	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC-DBL-007	Fecha 10-04-2012	Revisión A
Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. 1(119)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	EMMA JOHANA GOMEZ NORIEGA LIBARDO ALONSO ORTEGA FLOREZ		
FACULTAD	DE INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	MSc.HERMES ALFONSO GARCIA QUINTERO		
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA,NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>Desde hace algunos años el municipio de Ocaña, Norte de Santander ha sufrido sucesos de inundaciones ocasionados por el desborde del Río Tejo como respuesta a las altas precipitaciones, afectando las edificaciones que se encuentran ubicadas dentro de la ronda hídrica. El presente trabajo de grado consiste en determinar las zonas susceptibles de amenaza por inundación en el tramo comprendido entre los puentes El Tejarito y Las Delicias.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 110	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



**ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS
DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO
EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS**

**EMMA JOHANA GOMEZ NORIEGA
LIBARDO ALONSO ORTEGA FLOREZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2015**

**ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS
DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO
EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS**

**EMMA JOHANA GOMEZ NORIEGA
LIBARDO ALONSO ORTEGA FLOREZ**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de ingeniero
civil**

**Director
MSc. HERMES ALFONSO GARCIA QUINTERO
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2015**

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida brindándome sabiduría, amor y paciencia. A mis padres María Noriega, Rodrigo Gómez y a mis hermanos, por el apoyo, el amor incondicional y la fortaleza que me regalaron durante el desarrollo de este proyecto. A mi novio por ser alguien especial en mi vida y por estar presente en el logro de mis metas.

Emma Johana Gómez Noriega

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios que ha sido mi ayuda y mi fortaleza, que en su infinito amor me ha ayudado culminar con esta etapa de mi vida, pues todo lo puedo en el que me fortalece “Filipenses 4:13”; a mis padres Alirio Ortega Granados y María Flórez que con su esfuerzo y su amor ayudando a que esto sea posible, a mi hermana Gloria Ortega Flórez por apoyarme y creer en mí, de igual forma a toda mi familia y amigos que me acompañaron durante este proceso.

Libardo Alonso Ortega Flórez

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos:

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y a los profesores que contribuyeron a nuestra formación como ingenieros.

Al Msc. Hermes Alfonso García Quintero quien lideró el proceso de realización del proyecto.

A los ingenieros Napoleón Gutiérrez de Piñeres y Jonathan Noel Téllez por su apoyo.

A todas aquellas personas que contribuyeron para que esto se llevara a cabo.

Libardo Alonso Ortega Flórez

Emma Johana Gómez Noriega

CONTENIDO

INTRODUCCION	20
1. ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA,NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo general.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.	22
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.5 DELIMITACIONES	22
1.5.1 Geográficas.	22
1.5.2 Temporales.....	22
1.5.3 Conceptuales.....	23
1.5.4 Operativas.	23
2. MARCO REFERENCIAL.....	24
2.1 MARCO HISTORICO	24
2.1.1 Historia de inundaciones a nivel mundial.....	24
2.1.2 Historia de inundaciones a nivel nacional	25
2.1.3 Historial de inundaciones a nivel departamental.	26
2.1.4 Historia de inundaciones a nivel local.	26
2.2 MARCO CONTEXTUAL	27
2.2.1 Hidrografía.....	27
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	28
2.3.1 Amenaza.	28
2.3.2 Tipos de amenaza.....	28
2.3.3 Inundación.	29

2.3.4	Tipos de inundaciones.	29
2.3.5	Precipitación.	30
2.4	MARCO TEÓRICO	30
2.4.1	Estudio hidrológico.....	31
2.4.2	Estudio hidráulico.	32
2.4.3	Zonas susceptibles de amenaza por inundación.	40
2.4.3.1	Extensión Hec-Georas.	40
2.5	MARCO LEGAL	41
2.5.1	Ley 388 de 1997 o plan de ordenamiento territorial.....	41
2.5.2	Ley 46 de 1988.	41
2.5.3	Decreto 93 de 1998.	42
2.5.4	Artículo 3° del decreto –ley 919 de 1989.....	42
2.5.5	Decreto 1807 de 2014.	43
2.5.6	Ley 1523 de 2012.	43
2.5.7	Artículo 83 del decreto 2811 de 1974.....	43
2.5.8	Artículo 206 de la Ley 1450 del 2011.	44
3.	DISEÑO METODOLOGICO.....	44
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	45
3.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.4	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	46
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	46
4.1	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL ESTUDIO	47
4.1.1	Información hidrológica.	47
4.1.2	Levantamiento topobatimétrico.	49
4.2	INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO	49
4.3	MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL CAUCE DE LA ZONA DE ESTUDIO UTILIZANDO EL SISTEMA COMPUTACIONAL HEC-RAS.....	53

4.3.1	Parámetros hidráulicos del modelo HEC-RAS.....	53
4.3.2	Modelación en SIG con la extensión HEC-GeoRAS.	62
4.3.3	Calibración del modelo.....	66
4.3.4	Modelación en HEC-RAS.	66
4.3.5	Resultados de la modelación hidráulica en HEC-RAS.....	67
4.3	IDENTIFICACIÓN DE LAS COTAS DE INUNDACIÓN IMPLEMENTANDO EL MODELO MATEMÁTICO HEC-GEORAS	91
4.4	PLANTEAMIENTO A NIVEL CONCEPTUAL DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS QUE SE REQUIEREN EN LA ZONA DE ESTUDIO	105
4.4.1	Planteamiento 1.....	105
4.4.2	Planteamiento 2.....	105
4.4.3	Planteamiento 3.....	108
5.	CONCLUSIONES.....	111
6.	RECOMENDACIONES.....	113
	REFERENCIAS DOCUMENTOS ELECTRONICAS	114
	ANEXOS	118

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Coeficientes de rugosidad de Manning. Chow V. T., 1982.	33
Cuadro 2. Ecuaciones empíricos.	38
Cuadro 3. Datos de precipitación máxima en 24 horas, registrados en la universidad Francisco de Paula Santander.	45
Cuadro 4. Caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.	47
Cuadro 5. Inventario de la infraestructura existente en el tramo de estudio del río Tejo.	48
Cuadro 6. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 1.	54
Cuadro 7. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 2.	55
Cuadro 8. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 3.	56
Cuadro 9. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 4.	57
Cuadro 10. Cálculo del coeficiente de rugosidad por métodos empíricos.	58
Cuadro 11. Divisiones del tramo de estudio con respecto al coeficiente de rugosidad.	58
Cuadro 12. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para $Tr=100$ años.	83
Cuadro 13. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para $Tr=50$ años.	83
Cuadro 14. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para $Tr=25$ años.	85
Cuadro 15. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para $Tr=10$ años.	86
Cuadro 16. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones	87

transversales para $T_r=5$ años.

Cuadro 17. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 100 años.	94
Cuadro 18. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 50 años.	94
Cuadro 19. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 25 años.	95
Cuadro 20. Viviendas ubicadas en la ronda hídrica de la zona de estudio.	98
Cuadro 21. Ubicación de las estructuras de protección del sector en estudio.	106

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización zona de estudio, Ocaña, Norte de Santander.	43
Figura 2. Resultado de los hidrogramas obtenidos del modelo lluvia escorrentía propuesto en m ³ /seg, del modelo hidrológico empleado.	46
Figura 3. Granulometría de la muestra 1.	54
Figura 4. Granulometría de la muestra 2.	55
Figura 5. Granulometría de la muestra 3.	56
Figura 6. Granulometría de la muestra 4.	57
Figura 7. Modelo de elevación digital del terreno TIN en 3D de la zona de estudio.	60
Figura 8. Trazado del eje y márgenes del cauce.	61
Figura 9. Secciones transversales empleadas en la zona de estudio.	62
Figura 10. Importación del archivo con los datos geométricos del cauce.	63
Figura 11. Geometría del cauce modelada en el estudio hidráulico.	64
Figura 12. Agregar caudales para cada periodo de retorno.	64
Figura 13. Perfil de flujo del tramo de estudio del Río Tejo para los periodos de retorno Tr=5,10, 25,50 y 100 años.	65
Figura 14. Perfil de flujo en 3D.	66
Figura 15. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.	67
Figura 16. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.	68
Figura 17. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de	69

la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	
Figura 18. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	70
Figura 19. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	71
Figura 20. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	72
Figura 21. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	73
Figura 22. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	74
Figura 23. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	75
Figura 24. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	76
Figura 25. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	77
Figura 26. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	78
Figura 27. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	79
Figura 28. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	80
Figura 29. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	81
Figura 30. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio $Tr=5, 10, 25, 50, 100$ años. WS =nivel del agua.	82
Figura 31. Planicie de inundación para el periodo de retorno $Tr=100$ años de la zona de estudio.	89
Figura 32. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=50$ años de	90

la zona de estudio.

Figura 33. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=25$ años de la zona de estudio.	91
Figura 34. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=10$ años de la zona de estudio.	92
Figura 35. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=5$ años de la zona de estudio.	93
Figura 36. Ronda hídrica delimitada para la zona de estudio.	97
Figura 37. Geometría del canal de la sección 643 hasta la sección 594.	103
Figura 38. Geometría del canal de la sección 580 hasta la sección 5.	103
Figura 39. Perfil del modelo en 3D del canal del sector en estudio.	104
Figura 40. Tabla de resultados de la modelación del canal.	104
Figura 41. Ubicación de las estructuras de protección requeridas en la zona de estudio.	107

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Sitio de toma de la muestra 1, puente El Tejarito	51
Fotografía 2. Sitio de toma de la muestra 2, que corresponde a aguas abajo del primer puente peatonal de la zona de estudio	52
Fotografía 3. Sitio de toma de la muestra 3, que corresponde a aguas arriba del puente El Tejarito parte baja	52
Fotografía 4. Sitio de toma de la muestra 4, que corresponde a aguas arriba del puente Santa Eudisia	53
Fotografía 5. Muestras secas para realizar la granulometría	53
Fotografía 6. Márgenes del tramo de estudio del río Tejo.	59

RESUMEN

Desde hace algunos años el municipio de Ocaña, Norte de Santander ha sufrido sucesos de inundaciones ocasionados por el desborde del Río Tejo como respuesta a las altas precipitaciones, afectando las edificaciones que se encuentran ubicadas dentro de la ronda hídrica. El presente trabajo de grado consiste en determinar las zonas susceptibles de amenaza por inundación en el tramo comprendido entre los puentes El Tejarito y Las Delicias con una longitud de 670 metros, ante eventos de crecientes extremas haciendo uso del software HEC-RAS y la extensión Hec-GeoRAS para plantear alternativas de solución.

Para llevar a cabo el estudio se tuvieron como objetivos recolectar y analizar la información como la cartografía, levantamientos topográficos, estudios hidrológicos e hidráulicos y registros de precipitación, realizar un inventario de la infraestructura existente en la zona, modelar hidráulicamente el cauce con el software HEC-RAS e identificar las cotas de inundación y plantear a nivel conceptual estructuras hidráulicas que se requieren en la zona de estudio para mitigar las inundaciones.

Para el desarrollo de este estudio la metodología empleada para establecer las zonas susceptibles a la amenaza por inundación, se realiza mediante la implementación de herramientas hidroinformáticas como el HEC-RAS que permite determinar los niveles de agua mediante la modelación de caudales correspondientes a cada periodo de retorno (5, 10, 25,50 y 100 años), los parámetros hidráulicos y la geometría del cauce. Luego con el archivo generado en HEC-RAS, se importa al sistema de información geográfica Arc-Gis 10.3.1 y la extensión Hec-GeoRAS, que trabajan en conjunto obteniendo como resultados los mapas correspondientes a las zonas inundadas para cada periodo de retorno estableciendo tres alternativas de solución como la reubicación de viviendas, canalización del tramo de estudio y la ubicación de estructuras hidráulicas con el fin de prevenir las inundaciones.

INTRODUCCION

El presente proyecto de grado tiene como título Estudio de amenaza por inundación del río Tejo en el tramo comprendido entre el puente El Tejarito y el puente Las Delicias en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander utilizando el software HEC-RAS y la extensión HEC-GEORAS, siendo de gran importancia para el área de ingeniería civil, ya que se convierte en un insumo básico para el desarrollo de futuros proyectos e investigaciones.

Las inundaciones son fenómenos naturales que se presentan cuando el agua contenida dentro de un cauce genera un aumento progresivo del nivel cubriendo zonas urbanas que normalmente están secas. Siendo uno de los eventos naturales que mayores estragos causa a nivel mundial, debido a la influencia antrópica, generando la degradación del suelo, la modificación de la forma de los cauces y el inadecuado ordenamiento territorial, como respuesta, el río trata de recuperar su espacio natural afectando comunidades enteras.

En Colombia gran parte de las inundaciones son originadas por el desbordamiento de los ríos, debido a las intensas lluvias en épocas invernales, éstas inundaciones pueden presentarse en ríos principales y también en pequeñas fuentes fluviales como quebradas y riachuelos, que frecuentemente por la expansión de la población en casi todas las regiones del país invaden las rondas hídricas alterando el comportamiento de los afluentes y posicionándose en situación de amenaza.

La problemática del sector en estudio son las inundaciones que se producen debido a los caudales máximos aumentando los niveles de agua que ocasionan desbordamiento del río afectando las viviendas ubicadas en puntos bajos o cercanos o en lugares de inundación ya conocidos y no cuentan con estructuras necesarias que protejan en el caso tal que se llegue a presentar un evento de crecientes extremas.

Por tal razón la presente investigación se enfoca en un estudio de amenaza por inundación en el tramo comprendido entre el puente El Tejarito y el puente Las Delicias del Río Tejo, que se encuentra ubicado dentro del casco urbano de Ocaña, Norte de Santander, el cual históricamente ha presentado inundaciones viéndose afectados los barrios El Tejarito, La Torcoroma, Venecia, la Urbanización Marina y Las Delicias. El objetivo principal es determinar las zonas susceptibles a la amenaza por inundación mediante la implementación de herramientas hidroinformáticas, cumpliendo a cabalidad todos los objetivos contemplados en el proyecto.

Finalmente la implementación de herramientas hidroinformáticas contribuye a desarrollar investigaciones de mejor calidad en un ambiente tecnológico.

1. ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las inundaciones son fenómenos naturales que se evidencian cuando el agua aumenta de nivel gracias a que los caudales máximos que se presentan en un río pueden ser mayores que su capacidad hidráulica, afectando directamente a las personas, a la infraestructura y a los bienes aledaños.

Por tal motivo se realizan estudios de inundación, los cuales permiten indagar la amenaza a la que se encuentran expuestas las comunidades que se ubican a los alrededores de la corriente que se estudia.

Con respecto a lo anterior se pretende realizar un estudio de amenaza por inundación en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, en el Río Tejo, comprendido en el tramo que inicia en el puente El Tejarito y culmina en el puente Las Delicias, clasificado según el P.O.T (Plan de Ordenamiento Territorial) como zona de amenaza por inundación alta y no cuenta con estructuras necesarias que protejan en el caso tal que se llegue a presentar un evento de crecientes extremas.

Para llevar a cabo la investigación se requiere la utilización de modelos matemáticos, como los que reúne el software HEC-RAS y HEC-GeoRAS que permiten la realización de modelos hidráulicos de cauces fluviales y canales con el objeto de estudiar el comportamiento de caudales de interés que fluyen por una geometría determinada.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Cómo plantear alternativas de solución a problemas asociados por la amenaza de inundación en el tramo que inicia en el puente del barrio El Tejarito y termina en el puente del barrio Las Delicias del Río Tejo?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Determinar las zonas susceptibles de amenaza por inundación en el tramo comprendido entre los puentes El Tejarito y Las delicias del Río Tejo, ante eventos de crecientes extremas, haciendo uso del software HEC-RAS y la extensión Hec-GeoRAS para plantear alternativas de solución.

1.3.2 Objetivos específicos. Recolectar y analizar la información requerida para el estudio como la cartografía, levantamientos topográficos, estudios hidrológicos e hidráulicos y registros de precipitación.

Realizar un inventario de la infraestructura existente en la zona de estudio.

Modelar hidráulicamente el cauce de la zona de estudio utilizando el sistema computacional HEC-RAS.

Identificar la cota de inundación implementando el modelo matemático Hec-GeoRAS.

Plantear a nivel conceptual estructuras hidráulicas que se requieren en la zona de estudio, necesarios para mitigar las inundaciones.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La ubicación de viviendas en las riberas de los ríos y en zonas bajas, el cambio de uso de suelo, la desforestación y las altas precipitaciones son los principales causantes de las inundaciones.

En el Río Tejo debido a los caudales elevados que se presentan asociados a las lluvias extremas es recurrente que la infraestructura adyacente al río se encuentre afectada. Por ésta razón se ve necesario realizar un estudio de amenaza por inundación, el cual está limitado para el tramo comprendido entre los puentes El Tejarito y Las Delicias que se considera como zona de amenaza por inundación alta, según información adquirida por la oficina de prevención y desastres de la alcaldía local a través del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (P.O.T), cumpliendo con el decreto 1807 de septiembre de 2014.

La realización de este estudio pretende plantear posibles soluciones con la implementación de herramientas informáticas que están estructuradas por medio de modelos matemáticos con el fin de generar resultados específicos.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 Geográficas. Este estudio se va a realizar en el tramo del Río Tejo que comienza en el puente El Tejarito con coordenadas del sistema MAGNA Colombia Bogotá Norte: 1402336.512 y Este: 1079385.922 culminando en el puente Las Delicias con coordenadas Norte: 1402666.018 y Este: 1079212.206 de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, con una longitud de 670 metros.

1.5.2 Temporales. El estudio de amenaza por inundación se llevará a cabo durante seis meses, tiempo en el cual se logra presentar resultados que pueden ser considerados confiables.

1.5.3 Conceptuales. Mediante la investigación se van a tener en cuenta varios conceptos que se relacionan con el tema: caudales máximos, periodo de retorno, intensidad, precipitación, inundación, modelación hidráulica, amenaza, entre otros.

1.5.4 Operativas. Para la recolección de información que se necesita para el estudio se puede contar con la colaboración de entidades gubernamentales y con la comunidad. Además se debe utilizar el software HEC-RAS y HEC-GeoRAS de libre distribución.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTORICO

Las inundaciones son fenómenos naturales que han estado presente a lo largo de la Historia, principalmente provocado por el desborde de un río a causa de lluvias, tormentas tropicales, huracanes, y algunas veces por las acciones del ser humano, como la deforestación, la ubicación de las viviendas en zonas bajas y cercanas a los ríos o en lugares de inundación ya conocidos.¹

2.1.1 Historia de inundaciones a nivel mundial. Dentro de las inundaciones más grandes se encuentran las siguientes:

En 1881 y en 1993 el desbordamiento del río Misisipi ocasionó enormes daños en Kaskaskia, Illinois (Estados Unidos). La profundidad del agua en las zonas urbanas alcanzó hasta dos metros.

El 26 de diciembre de 2004 uno de los tsunamis más mortíferos de la historia golpeó las costas de Asia, devastando a Tailandia, Indonesia, Bangladesh, Sri Lanka, India, e incluso a países tan lejanos como Somalia.

Fuertes lluvias causaron una inundación sin precedentes en Minatitlán, Veracruz, México, en el 2008. Un 50 % de la cabecera municipal quedó sumergida en el agua.

A principios de agosto de 2010, el sur de Pakistán sufrió una de sus peores inundaciones. Lluvias torrenciales causaron la tragedia, que acabó con 1.600 vidas.

Uruguay fue víctima de una de las peores inundaciones de su historia en abril de 1959. Varios ríos se salieron de su cauce debido a lluvias torrenciales.

La Riada de Santa Teresa fue una inundación ocurrida en octubre de 1879 en la cuenca del río Segura, en las ciudades de Murcia y Orihuela, al sureste de España. El agua alcanzó hasta 10 metros de profundidad en las zonas urbanas.

El huracán Agnes tocó tierra en Florida, Estados Unidos, en junio de 1972. Este huracán trajo consigo la muerte de 129 personas y dejó más de 11 mil millones de dólares en pérdidas materiales.²

¹ UNISDR. Oficina de las naciones unidas para la reducción del riesgo de desastres. Inundaciones. [Online]. Panamá, Panamá. Copyright 2001-2008. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/inundacion.htm>

² Las mayores inundaciones de la historia. En: Diario ADN, EL TIEMPO Casa editorial. [Online]. Bogotá. [s.n]. COPYRIGHT 2015. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://diarioadn.co/especiales/galer%C3%ADAs/peores-inundaciones-del-mundo-7.126546>

2.1.2 Historia de inundaciones a nivel nacional. Es de gran interés destacar las inundaciones en Colombia que han jugado un papel relevante con respecto a la pérdida de bienes, vidas y la propagación de enfermedades, además, la generación de desplazamientos e incremento de la tasa de pobreza. Dentro de las inundaciones de gran magnitud que han azotado al país colombiano se encuentran las siguientes:

Municipio de la comunidad de Nechi (Antioquia), en Colombia, afectada por las inundaciones producidas por el desbordamiento del río Cauca en noviembre de 2008. Cerca de 1.700 familias fueron afectadas.

El deshielo del volcán Nevado del Ruíz provocó una avalancha que borró del mapa de Colombia al pueblo de Armero, Tolima, dejando un saldo de 25.000 muertos.

Poblaciones ribereñas del Magdalena, afectadas por las lluvias e inundaciones que dejaron 16 muertos y más de 124 mil damnificados en mayo de 2008.³

A finales de noviembre de 1949 el río Cauca se desbordó e inundó de nuevo diversas zonas, entre ellas, Puerto Mallarino, 2360 personas salieron damnificadas.⁴

Desbordamiento del río Bogotá. La situación dejó cerca de 60 mil damnificados, 30 mil hectáreas inundadas y cuantiosas pérdidas que solo en el sector agropecuario, hasta mayo del 2011, sumaron cerca de 300 mil millones de pesos.⁵

En el 2008 por desbordamiento del río Magdalena causa desastres en Plato-Magdalena dejando 20.000 damnificados.⁶

En 2010 el municipio El Carmen del Darién, ubicado en Chocó, Colombia; sufrió una de las peores inundaciones causada por el desbordamiento del río Atrato, que lo atraviesa de sur a norte.⁷

³ MARQUEZ, Germán. Las inundaciones: De proceso natural a catástrofe humana. Universidad Nacional de Colombia. [Online]. ed. UN Periódico Impreso No. 119. [s.l.] Feb. 08 de 2009. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/las-inundaciones-de-proceso-natural-a-catastrofe-humana.html>

⁴ VELASQUEZ, Andrés. JIMÉNEZ Nayibe. La gestión de riesgos en el ordenamiento territorial: inundaciones en Cali, la c.y.c y el fenómeno ENSO. [Online]. Cali. Septiembre 13 del 2004. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: http://www.osso.org.co/docu/congresos/2004/A_Velasquez_Articulo_OSSO-UV.pdf

⁵ BORRÁEZ, Alejandro. Hay que devolverle el terreno robado al río Bogotá, UN periódico Universidad Nacional de Colombia. [Online]. Bogotá. [s.f.] [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet : <http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/hay-que-devolverle-el-terreno-robado-al-rio-bogota.html>

⁶ Desbordamiento del Río Magdalena deja 20 mil damnificados en municipio de Plato. En: Noticias terra. [Online] [s.l.] [s.n.] Diciembre 15 de 2008. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.terra.com.co/actualidad/articulo/html/acu17230-desbordamiento-del-rio-magdalena-deja-20-mil-damnificados-en-municipio-de-plato.htm>

⁷ Las mayores inundaciones de la historia. En: Diario El Nacional. [Online]. Caracas (Venezuela). [s.n.] Abril 3 del 2013. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: http://www.el-nacional.com/mundo/mayores-inundaciones-historia_5_165633444.html

2.1.3 Historial de inundaciones a nivel departamental. Las inundaciones en el departamento Norte de Santander son fenómenos que azotan a los habitantes en las temporadas de invierno siendo este el principal motivo de inundación el cual deja tras cada ola invernal varios damnificados, unos de los sucesos relevantes de inundación se presentan a continuación:

Abril del 2011 inundación en el municipio de Pamplona debido al desbordamiento de la quebrada Navarro.⁸

Febrero del 2013 cinco barrios de la ciudad de Cúcuta y 25 familias fueron afectadas tras la ola invernal la cual produjo inundaciones.⁹

Abril del 2011 inundación en Gamarra dejando 9 barrios afectados y 2700 habitantes damnificados por desbordamiento del río Magdalena.¹⁰

2.1.4 Historia de inundaciones a nivel local. De acuerdo con la información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), Ocaña es uno de los municipios de Norte de Santander que han estado en alerta por el desbordamiento de ríos. Dentro de los puntos más críticos en el Municipio son: Tacaloa, San Antonio, La Piñuela, La Gloria, El Tejarito, Santa Cruz, Las Villas, 20 de Julio y Caracolí.¹¹

A continuación se mencionan las inundaciones que se han presentado en el tramo de estudio del río Tejo.

El 24 y 25 de octubre de 1984 se inundaron los barrios El Tejarito, La Torcoroma y Las delicias.

El 7 de octubre de 1984 se presenta una nueva inundación en el barrio El Tejarito en el cual inspeccionan el lugar e hicieron las evaluaciones correspondientes, de igual manera en La Torcoroma y Las Delicias.

⁸ Turistas piden apoyo para salir de Pamplona tras inundación. En: Caracol Radio. [Online].Bogotá. Abril 23 de 2011. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet:<http://www.caracol.com.co/noticias/regionales/turistas-piden-apoyo-para-salir-de-pamplona-tras-inundacion/20110423/nota/1459050.aspx>

⁹ 25 familias afectadas por inundaciones en la capital de Norte de Santander. En: RCN La Radio. [Online]. [s.l.] [s.n.] Febrero 9 del 2013. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.rcnradio.com/noticias/25-familias-afectadas-por-inundaciones-en-la-capital-de-norte-de-santander-48663>

¹⁰ 2.700 damnificados dejan inundaciones en Gamarra. En: Noticias el Heraldo. [Online].Valledupar. 24 de Abril de 2011. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.elheraldo.co/region/2700-damnificados-dejan-inundaciones-en-gamarra-18071>

¹¹ Noticias de Ocaña Norte de Santander. En: La Opinión. [Online].Cúcuta. [s.n.] [s.f.] [Citado el 21 de febrero del 2015].Disponible en internet: http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com_content&task=view&id=450039

El primero de noviembre de 1989 se informa de una inundación de algunas viviendas en el barrio Urbanización Marina.

En 1989 el 31 de octubre se presenta una inundación en el barrio Venecia.¹²

2.2 MARCO CONTEXTUAL

El estudio de amenaza por inundación se realiza en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, en el Río Tejo, en el tramo localizado entre los puentes El Tejarito y Las Delicias. Este municipio se encuentra sobre la cordillera oriental en un territorio en el cual la región toma su nombre debido a su extensa área de influencia.

Es la segunda ciudad del Departamento de Norte de Santander con 97.479 habitantes (a 2014) y está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste. Su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m; la superficie del municipio es 463Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La región en donde se encuentra Ocaña, se denomina "Provincia de Ocaña" la cual tiene un área de 8.602 km². Posee una altura máxima de 2.065 metros sobre el nivel del mar y una mínima de 761 metros sobre el nivel del mar.

La temperatura promedio es de 22 °C. Piso térmico templado, con una temperatura no menor a los 8 °C y no mayores a los 30 °C. Precipitaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales, las lluvias durante el primer semestre son escasas. Los meses de lluvia son, agosto, septiembre, octubre y noviembre, éste último es aprovechado para los cultivos semestrales.¹³

2.2.1 Hidrografía. El suelo ocañero está regado por el Río Catatumbo: por el Río Tejo y por varias quebradas. El Catatumbo: nace con el nombre de Oroque, en la serranía de Jurisdicciones, en una rama de la Cordillera Oriental del municipio de Ábrego en una finca llamada antiguamente "Muela de Perro", hoy denominada "La María" donde está la laguna "Pan de Azúcar" de la que parte. Dos corrientes, la oriental llamada de "Las Doradillas" que se convierte en el Río Oroque y la occidental o de "Las Chorreras", que da vida al Río Frío.

Ambas descienden por vertientes abruptas con rumbo sur-norte. Antes de Ábrego, en las veredas del "Otro Lado" y Soltadero" se unen las dos vertientes tomando el nombre de río de "Los Carates" que al recibir las aguas de la quebrada de "Los Pozos" recibe el nombre de Algodonal para atravesar la Llanada de Abrión, pasa por el boquerón de Angostura, precipita en la depresión de Ocaña donde recibe al río Tejo; cambia su rumbo hacia el

¹² GALLARDO, Romel. Proyecto: amenaza por deslizamientos e inundaciones en la ciudad de Ocaña. Línea de investigación: gestión del riesgo. Grupo de investigación en geotecnia y medio ambiente – Gigma. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña. 2014. 22 p.

¹³ Alcaldía de Ocaña. Informe general del municipio de Ocaña. [Online]. Ocaña. [s.f.] [Citado el 25 de febrero, 2015]. Disponible en internet: http://ocana-nortedesantander.gov.co/apc-aa-files/38343339653963383637363461323363/INFORME_GENERAL_DEL_MUNICIPIO.pdf

noroeste y sigue bordeando las faldas de la sierra de Teorama, el nombre de Algodonal lo conserva hasta el puente del carretable que une los municipios de Teorama y San Calixto. Continúa para recibir más adelante la quebrada del Banco unida a la Búrbura; sigue su curso noroeste hasta recibir la quebrada Tiradera o Cartagena, y allí describe un arco en cuyo fin recoge las aguas del Tarra: después de esta afluencia el Catatumbo toma dirección Norte y describe otra gran curva hasta recibir las aguas del río San Miguelito y traza otro arco nuándrico hasta la desembocadura del Río de Oro, luego de lo cual penetra en territorio venezolano y vierte finalmente sus aguas al lago de Maracaibo. Como Algodonal tiene una longitud de 40 kilómetros.

El Río Tejo de seis y media leguas de largo, 20 km, recoge todas las aguas de la depresión ocañera e irriga el municipio. Durante varios siglos fue la principal fuente de agua potable de los ocañeros.

Las quebradas son numerosas pero por lo general se secan en determinadas épocas del año. Son de relativa importancia: La Cagona que también se denomina del Mal Nombre o del Enol porque recibe las aguas negras de Ocaña, desemboca en el Río Chiquito, con extensión de 4 Km; también de aguas negras, que rinde su caudal al río Tejo. (Actualmente varias de ellas canalizadas). La quebrada del Estanco que forma en su recorrido una serie de cañones angostos que no permite que sus aguas sean utilizadas para la agricultura. La Quebrada de Venadillo con extensión de 5 km, La de La Vaca con 3 km y La Quebrada Seca con 2 km.¹⁴

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Amenaza. Una amenaza es un factor del riesgo que representa la posibilidad de que ocurra un evento natural o causado por la acción humana, que pueda causar daño a una población vulnerable.

2.3.2 Tipos de amenaza. Existen diferentes tipos de amenazas:

2.3.2.1 Naturales. En algunos casos son aquellas en las que el ser humano no interviene en su origen y ocurrencia.

2.3.2.2 Geológicas. Sismos, erupciones volcánicas, maremotos, deslizamientos y erosiones.

2.3.2.3 Hidrometeorológicas. Huracanes, tormentas tropicales y eléctricas, tornados, fenómeno de El Niño, sequías, incendios espontáneos e inundaciones.

