40	40	78,687	52,458	2,622	2,899
9	00:00-00:45	45	73,147	54,860	2,403	3,768
10	00:00-00:50	50	68,502	57,085	2,225	5,811
11	00:00-00:55	55	64,540	59,161	2,076	20,977
12	00:00-00:60	60	61,112	61,112	1,951	8,593
13	00:00-01:00	65	58,112	62,955	1,843	4,525
14	00:00-01:05	70	55,460	64,704	1,749	3,263
15	00:00-01:10	75	53,095	66,369	1,666	2,622
16	00:00-01:15	80	50,971	67,962	1,592	2,225
17	00:00-01:20	85	49,050	69,488	1,526	1,951
18	00:00-01:25	90	47,303	70,955	1,467	1,749
19	00:00-01:30	95	45,706	72,368	1,413	1,592
20	00:00-01:40	100	44,239	73,732	1,364	1,467
21	00:00-01:45	105	42,886	75,051	1,319	1,364

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Hietograma discretizado cada 5 minutos, período retorno 100 años**



Fuente: elaboración propia.

3.4. Parámetros para cálculo de caudales

Para este análisis se determinará los caudales asociados a eventos de precipitación con diferentes períodos de retorno por medio del uso de un modelo precipitación – escorrentía. Para dicho análisis se utilizarán los parámetros físicos calculados anteriormente, así como las lluvias de tormentas de diseño:

Tabla XII. **Parámetros físicos del área de la cuenca río Las Vacas**

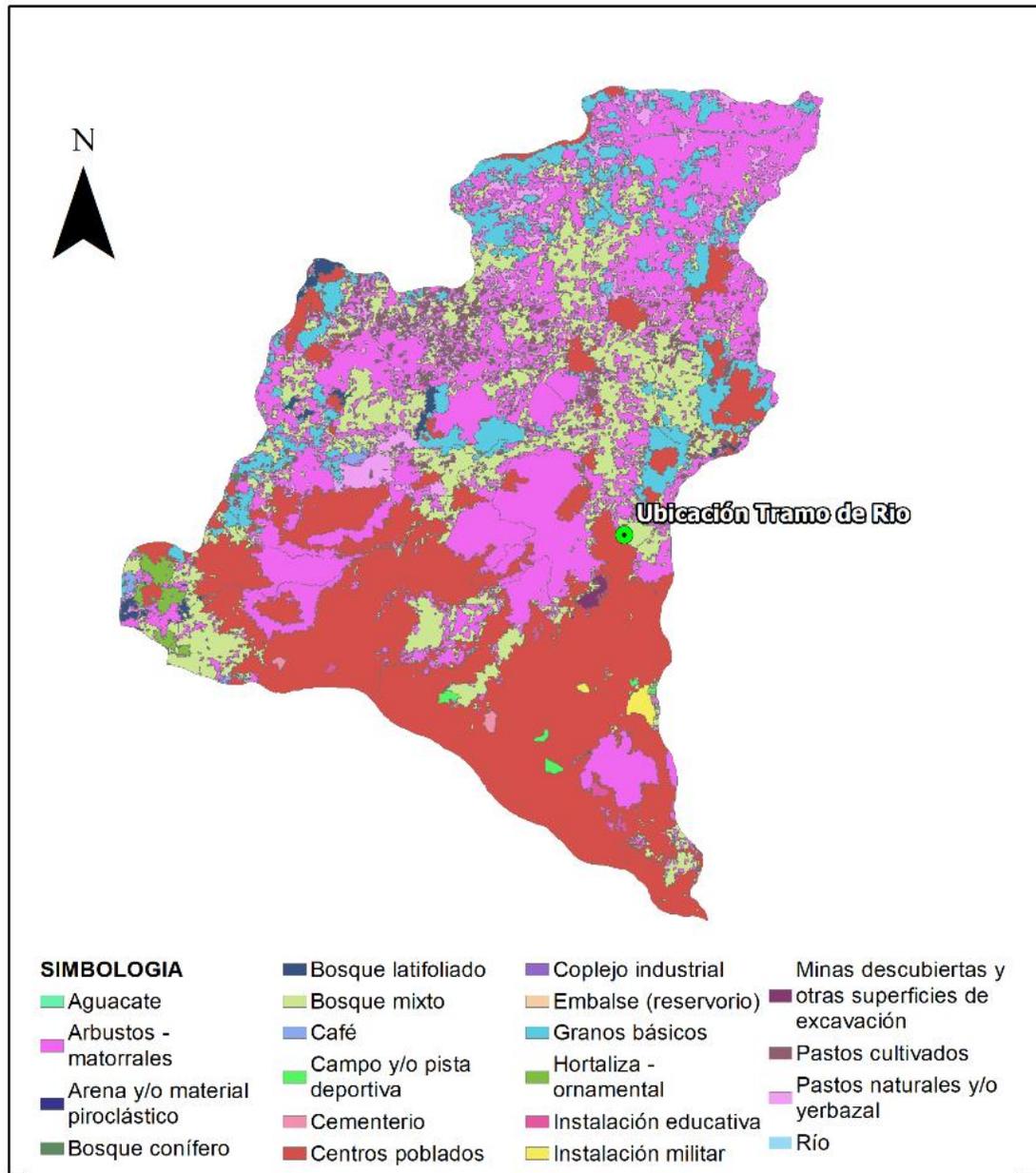
Parámetro	Valor
Área	392,76 Km ²
Longitud del cauce principal	44,83 Km
Pendiente media del área	25,57 %
Tiempo de concentración	6,04 horas 362,4 minutos

Fuente: elaboración propia, con base en información de incisos anteriores.

3.4.1. Abstracciones

Las abstracciones determinan la cantidad de precipitación que es absorbida por el suelo o retenida en la superficie de una cuenca. Para el presente análisis se utiliza el método del número de curva de escorrentía del SCS, el cual es un coeficiente que representa el porcentaje de lluvia que se transforma en escorrentía superficial. Este coeficiente se determina con base al uso y tipo de suelo. La siguiente figura muestra los usos de suelo para el área en estudio, y la siguiente tabla las áreas respectivas por uso.

Figura 29. Clasificación de los usos de suelo en el área de la cuenca



Fuente: elaboración propia, empleando mapas del MAGA 2002 y QGIS 2020.

Tabla XIII. **Áreas por uso de suelo en la cuenca**

No,	Uso de suelo	Área (Km²)
1	Aguacate	0,04
2	Arbustos – matorrales	129,65
3	Arena y/o material piroclástico	0,01
4	Bosque conífero	0,11
5	Bosque latifoliado	2,67
6	Bosque mixto	64,96
7	Café	0,87
8	Campo y/o pista deportiva	0,82
9	Cementerio	0,44
10	Centros poblados	128,85
11	Complejo industrial	0,04
12	Embalse (reservorio)	0,08
13	Granos básicos	30,94
14	Hortaliza – ornamental	2,55
15	Instalación educativa	0,53
16	Instalación militar	1,01
17	Minas descubiertas y otras superficies de excavación	0,61
18	Pastos cultivados	8,33
19	Pastos naturales y/o yerbazal	19,86
20	Río	0,39

Fuente: elaboración propia, empleando información generada de QGis 2020.

3.4.2. Porcentaje de impermeabilidad

El porcentaje de área sobre cada tipo de suelo, es la forma en como varia el comportamiento del agua sobre la superficie del agua en cada parte que cambie el suelo. A continuación, se presenta el porcentaje de uso de suelo en la cuenca.

Tabla XIV. **Porcentajes por uso de suelo**

No,	Uso de suelo	Área (Km²)	%
1	Aguacate	0,04	0,010
2	Arbustos – matorrales	129,65	33,010
3	Arena y/o material piroclástico	0,01	0,003
4	Bosque conífero	0,11	0,028
5	Bosque latifoliado	2,67	0,680
6	Bosque mixto	64,96	16,539
7	Café	0,87	0,222
8	Campo y/o pista deportiva	0,82	0,209
9	Cementerio	0,44	0,112
10	Centros poblados	128,85	32,806
11	Complejo industrial	0,04	0,010
12	Embalse (reservorio)	0,08	0,020
13	Granos básicos	30,94	7,878
14	Hortaliza – ornamental	2,55	0,649
15	Instalación educativa	0,53	0,135
16	Instalación militar	1,01	0,257
17	Minas descubiertas y otras superficies de excavación	0,61	0,155
18	Pastos cultivados	8,33	2,121
19	Pastos naturales y/o yerbazal	19,86	5,057
20	Río	0,39	0,099
		392,76	100

Fuente: elaboración propia, con base en información generada de QGis 2020.

Existe un proceso de urbanización de la cuenca. Debido a ello se consideraron como centros poblados, complejos industriales, pistas deportivas, instalaciones educativas y militares como impermeables. Teniéndose por lo tanto un porcentaje de área urbanizada del 33,42 %.

3.4.3. Curva número

Es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos que determina un umbral de escorrentía (P_0), a través de un número hidrológico o número de curva (CN), agregado de la cuenca. El Numero de Curva toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad

El método del SCS clasifica los suelos en cuatro tipos, A, B, C, y D. Siendo los suelos clase A los suelos más permeables, y los suelos clase D los que presentan mayor impermeabilidad. Los valores de números de curva de escorrentía (CNII), asignados por uso de suelo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XV. **Números de curva de escorrentía por uso de suelo**

No.	Uso de suelo	CNII	Observaciones
1	Aguacate	63	
2	Arbustos - matorrales	61	
3	Arena y/o material piroclástico	45	
4	Bosque conífero	59	
5	Bosque latifoliado	59	
6	Bosque mixto	60	
7	Café	71	
8	Campo o pista deportiva	100	Se consideraron como áreas impermeables
9	Cementerio	80	
10	Centros poblados	100	Se consideraron como áreas impermeables
11	Complejo industrial	100	Se consideraron como áreas impermeables
12	Embalse (reservorio)	100	Se consideraron como áreas impermeables
13	Granos básicos	71	
14	Hortaliza - ornamental	69	
15	Instalación educativa	100	Se consideraron como áreas impermeables
16	Instalación militar	100	Se consideraron como áreas impermeables
17	Minas descubiertas y otras superficies de excavación	85	
18	Pastos cultivados	63	
19	Pastos naturales o yerbazal	61	
20	Río	85	
	Promedio ponderado	76,60	

Fuente: elaboración propia, con base en información generada de QGis 2020.

Se obtuvo un promedio ponderado del número de curva de las áreas permeables dando como resultado un valor de 76.60 el cual se redondeó a 77. Este número de curva representa una condición de saturación media del suelo, para simular una condición crítica se ajustó a una condición de saturación completa por medio de la siguiente ecuación:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,43043 + 0,00566 \cdot CN_{II}}$$

Donde:

CNII = número de curva para una condición de saturación media = 77

CNIII = número de curva para una condición de saturación completa.

El valor obtenido fue de 89. Este valor se utiliza para calcular un valor de número de curva compuesto con base en el porcentaje de área impermeable. Se calculó el valor compuesto del número de curva con el porcentaje de área impermeable. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$CN_c = CN_p + \left(\frac{P_{imp}}{100}\right) (98 - CN_p)$$

Donde:

CNC = número de curva compuesto

CNP = número de curva del área permeable = 89

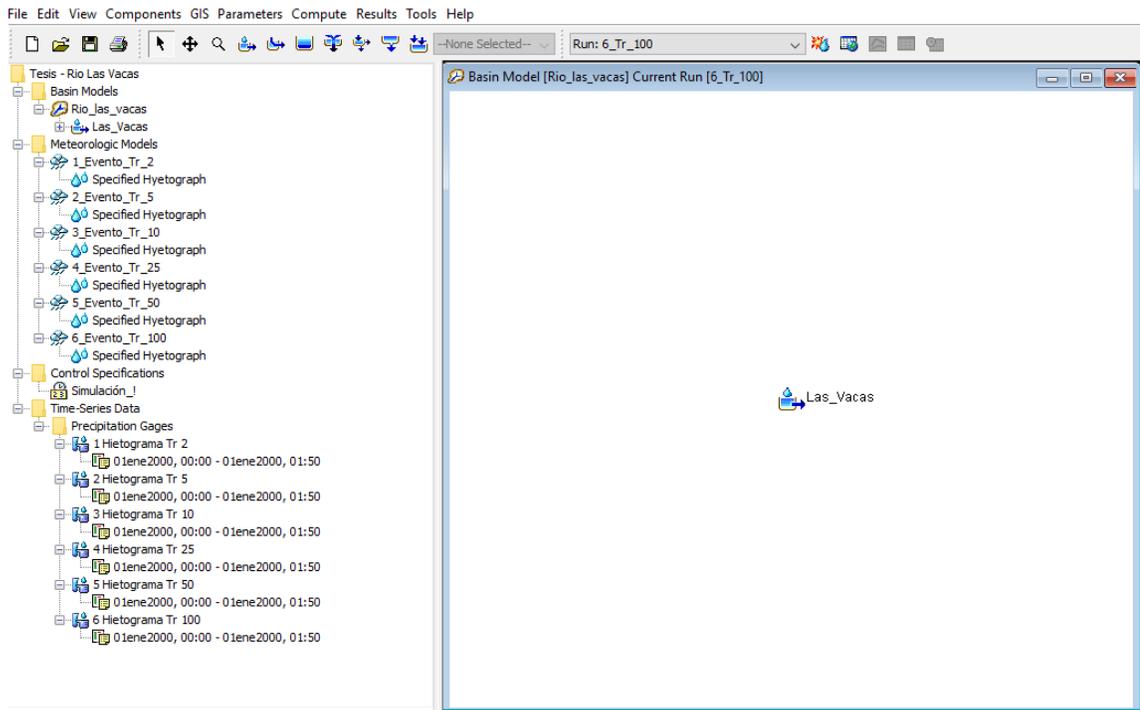
Pimp = porcentaje impermeable = 33,42 %

El valor compuesto para la cuenca es de 92,50, que aproximado es 93.

3.4.4. Caudales para distintos períodos de retorno

Utilizando el software HEC-HMS, se procede a integrar los datos de hietograma para la cuenca y los parámetros calculados anteriormente, separando por eventos de la siguiente manera.

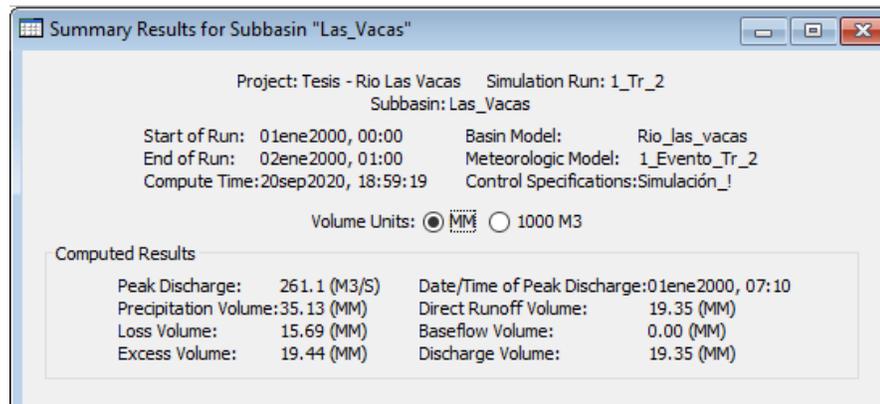
Figura 30. Ingreso de datos de hietogramas para los diferentes períodos de retornos calculados



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

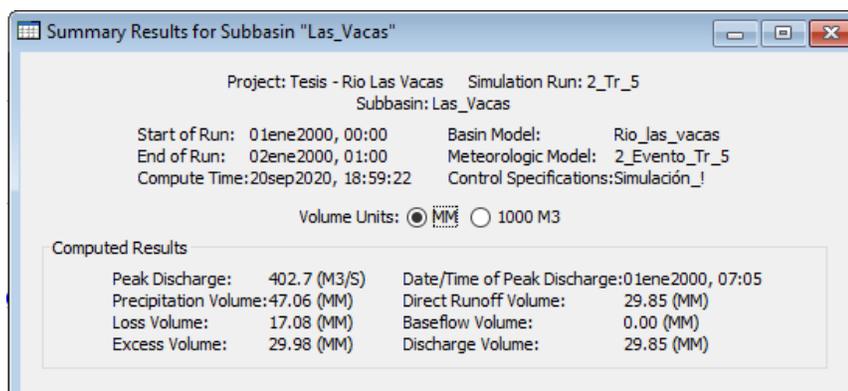
Ya teniendo estos datos ingresados se procede a simular para un día (24 horas), el comportamiento de la lluvia en la cuenca, y así se obtiene los siguientes datos de caudales.

Figura 31. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 2 años**



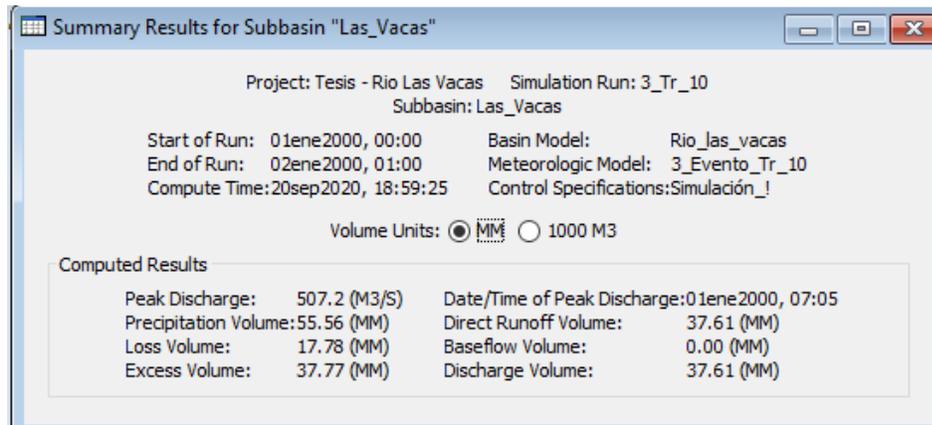
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 32. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 5 años**



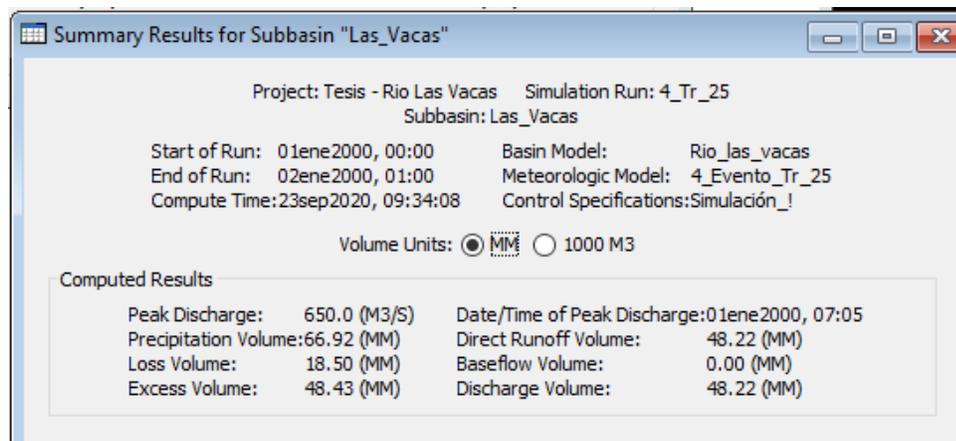
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 33. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 10 años**



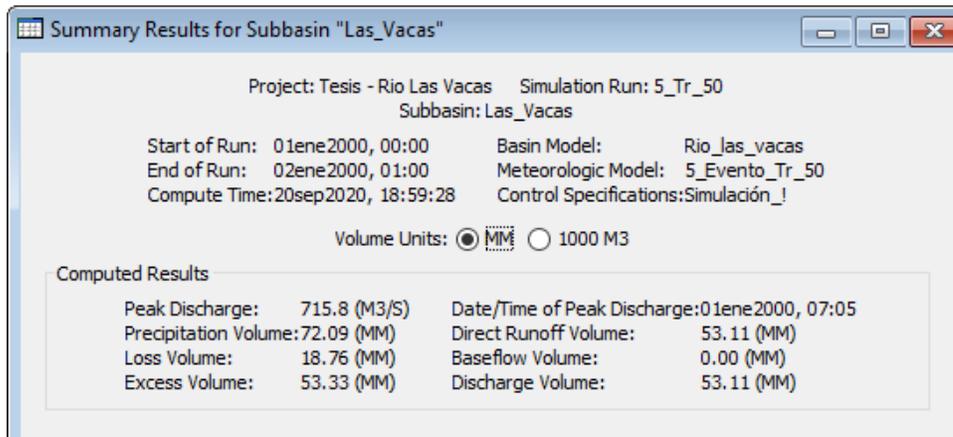
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 34. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 25 años**



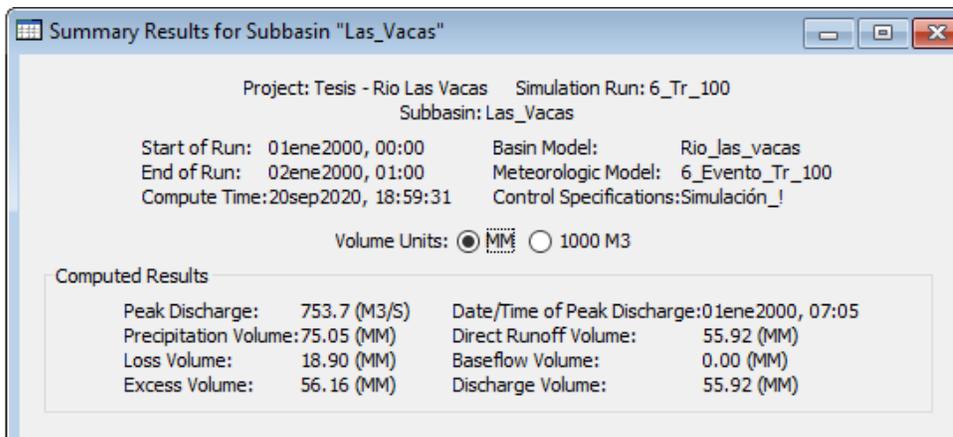
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 35. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 50 años**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 36. **Resumen de datos obtenidos por HEC-HMS para un período de retorno de 100 años**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Obteniendo lo siguiente se hace el cuadro de resumen de los caudales máximos generados por la simulación en HEC-HMS para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente.

