

**EVALUACIÓN FUNCIONAMIENTO JARILLONES CONSTRUIDOS EN LA  
CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ- MUNICIPIO DE SUESCA, PARA MITIGAR EL  
IMPACTO DE INUNDACIONES, MEDIANTE EL USO DE SIG**

**JOHN FREDY CRUZ CAMELO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C., DICIEMBRE DE 2016**  
**EVALUACION FUNCIONAMIENTO JARILLONES CONSTRUIDOS EN LA**  
**CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTA- MUNICIPIO DE SUESCA PARA MITIGAR EL**  
**IMPACTO DE INUNDACIONES MEDIANTE EL USO DE SIG**

**JOHN FREDY CRUZ CAMELO**

**Trabajo de grado para optar por el título de**  
**Ingeniero Civil**

**Director:**

**Ing. Lisandro Nuñez**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C., SEPTIEMBRE DE 2017**

NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

Director de Investigación.  
Ingeniero Lisandro Núñez.

---

.Director de Programa  
Ingeniero Luis Ángel Moreno

---

Jurado

Bogotá D.C., Septiembre de 2017

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
1. Introducción .....	9
2. Generalidades .....	11
2.1. Antecedentes .....	11
2.2. Planteamiento y formulación del problema. ....	19
2.2.1. Descripción del problema: .....	19
2.2.2. Formulación del problema .....	19
2.3. Objetivos .....	21
3.3.1. Objetivo general: .....	21
3.3.2. Objetivos específicos: .....	21
2.4. Alcance.....	22
2.5. Justificación.....	22
2.6. Delimitación.....	23
2.6.1. Geográfica .....	23
2.6.2. Cronológica .....	23
2.6.3. Conceptual.....	23
2.7. Marco Referencial .....	24
2.7.1. Marco conceptual .....	24
2.7.2. Sistemas de información geográfica .....	24
2.7.3. Jarillones.....	25
2.7.4. Batimetría.....	26
2.7.4.1. Estación total.....	26

2.7.4.2.	Baliza .....	27
2.7.4.3.	Trípode.....	28
2.7.4.4.	La Mira.....	29
2.7.4.5.	Navegador GPS.....	30
2.7.5.	Shapefile.....	31
2.7.6.	Archivo Tin .....	32
2.8.	Metodología .....	32
2.8.1.	Recopilación de la información.....	32
2.8.2.	Configuración de Arcgis .....	32
2.8.3.	Modelación del Arcgis .....	33
2.8.4.	Configuración del HecRAS.....	33
2.8.5.	Modelación del HecRas .....	33
2.8.6.	Análisis de los resultados .....	33
3.	Descripción cuenca del rio Bogotá.....	34
3.1.	Generalidades .....	34
3.2.	Localización General.....	35
3.3.	Relieve y pendientes de la cuenca.....	38
3.4.	Climatología.....	38
3.5.	Hidrología.....	39
3.6.	Geología y Geomorfología.....	40
3.6.1.	Las subcuencas del altiplano y sus bordes .....	40
3.6.2.	La cuenca media y baja del río Bogotá .....	41
3.7.	Aspecto socioeconómico.....	41
4.	Metodología .....	43
4.1.	Fases del trabajo de investigación.....	43

4.1.1. Recopilación de datos.....	43
4.1.2. Procesamiento de datos .....	45
4.1.2.1. Procesamiento de modelación del tramo del río Bogotá en la cuenca Alta, sector Cacicazgo, municipio de Suesca, mediante el uso de Arcgis 10.1 .....	46
4.1.3. Implementación de los programas hidrológicos.....	49
4.2. Desarrollo de un modelo hidráulico mediante el uso HECRAS .....	50
4.2.1. Análisis de datos necesarios para realizar la modelación en HEC-RAS.....	52
4.2.1.1. Rugosidad del canal .....	52
4.2.1.2. Caudales para diferentes periodos de retorno. ....	53
4.2.1.3. Resultados .....	56
4.2.1.4. Caracterización de la morfología de la cuenca .....	56
4.2.1.5. Estudio de la precipitación máxima 24 horas y su valor efectivo en la cuenca.....	57
4.2.1.6. Precipitación efectiva ( $P_e$ ).....	60
4.2.1.7. Aplicación de los modelos de Snyder y del SCS .....	62
4.2.1.8. Pendiente del tramo del río. ....	63
4.3. Configuración secciones transversales tramo del río. ....	63
4.4. Ingreso de los Datos Hidráulicos: Caudal y Condiciones de Contorno. ....	65
4.4.1. Ingreso de Caudales .....	66
4.4.2. Introducir las condiciones de contorno .....	67
4.5. Crear un plan y ejecutar la simulación.....	68
4.6. Ver los resultados.....	69
4.6.1. Secciones transversales. ....	70
4.6.2. Ver dibujos en perspectiva. ....	83
5. Análisis de resultados.....	96
6. Conclusiones .....	99

7.	Bibliografia.....	103
----	-------------------	-----

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar a Dios por darme la sabiduría, conocimiento y fortaleza en este largo camino para poder culminar con éxito esta gran proyecto de vida, a mi señora Madre por brindarme el apoyo moral en los momentos de flaqueza y apoyarme siempre en todos mis sueños, a mis tutores que durante toda mi carrera fueron una gran guía para el desarrollo de mis aprendizaje y a todas aquellas personas de que de una manera u otra hicieron parte de este gran proyecto de vida brindándome todo su apoyo.

## 1. Introducción

Las inundaciones son desastres naturales que se presentan cuando ocurre un aumento representativo en las precipitaciones y llegan a representar un alto costo en cuanto a pérdidas humanas y económicas se refiere, para mitigar al máximo la afectación causada por el aumento de las lluvias a poblaciones, cultivos y construcciones se requiere desarrollar diferentes alternativas y planes de contingencia para mitigar el impacto sobre cada uno de los entes afectados. Para la determinación de zonas de riesgo de inundación existen diversas metodologías como estudios con fotografías aéreas, imágenes satelitales o evaluaciones in-situ, antecedentes de desastre donde se puede analizar zonas de riesgo y así poder llegar a tomar las medidas necesarias para evitar y/o mitigar las afectaciones causadas por este tipo de desastres naturales.

A razón de esto en este proyecto se implementó el uso de sistemas de información geográfica (SIG), gracias a que son un medio de integración de información que ayuda a orientar y a entender algunos de los problemas con mayor impacto, a los que se enfrenta el mundo actual. Es decir son herramientas que sirven de apoyo para evaluar el impacto de los desastres y van desde la visualización de información geográfica, pasando por el cálculo del movimiento de tierra, hasta realizar la evaluación en una región susceptible a inundaciones, como es el caso del objetivo del presente proyecto.

Además de esto se contó con el apoyo de información tomada en campo, como fue el de realizar una batimetría y también con la información de estudios anteriores realizados a lo largo de la cuenca del río Bogotá.

Una de la principales causas de las inundaciones se presenta cuando ocurre el llamado fenómeno de “La Niña”, el cual es un fenómeno natural de variabilidad climática, derivado principalmente de un enfriamiento por debajo de lo normal de las aguas del Océano Pacífico Tropical y oriental, frente a las costas de Perú, Ecuador y sur de Colombia, que provoca un cambio en el patrón de comportamientos de los vientos y, por ende, en el de las lluvias. Mientras que el niño reduce las precipitaciones, la Niña favorece su incremento en gran parte del país, en particular en las regiones Caribe y Andina (Precipitaciones, meteorología y Climatología, 2016); en la actualidad estamos presentando unos de los fenómenos del niño más impactantes de los que

haya tenido registro alguno y según los expertos se puede llegar a presentar un fenómeno de la niña muchos más anormal que el presentado en los años 2010-2011.

Cada evento de la Niña es diferente y su repercusión en el clima nacional está dada por su intensidad como por la interacción que se puede presentar con otros fenómenos océano-atmosféricos presentes en el Atlántico y específicamente en el mar caribe. El incremento de las precipitaciones en diferentes zonas del territorio nacional, así como deslizamientos de tierra por saturación de agua en los suelos.

La estación invernal en Colombia en 2010-2011 se presenta como una anomalía marcada respecto a las estaciones invernales “normales”, con precipitaciones e inundaciones muy superiores a las observadas históricamente. Esta emergencia resulto totalmente anormal, afectando gran parte del país, entre ella la zona estudiada ya que esta se vio perjudicada por este fenómeno teniendo consecuencias económicas, sociales y ambientales severas. (Cepal, 2012)

## **2. Generalidades**

### **2.1. Antecedentes**

En las últimas décadas Colombia se ha visto expuesta a enfrentar grandes retos que amenazan su desarrollo; dentro de estos hechos se encuentran la ocurrencia de fenómenos naturales, tales como sismos, inundaciones y deslizamientos, entre otros, exacerbados por las acciones humanas y las condiciones variantes del clima, confirman un proceso continuo de construcción y acumulación de riesgos.

En cuanto a los antecedentes por inundaciones presentados en los últimos años en el municipio de Suesca, la web facilito la consecución de esta información encontrando un historia que data de afectaciones presentadas en los años 2002, 2011-2012 y el más reciente en Mayo de 2015.

En agosto del año 2002 se presentó un aumento representativo en las precipitaciones, además de aumentar el caudal del río Bogotá también subieron los niveles del embalse del sisga los cuales estuvieron por encima del 6.82% de su capacidad, estos dos factores obligaron a los entes competentes a abrir las compuertas del embalse y causar el desbordamiento del río Bogotá afectando numerosas familias de las veredas cacicazgo y santa rosita del municipio de Suesca, además se vieron seriamente afectadas empresas como Flores de Suesca y cultivos agrícolas aledaños a la rivera del río. (El Tiempo, 2002)

El fenómeno de la niña ocurrido entre los años 2010-2011 nuevamente volvió a afectar zonas aledañas al río Bogotá; entre estas tenemos Villa pinzón, Choconta, Suesca, Cajica y Chía.

Para esta temporada, en el mes de Mayo de 2011 los organismos de control evacuaron a más de 50 familias de los sectores de la vereda Cacicazgo y Santa Rosita del municipio de Suesca



**Imagen 1.** Inundación entrada municipio de Suesca, año 2015.

**Fuente:** Autor.

Tan solo hace unos meses, en el mes de mayo de 2015 nuevamente el invierno arrecio contra la población de la vereda cacicazgo del municipio de Suesca afectando aproximadamente 150 hectáreas y poniendo en riesgo algunas viviendas.

Las precipitaciones en el Piedemonte llanero y la intensidad de lluvias en las zonas de Orinoquia y Andina fueron las responsables de esta situación, además se vieron afectados otros municipios como Sesquile, Villapinzón y Choconta. (CaracolTv, 2015)

Para el análisis objeto del proyecto se recurrió a recursos de apoyo relacionados con el tema de estudio desarrollados por diferentes autores.

A continuación se relacionan algunos de los estudios existentes acerca del tema planteado:

- Sistema de Información Geográfica para apoyar la gestión del recurso hídrico en cuencas rurales. In: XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Vélez Upegui, Jaime Ignacio and Correa Velásquez, Paula Lizet, Medellín, Colombia, 2002.

Resumen: Se presenta la implementación de un Sistema de Información Geográfica para apoyar la gestión del recurso hídrico a nivel de cuenca, utilizando como base el Software HydroSIG Java desarrollado en el Atlas Hidrológico de Colombia.

En la formulación del sistema se incluye la información requerida por las entidades encargadas de manejar los recursos hídricos, ofreciendo la posibilidad de visualizar, consultar y evaluar diferentes escenarios que ayudan a tomar decisiones en cuanto a la asignación y uso del recurso.