¹⁴ Alcaldía de Ocaña. Informe general del municipio de Ocaña. [Online]. Ocaña. [s.f.] [Citado el 25 de febrero, 2015]. Disponible en internet: http://ocana-nortedesantander.gov.co/apc-aa-files/38343339653963383637363461323363/INFORME_GENERAL_DEL_MUNICIPIO.pdf

2.3.2.4 Socio natural. Se expresan generalmente a través de eventos de origen natural combinados con la acción del ser humano, (inundaciones, sequías, deslizamientos, erosiones, otros). Este tipo de amenazas, aparentemente naturales, son provocados, en la mayoría de los casos, por acciones humanas como: la deforestación, el manejo inadecuado de los suelos, por la construcción de obras de infraestructura sin respetar el ambiente y la contaminación, entre otras.

2.3.2.5 Antrópicas. Son aquellas producidas por el ser humano (contaminación, epidemias, incendios, accidentes, guerras explosiones peligrosas, derrames de sustancias nocivas, terrorismo).¹⁵

2.3.3 Inundación. Es el evento que debido a la precipitación (lluvia, nieve o granizo extremo), oleaje, marea de tormenta o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

2.3.4 Tipos de inundaciones. Las inundaciones pueden clasificarse como pluviales, fluviales, costeras y relacionadas con la falla de infraestructura hidráulica.

2.3.4.1 Inundaciones pluviales. Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días, hasta que se evapora y el terreno recupere su capacidad de infiltración.

2.3.4.2 Inundaciones fluviales. Se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos.

La precipitación pluvial se mide en milímetros y en cierto lapso (intensidad). El tiempo de duración de la lluvia es muy importante. No es lo mismo que lluevan 50 mm en 24 h, a que esos 50 mm se registren en 2 h.

2.3.4.3 Inundaciones costeras. Se presentan debido a los vientos intensos de un ciclón, en forma de marea de tormenta y permite que este penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno.

2.3.4.4 Inundaciones relacionadas con la falla de infraestructura hidráulica. Existe otra causa que puede generar una inundación, aún más grave que las antes mencionadas: si

¹⁵ UNICEF ORG .Manual para Docentes de Educación Básica General (Preescolar, Primaria y Premedia). [Online]. Panamá, República de Panamá. Junio de 2009. [Citado 19 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.unicef.org/lac/ManualPrevencionRiesgo.pdf>

la capacidad de las obras destinadas para protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existieran esas obras.

Las causas pueden ser de diseño escaso, mala operación en obras de excedencia y/o compuertas, falta de compuertas, falta de mantenimiento o término de la vida útil de la obra.

Las obras hidráulicas deben estar diseñadas para operar ante niveles ordinarios y extraordinarios del agua que contienen. Sin embargo, algunas veces es necesario desfogar o abrir en forma controlada algunas compuertas para evitar un riesgo mayor.

Por el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca, se definen dos grupos :

- Inundaciones súbitas. Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Normalmente se asocian a terrenos con gran pendiente.
- Inundaciones lentas. Al ocurrir una precipitación capaz de saturar un terreno relativamente plano, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno.

Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado.¹⁶

2.3.5 Precipitación. En determinadas circunstancias el agua contenida en la atmósfera cae sobre la Tierra. Esta caída, o precipitación, puede ser en forma líquida, como lluvia, o de otras formas, como nieve o granizo. La precipitación es una de las manifestaciones del ciclo hidrológico; es su rama atmosférica, es la fuente de agua por excelencia; de ella se origina la escorrentía, tanto superficial como subterránea.

La precipitación usualmente se expresa en milímetros acumulados en un lugar durante un cierto tiempo. Se tiene así valores horarios, diarios, mensuales o anuales en una estación determinada.¹⁷

2.4 MARCO TEÓRICO

¹⁶ Sistema de protección civil. Inundaciones. [Online]. 1 ed. México D.F. Agosto 2009. [Citado 19 de febrero, de 2015]. Disponible en internet: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/377/1/images/folleto_i.pdf

¹⁷ ROCHA, Arturo. Recursos hidráulicos. [Online]. 1 ed. San isidro, Lima. Noviembre 1993. [Citado 22 de febrero de 2015]. Disponible en internet: http://www.academia.edu/6446706/RECURSOS_HIDRAULICOS

En el presente marco teórico se exponen cada una de las metodologías empleadas en los diferentes procesos para determinar las zonas susceptibles a la amenaza por inundación en el sitio de estudio del río Tejo.

Para llevar a cabo este análisis se hace uso del sistema de información geográfico ArcGIS 10.3.1 con licencia adquirida por la universidad Francisco de Paula Santander adjunta en el Anexo A.

ARC-GIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.¹⁸

A continuación se da a conocer el proceso necesario para llegar al objetivo de la investigación.

2.4.1 Estudio hidrológico. Tener un conocimiento puntual del comportamiento del agua en la zona de estudio es de gran importancia para el desarrollo de esta investigación para poder establecer áreas vulnerables a los eventos hidrometeorológicos extremos.

2.4.1.1 Descripción del modelo hidrológico (HEC-HMS). El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa.

El programa se deriva directamente del HEC-1, y conserva en esencia la misma filosofía de introducción de datos y secuencia de cálculos. El HMS, incluye la mayor parte de las rutinas de HEC-1 e incorpora como elementos adicionales:

Un método de transformación lineal de la escorrentía (basado en una modificación del hidrograma unitario de Clark) que puede utilizarse en una representación de la cuenca a

¹⁸ Esri programs. Que es arcgis. [Online]. [s.l.]. Copyright © 1995–2015 Esri. [Citado 20 de septiembre, 2015]. Disponible en internet:<http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

través de celdas, con datos distribuidos de precipitación obtenidos por ejemplo de registros de radar (una opción tecnológica que no tiene aún aplicación en nuestro país).

Una opción de pérdida distribuida de humedad en suelos que aplica el mismo principio de las celdas y puede utilizarse en simulaciones sobre períodos largos (de días o meses) y una opción de optimización, un poco más versátil que la del HEC-1.¹⁹

2.4.2 Estudio hidráulico. A continuación se presenta cada uno de los componentes del estudio hidráulico.

2.4.2.1 Modelo HEC RAS. HEC-RAS, modelo público desarrollado del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU, es un programa de hidráulica para modelar el comportamiento de un caudal artificial o en un cauce natural.

HEC-RAS tiene una interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso y post-proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con un sistema de información geográfica mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.²⁰

2.4.2.2 Parámetros hidráulicos del modelo HEC-RAS.

- **Coefficiente de rugosidad.**

El coeficiente de rugosidad es uno de los datos principales para la modelación hidráulica de una corriente, ya que es un parámetro que determina el grado de resistencia que ofrecen las paredes y el fondo del canal al flujo.

En el presente estudio se utilizará el coeficiente de Manning (n), parámetro de la ecuación que presentó Robert Manning en 1889 durante la lectura de un artículo en el Institute of Civil Engineers de Irlanda, la ecuación se presentó de forma complicada y luego fue simplificada a:

$$V = C * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}},$$

Donde V es la velocidad media, $C = R^{\frac{1}{3}} \frac{1}{n}$ el factor de resistencia al flujo, R el radio hidráulico y S la pendiente longitudinal del canal.

¹⁹CAÑÓN BARRIGA, Julio Eduardo. Taller de aplicación de HEC-HMS Universidad Nacional de Colombia. [Online].Bogotá. [s.f.] [Citado 20 de septiembre, 2015]. Disponible en internet:http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/caracter%EDsticas.htm

²⁰ US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS. [Online]. USA. [s.f.]. [Citado 31 de Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Según Ven Te Chow nos indica que: seleccionar adecuadamente el valor de “n” significa hacer una buena estimación de la resistencia al escurrimiento en un canal dado. Una guía apropiada para la determinación del coeficiente de rugosidad tendría que pasar por comprender 4 caminos generales, a saber:

- a) Comprender los factores que afectan, el valor de “n” y así adquirir un conocimiento básico del problema y reducir el ancho campo de suposiciones.
- b) Consultar un cuadro de valores típicos n para canales de varios tipos.
- c) Examinar y hacerse familiar con la aparición de algunos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos, y
- d) Determinar el valor de n a través de un procedimiento analítico basado sobre la distribución teórica de la velocidad en la sección transversal del canal y sobre los datos de medidas de velocidad o de rugosidad.²¹

De acuerdo a lo anterior, el coeficiente de rugosidad n de Manning se puede calcular por medio del siguiente cuadro que muestra valores típicos para un determinado tipo de canal.²²

²¹ VILCA, Mario. Simulación hidráulica aplicada, usando HEC-RAS. [Online]. Chiclayo, Perú. [s.f.]. [Citado 31 de Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.gabrielortiz.com/%5C/descargas/manual-hecras.pdf>

²² DUQUE GUZMÁN, Lina Marcela. Coeficiente de rugosidad de Manning. [Online] [s.l.] [s.n.] [s.f.] [Citado 19 de septiembre, de 2015]. Disponible en internet: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/manning/manning.html>

Cuadro 1. Coeficientes de rugosidad de Manning. Chow V. T., 1982.

Tipo de cauce y descripción	Valor de <i>n</i>		
	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A1) Metal			
a) Latón liso	0.009	0.010	0.013
b) Acero			
Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c) Hierro fundido			
Recubierto	0.010	0.013	0.014
No recubierto	0.011	0.014	0.016
d) Hierro forjado			
Negro	0.012	0.014	0.015
Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e) Metal corrugado			
Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A2) No metal			
a) Lucita	0.008	0.009	0.010
b) Vidrio	0.009	0.010	0.013
c) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
d) Concreto			
Alcantarilla, recta y libre de basuras.	0.010	0.011	0.013
Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras.	0.011	0.013	0.014
Bien terminado.	0.011	0.012	0.014
Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto.	0.013	0.015	0.017
Sin pulir, formaleta y encofrado metálico.	0.012	0.013	0.014
Sin pulir, formaleta y encofrado en madera lisa.	0.012	0.014	0.016
Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa.	0.015	0.017	0.020
e) Madera			
Machihembrada	0.010	0.012	
Laminada, tratada	0.015	0.017	
f) Arcilla			
Canaleta común de baldosas.	0.011	0.013	0.017
Alcantarilla vitrificada.	0.011	0.014	0.017
Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
Subdrenaje vitificado con juntas abiertas.	0.014	0.016	0.018

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de cauce y descripción	Valor de <i>n</i>		
	Mínimo	Normal	Máximo
g) Mampostería en ladrillo			
Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h) Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones.	0.012	0.013	0.016
i) Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso.	0.016	0.019	0.020
j) Mampostería de piedra, cementada.	0.018	0.025	0.030
B) Canales revestidos o desarmables			
B1) Metal			
a) Superficie lisa de acero			
Sin pintar	0.011	0.012	0.014
Pintada	0.012	0.013	0.017
b) Corrugado	0.021	0.025	0.030
B2) No metal			
a) Cemento			
Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
Mortero	0.011	0.013	0.015
b) Madera			
Cepillada, sin tratar.	0.010	0.012	0.014
Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
Láminas con listones.	0.012	0.015	0.018
Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c) Concreto			
Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
Sin pulir.	0.014	0.017	0.020
Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d) Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de:			
Piedra labrada, en mortero.	0.015	0.017	0.020
Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.029	0.030	0.035
e) Fondo de gravas con lados de:			
Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
Piedra sin seleccionar, sobre mortero.	0.020	0.023	0.026
Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de cauce y descripción	Valor de <i>n</i>		
	Mínimo	Normal	Máximo
f) Ladrillo			
Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g) Mampostería			
Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
Piedra suelta o riprap	0.023	0.032	0.035
h) Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i) Asfalto			
Liso	0.013	0.013	
Rugoso	0.016	0.016	
j) Revestimiento vegetal	0.030	...	0.500
C. Excavado o dragado			
a) En tierra, recto y uniforme			
Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
Limpio, después de exposición a la intemperie.	0.018	0.022	0.025
Con gravas, sección uniforme, limpio.	0.022	0.025	0.030
Con pastos cortos, algunas malezas.	0.022	0.027	0.033
b) En tierra, serpenteante y lento			
Sin vegetación.	0.023	0.025	0.030
Pastos, algunas malezas.	0.025	0.030	0.033
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos.	0.030	0.035	0.040
Fondo en tierra con lados en piedra.	0.028	0.030	0.035
Fondo pedregoso y bancas con maleza.	0.025	0.035	0.040
Fondo en cantos rodados y lados limpios.	0.030	0.040	0.050
c) Excavado con pala o dragado			
Si vegetación.	0.025	0.028	0.033
Matorrales ligeros en las bancas.	0.035	0.050	0.060
d) Cortes en roca			
Lisos y uniformes.	0.025	0.035	0.040
Afilados e irregulares.	0.035	0.040	0.050
e) Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
Malezas densas, tan altas como la profundidad del flujo.	0.050	0.080	0.120
Fondo limpio, matorrales en los lados.	0.040	0.050	0.080
Igual, nivel máximo del flujo.	0.045	0.070	0.110
Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de cauce y descripción	Valor de <i>n</i>		
	Mínimo	Normal	Máximo
D. Cauces naturales menores (ancho superior a nivel de crecida menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Fondo: canto rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie crecida			
1) Pastos, sin arbustos			
• Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
• Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
• Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
• Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
• Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
• Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
• Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
• Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
• Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
• Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160

Cuadro 1. (Continuación)

Tipo de cauce y descripción	Valor de n		
	Mínimo	Normal	Máximo
4) Árboles			
· Sauces densos, en verano, y rectos	0.110	0.150	0.200
· Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
· Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
· Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
· Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que las bancas ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

“Los valores normales para canales artificiales son recomendados solamente para canales con buen mantenimiento”, Chow, V. T., 1982.

Fuente. Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow.²³

Otra metodología que se puede definir para hallar el coeficiente de rugosidad es a partir de datos tomados en campo. Existen en la literatura numerosas expresiones que permiten estimar el coeficiente de rugosidad de Manning a partir de la granulometría del lecho. Para cauces en lechos de grava, como son la mayoría de los ríos de montaña colombianos, las expresiones que mejor se comportan (Posada, 1998) son:

Cuadro 2. Ecuaciones empíricas

²³CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. [Online].1994. Bogotá, Colombia. [Citado 21 de septiembre,2015].Disponible en internet: <http://es.slideshare.net/kathe020/ventechowhidraulicadecanalesabiertos?related=1>

Meyer – Peter & Muller, 1948	$n=0.038*D_{90}^{1/6}$
Raudkivi, 1976	$n=0.0411*D_{65}^{1/6}$
Simons y Senturk, 1976	$n=0.0389*D_{50}^{1/6}$
Garde & Raju, 1978; Subramanya, 1982	$n=0.047*D_{50}^{1/6}$
Bray, 1979	$n=0.0593*D_{50}^{0.179}$

En éstas ecuaciones D50, D65 y D90 son diámetros característicos del material del lecho, hallados a partir de su curva granulométrica

Con muestreos realizados en numerosos ríos de Antioquia, Risaralda y el Quindío, se obtuvo la siguiente ecuación para calcular el coeficiente de rugosidad a partir del diámetro medio del material del lecho (Posada, 1998):

$$n=0.0487*D_{50}^{1/6}$$

Dónde:

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

D₅₀ : Diámetro medio de las partículas en mm.²⁴

2.4.3 Zonas susceptibles de amenaza por inundación. Para realizar este proceso se hace uso del sistema de información geográfico ARC-GIS 10.3.1 con la extensión Hec-GeoRAS, para delimitar las zonas susceptibles de amenaza por inundación en el tramo de estudio del río Tejo.

2.4.3.1 Extensión Hec-Georas. El Hec-GeoRAS es una extensión desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS.²⁵

²⁴ Análisis de caudales. [Online] [s.n][s.l][s.f] [Citado 8 de octubre,2015].Disponible en internet: [http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales\(2\)\(2\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales(2)(2).pdf)

²⁵ MOLERO, Emilio. Manual Básico de HEC-GeoRAS 10. [Online]. 3era edición. Granada. Febrero de 2013. [Citado 26de abril de 2015].Disponible en internet: http://www.urbanismogranada.com/administrador/archivos/17_04_13_manualHecGeoRASv3_2013.pdf

2.5 MARCO LEGAL

A continuación se especifica la normatividad que se debe tener en cuenta para la prevención y atención de desastres.

2.5.1 Ley 388 de 1997 o plan de ordenamiento territorial. El congreso de Colombia decreta:

ARTÍCULO 1o. OBJETIVOS.

La presente ley tiene por objetivos:

1. Armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9a. de 1989 con las nuevas normas establecidas en la Constitución Política, la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la que se crea el Sistema Nacional Ambiental.
2. El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.
3. Garantizar que la utilización del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios, y velar por la creación y la defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.
4. Promover la armoniosa concurrencia de la Nación, las entidades territoriales, las autoridades ambientales y las instancias y autoridades administrativas y de planificación, en el cumplimiento de las obligaciones constitucionales y legales que prescriben al Estado el ordenamiento del territorio, para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.
5. Facilitar la ejecución de actuaciones urbanas integrales, en las cuales confluyan en forma coordinada la iniciativa, la organización y la gestión municipales con la política urbana nacional, así como con los esfuerzos y recursos de las entidades encargadas del desarrollo de dicha política.²⁶

2.5.2 Ley 46 de 1988. Diario Oficial No 38.559, del 2 de noviembre de 1988, el congreso de Colombia, por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y

²⁶ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 388 de 1997 o plan de ordenamiento territorial. [Online]. (Julio 18 de 1997). Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1997. No. 43.091. [Citado el 25 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339>

Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al Presidente de la República, y se dictan otras disposiciones.²⁷

2.5.3 Decreto 93 de 1998. Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. El presidente de la república de Colombia, en ejercicio de sus facultades constitucionales y legales, en especial de las que le confiere el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, y en desarrollo del artículo 3 del Decreto-ley 919 de 1989.²⁸

2.5.4 Artículo 3° del decreto –ley 919 de 1989. Plan nacional para la prevención y atención de desastres.

La Oficina Nacional para la Atención de Desastres elaborará un Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el cual, una vez aprobado por el Comité Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, será adoptado mediante decreto del Gobierno Nacional.

El Plan incluirá y determinará todas las políticas, acciones y programas, tanto de carácter sectorial como del orden nacional, regional y local que se refieran, entre otros, a los siguientes aspectos:

- a) Las fases de prevención, atención inmediata, reconstrucción y desarrollo en relación con los diferentes tipos de desastres y calamidades públicas;
- b) Los temas de orden económico, financiero, comunitario, jurídico e institucional;
- c) La educación, capacitación y participación comunitaria;
- d) Los sistemas integrados de información y comunicación a nivel nacional, regional y local;
- e) La coordinación interinstitucional e intersectorial;
- f) La investigación científica y los estudios técnicos necesarios;
- g) Los sistemas y procedimientos de control y evaluación de los procesos de prevención y atención.²⁹

²⁷ COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 46 de 1988. [Online]. (Noviembre 2 de 1988). Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al Presidente de la República, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1988. No 38.559. [Citado el 24 de febrero de 2015]. Disponible en internet:http://cucuta-nortedesantander.gov.co/apc-aa-files/62386432626334366463316438613539/ley_46_de_1988.pdf

²⁸ COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 93. [Online]. (Enero 13 de 1998). Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1998. No. 43.217.[Citado el 24 de febrero de 2015].Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3454>

²⁹COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Artículo 3° del decreto –ley 919. [Online]. (Mayo 1 de 1989). Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan

2.5.5 Decreto 1807 de 2014. Diario Oficial No. 49.279 de 19 de septiembre de 2014. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.³⁰

2.5.6 Ley 1523 de 2012. Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.³¹

2.5.7 Artículo 83 del decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la Ley 23 de 1973 y previa consulta con las comisiones designadas por las Cámaras Legislativas y el Consejo de Estado, respectivamente, decreta:

Artículo 83°.- Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado:

- a.- El álveo o cauce natural de las corrientes;
- b.- El lecho de los depósitos naturales de agua;
- c.- La playas marítimas, fluviales y lacustres;
- d.- Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho;
- e.- Las áreas ocupadas por los nevados y por los cauces de los glaciares;
- f.- Los estratos o depósitos de las aguas subterráneas.³²

otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1989. No.38799. [Citado el 24 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13549>

³⁰COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 1807. [Online]. (Septiembre 19 de 2014). Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2014. No. 38799. [Citado el 24 de abril de 2015]. Disponible en internet: <https://www.redjurista.com/Documents/d1807014.aspx>

³¹COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1523. [Online]. (Abril 24 de 2012). Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. . Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2012. No. 48411.[Citado el 24 de abril de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

³² COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Artículo 83° del decreto 2811 de 1974. [Online]. (Diciembre 18 de 1974). Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1974. No. 34243. [Citado el 13 de octubre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

2.5.8 Artículo 206 de la Ley 1450 del 2011. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. EL CONGRESO DE COLOMBIA, decreta:

Artículo 206. Rondas hídricas. Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional.³³

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

³³ COLOMBIA.CONGRESO DE LA REPUBLICA. Artículo 206° de la Ley 1450 del 2011. [Online]. (Junio 16 de 2011). Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2011. No. 48102. [Citado el 13 de octubre de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=43101>

Descriptiva, porque parte de una situación problemática que requiere ser intervenida y mejorada proponiendo alternativas de solución. Además es de tipo cuantitativa ya que el estudio de datos y resultados es de forma numérica.

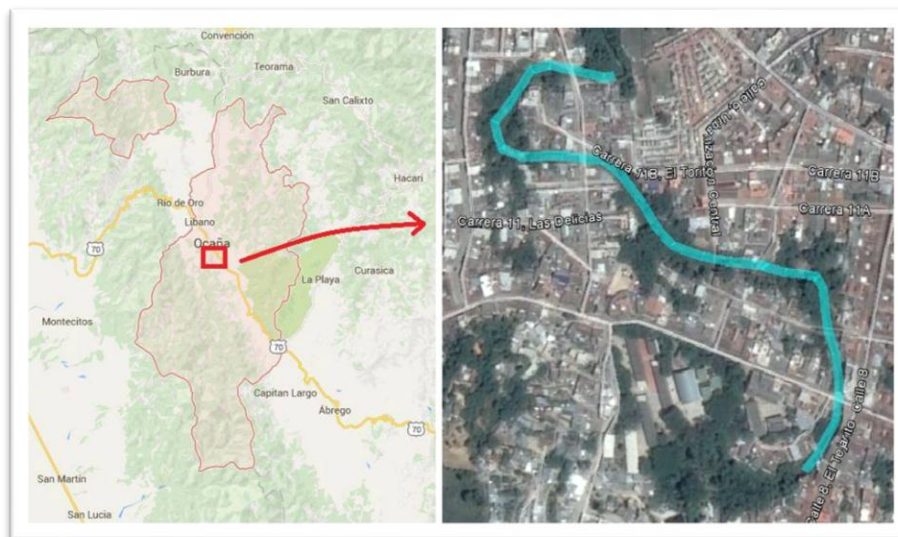
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Ocaña está situado a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste con una altura sobre el nivel del mar de 1.202 m. La superficie del municipio es de 460Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La extensión total es de 672.27 Km², la extensión del área urbana es de 6.96 Km² y la extensión del área rural es de 620.76 Km².

Limita por el Norte con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar) y con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen. Por el Occidente limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar). Por el Oriente limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego. Por el sur limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar).

La zona de estudio se encuentra localizada en el tramo comprendido entre el puente del barrio El Tejarito y el puente del barrio Las Delicias del Río Tejo, en el cual la dinámica natural se ha visto afectada durante épocas de invierno, ocasionando inundaciones en éste sector del municipio.

Figura 1. Localización zona de estudio, Ocaña, Norte de Santander.



Fuente. Google Earth.

3.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La técnica y método de recolección de información a utilizar para el desarrollo de este proyecto es mediante fuentes de información secundarias donde se recurre a informes

técnicos, registros topo batimétricos y manuales como guía para la implementación del software requerido para los procedimientos de modelación. No obstante, para el apoyo, consulta y análisis se hace uso de la fuente primaria del internet.

La información obtenida será utilizada para la realización de actividades que sirvan de insumo para la obtención de resultados óptimos que reflejen el comportamiento real de la dinámica fluvial del río en el tramo de estudio.

3.4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de información se desarrollará de la siguiente manera:

Para realizar el estudio de amenaza por inundación se necesita información básica como estudios hidrológicos o registros de precipitación e información topográfica y batimétrica de la zona de estudio, para ello la información se va adquirir a través de estudios realizados en el mismo sector. De igual manera se debe conocer la infraestructura existente a lo largo del tramo de estudio por medio de un trabajo de campo en el cual se identifican cada una ellas.

Para llevar a cabo el objetivo general se debe modelar hidráulicamente el cauce de la zona de estudio con la información recolectada mediante el software HEC-RAS 4.1, luego en la extensión HEC-GeoRAS se determinará las zonas susceptibles a la amenaza por inundación. De acuerdo a la situación que se presente se debe plantear a nivel conceptual estructuras hidráulicas para mitigar las inundaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL ESTUDIO

4.1.1 Información hidrológica. Para el presente proyecto la información hidrológica es obtenida a partir de los resultados del estudio hidrológico realizado por un proyecto de socavación y erosión en el mismo sector y está orientado en la obtención de caudales en un punto específico del Río Tejo para diversos periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años).

Para el presente estudio, la información meteorológica empleada, corresponde a la registrada en la estación Universidad Francisco de Paula Santander, a partir de esta información se elaboraron las curvas IDF, empleadas en el presente estudio.

En el cuadro 2 se presentan los valores de precipitación máxima en 24 horas, para el periodo de registros.

Cuadro 3. Datos de precipitación máxima en 24 horas, registrados en la universidad Francisco de Paula Santander.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	0.030	0.03
1992	45.0	0.0	0.0	30.0	25.0	33.0	15.0	30.0	25.0	20.0	36.0	7.0	45.00
1993	8.0	10.0	37.0	24.0	24.0	8.0	15.0	22.0	16.0	20.0	10.0	0.0	37.00
1994	2.3	27.0	6.0	103.0	56.0	2.0	33.0	28.4	34.9	26.9	48.0	6.0	103.00
1995	3.7	0.6	29.0	48.5	50.0	44.0	24.0	25.0	60.0	33.0	48.0	2.0	60.00
1996	1.0	1.0	38.0	32.0	26.0	44.0	75.0	12.0	27.1	68.7	18.0	11.0	75.00
1997	9.0	0.2	11.4	41.4	31.8	20.4	9.4	15.6	30.5	15.2	50.2	0.0	50.20
1998	16.4	14.4	87.0	26.0	25.6	26.6	31.0	37.0	43.0	29.9	14.8	13.6	87.00
1999	0.8	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	0.80
2000	21.3	11.9	1.8	9.6	59.9	12.7	12.4	14.6	88.6	22.4	25.2	70.2	88.60
2001	3.5	0.0	10.4	9.8	43.5	8.2	29.4	12.0	30.0	30.5	34.2	22.6	43.50
2002	0.0	2.5	25.5	47.4	17.1	15.6	22.9	9.5	50.5	21.5	6.8	13.8	50.50
2003	0.8	5.0	43.3	51.1	15.8	22.6	15.5	28.2	48.7	54.8	30.0	10.0	54.80
2004	0.0	12.7	0.0	35.5	29.9	13.2	18.2	13.5	25.1	44.7	29.8	14.2	44.70
2005	16.3	10.0	21.3	31.9	60.0	51.8	10.0	19.0	22.1	43.5	35.0	15.7	60.00
2006	30.1	1.1	26.2	29.2	32.5	43.2	18.5	****	32.6	21.6	45.2	0.8	45.20
2007	3.4	0.0	5.2	41.1	35.4	19.4	16.2	24.3	42.9	51.2	42.8	4.1	51.20
2008	0.0	0.3	29.8	59.4	27.0	10.4	22.0	33.4	31.7	32.1	69.6	9.7	69.60
2009	9.6	1.9	8.8	32.7	48.1	19.7	9.0	14.5	25.1	17.3	41.1	3.1	48.10
2010	0.2	24.8	35.7	35.9	76.8	29.7	21.5	27.4	19.1	28.1	28.9	22.3	76.80
2011	14.3	4.8	30.4	80.1	24.7	68.2	26.5	42.2	24.2	38.4	18.8	11.2	80.10
2012	6.6	0.0	7.9	34.2	****	****	****	****	****	****	****	****	34.20
MAX	45.0	27.0	87.0	103.0	76.8	68.2	75.0	42.2	88.6	68.7	69.6	70.2	103.0

Fuente. IDEAM, 2013

Las curvas IDF de la ciudad de Ocaña, obtenidas a partir de la información registrada en el cuadro 2, pueden ser reproducidas a partir de la ecuación que se indica a continuación:

$$I = \frac{235,4266 * T^{0,251649}}{t^{0,61639}}$$

El río Tejo no cuenta con estaciones hidrométricas en el sector en estudio, que permitan obtener magnitudes directas del caudal que este sistema ostenta, por tal motivo se considera pertinente la implementación del método lluvia escorrentía para la estimación de caudales. De esta manera la metodología se sustenta en un modelo lluvia-escorrentía.

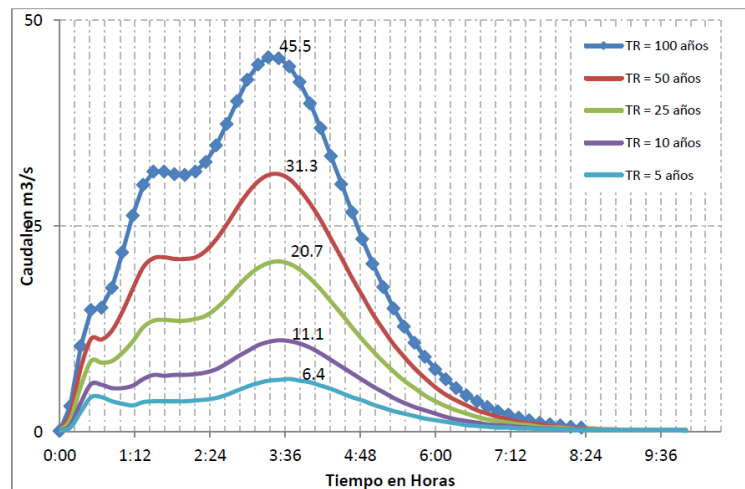
El modelo puede catalogarse como determinista, ya que para un periodo de retorno específico se tendrá un único caudal correspondiente.

Se empleó el método del SCS contenido en el software HEC – HMS, para la generación de caudales a partir de lluvia efectiva.

Los hidrogramas que se representan a continuación, indican los caudales que se obtiene de la simulación hidrológica en el punto de cierre de la cuenca, a la altura del puente Las Delicias, localizado sobre el río Tejo, en la ciudad de Ocaña, en el barrio del mismo nombre.

Se distinguen puntos notables como el caudal pico máximo, y el punto de inflexión en la curva de recesión donde termina el escurrimiento por la lluvia.

Figura 2. Resultado de los hidrogramas obtenidos del modelo lluvia escorrentía propuesto en m3/seg, del modelo hidrológico empleado.



Cuadro 4. Caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.

Tr_años	5	10	25	50	100
Q_pico m ³ /s	6.4	11.1	20.7	31.3	45.5

Fuente. Informe técnico.³⁴

4.1.2 Levantamiento topobatimétrico. Para el desarrollo del estudio hidráulico se debe tener en cuenta las características geométricas del cauce como la topografía y batimetría del tramo de río a modelar. El levantamiento topobatimétrico realizado en el tramo de estudio comprendido entre el puente El Tejarito hasta el puente Las Delicias del Río Tejo, consta de 45 secciones distribuidas a lo largo de 670 metros.