Tabla XVI. **Caudales máximos para diferentes periodos de retorno**

No,	Período de retorno (años)	Caudal (m³/s)
1	2	261,1
2	5	402,7
3	10	507,2
4	25	650,0
5	50	715,8
6	100	753,7

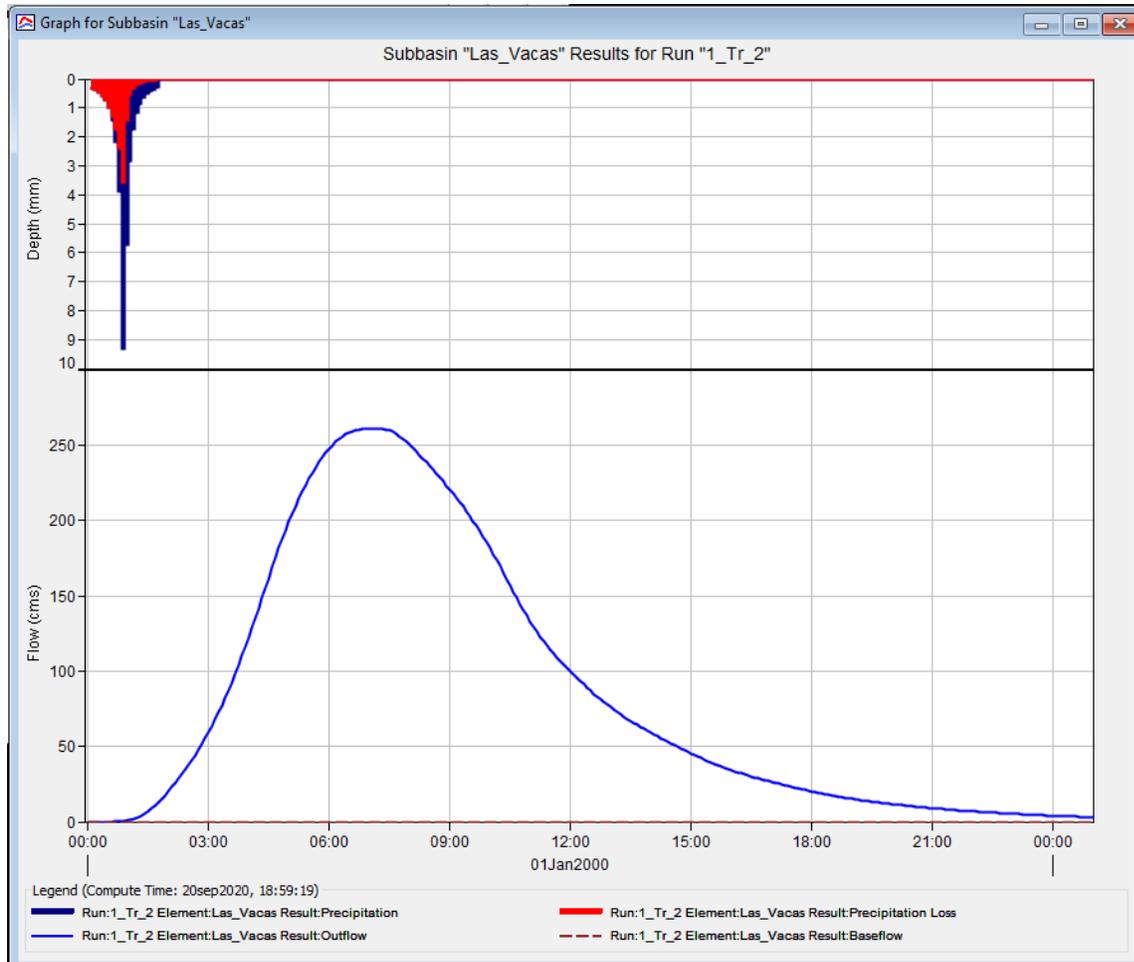
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Estos caudales generados serán utilizados para la simulación del tramo del río analizado, y así obtener un comportamiento de las secciones para diferentes períodos de retorno.

3.4.5. Hidrograma

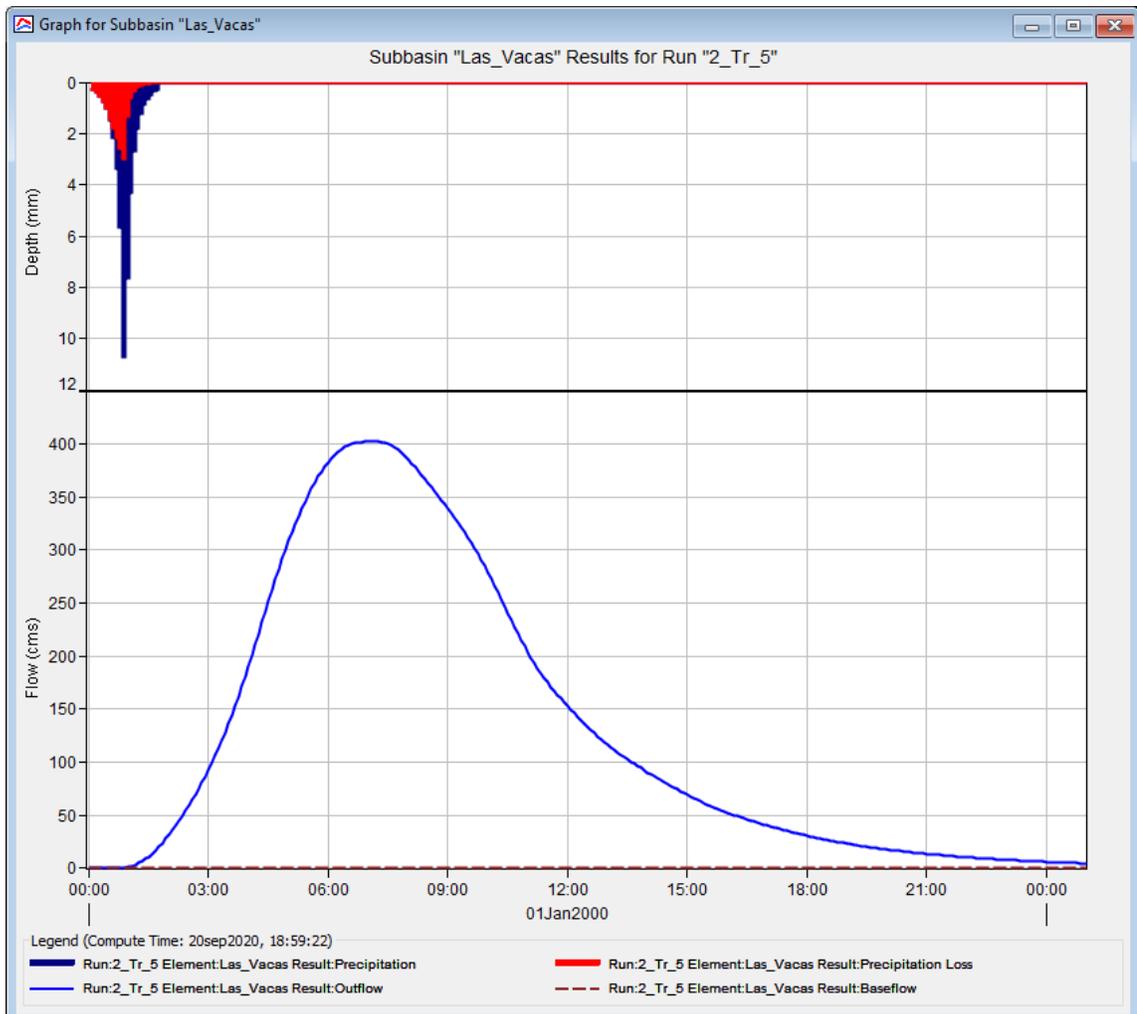
El hidrograma es la representación gráfica del comportamiento del caudal en una cuenca para un tiempo específico de un evento de lluvia. A continuación, se presenta el comportamiento del caudal, producidos por lluvias para diferentes períodos de retorno para un plazo de un día (24 horas).

Figura 37. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 2 años**



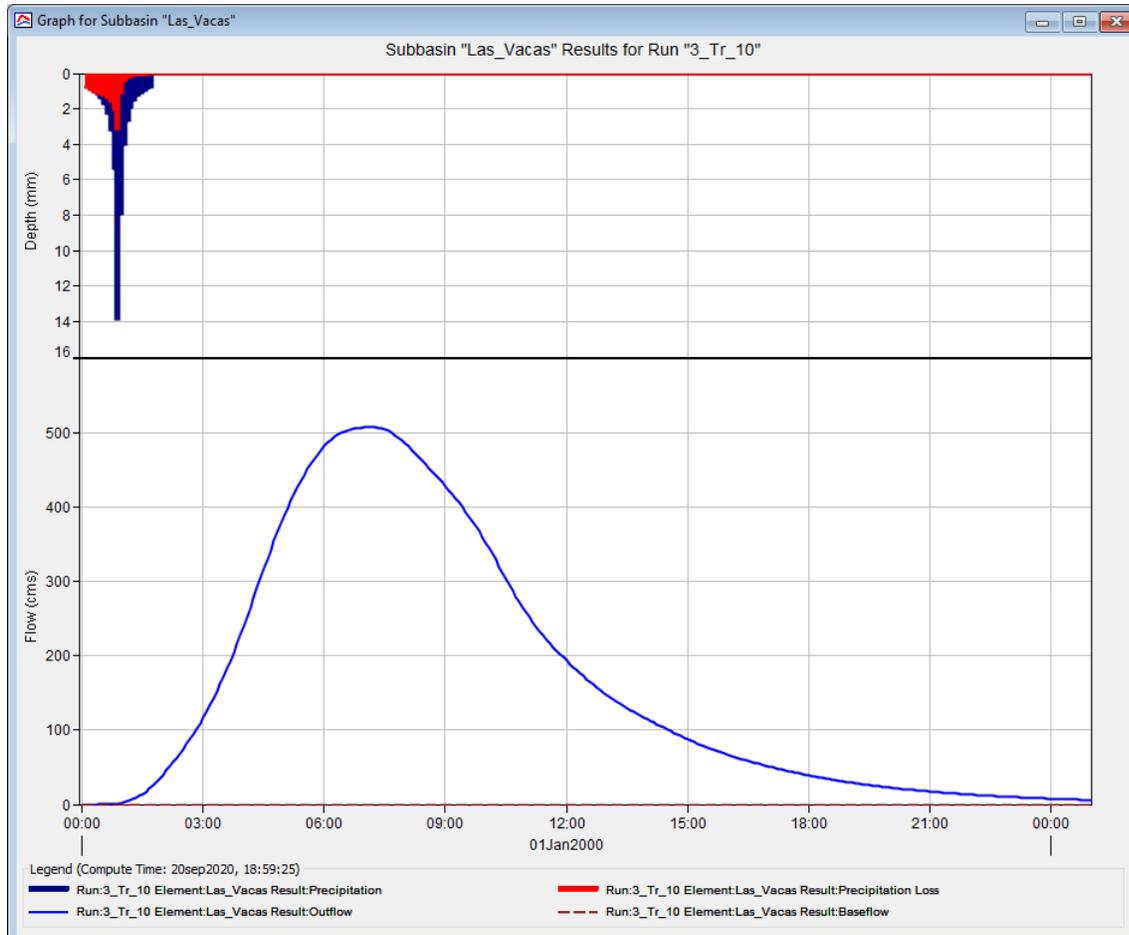
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 38. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 5 años**



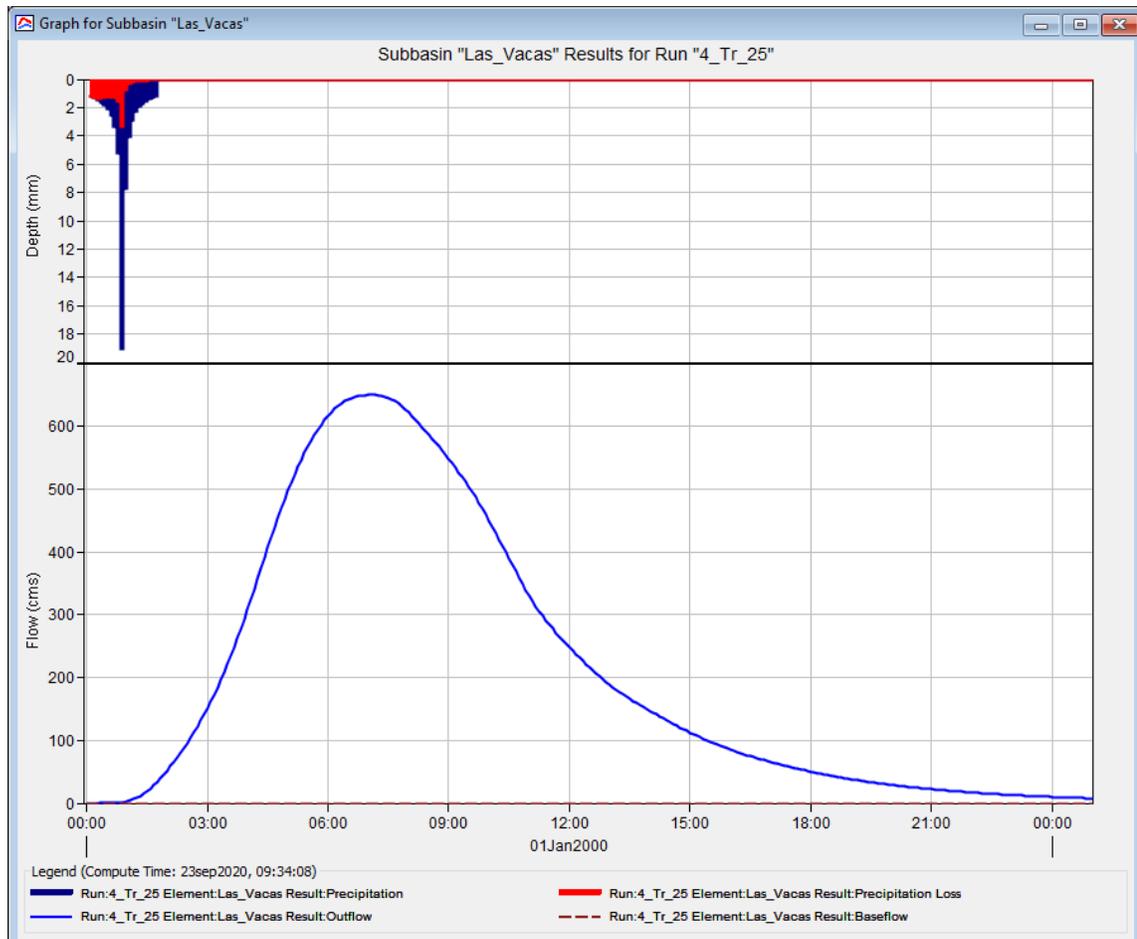
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 39. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 10 años**



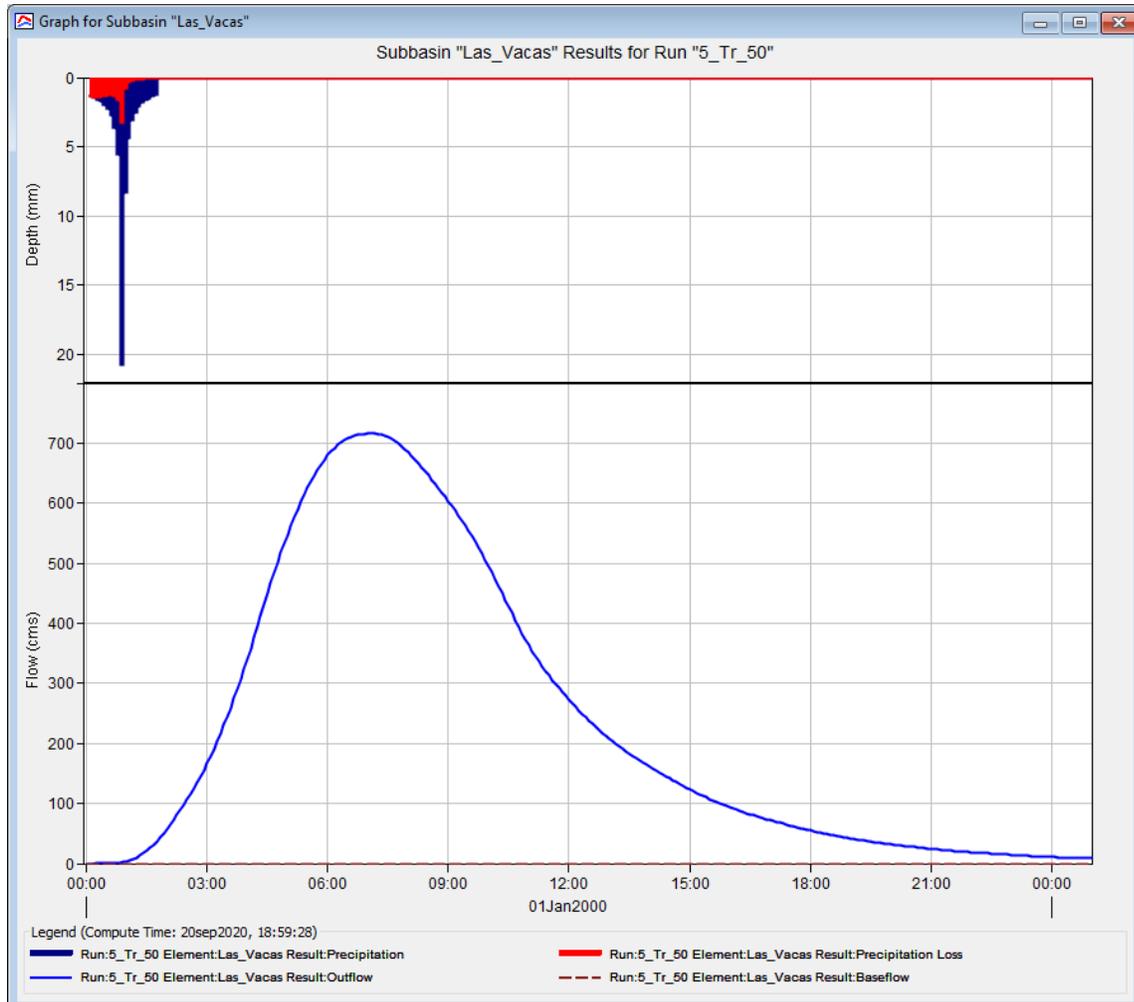
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 40. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 25 años**



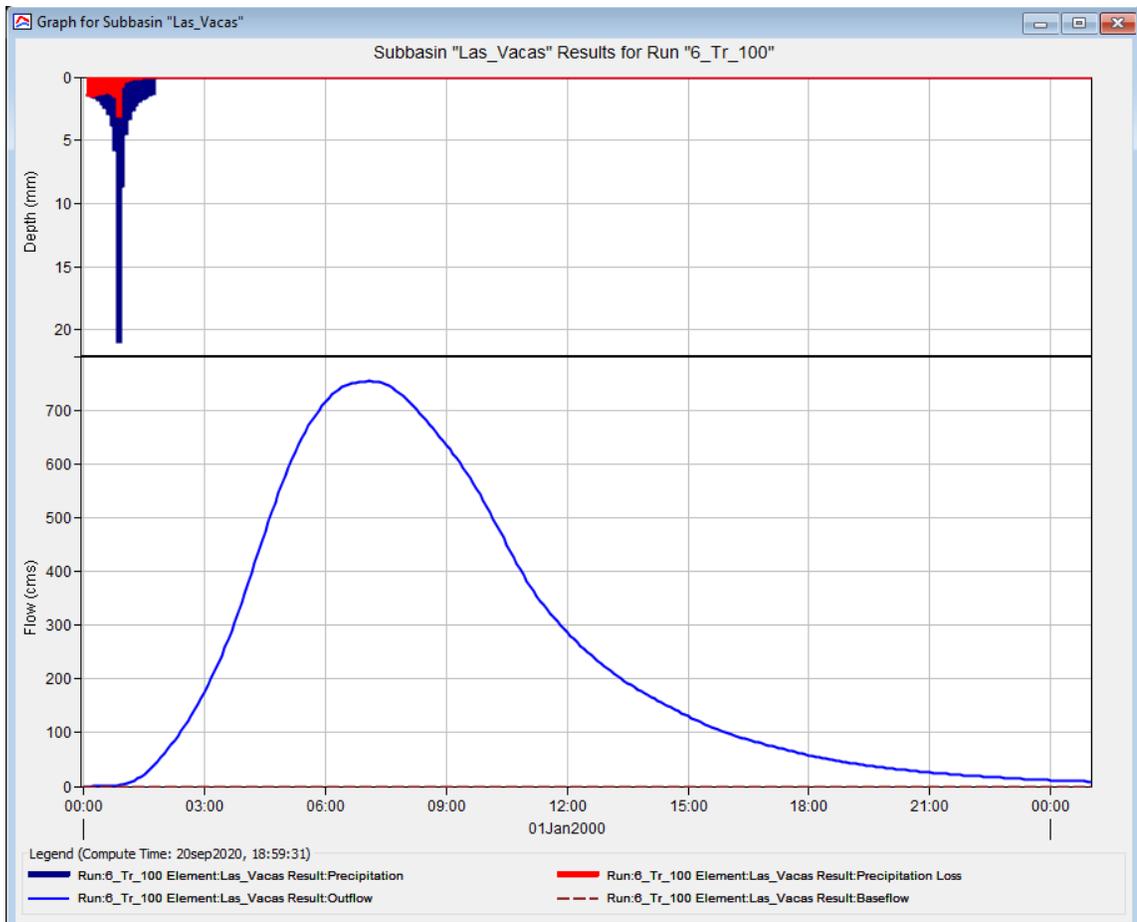
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 41. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 50 años**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

Figura 42. **Abstracciones (mm), precipitación (mm) e hidrograma (m³/s/hora) de la lluvia para un período de retorno de 100 años**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-HMS 2020.