La metodología aplicada se desarrolló en varias etapas: recopilación de información; procesamiento de la topografía de la cuenca; estudio de la dinámica del clima de la zona; evaluación de la oferta de agua; evaluación de la demanda y balance.

Los resultados obtenidos muestran la importancia de tener la información continua espacialmente y articulada en un SIG que permita la actualización permanente de la información. De esta manera el sistema implementado constituye una valiosa herramienta para la planificación y la gestión del recurso hídrico dentro de una cuenca hidrográfica. (Velez Upegui & Correa Velazquez, 2002)

- Implementación de un Sistema de Información Geográfica, SIG, en el Parque Natural Farallones de Cali, Ingeniería e Investigación, Zapara Pardo, María Victoria y Martínez Zarate, Camilo y González, Carlos A, Cali, Colombia, 1999.

Resumen: El objetivo de este proyecto fue generar una herramienta para mejorar el manejo, conservación y administración del Parque Nacional Natural Farallones de Cali, adscrito a la Unidad Administrativa Especial de Sistema de Parques Nacionales Naturales, UAESPNN,

dependiente del Ministerio del Medio Ambiente. Con este propósito se implementó un Sistema de Información Geográfica, SIG, como modelo metodológico. El SIG Farallones de Cali utilizó una base de datos relacional, desarrollada con el software ACCES, compatible con los SIG utilizados ARC/INFO y ARCI VIE/VfM (para estación de trabajo). Los datos espaciales ingresados a la base de datos fueron los de topografía, hidrología, zonas d vida Holdrige, geología, limite, zonificación con fines de manejo, precipitación, ocupación indígena, veredas y corregimientos; los cuales contaron con información alfanumérica relacionada, que abarca el manejo administrativo, socioeconómico y físico entre . (Zapata Pardo, Martinez Zarate, & Carlos A., 2011)

- Aplicación de los sistemas de información geográfica SIG, a los problemas de vulnerabilidad, XVIII Taller Latinoamericano del CEHAP: Prevención y planificación para evitar desastres, Múnera Brand, Ana Mercedes and Moreno Jaramillo, Cecilia Inés, Medellín, Colombia, 1991.

Resumen: El documento presenta el interés del CEHAP en la pregunta por la vulnerabilidad y los desastres naturales; además la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en estos casos. De igual manera presenta la metodología y la estructura conceptual empleada para el estudio de caso referente al asentamiento popular Nuevos Conquistadores; al igual que el desarrollo de este estudio. (Munera Brand & Moreno Jaramillo, 1991)

- Análisis de Amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa en la Región del Boquerón Ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el Uso de Sistema de Información Geográfica de Libre Distribución, Diego A. Arévalo C; Juan P. Parra V; Dr. Alejandra Rivera Basto, Geóloga, Universidad Católica de Colombia, Bogotá 2013.

Resumen: El propósito de este trabajo fue realizar a través de herramientas de sistemas de información geográfica, el análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa en una zona del Boquerón. Se realizó un análisis de las variables relacionadas con la ocurrencia de los fenómenos de remoción en masa. A partir de cartografía base se generaron mapas digitales temáticos de las principales variables como la geología, geomorfología y las pendientes del

terreno, todas consideradas como determinantes en procesos de inestabilidad de taludes y remoción en masa; luego se determinaron de niveles de riesgo para las variables planteadas, se ponderaron las variables de acuerdo con la influencia sobre los fenómenos y se analizó en un entorno SIG, y luego se generó la cartografía de amenaza para la zona estudiada. (Arevalo Cháves & Parias Villalba, 2013)

- Uso de sistemas de información geográfica SIG para análisis de procesos de remoción en masa dentro de zonas de vulnerabilidad sector Ciudad Bolívar, Bogotá, Díaz Villarraga Jairo Alexander, Dr. Alejandra Rivera Basto, Geóloga, Universidad Católica de Colombia, Bogotá 2013.

Resumen: En este trabajo se realiza un análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, para el cual lo primero que se hace es un recuento de los tipos de fenómenos de este tipo y sus principales causas, a partir de las cuales se identifican las principales variables de afectación y con la ayuda de la herramienta del sistema de información geográfica que se trabajó, se compilo y organizo toda la información, para finalmente identificar los principales problemas generados por los fenómenos presentes en la zona de estudio y recomendar los tratamientos que se deben llevar a cabo para evitar las pérdidas de vidas humanas y económicas de los habitantes. (Diaz Villaraga, 2013)

- Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de sistemas de información geográfica, Robayo Mejía Leidy Alejandra, Dr. Alejandra Rivera Basto, Geóloga, Universidad Católica de Colombia, Bogotá 2014.

Resumen : Este trabajo tiene como finalidad la generación del mapa de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, con la ayuda de las herramientas de información geográfica, en este caso se empelo un sistema de libre distribución llamado QGIS, en respuesta a la problemática de los asentamientos humanos en las zonas aledañas al Rio Tunjuelo, con base en la información existente de la cuenca, la localidad, la topografía de la zona de estudio y aplicando conocimientos de hidrología e hidráulica. (Robayo Mejia, 2014)

Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Un aporte para la construcción de políticas públicas, Bogotá, Ana Campos G; Niels Holm-Nielsen, Carolina Díaz G; Diana M. Rubiano V; Carlos R. Costa P; Fernando Ramírez C. y Eric Dickson, Banco Mundial, Bogotá, Colombia 2012.



**Imagen 2.** Inundaciones municipio de Chía, Departamento de Cundinamarca.

**Fuente:** Cortesía de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-2011.

Resumen : Es un trabajo conjunto con múltiples agentes públicos y privados, no se limita a analizar las causas del riesgo y a medir su crecimiento, por el contrario, profundiza sobre los avances institucionales en el manejo del riesgo en los diferentes niveles de gobierno y la forma como el tema se ha incorporado en la administración pública territorial y sectorial. Por lo tanto, se define una serie de recomendaciones para elevar la gestión del riesgo de desastres a nivel de política de Estado, mostrando que la prioridad para reducir el impacto de los desastres, está en la tarea de mejorar las condiciones de uso y ocupación del territorio. (Campos G., y otros, 2012)

- Creación, actualización y/o homogenización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la Subregión Andina, COLOMBIA, Informe de análisis inventario de pérdidas por desastres, Ana María Aguilar, Geovanny Bedoya, Corporación OSSO, Cali, Colombia, 2008.

Resumen: Cuando no existían fuentes de información oficiales que documentaran de manera sistemática la ocurrencia de pérdidas por desastres, son las fuentes hemerográficas las que permiten reconstruir y documentar el historial de pérdidas a nivel municipal.

En términos de tipología de los registros a lo largo del periodo de estudio predominan a nivel nacional las inundaciones y deslizamientos, que junto con todos los elementos hidrometeorológicos representan el 75% de los registros, sin embargo a nivel local en las cinco ciudades con mayor población Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena, los registros más recurrentes son por inundaciones e incendios; destacándose después de los deslizamientos, dos tipos de eventos, los cuales son intoxicaciones y contaminaciones.

Esto ocurre en Colombia, pero también en los demás países de la Comunidad Andina de Naciones, ello se explica, hasta ahora por cambios drásticos en condiciones de vulnerabilidad y exposición asociados con cambios en los patrones de ocupación de suelos inadecuados para urbanizaciones precarias, en el marco de una tendencia general. Con los datos disponibles y resultado de este análisis, es posible afirmar que tanto la variabilidad climática interanual como los fenómenos del Niño y la Niña, influyen en las pérdidas documentadas, pero no es posible afirmar que el “cambio climático” o calentamiento global sean los responsables. (Aguilar & Bedoya, 2008)



**Imagen 3.** Ruptura del Canal del Dique.

**Fuente:** BID-CEPAL, 2011 (Cortesía INCO, Ministerio de Transporte)



**Imagen 4.** Inundación Universidad de la Sabana, ola invernal 2001.

**Fuente:** <http://www.semana.com/nacion/articulo/los-diez-mas-criticos/239094-3>

## **2.2. Planteamiento y formulación del problema.**

### **2.2.1. Descripción del problema:**

Colombia debido a su crecimiento poblacional y expansión territorial se ha visto afectada por diferentes fenómenos naturales, uno de ellos, y quizás el más recurrente, son las inundaciones.

En el caso de la zona estudiada, la cual hace parte de la sabana de Bogotá; el municipio de Suesca, vereda Cacicazgo por donde pasa el río Bogotá, están constantemente expuestas a riesgos de amenaza por inundaciones aproximadamente 60 familias, igualmente lo están haciendas, cultivos como el de las flores u hortalizas, resultado de esto se evidencio en el temporada invernal que se presentó en el año 2010-2011 y más recientemente en los meses de Junio-Julio del año 2015 en un menor grado de afectación.

Con el fin de mitigar esta problemática y ampliar la capacidad hidráulica del río Bogotá, la CAR ha implementado un proyecto el cual consiste en la adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá, para el sector de estudio esta entidad realizo una serie de actividades las cuales consisten en el dragado del cauce y disposición del material extraído para el reforzamiento y reconstrucción de jarillones, perfilado de taludes, remoción y disposición de maleza acuática, arboles, ramas y tumbres que se encontraran dentro del cauce.

### **2.2.2. Formulación del problema**

El crecimiento poblacional e industrial tanto en ciudades como pueblos, han llevado al humano a realizar notables cambios físicos de una forma desorganizada en la naturaleza de los ríos, el vertimiento de contaminantes y aguas negras, rellenos de cauces y deforestación son algunas de las afectaciones que se presentan.

El río Bogotá sin ser la excepción, ya ha mostrado consecuencias de todas las afectaciones, una de ellas se presenta cuando ocurre aumento de las precipitaciones y por ende crecimiento de su caudal, este sector es uno de los que se ve afectados por estas anomalías, causando inundaciones afectando a la población y a los cultivos cercanos a la rivera del río.

Este trabajo basado en las soluciones que le han dado las entidades competentes a esta problemática, busca evaluar por medio del uso de sistemas de información geográfica si

realmente a largo plazo estas construcciones cumplirán con su objetivo y permitirán que este tipo de afectaciones no se vuelvan a presentar.

La pregunta de investigación a la que lleva este trabajo es la siguiente: ¿Es posible realizar un modelo hidrológico por medio de un sistema de información geográfica que permita analizar para diferentes periodos de retorno si la solución dada cumple con su objetivo principal el cual es mitigar los riesgos por inundación o por el contrario se puedan plantear otras alternativas de solución para dar fin a esta problemática sin afectar la naturaleza del río?

## **2.3.Objetivos**

### **3.3.1. Objetivo general:**

Desarrollar por medio de sistemas de información geográfica un modelo de hidrológico que permita analizar la efectividad de los jarillones construidos en la cuenca alta del río Bogotá-municipio de Suesca, suministrando datos hidráulicos para diferentes periodos de retorno.

### **3.3.2. Objetivos específicos:**

- Determinar el área e estudiar para realizar la topografía del terreno.
- Categorizar la información necesaria para ejecutar el modelo hidrológico del área de estudio.
- Ingresar la información en el software y ejecutar la simulación.
- Analizar los resultados y el comportamiento del tramo del río estudiado para cada uno de los periodos de retorno.
- Investigar y plantear otras opciones de solución para mitigar el riesgo por inundación a parte de las obras realizadas por las entidades competentes en este sector.

## **2.4.Alcance**

El presente proyecto permitirá visualizar por medio de un modelo de simulación de inundaciones las posibles áreas afectadas en temporadas donde se presente un aumento atípico en las precipitaciones permitiendo evaluar las obras realizadas como la construcciones de jarillones, además de esto mirar otras alternativas para dar una solución y lograr proteger a la población vulnerable a las inundaciones, tal como se viene realizando en otros países.