En el proceso del levantamiento de información topobatimétrica se tuvo en cuenta las estructuras presentes como muros, alcantarillas, puentes, entre otros, así como los cambios de pendiente, dirección del cauce y las planicies susceptibles a la inundación ante futuras crecientes extremas, todo esto permite tener un mejor detalle de la zona de estudio, y por consiguiente obtener un buen análisis hidráulico.

El levantamiento de las secciones transversales se realizó con instrumentos de alta precisión como: Estación Total TOPCON GTS-213, colector de datos RECON con TDS survey PRO y GPS Navegador GARMIN 76CSx.

El sistema de coordenadas planas proyectadas que se implementó es GAUSS, con origen en Bogotá X=1'000,0000 y Y=1'000,0000, correspondiente a las coordenadas geográficas N 04 35'56.57" (Latitud) y W 74 04'51.30" (Longitud).³⁵

4.2 INVENTARIO DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO




Es necesario conocer la infraestructura presente a lo largo del tramo de estudio del río Tejo para analizar si se afecta con las posibles inundaciones.

En el recorrido del tramo de estudio se encontraron las siguientes estructuras:




³⁴ GARCIA, Hermes A. Estudios hidrológico, hidráulico y de socavación, adelantados en el cauce del río tejo, en su paso por la cabecera municipal de la ciudad de Ocaña, entre los puentes localizados en los barrios Tejarito y Las delicias, Ocaña, norte de Santander. Noviembre, 2013.Ocaña.

³⁵ Ibíd.p.7




Cuadro 5. Inventario de la infraestructura existente en el tramo de estudio del río Tejo.

INFRAESTRUCTURA	LOCALIZACIÓN	FOTOGRAFIA
Puente El Tejarito	Acceso al Barrio El Tejarito.	
Puente peatonal	Aguas abajo del puente El Tejarito	
Muro de contención	Cincuenta y cuatro (54) metros aguas abajo del puente El Tejarito	

Cuadro 5. (Continuación)

<p>Pozo de inspección</p>	<p>Margen derecho del río, 40m aguas arriba del puente peatonal que tiene acceso al barrio Tejarito parte baja.</p>	
<p>Muro de gavión</p>	<p>Margen izquierdo 10 m aguas arriba del puente peatonal que tiene acceso al barrio Tejarito parte baja.</p>	
<p>Puente peatonal</p>	<p>Acceso al barrio Tejarito parte baja</p>	

Cuadro 5. (Continuación)

<p>Puente vehicular</p>	<p>Barrio Santa Eudisia</p>	
<p>Muro de contención</p>	<p>Ubicado 30 m aguas arriba del puente del Barrio las delicias en la margen izquierda del río Tejo.</p>	
<p>Muro de contención</p>	<p>Ubicado aguas arriba del puente del barrio las Delicias en la margen izquierda del río Tejo.</p>	

Cuadro 5. (Continuación)

Puente vehicular	Barrio las delicias	
------------------	---------------------	--

Fuente. Autores del proyecto

4.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL CAUCE DE LA ZONA DE ESTUDIO UTILIZANDO EL SISTEMA COMPUTACIONAL HEC-RAS

4.3.1 Parámetros hidráulicos del modelo HEC-RAS.

4.3.1.1 Estimación del coeficiente de rugosidad. El coeficiente de rugosidad n de Manning se estima mediante métodos empíricos mencionados en el marco teórico, éstos se basan en el diámetro de las partículas que componen el lecho, por lo cual se realiza una toma de muestras en la zona de estudio. Posteriormente se realiza el ensayo de granulometría y se obtiene los diámetros correspondientes al 50, 65 y 90 % de la curva granulométrica del material del cauce.

Fotografía 1. Sitio de toma de la muestra 1, puente El Tejarito



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 2. Sitio de toma de la muestra 2, que corresponde a aguas abajo del primer puente peatonal de la zona de estudio



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 3. Sitio de toma de la muestra 3, que corresponde a aguas arriba del puente El Tejarito parte baja



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 4. Sitio de toma de la muestra 4, que corresponde a aguas arriba del puente Santa Eudisia



Fuente. Autores del proyecto

En las imágenes se observa las cuatro muestras tomadas del fondo del río de diferentes partes de la zona de estudio para realizar los ensayos de granulometría que se exponen a continuación.

Fotografía 5. Muestras secas para realizar la granulometría



Fuente. Autores del proyecto

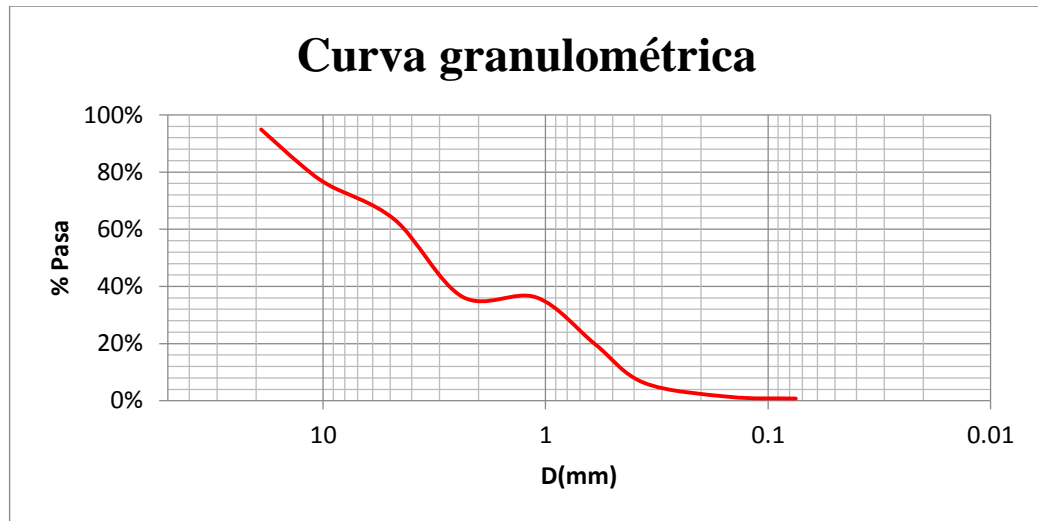
Muestra 1: Puente El Tejarito

Cuadro 6. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 1.

Diámetro(mm)	Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	%pasa	% Acumulado
19	3/4"	50.9	5.09	94.91	5.09
12.7	1/2"	120.9	12.09	82.82	17.18
9.5	3/8"	72.4	7.24	75.58	24.42
4.75	N°4	123.3	12.33	63.25	36.75
2.36	N°8	269.1	26.91	36.34	63.66
1.1	N°16	1.8	0.18	36.16	63.84
0.6	N°30	163.1	16.31	19.85	80.15
0.36	N°50	136.1	13.61	6.24	93.76
0.15	N°100	48.5	4.85	1.39	98.61
0.075	N°200	6.2	0.62	0.77	99.23
	Fondo	7.7	0.77	0	100
	Total	1000	100		

Fuente. Autores del proyecto

Figura 3. Granulometría de la muestra 1.



Fuente. Autores del proyecto

D50=3.5mm

D65=5.2mm

D90=17.7mm

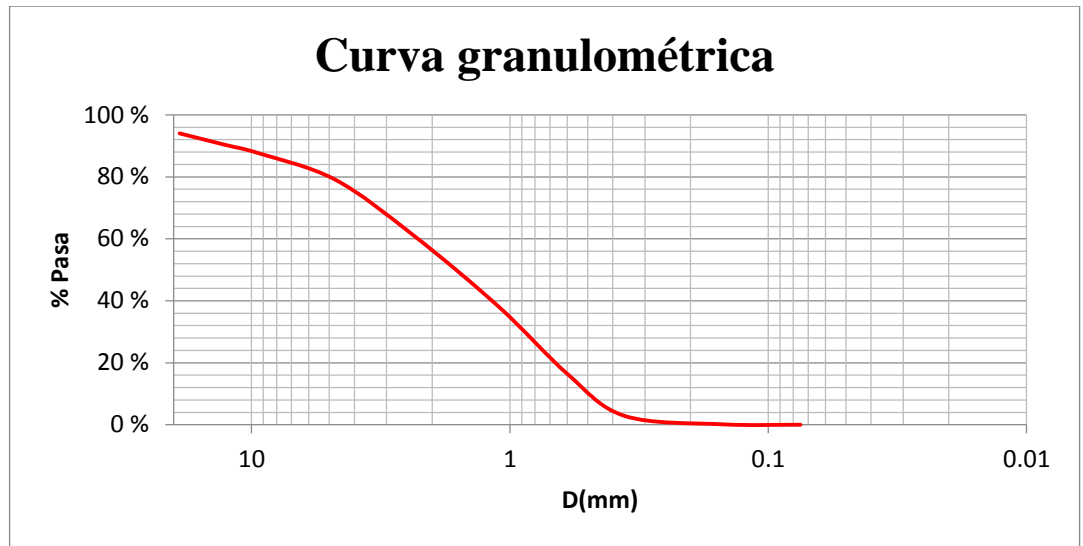
Muestra 2: Aguas abajo del primer puente peatonal del tramo de estudio.

Cuadro 7. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 2.

Diámetro(mm)	Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	%pasa	% Acumulado
19	3/4"	59.5	5.95	94.05	5.95
12.7	1/2"	36.8	3.68	90.37	9.63
9.5	3/8"	26.1	2.61	87.76	12.24
4.75	N°4	86.3	8.63	79.13	20.87
2.36	N°8	180.1	18.01	61.12	38.88
1.1	N°16	231.5	23.15	37.97	62.03
0.6	N°30	215	21.5	16.47	83.53
0.36	N°50	136	13.6	2.87	97.13
0.15	N°100	27.3	2.73	0.14	99.86
0.075	N°200	1.4	0.14	0	100
	Fondo	0	0	0	100
	Total	1000	100		

Fuente. Autores del proyecto

Figura 4. Granulometría de la muestra 2.



Fuente. Autores del proyecto

D50=1.75mm

D65=2.86mm

D90=12.5mm

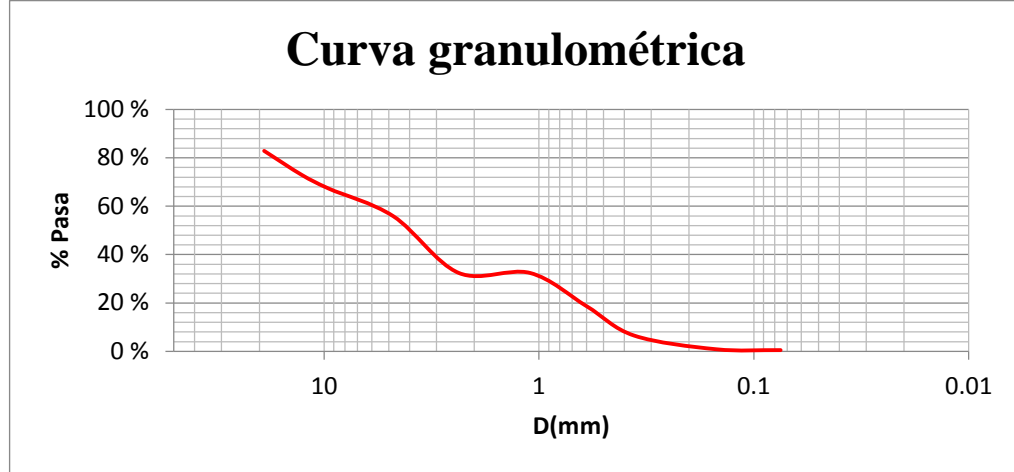
Muestra 3: Aguas arriba del puente El Tejarito parte baja.

Cuadro 8. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 3.

Diámetro(mm)	Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	%pasa	% Acumulado
19	3/4"	171.2	17.12	82.88	17.12
12.7	1/2"	99.2	9.92	72.96	27.04
9.5	3/8"	56.8	5.68	67.28	32.72
4.75	N°4	114.7	11.47	55.81	44.19
2.36	N°8	234	23.4	32.41	67.59
1.1	N°16	0	0	32.41	67.59
0.6	N°30	137.4	13.74	18.67	81.33
0.36	N°50	121.7	12.17	6.5	93.5
0.15	N°100	56.4	5.64	0.86	99.14
0.075	N°200	3.6	0.36	0.5	99.5
	Fondo	5	0.5	0	100
	Total	1000	100		

Fuente. Autores del proyecto

Figura 5. Granulometría de la muestra 3.



Fuente. Autores del proyecto

D50=4 mm
D65=8.3 mm
D90=0

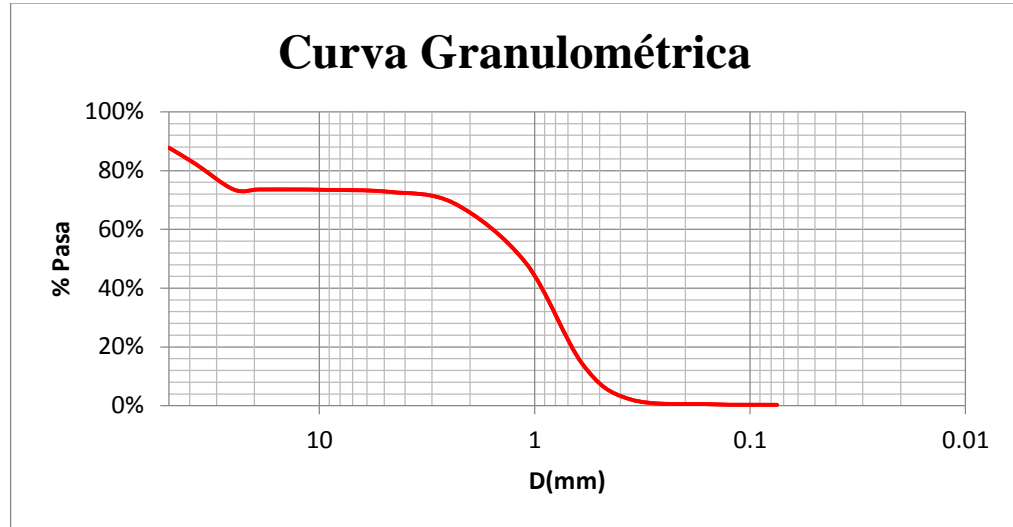
Muestra 4: Aguas arriba del puente Santa Eudisia.

Cuadro 9. Análisis granulométrico por tamizado de la muestra 4.

Diámetro(mm)	Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	%pasa	% Acumulado
50	2"	121.7	12.17	87.83	12.17
37.5	1 1/2"	55.7	5.57	82.26	17.74
25	1"	86.7	8.67	73.59	26.41
19	3/4"	0	0	73.59	26.41
12.7	1/2"	0	0	73.59	26.41
9.5	3/8"	1.2	0.12	73.47	26.53
4.75	N°4	6.8	0.68	72.79	27.21
2.36	N°8	39.6	3.96	68.83	31.17
1.1	N°16	202.2	20.22	48.61	51.39
0.6	N°30	344.4	34.44	14.17	85.83
0.36	N°50	120	12	2.17	97.83
0.15	N°100	16.7	1.67	0.5	99.5
0.075	N°200	2	0.2	0.3	99.7
	Fondo	3	0.3	0	100
	Total	1000	100		

Fuente. Autores del proyecto

Figura 6. Granulometría de la muestra 4.



Fuente. Autores del proyecto

D50= 1.25mm

D65=2mm

D90=0

Luego de realizar la granulometría se reemplaza en las fórmulas de los métodos empíricos los diámetros hallados y se determina el coeficiente de rugosidad promedio (cuadro 9) para cada muestra del tramo de estudio.

Cuadro 10. Cálculo del coeficiente de rugosidad por métodos empíricos.

Ecuación empírica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Meyer-Peter & Muller, 1948 $n = 0.038 * D_{90}^{1/6}$	0.0613	0.0579	0	0
Raudkivi, 1976 $n = 0.0411 * D_{65}^{1/6}$	0.0541	0.049	0.0585	0.0461
Simons y Senturk, 1976 $n = 0.0389 * D_{50}^{1/6}$	0.0479	0.0427	0.049	0.0404
Garde & Raju, 1978; Subramanya, 1982 $n = 0.047 * D_{50}^{1/6}$	0.0579	0.0516	0.0592	0.0488
Bray, 1979 $n = 0.0593 * D_{50}^{0.179}$	0.0742	0.0655	0.0760	0.0617
Posada (1998) $n = 0.0487 * D_{50}^{1/6}$	0.0600	0.0535	0.0614	0.0505
n promedio =	0.0592	0.0534	0.0507	0.0413

Fuente. Autores del proyecto

Para la modelación hidráulica se emplea los cuatro coeficientes de rugosidad promedios obtenidos, para cada una de las divisiones del tramo de estudio.

El tramo de estudio de acuerdo al parámetro de rugosidad se divide de la siguiente manera:

Cuadro 11. Divisiones del tramo de estudio con respecto al coeficiente de rugosidad.

Divisiones del tramo de estudio	n
Sección 643 hasta la sección 490	0.0592
Sección 477 hasta la sección 419	0.0534
Sección 403 hasta la sección 254	0.0507
Sección 243 hasta la sección 5	0.0413

Fuente. Autores del proyecto

Para la selección del coeficiente de rugosidad para las orillas del tramo de estudio se recurre al cuadro 1 que aparece adjunto en el marco teórico teniendo en cuenta la descripción del cauce del río.

Fotografía 6. Márgenes del tramo de estudio del río Tejo.



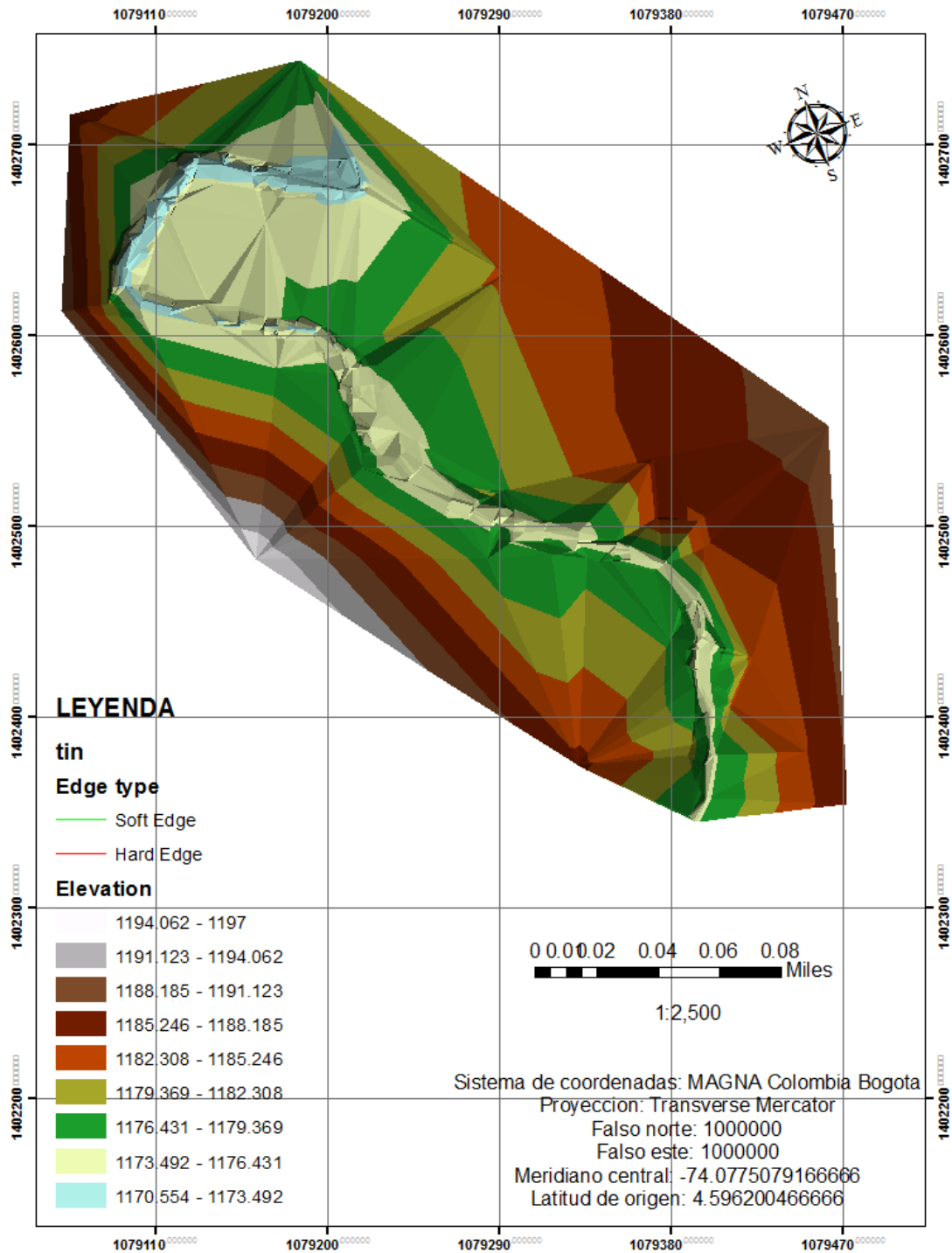
Fuente. Autores del proyecto

De acuerdo a las fotografías anteriores, las características de las orillas que mejor se ajusta al tipo de cauce y descripción del cuadro 1 es cauces con planicies de crecida, arbustos escasos y muchos pastos, por lo cual se toma un n de manning de 0.070.

4.3.2 Modelación en SIG con la extensión HEC-GeoRAS. La modelación en SIG con la extensión HEC-GeoRAS, consiste en un conjunto de procesos que conllevan a definir la geometría del eje del río, las márgenes, las estructuras presentes y las zonas susceptibles a la inundación.

Para definir la geometría del tramo de río en estudio se hace uso de la topografía del terreno, a partir de ésta se genera un modelo digital de elevación del terreno (MDT) o TIN, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Modelo de elevación digital del terreno TIN en 3D de la zona de estudio.

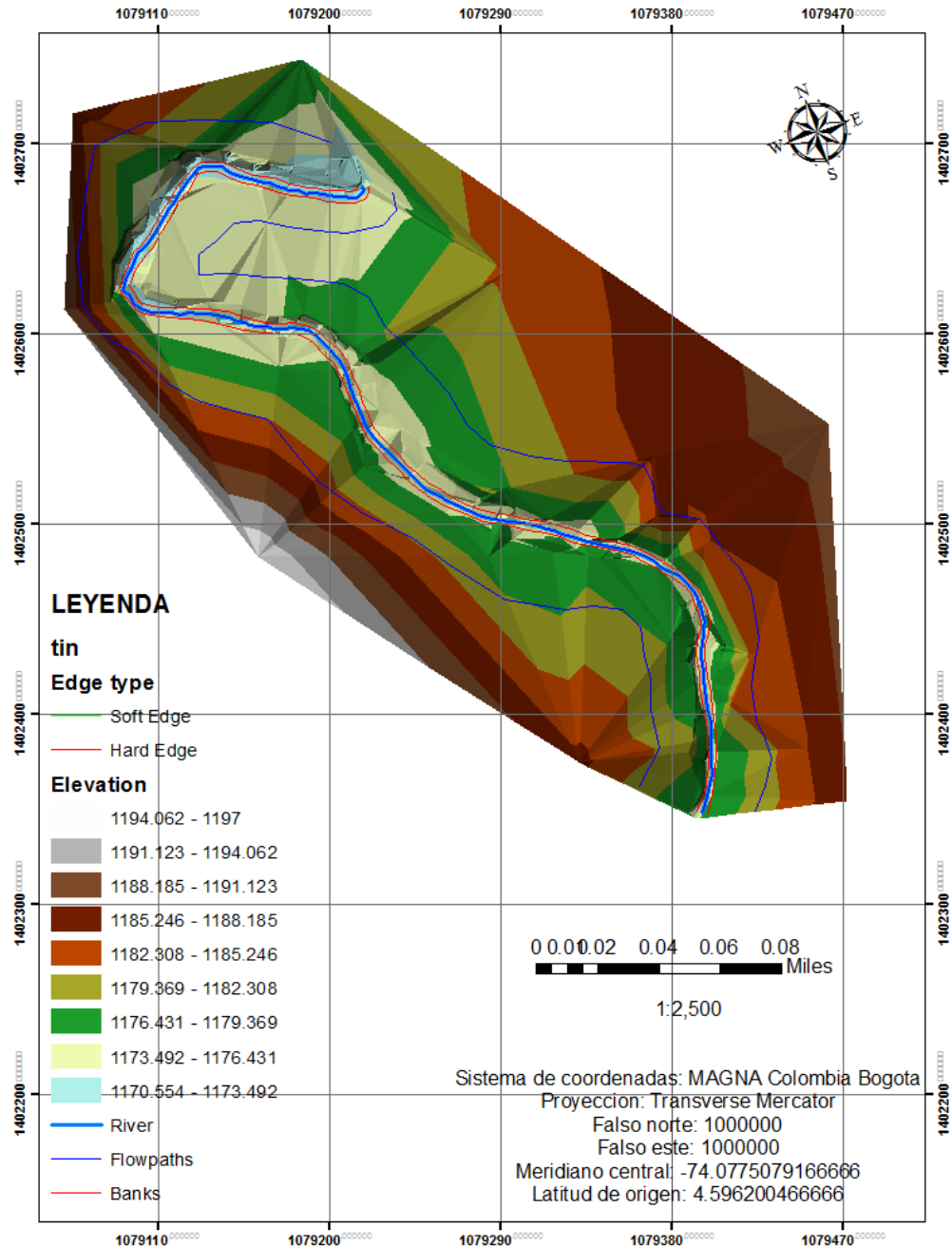


Fuente. Autores del proyecto

Una vez se tiene el modelo tridimensional, se realiza el trazado del eje del río, las líneas que definen las márgenes del cauce llamados Banks y las márgenes por donde se estima

que circulará el agua llamados flowpaths, éstos trazados se realizan en la dirección del flujo.

Figura 8. Trazado del eje y márgenes del cauce.

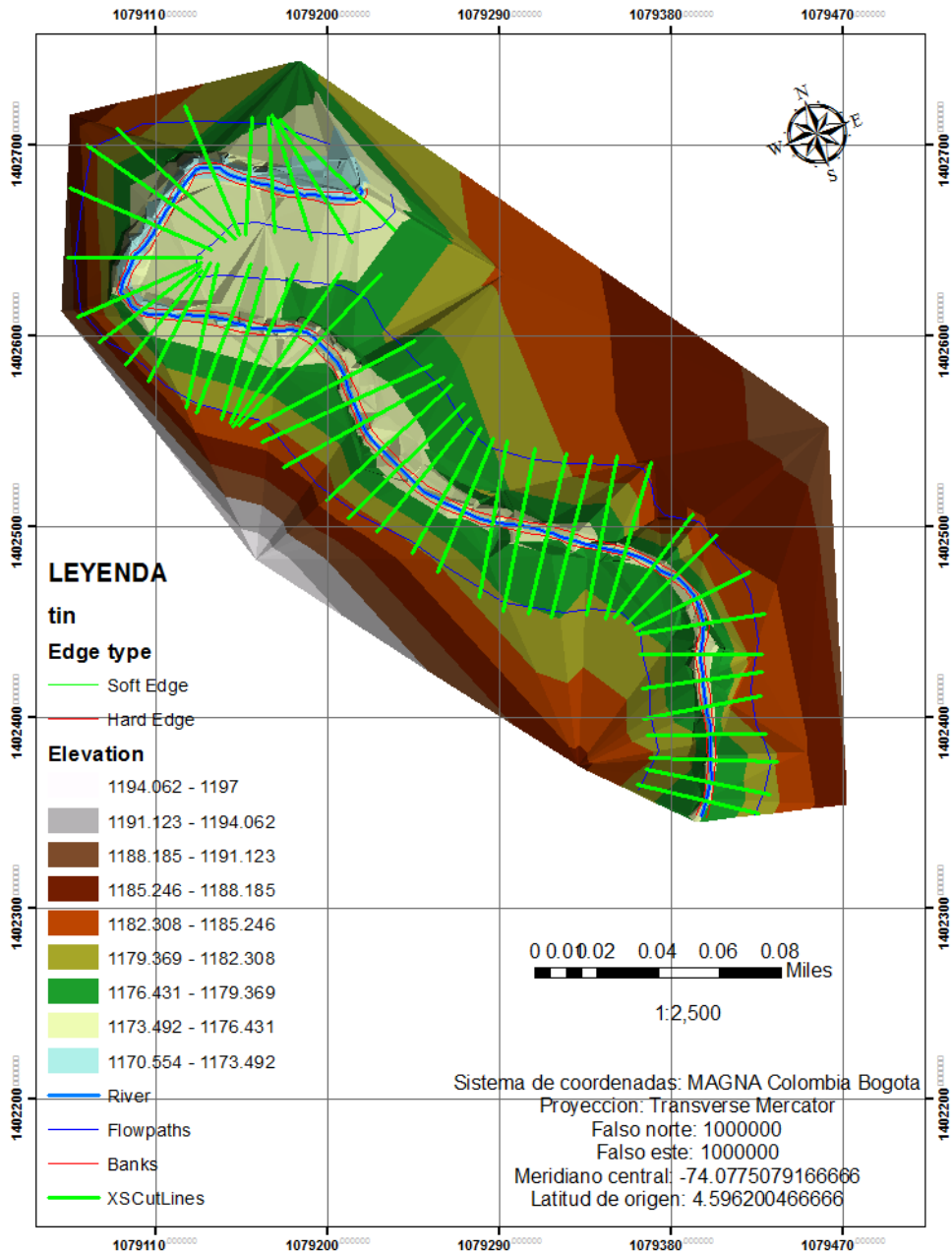


Fuente: Autores del proyecto

Después de realizar los trazados del eje y márgenes del río, se procede a incluir las secciones conseguidas a partir del levantamiento topográfico de la zona de estudio dentro

del modelo, teniendo en cuenta ciertas reglas de dibujo en el HEC-RAS como: No se pueden cortar dos secciones y deben cortar solo una vez el eje del río, los Banks y a las líneas flowpaths.

Figura 9. Secciones transversales empleadas en la zona de estudio.