4. MODELO HIDRÁULICO

Para realizar la simulación de un tramo del río que tributa dentro de la cuenca río Las Vacas, se reunirán una serie de datos a continuación para poderlos ingresar posteriormente al software HEC-RAS, en el cual se evaluará el comportamiento del tramo para diferentes períodos de retorno. Para este fin se utiliza los siguientes datos hidráulicos.

4.1. Caudales de diseño

Son los caudales máximos generados al simular en HEC-HMS las lluvias de diferentes períodos de retorno en el área de la cuenca, para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente, estos se presentan a continuación.

Tabla XVII. **Caudales de diseño para diferentes períodos de retorno**

No,	Período de retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
1	2	261,1
2	5	402,7
3	10	507,2
4	25	650,0
5	50	715,8
6	100	753,7

Fuente: elaboración propia, con base en datos obtenidos de HEC-HMS 2020.

4.2. Topografía

Resultado de la visita técnica y mediciones en el tramo seleccionado en la colonia Santa Luisa, municipio de Chinautla, Guatemala. Este tramo se encuentra

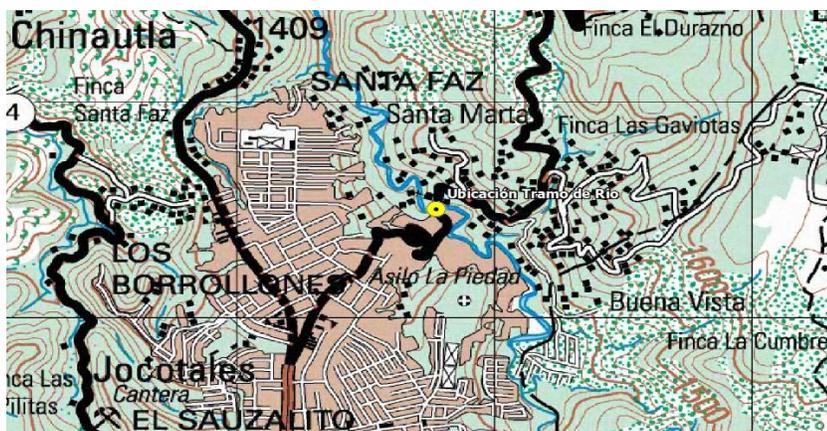
en las coordenadas Latitud 14.691249° y Longitud - 90.483527° y se puede observar el punto de análisis en la siguiente figura.

Figura 43. **Visita y mediciones topográficas en tramo del río en Colonia Santa Luisa**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Luisa.

Figura 44. **Ubicación del tramo de río en hoja cartográfica**



Fuente: elaboración propia, empleado QGis 2020.

Figura 45. **Fotografía aérea del tramo del río analizado, Colonia Santa Luisa**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2019.

4.2.1. Río Principal

El tramo del río Principal cuenta con la construcción de un puente (Puente Santa Marta), que forma parte de la dinámica hidráulica del caudal en su recorrido porque en este existe sedimentación de basura y suelo.

Figura 46. **Talud del puente Santa Marta en donde se sedimentan basura y suelo**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta.

Figura 47. **Vista de sección transversal del río**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta.

4.2.2. Bancas

Las bancas son las áreas laterales en donde el nivel del agua crece en época lluviosa sin afectar en gran medida por efectos de abrasión o erosión en la superficie. A continuación, se observa en las figuras que de un lado del río la banca es de concreto y del otro lado es de piedra.

Figura 48. **Vista agua abajo del río y del puente Santa Marta**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta.

Figura 49. **Vista agua arriba del río y del puente Santa Marta**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta, llanura de inundación.

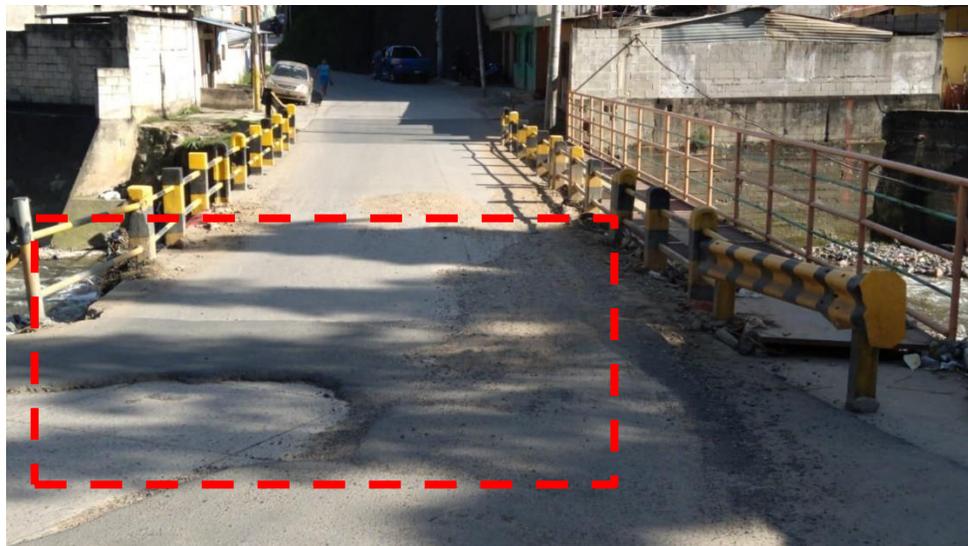
En la presente figura se puede observar el curso del río y la erosión en un talud (señalado en rojo), lo cual muestra la altura y riesgo que representa la crecida del río, y a su vez ejemplifica la altura hasta donde el río puede inundar las casas, el Puente Santa Marta y sus alrededores.

Figura 50. **Situación del río Las Vacas en tramo**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta.

Figura 51. **Señas de inundación en puente Santa Marta**



Fuente: elaboración propia, puente Santa Marta.

4.3. Parámetros de sección

Partiendo de la topografía del terreno se trazaron secciones a lo largo de la línea central del cauce de tal forma que fueran representativas del flujo natural. Estas secciones se exportan al software HEC-RAS por medio del cual se realizó la modelación hidráulica. Para la modelación hidráulica también se introdujeron los parámetros relacionados con la rugosidad del cauce.

4.4. Parámetros hidráulicos

Posterior a la modelación hidrológica en la cual se obtuvieron los valores de caudales para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, se procede a modelar para obtener las alturas o niveles que alcanzarían en el cauce.

El criterio básico fue la utilización de la fórmula de Manning para el análisis de flujo en canales abiertos.

$$Q = A \left(\frac{1}{n} \right) R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

En donde

Q = caudal en m³/seg

A = Área de la sección del canal en m²

n = coeficiente de rugosidad del canal

R = Radio hidráulico de la sección del canal

S = Pendiente

Para el lecho del río se considera un n de 0,040 por tener arena y grava, para las bancas se usará 0,035 para la parte de piedra y canto rodado y 0,014 para la parte de concreto.

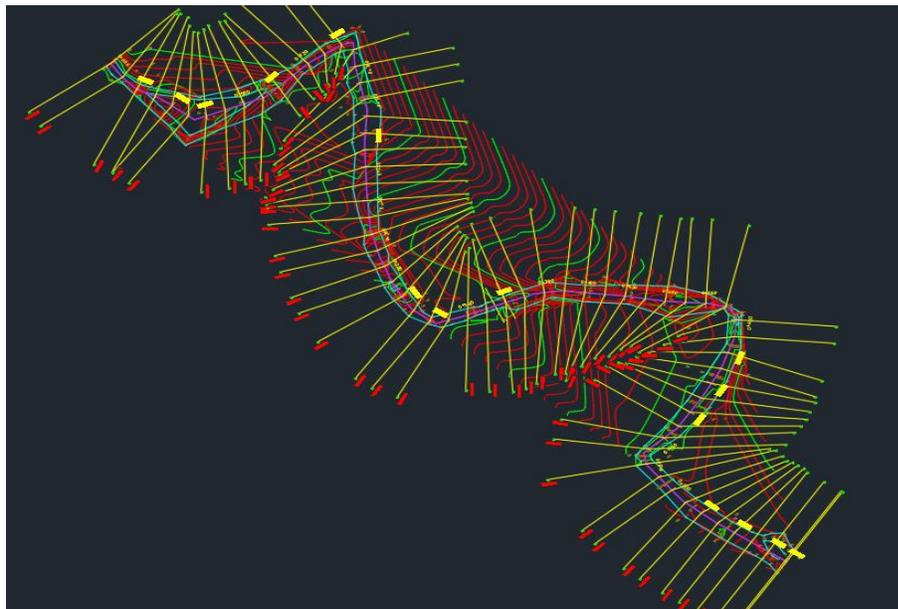
5. SIMULACIÓN

A continuación, se realiza el traslado de datos obtenidos en campo, representado en AutoCAD, para trasladarlos finalmente para su simulación de caudales en el software de Hec-Ras.

5.1. Definir simulación

Se realiza la creación de una superficie del tramo analizado, la alineación del recorrido del río, y las secciones para definir la banca en los tramos del río.

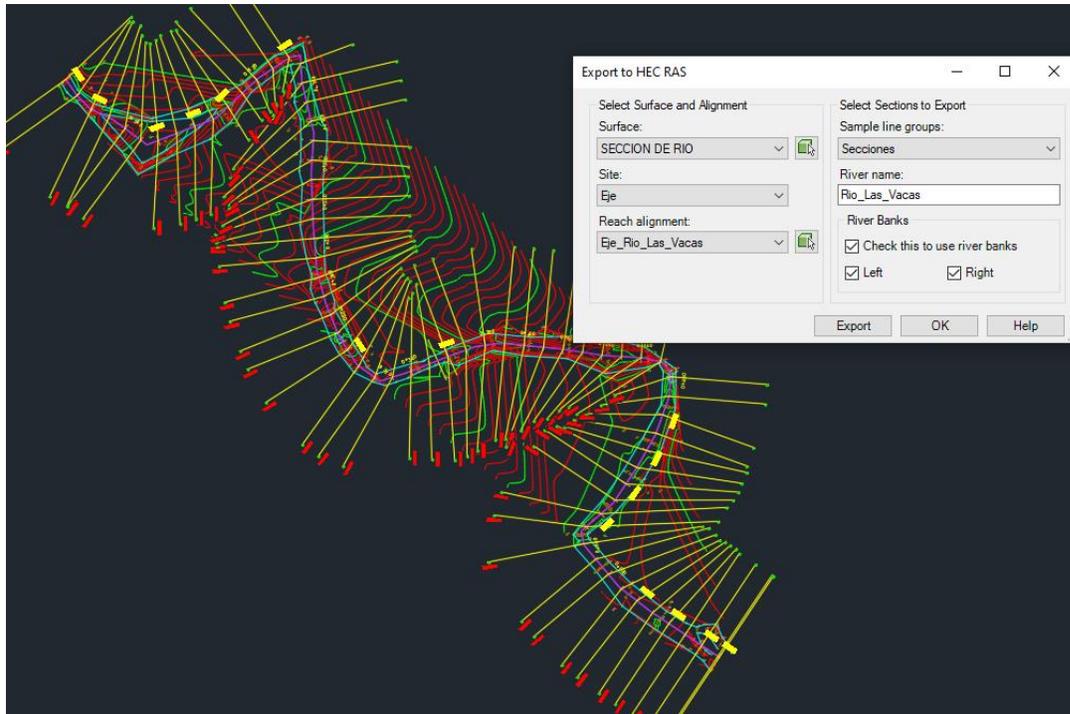
Figura 52. **Creación de superficie, lineamiento y secciones del tramo del río analizado**



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y AutoCAD 2018.

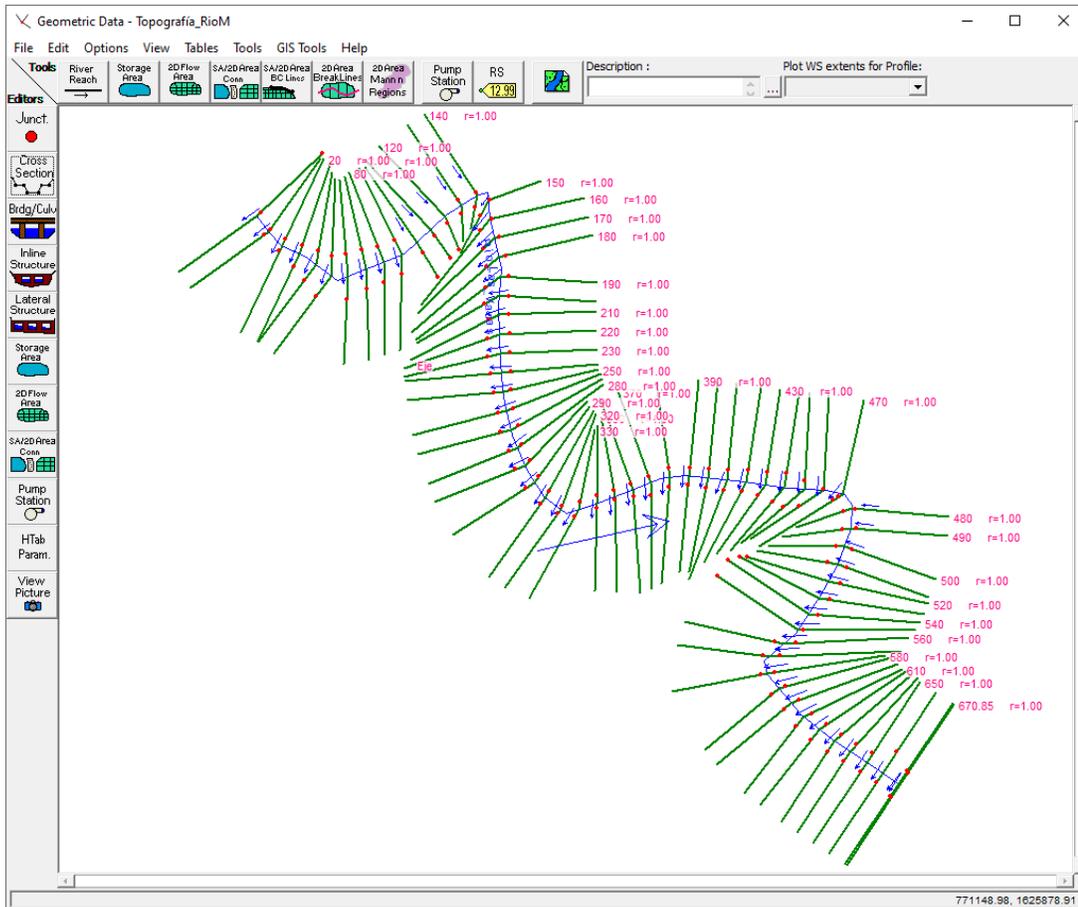
Luego de esto se procede a exportarlo a Hec-Ras

Figura 53. **Exportación de los datos del tramo de río de AutoCAD a Hec-Ras**



Fuente: elaboración propia empleando topografía de campo y AutoCAD 2018.

Figura 54. Resultado de exportar los tramos en río a Hec-Ras



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Se agregan el coeficiente de Manning según lo analizado para cada tramo.

Figura 55. Asignación del coeficiente de Manning para cada tramo

Edit Manning's n or k Values

River: **Rio Las Vacas** Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: **Eje** All Regions

Selected Area Edit Options:

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	670.85	n	0.04	0.035	0.014
2	670	n	0.04	0.035	0.014
3	660	n	0.04	0.035	0.014
4	650	n	0.04	0.035	0.014
5	640	n	0.04	0.035	0.014
6	630	n	0.04	0.035	0.014
7	620	n	0.04	0.035	0.014
8	610	n	0.04	0.035	0.014
9	600	n	0.04	0.035	0.014
10	590	n	0.04	0.035	0.014
11	580	n	0.04	0.035	0.014
12	570	n	0.04	0.035	0.014
13	560	n	0.04	0.035	0.014
14	550	n	0.04	0.035	0.014
15	540	n	0.04	0.035	0.014
16	530	n	0.04	0.035	0.014
17	520	n	0.04	0.035	0.014
18	510	n	0.04	0.035	0.014
19	500	n	0.04	0.035	0.014
20	490	n	0.04	0.035	0.014
21	480	n	0.04	0.035	0.014
22	470	n	0.04	0.035	0.014
23	460	n	0.04	0.035	0.014
24	450	n	0.04	0.035	0.014
25	440	n	0.04	0.035	0.014
26	430	n	0.04	0.035	0.014
27	420	n	0.04	0.035	0.014
28	410	n	0.04	0.035	0.014
29	400	n	0.04	0.035	0.014
30	390	n	0.04	0.035	0.014
31	380	n	0.04	0.035	0.014
32	370	n	0.04	0.035	0.014
33	360	n	0.04	0.035	0.014
34	350	n	0.04	0.035	0.014
35	340	n	0.04	0.035	0.014
36	330	n	0.04	0.035	0.014
37	320	n	0.014	0.035	0.014
38	310	n	0.014	0.035	0.014
39	300	n	0.014	0.035	0.014
40	290	n	0.014	0.035	0.014
41	280	n	0.014	0.035	0.014
42	270	n	0.014	0.035	0.014
43	260	n	0.014	0.035	0.014
44	250	n	0.014	0.035	0.014
45	240	n	0.014	0.035	0.014
46	230	n	0.014	0.035	0.014
47	220	n	0.014	0.035	0.014
48	210	n	0.014	0.035	0.014
49	200	n	0.014	0.035	0.014
50	190	n	0.014	0.035	0.014
51	180	n	0.014	0.035	0.014
52	170	n	0.014	0.035	0.014
53	160	n	0.014	0.035	0.014
54	150	n	0.014	0.035	0.014

OK Cancel Help

Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

La pendiente media del tramo del río analizado es de 0,056. Este dato se agrega en el apartado para caudales de cada período de retorno en Hec-Ras.

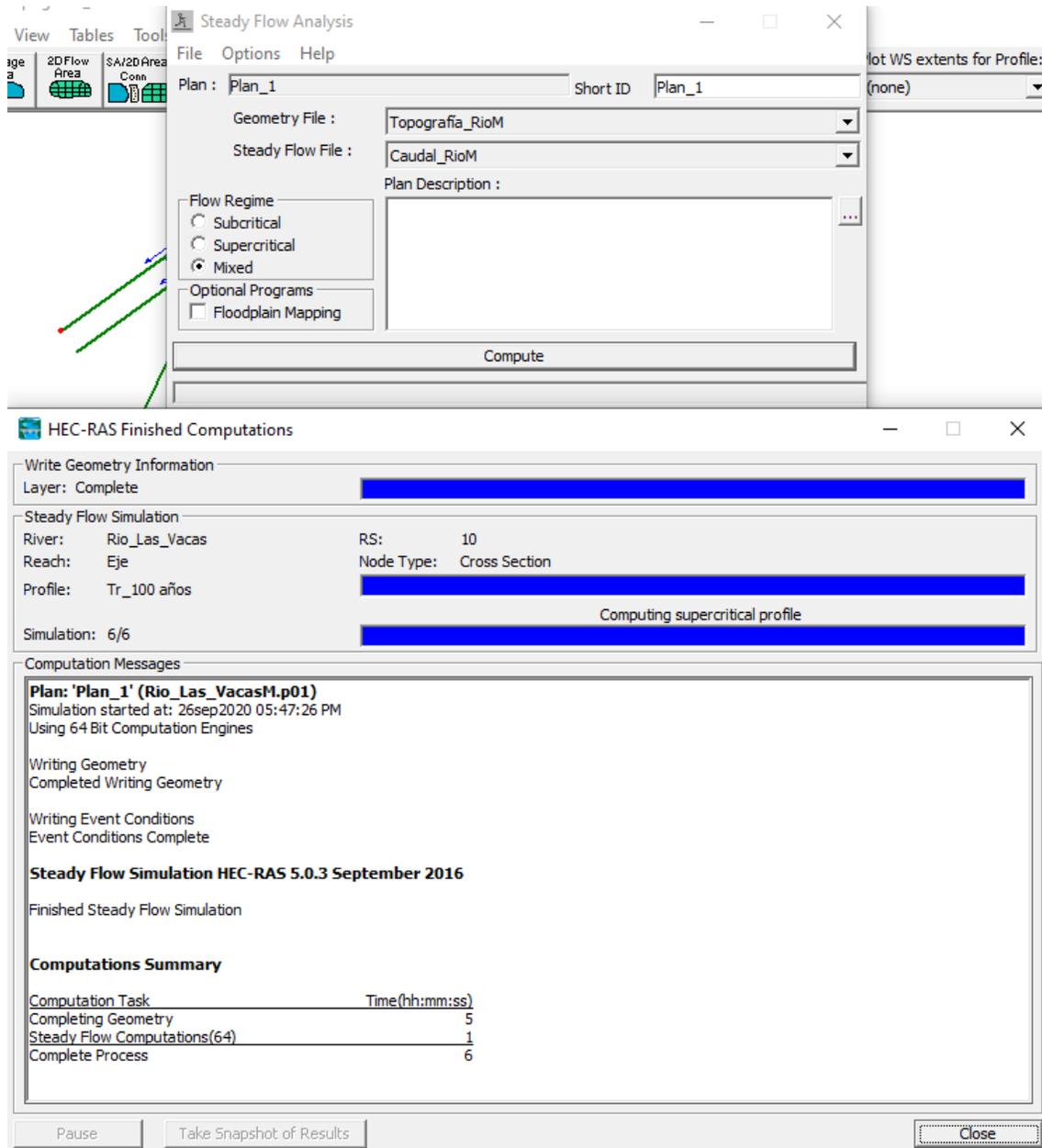
Figura 56. Caudales para cada período de retorno