## **2.5.Justificación**

Hoy en día la necesidad de mitigar las consecuencias que tienen los desastres naturales, requiere la interacción de información y datos obtenidos a través del tiempo en las zonas afectadas, generando relaciones entre ellas.

Para hacer más eficaz el manejo de esta información se ha venido implementado el uso de nuevas tecnologías como los son los sistemas de información geográfica (SIG). Este tipo de sistemas han sido de gran ayuda para servir de apoyo en la solución a problemas o preguntas sobre planificación, gestión y distribución territorial o de recursos.

Como se reseñó anteriormente, cuando ocurre un aumento en las precipitaciones debido al fenómeno de la Niña, Suesca se ha visto afectada presentando inundaciones en grandes hectáreas de tierra y poniendo en riesgo a cientos de familias.

Con el fin de minimizar el impacto de las temporadas invernales, los organismos competentes realizaron adecuaciones hidráulicas a la cuenca del río Bogotá, entre estas esta la construcción y mejoramiento de Jarillones en la cuenca Alta del río Bogotá- municipio de Suesca.

Al realizar un modelo hidrológico mediante el uso de sistemas de información geográfica, se tendrá como base un modelo de información que permita evaluar el funcionamiento de estas obras y determinar para diferentes periodos de retorno si realmente protegerá a la población

vulnerable en las temporadas invernales y de igual manera mirar otras alternativas de solución para mitigar esta problemática presentada.

## **2.6. Delimitación**

### **2.6.1. Geográfica**

El proyecto se plantea realizar en la Cuenca alta del Río Bogotá, municipio de Suesca, sector Vereda Cacicazgo.

A través del acuerdo 58 de 1987 la CAR ha distinguido tres zonas que generan tres cuencas a lo largo de la trayectoria del río Bogotá, a saber: Cuenca Alta, Cuenca Media, y cuenca Baja.

### **2.6.2. Cronológica**

El desarrollo del proyecto se limitara a los cambios ambientales y geográficos ocurridos después de la fecha de los estudios aplicados. Sin embargo se recalca que su realización corresponde a un semestre académico de la universidad, Facultad de Estudios a Distancia “FAEDIS”.

### **2.6.3. Conceptual**

Desarrollar por medio del uso de sistemas de información geográfica, un modelo de simulación de inundaciones para evaluar con el ingreso de caudales para diferentes periodos de retorno y demás datos hidráulicos la funcionalidad de las obras construidas en la cuenca alta del río Bogotá y tener un concepto más acercado a la realidad si con este tipo de obras se verá protegida la población a posibles inundaciones en un futuro.

## **2.7.Marco Referencial**

### **2.7.1. Marco conceptual**

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de aguas normalmente no sumergidas. (Ideam, 2016).

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos: Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses, en Colombia el ejemplo más claro es la región de la Mojana. (Ideam, 2016)

El otro tipo de inundación es las llamadas crecientes súbitas, que aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente. (Ideam, 2016).

### **2.7.2. Sistemas de información geográfica**

Se entiende por "Sistema de Información" la conjunción de información con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software. Si el objeto concreto de un

sistema de información (información + software) es la obtención de datos relacionados con el espacio físico, entonces estaremos hablando de un Sistema de Información Geográfica o SIG (GIS en su acrónimo inglés, Geographic Information Systems).

Así pues, un SIG es un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos.

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión, conformándose como un valioso apoyo en la toma de decisiones. (Sig, 2016)

### **2.7.3. Jarillones**

Un jarillón es una estructura hidráulica compuesta de uno o varios materiales sueltos que tiene dentro de sus funciones el almacenamiento de agua para el riego agrícola, sirve de contención a aguas para abastecimiento humano o industrial, para la prevención de inundaciones, para el mantenimiento de los niveles de los canales o su aumento, para la formación de lagos artificiales y que pueden ser involucrados dentro de infinidad de aplicaciones que no solo se limitan al control de las aguas, sino también al almacenamiento de desechos mineros, como en el caso cercano, el manejo que la multinacional Cerro Matoso, tiene con sus sobrantes, que con el objeto de controlar impactos ambientales, igualmente en otros tipos de industrias se emplean las llamas presas de relave, que con una filosofía, también ambiental, reciben grandes cantidades de agua mezclada con desechos mineros y bajo procesos de decantación y transporte separan los materiales asociados al proceso. (Rojas, Ing. Robinson Villamil, 2013)

#### **2.7.4. Batimetría**

Una batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua.

Al igual que en los levantamientos topográficos convencionales, se determinan las coordenadas X, Y y Z, esta última corresponde a las profundidades de los cuerpos de agua levantados. De esta manera dependiendo del detalle con el que se lleve a cabo la batimetría, se pueden describir los fondos y el relieve de los cuerpos de agua y todas aquellas anomalías que en ellos puedan existir.

Las aplicaciones de los levantamientos batimétricos son muy amplias, permiten estimar los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua y conocer la dinámica de los lechos de ríos identificando zonas de socavación y áreas de depósito, que en ocasiones puede ocasionar la formación de islas en el río; también ofrece información para la navegación en grandes ríos. Particularmente los levantamientos batimétricos son insumo indispensable para aplicar cualquier software de modelación hidráulica lo cual permite evaluar el tránsito de crecientes con fines de pronóstico hidrológico. (Ideam, 2016).

En el caso del presente trabajo de investigación se contaron con los siguientes equipos para realizar el levantamiento batimétrico de la zona de estudio:

##### **2.7.4.1. Estación total.**

La estación total es un aparato que ha supuesto un antes y un después en el trabajo cotidiano de campo. Gracias a la medida electromagnética de distancia (MED) permite a los ingenieros técnicos en topografía reducir mucho tiempo de campo en la toma de datos y aumentar la precisión de sus trabajos. Por ello se agiliza el trabajo diario y cobra mayor eficacia, lo que disminuye muchos costes.

La estación total se utiliza para medir ángulos horizontales, verticales y distancias. Además del teodolito clásico, este aparato posee una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de aviso, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distancio metro, trackeador

(seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, para usarla posteriormente en ordenadores personales.

Se los denomina estaciones totales porque miden ángulos, distancias y niveles, lo que antes requería de varios instrumentos diferentes. Estos teodolitos electro-ópticos son económicamente accesibles. Su precisión, facilidad de uso y la posibilidad de almacenar información para luego descargarla en programas CAD ha hecho que desplacen a los teodolitos, que ya están fuera de uso. (Construmatica., 2016)



**Imagen 5.** Estación total.

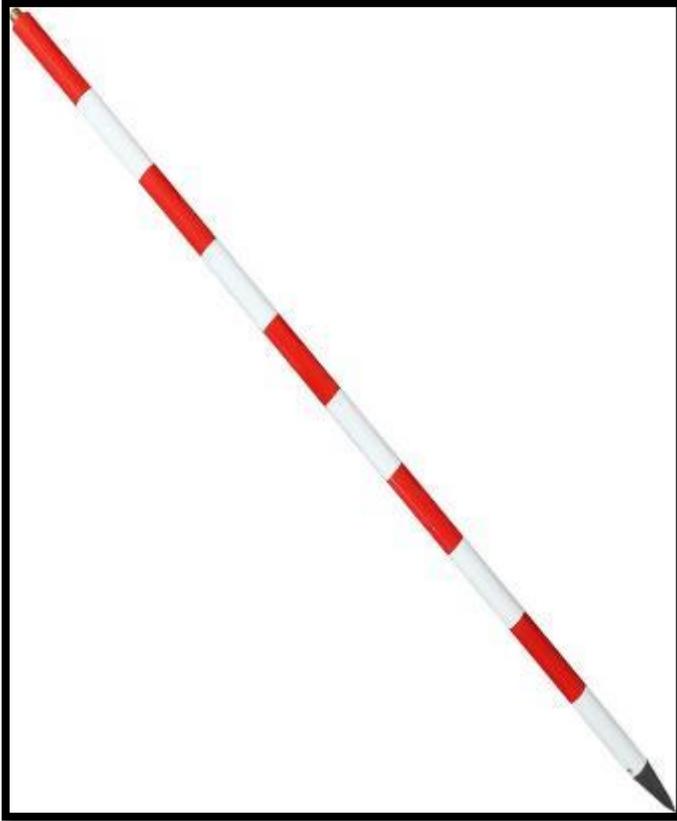
**Fuente:** Autor

#### **2.7.4.2. Baliza**

En topografía el término balizar se usa para referirse a la acción de ubicar un sitio en relación a otros, fácilmente ubicables, que aseguran el poder encontrarlo posteriormente. En navegación suele emplearse el término boya o boya de balizamiento.

Una baliza puede ser activa y emite una señal (sea el tipo que sea) o pasiva, si no emite. }

- Emisoras de señales de radio (Satélites GPS)
- Emisoras de señales ultrasonido (Sonar)
- Emisoras de señales luminosas (Faro)



**Imagen 6.** Baliza

**Fuente:** Autor

### **2.7.4.3. Trípode**

Es un instrumento que tiene la particularidad de soportar un equipo de medición como un taquímetro o nivel, su manejo es sencillo, pues consta de tres patas que pueden ser de madera o de aluminio, las que son regulables para así poder tener un mejor manejo para subir o bajar las patas que se encuentran fijas en el terreno. El plato consta de un tornillo el cual fija el equipo que se va a utilizar para hacer las mediciones. (RMz, 2012)



**Imagen 7.** Trípode

**Fuente:** Autor

#### **2.7.4.4. La Mira**

Se puede describir como una regla de cuatro metros de largo graduada en centímetros y que se pliega en la mitad para mayor comodidad de transporte. Además de esto, la mira consta de una burbuja que se usa para asegurar la verticalidad de esta en los puntos del terreno donde se desea efectuar mediciones, lo que es trascendental para la exactitud en las medidas. También consta de dos manillas, generalmente metálicas, que son de gran utilidad para sostenerla. (RMz, 2012).



**Imagen 8.** La Mira

**Fuente:** Autor

#### **2.7.4.5. Navegador GPS**

Es un dispositivo pequeño que cabe en la palma de la mano, tiene la antena integrada, su precisión puede ser menor de 15 mts, pero se incorpora el sistema WAAS puede ser menor a 3 mts.

Además de proporcionar nuestra posición en el plano horizontal puede indicar la elevación por medio de la misma señal de los satélites, algunos modelos tienen también barómetro para determinar la altura con la presión atmosférica. La señal de los satélites GPS no requiere de ningún pago o renta. (Arquigrafico, 2016)



**Imagen 9.** Navegador GPS

**Fuente:** Autor

### **2.7.5. Shapefile**

Un Shapefile es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un Shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas). El espacio de trabajo que contiene Shapefiles también puede incluir tablas del dBASE, que pueden almacenar atributos adicionales que se pueden vincular a las entidades de un Shapefile. (ArcGis, 2016.)

### **2.7.6. Archivo Tin**

TIN (Triangular Irregular Network; Red irregular de triángulos). Estructura de datos para la construcción de Modelos digitales del Terreno (MDT), basada en la modelización del relieve a partir de triángulos irregulares que unen los puntos de muestreo de partida (nodos).