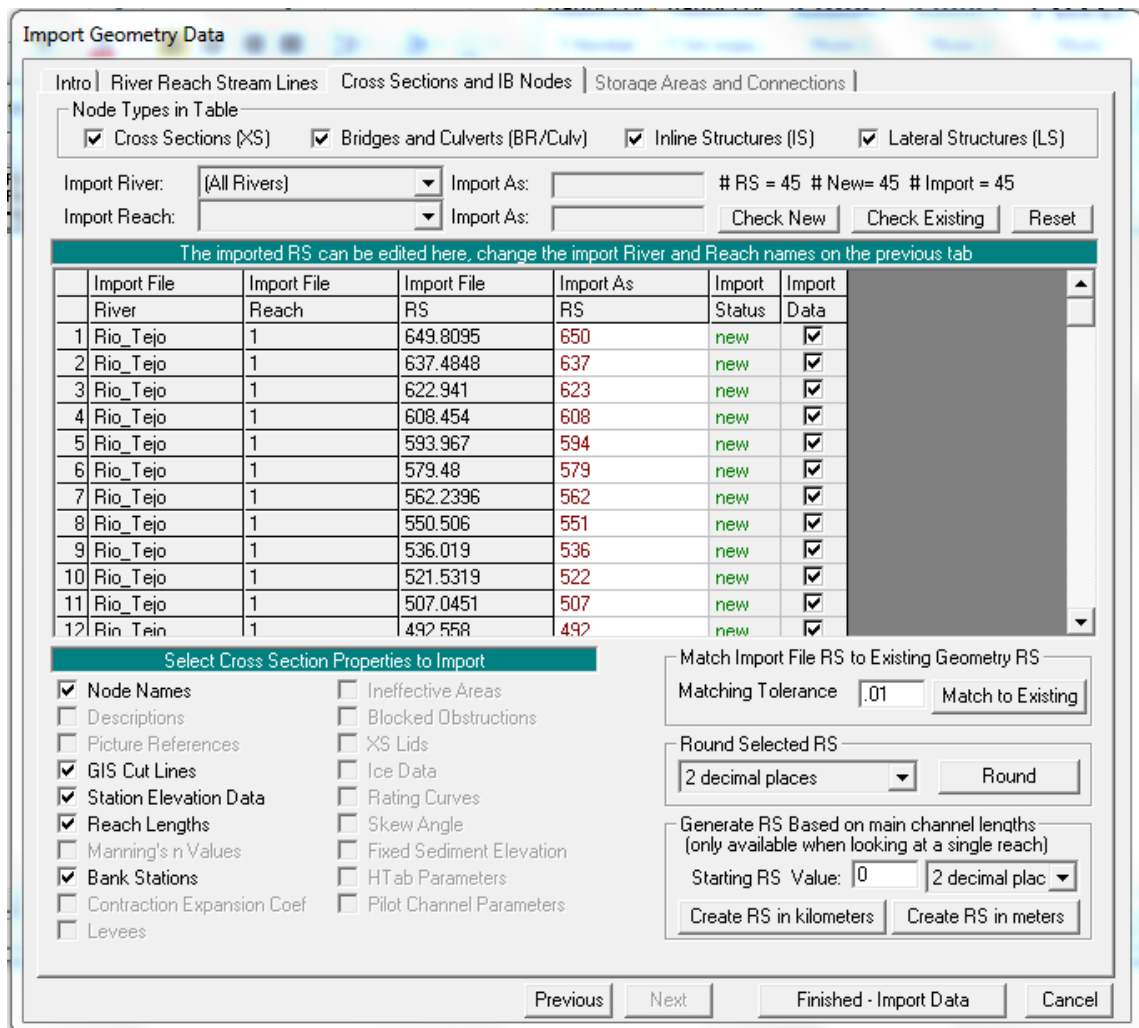
Fuente. Autores del proyecto

Luego de efectuar lo anterior se genera un archivo de exportación para HEC-RAS, donde se realiza el cálculo hidráulico del tramo del río en estudio.

4.3.3 Calibración del modelo. Debido a la insuficiente información en el sitio de estudio del río tejo no se puede realizar el proceso de calibración del modelo, por lo cual se exponen teóricamente los parámetros utilizados.

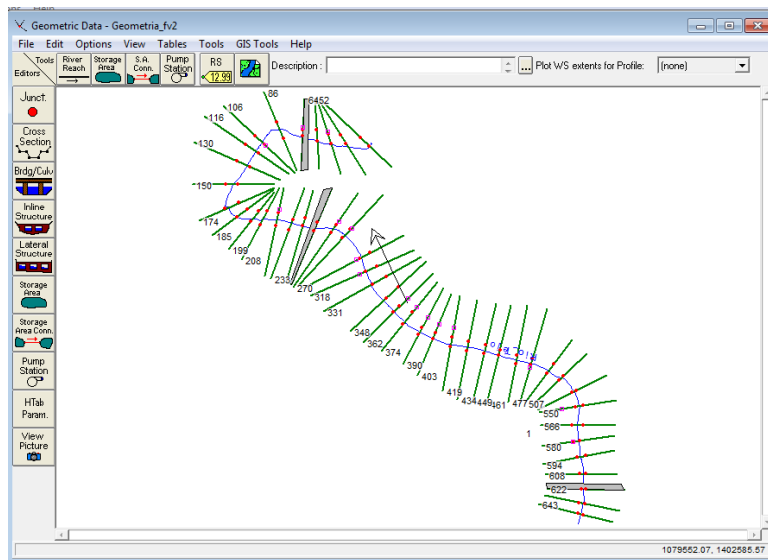
4.3.4 Modelación en HEC-RAS. Para la modelación en HEC-RAS se importa el archivo generado en SIG por la extensión HEC-GeoRAS.

Figura 10. Importación del archivo con los datos geométricos del cauce.



Fuente. Autores del proyecto, resultados del software HEC-RAS 4.1

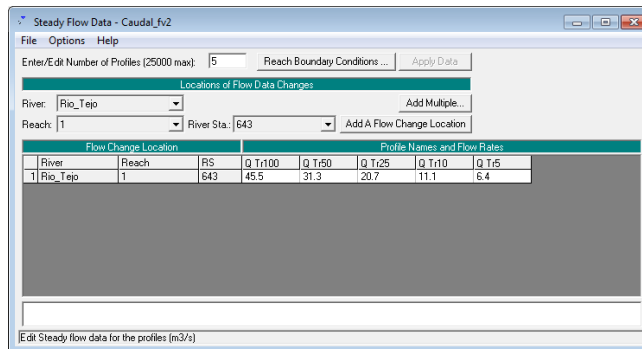
Figura 11. Geometría del cauce modelada en el estudio hidráulico.



Fuente. Autores del proyecto, resultados del software HEC-RAS 4.1

Una vez realizado este proceso, se editan los datos hidráulicos y las condiciones de contorno, esto consiste en agregar los caudales correspondientes a cada periodo de retorno (5, 10, 25,50 y 100 años) y asignar los coeficientes de rugosidad n de Manning a cada una de las condiciones de las superficies dadas al tramo de estudio.

Figura 12. Agregar caudales para cada periodo de retorno.

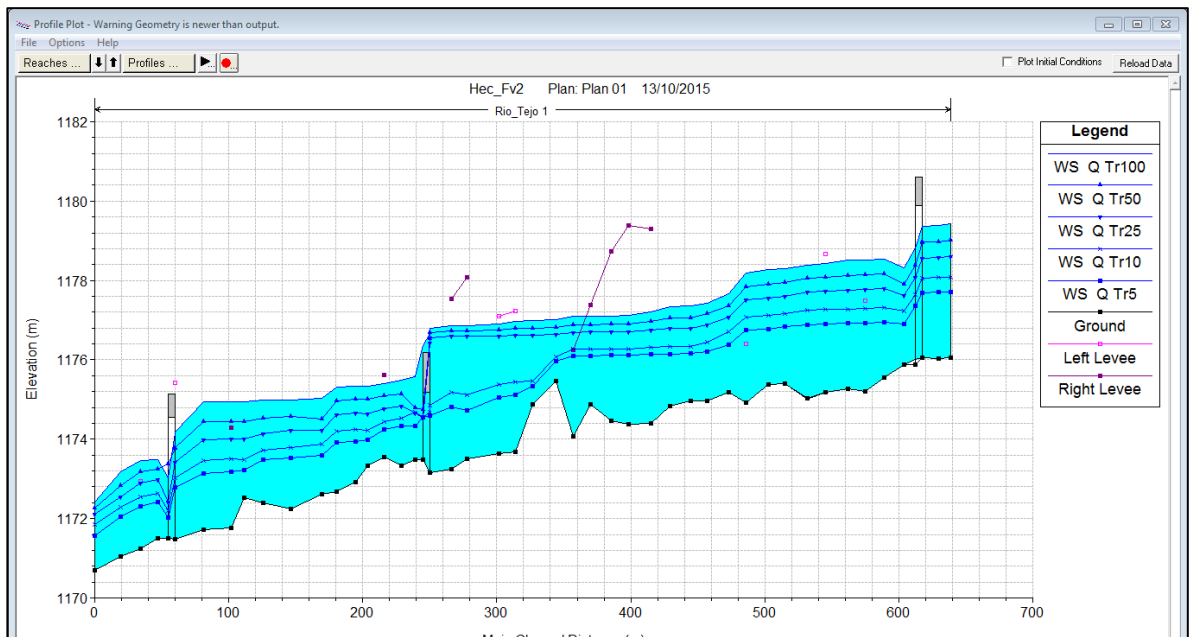


Fuente. Autores del proyecto, resultados del software HEC-RAS 4.1

4.3.5 Resultados de la modelación hidráulica en HEC-RAS. En esta sección se analizan los perfiles de flujo y los niveles de la lámina de agua para caudales máximos modelados según los periodos de retorno.

4.3.5.1 Perfil longitudinal del tramo de estudio del río. En la siguiente figura se visualiza la variación que presenta la altura de lámina de agua con respecto al periodo de retorno.

Figura 13. Perfil de flujo del tramo de estudio del Río Tejo para los periodos de retorno Tr=5,10, 25,50 y 100 años.



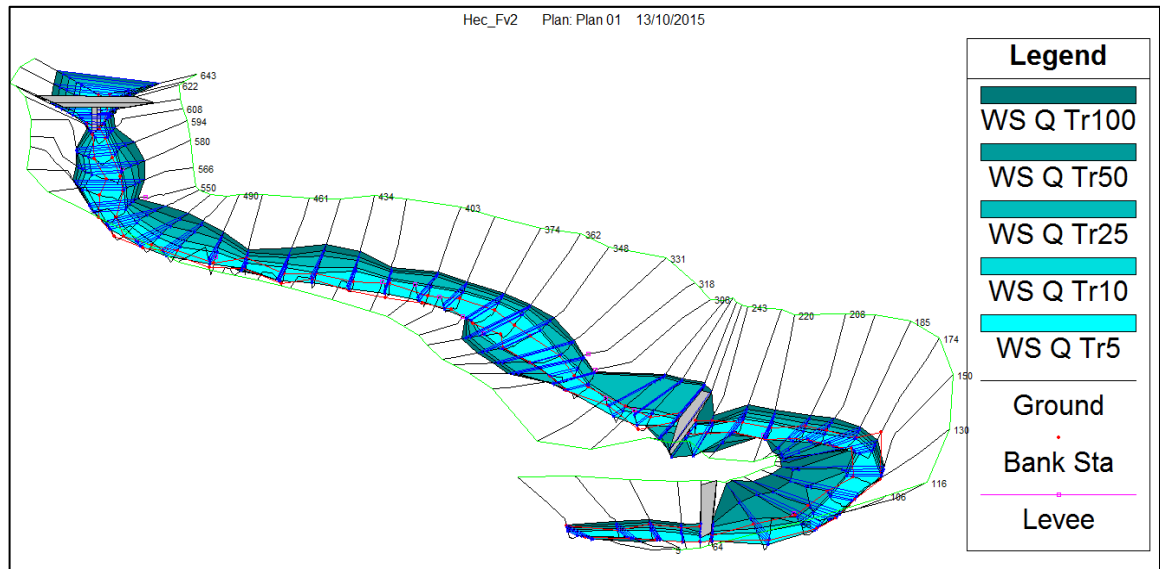
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

En el perfil de flujo de la zona de estudio se observan sitios en los cuales se producen las alturas mayores de lámina de agua generando las planicies de inundación. Uno de éstos es el puente intermedio ubicado en el barrio Santa Eudosa, el cual es rebosado por los máximos niveles de flujo, otro punto es aguas abajo del puente El Tejarito y aguas arriba del puente Las Delicias. Cabe destacar que los puentes del Tejarito y Las Delicias no se ven afectados por los niveles de agua máximos que corresponden al periodo de retorno de 100 años, dado por hecho que el gálibo de los puentes es el adecuado para soportar los altos niveles de crecientes durante épocas de invierno.

Otra de las características que se puede considerar en la gráfica es el comportamiento del flujo que corresponde a un tipo de flujo permanente, puesto que la velocidad y la profundidad cambian a lo largo del canal como respuesta a los cambios de sección y pendiente.

En la figura 14 se muestra el modelo 3D del perfil de flujo estimado.

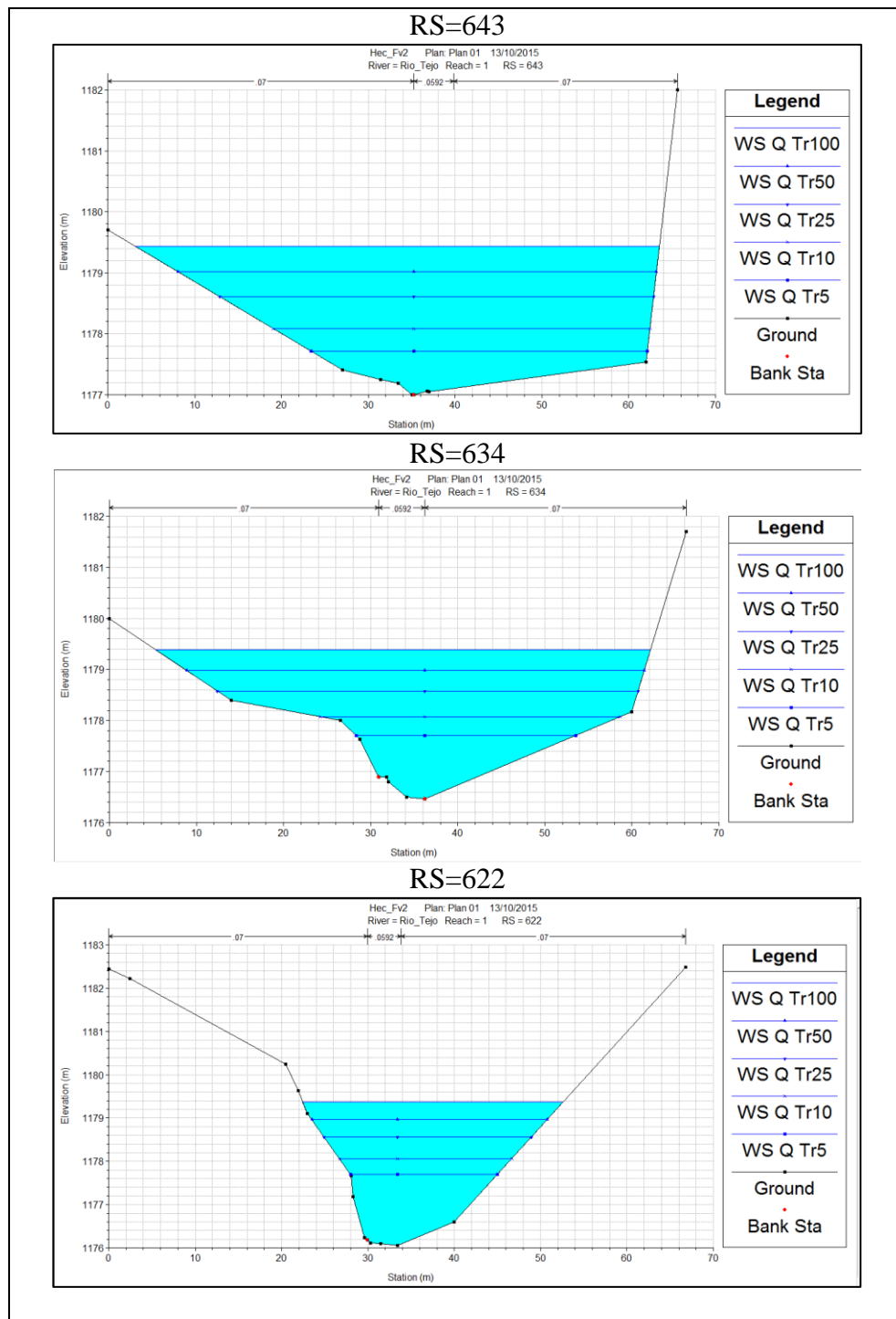
Figura 14. Perfil de flujo en 3D.



Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

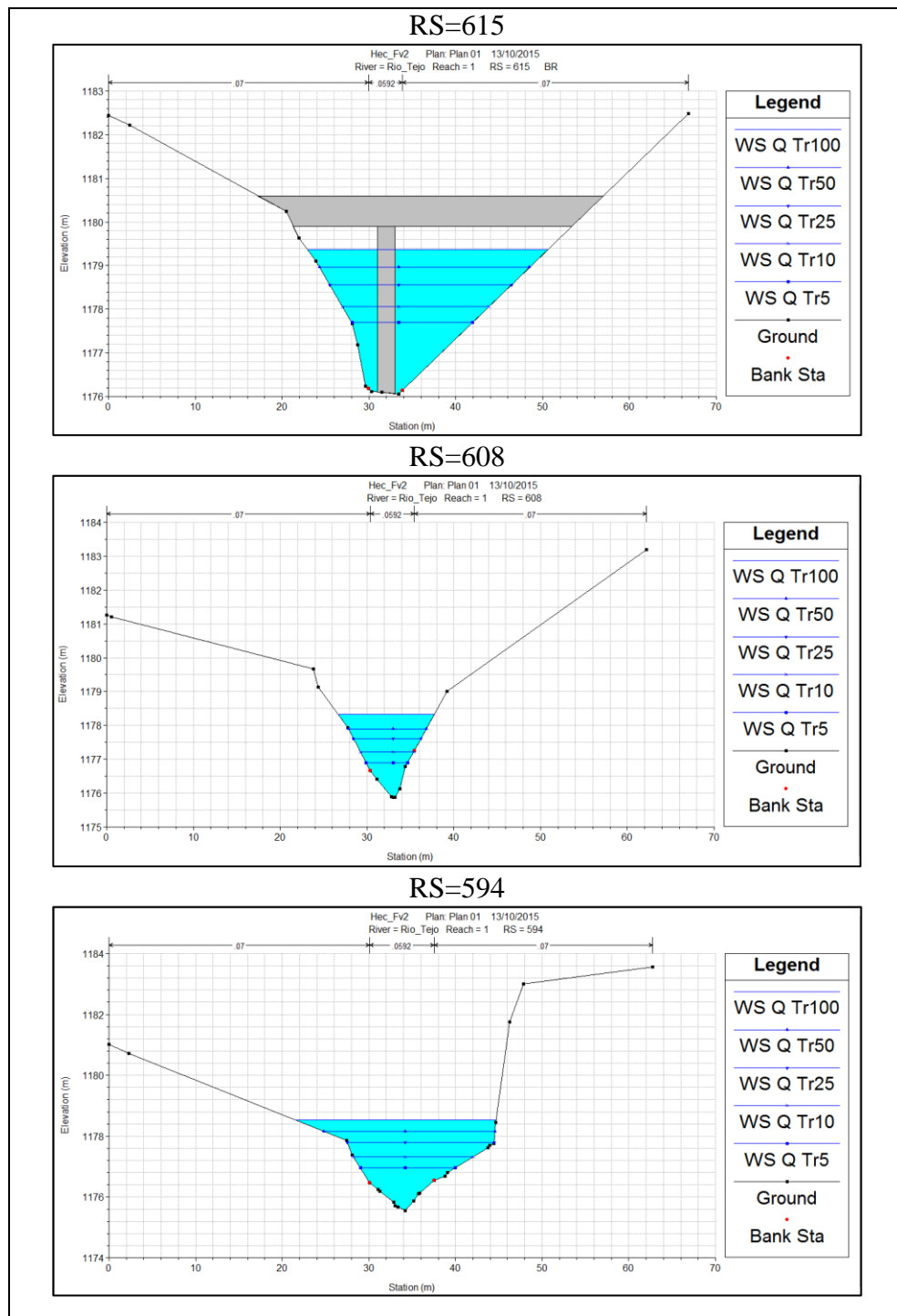
4.3.5.2 Secciones transversales. Las figuras que se presentan a continuación son los resultados del estudio hidráulico de las secciones transversales de la zona de estudio del río Tejo modeladas en HEC-RAS, en las cuales se representa cada uno de los niveles de lámina de agua correspondientes a cada periodo de diseño.

Figura 15. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



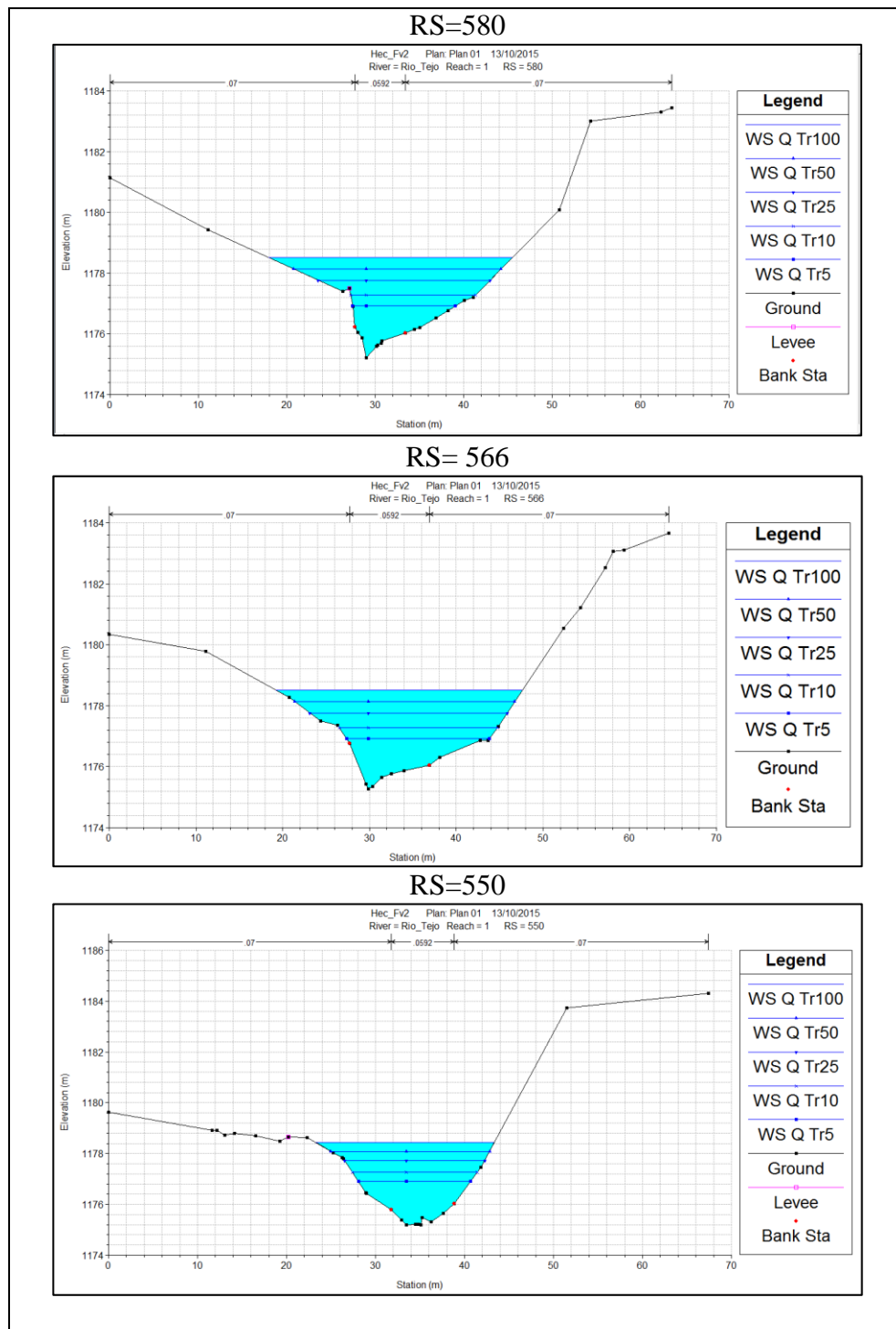
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1.

Figura 16. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



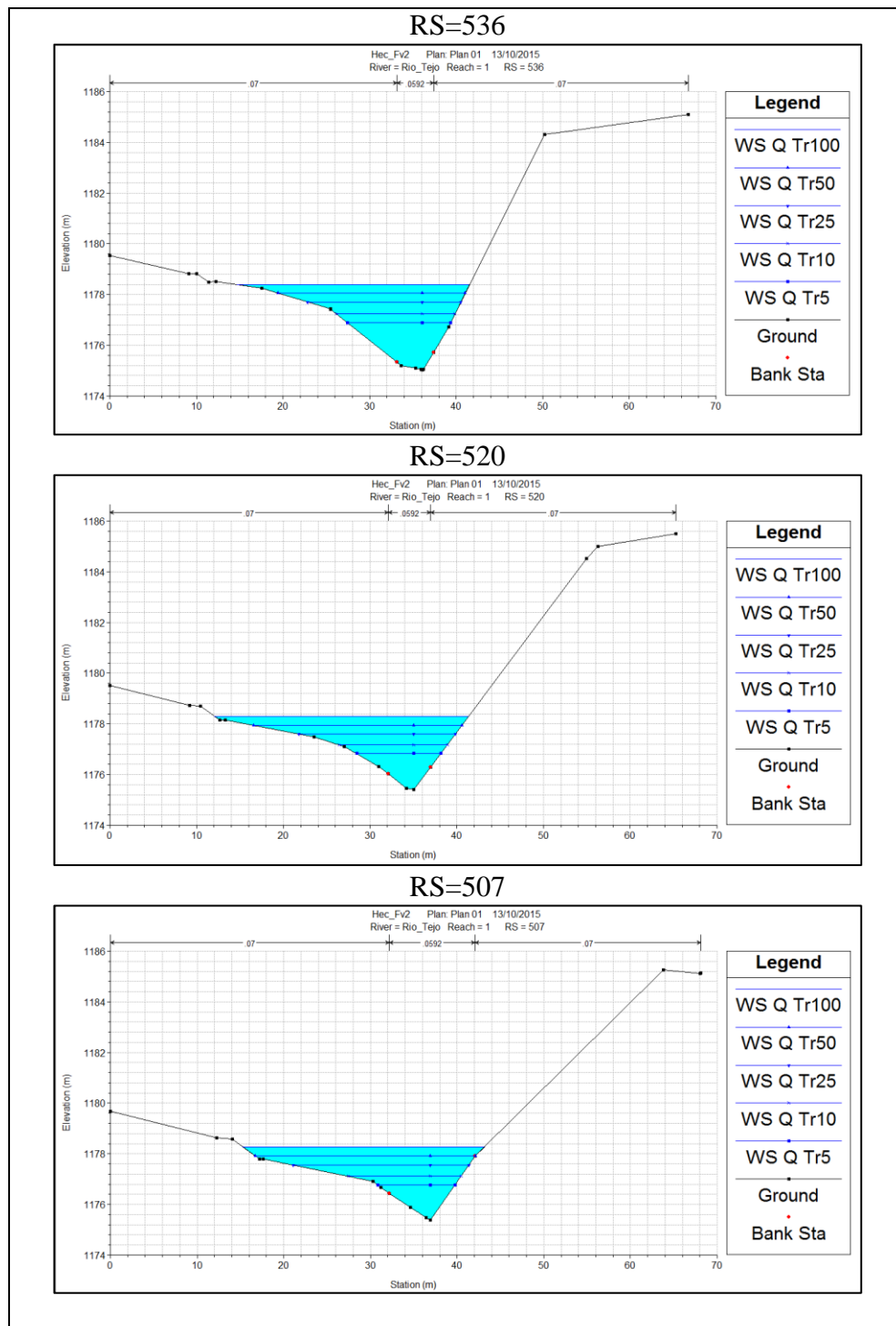
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 17. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



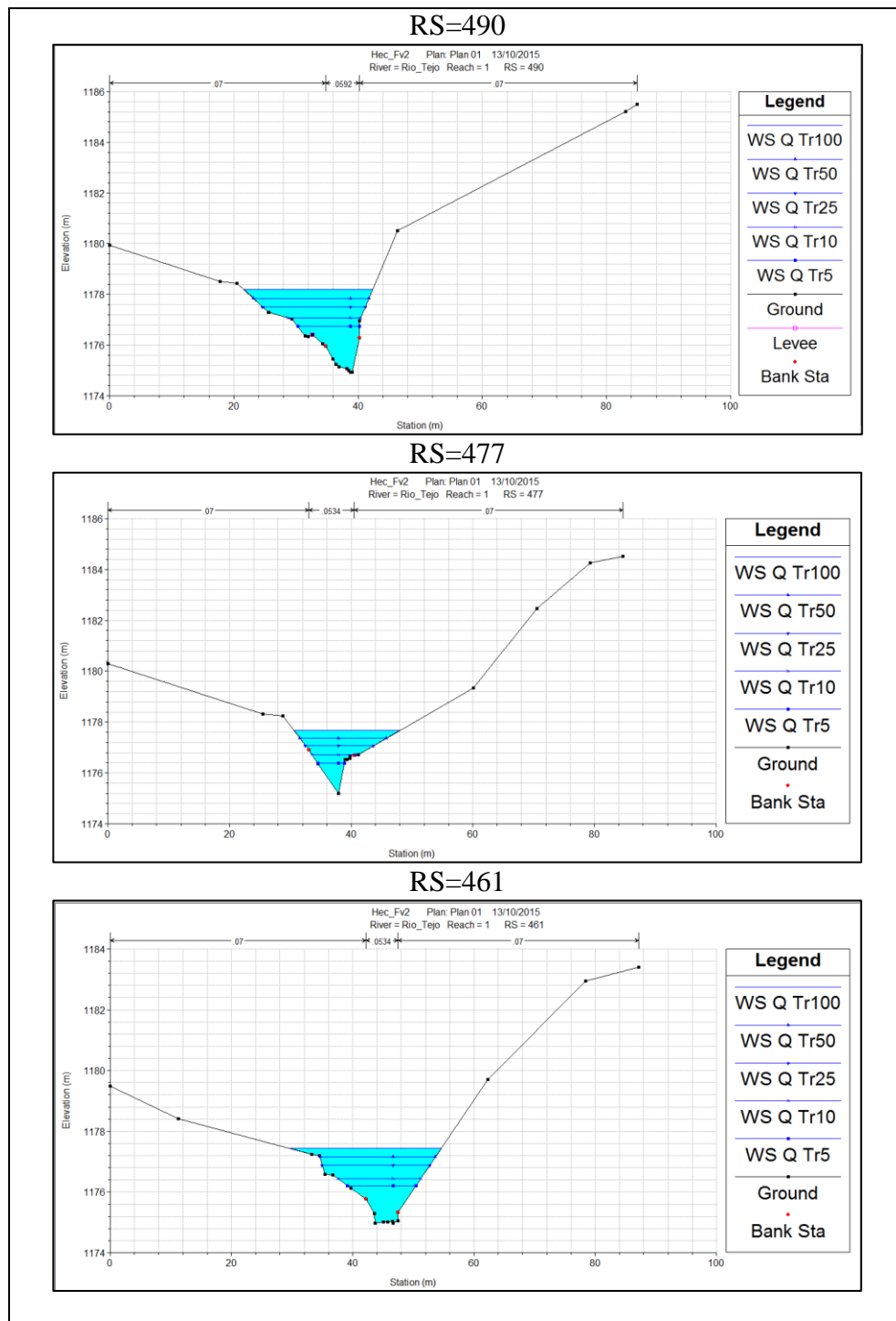
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 18. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.