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates					
River	Reach	RS	Tr_2 años	Tr_5 años	Tr_10 años	Tr_25 años	Tr_50 años	Tr_100 años
1 Rio_Las_Vacas	Eje	670.85	261.1	402.7	507.2	650.0	715.8	753.7

Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

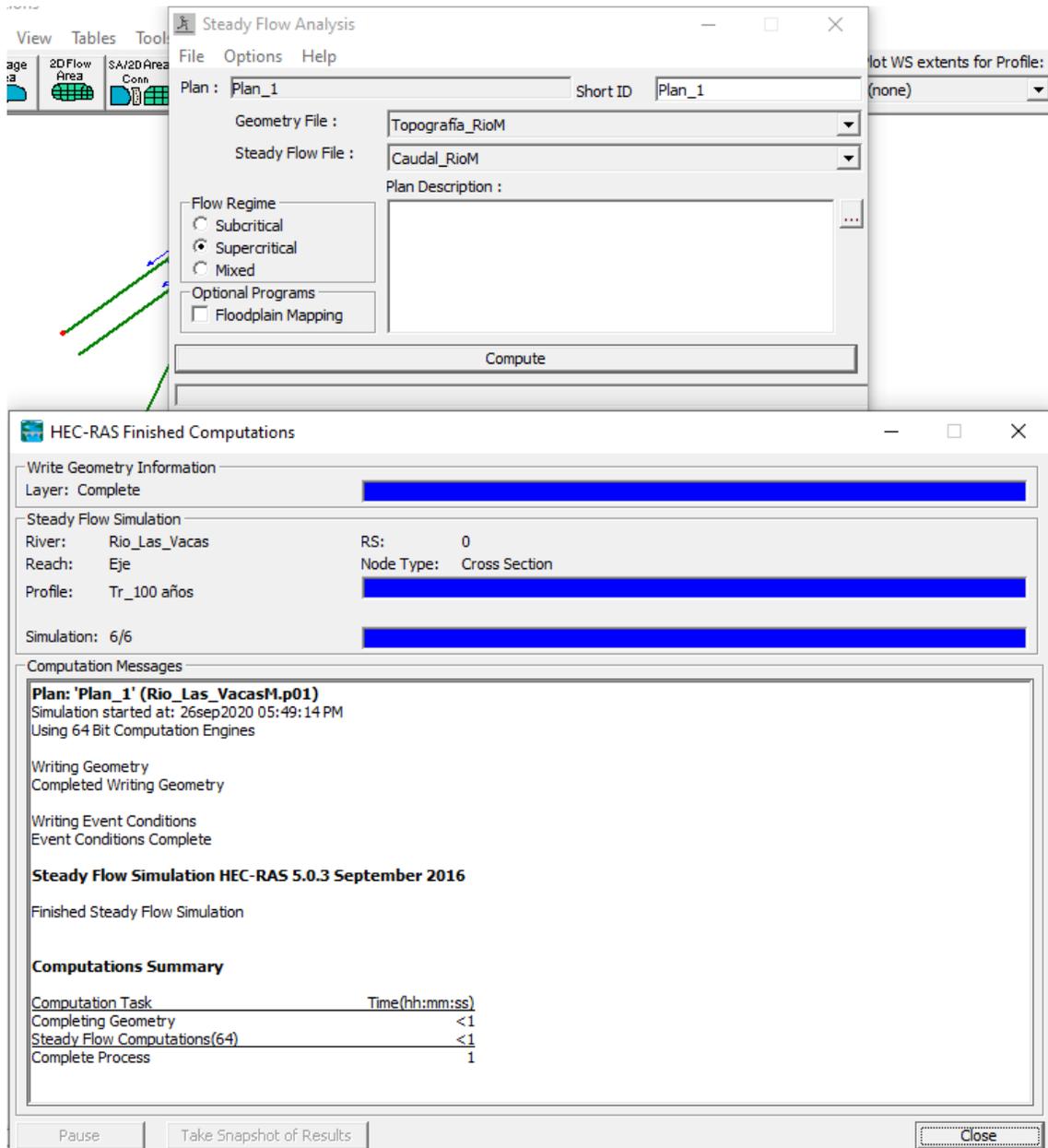
Se procede a realizar la simulación para el flujo crítico y supercrítico:

Figura 57. Simulación del río para flujo crítico



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 58. Simulación del río para flujo supercrítico



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

El régimen de flujo está definido por la combinación del efecto de gravedad y del efecto de viscosidad. Existen tres regímenes de flujo en los canales abiertos.

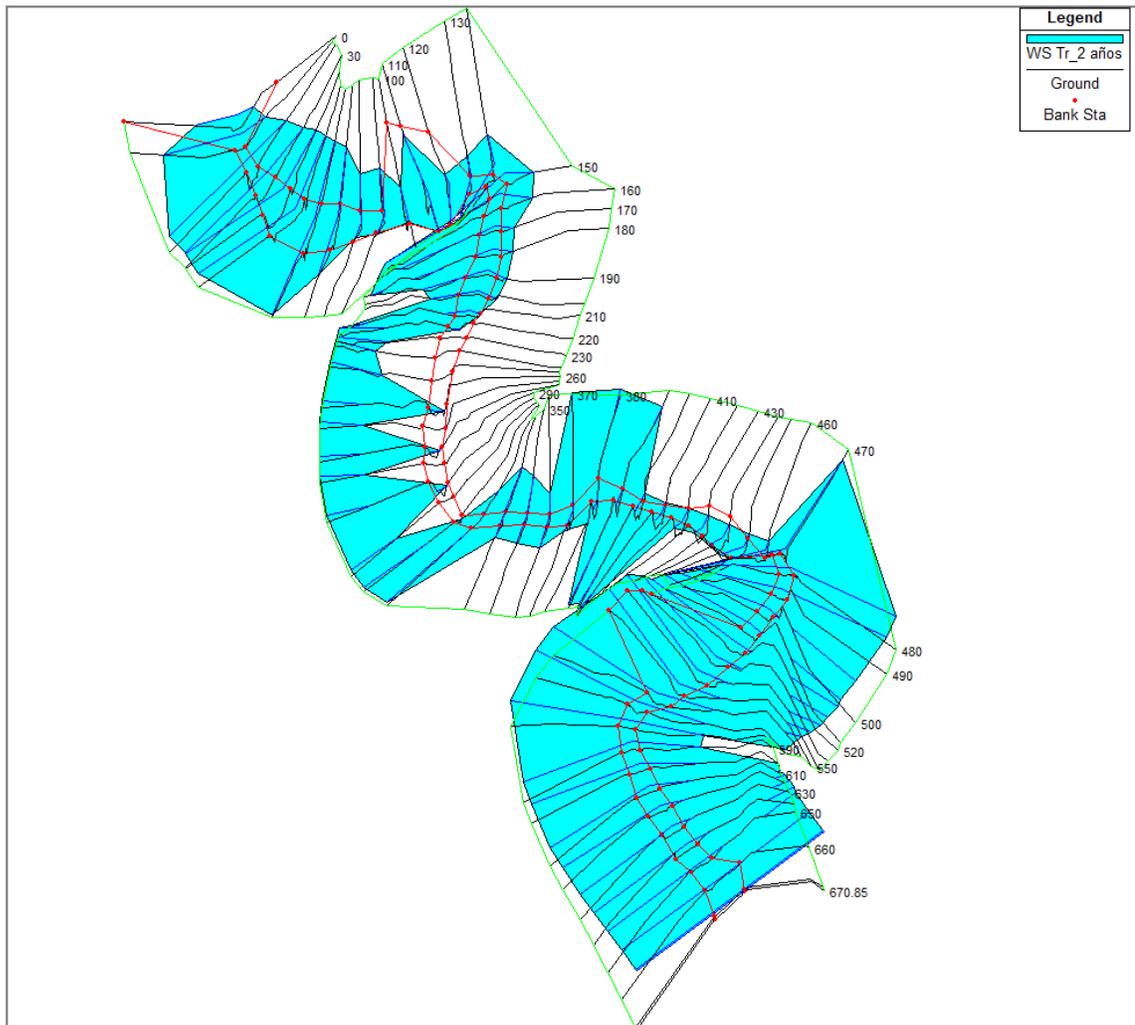
Estas son:

- Flujo crítico: este tipo de flujo presenta una combinación de fuerzas inerciales y gravitacionales que lo hacen inestable, convirtiéndolo en cierta manera en un estado intermedio y cambiante entre los otros dos tipos de flujo. Debido a esto es bastante inaceptable y poco recomendable, usarlo en el diseño de estructuras hidráulicas.
- Flujo supercrítico: en este tipo de flujo las fuerzas inerciales presentan una influencia mucho mayor que las fuerzas gravitacionales. Además de esto, el flujo se presenta a velocidades y pendientes altas, y a profundidades más pequeñas. Cuando existe un flujo de este tipo en un canal un aumento en la cantidad de energía provoca una disminución de la profundidad de la lámina de agua. Este estado de flujo propicia la formación de resaltos hidráulicos; estos aumentan su capacidad de disipación de energía en ciertos intervalos, alcanzando la mayor capacidad para flujos con Froude mayores a 9.
- Flujo subcrítico: para este régimen de flujo las fuerzas inerciales son sobrepasadas en importancia por las gravitacionales; en el flujo se tienen velocidades y pendientes bajas, pero las profundidades de la lámina del agua, por el contrario, son mayores que las que se presentan en el flujo supercrítico. Para este tipo de flujo un aumento en la energía se traduce en un aumento en la profundidad de la lámina de agua.

5.1.1. Flujo crítico

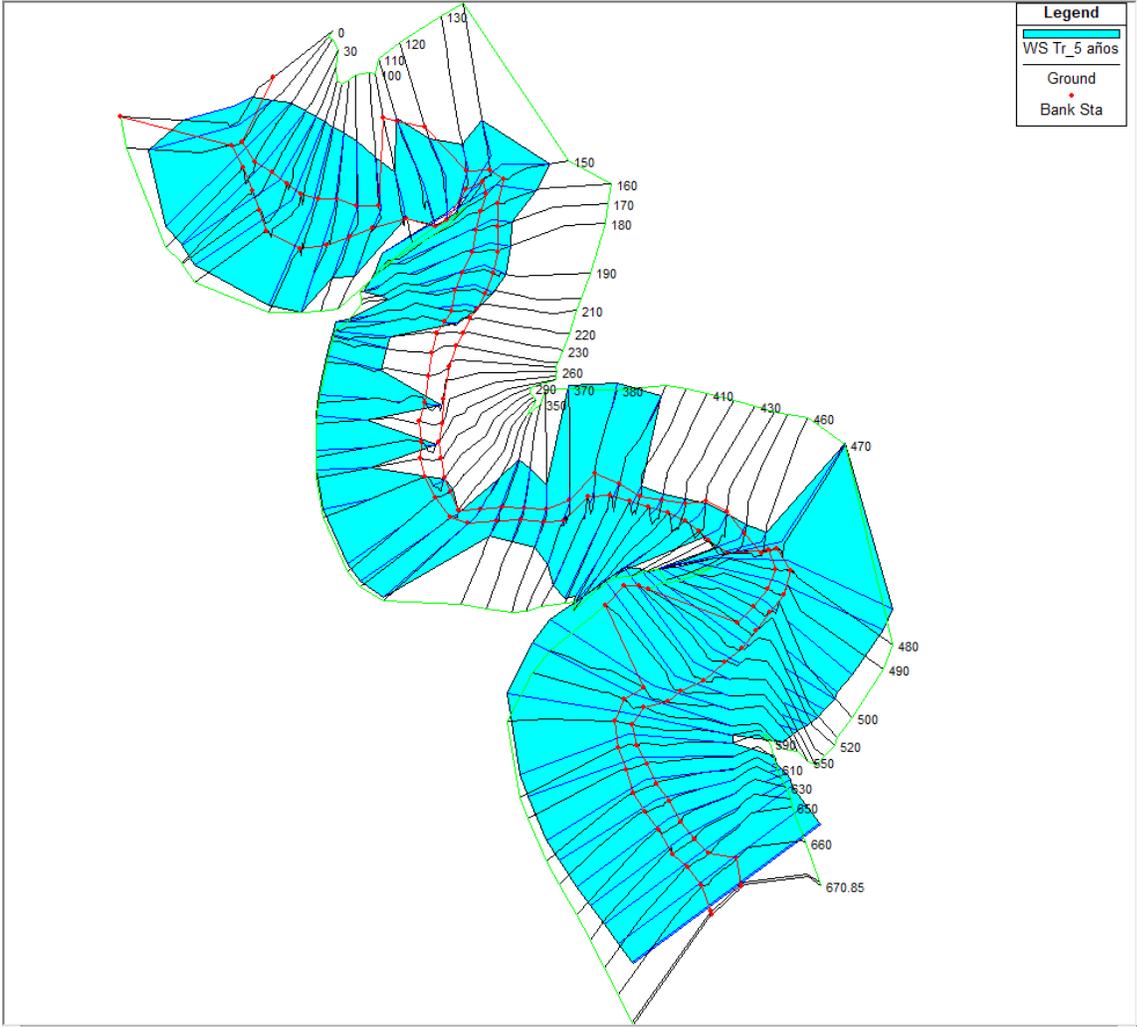
A continuación, se muestra las figuras de las condiciones en las que la simulación presenta las inundaciones y los resultados de los diferentes parámetros para cada período de retorno.

Figura 59. Simulación tramo de río para un período de retorno de 2 años



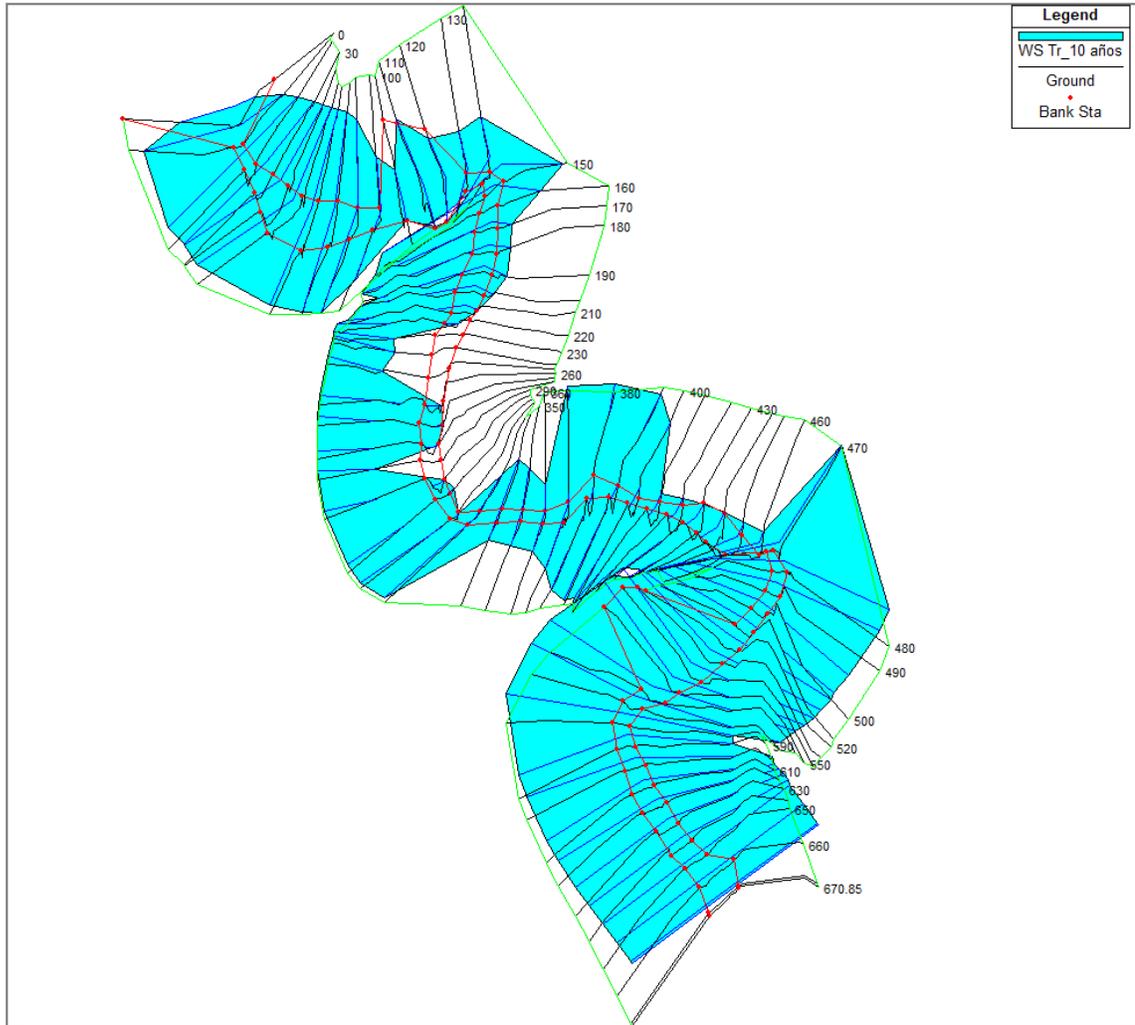
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 60. **Figura: Simulación tramo de río para un período de retorno de 5 años**



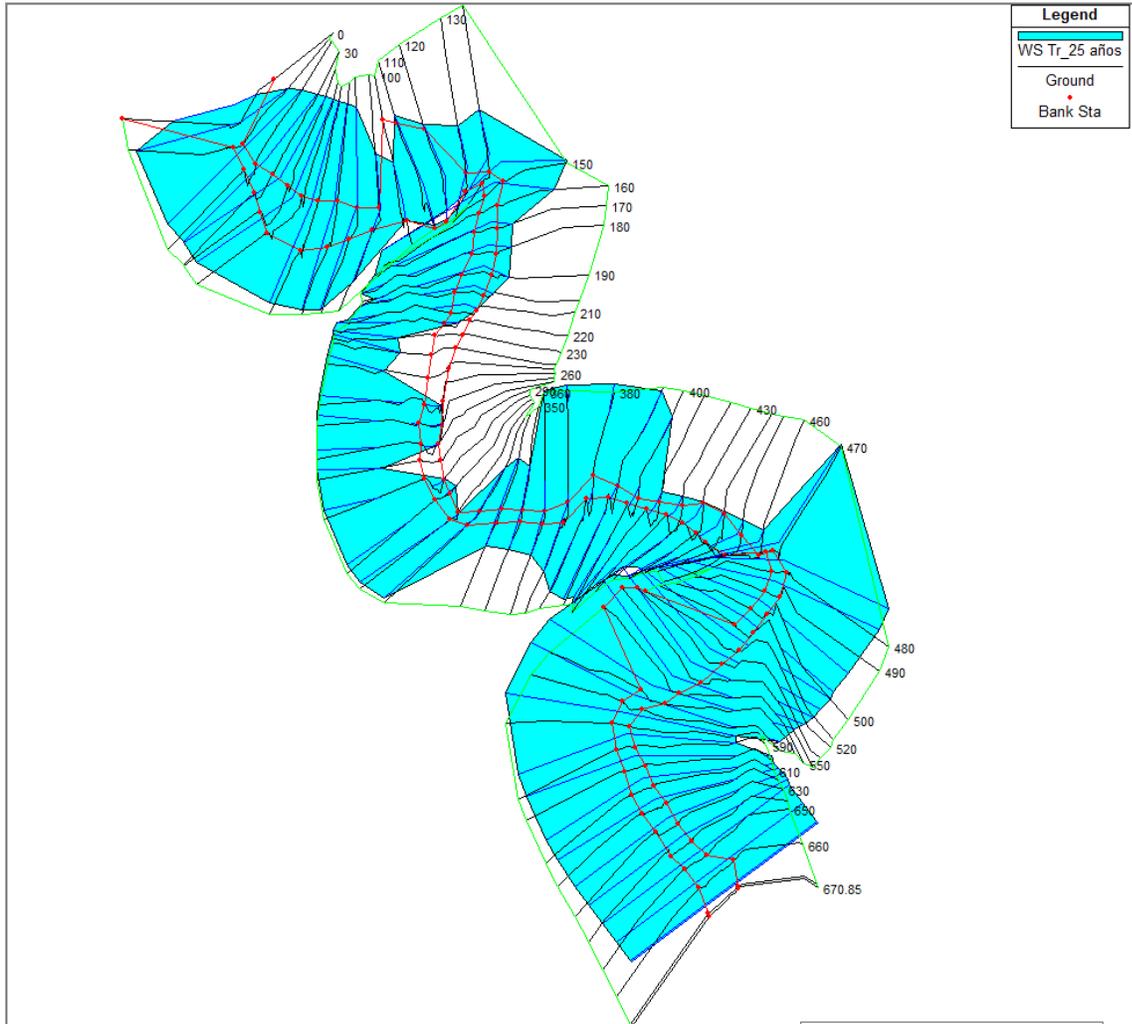
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 61. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 10 años**