Generalmente, las estructuras TIN se calculan a partir del algoritmo de Delaunay, resultando una de las mejores formas que existen para representar y trabajar con formas irregulares como la superficie terrestre. Los modelos TIN tienen una enorme ventaja sobre las estructuras de datos raster: permiten la incorporación de líneas de ruptura de las pendientes (como ríos, acantilados, etc.), lo cual da lugar a una mayor precisión en el cálculo. (TodoSIG, 2016)

## **2.8. Metodología**

La metodología empleada para cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos abarcó la ejecución en orden cronológico de las siguientes actividades:

### **2.8.1. Recopilación de la información**

Se recopiló la información necesaria con el tramo de estudio para lograr ingresarla en los respectivos programas, tanto en *AutoCAD*, como en *Argis* y *HecRas.*, este proceso consistió en realizar visitas de campo, recopilación de investigaciones realizadas anteriormente aguas arriba en la cuenca, recopilación información IDEAM y CAR; se inicia con el levantamiento batimétrico de la zona y la consecución de los demás datos morfométricas de la cuenca, para lo cual se apoyó en material de investigación tal como el soporte plan de manejo y ordenamiento de la cuenca (POMCA), análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá utilizando métodos de valoración sintética, (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014), Manual de Drenaje para Carreteras (Posso Prado, 2009) y otros datos facilitados por medios electrónicos como la página de la CAR y el IDEAM.

### **2.8.2. Configuración de Arcgis**

Arcgis 10.1 fue la herramienta escogida para realizar el ingreso de la información recogida en la batimetría y luego por medio de la extensión *Hec-GeoRAS*, crear un archivo de exportación

que contenga la información geométrica de las secciones transversales, del cauce y las llanuras de inundación del terreno al cual se le realizó el estudio. Se hizo primordial el aprendizaje del programa y de las diferentes metodologías para el procesamiento de los datos recogidos, a partir de este estudio se puede escoger el método más apropiado para ser aplicado en esta investigación de la cuenca alta del río Bogotá, identificando los datos de entrada requeridos para configurar el programa.

### **2.8.3. Modelación del Arcgis**

En esta actividad permite importar la información de AutoCAD y convertir en un archivo shape, luego de configurar el sistema de coordenadas geográficas se convierte el archivo shape a un archivo TIN, ya con esto y con el uso de la extensión Hec-GeoRas podemos crear la geometría del cauce, los límites de inundación para exportarla a HecRas.

### **2.8.4. Configuración del HecRAS**

Una vez importada la información desde Arcgis, se empleó la herramienta HecRas 5.0 para calcular las diferentes configuraciones de caudales para las secciones transversales a lo largo del tramo estudiado del cauce del río Bogotá, valores simulados de niveles de agua, caudales y pendientes.

### **2.8.5. Modelación del HecRas**

Para la etapa de modelación final se realizó un análisis de las diferentes características que afectan la modelación y de cómo estas interactúan entre sí, con el fin de obtener un modelo que represente de forma más precisa la realidad de un evento de creciente en el tramo de estudio.

### **2.8.6. Análisis de los resultados**

Finalmente se analizaron los resultados obtenidos con las modelaciones, se hicieron comparaciones de resultados de diferentes modelaciones variando la información de entrada y se analizó la sensibilidad del modelo a cambios en los parámetros de entrada tanto en Arcgis como en HecRas, de igual forma se concluyeron los resultados obtenidos y se presentaron una serie de recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas.

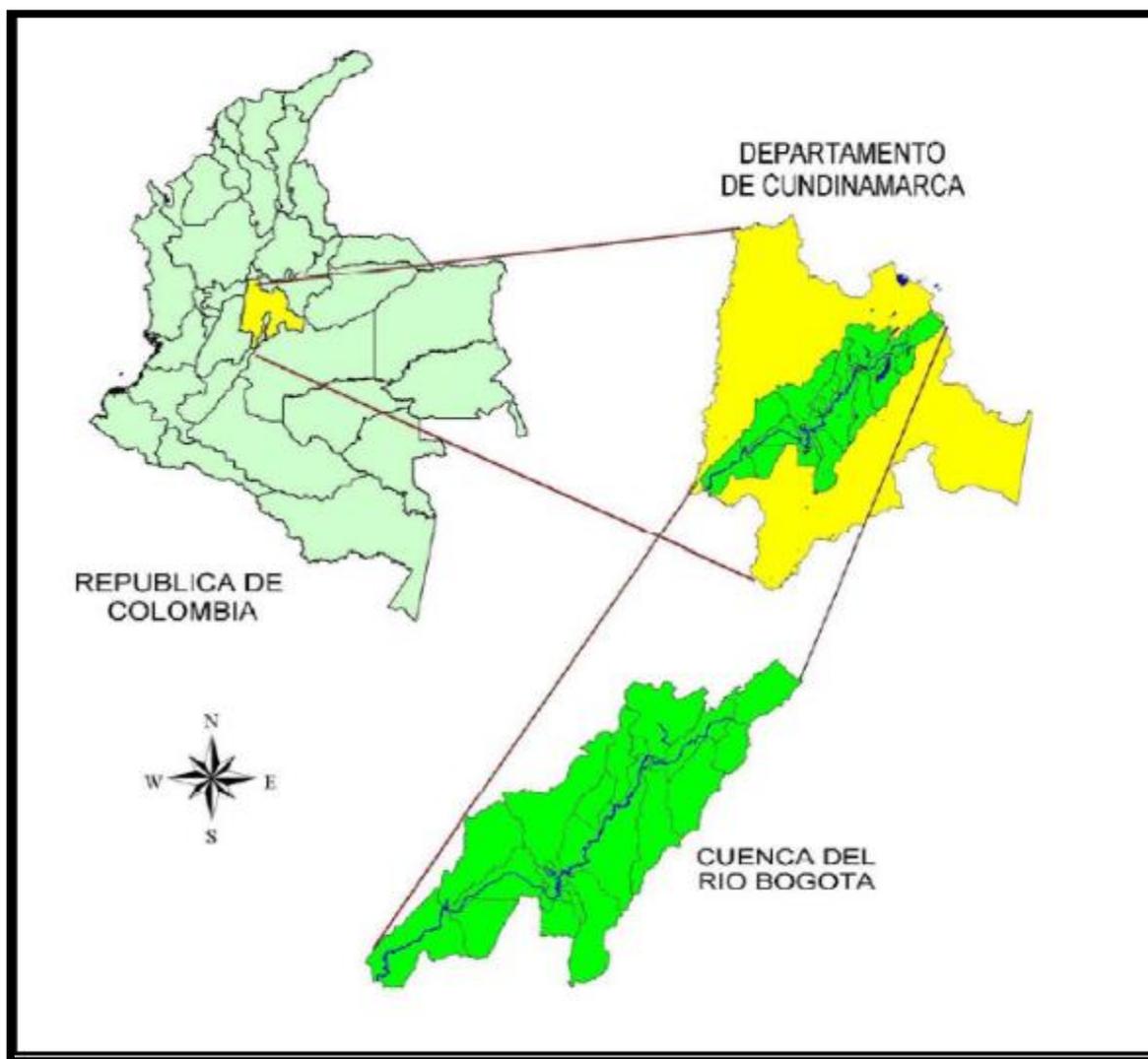
### **3. Descripción cuenca del río Bogotá.**

#### **3.1. Generalidades**

El sistema hídrico del Río Bogotá nace a los 3300 msnm en el municipio de Villapinzón y desemboca en el Río Magdalena a los 280 msnm en el municipio de Girardot, está compuesto por un sistema natural conformado por quebradas, ríos, lagunas y humedales que en la mayoría de los casos son afluentes del Río Bogotá y su sistema de regulación, compuesto por nueve embalses y un distrito de riego. Estas obras fueron construidas para satisfacer los requerimientos del recurso hídrico en acueductos, sistemas de riego, generación de energía y necesidades domésticas. (Ecoforest, 2014)

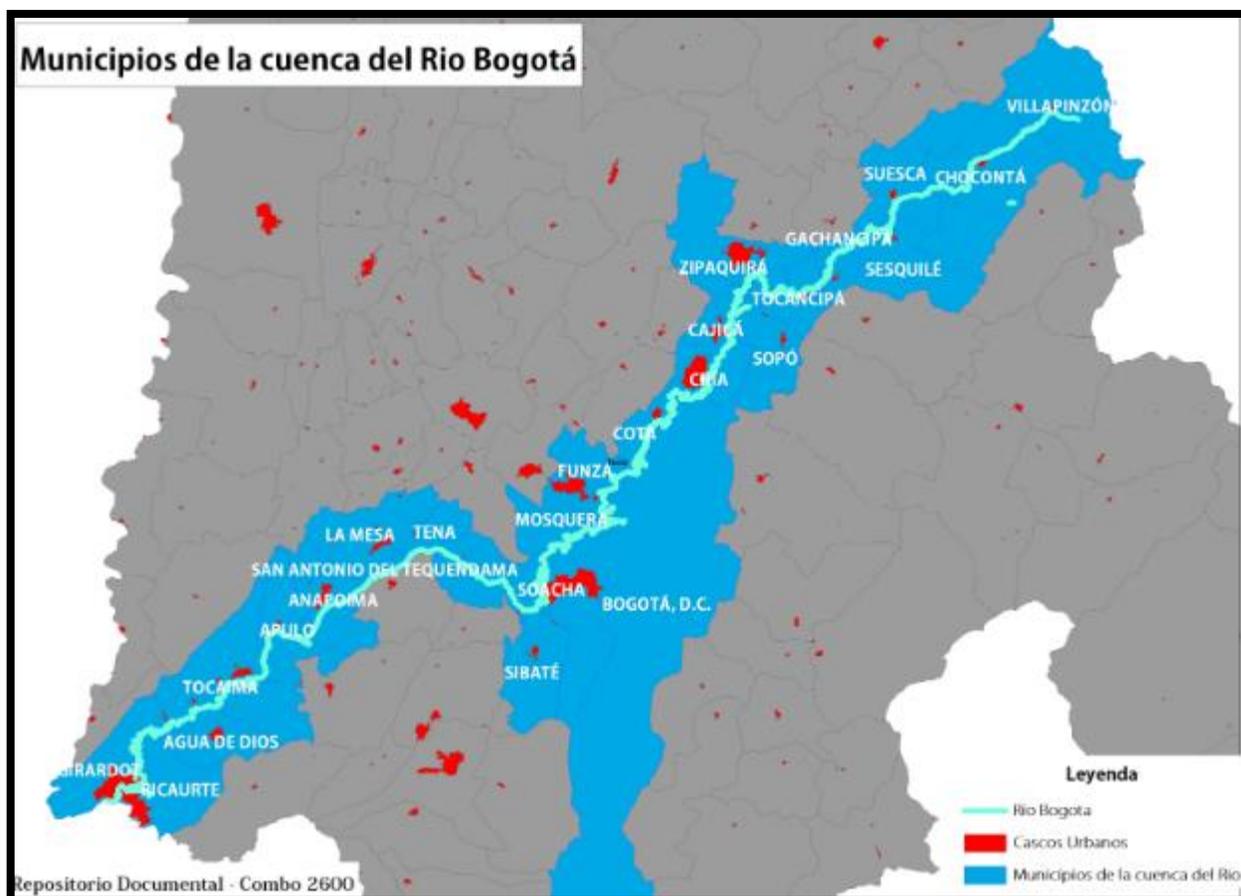
La cuenca del río Bogotá es una corriente de segunda orden, caracterizada por la variedad de paisajes, condiciones topográficas y climas propios de la zona tropical andina. Cubre un área total de 589.413 hectáreas, representadas en 19 subcuencas (excluyendo subcuenca del río Tunjuelito), Riega el departamento de Cundinamarca, ocupando el 32% de su superficie total, y está conformada de siguiente manera: Río Alto Bogotá (276155.03 ha), Embalse del Sisga (15526.01 ha), Embalse de Tominé (37428.49 ha), Sector Tibitoc- Soacha (71284.00 ha), Río Neusa (44735.00 ha), Río negro (3389.79 ha), Río Teusacá (35818.42 ha), Río Frío (20159.71 ha), Río Chicú (14188.89 ha), Sector Tibitoc – Soacha (71284.00 ha), Río Balsillas (62441.61 ha), Río Soacha (4051.61 ha), Río Medio Bogotá (31649.50 ha), Río Calandaima (26839.74 ha), Río Apulo (48505,49 ha) y Río Bajo Bogotá (54431.01 ha).