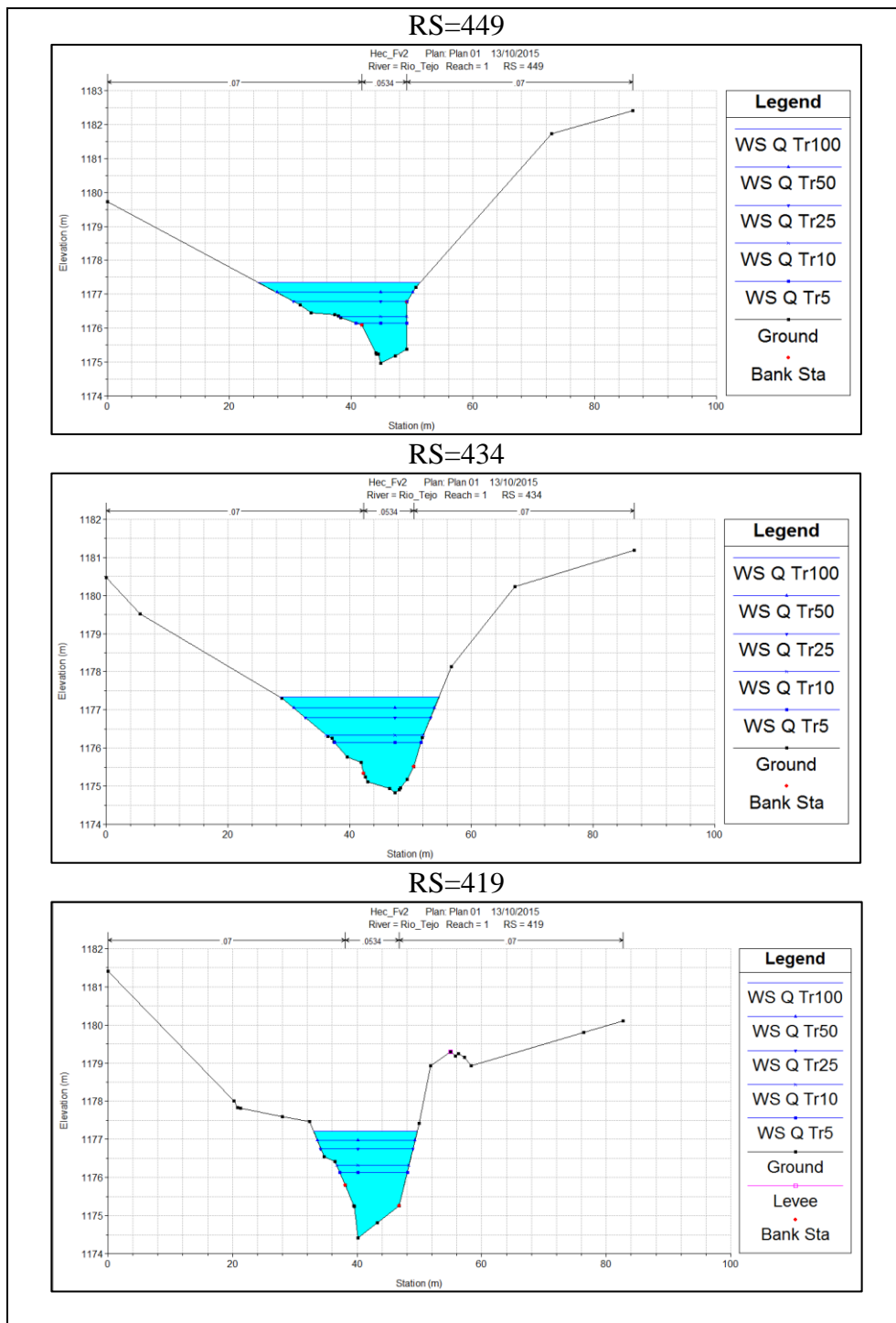


Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 19. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.

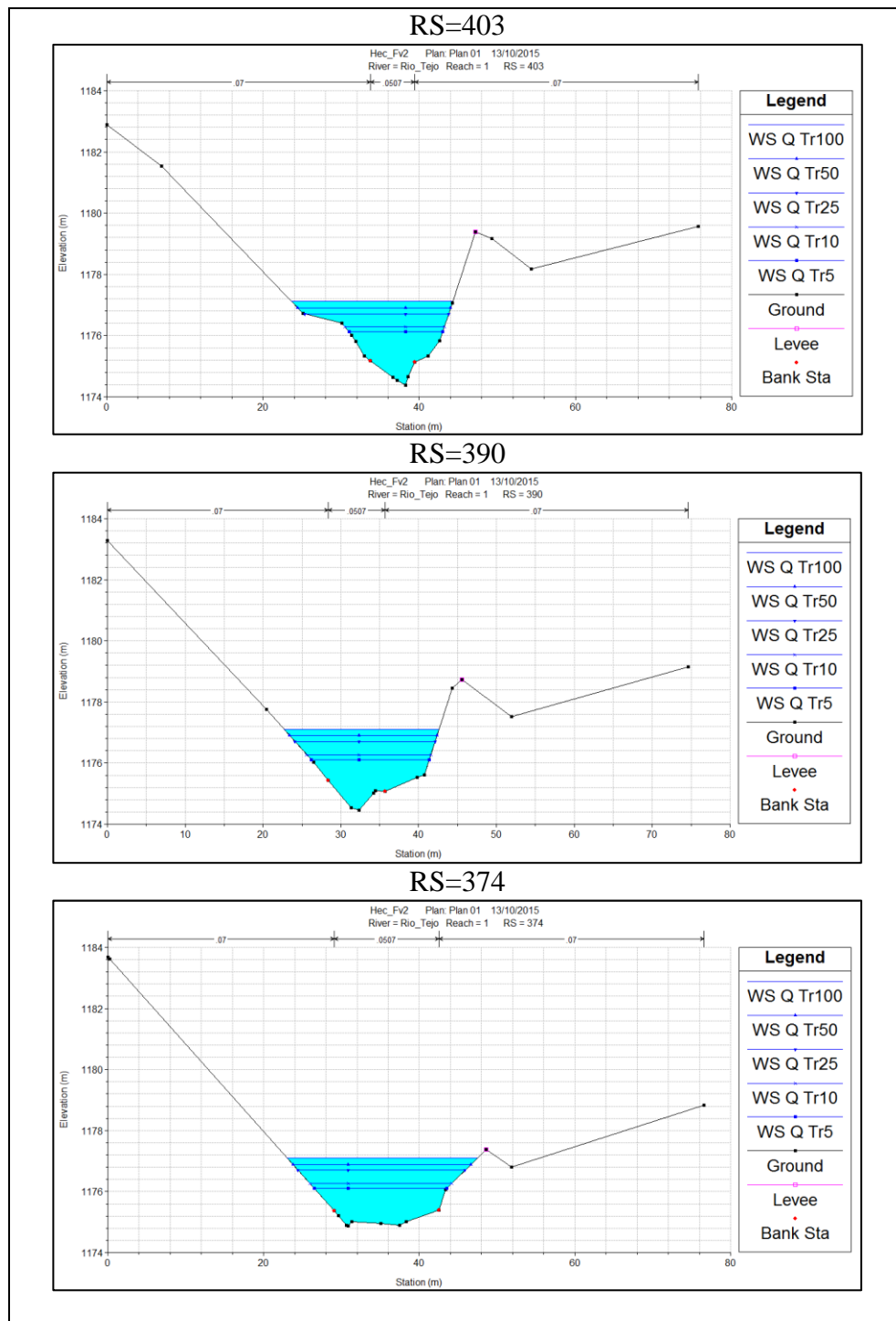


Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1
 Figura 20. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



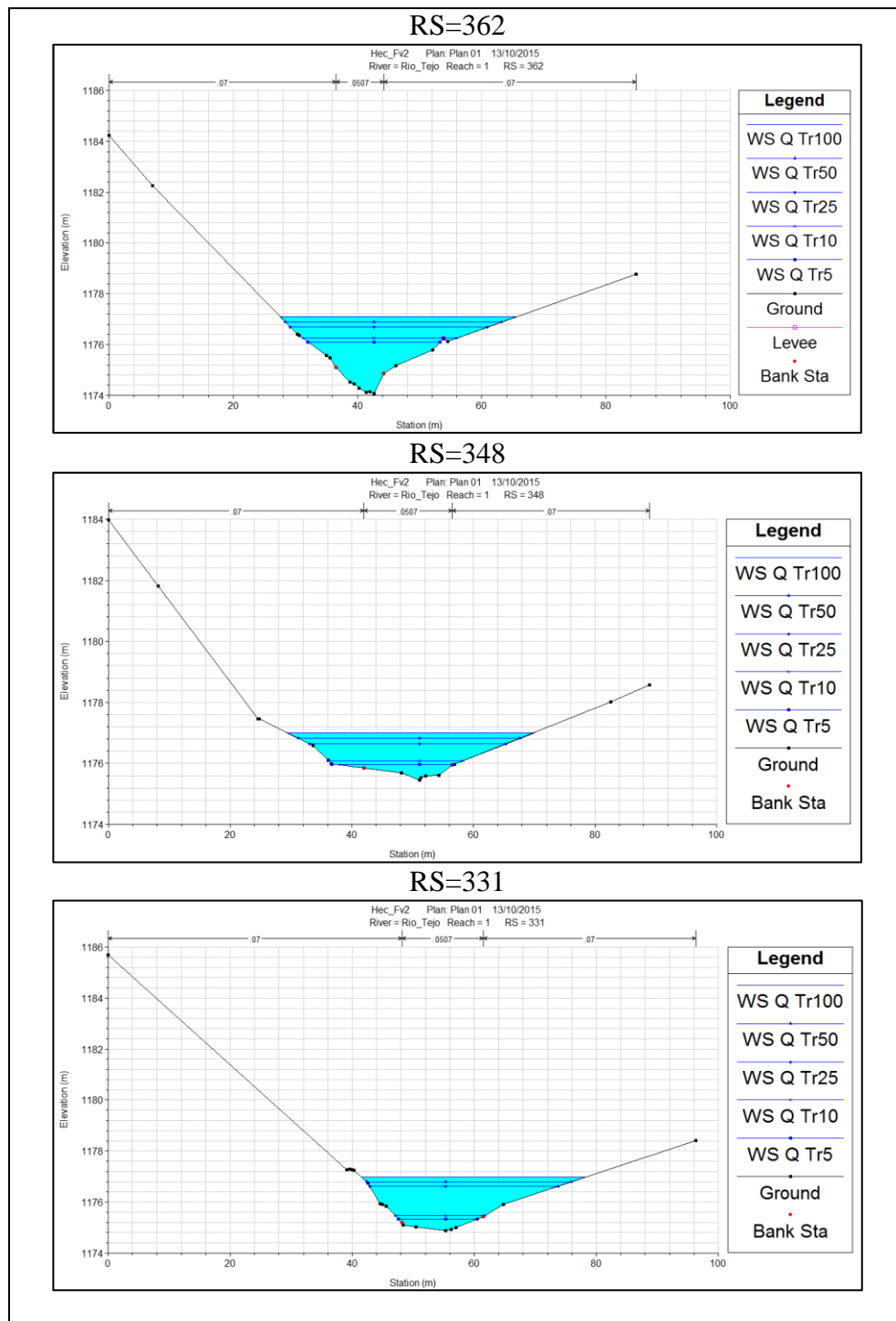
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 21. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



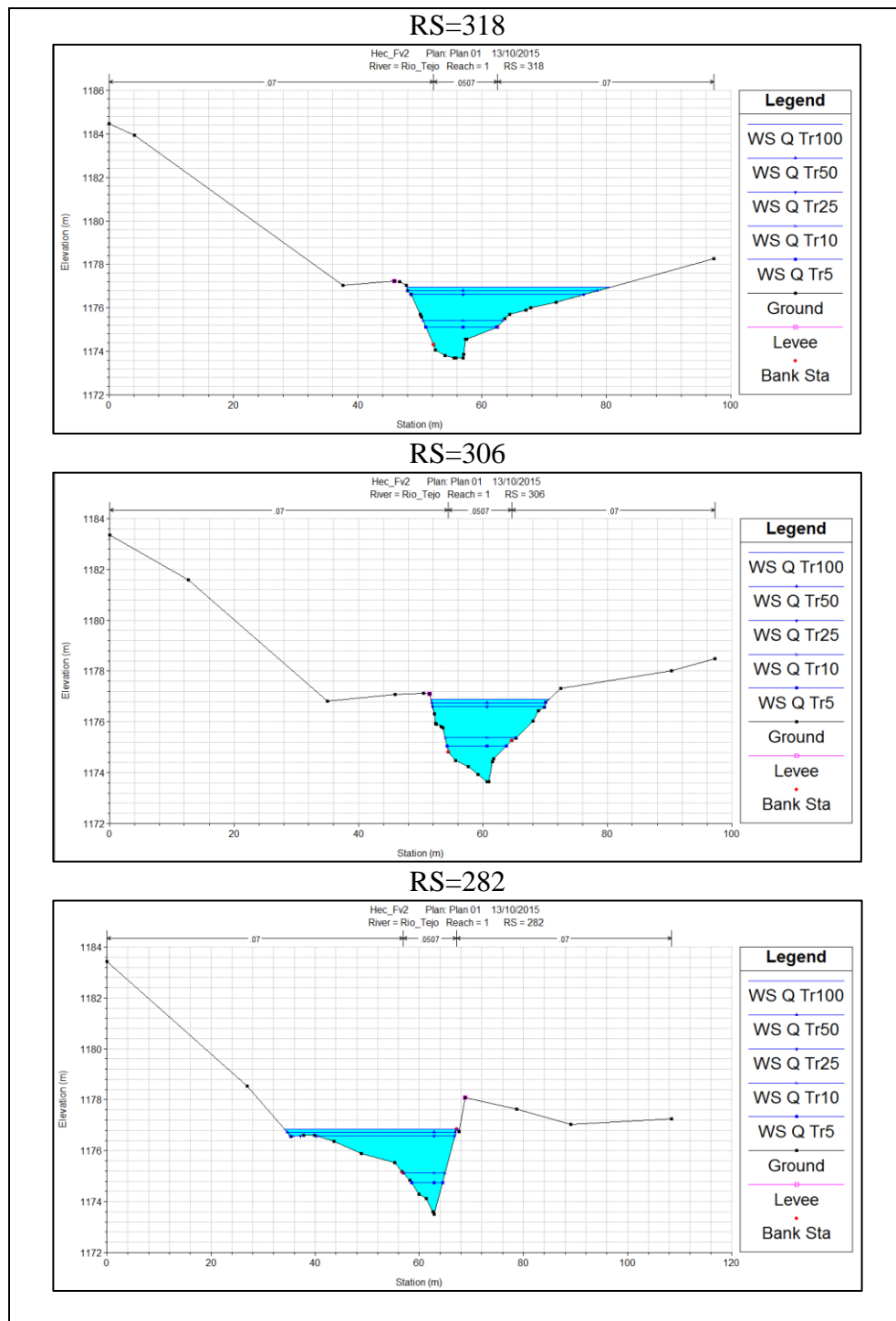
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 22. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



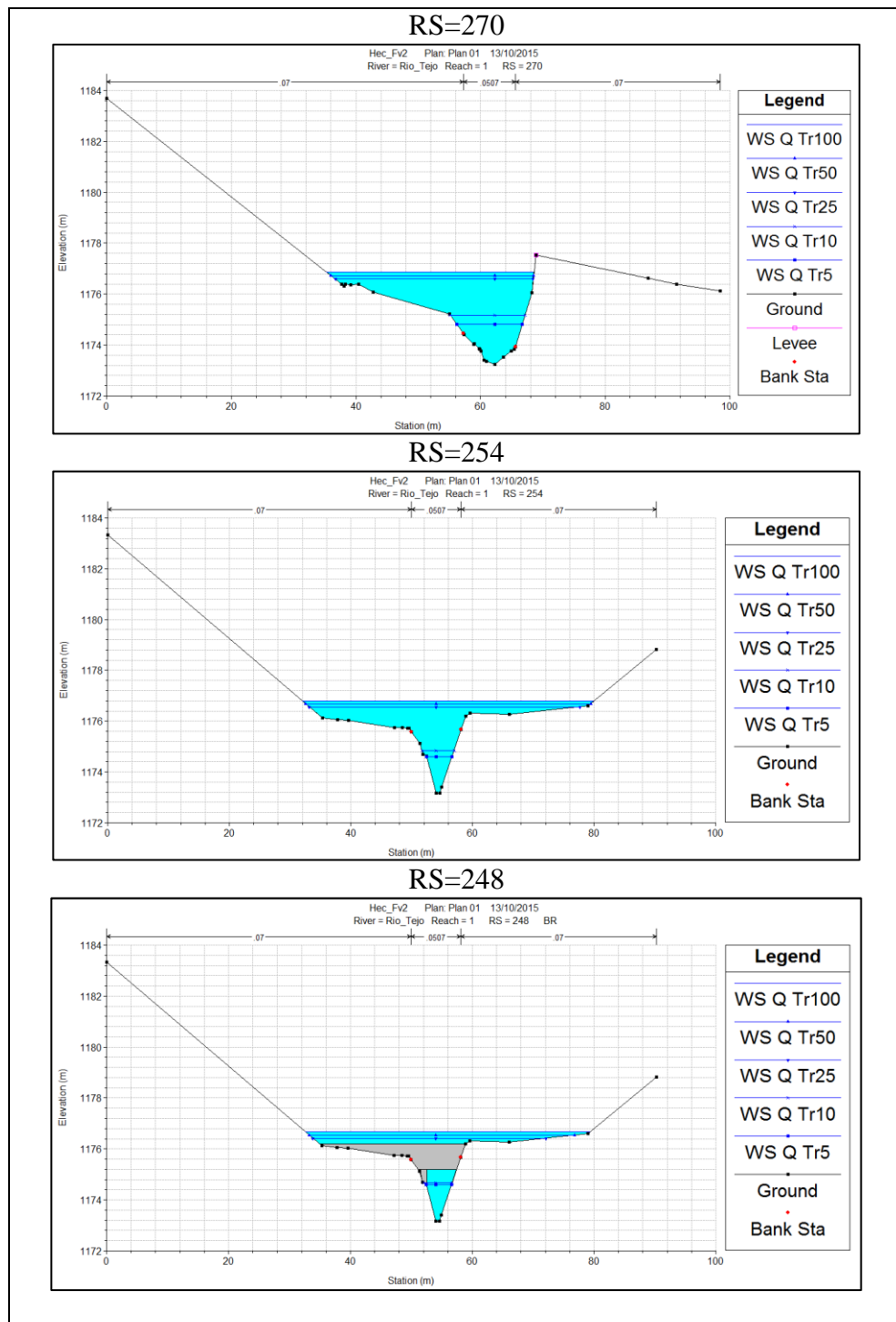
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 23. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.

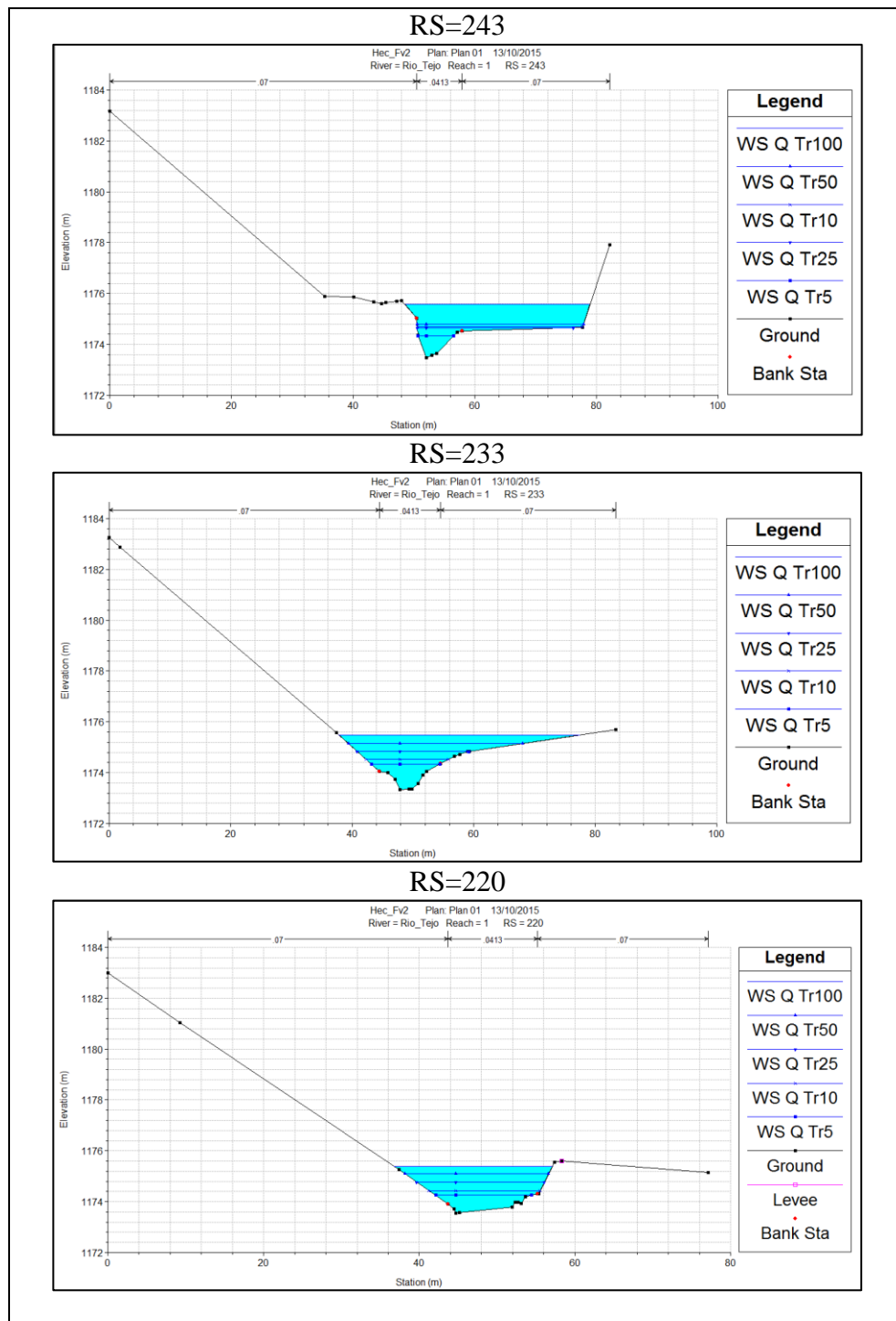


Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 24. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.

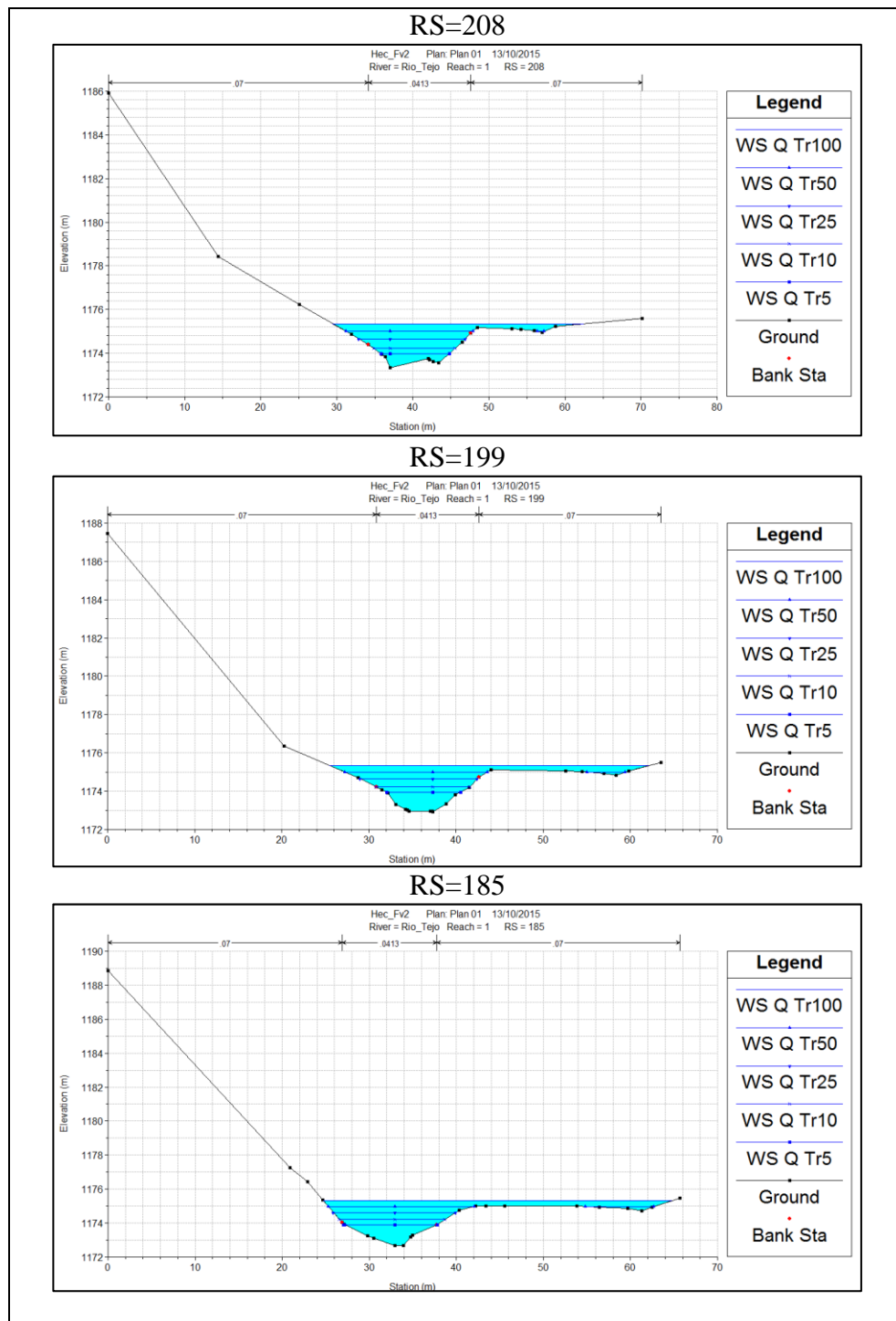


Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1
 Figura 25. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



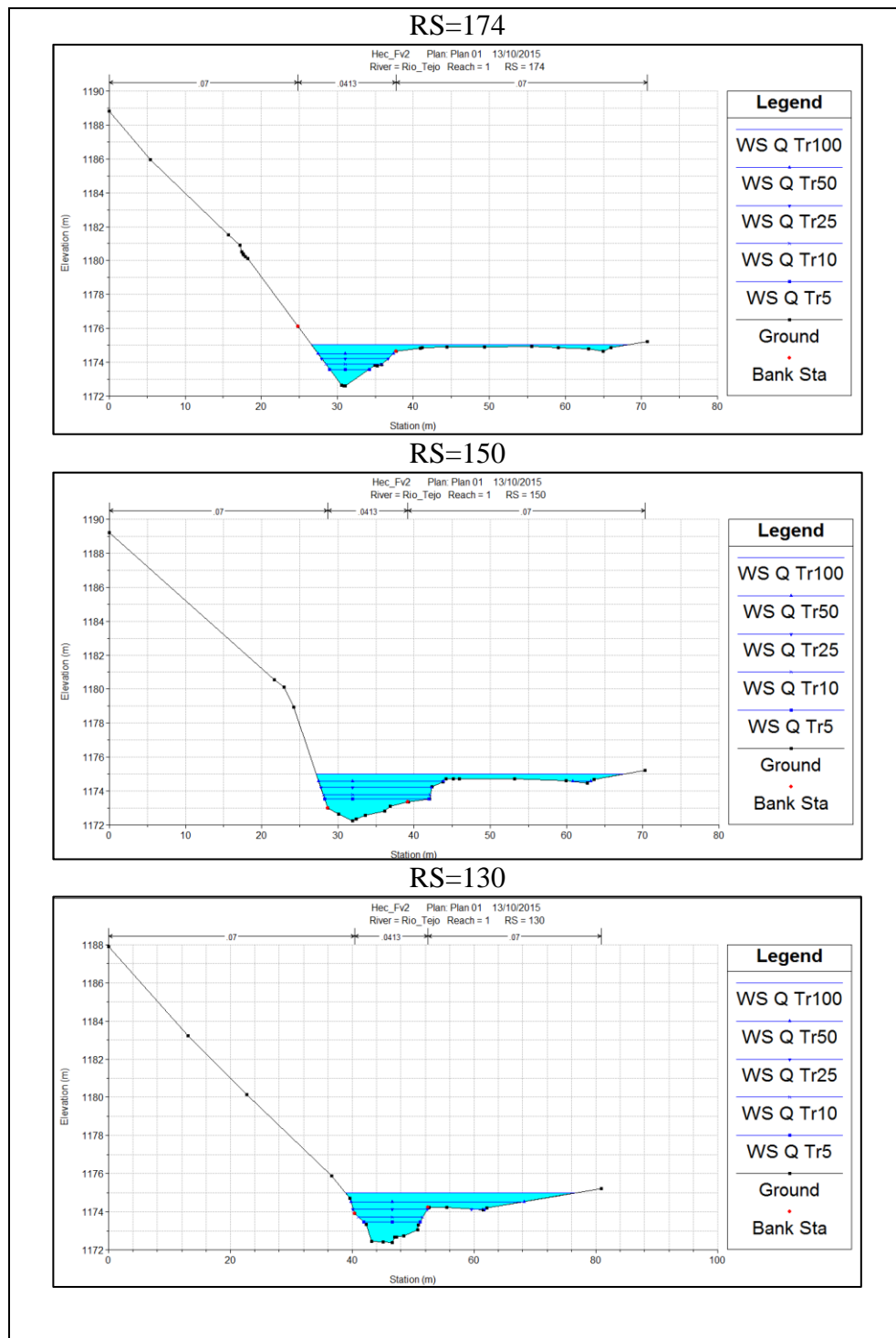
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 26. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



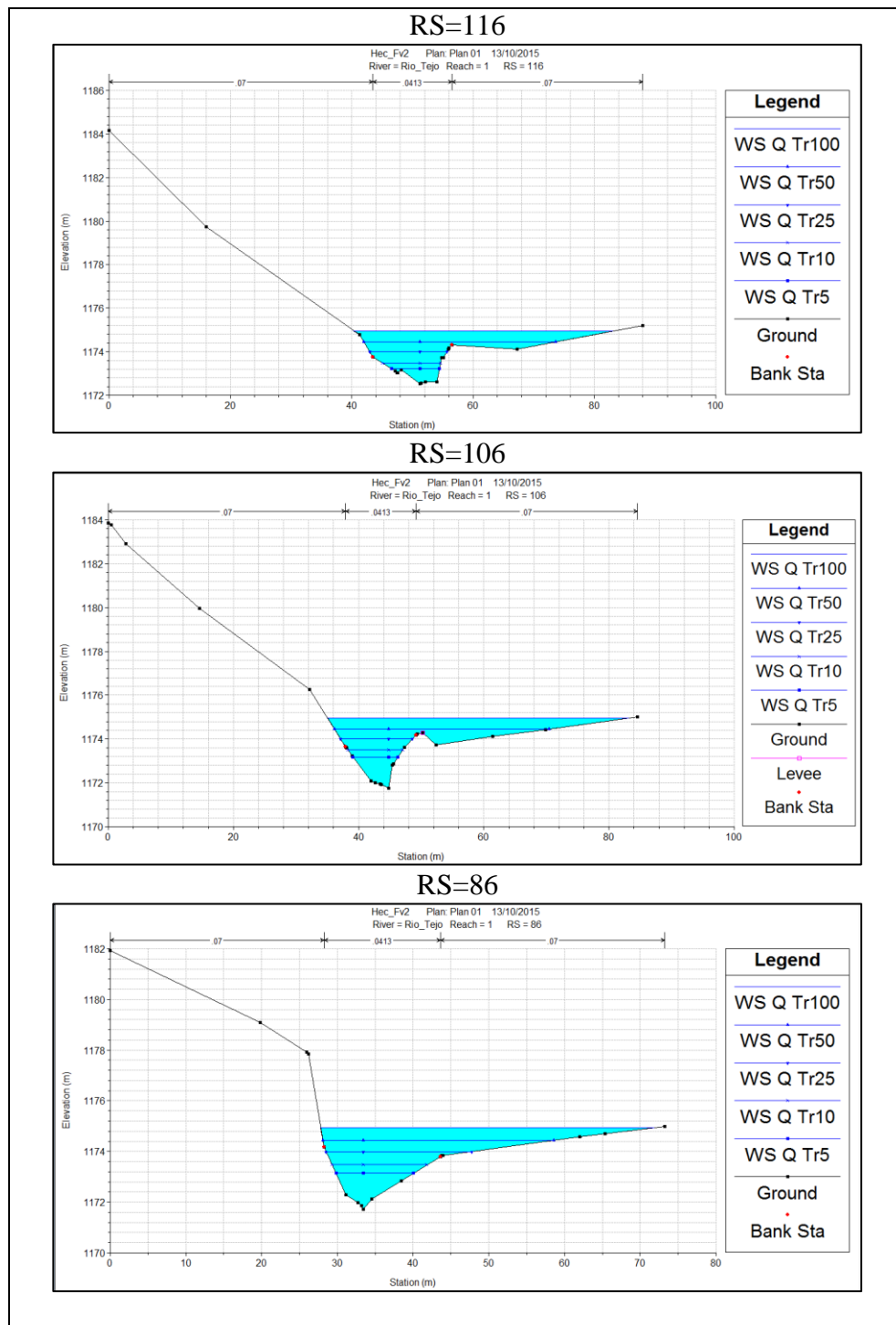
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 27. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