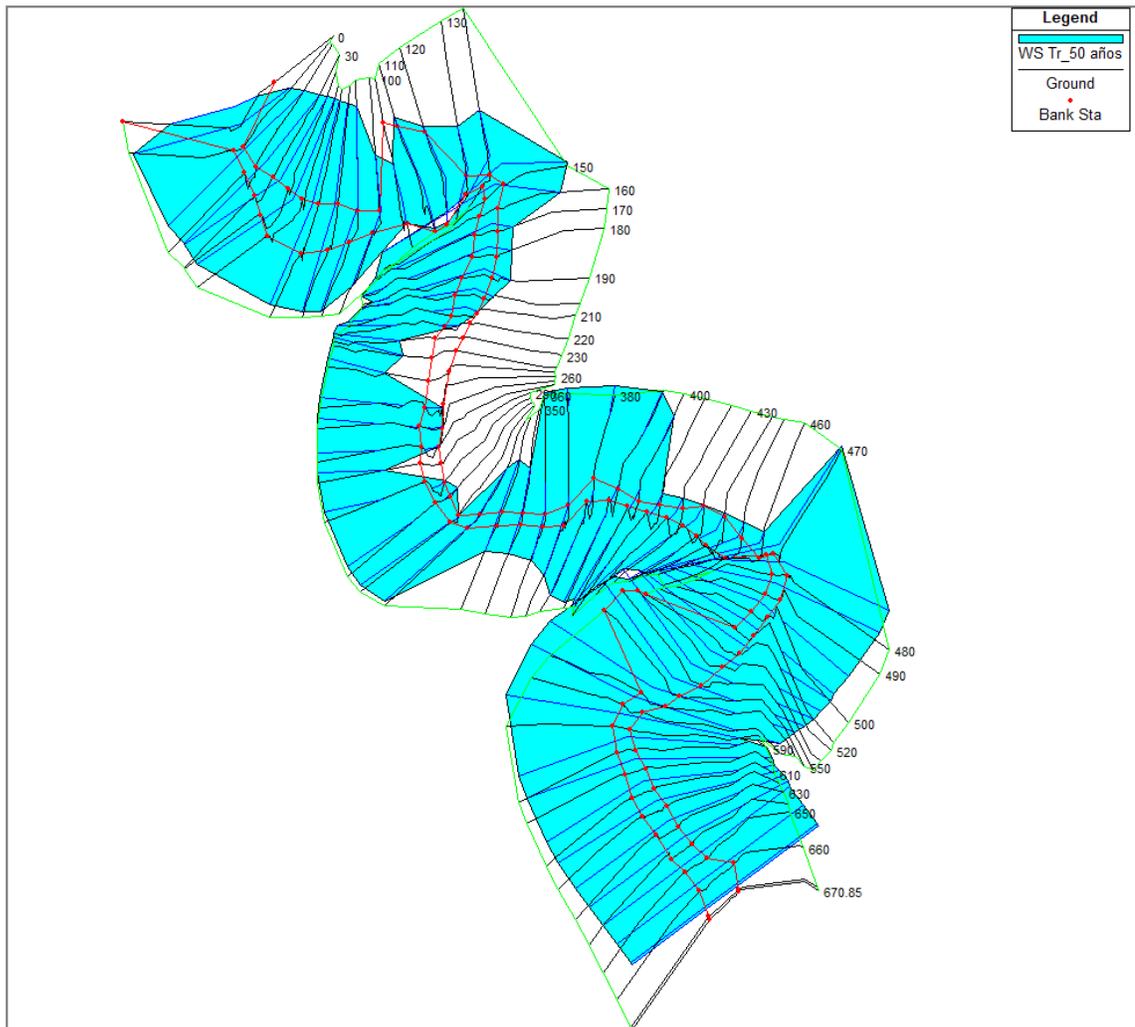
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 62. Simulación tramo de río para un período de retorno de 25 años



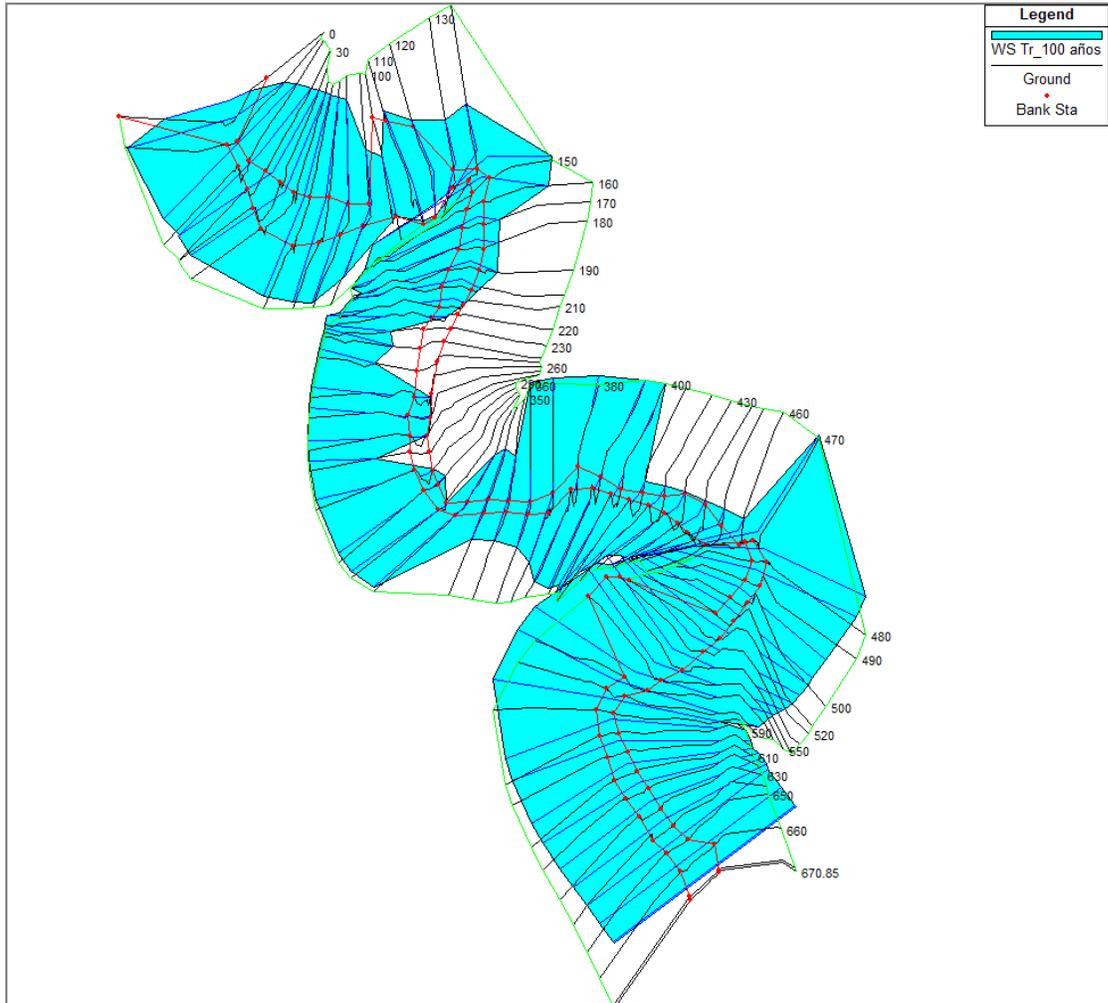
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 63. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 50 años**



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 64. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 100 años**



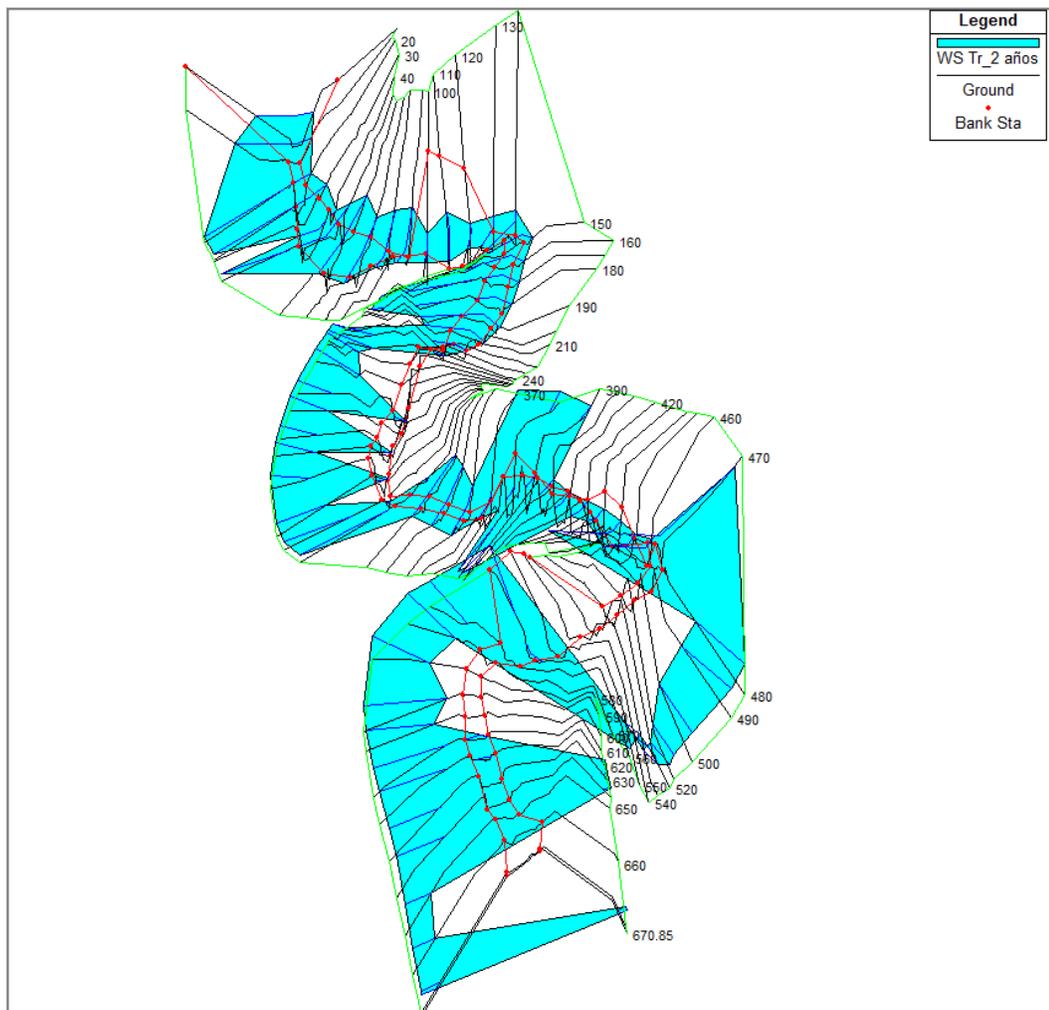
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Como se puede observar en los datos obtenidos, las secciones donde se encuentra una mayor cantidad de número de Froude es en donde se encuentra el puente, por lo que éste es un lugar con mayor cantidad de erosión y peligro para la población, sumado a esto las diferentes áreas de inundación que se encuentran en el tramo analizado para todos los períodos de retorno.

5.1.2. Flujo supercrítico

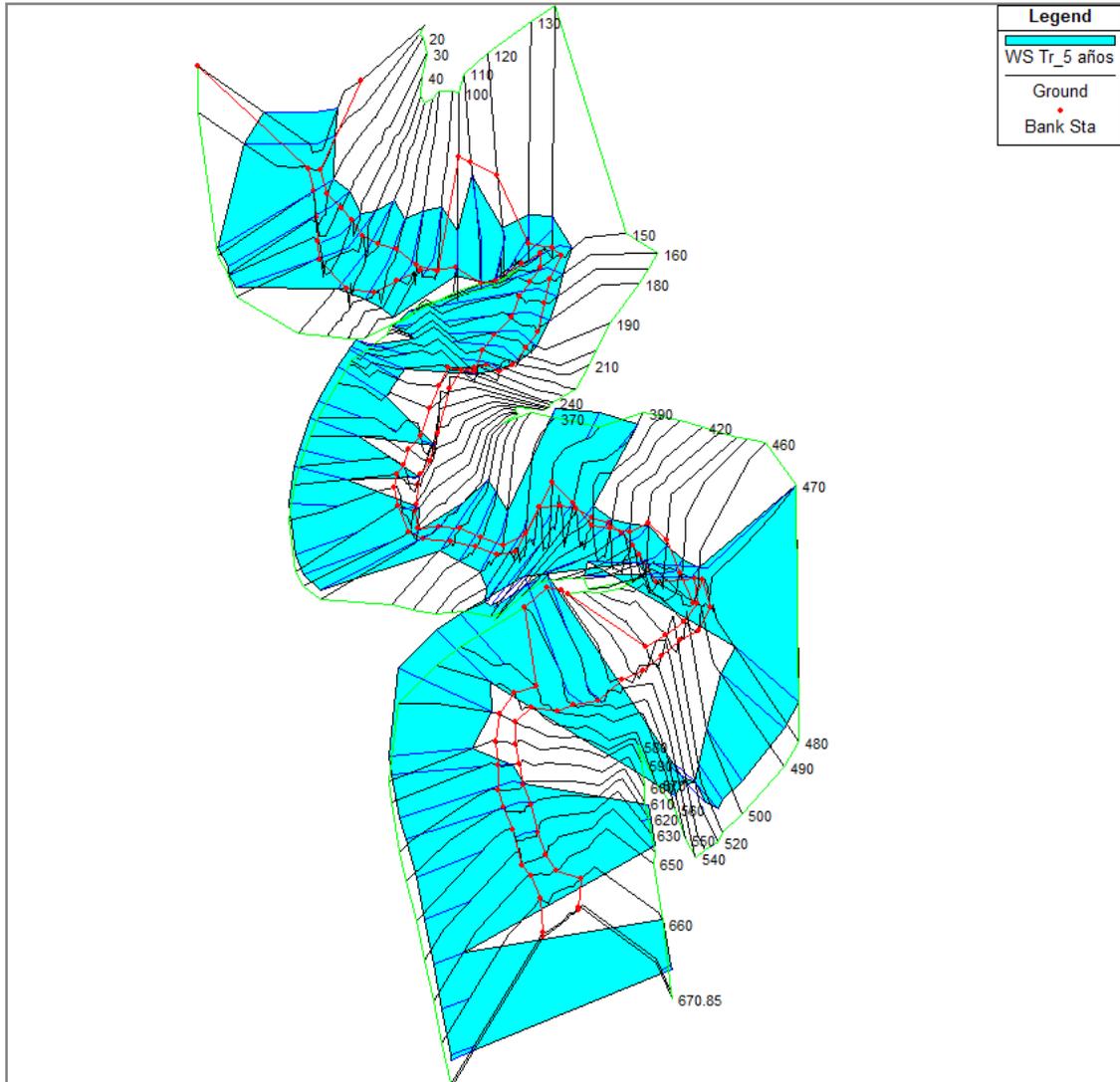
A continuación, se muestran las figuras de las condiciones en las que la simulación presenta las inundaciones y los resultados de los diferentes parámetros para cada período de retorno.

Figura 65. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 2 años**



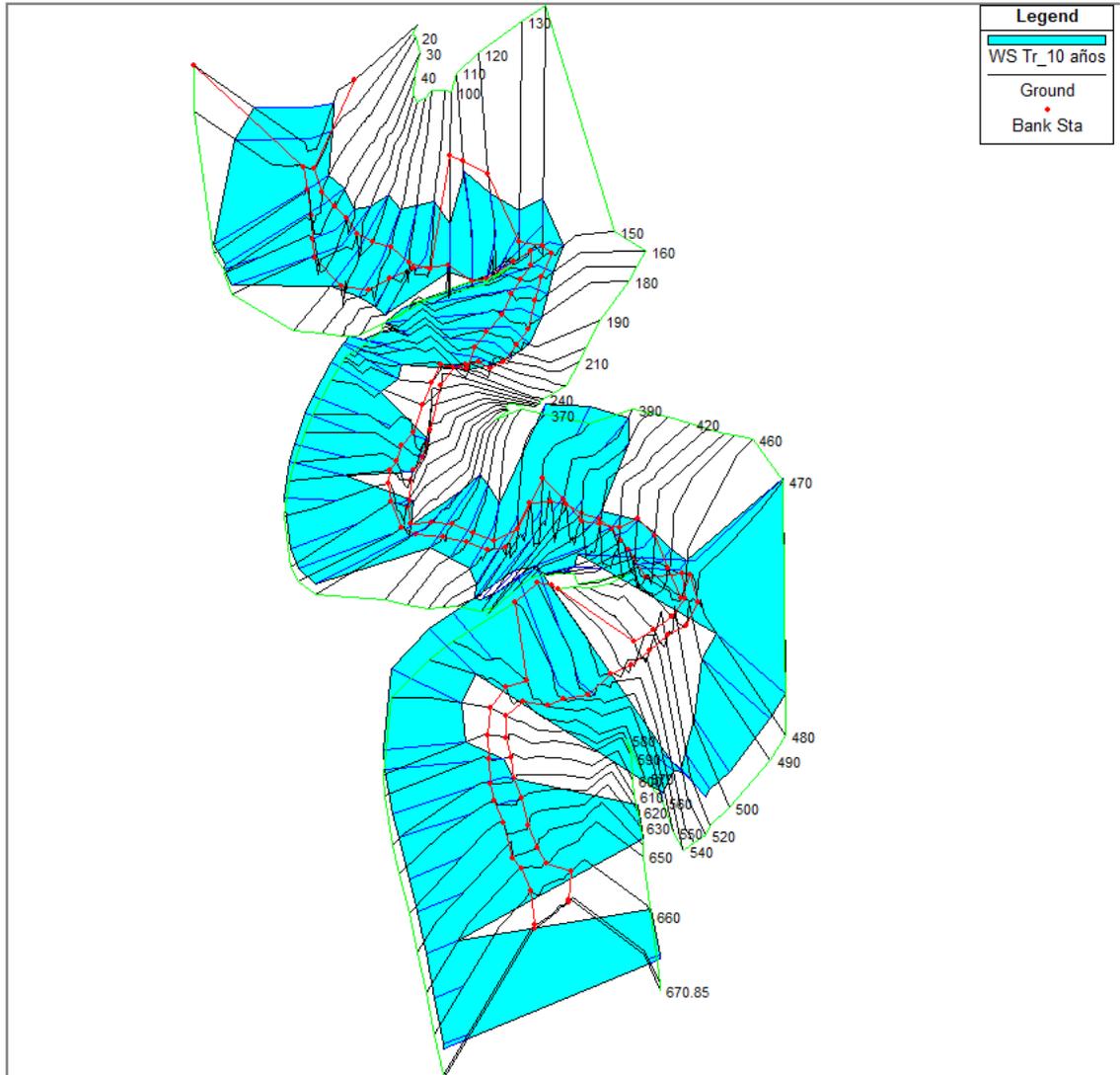
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 66. Simulación tramo de río para un período de retorno de 5 años



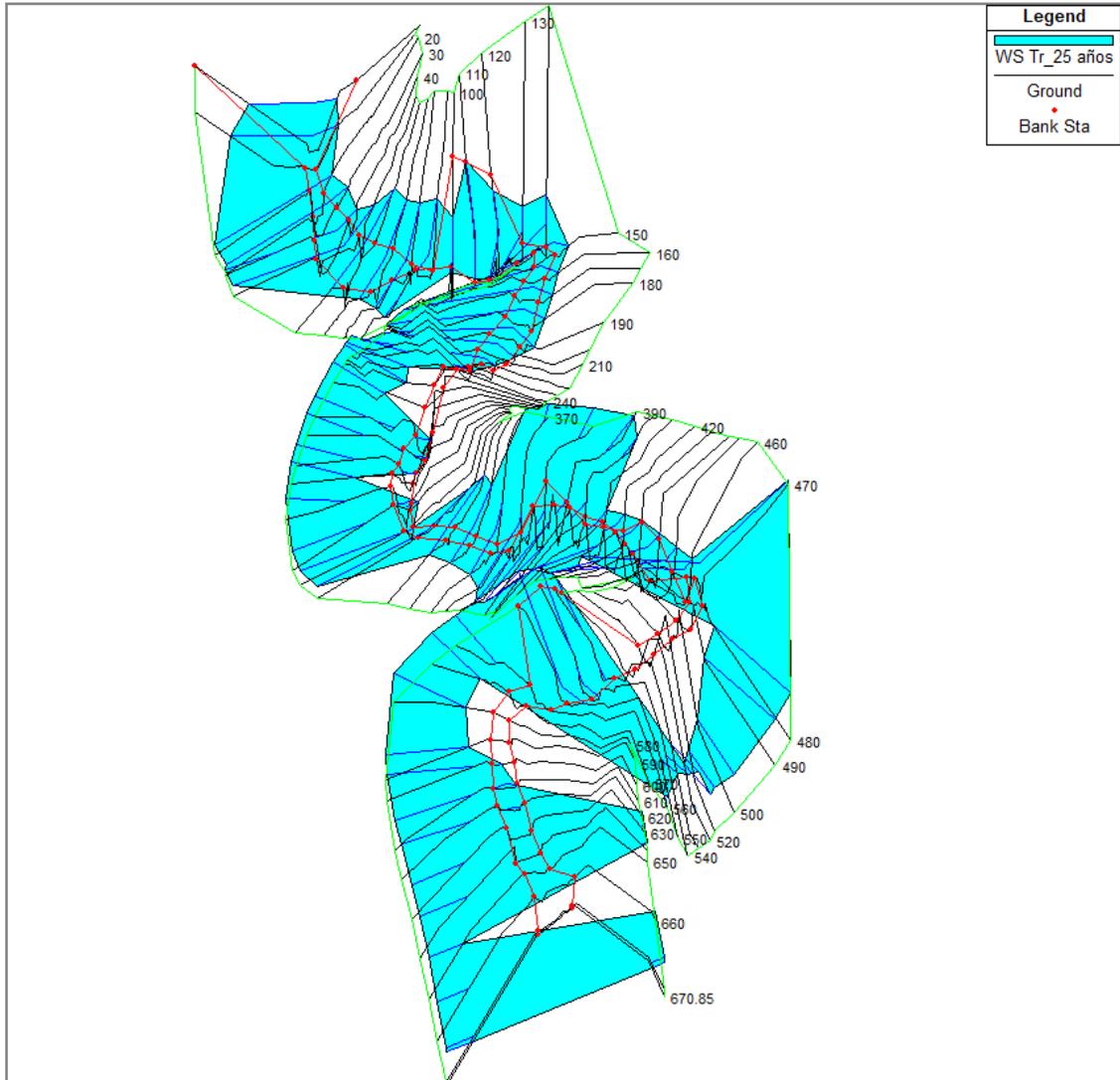
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 67. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 10 años**