### 3.2. Localización General.



**Imagen 10.** Localización general cuenca Río Bogotá.

**Fuente:** SIG, CAR. 2016



**Imagen 11.** Municipios Cuenca Río Bogotá.

**Fuente:** <http://combo2600.com/bogota-si-tiene-rio/>

MUNICIPIO	AREA MUN (ha)	AREA EN CUENCA (ha)	% MUN EN CUENCA
AGUA DE DIOS	8567	7033	82
ANAPOIMA	12377	12359	100
ANOLAIMA	12045	11010	91
BOGOTA D.C.	163617	84531	52
BOJACA	10061	10061	100
CACHIPAY	5388	5388	100
CAJICA	5157	5157	100
CHIA	7928	7928	100
CHOCONTA	30178	25383	84
COGUA	13289	13278	100
COTA	6041	6041	100

CUCUNABA	11163	1280	11
EL COLEGIO	11767	11753	100
EL ROSAL	9791	8492	87
FACATATIVA	15405	15164	98
FUNZA	6731	6731	100
GACHANCIPA	4165	4165	100
GIRARDOT	12979	7691	59
GRANADA	6739	1689	25
GUASCA	36457	21144	58
LA CALERA	33239	199223	58
LA MESA	14338	14295	100
MADRID	11829	11829	100
MOSQUERA	10822	10822	100
NEMOCON	9906	9906	100
OSPINA PEREZ	11876	11875	100
QUIPILE	12619	3130	25
RICAUARTE	12810	8491	66
SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA	8845	8837	100
SESQUILE	14125	14093	100
SIBATE	12269	9313	76
SOACHA	18148	16950	93
SOPO	11045	11045	100
SUBACHOQUE	19473	17374	89
SUESCA	17282	12217	71
TABIO	7583	7583	100
TAUSA	19281	14219	74
TENA	5114	5114	100
TENJO	11200	11200	100
TOCAIMA	24722	24243	98
TOCANCIPA	7321	7321	100
VILLAPINZON	22596	12772	57
VIOTA	20339	20130	99
ZIPACON	5872	5872	100
ZIPAQUIRA	19513	18438	94
Totales (ha) de 46 municipios	776573	587597	

**Tabla 1.** Conformación municipal de la cuenca

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá

### 3.3. Relieve y pendientes de la cuenca.

El 30% de la cuenca se caracteriza por presentar un relieve fuertemente ondulado a fuertemente – quebrado, con pendientes entre 12 y 25%; le sigue en importancia el relieve fuertemente quebrado con pendientes entre 25 y 50 %. Estas condiciones de relieve y pendiente se presentan en forma general en toda la cuenca, con excepción del área comúnmente denominada como sabana y en la parte baja de la cuenca, donde predominan las pendientes entre 0 y 7% y los relieves planos, ligeramente plano, ligeramente inclinado y ligeramente ondulado. (CAR, 2006).

De acuerdo con la clasificación de Horton, la cuenca del río Bogotá tiene un total de 33.622 corrientes, clasificadas en ocho ordenes, de estas el 59% pertenecen al orden 1 y solo el 0.06% al orden 8. En la tabla 2 se presenta la distribución de las corrientes dentro de los órdenes establecidos. (CAR, 2006)

Orden	Numero de Corrientes
1	19.714
2	8.050
3	3.463
4	1.609
5	539
6	210
7	16
8	21

**Tabla 2.** Clasificación de Horton

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá.

### 3.4. Climatología

En la cuenca del río Bogotá se registra precipitaciones de entre 400 y 2200 mm anuales, destacándose como las zonas de menor nivel de lluvias la subcuenca río Soacha y parte de las subcuencas río Bogotá sector Salto Soacha, Embalse Muña, río Bogotá Sector Tibitoc – Soacha y río Balsillas. La mayor precipitación se registra en los extremos orientales de las subcuencas Tominé y río Teusacá. (CAR, 2006)

### 3.5. Hidrología

En la cuenca se presentan dos escenarios del ciclo hidrológico, meses secos y meses húmedos, el primer escenario (meses secos), se considera el crítico, definido como el promedio de los caudales de los meses que se encuentran por debajo del valor medio anual multianual y el segundo periodo húmedo, que incluye el promedio de los valores de los meses que están por encima de la media anual. En la tabla 3 se encuentra el cálculo balance oferta – demanda y el índice de escasez para cada uno de los periodos.

De igual forma se relaciona en la tabla 3 un estimativo de la demanda actual sobre la cuenca, a partir del mapa de uso actual del suelo, de los estimativos de población, tanto al nivel de las cabeceras municipales como de las veredas que se encuentran localizadas en la subcuenca y de las concesiones otorgadas por la Corporación. (CAR, 2006)

Por último se encuentra el cálculo de valor cualitativo que representa la demanda de agua que ejercen los diferentes usos de cada subcuenca frente a la oferta hídrica disponible, conocido como índice de escasez. (CAR, 2006)

Subcuenca	Oferta (m3/s)		Demanda (m3/s)				Índice de escasez	
	Periodo Seco	Periodo Húmedo	Doméstica	Agropecuaria	Industrial	Ecológica	Periodo Seco	Periodo Húmedo
Río Alto Bogotá	0.94	3.74	0.034	1.66	0.002	0.04	Alto	Medio Alto
Embalse Sisga	1.06	4.6	0.006	0.77		0.03	Alto	Medio
Embalse Tominé	3.51	10.05	0.021	1.76		0.04	Alto	Medio
Sector Sisga – Tibitoc	7.73	10.29	0.035	1.81	0.015	0.11	Medio Alto	Medio
Río Neusa	3.02	4.86	0.161	2.33	0.2	0.31	Alto	Alto
Río Negro	0.25	0.47	0.003	0.12		0.1	Alto	Medio Alto
Río Teusacá	2.73	5.38	0.05	1.95	0.002	0.15	Alto	Medio Alto
Río Frío	1.47	2.82	0.049	8.93	0.007	0.17	Alto	Medio Alto
Río Chicú	0.61	1.12	0.006	0.9	0.001	0.04	Alto	Alto
Sector Tibitoc – Soacha	15.21	20.67	5.244	2.26	0.006	2.27	Alto	Medio Alto
Río Balsillas	3.34	7.14	0.062	3.3	0.024	0.15	Alto	Medio Alto
Río Soacha	0.18	0.32	0.007	0.07		0.01	Alto	Medio Alto
Embalse Muña	0.58	1.06	0.044	0.63	0.002	0.04	Alto	Alto

Sector Salto Soacha	22.02	29.92	0.089	0.51		3.28	Medio	Medio
Sector Salto – Apulo	29.82	40.31	0.078	1.11	0.004	4.89	Medio Alto	Medio
Río Calandaima	1.91	2.74	0.038	0.66	0.001	0.05	Medio Alto	Medio Alto
Río Apulo	6.17	7.92	0.118	2.14	0.004	0.16	Medio Alto	Medio Alto
Sector Apulo – Girardot	34.34	52.44	0.357	3.4	0.016	5.4	Medio Alto	Medio

**Tabla 3.** Características hidrológicas de las subcuencas

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá

En cuanto a aguas subterráneas, la cuenca del río Bogotá posee un sistema hidrogeológico que se subdivide en los grupos:

- A. Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular
- B. Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas
- C. Sedimentos y rocas con limitados recursos de agua subterránea.

### 3.6. Geología y Geomorfología

Geomorfológicamente, en la cuenca del río Bogotá se distinguen dos zonas diferenciadas por las características que presentan en función de las geoformas del relieve y del modelado, incluidos los modelados heredados y de los procesos morfogénicos actuales en cada una de ellas. Dichas zonas son:

#### 3.6.1. Las subcuencas del altiplano y sus bordes

Es el espacio hidrográfico aguas arriba de la garganta del río Bogotá en los cerros de Boquerón, cerros que podrían considerarse como el “gran dique” en el pasado, del lago del altiplano. Esta parte de cuenca está organizada sobre un sustrato sedimentario plegado y fallado dentro del cual se definen depresiones tecto – sedimentarias.

En las cuencas tributarias de los bordes del altiplano domina las rocas areniscas y arcillosas de formaciones cretácicas y del Terciario Inferior. Al respecto, se deriva una influencia sobre los modelados (formas y formaciones superficiales) así como sobre los procesos, Así, los modelados de formas suaves en colinas y lomeríos se derivaron de las rocas arcillosas, mientras que los relieves más fuertes (estructurantes) se deben a la presencia dominante de capas areniscas.

(CAR, 2006)

### 3.6.2. La cuenca media y baja del río Bogotá

Aguas debajo de la garganta en los Cerros de Boquerón (elemento hidro – geomorfológico para el que se propone el nombre de “Garganta de Bochita”), donde el río abandona el altiplano y hasta su desembocadura en el río Magdalena. Esta parte de la cuenca se estructura a partir de un sustrato sedimentario plegado, fallado y fracturado. Sin embargo las diferencias fundamentales resultan de la forma como se organiza el sustrato.

La estructura se caracteriza por la sucesión de bloques separados por fallas inversas de orientación norte a noroeste, es decir un relieve escalonado con abundancia de escarpes y una litología en la que abundan rocas areniscas en la parte superior (bordes exteriores del altiplano) y debajo y hacia abajo rocas de baja resistencia como son las lodolitas del Grupo Villeta.