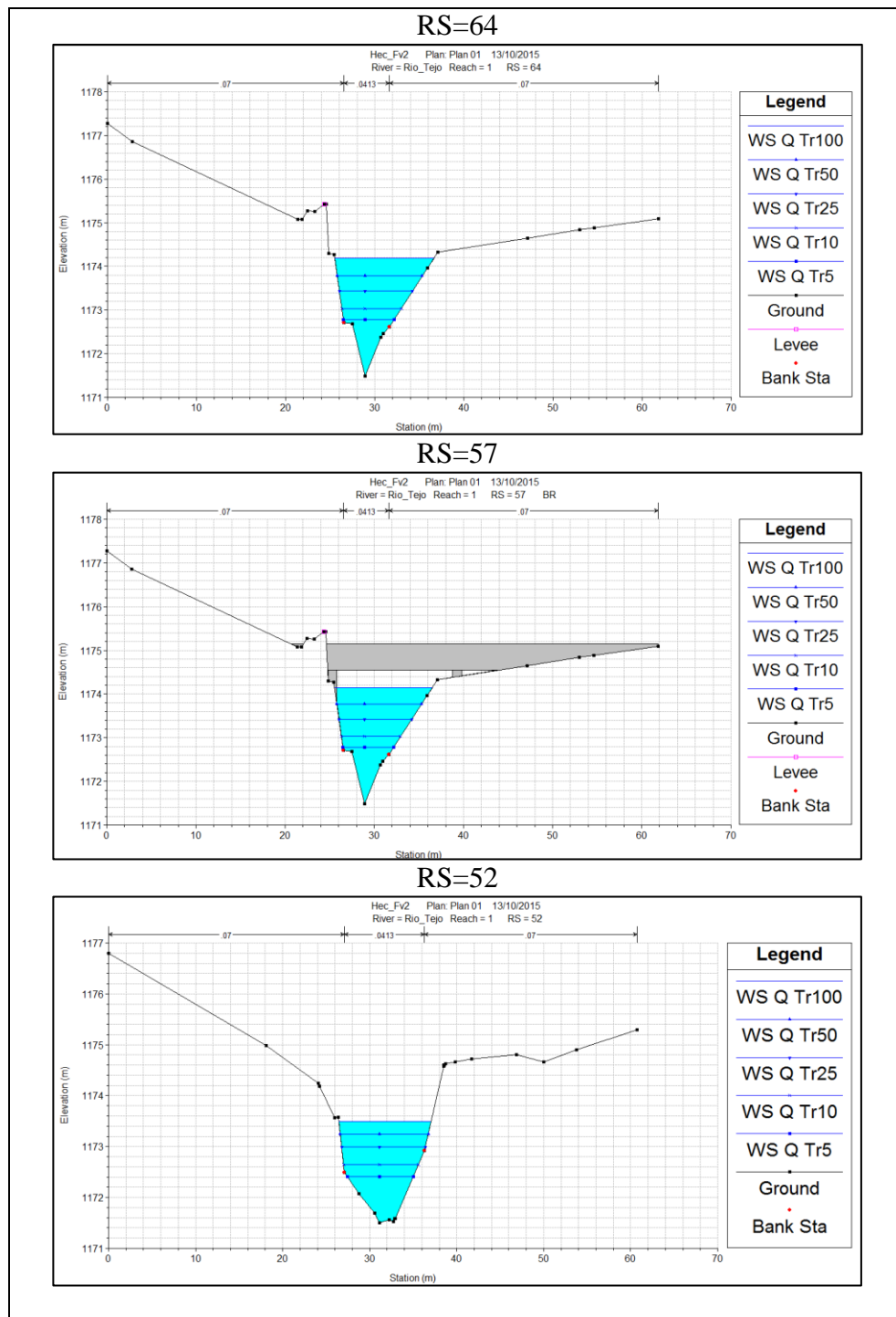
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 28. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



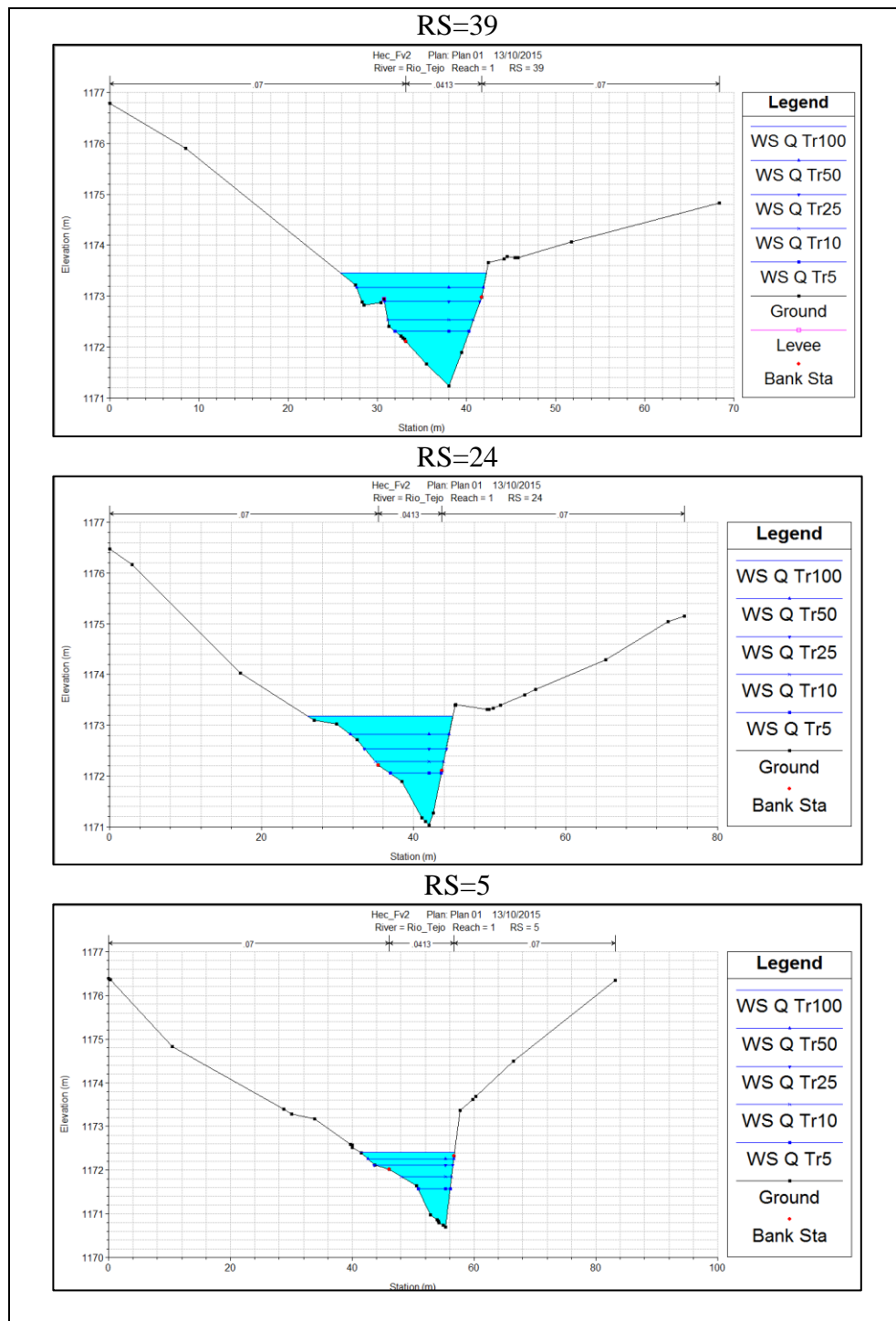
Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 29. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Figura 30. Secciones transversales del estudio hidráulico en HEC-RAS, de la zona de estudio Tr=5, 10, 25, 50,100 años. WS=nivel del agua.



Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

4.2.6.3 Resultados de los parámetros geométricos de las secciones modeladas en HEC-RAS. A continuación se presentan los resultados numéricos de las secciones modeladas del tramo de estudio tal como la velocidad, área de flujo, tirante, entre otros.

Cuadro 12. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para Tr=100 años.

Sección	Periodo de retorno (años)	Q Total	Elevacion mínima del canal	Elevacion lámina de agua	Tirante	Elevacion Línea de energía	Velocidad de flujo	Area de flujo	Ancho superficial	Número de Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
643	100	45.5	1176.05	1179.43	3.38	1179.47	1.14	65.68	41.55	0.21
634	100	45.5	1176.04	1179.39	3.35	1179.45	1.39	51.48	33.98	0.25
622	100	45.5	1176.05	1179.37	3.32	1179.43	1.48	48.79	27.7	0.26
615		Bridge								
608	100	45.5	1175.87	1178.32	2.45	1179.02	3.95	13.84	11.02	0.91
594	100	45.5	1175.56	1178.53	2.97	1178.65	1.75	34.19	23.13	0.35
580	100	45.5	1175.21	1178.51	3.3	1178.6	1.63	39.62	27.49	0.31
566	100	45.5	1175.28	1178.51	3.23	1178.57	1.23	47.69	28.4	0.24
550	100	45.5	1175.19	1178.43	3.24	1178.53	1.57	37.69	20.04	0.29
536	100	45.5	1175.02	1178.39	3.37	1178.5	1.86	39.24	26.84	0.33
520	100	45.5	1175.4	1178.3	2.9	1178.45	2.1	34.21	29.34	0.42
507	100	45.5	1175.38	1178.28	2.9	1178.39	1.64	35.34	27.93	0.37
490	100	45.5	1174.93	1178.19	3.26	1178.33	1.94	31.98	20.73	0.37
477	100	45.5	1175.19	1177.67	2.48	1178.19	3.41	16.27	17.36	0.88
461	100	45.5	1174.97	1177.43	2.46	1177.64	2.39	28.73	24.96	0.5
449	100	45.5	1174.96	1177.35	2.39	1177.55	2.23	27.81	26.63	0.5
434	100	45.5	1174.83	1177.34	2.51	1177.46	1.79	34.94	26.14	0.38
419	100	45.5	1174.41	1177.21	2.8	1177.4	2.06	26.04	16.63	0.44
403	100	45.5	1174.38	1177.11	2.73	1177.33	2.35	27.86	20.65	0.49
390	100	45.5	1174.46	1177.11	2.65	1177.26	1.94	31.18	19.91	0.41
374	100	45.5	1174.88	1177.1	2.22	1177.2	1.48	36.05	24.44	0.33
362	100	45.5	1174.08	1177.1	3.02	1177.17	1.42	50.61	38.07	0.28
348	100	45.5	1175.46	1177.01	1.55	1177.13	1.73	35.39	40.73	0.48
331	100	45.5	1174.88	1176.98	2.1	1177.06	1.4	43.41	36.73	0.32
318	100	45.5	1173.69	1176.96	3.27	1177.04	1.35	45.79	32.81	0.27
306	100	45.5	1173.64	1176.9	3.26	1177.02	1.59	33.9	19.03	0.32
282	100	45.5	1173.5	1176.85	3.35	1176.96	1.62	38.33	33.61	0.35
270	100	45.5	1173.24	1176.87	3.63	1176.93	1.25	54.35	33.28	0.22
254	100	45.5	1173.16	1176.8	3.64	1176.9	1.68	42.46	48.01	0.35
248		Bridge								
243	100	45.5	1173.48	1175.57	2.09	1175.73	2.21	31.99	30.4	0.56
233	100	45.5	1173.34	1175.49	2.15	1175.68	2.16	31.88	39.72	0.53
220	100	45.5	1173.54	1175.39	1.85	1175.62	2.24	24.44	20.35	0.57
208	100	45.5	1173.33	1175.35	2.02	1175.56	2.11	27.41	40.62	0.55
199	100	45.5	1172.91	1175.33	2.42	1175.51	1.95	30.25	37.98	0.46
185	100	45.5	1172.67	1175.32	2.65	1175.47	1.83	34.89	40.93	0.41
174	100	45.5	1172.61	1175.04	2.43	1175.4	2.75	21.38	44.13	0.74
150	100	45.5	1172.25	1175	2.75	1175.13	1.72	38.36	43.08	0.37
130	100	45.5	1172.39	1174.98	2.59	1175.09	1.58	41.09	42.02	0.35
116	100	45.5	1172.52	1174.95	2.43	1175.06	1.58	42.42	47.59	0.38
106	100	45.5	1171.76	1174.95	3.19	1175.04	1.5	47.11	48.2	0.33
86	100	45.5	1171.71	1174.94	3.23	1175.01	1.24	48.44	44.06	0.27
64	100	45.5	1171.49	1174.19	2.7	1174.9	3.97	14.67	11.11	0.9
57		Bridge								
52	100	45.5	1171.5	1173.49	1.99	1174.04	3.29	14.26	10.62	0.86
39	100	45.5	1171.24	1173.46	2.22	1173.88	3	18.45	16.41	0.76
24	100	45.5	1171.04	1173.18	2.14	1173.72	3.37	16.55	19.11	0.88
5	100	45.5	1170.69	1172.41	1.72	1173.32	4.27	11.56	15.49	1.38

Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Cuadro 13. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para Tr=50 años.

Sección	Periodo de retorno (años)	Q Total	Elevacion mínima del canal	Elevacion lámina de agua	Tirante	Elevacion Línea de energía	Velocidad de flujo	Area de flujo	Ancho superficial	Número de Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
643	50	31.3	1176.05	1179.02	2.97	1179.05	1.02	49.45	36.03	0.2
634	50	31.3	1176.04	1178.98	2.94	1179.03	1.22	38.67	28.23	0.24
622	50	31.3	1176.05	1178.96	2.91	1179.01	1.27	38.29	24.17	0.24
615		Bridge								
608	50	31.3	1175.87	1177.9	2.03	1178.54	3.7	9.59	8.94	0.96
594	50	31.3	1175.56	1178.16	2.6	1178.25	1.51	26.25	19.76	0.33
580	50	31.3	1175.21	1178.14	2.93	1178.21	1.42	30.12	23.46	0.29
566	50	31.3	1175.28	1178.13	2.85	1178.18	1.04	37.69	25.38	0.22
550	50	31.3	1175.19	1178.08	2.89	1178.15	1.27	31.08	17.86	0.25
536	50	31.3	1175.02	1178.05	3.03	1178.13	1.52	31.07	21.6	0.29
507	50	31.3	1175.38	1177.91	2.53	1178.01	1.54	25.48	25.41	0.39
520	50	31.3	1175.4	1177.94	2.54	1178.08	1.92	24.44	23.99	0.41
490	50	31.3	1174.93	1177.85	2.92	1177.96	1.65	25.25	18.64	0.33
477	50	31.3	1175.19	1177.37	2.18	1177.83	3.11	11.53	14.26	0.89
461	50	31.3	1174.97	1177.16	2.19	1177.3	1.94	22.7	19.08	0.44
449	50	31.3	1174.96	1177.06	2.1	1177.22	1.97	20.55	22.29	0.48
434	50	31.3	1174.83	1177.05	2.22	1177.14	1.49	27.88	23.16	0.34
419	50	31.3	1174.41	1176.97	2.56	1177.1	1.62	22.26	15.69	0.36
403	50	31.3	1174.38	1176.9	2.52	1177.04	1.87	23.62	19.59	0.41
390	50	31.3	1174.46	1176.9	2.44	1176.99	1.51	27.16	18.92	0.34
374	50	31.3	1174.88	1176.89	2.01	1176.95	1.15	31.15	22.9	0.27
362	50	31.3	1174.08	1176.89	2.81	1176.93	1.12	42.95	34.83	0.23
348	50	31.3	1175.46	1176.82	1.36	1176.9	1.46	27.89	36.33	0.44
331	50	31.3	1174.88	1176.8	1.92	1176.85	1.1	36.97	33.6	0.27
318	50	31.3	1173.69	1176.79	3.1	1176.84	1.03	40.25	30.46	0.21
306	50	31.3	1173.64	1176.76	3.12	1176.82	1.18	31.23	18.3	0.24
282	50	31.3	1173.5	1176.72	3.22	1176.79	1.24	34.08	32.35	0.28
270	50	31.3	1173.24	1176.73	3.49	1176.77	0.92	49.93	32.52	0.17
254	50	31.3	1173.16	1176.69	3.53	1176.75	1.28	37.26	46.92	0.27
248		Bridge								
243	50	31.3	1173.48	1174.8	1.32	1175.69	4.49	9.95	27.35	1.58
233	50	31.3	1173.34	1175.15	1.81	1175.34	2.04	20.24	28.69	0.56
220	50	31.3	1173.54	1175.1	1.56	1175.27	1.95	18.69	18.44	0.55
208	50	31.3	1173.33	1175.01	1.68	1175.2	1.99	16.43	17.63	0.59
199	50	31.3	1172.91	1175	2.09	1175.15	1.75	19.33	20.72	0.46
185	50	31.3	1172.67	1174.97	2.3	1175.11	1.63	21.77	24.67	0.4
174	50	31.3	1172.61	1174.51	1.9	1175.01	3.14	9.96	9.92	1
150	50	31.3	1172.25	1174.58	2.33	1174.69	1.53	23.76	18.75	0.36
130	50	31.3	1172.39	1174.53	2.14	1174.65	1.57	23.94	31.58	0.4
116	50	31.3	1172.52	1174.45	1.93	1174.6	1.76	21.52	34.12	0.49
106	50	31.3	1171.76	1174.45	2.69	1174.56	1.56	26.36	34.34	0.39
86	50	31.3	1171.71	1174.44	2.73	1174.51	1.2	29.81	30.5	0.3
64	50	31.3	1171.49	1173.78	2.29	1174.39	3.6	10.47	9.54	0.92
57		Bridge								
52	50	31.3	1171.5	1173.25	1.75	1173.62	2.72	11.72	10.13	0.78
39	50	31.3	1171.24	1173.18	1.94	1173.49	2.58	14.1	14.26	0.72
24	50	31.3	1171.04	1172.82	1.78	1173.32	3.17	10.93	13.02	0.95
5	50	31.3	1170.69	1172.26	1.57	1172.89	3.56	9.24	14.13	1.25

Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Cuadro 14. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para Tr=25 años.

Sección	Periodo de retorno (años)	Q Total	Elevacion mínima del canal	Elevacion lámina de agua	Tirante	Elevacion Línea de energía	Velocidad de flujo	Area de flujo	Ancho superficial	Número de Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
643	25	20.7	1176.05	1178.61	2.56	1178.63	0.91	35.84	30.66	0.19
634	25	20.7	1176.04	1178.58	2.54	1178.62	1.04	28.5	22.66	0.22
622	25	20.7	1176.05	1178.57	2.52	1178.6	1.06	29.34	20.97	0.22
615		Bridge								
608	25	20.7	1175.87	1177.61	1.74	1178.09	3.13	7.22	7.76	0.91
594	25	20.7	1175.56	1177.79	2.23	1177.86	1.29	19.59	16.95	0.31
580	25	20.7	1175.21	1177.77	2.56	1177.82	1.22	22.2	19.46	0.27
566	25	20.7	1175.28	1177.76	2.48	1177.8	0.88	28.78	22.76	0.2
550	25	20.7	1175.19	1177.73	2.54	1177.77	1	25.19	15.74	0.21
536	25	20.7	1175.02	1177.7	2.68	1177.76	1.23	24.28	17.71	0.25
520	25	20.7	1175.4	1177.61	2.21	1177.71	1.66	17.31	18.08	0.39
507	25	20.7	1175.38	1177.56	2.18	1177.65	1.43	17.3	20.29	0.39
490	25	20.7	1174.93	1177.51	2.58	1177.59	1.38	19.35	16.58	0.3
477	25	20.7	1175.19	1177.08	1.89	1177.48	2.83	7.83	11.26	0.93
461	25	20.7	1174.97	1176.89	1.92	1176.99	1.61	17.73	17.78	0.39
449	25	20.7	1174.96	1176.8	1.84	1176.93	1.66	15.27	18.72	0.44
434	25	20.7	1174.83	1176.8	1.97	1176.86	1.18	22.37	20.62	0.29
419	25	20.7	1174.41	1176.75	2.34	1176.83	1.23	18.93	14.81	0.29
403	25	20.7	1174.38	1176.71	2.33	1176.79	1.43	19.85	18.43	0.33
390	25	20.7	1174.46	1176.71	2.25	1176.76	1.13	23.54	17.99	0.27
374	25	20.7	1174.88	1176.7	1.82	1176.73	0.87	26.84	21.46	0.22
362	25	20.7	1174.08	1176.69	2.61	1176.72	0.85	36.47	31.83	0.18
348	25	20.7	1175.46	1176.64	1.18	1176.7	1.19	21.81	32.32	0.39
331	25	20.7	1174.88	1176.63	1.75	1176.66	0.83	31.51	30.93	0.21
318	25	20.7	1173.69	1176.63	2.94	1176.65	0.75	35.46	27.86	0.16
306	25	20.7	1173.64	1176.61	2.97	1176.64	0.84	28.56	17.96	0.18
282	25	20.7	1173.5	1176.59	3.09	1176.62	0.89	29.86	28.55	0.2
270	25	20.7	1173.24	1176.6	3.36	1176.61	0.66	45.45	31.74	0.12
254	25	20.7	1173.16	1176.57	3.41	1176.6	0.96	31.63	44.51	0.21
248		Bridge								
243	25	20.7	1173.48	1174.66	1.18	1175.46	4.01	6.19	25.62	1.55
233	25	20.7	1173.34	1174.83	1.49	1175	1.87	12.85	18.29	0.58
220	25	20.7	1173.54	1174.77	1.23	1174.92	1.76	13.1	16.41	0.57
208	25	20.7	1173.33	1174.65	1.32	1174.84	1.91	10.97	13.99	0.66
199	25	20.7	1172.91	1174.65	1.74	1174.77	1.53	13.85	13.44	0.45
185	25	20.7	1172.67	1174.63	1.96	1174.72	1.39	15.76	14.04	0.38
174	25	20.7	1172.61	1174.22	1.61	1174.63	2.86	7.24	8.75	1
150	25	20.7	1172.25	1174.22	1.97	1174.3	1.28	18.12	14.55	0.34
130	25	20.7	1172.39	1174.14	1.75	1174.25	1.44	14.47	14.36	0.42
116	25	20.7	1172.52	1174.01	1.49	1174.18	1.82	11.45	12.79	0.6
106	25	20.7	1171.76	1174	2.24	1174.12	1.55	13.44	11.45	0.44
86	25	20.7	1171.71	1173.99	2.28	1174.06	1.13	18.64	19.25	0.33
64	25	20.7	1171.49	1173.43	1.94	1173.93	3.21	7.34	8.17	0.93
57		Bridge								
52	25	20.7	1171.5	1172.99	1.49	1173.25	2.28	9.15	9.61	0.73
39	25	20.7	1171.24	1172.89	1.65	1173.13	2.23	10.1	10.71	0.69
24	25	20.7	1171.04	1172.54	1.5	1172.95	2.82	7.67	10.78	0.97
5	25	20.7	1170.69	1172.11	1.42	1172.53	2.87	7.31	12.94	1.11

Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Cuadro 15. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para Tr=10 años.

Sección	Periodo de retorno (años)	Q Total	Elevacion mínima del canal	Elevacion lámina de agua	Tirante	Elevacion Línea de energía	Velocidad de flujo	Area de flujo	Ancho superficial	Número de Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
643	10	11.1	1176.05	1178.09	2.04	1178.11	0.77	21.69	23.81	0.18
634	10	11.1	1176.04	1178.07	2.03	1178.1	0.8	18.53	17.14	0.19
622	10	11.1	1176.05	1178.06	2.01	1178.08	0.81	19.78	16.88	0.18
615		Bridge								
608	10	11.1	1175.87	1177.22	1.35	1177.55	2.57	4.51	6.13	0.89
594	10	11.1	1175.56	1177.31	1.75	1177.37	1.05	12.19	13.81	0.29
580	10	11.1	1175.21	1177.29	2.08	1177.33	0.97	14.22	14.16	0.25
566	10	11.1	1175.28	1177.28	2	1177.3	0.69	18.82	18.22	0.18
550	10	11.1	1175.19	1177.26	2.07	1177.29	0.72	18.2	14.05	0.17
536	10	11.1	1175.02	1177.25	2.23	1177.27	0.86	17.26	13.71	0.19
520	10	11.1	1175.4	1177.17	1.77	1177.24	1.29	10.81	12.44	0.34
507	10	11.1	1175.38	1177.12	1.74	1177.19	1.21	9.94	13	0.37
490	10	11.1	1174.93	1177.09	2.16	1177.13	1	13.11	11.81	0.24
477	10	11.1	1175.19	1176.72	1.53	1177.04	2.5	4.45	7.42	1
461	10	11.1	1174.97	1176.45	1.48	1176.52	1.33	10.52	13.69	0.37
449	10	11.1	1174.96	1176.34	1.38	1176.45	1.46	7.97	11.07	0.46
434	10	11.1	1174.83	1176.34	1.51	1176.38	0.93	14.02	16.01	0.26
419	10	11.1	1174.41	1176.32	1.91	1176.36	0.9	13.08	11.59	0.25
403	10	11.1	1174.38	1176.28	1.9	1176.33	1.04	13.48	12.73	0.27
390	10	11.1	1174.46	1176.28	1.82	1176.31	0.85	16.26	15.95	0.23
374	10	11.1	1174.88	1176.27	1.39	1176.29	0.65	18.3	18.25	0.19
362	10	11.1	1174.08	1176.26	2.18	1176.28	0.63	24.2	24.88	0.15
348	10	11.1	1175.46	1176.08	0.62	1176.24	1.83	6.73	22.15	0.93
331	10	11.1	1174.88	1175.47	0.59	1175.68	2	5.65	14.74	1
318	10	11.1	1173.69	1175.44	1.75	1175.48	0.95	12.4	12.92	0.29
306	10	11.1	1173.64	1175.38	1.74	1175.44	1.1	10.29	11.45	0.35
282	10	11.1	1173.5	1175.12	1.62	1175.29	1.83	6.08	7.99	0.67
270	10	11.1	1173.24	1175.18	1.94	1175.22	0.86	14.07	12.02	0.23
254	10	11.1	1173.16	1174.85	1.69	1175.14	2.39	4.64	5.26	0.81
248		Bridge								
243	10	11.1	1173.48	1174.69	1.21	1174.89	2	7.1	27.17	0.75
233	10	11.1	1173.34	1174.52	1.18	1174.63	1.48	7.96	13.56	0.55
220	10	11.1	1173.54	1174.44	0.9	1174.55	1.47	8.03	14.31	0.59
208	10	11.1	1173.33	1174.22	0.89	1174.42	1.97	5.62	10.7	0.87
199	10	11.1	1172.91	1174.24	1.33	1174.32	1.25	8.85	10.84	0.44
185	10	11.1	1172.67	1174.21	1.54	1174.27	1.09	10.33	12.13	0.36
174	10	11.1	1172.61	1173.88	1.27	1174.19	2.46	4.52	7.4	1
150	10	11.1	1172.25	1173.79	1.54	1173.84	1.01	11.93	14.06	0.32
130	10	11.1	1172.39	1173.72	1.33	1173.79	1.16	9.55	10.57	0.39
116	10	11.1	1172.52	1173.48	0.96	1173.69	2.05	5.42	9.52	0.87
106	10	11.1	1171.76	1173.5	1.74	1173.59	1.32	8.43	8.79	0.43
86	10	11.1	1171.71	1173.47	1.76	1173.52	1.01	10.97	12.5	0.34
64	10	11.1	1171.49	1173.03	1.54	1173.39	2.67	4.41	6.64	0.95
57		Bridge								
52	10	11.1	1171.5	1172.64	1.14	1172.82	1.85	6	8.6	0.7
39	10	11.1	1171.24	1172.54	1.3	1172.7	1.8	6.53	9.59	0.64
24	10	11.1	1171.04	1172.29	1.25	1172.53	2.18	5.13	8.98	0.89
5	10	11.1	1170.69	1171.86	1.17	1172.14	2.37	4.68	8.32	1.01

Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

Cuadro 16. Resultados de las variables hidráulicas de las secciones transversales para Tr=5años.

Sección	Periodo de retorno (años)	Q Total	Elevacion mínima del canal	Elevacion lámina de agua	Tirante	Elevacion Línea de energía	Velocidad de flujo	Area de flujo	Ancho superficial	Número de Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
643	5	6.4	1176.05	1177.71	1.66	1177.73	0.66	13.7	18.88	0.18
634	5	6.4	1176.04	1177.7	1.66	1177.72	0.64	12.79	14.03	0.17
622	5	6.4	1176.05	1177.7	1.65	1177.71	0.62	14.15	13.92	0.16
615		Bridge								
608	5	6.4	1175.87	1176.9	1.03	1177.18	2.35	2.77	4.77	0.94
594	5	6.4	1175.56	1176.95	1.39	1176.99	0.89	7.72	10.95	0.3
580	5	6.4	1175.21	1176.93	1.72	1176.95	0.79	9.55	11.62	0.23
566	5	6.4	1175.28	1176.92	1.64	1176.93	0.58	12.46	16.44	0.18
550	5	6.4	1175.19	1176.9	1.71	1176.92	0.55	13.38	12.61	0.15
536	5	6.4	1175.02	1176.89	1.87	1176.91	0.65	12.7	11.88	0.16
520	5	6.4	1175.4	1176.83	1.43	1176.88	1.06	7.05	9.7	0.32
507	5	6.4	1175.38	1176.77	1.39	1176.83	1.04	6.3	8.9	0.37
490	5	6.4	1174.93	1176.75	1.82	1176.77	0.76	9.48	9.96	0.21
477	5	6.4	1175.19	1176.39	1.2	1176.69	2.43	2.64	4.4	1
461	5	6.4	1174.97	1176.21	1.24	1176.26	1	7.62	11.31	0.31
449	5	6.4	1174.96	1176.15	1.19	1176.21	1.05	6.09	8.3	0.37
434	5	6.4	1174.83	1176.15	1.32	1176.17	0.65	11.13	14.21	0.2
419	5	6.4	1174.41	1176.14	1.73	1176.15	0.61	11.05	10.85	0.18
403	5	6.4	1174.38	1176.12	1.74	1176.14	0.69	11.44	11.97	0.19
390	5	6.4	1174.46	1176.11	1.65	1176.13	0.57	13.73	15.18	0.16
374	5	6.4	1174.88	1176.11	1.23	1176.12	0.44	15.49	17.07	0.14
362	5	6.4	1174.08	1176.11	2.03	1176.11	0.41	20.6	21.31	0.1
348	5	6.4	1175.46	1175.98	0.52	1176.09	1.51	4.48	20.2	0.91
331	5	6.4	1174.88	1175.34	0.46	1175.49	1.71	3.76	12.91	1
318	5	6.4	1173.69	1175.11	1.42	1175.14	0.79	8.41	11.33	0.28
306	5	6.4	1173.64	1175.06	1.42	1175.1	0.93	6.88	9.54	0.35
282	5	6.4	1173.5	1174.73	1.23	1174.91	1.87	3.42	5.91	0.79
270	5	6.4	1173.24	1174.81	1.57	1174.83	0.68	9.89	10.48	0.21
254	5	6.4	1173.16	1174.59	1.43	1174.77	1.88	3.41	4.15	0.66
248		Bridge								
243	5	6.4	1173.48	1174.35	0.87	1174.6	2.22	2.88	5.87	1.01
233	5	6.4	1173.34	1174.34	1	1174.41	1.16	5.66	11.3	0.5
220	5	6.4	1173.54	1174.26	0.72	1174.33	1.21	5.47	12.3	0.56
208	5	6.4	1173.33	1173.98	0.65	1174.17	1.93	3.32	8.99	1.01
199	5	6.4	1172.91	1173.94	1.03	1174	1.07	5.99	8.5	0.41
185	5	6.4	1172.67	1173.91	1.24	1173.96	0.93	6.89	10.68	0.37
174	5	6.4	1172.61	1173.59	0.98	1173.86	2.31	2.77	5.2	1.01
150	5	6.4	1172.25	1173.53	1.28	1173.56	0.8	8.29	13.68	0.29
130	5	6.4	1172.39	1173.48	1.09	1173.52	0.9	7.13	9.29	0.33
116	5	6.4	1172.52	1173.22	0.7	1173.43	2.01	3.19	7.86	1.01
106	5	6.4	1171.76	1173.18	1.42	1173.24	1.1	5.83	7.2	0.39
86	5	6.4	1171.71	1173.14	1.43	1173.18	0.89	7.18	10.18	0.34
64	5	6.4	1171.49	1172.79	1.3	1173.04	2.26	2.88	5.69	0.97
57		Bridge								
52	5	6.4	1171.5	1172.41	0.91	1172.54	1.56	4.1	7.61	0.68
39	5	6.4	1171.24	1172.31	1.07	1172.42	1.46	4.46	8.29	0.6
24	5	6.4	1171.04	1172.06	1.02	1172.25	1.94	3.29	6.74	0.89
5	5	6.4	1170.69	1171.57	0.88	1171.84	2.29	2.79	5.28	1.01

Fuente. Autores del proyecto, resultados HEC-RAS 4.1

La sección 643 pertenece al inicio del tramo de estudio aguas arriba del puente El Tejarito finalizando con la sección 5 aguas abajo del puente Las delicias.