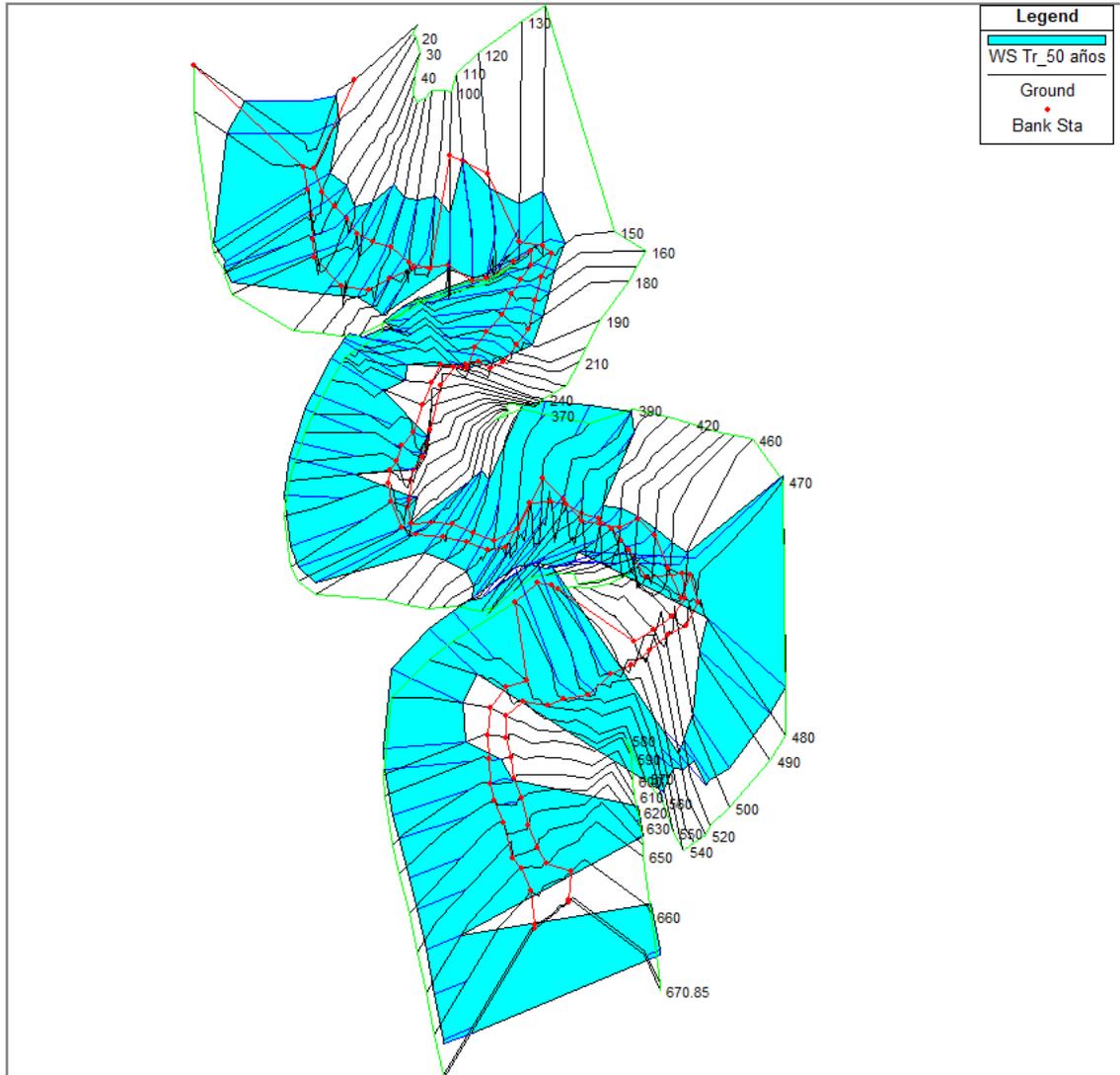
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 68. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 25 años**



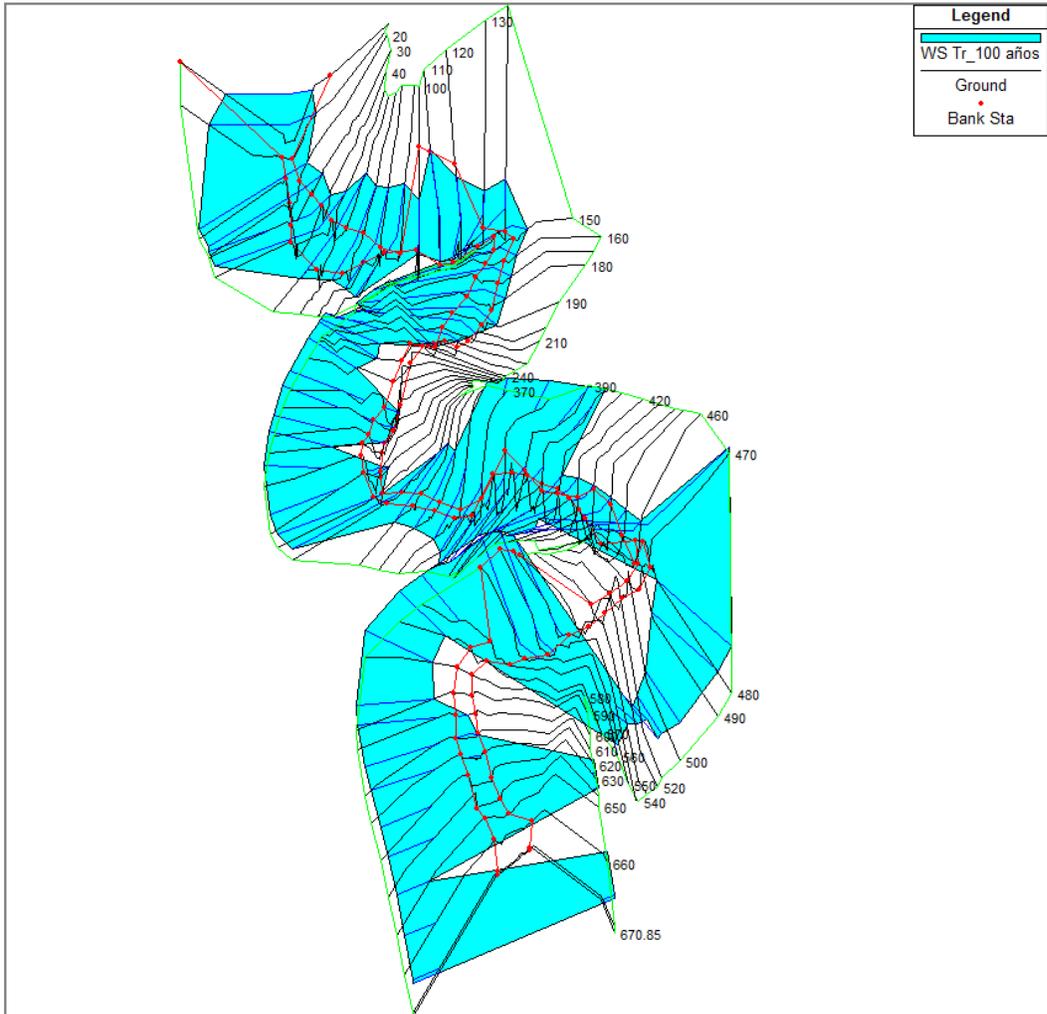
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 69. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 50 años**



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Figura 70. **Simulación tramo de río para un período de retorno de 100 años**



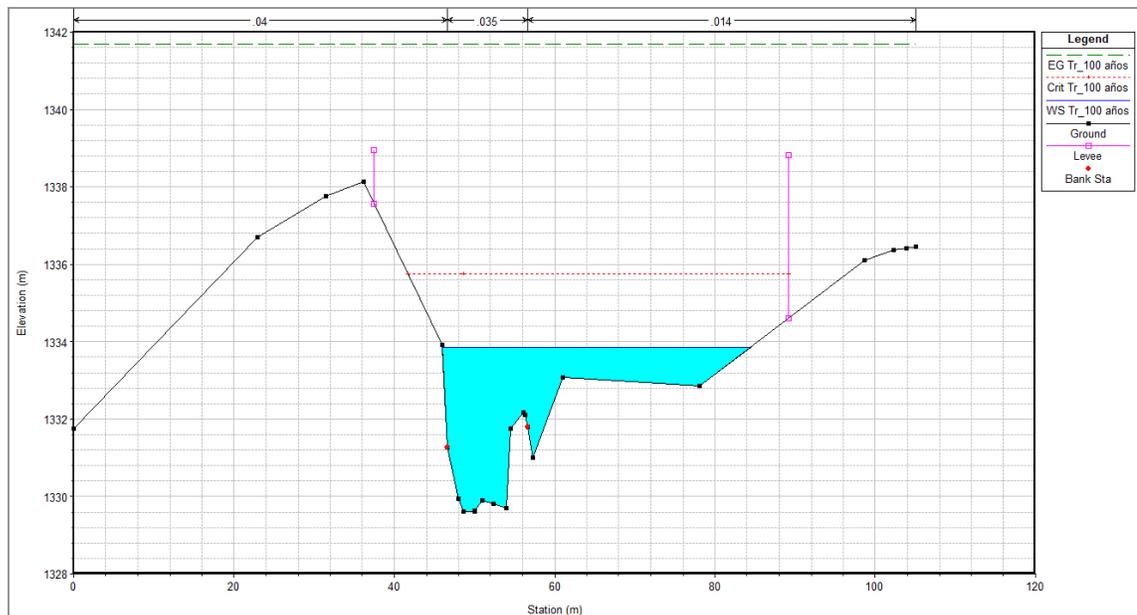
Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Como se puede observar en los datos obtenidos, aumentaron las secciones donde se encuentra una mayor cantidad de número de Froude y a su vez se mantuvieron las áreas de inundación en el río, lo cual muestra un gran riesgo para las comunidades para los diferentes caudales de los períodos de retorno simulados.

5.2. Medidas de protección

Para evitar que el río se desborde e inunde a las áreas donde se encuentran las comunidades, se recomienda realizar la canalización por medio de colocar bordas o muros perimetrales que ayuden a contener el caudal en el recorrido del río y a su vez se recomienda la limpieza la sección del río, eliminando basura y maleza que pueda retener sedimentos y basura, formando una sección rectangular o trapezoidal y dirigiendo al flujo del río a ser uniforme y por lo tanto, pueda ser evacuada con mayor rapidez, y como se ha observado en las figuras anteriores, para evitar esto se muestra a continuación la ubicación de los muros.

Figura 71. Simulación de la colocación de muros a los lados del río

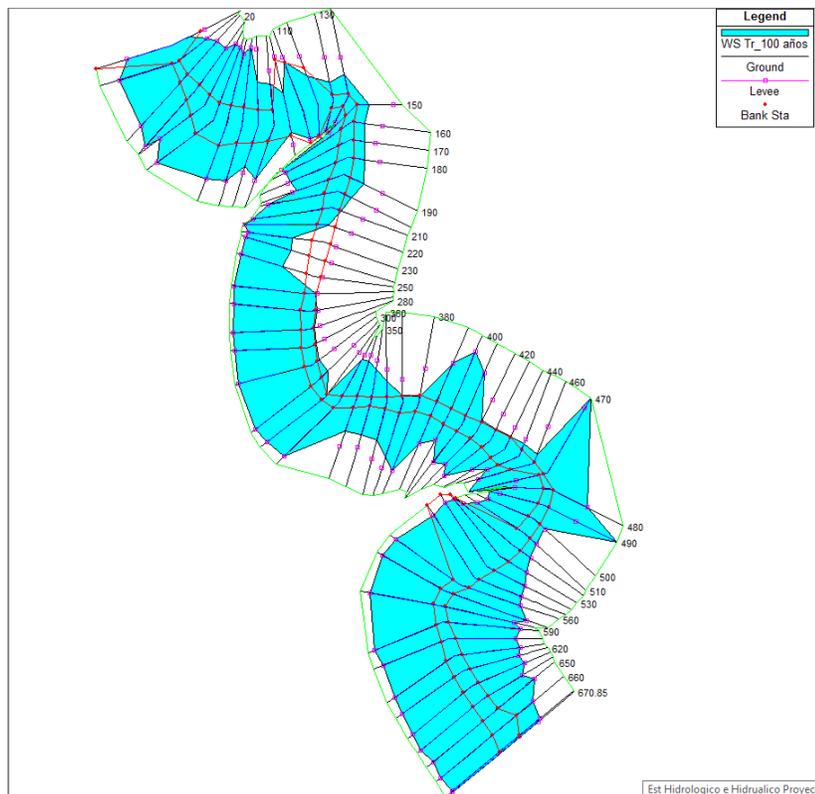


Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

5.3. Simulación con medidas de protección

Tal como se muestra en la anterior figura, se propone un muro a 30 metros del centro del río, con una altura de 6 metros en promedio para poder canalizar toda el agua de un caudal de un período de retorno de 100 años.

Figura 72. Tramo con la protección propuesta



Fuente: elaboración propia, empleando topografía de campo y HEC-RAS 2020.

Luego evaluar la simulación para un período de retorno de 100 años, se pudo observar que aun con los muros existen tramos aguas abajo en donde el flujo se encuentra con altas velocidad y en modo crítico, lo cual puede ser

solucionado al momento de limpiar de sedimentos, maleza y basura las secciones del río.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido al alto riesgo en el que se encuentran las comunidades cercanas al río Las Vacas, en el tramo de la colonia Santa Luisa, municipio de Chinautla, departamento de Guatemala, se propone un medio para reducir los efectos abrasivos y de inundación que a su vez es económico y fiable.

6.1. Propuesta de medida de protección

La propuesta realizada es la construcción de un muro o barda que ayude a canalizar el agua que llega al río, para esto debe estar a 30 metros del centro del cauce, es decir 60 metros entre ellos, y tener una altura promedio de 6 metros, el cual puede ser hecho de concreto o de gaviones con algún aditivo para permeabilizarlo. Agregado a esto se recomienda un mantenimiento continuo del cauce del río, por medio de la limpieza y corte de maleza que pueda servir de reten para más sedimento y basura en el tramo del río. A continuación, se exponen el desarrollo de esta propuesta.

6.1.1. Costos

Para la solución considerada en el tramo analizado se determina los costos aproximados para la construcción de un muro de concreto y protección con gaviones en los taludes, los cuales se muestra a continuación.

Tabla XVIII. Presupuesto por protección, borde en río Las Vacas

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Subtotal (Q)	Total (Q)
1	Colonia Santa Luisa, Zona 6 Guatemala					
1,1	Presupuesto Por Protección					
1,1,1	Muro de concreto con electromalla, lanzado	7 200,00	m ²	280,00	2 016 000,00	2 016 000,00
1,1,2	Protección de borde con gaviones	14 400,00	m ³	507,77	7 311 888,00	7 311 888,00

Fuente: elaboración propia.

6.1.2. Ventajas y desventajas

Realizar muros de concreto con electro malla y colocar el concreto de forma lanzada como cuando se realiza un muro *soil nailing* es de más bajo costo comparado con realizar la protección con Gaviones.

Muros de concreto lanzado

Ventajas:

- Es de más bajo costo
- No requiere mantenimiento
- Proceso constructivo de mayor rapidez

Desventajas:

- No soporta demasiada carga lateral en el sentido opuesto a su inclinación
- No están diseñados como muros de contención

Protección con gaviones:

Ventajas:

- Mayor soporte de carga horizontales
- Funciona como muro de contención
- No garantiza la erosión del suelo por su permeabilidad

Desventajas:

- Mayor costo de ejecución
- Capacidad para soportar cargas laterales
- Funciona como un muro de contención

CONCLUSIONES

1. El área de análisis del río se encuentra en la Colonia Santa Luisa, municipio de Chinautla, a 300 metros río arriba y 300 metros río abajo del puente Santa Marta, el cual fue simulado en Hec-Ras para diferentes períodos de retorno, y se demostró que, en el tramo, existen varias inundaciones que ponen en riesgo a las comunidades cercanas, por lo que se procedió a evaluar unos muros para crear un canal en el que el agua puede mantener su curso.
2. Las características morfométricas y biofísicas analizadas de la cuenca río Las Vacas son: área de 392,76 Km², longitud del cauce principal de 44,83 Km, pendiente media del área de 25,57 % y un tiempo de concentración de 6,04 o 362,4 minutos. En la cuenca analizada se tienen los siguientes tipos de suelos: aguacate, arbustos – matorrales (con mayor área en la cuenca), arenas y/o material piroclástico, bosque conífero, bosque latifoliado, bosque mixto, café, campo, cementerio, centros poblados, complejos industriales, embalse (reservorios), granos básicos, hortalizas, instalaciones educativas, instalaciones militares, superficies de excavación, pastos cultivados, pastos naturales y cuerpos de agua.
3. La intensidad de lluvia encontrada y determinada mediante el estudio hidrológico en mm/h para los períodos de retornos de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años fue según las ecuaciones como se muestra en la tabla V. Las intensidades de lluvia fueron utilizadas para determinar el caudal que debe ser drenado por la sección de canal del río.

4. Después de realizó el análisis hidrológico y se determinó que los caudales totales que drenarían el cauce en estudio serían los siguientes:
 - Para un periodo de retorno de 2 años es de 261,1 m³/s
 - Para un periodo de retorno de 5 años es de 402,7 m³/s
 - Para un periodo de retorno de 10 años es de 507,2 m³/s
 - Para un periodo de retorno de 25 años es de 650,0 m³/s
 - Para un periodo de retorno de 50 años es de 715,8 m³/s
 - Para un periodo de retorno de 100 años es de 753,7 m³/s

5. Las áreas de inundaciones ocurren a lo largo de todo el recorrido del tramo del río analizado, incluso para la simulación de todos los períodos de retorno, lo cual muestra el alto riesgo que presenta el río para las comunidades cercanas.

6. El caudal simulado de período de retorno de 100 años igual a 753,7 m³/s se drenaría por medio del río a través de la conformación de un canal, construido de acuerdo a la configuración y superficie del terreno. La sección a conformar de canal será rectangular aproximadamente con una base de 30 metros, una altura de 6 metros.

RECOMENDACIONES

1. A la sección del río se recomienda que se le haga un tratamiento adecuado de mantenimiento de limpieza para limpiar la maleza, sedimentos y basura en todo el tramo analizado. las recomendaciones poseen exactamente el mismo formato.
2. Realizar la construcción de la sección del río tomando en cuenta lo especificado en este documento.
3. Es importante si se desea construir un nuevo muro de contención o perimetral, se deba tener un estudio geotécnico y un estudio estructural detallado. Esto lo deben realizar especialistas en estas disciplinas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHOW, Ven Te. *Hidrología aplicada*. Guatemala: Editorial Nomos, 1994. 150 p.
2. HEC-HMS. *The hydrologic modeling system (HEC-HMS) is designed to simulate the complete hydrologic processes of dendritic watershed systems*. [en línea]. <www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. [Consulta: enero de 2020].
3. HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center's (CEIWR-HEC). *River analysis system (HEC-RAS)*. [en línea]. <www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>. [Consulta: enero de 2020].
4. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *México*. [en línea]. <<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2019].
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Estudio de intensidades de precipitación en la República de Guatemala*. INSIVUMEH, 2019. 166 p.
6. MOLNAR, Peter. *Notes of Watershed Modelling*. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management. ETH Zürich, Switzerland: 2011. 11 p.

7. OROZCO Élfego. *Apuntes de hidrología*. Guatemala: ERIS, 2009. 150 p.

APÉNDICES

Tablas de caudales, pendientes, velocidades, áreas transversales y números de Froude para cada tramo del río, y a cada período de retorno para un flujo crítico.

Apéndice 1. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 2 años

Estación	Q Total (m3/s)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área transversal (m2)	Num Froude
670,85	261,1	0,000006	0,07	666,63	0,02
670	261,1	0,000006	0,07	644,96	0,02
660	261,1	0,000017	0,09	420,75	0,03
650	261,1	0,000047	0,19	268,96	0,06
640	261,1	0,000097	0,43	214,23	0,1
630	261,1	0,000191	0,58	166,71	0,13
620	261,1	0,000333	0,62	133,94	0,17
610	261,1	0,000276	0,67	141,07	0,16
600	261,1	0,000136	0,51	177,68	0,12
590	261,1	0,000084	0,44	216,17	0,09
580	261,1	0,000051	0,35	262,62	0,07
570	261,1	0,000046	0,35	271,86	0,07
560	261,1	0,000043	0,35	290,19	0,07
550	261,1	0,000438	1,2	243,69	0,21
540	261,1	0,000308	0,99	276,56	0,18
530	261,1	0,000251	0,85	288,48	0,16
520	261,1	0,000153	0,65	333,03	0,13
510	261,1	0,000078	0,48	342,08	0,09
500	261,1	0,000072	0,44	371,93	0,08
490	261,1	0,000094	0,49	358,52	0,1
480	261,1	0,000145	0,55	314,97	0,12

Continuación del apéndice 1.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
470	261,1	0,001389	1,1	106,44	0,34
460	261,1	0,064771	8,98	29,71	2,4
450	261,1	0,062133	9,66	27,6	2,3
440	261,1	0,056347	9,24	28,25	2,03
430	261,1	0,040546	8,91	29,31	1,64
420	261,1	0,049544	9,6	27,19	1,9
410	261,1	0,056845	9,62	26,43	2,07
400	261,1	0,051626	9,36	28,46	1,96
390	261,1	0,0634	8,28	28,17	1,92
380	261,1	0,112127	12,78	24,32	2,64
370	261,1	0,103688	12,1	21,57	2,82
360	261,1	0,084989	11,63	22,54	2,82
350	261,1	0,076053	9,11	26,83	2,61
340	261,1	0,173794	9,94	25,28	3,43
330	261,1	0,064256	0,19	23,26	0,92
320	261,1	0,057366	3,22	21,83	1,57
310	261,1	0,03795		21,19	0
300	261,1	0,049868	4,63	21,52	1,6
290	261,1	0,048221		18,35	0
280	261,1	0,059013	5,64	19,96	1,89
270	261,1	0,049642		17,88	0
260	261,1	0,057851	4,41	20,17	1,65
250	261,1	0,069771		17,56	0
240	261,1	0,047543		17,6	0
230	261,1	0,061273		17,86	0
220	261,1	0,052564	2,74	19	1,64
210	261,1	0,181565	13,76	18,17	3,91
200	261,1	0,096688	8,23	21,99	2,78
190	261,1	0,096589	8,15	23,71	2,77
180	261,1	0,092163	9,9	23,6	2,83
170	261,1	0,071367	8,32	26,19	2,47
160	261,1	0,000137	0,81	190,14	0,13

Continuación del apéndice 1.