Geológicamente existen tres regiones estratigráficas cretácicas paleógenas distintas en cuenca: Región Oriental, Región del Tequendama y oeste de la Sabana de Bogotá y Región Occidental. (CAR, 2006)

### 3.7. Aspecto socioeconómico

La cuenca del río Bogotá cuenta con una población total de 1.297.752 habitantes, de los cuales el 75% corresponde a población urbana y el 25% restante a población rural. Las subcuencas río Apulo, río Calandaima, río Medio Bogotá sector Salto Tequendama – Apulo, río Teusacá, río Neusa, río Bogotá sector Sisga – Tibitoc, Embalse Tominé y embalse Sisga, se caracterizan por su predominio de población rural respecto a la urbana. Por otra parte las subcuencas río Balsillas, río Bogotá sector Tibitoc – Soacha y río Bajo Bogotá Apulo – Girardot, son las que mayor número de habitantes aportan al total de población de la cuenca. (CAR, 2006)

Con relación a la densidad poblacional las subcuencas, río Negro y río Soacha, que a su vez son las de menor tamaño, presentan el mayor número de habitantes por unidad de superficie, con 2305 y 2500 habitantes por kilómetro cuadrado, respectivamente. En contraste las subcuencas Embalse Sisga y Embalse Tominé, presentan las menores densidades poblacionales con 36 y 44 habitantes por kilómetro cuadrado. (CAR, 2006)

<b>POBLACION CUENCA RIO BOGOTA</b>						
<b>SUBCUENCA</b>						
	Urbana	%	Rural	%	Total	%

Río Bajo Bogotá	125593	13.39	19491	5.92	145084	11.42
Río Apulo	23826	2.54	43515	13.21	67340	5.30
Río Calandaima	5798	0.62	19277	5.85	25075	1.97
Río Medio Bogotá (Sector Salto – Apulo)	20575	2.19	28839	8.75	49414	3.89
Río Bogotá (Sector Soacha – Salto)	120276	12.83	11422	3.47	131697	10.37
Embalse del Muña	23105	2.46	9806	2.98	32911	2.59
Río Soacha	124914	13.32	1476	0.45	126390	9.95
Río Balsillas	159069	16.96	38417	11.66	197486	15.55
Río Bogotá (Sector Tibitoc – Soacha)	134593	14.35	31371	9.52	165964	13.06
Río Chicú	7968	0.85	20618	6.26	28602	2.25
Río Frio	41963	4.48	13283	4.03	55246	4.35
Río Teusacá	18484	1.97	18828	5.71	37312	2.94
Río Negro	75907	8.09	2242	0.68	78149	6.15
Río Neusa	214120	2.57	27595	8.38	51716	4.07
Río Bogotá (Sector Sisga – Tibitoc)	10847	1.16	16436	4.99	30398	2.39
Embalse Tominé	7295	0.78	9197	2.79	16492	1.30
Embalse Sisga	0	0.00	5909	1.70	5609	0.44
Río Alto Bogotá	13374	1.46	12059	3.66	25433	2.00
<b>CUENCA</b>	<b>937707</b>	<b>100.00</b>	<b>329481</b>	<b>100.00</b>	<b>1270318</b>	<b>100.00</b>

**Tabla 4.** Población de la cuenca (no incluye población de Bogotá)

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá

SUBCUENCA	Área Km <sup>2</sup>	DENSIDAD (hab/km <sup>2</sup> )	
		Urbana	Rural
Río Bajo Bogotá	544	267	36
Río Apulo	485	139	90
Río Calandaima	268	93	72
Río Medio Bogotá (Sector Salto – Apulo)	316	156	91
Río Bogotá (Sector Soacha – Salto)	107	1228	106
Embalse del Muña	134	245	73
Río Soacha	41	3120	36
Río Balsillas	624	316	62
Río Bogotá (Sector Tibitoc – Soacha)	713	233	44
Río Chicú	142	202	145
Río Frio	202	274	66
Río Teusacá	358	104	53

Río Negro	34	2305	66
Río Neusa	447	116	62
Río Bogotá (Sector Sisga – Tibitoc)	254	120	65
Embalse Tominé	374	44	25
Embalse Sisga	155	36	36
Río Alto Bogotá	276	92	44
CUENCA	5474	505	65

**Tabla 5.** Densidad poblacional (no incluye población de Bogotá)

**Fuente:** Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá

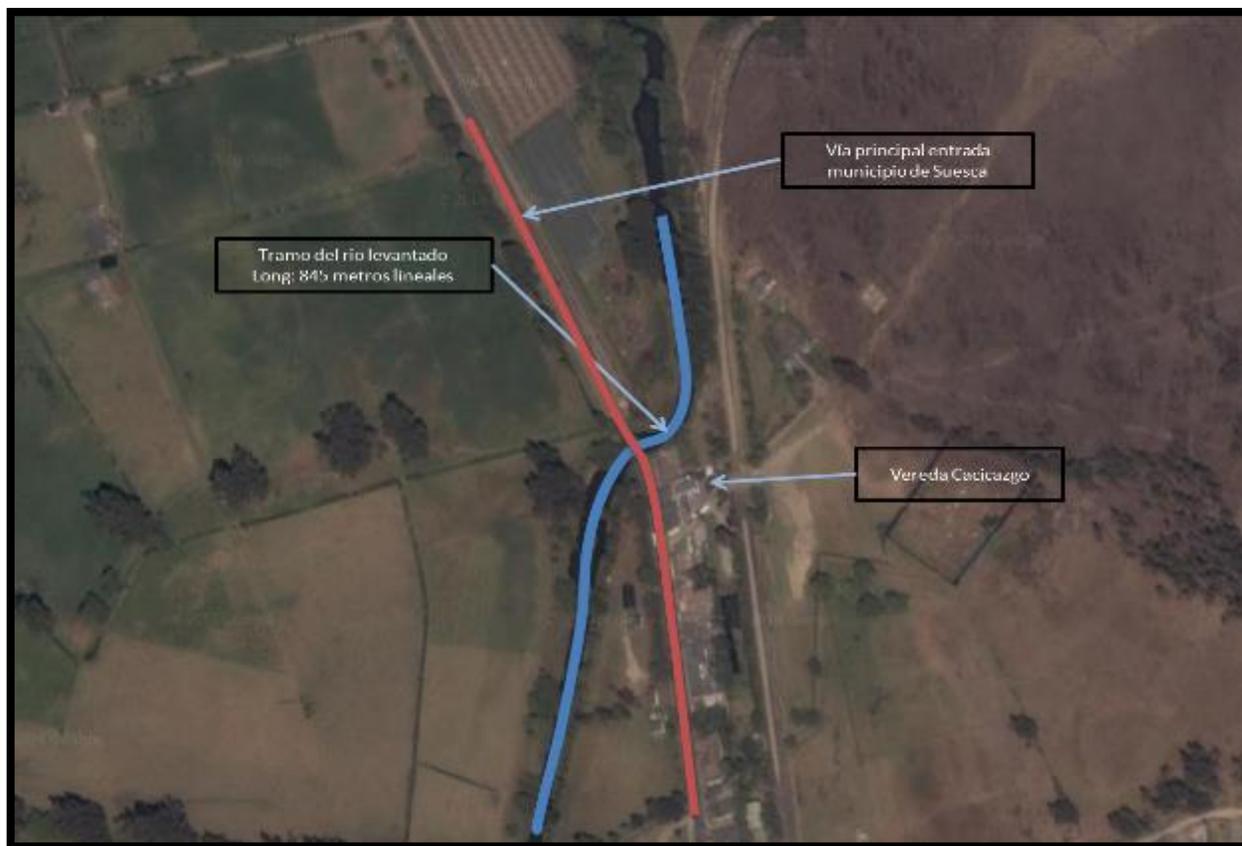
## 4. Metodología

### 4.1. Fases del trabajo de investigación

#### 4.1.1. Recopilación de datos

En esta fase se seleccionó el tramo a estudiar perteneciente a la cuenca alta del río Bogotá, municipio de Suesca, vereda cacicazgo, para la época (Mayo 2016), se aprovechó el intenso verano causado a causa del fenómeno de la niña, lo que favoreció que la lámina de agua en la mayor parte de su este tramo no sobrepasaba 1 metro y facilitara realizar el levantamiento, conociendo el historial de inundaciones por experiencia propia se escogieron los límites para realizar la batimetría a este sector del río, el cual comprendió una longitud de 846 metros lineales.

Co una comisión topográfica la cual contaba con todos los elementos necesarios para realizar la actividad, se procedió a iniciar la toma de datos con la mayor cantidad de puntos posibles y así garantizar la realización de un modelo lo más parecido a la realidad.



**Imagen 12.** Localización específica zona de estudio.

**Fuente:** Autor



**Imagen 13.** Vista aguas abajo zona de estudio.

**Fuente:** Autor



**Imagen 14.** Vista aguas abajo zona de estudio.

**Fuente:** Autor

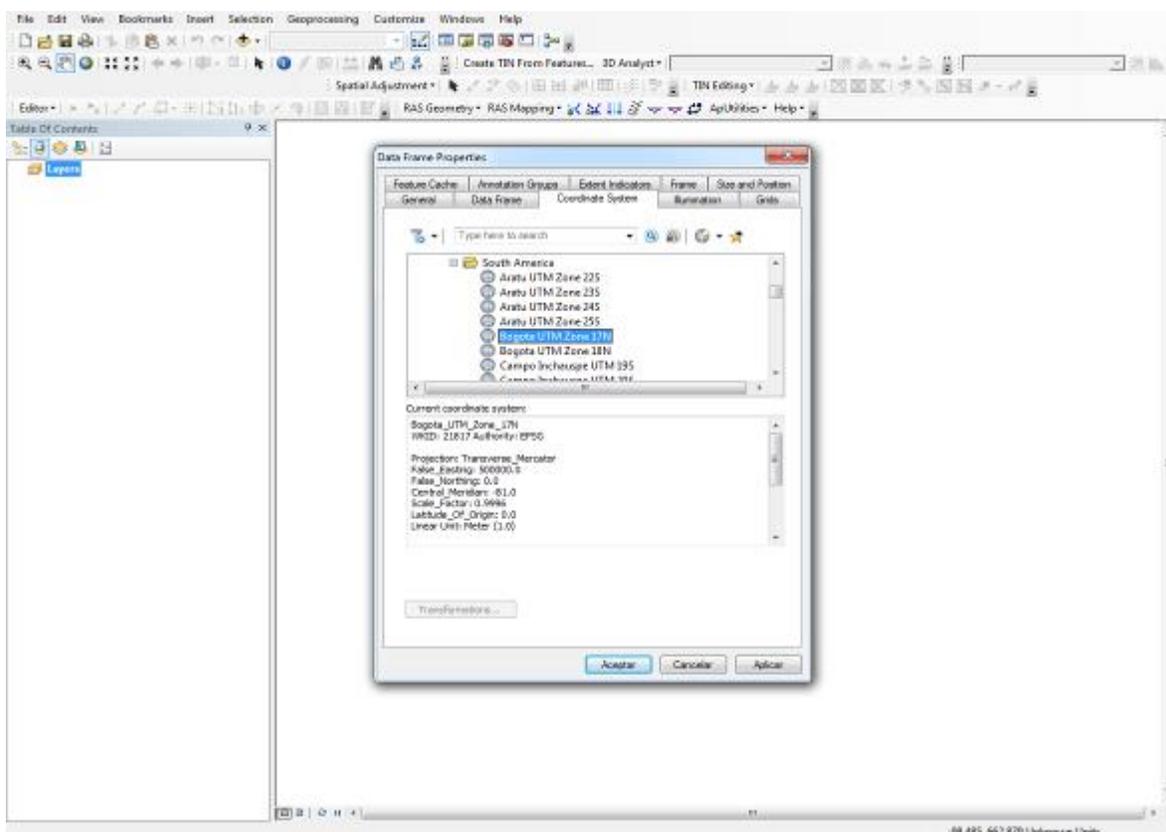
#### **4.1.2. Procesamiento de datos**

Esta fase consta de la secuencia de operaciones geométricas ejecutadas para realizar la modelación en Arcgis, tales como señalar el cauce del río, los bancos, líneas de inundación, dirección de flujo y secciones transversales.