En los resultados obtenidos en las tablas que arroja el modelo hidráulico de las secciones transversales muestra cada una de las variables, como la velocidad, en la cual se define el comportamiento del flujo a lo largo del canal, así como el cambio de régimen. Otras variables importantes por mencionar son la profundidad del flujo, el número de Froude, el área de flujo y el caudal. De igual manera el ancho superficial es un fuerte indicador de las zonas que presentan amenaza por inundación en el sitio de estudio.

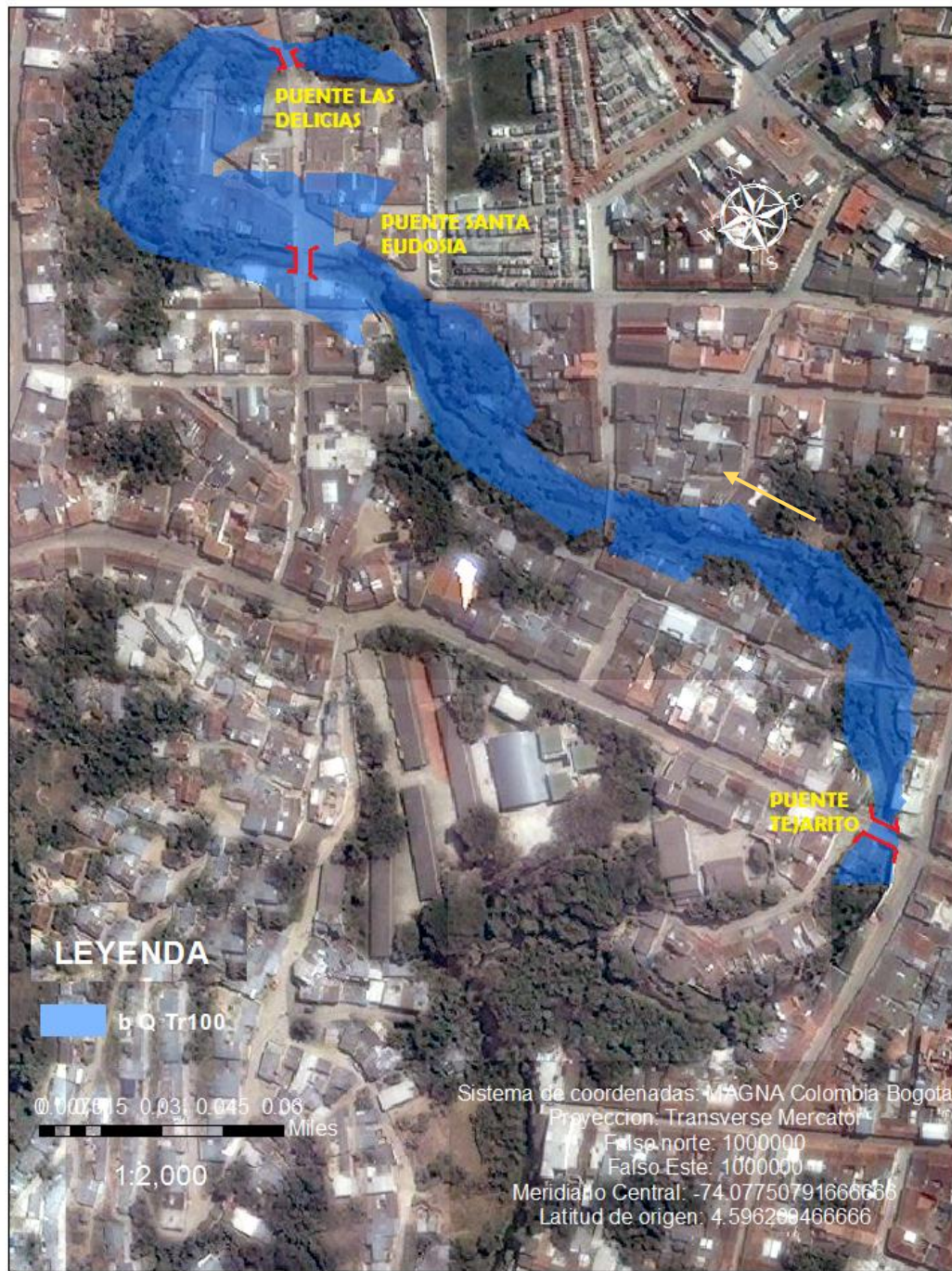
4.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS COTAS DE INUNDACIÓN IMPLEMENTANDO EL MODELO MATEMÁTICO HEC-GEORAS

Posteriormente del análisis del estudio hidráulico en HEC-RAS, se exporta un archivo a SIG y con Hec-GeoRAS se realiza un proceso cartográfico en el cual se genera la planicie de inundación para los periodos de retorno simulados (5, 10, 25,50 y 100 años).

Como resultado del modelo se obtiene la extensión o ancho superficial de las zonas inundables y la profundidad en cada punto; información que permite identificar los lugares poblados que se verán afectados y como se procede a mitigar con estructuras, que se plantean de manera conceptual.

En las figuras 31, 32, 33,34 y 35, se observan las planicies generadas en el SIG de los resultados de la modelación hidráulica de la zona de estudio.

Figura 31. Planicie de inundación para el periodo de retorno $Tr=100$ años de la zona de estudio.



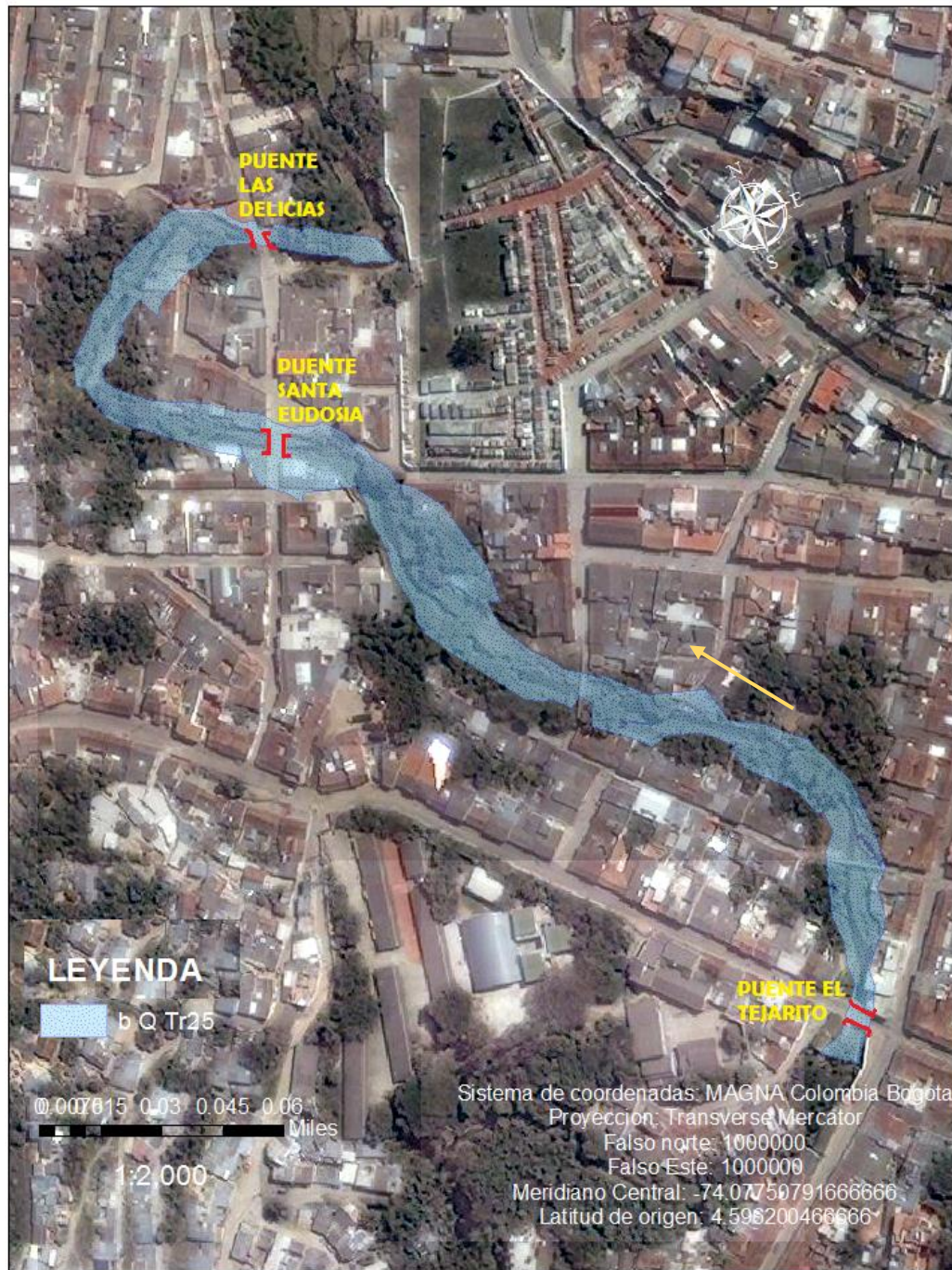
Fuente: Autores del proyecto, resultados de Arc-Gis

Figura 32. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=50$ años de la zona de estudio.



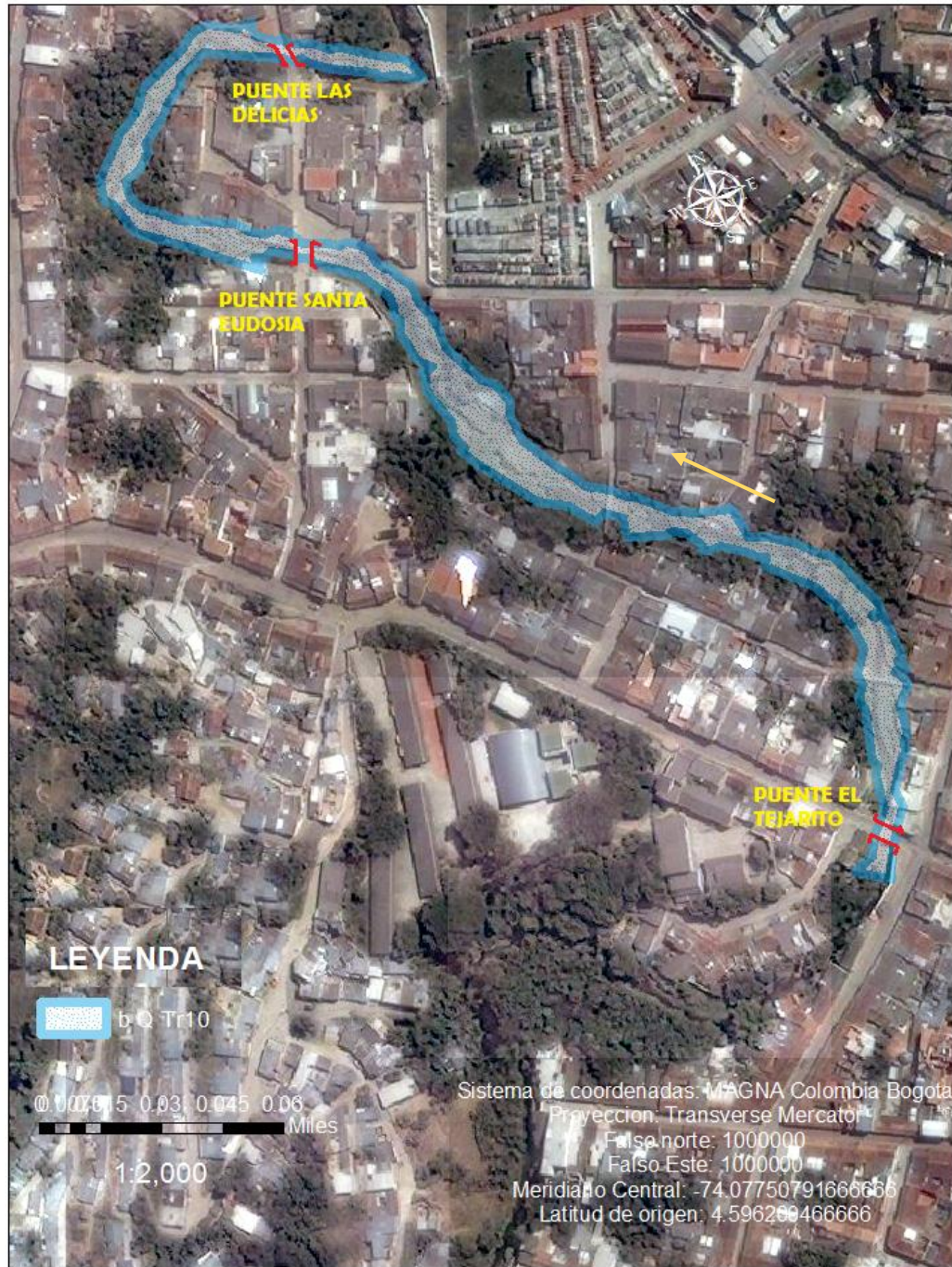
Fuente: Autores del proyecto, resultados de Arc-Gis

Figura 33. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=25$ años de la zona de estudio.



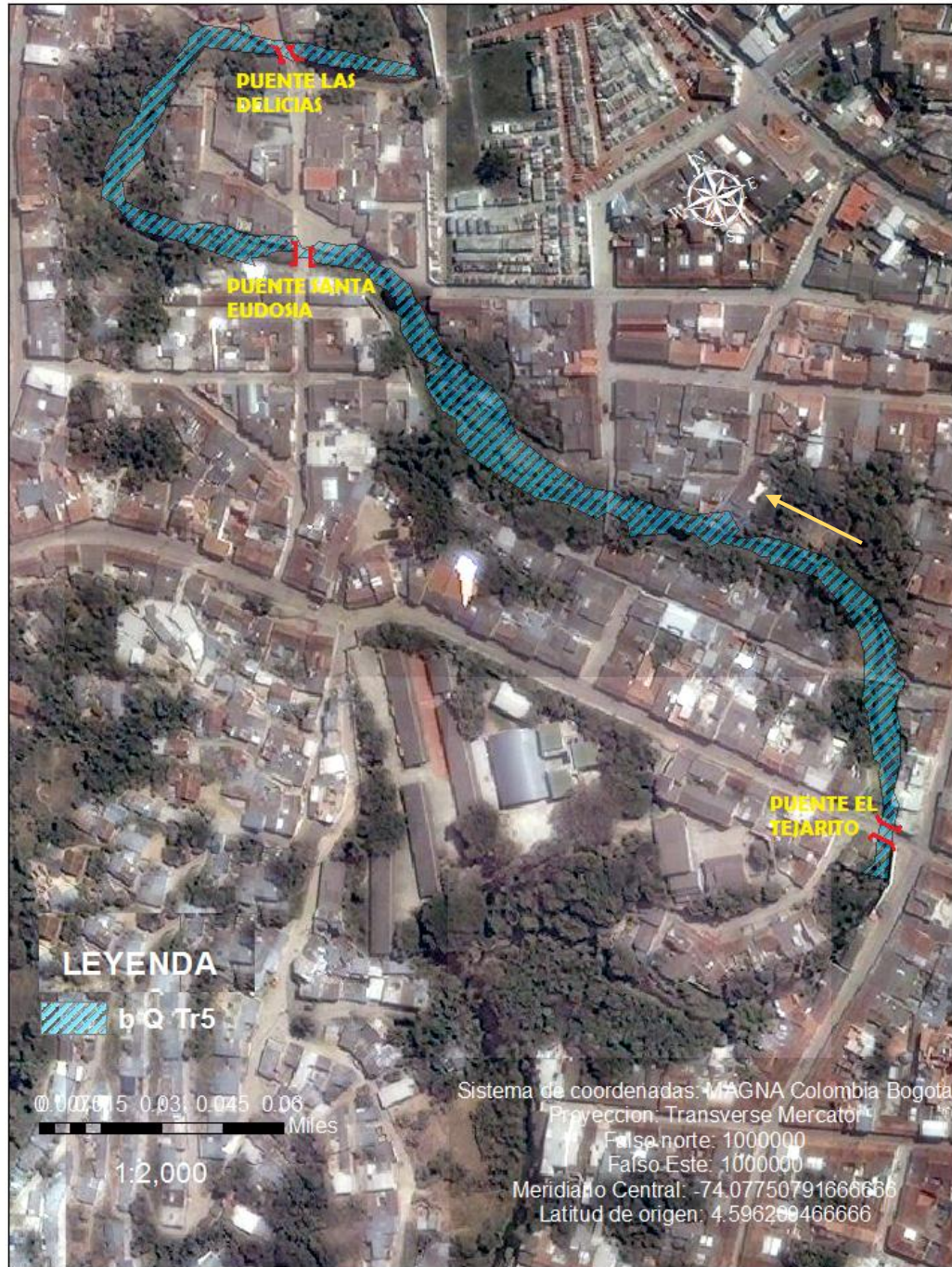
Fuente: Autores del proyecto, resultados de Arc-Gis

Figura 34. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=10$ años de la zona de estudio.



Fuente: Autores del proyecto, resultados de Arc-Gis

Figura 35. Planicie de inundación para un periodo de retorno $Tr=5$ años de la zona de estudio.



Fuente: Autores del proyecto, resultados de Arc-Gis

A partir de los resultados obtenidos en los mapas de inundación se realiza un análisis de las zonas afectadas, el cual se representa en los cuadros 17 a 19, para los periodos de retorno de 25,50 y 100 años.

Cuadro 17. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 100 años.

LOCALIZACION	TIRANTE (m)	ANCHO SUPERFICIAL (m)	COTA DE INUNDACION (m.s.n.m)
Sección 643 a 622	3.38	41.55	1179.43
Sección 580 a 536	3.37	28.4	1178.51
Sección 520 a 507	2.9	29.34	1178.3
Sección 490 a 477	3.26	20.73	1178.19
Sección 477 a 374	2.8	26.63	1177.67
Sección 362 a 348	3.02	38.07	1177.1
Sección 348 a 331	2.1	40.73	1177.01
Sección 318 a 254	3.64	48.01	1176.96
Sección 243 a 208	2.15	40.62	1175.57
Sección 199 a 116	2.75	47.59	1175.33
Sección 106 a 64	3.23	48.2	1174.95
Sección 52 a 5	2.22	19.11	1173.49

Fuente: Autores del proyecto

Cuadro 18. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 50 años.

LOCALIZACION	TIRANTE (m)	ANCHO SUPERFICIAL (m)	COTA DE INUNDACION (m.s.n.m)
Sección 643 a 622	2.97	36.03	1179.02
Sección 594 a 550	2.93	25.38	1178.16
Sección 536 a 490	3.03	25.41	1177.94
Sección 477 a 434	2.22	23.16	1177.37
Sección 419 a 362	2.81	34.83	1176.97
Sección 318 a 254	3.53	46.92	1176.79
Sección 243 a 116	2.33	34.12	1175.5
Sección 106 a 64	2.73	34.34	1174.45
Sección 52 a 5	1.94	14.26	1173.25

Fuente: Autores del proyecto

Cuadro 19. Datos de las zonas que presentan amenaza por inundación para un periodo de retorno de 25 años.

LOCALIZACION	TIRANTE (m)	ANCHO SUPERFICIAL (m)	COTA DE INUNDACION (m.s.n.m)
Sección 643 a 622	2.56	30.66	1178.61
Sección 520 a 507	2.21	20.29	1177.61
Sección 477 a 434	1.97	20.62	1177.08
Sección 419 a 362	2.61	31.83	1176.75
Sección 348 a 331	1.75	32.32	1176.64
Sección 318 a 282	3.09	28.55	1176.63
Sección 270 a 254	3.41	44.51	1176.57
Sección 243 a 208	1.49	25.62	1174.83
Sección 199 a 116	1.97	14.55	1174.65
Sección 106 a 64	2.28	19.25	1174
Sección 52 a 5	1.65	12.94	1172.99

Fuente: Autores del proyecto

Para los tres periodos de retorno analizados, se identifican los puntos más afectados por la amenaza de inundación. Uno de éstos es la sección 643 a las 622 localizadas aguas arriba del puente El Tejarito, debido a la presencia de un muro de contención en la margen derecha del río, obligando al flujo que se desborde a la margen izquierda.

Las viviendas localizadas entre la sección 419 y 362 correspondientes al barrio Tejarito parte baja, son afectadas por el fenómeno de inundación por ser un terreno plano y bajo.

Aguas arriba del puente Santa Eudisia desde la sección 318 a la sección 282, se presenta un aumento en la lámina de agua por la reducción de la capacidad hidráulica del canal por presencia de arbustos, ocasionando en el puente Santa Eudisia un incremento de caudal que en conjunto con la poca capacidad que posee el puente se genera un desbordamiento inundando las viviendas localizadas en ese sector.

Aguas abajo del puente Santa Eudisia se encuentran viviendas próximas al cauce en ambos márgenes, restringiendo la capacidad hidráulica, por ende ocasiona un alza en la altura del flujo viéndose afectadas.

Es indispensable establecer la ronda hídrica a partir de los resultados obtenidos, en base a éstas se puede formular alternativas de solución para mejorar las condiciones presentes en el área de estudio y contribuir al mejoramiento ambiental.

La ronda hídrica es una zona de protección ambiental e hidráulica paralela al cauce. Según el artículo 206 de la ley 1450 de 2011 “Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto-ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual deberán realizar los estudios correspondientes, conforme a los criterios que defina el Gobierno Nacional”. De acuerdo al artículo 83 literal d) del decreto-ley 2811 de 1974 establece que se debe definir la ronda hídrica para periodos de retorno correspondientes al cauce permanente o al cauce máximo, una faja paralela hasta de treinta metros de ancho, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado, salvo derechos adquiridos por particulares.

Teniendo en cuenta el cauce de aguas máximas que corresponde a la cota de inundación del periodo de retorno de 100 años para el tramo de estudio del Río Tejo, se delimita la ronda hídrica tomando el valor máximo estipulado en el artículo 83 del decreto-ley 2811 de 1974 de treinta metros para el control de inundaciones.

De acuerdo al presente estudio se identifican las viviendas ubicadas dentro de la ronda hídrica que alteran la capacidad hidráulica, afectan el ecosistema, la geomorfología y el componente hidrológico del río.

Figura 36. Ronda hídrica delimitada para la zona de estudio.



Fuente: Autores del proyecto

Cuadro 20. Viviendas ubicadas en la ronda hídrica de la zona de estudio.

ID	AREA DE VIVIENDA (m2)	DIRECCION
1	206	K 10 7 62 BR TEJARITO
2	186	K 10 7 50 54 BR EL TEJARITO
3	167	K 10 7 40 BR TEJARITO
4	55	K 10 7 109 AP 101 BR EL TEJARITO
5	85	K 10 7 101 BR TEJARITO (K10 6 101)
6	282	K 10 7 85 BR EL TEJARITO
7	191	K 10 7 71 AP 1 (K 10 6 75 AP 1 BR)
8	312	K 10 7 55 BR EL TEJARITO
9	1116	K 10A 7 71 (K 11 6 67) BR TEJARITO
10	72	K 10A 7 57 (K 11 6 57) BR TEJARITO
11	88	K 10A 7 49 (K 11 6 49) BR TEJARITO
12	85	K 10A 7 43 (K 11 6 43) BR TEJARITO
13	70	K 10A 7 37 (K 11 6 37) BR TEJARITO
14	71	K 10A 7 29 (K 11 6 29) BR TEJARITO
15	106	K 10A 7 23 (K 11 6 23) BR TEJARITO
16	80	K 10A 7 15 (K 11 6 15) BR TEJARITO
17	108	K 10 7 29 APTO 201 (K 10 6 24 BR)
18	34	K 10A 7 34 AP 201 ED LOPEZ TORRADO
19	120	K 10A 7 18 BR EL TEJARITO
20	40	C 7 10 38 (C 6 10 38 BR EL TEJARITO)

Cuadro 20. (Continuación)

21	68	C 7 10 34 (C 6 10 32 BR EL TEJARITO)
22	112	K 10A 7 07 (K 11 6 07) BR TEJARITO
23	98	K 10A 6 29 (K 10A 6 29) BR TEJARIT
24	95	K 10A 6 21 (K 11 5B 15) BR TEJARIT
25	67	K 10A 6 15 (K 11 5B 05) BR TEJARIT
26	51	K 10A 6 40 BR EL TEJARITO
27	45	K 10A 6 54 BR EL TEJARITO
28	149	K 11 6 34 BR EL TEJARITO
29	178	K 11 6 26 BR EL TEJARITO
30	79	C 11 6B 12 APTO 101 ED DONA ANA B
31	82	C 6A 10A 32 BR TEJARITO
32	207	C 6 11 05 UR LAS DELICIAS (C 4 11A)
33	142	C 6 11 13 (C 4 11A 13 BR LAS DELICIAS
34	76	C 6 11B 04 (C 4A 11B 08) BR LAS DELICIAS
35	48	C 6 11B 02 (C 4A 11B 02) BR LAS DELICIAS
36	42	K 11A 6 19 (K 11B 4A 19) BR LAS DELICIAS
37	184	C 5C 11A 09 (C 4 11B 05) BR LAS DELICIAS
38	206	K 11A 4 61 (K 11B 4 31) BR LAS DELICIAS
39	204	K 11A 4 57 (K 11B 4 19) BR LAS DELICIAS
40	217	K 11A 4 47)K 11B 4 07) BR LAS DELICIAS
41	231	K 11 5 38 (K 11 3B 37 BR LA TORCOROMA

Cuadro 20. (Continuación)

42	580	C 4B 11B 03 (C 4 11C 03) BR SANTA
43	127	C 4B 11B 07 11 (C 4 11C 11 07) BR
44	118	C 4B 11B 07 11 (C 4 11C 11 07) BR
45	73	C 4B 11B 27 (C 4 11C 27) BR SANTA EUDOSIA
46	380	K 11C 4 08 BR SANTA EUDOSIA
47	241	K 11C 4 14 BR SANTA EUDOSIA
48	320	T 11C 4 22 30 34 BR SANTA EUDOSIA
49	198	K 11B 4B 05 (K 11C 4 05 INT) BR SA
50	162	K 11B 4B 17 (K 11C 4 16) BR SANTA
51	176	K 11 4B 25 8 (K 11C 4 24) BR SANT
52	120	K 11B 4B 33 (K 11C 4 32) BR SANTA
53	320	K 11B 4B 43 (K 11C 4 43) BR SANTA
54	120	C 5 11B 10 (C 4A 11C 10) BR SANTA
55	208	C 5 11B 10 (C 4A 11C 10) BR SANTA
56	123	K 11B 5A 04 (K 11C 5A 04) BR CENTR
57	68	K 11B 5A 44 (K 11C 5A 44) BR CENTR
58	216	K 11B 5A 26 INT (K 11C 5A 26 INT)
59	159	C 6 11A 23 (C 6 11B 17) BR CENTRAL
60	227	C 6 11A 15 (C 6 11B 09) BR CENTRAL
61	284	K 11B 5A 34 (K 11C 5A 34 36) BR CE
62	240	K 11B 5A 26 (K 11C 5A 26) BR CENTR
63	409	K 11B 5A 26 (K 11C 5A 26) BR CENTR
64	172	C 6 11 05 (C 6 11A 05) BR CENTRAL
65	98	C 6 11A 03 (C 6 11A 03) BR CENTRAL
66	227	C 6 11A 15 (C 6 11B 09) BR CENTRAL
67	121	C 6 11 29 (C 6 11A 29) BR CENTRAL
68	555	C 6 11A 12 (C 6 11B 12) BR CENTRA
69	64	K 11B 6 30 AP 101 ED. MENESES NAVA
70	53	K 11A 6 25 27 (K 11B 6 21 25) BR
71	59	K 11A 6 31 33 (K 11B 6 34 35) BR C

Cuadro 20. (Continuación)

72	149	K 11A 6 39 (K 11B 6 39 41) BR CENT
73	114	K 11A 7 04 06 (K 11B 6 04) URB CEN
74	162	K 11A 7 12 (K 11B 6 12) URB CENTRA
75	180	K 11A 7 24 (K 11B 6 24) BR RIO TEJO
76	83	K 11A 7 32 AP 101 ED CENTRAL
77	78	C 8 10 03 07 K 10 7A 19
78	97	C 8 10 13 17
79	131	C 8 10 35
80	93	C 8 10-55 K 11 7-86
81	146	C 8 10-55 BR. EL TORITO
82	93	C 8 10-55 K 11 7-86
83	213	K 10 8A 01 07 BR LA COSTA
84	133	C 8 10 16 20 BR LA COSTA
85	157	C 8 10 26 (C 8 10 30) BR LA COSTA
86	217	C 8 10 48 BR LA COSTA
87	128	K 11 8 03 11 13 (C 8 11 02) JOSE E
88	520	C 8 11 03 07 K 11 7 97 BR CENTRAL
89	134	C 8 11 13 17 BR CENTRAL
90	410	C 8 11 25 BR CENTRAL
91	1305	C 7 11 80 BR CENTRAL
92	268	C 7 11 74 BR CENTRAL
93	178	C 7 11 84 BR CENTRAL
94	72	C 7 11 90 BR CENTRAL
95	110	C 8 11 41 37 BR CENTRAL
96	258	C 8 11 49 BR CENTRAL
97	143	C 8 11 51 BR CENTRAL

Cuadro 20. (Continuación)

98	103	C 8 11 59 BR CENTRAL
99	83	K 11A 7 52 IN (K 11B 7 52) BR CENT
100	252	K 11A 7 40 BR CENTRAL

Fuente. Autores del proyecto.