Estación	Q Total (m3/s)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área transversal (m2)	Num Froude
150	261,1	0,000488	1,38	111,73	0,24
140	261,1	0,002232	2,75	65,33	0,49
130	261,1	0,015766	6,9	37,28	1,28
120	261,1	0,040073	7,11	36,72	1,75
110	261,1	0,029604	5,05	51,69	1,49
100	261,1	0,048153	8,46	30,88	1,89
90	261,1	0,003428	2,71	61,66	0,59
80	261,1	0,030902	6,67	35,54	1,61
70	261,1	0,00046	1,39	143,28	0,23
60	261,1	0,00046	1,18	160,28	0,21
50	261,1	0,000086	0,57	256,46	0,1
40	261,1	0,000053	0,61	293,52	0,08
30	261,1	0,000062	0,6	253,86	0,08
20	261,1	0,000047	0,47	266,37	0,06
10	261,1	0,000256	1,2	131,25	0,19
670,85	261,1	0,000006	0,07	666,63	0,02

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 5 años

Estación	Q Total (m3/s)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área transversal (m2)	Num Froude
0	261,1	0,010417	4,63	56,43	1
670,85	402,7	0,000011	0,14	730,03	0,03
670	402,7	0,000012	0,14	708,29	0,03
660	402,7	0,00003	0,18	480,26	0,05
650	402,7	0,000075	0,32	321,54	0,08
640	402,7	0,000152	0,64	263,1	0,13

Continuación del apéndice 2.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
630	402,7	0,000265	0,8	209,19	0,16
620	402,7	0,000439	0,87	170,27	0,21
610	402,7	0,000368	0,91	179,42	0,2
600	402,7	0,000195	0,71	220,27	0,15
590	402,7	0,000126	0,62	261,99	0,12
580	402,7	0,000081	0,51	312,07	0,1
570	402,7	0,000075	0,51	320,13	0,09
560	402,7	0,000068	0,51	339,29	0,09
550	402,7	0,000632	1,59	288,99	0,26
540	402,7	0,000466	1,36	321,7	0,23
530	402,7	0,000399	1,2	331,75	0,21
520	402,7	0,00026	0,95	376,24	0,17
510	402,7	0,000126	0,68	383,72	0,12
500	402,7	0,000117	0,63	417,02	0,11
490	402,7	0,000151	0,7	404,56	0,13
480	402,7	0,00023	0,81	358,28	0,16
470	402,7	0,00148	1,45	150,88	0,38
460	402,7	0,038073	9,09	47,59	1,97
450	402,7	0,038813	9,63	43,28	1,91
440	402,7	0,036976	9,17	43,94	1,69
430	402,7	0,025769	8,29	50,3	1,33
420	402,7	0,035932	9,79	42,01	1,65
410	402,7	0,041985	9,33	39,43	1,81
400	402,7	0,045226	9,57	40,19	1,86
390	402,7	0,057997	8,37	40,92	1,86
380	402,7	0,122713	14,21	34,69	2,74
370	402,7	0,074582	12,47	33	2,51
360	402,7	0,064104	11,62	32,96	2,53
350	402,7	0,067351	10,01	36,92	2,55
340	402,7	0,14357	10,94	34,88	3,27
330	402,7	0,064879	1,04	32,21	1,43
320	402,7	0,059846	3,81	29,86	1,66

Continuación del apéndice 2.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
310	402,7	0,037691	1,22	29,63	1,2
300	402,7	0,046053	5,24	30,39	1,59
290	402,7	0,044818		26,1	0
280	402,7	0,05482	6,13	28,35	1,86
270	402,7	0,045985		25,46	0
260	402,7	0,056299	5,15	28,64	1,68
250	402,7	0,055068		24,92	0
240	402,7	0,05355		25	0
230	402,7	0,053063		25,26	0
220	402,7	0,049179	3,68	27,41	1,71
210	402,7	0,149896	14,41	25,77	3,68
200	402,7	0,085262	9,19	29,93	2,73
190	402,7	0,111827	9,81	30,1	3,07
180	402,7	0,105421	11,62	31,28	3,1
170	402,7	0,087146	9,96	34,13	2,79
160	402,7	0,000117	0,88	261,4	0,13
150	402,7	0,000462	1,59	154,71	0,25
140	402,7	0,002033	3,02	89,45	0,49
130	402,7	0,010145	6,31	55,65	1,06
120	402,7	0,050547	7,66	52,51	2,01
110	402,7	0,036473	6,2	64,95	1,7
100	402,7	0,03846	8,55	47,08	1,78
90	402,7	0,003903	3,31	81,1	0,65
80	402,7	0,0006	1,68	170,54	0,26
70	402,7	0,000384	1,49	211,03	0,22
60	402,7	0,000268	1,08	243,07	0,17
50	402,7	0,00008	0,65	343,22	0,1
40	402,7	0,000056	0,7	375,35	0,08
30	402,7	0,000064	0,68	331,49	0,09
20	402,7	0,000052	0,54	340,56	0,06
10	402,7	0,000252	1,37	182,41	0,19

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 10 años**

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	507,2	0,000015	0,18	769,78	0,04
670	507,2	0,000016	0,19	747,97	0,04
660	507,2	0,000039	0,25	518,67	0,06
650	507,2	0,000094	0,42	355,38	0,1
640	507,2	0,000182	0,77	295,23	0,15
630	507,2	0,000309	0,94	238,74	0,18
620	507,2	0,000502	1,03	196,89	0,22
610	507,2	0,000422	1,06	207,04	0,22
600	507,2	0,000231	0,84	249,89	0,16
590	507,2	0,000154	0,74	293,07	0,14
580	507,2	0,0001	0,61	345,26	0,11
570	507,2	0,000094	0,62	352,77	0,11
560	507,2	0,000086	0,61	371,91	0,1
550	507,2	0,000075	1,82	318,68	0,29
540	507,2	0,000572	1,59	350,14	0,26
530	507,2	0,000503	1,43	358,78	0,24
520	507,2	0,000338	1,16	403,34	0,19
510	507,2	0,00016	0,81	409,32	0,13
500	507,2	0,00015	0,76	444,78	0,13
490	507,2	0,000192	0,85	432,89	0,15
480	507,2	0,000287	0,98	384,74	0,18
470	507,2	0,00156	1,65	176,3	0,4
460	507,2	0,030581	9,06	59,96	1,81
450	507,2	0,028603	9,42	56,29	1,68
440	507,2	0,028777	9,01	57,59	1,52
430	507,2	0,02997	9,11	58,75	1,44
420	507,2	0,034116	10,12	50,79	1,61
410	507,2	0,036677	9,23	48,32	1,71
400	507,2	0,042192	9,65	48,57	1,81
390	507,2	0,056606	8,58	49,37	1,85

Continuación del apéndice 3.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
380	507,2	0,131704	15,04	41,15	2,83
370	507,2	0,092464	14,65	40,11	2,83
360	507,2	0,053313	11,49	40,86	2,36
350	507,2	0,059919	10,34	44,54	2,46
340	507,2	0,123301	11,31	42,14	3,11
330	507,2	0,059879	2	39,75	1,63
320	507,2	0,059285	4,11	35,7	1,69
310	507,2	0,037843	1,86	35,63	1,34
300	507,2	0,044406	5,66	36,4	1,59
290	507,2	0,043227		31,46	0
280	507,2	0,052783	6,39	34,15	1,85
270	507,2	0,044337	1,16	30,97	1,27
260	507,2	0,057436	5,67	34,29	1,73
250	507,2	0,048734		30,06	0
240	507,2	0,055094		30,1	0
230	507,2	0,049552		30,36	0
220	507,2	0,048156	4,4	33,14	1,77
210	507,2	0,134041	14,69	31,09	3,55
200	507,2	0,081949	9,82	35,27	2,73
190	507,2	0,11342	10,57	34,91	3,14
180	507,2	0,112711	12,59	36,49	3,24
170	507,2	0,092363	10,69	38,97	2,9
160	507,2	0,000111	0,93	307,64	0,13
150	507,2	0,000432	1,68	187,03	0,25
140	507,2	0,001971	3,2	105,37	0,49
130	507,2	0,008354	6,17	69,73	0,98
120	507,2	0,046548	8,09	62,52	1,97
110	507,2	0,039906	6,98	72,8	1,81
100	507,2	0,035123	8,79	57,73	1,75
90	507,2	0,004562	3,76	91,75	0,7
80	507,2	0,00059	1,84	216,11	0,27
70	507,2	0,000327	1,5	263,59	0,21

Continuación del apéndice 3.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
60	507,2	0,000241	1,12	296,12	0,16
50	507,2	0,000082	0,72	398,69	0,1
40	507,2	0,00006	0,77	427,75	0,09
30	507,2	0,000067	0,74	381	0,09
20	507,2	0,000056	0,59	388,09	0,06
10	507,2	0,000244	1,45	219,77	0,19
670,85	507,2	0,000015	0,18	769,78	0,04

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 25 años**

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	650	0,000021	0,25	817,98	0,05
670	650	0,000022	0,25	796,1	0,05
660	650	0,000052	0,34	565,26	0,07
650	650	0,000119	0,54	397,7	0,11
640	650	0,000219	0,93	334,76	0,16
630	650	0,000361	1,11	274,74	0,2
620	650	0,000581	1,22	228,62	0,25
610	650	0,00049	1,25	240,08	0,24
600	650	0,000278	1	285,54	0,18
590	650	0,000189	0,89	330,3	0,15
580	650	0,000126	0,74	385,21	0,13
570	650	0,00012	0,75	392,34	0,12
560	650	0,00011	0,74	411,5	0,12
550	650	0,000896	2,11	354,92	0,32
540	650	0,00071	1,88	384,52	0,29

Continuación del apéndice 4.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
530	650	0,000639	1,72	391,26	0,27
520	650	0,000444	1,41	435,93	0,22
510	650	0,000206	0,99	439,49	0,16
500	650	0,000195	0,93	477,51	0,15
490	650	0,000255	1,05	466,1	0,17
480	650	0,000361	1,2	415,71	0,21
470	650	0,001902	1,99	200,66	0,45
460	650	0,022853	8,78	77,76	1,61
450	650	0,024418	9,5	73,84	1,58
440	650	0,028054	9,41	71,81	1,52
430	650	0,030183	9,43	70,72	1,45
420	650	0,028512	9,9	64,64	1,48
410	650	0,029856	8,89	61,39	1,55
400	650	0,036715	9,46	62,05	1,7
390	650	0,052549	8,63	61,56	1,79
380	650	0,13346	15,48	49,96	2,84
370	650	0,086803	14,92	48,9	2,78
360	650	0,044832	11,47	51,31	2,21
350	650	0,052883	10,71	54,56	2,37
340	650	0,120462	12,31	50,15	3,15
330	650	0,054326	2,92	50,06	1,73
320	650	0,055757	4,35	43,55	1,67
310	650	0,037104	2,49	43,99	1,43
300	650	0,041695	6,09	44,6	1,57
290	650	0,040706		38,75	0
280	650	0,049627	6,57	42,12	1,82
270	650	0,042986	2,31	39,03	1,49
260	650	0,057999	6,2	41,84	1,76
250	650	0,042012		37,07	0
240	650	0,05153		36,99	0
230	650	0,045437		37,26	0
220	650	0,047042	5,23	40,65	1,82

Continuación del apéndice 4.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m³/s)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
210	650	0,11729	14,91	38,25	3,39
200	650	0,081283	10,63	42,15	2,78
190	650	0,10982	11,25	41,62	3,15
180	650	0,115884	13,39	42,88	3,33
170	650	0,093611	11,32	45,41	2,96
160	650	0,00011	1	366,22	0,13
150	650	0,000381	1,73	231,09	0,24
140	650	0,001893	3,4	126,21	0,49
130	650	0,007246	6,15	85,43	0,93
120	650	0,045205	8,5	76,24	1,99
110	650	0,039744	7,67	84,93	1,84
100	650	0,031485	9	72,2	1,7
90	650	0,005235	4,16	107,04	0,76
80	650	0,00043	1,73	281,48	0,23
70	650	0,000263	1,46	328,38	0,19
60	650	0,000204	1,13	361,33	0,15
50	650	0,000082	0,79	466,95	0,1
40	650	0,000064	0,84	491,88	0,09
30	650	0,00007	0,81	441,5	0,09
20	650	0,00006	0,64	445,91	0,07
10	650	0,00023	1,52	269	0,19
0	650	0,009231	5,54	117,27	1,01

Fuente: elaboración propia

Apéndice 5. **Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 50 años**

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	715,8	0,000024	0,28	839,67	0,05
670	715,8	0,000025	0,28	817,74	0,05
660	715,8	0,000057	0,38	586,24	0,08
650	715,8	0,00013	0,6	417,25	0,12
640	715,8	0,000233	0,99	353,21	0,17
630	715,8	0,000378	1,18	291,79	0,21
620	715,8	0,0006	1,3	244,54	0,25
610	715,8	0,000506	1,33	256,5	0,24
600	715,8	0,000293	1,07	302,87	0,19
590	715,8	0,000202	0,95	348,12	0,16
580	715,8	0,000136	0,8	404,19	0,13
570	715,8	0,00013	0,8	411,24	0,13
560	715,8	0,000119	0,79	430,37	0,12
550	715,8	0,000943	2,22	372,37	0,33
540	715,8	0,000759	2	401,03	0,3
530	715,8	0,000691	1,84	406,65	0,28
520	715,8	0,000487	1,52	451,4	0,24
510	715,8	0,000225	1,06	453,71	0,16
500	715,8	0,000213	1	492,89	0,16
490	715,8	0,000275	1,13	481,67	0,18
480	715,8	0,00039	1,28	430,18	0,22
470	715,8	0,001893	2,07	213,78	0,45
460	715,8	0,020363	8,67	86,35	1,54
450	715,8	0,023564	9,56	80,63	1,56
440	715,8	0,02728	9,47	77,93	1,5
430	715,8	0,028728	9,35	76,85	1,42
420	715,8	0,02589	9,68	71,48	1,41
410	715,8	0,027481	8,75	67,45	1,49
400	715,8	0,03472	9,37	68,49	1,65
390	715,8	0,050541	8,61	67,25	1,76

Continuación del apéndice 5.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
380	715,8	0,131583	15,51	54,07	2,81
370	715,8	0,082194	14,85	53,14	2,72
360	715,8	0,042095	11,49	56,13	2,16
350	715,8	0,050268	10,84	59,09	2,33
340	715,8	0,116996	12,61	53,95	3,13
330	715,8	0,052277	3,24	54,7	1,75
320	715,8	0,053826	4,43	47,09	1,66
310	715,8	0,036769	2,72	47,8	1,45
300	715,8	0,040592	6,25	48,31	1,56
290	715,8	0,039676		42,06	0
280	715,8	0,048491	6,75	45,66	1,81
270	715,8	0,042932	2,67	42,68	1,55
260	715,8	0,058079	6,4	45,24	1,77
250	715,8	0,039617		40,25	0
240	715,8	0,049384		40,12	0
230	715,8	0,043857		40,39	0
220	715,8	0,046576	5,53	44,02	1,83
210	715,8	0,111167	14,98	41,49	3,33
200	715,8	0,081214	10,96	45,23	2,8
190	715,8	0,108273	11,52	44,67	3,15
180	715,8	0,115712	13,66	45,8	3,34
170	715,8	0,092848	11,52	48,37	2,96
160	715,8	0,000109	1,03	392,31	0,13
150	715,8	0,000364	1,76	249,53	0,23
140	715,8	0,001853	3,48	135,68	0,49
130	715,8	0,006862	6,15	92,43	0,91
120	715,8	0,042943	8,69	82,17	1,96
110	715,8	0,039817	7,96	90,08	1,86
100	715,8	0,030435	9,12	78,52	1,68
90	715,8	0,005632	4,4	112,46	0,79
80	715,8	0,000385	1,69	308,62	0,22
70	715,8	0,000245	1,46	355,44	0,18

Continuación del apéndice 5.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
60	715,8	0,000194	1,14	388,67	0,15
50	715,8	0,000083	0,82	495,56	0,1
40	715,8	0,000065	0,87	518,8	0,09
30	715,8	0,000072	0,84	466,95	0,1
20	715,8	0,000062	0,67	470,25	0,07
10	715,8	0,000226	1,55	290,64	0,19
0	715,8	0,008993	5,62	127,32	1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 100 años

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	753,7	0,000025	0,29	851,93	0,05
670	753,7	0,000027	0,3	829,97	0,06
660	753,7	0,00006	0,4	598,09	0,08
650	753,7	0,000135	0,63	428,52	0,12
640	753,7	0,00024	1,03	363,79	0,17
630	753,7	0,000386	1,22	301,57	0,21
620	753,7	0,000609	1,34	253,65	0,26
610	753,7	0,000515	1,37	265,87	0,25
600	753,7	0,0003	1,11	312,73	0,19
590	753,7	0,000209	0,99	358,25	0,16
580	753,7	0,000141	0,83	414,96	0,14
570	753,7	0,000136	0,83	421,99	0,13
560	753,7	0,000124	0,82	441,12	0,13
550	753,7	0,000967	2,28	382,31	0,33
540	753,7	0,000786	2,07	410,42	0,31

Continuación del apéndice 6.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
530	753,7	0,000719	1,9	415,36	0,29
520	753,7	0,000511	1,59	460,14	0,24
510	753,7	0,000235	1,1	461,69	0,17
500	753,7	0,000223	1,04	501,53	0,16
490	753,7	0,000286	1,17	490,39	0,19
480	753,7	0,000405	1,33	438,27	0,22
470	753,7	0,0019	2,11	220,68	0,45
460	753,7	0,019223	8,61	91,03	1,5
450	753,7	0,023065	9,57	84,48	1,55
440	753,7	0,026725	9,47	81,47	1,49
430	753,7	0,027731	9,27	80,51	1,4
420	753,7	0,024798	9,59	75,34	1,38
410	753,7	0,026309	8,68	70,93	1,46
400	753,7	0,033744	9,33	72,21	1,63
390	753,7	0,047817	8,46	70,83	1,72
380	753,7	0,130378	15,51	56,4	2,8
370	753,7	0,07957	14,79	55,59	2,68
360	753,7	0,040869	11,51	58,82	2,14
350	753,7	0,049034	10,93	61,63	2,31
340	753,7	0,115043	12,76	56,12	3,12
330	753,7	0,051305	3,41	57,31	1,76
320	753,7	0,052924	4,5	49,08	1,65
310	753,7	0,036687	2,84	49,91	1,47
300	753,7	0,040097	6,34	50,38	1,56
290	753,7	0,0392		43,92	0
280	753,7	0,047933	6,81	47,68	1,81
270	753,7	0,043028	2,85	44,74	1,57
260	753,7	0,058175	6,52	47,14	1,78
250	753,7	0,038453		42,05	0
240	753,7	0,048343		41,88	0
230	753,7	0,043094		42,16	0
220	753,7	0,046378	5,69	45,92	1,84

Continuación del apéndice 6.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m³/s)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
210	753,7	0,108221	15,03	43,31	3,3
200	753,7	0,081274	11,15	46,96	2,81
190	753,7	0,108825	11,73	46,32	3,17
180	753,7	0,115274	13,78	47,48	3,34
170	753,7	0,092143	11,61	50,08	2,96
160	753,7	0,000109	1,05	407,18	0,13
150	753,7	0,000357	1,78	259,7	0,23
140	753,7	0,001856	3,54	140,29	0,49
130	753,7	0,006674	6,16	96,38	0,9
120	753,7	0,041797	8,8	85,54	1,95
110	753,7	0,039639	8,1	93,13	1,87
100	753,7	0,029834	9,17	82,17	1,67
90	753,7	0,005832	4,53	115,73	0,81
80	753,7	0,000363	1,68	323,96	0,22
70	753,7	0,000236	1,46	370,75	0,18
60	753,7	0,000189	1,15	404,12	0,15
50	753,7	0,000083	0,83	511,74	0,1
40	753,7	0,000066	0,88	534,03	0,09
30	753,7	0,000073	0,86	481,37	0,1
20	753,7	0,000063	0,68	484,08	0,07
10	753,7	0,000223	1,57	303,2	0,19
0	507,2	0,009556	5,28	96,07	1,01

Fuente: elaboración propia.

Tablas de caudales, pendientes, velocidades, áreas transversales y números de Froude para cada tramo del río, y a cada período de retorno para un flujo supercrítico.