#### 4.1.2.1. Procesamiento de modelación del tramo del río Bogotá en la cuenca Alta, sector Cacicazgo, municipio de Suesca, mediante el uso de Arcgis 10.1

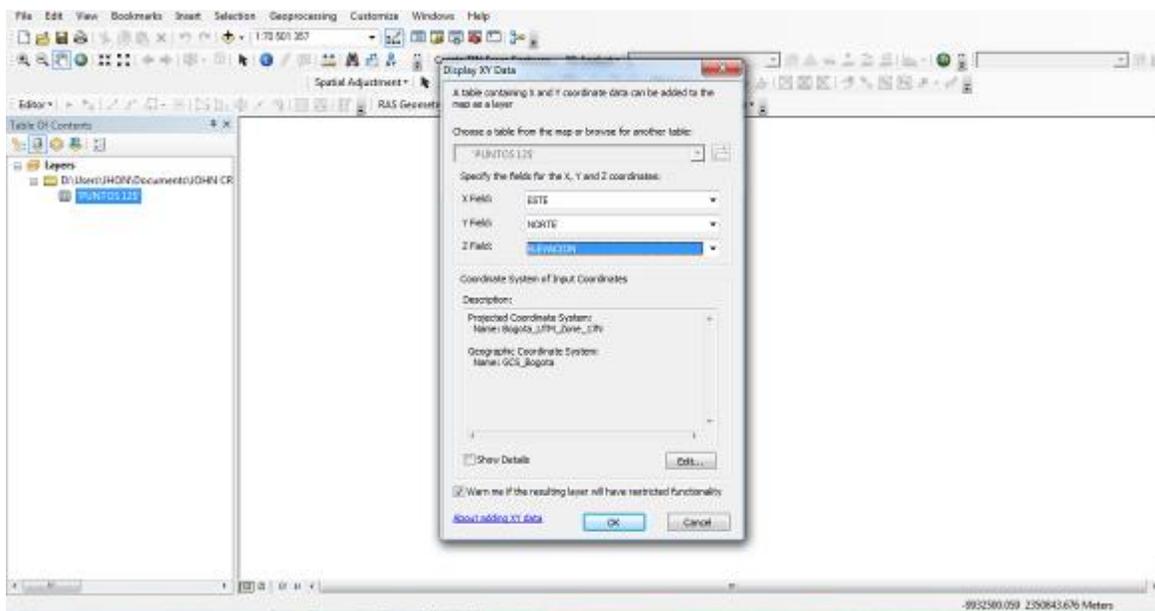
Para realizar el proceso de modelación del tramo del río, se inicia el trabajo con Arcgis en su versión 10.1, con el fin de darle la dirección al proyecto que se va a ejecutar en donde se ingresara la información del levantamiento batimétrico, luego de creado el proyecto se definió el sistema de coordenadas con el cual se va a trabajar, en este caso *UTM –South América – Bogotá UTM Zone 17 N*. Ver **figura 1**.

Luego de georreferenciado el archivo, se procede a importar la información de los puntos de la batimetría realizada para crear un Shapefile: *Add Data - Carpeta batimetría – puntos*, una vez añadida la tabla se configura las coordenadas dando click en el botón derecho y seleccionando la opción *Display X Y Data....*, abre una ventana y se selecciona X para el Este, Y para el Norte y Z para la elevación. Ver **figura 2**.



**Figura 1:** Configuración coordenadas

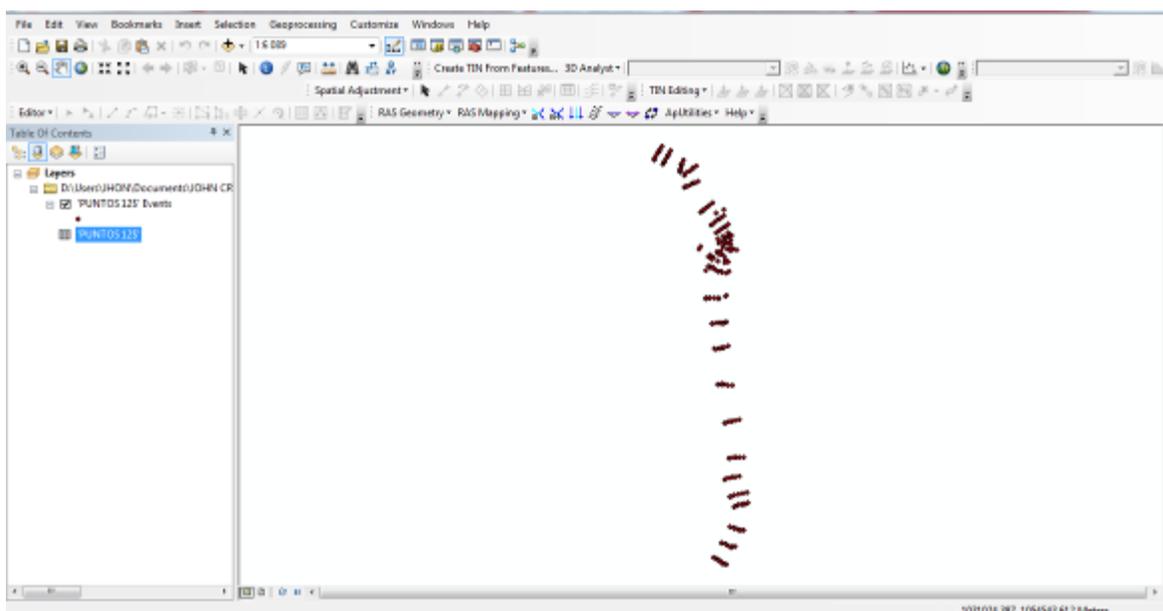
**Fuente:** Autor



**Figura 2:** Configuración Display XY Data

**Fuente:** Autor

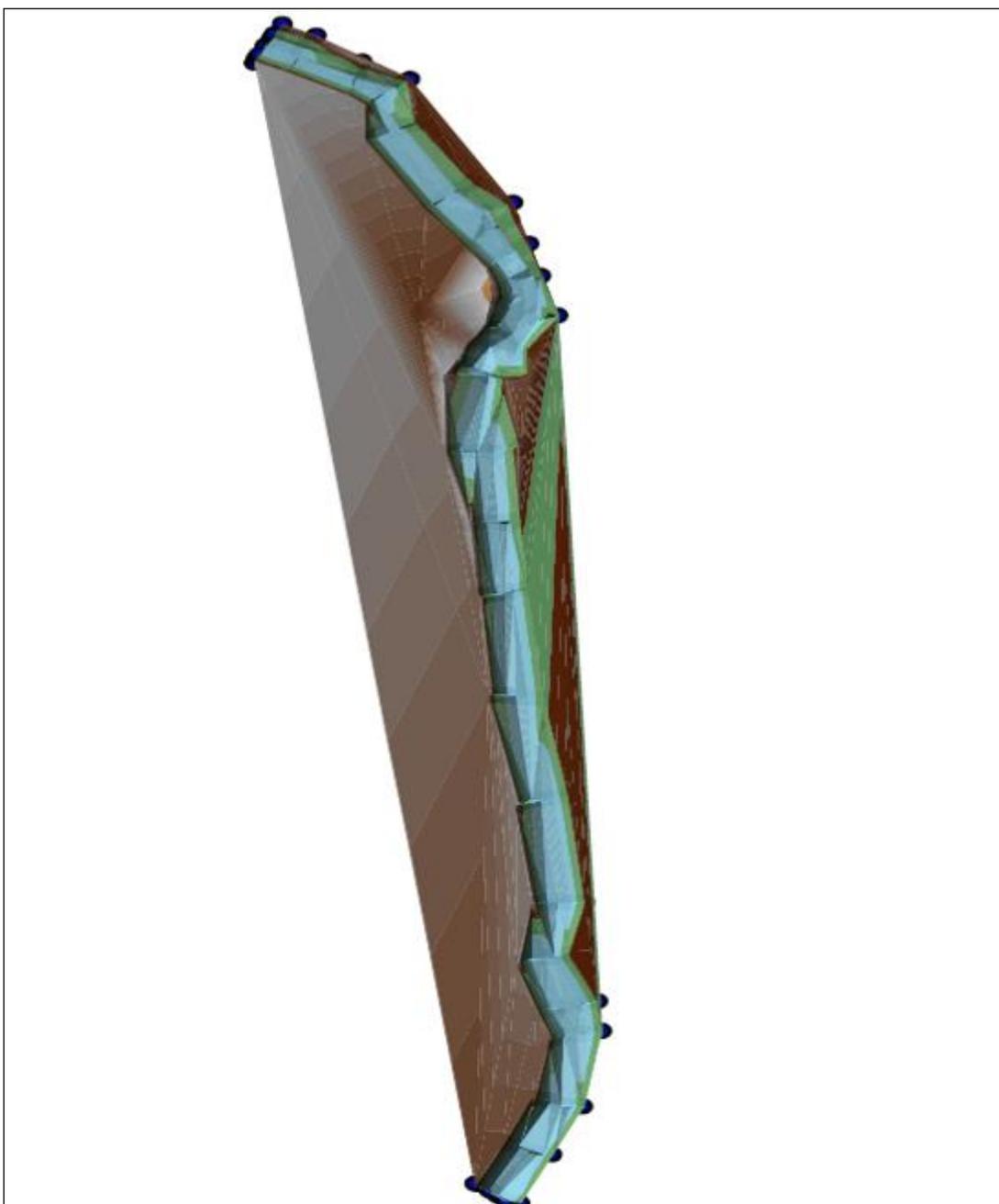
Realizado este paso procedemos a convertir el archivo en Shapefile, el paso para este proceso es *Data – Export Data* -, lo guardamos en una carpeta previamente creada bajo el nombre de Shape. Ver **Figura 3**.



**Figura 3:** Creación Shapefile

**Fuente:** Autor

Ya creado el Shapefile se procedió a crear un archivo TIN (Red de triangulación irregular), esta se realizó con la ruta *Create Tin From Features – puntos - Height Source: Elevation – Triangulate as: mass points – Tag Value Field: Elevation.*, se guarda en una carpeta creada bajo el nombre de Tin, ya creado el archivo se procede a configurarlo para que detalle las alturas con mejor claridad y se logre visualizar el cauce del río para poder trazar la geometría con la extensión *Ras Geometry*. **Ver Figura 4.**



#### Figura 4: Creación TIN

Fuente: Autor

#### 4.1.3. Implementación de los programas hidrológicos.

Procesamiento de la geométrica del tramo mediante uso de la extensión Ras Geometry, se creó una nueva carpeta donde se guardara toda la información que finalmente se exportara a HecRAS, en esta nueva carpeta se guardó el archivo TIN creado anteriormente, en la figura 5 se muestra la secuencia de modelación llevada para obtener los datos necesarios para ser exportados.