4.4 PLANTEAMIENTO A NIVEL CONCEPTUAL DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS QUE SE REQUIEREN EN LA ZONA DE ESTUDIO

4.4.1 Planteamiento 1. De acuerdo a la ronda hídrica definida se encuentran ubicadas cien viviendas que incumplen con el decreto-ley 2811 de 1974, ya que ésta franja debe estar libre de edificaciones. Una de las alternativas de solución es demolerlas y reubicarlas para hacer de estas zonas de uso exclusivo público, desarrollando proyectos como parques, ciclovías, senderos ecológicos, entre otros, que contribuyan al mejoramiento ambiental.

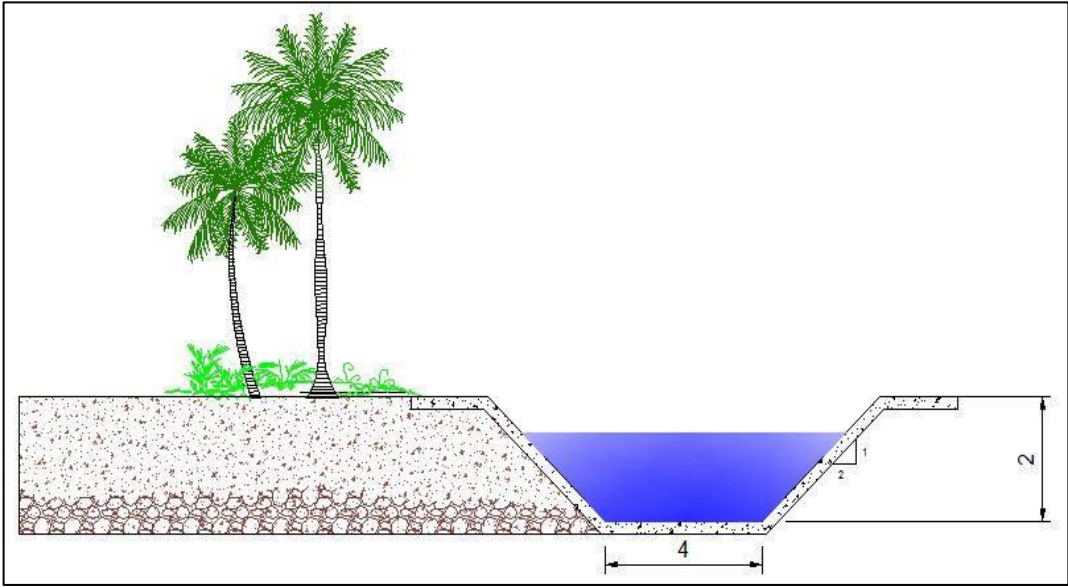
4.4.2 Planteamiento 2. Debido a la reducida capacidad hidráulica que tiene el tramo de estudio del Río Tejo es conveniente canalizarlo para controlar las inundaciones, de esta manera se reduce el coeficiente de rugosidad y por lo tanto los tirantes disminuyen. Para cumplir con este propósito se debe ampliar el cauce principal reubicando las viviendas localizadas en la ribera del río.

4.4.2.1 Modelación del canal del tramo de estudio del Río Tejo. El canal a implementar es un canal revestido en concreto con un coeficiente de rugosidad de 0.015 según el RAS-2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico), este valor se ajusta a las características que posee el concreto en esta región.

La sección transversal del canal es trapezoidal modelado en el software HEC-RAS, se estima una sección típica cumpliendo con la capacidad hidráulica para un periodo de diseño de 50 años.

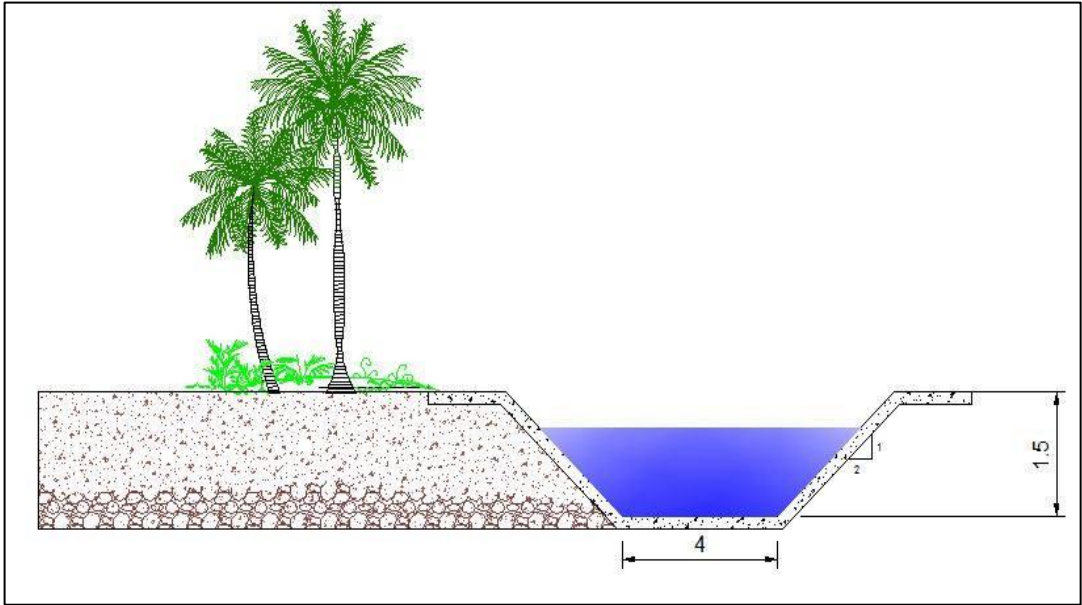
Las dimensiones de las secciones transversales se presentan en las siguientes figuras.

Figura 37. Geometría del canal de la sección 643 hasta la sección 594.



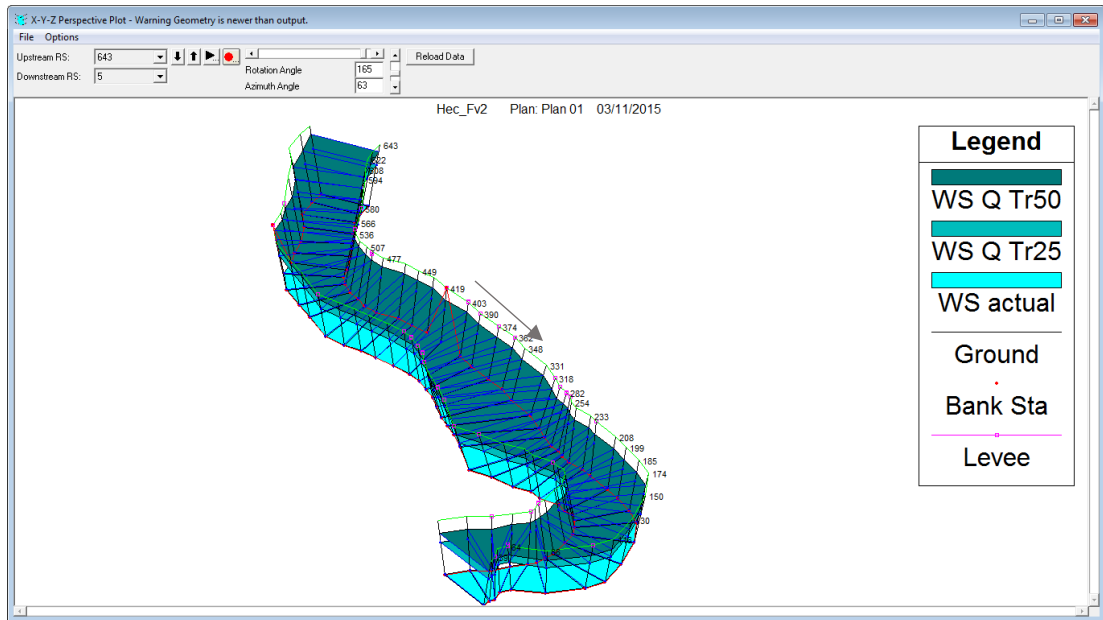
Fuente. Autores del proyecto

Figura 38. Geometría del canal de la sección 580 hasta la sección 5.



Fuente. Autores del proyecto

Figura 39. Perfil del modelo en 3D del canal del sector en estudio.



Fuente. Autores del proyecto, resultados de HEC-RAS.

Figura 40. Tabla de resultados de la modelación del canal.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chrt (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Ch
1	643	Q Tr50	31.30	1176.06	1177.82	1177.82	1178.63	0.001784	4.11	8.80	5.76	0.99
1	643	Q Tr25	20.70	1176.06	1177.41	1177.41	1178.04	0.001961	3.61	6.31	5.35	0.99
1	643	actual	0.06	1176.06	1176.09	1176.09	1176.10	0.006126	0.50	0.12	4.03	0.93
1	634	Q Tr50	31.30	1175.94	1177.46	1177.70	1178.57	0.002987	4.81	7.23	5.52	1.26
1	634	Q Tr25	20.70	1175.94	1177.08	1177.29	1177.99	0.003514	4.31	5.21	5.14	1.29
1	634	actual	0.06	1175.94	1175.96	1175.97	1175.99	0.029233	0.80	0.07	4.02	1.87
1	622	Q Tr50	31.30	1175.82	1177.25	1177.59	1178.53	0.003655	5.12	6.76	5.43	1.37
1	622	Q Tr25	20.70	1175.82	1176.89	1177.17	1177.93	0.004318	4.59	4.87	5.07	1.41
1	622	actual	0.06	1175.82	1175.83	1175.85	1175.90	0.186453	1.40	0.04	4.01	4.31
1	615	Bridge										
1	608	Q Tr50	31.30	1175.70	1177.12	1177.46	1178.41	0.003762	5.17	6.69	5.42	1.38
1	608	Q Tr25	20.70	1175.70	1176.77	1177.05	1177.81	0.004325	4.60	4.87	5.07	1.42
1	608	actual	0.06	1175.70	1175.73	1175.73	1175.74	0.006126	0.50	0.12	4.03	0.93
1	594	Q Tr50	31.30	1175.58	1176.95	1177.34	1178.34	0.004233	5.36	6.44	5.37	1.46
1	594	Q Tr25	20.70	1175.58	1176.62	1176.93	1177.73	0.004895	4.77	4.68	5.04	1.50
1	594	actual	0.06	1175.58	1175.61	1175.61	1175.62	0.010728	0.59	0.10	4.03	1.19
1	580	Q Tr50	31.30	1175.46	1176.80	1177.22	1178.27	0.004650	5.52	6.24	5.34	1.52
1	580	Q Tr25	20.70	1175.46	1176.47	1176.82	1177.65	0.005363	4.91	4.54	5.01	1.56
1	580	actual	0.06	1175.46	1175.49	1175.49	1175.50	0.007141	0.53	0.11	4.03	0.99
1	566	Q Tr50	31.30	1175.34	1176.65	1177.10	1178.20	0.005054	5.66	6.07	5.30	1.58
1	566	Q Tr25	20.70	1175.34	1176.32	1176.69	1177.57	0.005833	5.03	4.42	4.98	1.62
1	566	actual	0.06	1175.34	1175.40	1175.37	1175.41	0.000486	0.23	0.26	4.06	0.30
1	550	Q Tr50	31.30	1175.34	1176.86	1177.07	1178.06	0.006028	5.32	6.13	5.32	1.53
1	550	Q Tr25	20.70	1175.34	1176.39	1176.68	1177.40	0.005537	4.51	4.75	5.05	1.45
1	550	actual	0.06	1175.34	1175.37	1175.37	1175.38	0.007183	0.53	0.11	4.03	0.99
1	536	Q Tr50	31.30	1175.22	1176.59	1176.96	1177.99	0.004348	5.40	6.38	5.36	1.48
1	536	Q Tr25	20.70	1175.22	1176.29	1176.57	1177.33	0.004420	4.63	4.83	5.07	1.43
1	536	actual	0.06	1175.22	1175.25	1175.25	1175.26	0.011162	0.60	0.10	4.02	1.22
1	520	Q Tr50	31.30	1175.10	1176.43	1176.86	1177.91	0.004695	5.53	6.22	5.33	1.53

Fuente. Autores del proyecto, resultados de HEC-RAS.

De acuerdo a los resultados de la modelación, la velocidad a lo largo del canal cumple con la velocidad máxima de 8m/s estipulada en el RAS-2000 siendo menor.

4.4.3 Planteamiento 3. Para plantear las estructuras de prevención necesarias, se analiza las condiciones de amenaza por inundación para un periodo de retorno de 25 años, el cual se toma como periodo de diseño.

En el cuadro 19, se observa varios sectores donde el nivel del agua se desborda afectando las viviendas ubicadas en las márgenes del río, considerando la profundidad hidráulica y el ancho superficial como datos para el planteamiento de estructuras de protección a las zonas amenazadas por inundación.

De acuerdo a los resultados, la altura mínima de las estructuras de protección es la altura de la lámina de agua que se presenta en cada uno de los tramos donde se propone ubicarlas y la longitud total depende de las zonas afectadas.

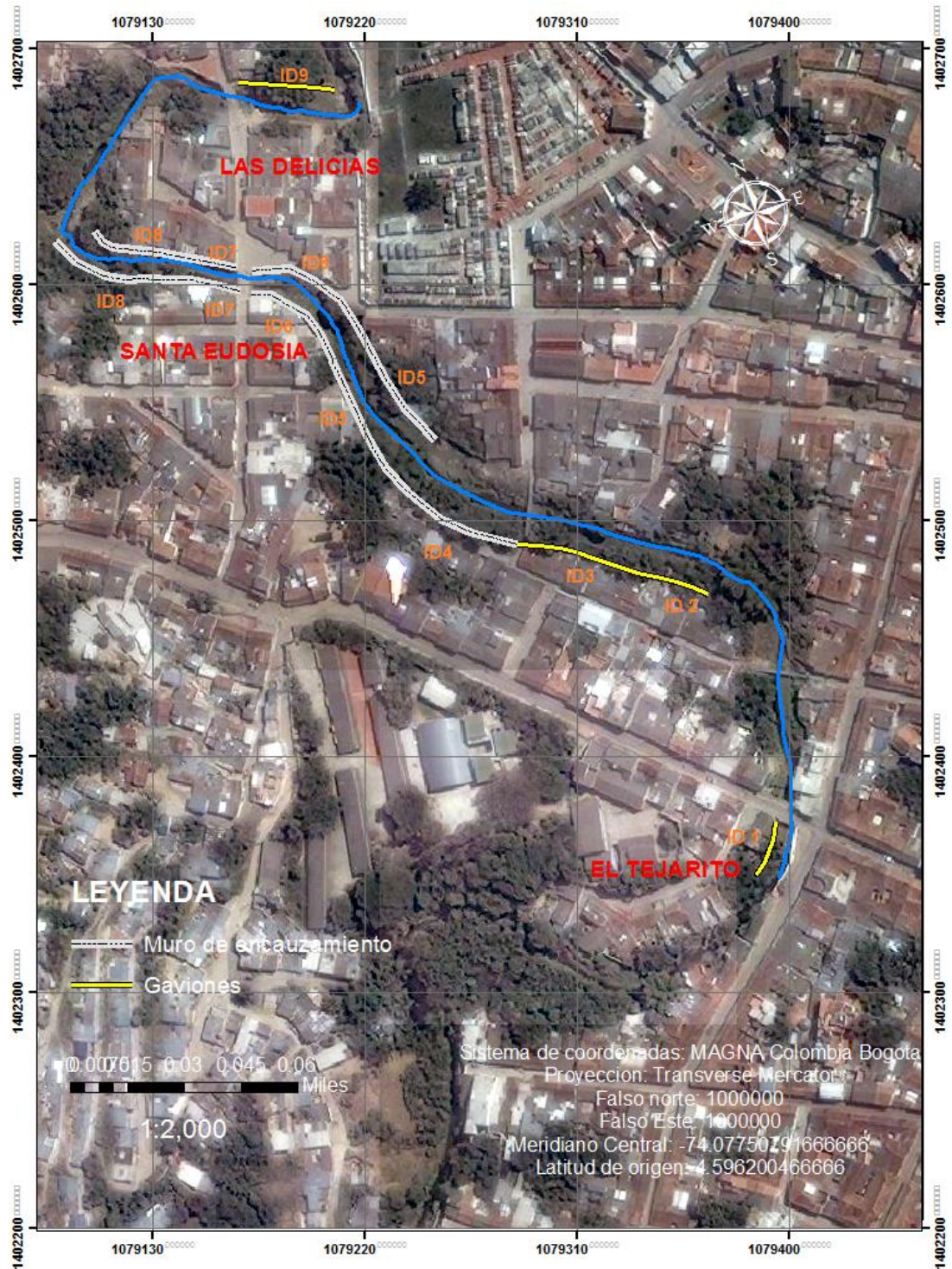
En el siguiente cuadro se da a conocer la ubicación de las estructuras requeridas.

Cuadro 21. Ubicación de las estructuras de protección del sector en estudio.

ID.	SECCIONES	TIPO DE ESTRUCTURA	UBICACIÓN	ALTURA MINIMA (m)	LONGITUD (m)
1	622- 643	Muro de gavion	Margen izquierda del tramo de estudio, aguas arriba del puente El Tejarito	2.6	24
2	520 -507	Muro de gavion	Margen izquierda aguas abajo del primer puente peatonal de la zona de estudio	2.2	21
3	477-434	Muro de gavion	Margen izquierda aguas abajo del primer puente peatonal de la zona de estudio	2.0	50
4	419 - 362	Muro de encauzamiento	Margen izquierda aguas abajo del segundo puente peatonal de la zona de estudio	2.6	53
5	348- 331	Muro de encauzamiento	Margen izquierda y derecha aguas arriba del puente Santa Eudosia	1.8	83
6	318- 282	Muro de encauzamiento	Margen izquierda y derecha aguas arriba del puente Santa Eudosia	3.1	40.5
7	270- 254	Muro de encauzamiento	Margen izquierda y derecha, aguas abajo del puente Santa Eudosia	3.4	20.7
8	243-208	Muro de encauzamiento	Margen izquierda y derecha, aguas abajo del puente Santa Eudosia	1.5	63.3
9	52-5	Muro de gavion	Margen izquierda, aguas abajo del puente Las Delicias	1.7	41.2

Fuente. Autores del proyecto.

Figura 41. Ubicación de las estructuras de protección requeridas en la zona de estudio.



Fuente. Autores del proyecto

5. CONCLUSIONES

Para la realización del modelo hidráulico y la creación de mapas de inundación, se recolectó información básica como la topografía y los caudales máximos para los periodos de retorno de 5, 10, 25,50 y 100 años.

Se realizó una visita de campo donde se identificaron las estructuras presentes a lo largo de la zona de estudio, requeridas para la modelación hidráulica.

El coeficiente de rugosidad se obtuvo por medio de un trabajo de campo y laboratorio, calculado a partir de fórmulas empíricas que toman como base el diámetro de las partículas, estos valores comparados con los contenidos en el cuadro 1, son mayores para una superficie de las mismas condiciones.

Al sitio de estudio se le construyó un modelo digital de elevación del terreno (DTM) que permite detallar tridimensionalmente el cauce y las zonas susceptibles a las inundaciones para los diferentes periodos de retorno.

Los resultados de la modelación hidráulica evidencia que la capacidad hidráulica del canal soporta crecientes correspondientes a periodos de retorno de 5 y 10 años.

El muro de contención ubicado en el costado derecho aguas arriba del puente peatonal del Tejarito parte baja, construido para protección del interceptor del plan maestro de acueducto y alcantarillado y control de crecientes, es superado por el tirante hidráulico para un caudal mayor a $20.7\text{m}^3/\text{seg}$.

La zona más crítica por amenaza de inundación se presenta en el puente Santa Eudisia a partir del periodo de retorno de 25 años, debido a la baja capacidad hidráulica de la sección provocando desbordamiento del río.

En las secciones de los puentes Tejarito parte baja, Santa Eudisia y Las Delicias se presentan las máximas velocidades con probabilidad de presentarse socavación en la base de la estructura.

Las zonas susceptibles a la amenaza por inundación se determinan a través de los resultados de la modelación hidráulica implementando la extensión Hec-Georas.

Las condiciones más críticas de amenaza por inundación se presentan para el periodo de retorno de 100 años, donde se tienen elevadas cotas de lámina de agua, generando extensas planicies de inundación.

Para la conservación y preservación del afluente se estableció un ancho en la ronda hídrica de treinta metros a partir de las máximas crecidas, obtenidas de la modelación del periodo de retorno de 100 años.

Las viviendas aledañas al sector en estudio del río Tejo se ven afectadas por las crecientes extremas para un periodo de retorno de 100 años, debido a que se encuentran ubicadas dentro de la ronda hídrica.

Al canalizar el tramo de estudio se observa que la profundidad hidráulica aumenta, y con ello disminuye la velocidad cumpliendo con una capacidad hidráulica para un periodo de retorno de 50 años.

Con los resultados obtenidos de la modelación hidráulica se identificaron las zonas amenazadas por inundación para el periodo de retorno de 25 años, por tal razón se plantearon estructuras como muros de gavión y muros de encauzamiento.

La altura mínima para las estructuras de protección de inundaciones se determinó a partir de la modelación hidráulica para el periodo de retorno de 25 años.

6. RECOMENDACIONES

Es primordial contar con información topográfica más detallada sobre el estudio a realizar, para obtener resultados con mayor precisión.

Para el buen funcionamiento de las estructuras de protección se deben realizar dragados periódicamente con el fin de mantener una capacidad hidráulica óptima.

Se recomienda realizar un izado del puente vehicular ubicado en el barrio Santa Eudisia de ochenta centímetros (80 cm) medidos desde la rasante, para aumentar la capacidad hidráulica de la sección.

Desde la sección 106 hasta la sección 64, aguas arriba del puente Las Delicias se recomienda realizar un dragado con el fin de definir la sección del río, ya que es una zona plana y en momentos de crecidas el flujo se dispersa afectando las viviendas ubicadas en ese sector.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los mapas de inundación se observan zonas verdes inundables que son susceptibles a ser construidas, por tal razón es recomendable no realizar edificaciones, debido a que se reduce la capacidad hidráulica del canal y por ende aumenta la amenaza por inundación.

No se deben otorgar licencias de construcción para los proyectos a realizar en la franja estipulada como ronda hídrica.

En el caso de optar como alternativa de solución la canalización del tramo de estudio se debe tener en cuenta el comportamiento del canal aguas abajo, debido al cambio de condiciones hidráulicas que pueden afectar el cauce natural.

Se debe garantizar la longitud de los muros establecida en el presente proyecto para su adecuado funcionamiento.

Según el artículo 681 de la norma de especificaciones técnicas para muros de gavión del INVIAS, el material de relleno a utilizar en los gaviones debe ser cantos rodados o material de cantera que resista a la exposición del agua o a la intemperie, y la malla debe ser de alambre de hierro galvanizado de triple torsión, con huecos hexagonales.

Para obtener resultados más precisos se recomienda realizar un estudio hidrológico más completo, debido a que en el presente estudio se hace análisis para periodos de retorno hasta 100 años, para los cuales se calcularon los caudales pico en base a un registro de precipitaciones de 21 años, esto crea incertidumbre en los resultados obtenidos, ya que se debería tener información para los 100 años.

REFERENCIAS DOCUMENTOS ELECTRONICAS

Alcaldía de Ocaña. Informe general del municipio de Ocaña. [Online]. Ocaña. [s.f.] [Citado el 25 de febrero, 2015]. Disponible en internet: http://ocana-nortedesantander.gov.co/apc-aa-files/38343339653963383637363461323363/INFORME_GENERAL_DEL_MUNICIPIO.pdf

BORRÁEZ, Alejandro. Hay que devolverle el terreno robado al río Bogotá, UN periódico Universidad nacional de Colombia. [Online]. Bogotá. [s.f.] [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/hay-que-devolverle-el-terreno-robado-al-rio-bogota.html>

CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. [Online]. 1994. Bogotá, Colombia. [Citado 21 de septiembre, 2015]. Disponible en internet: <http://es.slideshare.net/kathe020/ventechowhidraulicadecanalesabiertos?related=1>

DUQUE GUZMÁN, Lina Marcela. Coeficiente de rugosidad de Manning. [Online] [s.l.] [s.n.] [s.f.] [Citado 19 de septiembre, de 2015]. Disponible en internet: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/manning/manning.html>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 388 de 1997 o plan de ordenamiento territorial. [Online]. (Julio 18 de 1997). Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá, D.C., 1997. No. 43.091. [Citado el 25 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=339>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Decreto 93. [Online]. (Enero 13 de 1998). Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1998. No. 43.217. [Citado el 24 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=3454>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 46 de 1988. [Online]. (Noviembre 2 de 1988). Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, se otorga facultades extraordinarias al Presidente de la República, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1988. No 38.559. [Citado el 24 de febrero de 2015]. Disponible en internet: http://cucuta-nortedesantander.gov.co/apc-aa-files/62386432626334366463316438613539/ley_46_de_1988.pdf

Desbordamiento del Río Magdalena deja 20 mil damnificados en municipio de Plato. En: Noticias terra. [Online] [s.l.] [s.n.] Diciembre 15 de 2008. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.terra.com.co/actualidad/articulo/html/acu17230-desbordamiento-del-rio-magdalena-deja-20-mil-damnificados-en-municipio-de-plato.htm>

GALLARDO, Romel. Proyecto: amenaza por deslizamientos e inundaciones en la ciudad de Ocaña. Línea de investigación: gestión del riesgo. Grupo de investigación en geotecnia y medio ambiente – Gigma. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña. 2014. 22 p.

GARCIA, Hermes A. Estudios hidrológico, hidráulico y de socavación, adelantados en el cauce del río tejo, en su paso por la cabecera municipal de la ciudad de Ocaña, entre los puentes localizados en los barrios Tejarito y Las delicias, Ocaña, norte de Santander. Noviembre, 2013. [Citado 22 de septiembre, 2015].

US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. HEC-RAS. [Online]. USA. [s.f.]. [Citado 31 de Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Las mayores inundaciones de la historia. En: Diario ADN, EL TIEMPO Casa editorial. [Online]. Bogotá. [s.n.]. COPYRIGHT 2015. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://diarioadn.co/especiales/galer%C3%ADas/peores-inundaciones-del-mundo-7.126546>

Las mayores inundaciones de la historia. En: Diario El Nacional. [Online]. Caracas (Venezuela). [s.n.] Abril 3 del 2013. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: http://www.el-nacional.com/mundo/mayores-inundaciones-historia_5_165633444.html

MARQUEZ, Germán. Las inundaciones: De proceso natural a catástrofe humana. Universidad Nacional de Colombia. [Online]. ed. UN Periódico Impreso No. 119. Bogotá. Febrero 08 de 2009. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/las-inundaciones-de-proceso-natural-a-catastrofe-humana.html>

MOLERO, Emilio. Manual Básico de HEC-GeoRAS 10. [Online]. 3era edición. Granada. Febrero de 2013. [Citado 26 de abril de 2015]. Disponible en internet: http://www.urbanismogranada.com/administrador/archivos/17_04_13_manualHecGeoRAS_v3_2013.pdf

Noticias de Ocaña Norte de Santander. En: La Opinión. [Online]. Cúcuta. [s.n.] [s.f.] [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: http://www.laopinion.com.co/demo/index.php?option=com_content&task=view&id=450039

Esri programs. Que es arcgis. [Online]. [s.l.]. Copyright © 1995–2015 Esri. [Citado 20 de septiembre, 2015]. Disponible en internet: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

CAÑÓN BARRIGA, Julio Eduardo. Taller de aplicación de HEC-HMS Universidad Nacional de Colombia. [Online]. Bogotá. [s.f.] [Citado 20 de septiembre, 2015]. Disponible en

internet: http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/caracter%EDsticas.htm

ROCHA, Arturo. Recursos hidráulicos. [Online]. 1 ed. San isidro, Lima. Noviembre 1993. [Citado 22 de febrero de 2015]. Disponible en internet: http://www.academia.edu/6446706/RECURSOS_HIDRAULICOS

Sistema de protección civil. Inundaciones. [Online]. 1 ed. México D.F. Agosto 2009. [Citado 19 de febrero, de 2015]. Disponible en internet: http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/377/1/images/folleto_i.pdf

Turistas piden apoyo para salir de Pamplona tras inundación. En: Caracol Radio. [Online]. Bogotá. Abril 23 de 2011. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.caracol.com.co/noticias/regionales/turistas-piden-apoyo-para-salir-de-pamplona-tras-inundacion/20110423/nota/1459050.aspx>

UNISDR. Oficina de las naciones unidas para la reducción del riesgo de desastres. Inundaciones. [Online]. Panamá, Panamá. Copyright 2001-2008. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.eird.org/fulltext/ABCDesastres/teoria/inundacion.htm>

UNICEF ORG .Manual para Docentes de Educación Básica General (Preescolar, Primaria y Premedia). [Online]. Panamá, República de Panamá. Junio de 2009. [Citado 19 de febrero de 2015]. Disponible en internet: <http://www.unicef.org/lac/ManualPrevencionRiesgo.pdf>

VELASQUEZ, Andrés. JIMÉNEZ Nayibe. La gestión de riesgos en el ordenamiento territorial: inundaciones en Cali, la c.y.c y el fenómeno ENSO. [Online]. Cali. Septiembre 13 del 2004. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: http://www.osso.org.co/docu/congresos/2004/A_Velasquez_Articulo_OSSO-UV.pdf

VILCA, Mario. Simulación hidráulica aplicada, usando HEC-RAS. [Online]. Chiclayo, Perú. [s.f.]. [Citado 31 de Marzo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.gabrielortiz.com/%5C/descargas/manual-hecras.pdf>

2.700 damnificados dejan inundaciones en Gamarra. En: Noticias el Heraldo. [Online]. Valledupar. 24 de Abril de 2011. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet: <http://www.elheraldo.co/region/2700-damnificados-dejan-inundaciones-en-gamarra-18071>

25 familias afectadas por inundaciones en la capital de Norte de Santander. En: RCN La Radio. [Online]. [s.n.][s.l.].Febrero 9 del 2013. [Citado el 21 de febrero del 2015]. Disponible en internet:<http://www.rcnradio.com/noticias/25-familias-afectadas-por-inundaciones-en-la-capital-de-norte-de-santander-48663>

ANEXOS

ANEXO A. CERTIFICADO DE USO DE LICENCIA DE ARC-GIS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO

Ocaña, 15 Octubre de 2015

CERTIFICADO DE USO DE LICENCIA DE ARC-GIS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTO DE GRADO.

El Msc. Antón García Barreto jefe de División de Sistemas de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, certifica que se hizo uso de la licencia de Arc-GIS 10.3.1 de las que dispone la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, para el desarrollo del proyecto de grado, titulado **ESTUDIO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RIO TEJO EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL PUENTE EL TEJARITO Y EL PUENTE LAS DELICIAS EN LA CIUDAD DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER UTILIZANDO EL SOFTWARE HEC-RAS Y LA EXTENSIÓN HEC-GEORAS**, desarrollado por los estudiantes Emma Johana Gómez y Libardo Alonso Ortega Florez, dirigido por Msc. Hermes Quintero García.



Msc. Antón García Barreto
Jefe de División de Sistemas UFPSO