Apéndice 7. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 2 años

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	261,1	0,056057		19,36	0
670	261,1	0,050867		19,3	0
660	261,1	0,024414		19,59	0
650	261,1	0,010198		27,18	0
640	261,1	0,001994		56,58	0
630	261,1	0,001865		56,81	0
620	261,1	0,00179	0,49	63,03	0,3
610	261,1	0,002074	0,64	63,54	0,35
600	261,1	0,005382		42,55	0
590	261,1	0,00184		63,64	0
580	261,1	0,005285		42	0
570	261,1	0,001848		58,36	0
560	261,1	0,003081		48,12	0
550	261,1	0,014121	3,43	72,65	1,04
540	261,1	0,038355		35,24	0
530	261,1	0,071402		26,42	0
520	261,1	0,09153		25,91	0
510	261,1	0,059534		31,66	0
500	261,1	0,019561		51,98	0
490	261,1	0,015238		58,43	0
480	261,1	0,015053		58,7	0
470	261,1	0,001391	1,1	106,35	0,34
460	261,1	0,064771	8,98	29,71	2,4
450	261,1	0,062133	9,66	27,6	2,3
440	261,1	0,056347	9,24	28,25	2,03

Continuación del apéndice 7.

Estación	Q Total (m3/s)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área transversal (m2)	Num Froude
430	261,1	0,040546	8,91	29,31	1,64
420	261,1	0,049544	9,6	27,19	1,9
410	261,1	0,056845	9,62	26,43	2,07
400	261,1	0,051626	9,36	28,46	1,96
390	261,1	0,0634	8,28	28,17	1,92
380	261,1	0,112127	12,78	24,32	2,64
370	261,1	0,103688	12,1	21,57	2,82
360	261,1	0,084989	11,63	22,54	2,82
350	261,1	0,076053	9,11	26,83	2,61
340	261,1	0,173794	9,94	25,28	3,43
330	261,1	0,064256	0,19	23,26	0,92
320	261,1	0,057366	3,22	21,83	1,57
310	261,1	0,03795		21,19	0
300	261,1	0,049868	4,63	21,52	1,6
290	261,1	0,048221		18,35	0
280	261,1	0,059013	5,64	19,96	1,89
270	261,1	0,049642		17,88	0
260	261,1	0,057851	4,41	20,17	1,65
250	261,1	0,069771		17,56	0
240	261,1	0,047543		17,6	0
230	261,1	0,061273		17,86	0
220	261,1	0,052564	2,74	19	1,64
210	261,1	0,181565	13,76	18,17	3,91
200	261,1	0,096688	8,23	21,99	2,78
190	261,1	0,096589	8,15	23,71	2,77
180	261,1	0,092163	9,9	23,6	2,83
170	261,1	0,071367	8,32	26,19	2,47
160	261,1	0,069073	9	26,05	2,5
150	261,1	0,04409	6,31	27,88	1,94
140	261,1	0,025671	6,48	29,49	1,52
130	261,1	0,030821	8,6	26,95	1,74
120	261,1	0,062312	10,07	25,94	2,09

Continuación del apéndice 7.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
110	261,1	0,063853	8,22	31,77	2,14
100	261,1	0,076794	10,18	25,64	2,33
90	261,1	0,006869	3,55	47,68	0,82
80	261,1	0,043233	7,61	32,06	1,89
70	261,1	0,050655	7,36	33,33	2,04
60	261,1	0,016315	4,13	49,17	1,09
50	261,1	0,021201	3,36	45,14	1,19
40	261,1	0,049751	9,02	29	2,03
30	261,1	0,020297	5,75	45,27	1,28
20	261,1	0,020992	6,28	43,19	1,06
10	261,1	0,001937	2,4	64,77	0,47
0	261,1	0,010402	4,62	56,46	1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 5 años

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	402,7	0,056104		26,75	0
670	402,7	0,051755		26,66	0
660	402,7	0,027936		25,92	0
650	402,7	0,01625		31,58	0
640	402,7	0,008307		44,84	0
630	402,7	0,001611	0,8	90,66	0,33
620	402,7	0,001525	0,97	102,14	0,34
610	402,7	0,002689	1,24	85,68	0,45
600	402,7	0,004594	0,41	63,05	0,42
590	402,7	0,006343		55,38	0

Continuación del apéndice 8.

Estación	Q Total (m3/s)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área transversal (m2)	Num Froude
580	402,7	0,001747		89,37	0
570	402,7	0,003129		66,4	0
560	402,7	0,003361		63,7	0
550	402,7	0,014061	3,97	101,62	1,08
540	402,7	0,016712	2,81	82,77	1,07
530	402,7	0,044734		43,69	0
520	402,7	0,066533		39,06	0
510	402,7	0,051708		44,52	0
500	402,7	0,038564		55,24	0
490	402,7	0,01427		82,88	0
480	402,7	0,014264		82,89	0
470	402,7	0,001458	1,45	151,78	0,37
460	402,7	0,038062	9,09	47,59	1,97
450	402,7	0,038799	9,63	43,29	1,91
440	402,7	0,036965	9,16	43,94	1,69
430	402,7	0,025765	8,29	50,31	1,33
420	402,7	0,035926	9,79	42,01	1,65
410	402,7	0,041973	9,33	39,43	1,81
400	402,7	0,045211	9,57	40,19	1,86
390	402,7	0,057997	8,37	40,92	1,86
380	402,7	0,122713	14,21	34,69	2,74
370	402,7	0,074582	12,47	33	2,51
360	402,7	0,064104	11,62	32,96	2,53
350	402,7	0,067351	10,01	36,92	2,55
340	402,7	0,14357	10,94	34,88	3,27
330	402,7	0,064879	1,04	32,21	1,43
320	402,7	0,059846	3,81	29,86	1,66
310	402,7	0,037691	1,22	29,63	1,2
300	402,7	0,046053	5,24	30,39	1,59
290	402,7	0,044818		26,1	0
280	402,7	0,05482	6,13	28,35	1,86
270	402,7	0,045985		25,46	0

Continuación del apéndice 8.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
260	402,7	0,056299	5,15	28,64	1,68
250	402,7	0,055068		24,92	0
240	402,7	0,05355		25	0
230	402,7	0,053063		25,26	0
220	402,7	0,049179	3,68	27,41	1,71
210	402,7	0,149896	14,41	25,77	3,68
200	402,7	0,085262	9,19	29,93	2,73
190	402,7	0,111827	9,81	30,1	3,07
180	402,7	0,105421	11,62	31,28	3,1
170	402,7	0,087146	9,96	34,13	2,79
160	402,7	0,081737	10,56	34,49	2,77
150	402,7	0,039933	6,93	37,11	1,91
140	402,7	0,023301	7,09	39,34	1,5
130	402,7	0,048649	11,83	34,37	2,23
120	402,7	0,094152	10,93	36,86	2,68
110	402,7	0,106946	8,97	44,91	2,79
100	402,7	0,063318	10,35	38,91	2,24
90	402,7	0,006613	3,9	66,42	0,83
80	402,7	0,025259	6,76	49,33	1,5
70	402,7	0,045652	8,15	45,1	2,01
60	402,7	0,020496	5,16	60,04	1,25
50	402,7	0,029621	4,44	55,03	1,44
40	402,7	0,042025	9,2	42,26	1,91
30	402,7	0,031467	7,4	51,49	1,61
20	402,7	0,030737	7,75	50,94	1,29
10	402,7	0,001776	2,67	89,58	0,47
0	402,7	0,009835	5,04	79,9	1,01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 10 años**

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m³/s)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
670,85	507,2	0,056057		31,79	0
670	507,2	0,052083		31,68	0
660	507,2	0,029554		30,41	0
650	507,2	0,018932		35,46	0
640	507,2	0,013093		44,96	0
630	507,2	0,008625		52,39	0
620	507,2	0,005612	1,03	68,86	0,56
610	507,2	0,00626	1,38	70,45	0,63
600	507,2	0,007765	0,41	61,37	0,51
590	507,2	0,00915		57,39	0
580	507,2	0,010419		53,93	0
570	507,2	0,009576		51,82	0
560	507,2	0,009366		51,98	0
550	507,2	0,014487	4,3	119,98	1,11
540	507,2	0,017592	3,47	100,91	1,15
530	507,2	0,026901		63,18	0
520	507,2	0,05359		49,64	0
510	507,2	0,045393		54,59	0
500	507,2	0,041878		62,49	0
490	507,2	0,013697		100,06	0
480	507,2	0,013851		99,64	0
470	507,2	0,001559	1,65	176,33	0,4
460	507,2	0,030581	9,06	59,96	1,81
450	507,2	0,028603	9,42	56,29	1,68
440	507,2	0,028777	9,01	57,59	1,52
430	507,2	0,02997	9,11	58,75	1,44
420	507,2	0,034116	10,12	50,79	1,61
410	507,2	0,036677	9,23	48,32	1,71
400	507,2	0,042192	9,65	48,57	1,81
390	507,2	0,056606	8,58	49,37	1,85

Continuación del apéndice 9.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
380	507,2	0,131704	15,04	41,15	2,83
370	507,2	0,092464	14,65	40,11	2,83
360	507,2	0,053313	11,49	40,86	2,36
350	507,2	0,059919	10,34	44,54	2,46
340	507,2	0,123301	11,31	42,14	3,11
330	507,2	0,059879	2	39,75	1,63
320	507,2	0,059285	4,11	35,7	1,69
310	507,2	0,037843	1,86	35,63	1,34
300	507,2	0,044406	5,66	36,4	1,59
290	507,2	0,043227		31,46	0
280	507,2	0,052783	6,39	34,15	1,85
270	507,2	0,044337	1,16	30,97	1,27
260	507,2	0,057436	5,67	34,29	1,73
250	507,2	0,048734		30,06	0
240	507,2	0,055094		30,1	0
230	507,2	0,049552		30,36	0
220	507,2	0,048156	4,4	33,14	1,77
210	507,2	0,134041	14,69	31,09	3,55
200	507,2	0,081949	9,82	35,27	2,73
190	507,2	0,11342	10,57	34,91	3,14
180	507,2	0,112711	12,59	36,49	3,24
170	507,2	0,092363	10,69	38,97	2,9
160	507,2	0,084982	11,17	39,41	2,86
150	507,2	0,038155	7,33	43,19	1,91
140	507,2	0,022874	7,55	45,75	1,52
130	507,2	0,046721	12,16	40,17	2,22
120	507,2	0,117604	11,71	43,38	3,02
110	507,2	0,112665	9,84	51,55	2,91
100	507,2	0,062932	10,9	46,54	2,28
90	507,2	0,007384	4,41	75,67	0,88
80	507,2	0,02216	6,74	60,3	1,43
70	507,2	0,045537	8,76	52,57	2,05

Continuación del apéndice 9.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
60	507,2	0,022465	5,75	67,57	1,33
50	507,2	0,032885	4,98	61,71	1,55
40	507,2	0,042636	9,49	51,98	1,93
30	507,2	0,033094	7,85	58,11	1,67
20	507,2	0,032159	8,1	57,61	1,33
10	507,2	0,001713	2,84	106,71	0,47
0	507,2	0,009551	5,28	96,09	1,01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 25 años

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	650	0,056053		38,26	0
670	650	0,052481		38,13	0
660	650	0,031237		36,28	0
650	650	0,021579		40,66	0
640	650	0,017782		48,64	0
630	650	0,013645		53,18	0
620	650	0,012032	1,17	60,64	0,77
610	650	0,013127	1,58	62,91	0,87
600	650	0,014534	0,08	58,11	0,43
590	650	0,015603		56,58	0
580	650	0,016285		54,96	0
570	650	0,014145		53,92	0
560	650	0,013434		54,57	0
550	650	0,014016	4,79	142,42	1,12
540	650	0,019149	4,08	121,86	1,24

Continuación del apéndice 10.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
530	650	0,013027	2,58	116,41	0,95
520	650	0,041402		65,11	0
510	650	0,039237		68,33	0
500	650	0,044104		72,3	0
490	650	0,013251		119,16	0
480	650	0,01338		121,59	0
470	650	0,001902	1,99	200,66	0,45
460	650	0,022669	8,77	78,24	1,61
450	650	0,024405	9,49	73,85	1,58
440	650	0,02803	9,41	71,83	1,52
430	650	0,030153	9,43	70,75	1,45
420	650	0,028487	9,89	64,65	1,48
410	650	0,029841	8,89	61,4	1,55
400	650	0,036704	9,46	62,05	1,7
390	650	0,052549	8,63	61,56	1,79
380	650	0,13346	15,48	49,96	2,84
370	650	0,086803	14,92	48,9	2,78
360	650	0,044832	11,47	51,31	2,21
350	650	0,052883	10,71	54,56	2,37
340	650	0,120462	12,31	50,15	3,15
330	650	0,054326	2,92	50,06	1,73
320	650	0,055757	4,35	43,55	1,67
310	650	0,037104	2,49	43,99	1,43
300	650	0,041695	6,09	44,6	1,57
290	650	0,040706		38,75	0
280	650	0,049627	6,57	42,12	1,82
270	650	0,042986	2,31	39,03	1,49
260	650	0,057999	6,2	41,84	1,76
250	650	0,042012		37,07	0
240	650	0,05153		36,99	0
230	650	0,045437		37,26	0
220	650	0,047042	5,23	40,65	1,82

Continuación del apéndice 10.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
210	650	0,11729	14,91	38,25	3,39
200	650	0,081283	10,63	42,15	2,78
190	650	0,10982	11,25	41,62	3,15
180	650	0,115884	13,39	42,88	3,33
170	650	0,093611	11,32	45,41	2,96
160	650	0,085302	11,72	45,93	2,89
150	650	0,036121	7,79	51,06	1,9
140	650	0,023691	8,32	54,93	1,57
130	650	0,042527	12,3	48,12	2,15
120	650	0,144164	12,73	51,01	3,37
110	650	0,121267	10,91	59,61	3,07
100	650	0,063241	11,65	55,8	2,33
90	650	0,008547	5,04	86,97	0,96
80	650	0,021541	6,93	73,28	1,43
70	650	0,045027	9,4	62,09	2,07
60	650	0,027801	6,75	75,1	1,5
50	650	0,034926	5,54	70,73	1,62
40	650	0,044514	10,32	62,07	2,01
30	650	0,031899	8,07	67,82	1,65
20	650	0,03076	8,16	67,32	1,31
10	650	0,001627	3,02	130,07	0,47
0	650	0,009246	5,55	117,2	1,01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 50 años**

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	715,8	0,056056		41,12	0
670	715,8	0,052618		40,98	0
660	715,8	0,031858		38,9	0
650	715,8	0,022527		43,01	0
640	715,8	0,019506		50,71	0
630	715,8	0,015439		54,66	0
620	715,8	0,014324	1,3	61,17	0,85
610	715,8	0,015682	1,76	63,35	0,95
600	715,8	0,016966	0,27	59,02	0,62
590	715,8	0,017939		57,73	0
580	715,8	0,018436		56,43	0
570	715,8	0,015796		55,61	0
560	715,8	0,014845		56,42	0
550	715,8	0,018344	5,38	138,93	1,28
540	715,8	0,020529	4,36	128,68	1,29
530	715,8	0,008861	2,7	159,05	0,84
520	715,8	0,034396		74,72	0
510	715,8	0,035465		75,82	0
500	715,8	0,0436		77,34	0
490	715,8	0,013258		126,77	0
480	715,8	0,013147		131,57	0
470	715,8	0,001893	2,07	213,78	0,45
460	715,8	0,020359	8,67	86,36	1,54
450	715,8	0,02356	9,56	80,63	1,56
440	715,8	0,027274	9,47	77,93	1,5
430	715,8	0,028721	9,35	76,86	1,42
420	715,8	0,025885	9,68	71,49	1,41
410	715,8	0,027481	8,75	67,45	1,49
400	715,8	0,03472	9,37	68,49	1,65
390	715,8	0,050541	8,61	67,25	1,76

Continuación del apéndice 11.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
380	715,8	0,131583	15,51	54,07	2,81
370	715,8	0,082194	14,85	53,14	2,72
360	715,8	0,042095	11,49	56,13	2,16
350	715,8	0,050268	10,84	59,09	2,33
340	715,8	0,116996	12,61	53,95	3,13
330	715,8	0,052277	3,24	54,7	1,75
320	715,8	0,053826	4,43	47,09	1,66
310	715,8	0,036769	2,72	47,8	1,45
300	715,8	0,040592	6,25	48,31	1,56
290	715,8	0,039676		42,06	0
280	715,8	0,048491	6,75	45,66	1,81
270	715,8	0,042932	2,67	42,68	1,55
260	715,8	0,058079	6,4	45,24	1,77
250	715,8	0,039617		40,25	0
240	715,8	0,049384		40,12	0
230	715,8	0,043857		40,39	0
220	715,8	0,046576	5,53	44,02	1,83
210	715,8	0,111167	14,98	41,49	3,33
200	715,8	0,081214	10,96	45,23	2,8
190	715,8	0,108273	11,52	44,67	3,15
180	715,8	0,115712	13,66	45,8	3,34
170	715,8	0,092848	11,52	48,37	2,96
160	715,8	0,084303	11,88	48,92	2,89
150	715,8	0,035186	7,97	54,61	1,89
140	715,8	0,023653	8,54	58,47	1,58
130	715,8	0,040667	12,33	51,74	2,11
120	715,8	0,144813	13,19	54,18	3,41
110	715,8	0,128789	11,43	62,66	3,18
100	715,8	0,064633	12,04	59,44	2,38
90	715,8	0,009182	5,32	91,36	1
80	715,8	0,022088	7,19	77,5	1,46
70	715,8	0,04414	9,57	66,24	2,07

Continuación del apéndice 11.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
60	715,8	0,030101	7,17	78,3	1,57
50	715,8	0,035577	5,76	74,61	1,65
40	715,8	0,045618	10,66	66,18	2,04
30	715,8	0,031511	8,17	71,96	1,65
20	715,8	0,030208	8,18	71,49	1,3
10	715,8	0,001592	3,09	140,59	0,47
0	715,8	0,009134	5,65	126,58	1,01

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Parámetros obtenidos de la simulación en Hec-Ras para un caudal de un período de retorno de 100 años

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
670,85	753,7	0,056061		42,74	0
670	753,7	0,052696		42,59	0
660	753,7	0,032186		40,4	0
650	753,7	0,023026		44,34	0
640	753,7	0,020419		51,93	0
630	753,7	0,016383		55,62	0
620	753,7	0,01556	1,39	61,77	0,89
610	753,7	0,017072	1,87	63,89	1
600	753,7	0,018278	0,38	59,73	0,69
590	753,7	0,019195		58,5	0
580	753,7	0,019602		57,34	0
570	753,7	0,016689		56,63	0
560	753,7	0,015597		57,53	0
550	753,7	0,02274	5,84	133,98	1,42
540	753,7	0,022259	4,57	129,94	1,35

Continuación del apéndice 12.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
530	753,7	0,013256	2,92	136,13	0,99
520	753,7	0,034148		77,8	0
510	753,7	0,03589		78,32	0
500	753,7	0,044949		79,23	0
490	753,7	0,013189		131,29	0
480	753,7	0,013087		136,99	0
470	753,7	0,0019	2,11	220,68	0,45
460	753,7	0,019223	8,61	91,03	1,5
450	753,7	0,023065	9,57	84,48	1,55
440	753,7	0,026725	9,47	81,47	1,49
430	753,7	0,027731	9,27	80,51	1,4
420	753,7	0,024798	9,59	75,34	1,38
410	753,7	0,026309	8,68	70,93	1,46
400	753,7	0,033744	9,33	72,21	1,63
390	753,7	0,047817	8,46	70,83	1,72
380	753,7	0,130378	15,51	56,4	2,8
370	753,7	0,07957	14,79	55,59	2,68
360	753,7	0,040869	11,51	58,82	2,14
350	753,7	0,049034	10,93	61,63	2,31
340	753,7	0,115043	12,76	56,12	3,12
330	753,7	0,051305	3,41	57,31	1,76
320	753,7	0,052924	4,5	49,08	1,65
310	753,7	0,036687	2,84	49,91	1,47
300	753,7	0,040097	6,34	50,38	1,56
290	753,7	0,0392		43,92	0
280	753,7	0,047933	6,81	47,68	1,81
270	753,7	0,043028	2,85	44,74	1,57
260	753,7	0,058175	6,52	47,14	1,78
250	753,7	0,038453		42,05	0
240	753,7	0,048343		41,88	0
230	753,7	0,043094		42,16	0
220	753,7	0,046378	5,69	45,92	1,84

Continuación del apéndice 12.

Estación	Q Total	Pendiente	Velocidad	Área transversal	Num Froude
	(m3/s)	(m/m)	(m/s)	(m2)	
210	753,7	0,108221	15,03	43,31	3,3
200	753,7	0,081274	11,15	46,96	2,81
190	753,7	0,108825	11,73	46,32	3,17
180	753,7	0,115274	13,78	47,48	3,34
170	753,7	0,092143	11,61	50,08	2,96
160	753,7	0,08356	11,96	50,64	2,89
150	753,7	0,034692	8,07	56,61	1,88
140	753,7	0,023628	8,66	60,47	1,59
130	753,7	0,039688	12,34	53,8	2,09
120	753,7	0,145045	13,44	55,97	3,43
110	753,7	0,131842	11,72	64,33	3,23
100	753,7	0,06556	12,27	61,43	2,4
90	753,7	0,009569	5,49	93,69	1,02
80	753,7	0,022451	7,34	79,76	1,48
70	753,7	0,04365	9,67	68,54	2,07
60	753,7	0,032492	7,52	80,03	1,63
50	753,7	0,035816	5,88	76,84	1,66
40	753,7	0,046302	10,85	68,44	2,06
30	753,7	0,031265	8,22	74,3	1,65
20	753,7	0,029861	8,19	73,86	1,3
10	753,7	0,001555	3,11	147,19	0,46
0	753,7	0,00909	5,72	131,82	1,01

Fuente: elaboración propia.