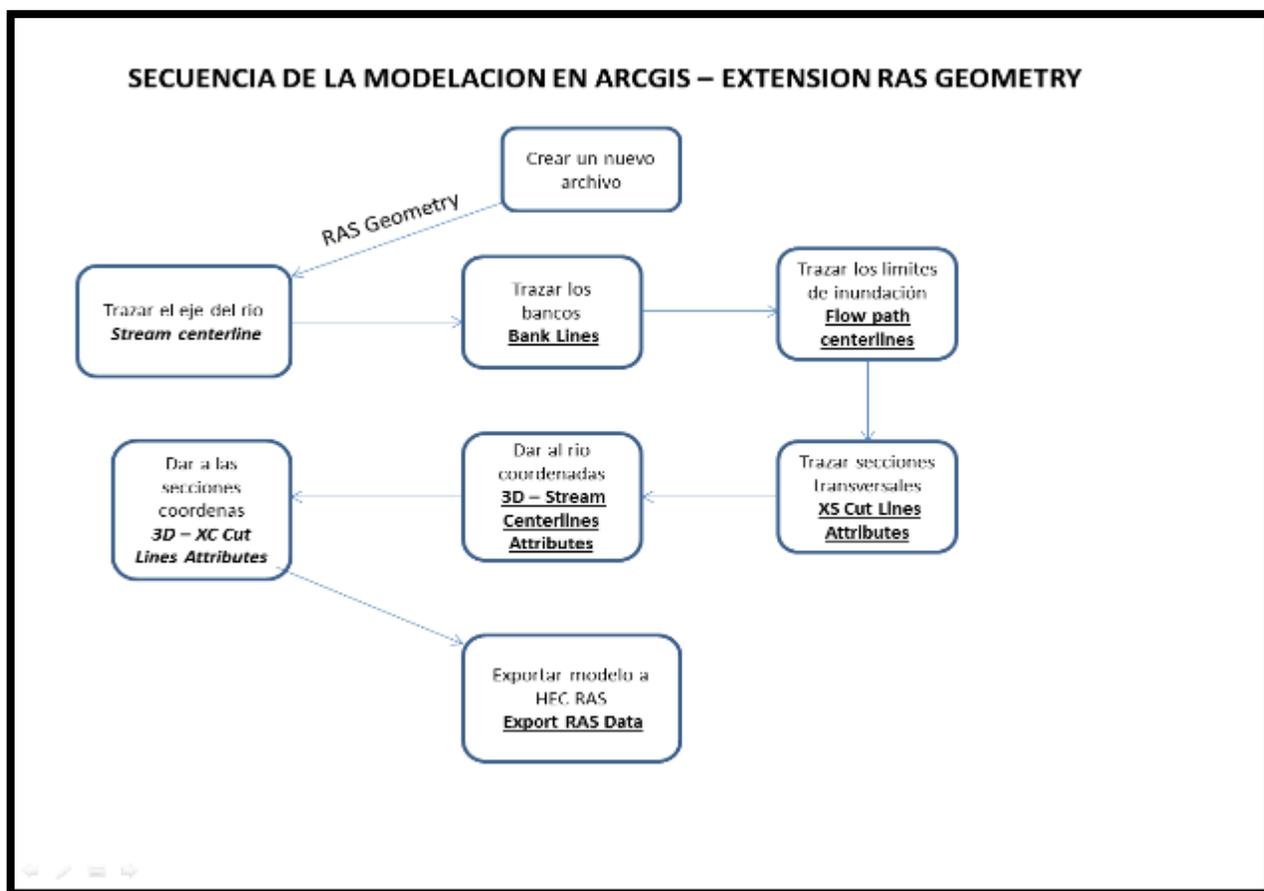
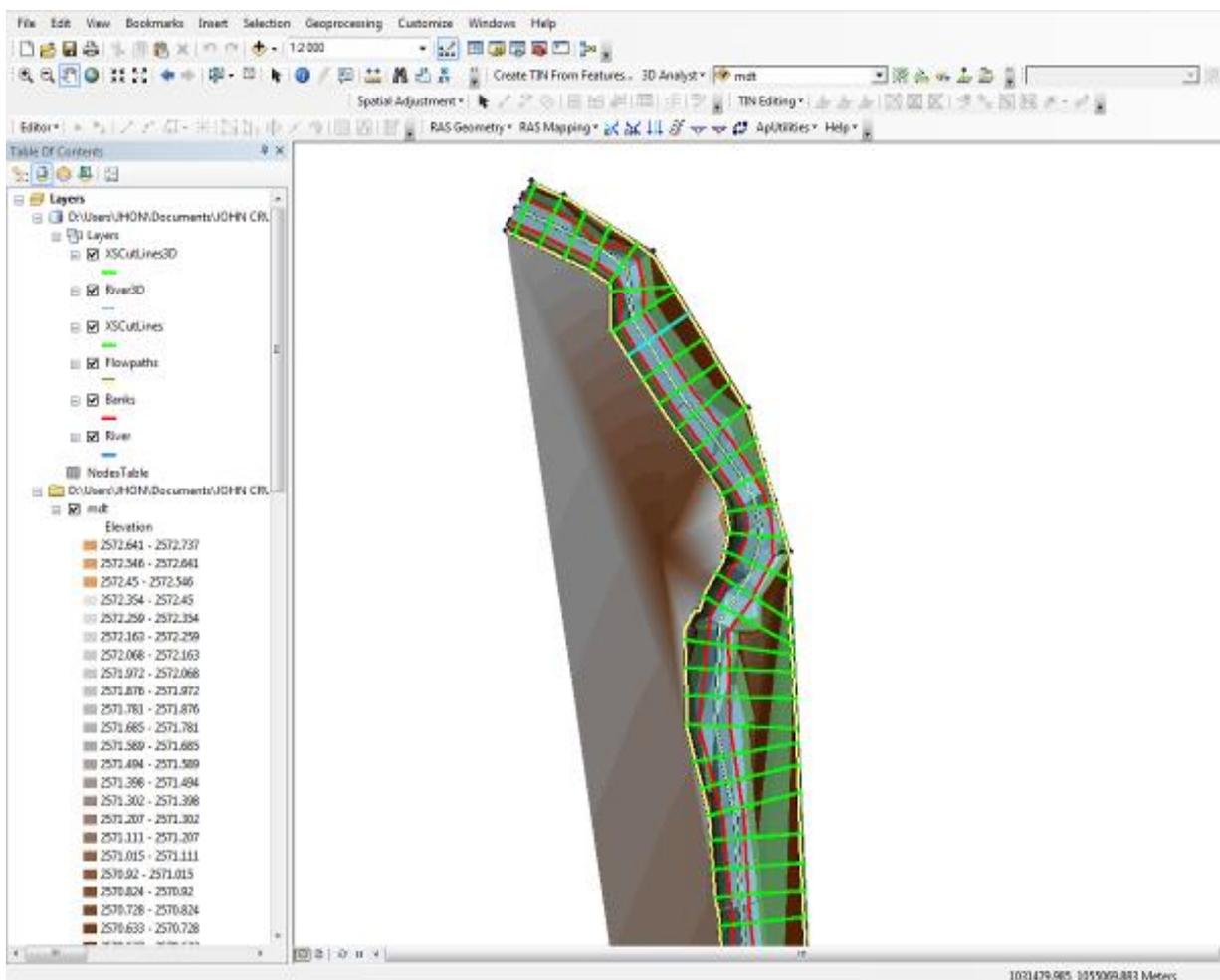


Figura 5: Secuencia de modelación

Fuente: Autor

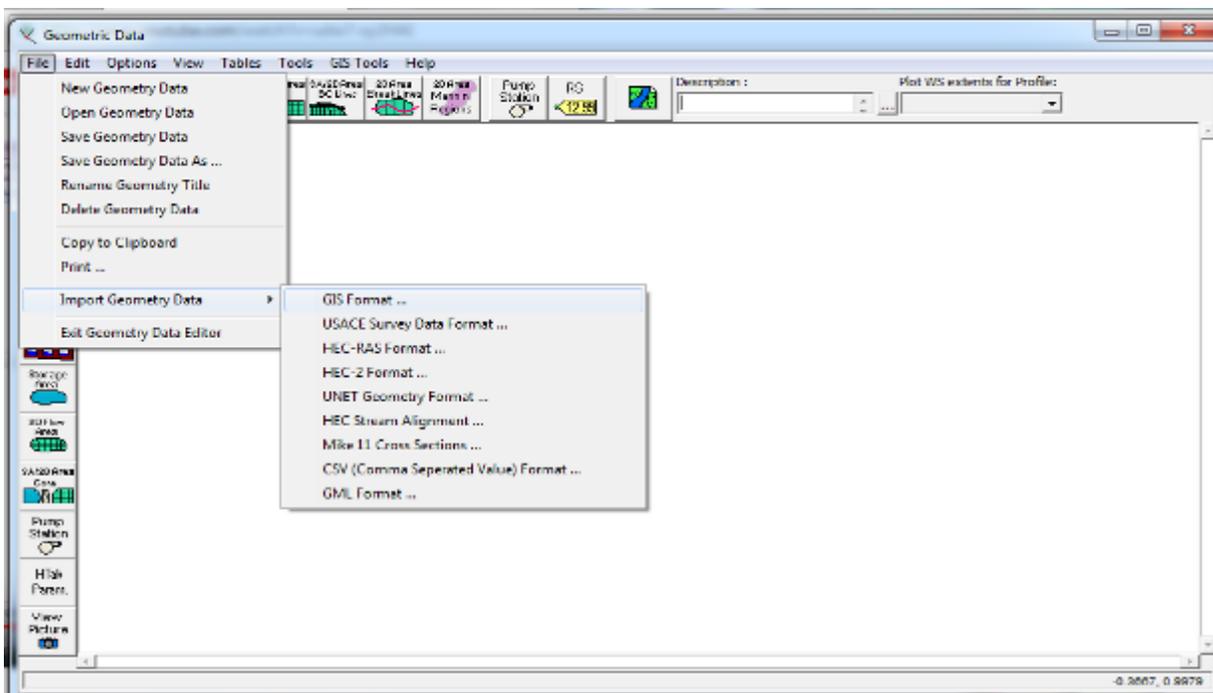


**Figura 6:** Modelación

**Fuente:** Autor

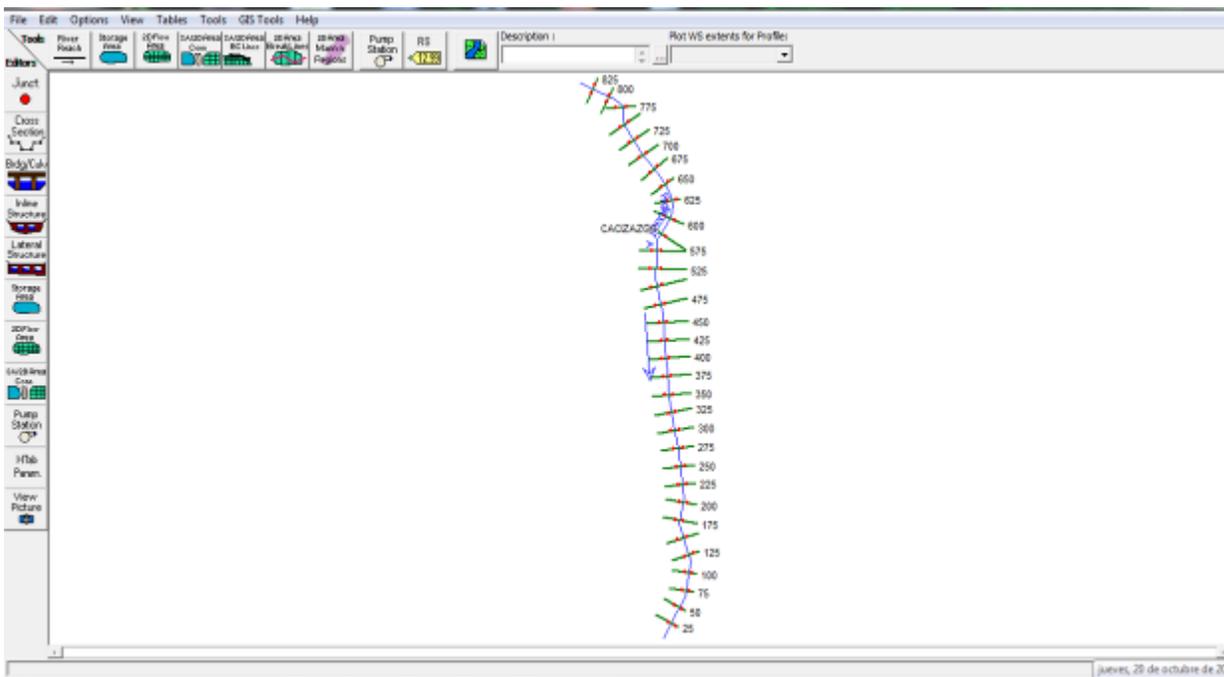
#### 4.2. Desarrollo de un modelo hidráulico mediante el uso HECRAS

Se inició el programa HECRAS 5.0.1 creando un nuevo proyecto, seleccionando *File/New Project*, previamente se creó una carpeta donde se guardó toda la información del proceso, se configura con el sistema internacional de unidades que sale por defecto en el programa y se procede a importar la geometría realizada en Arcgis. Ver **Figura 7** y **Figura 8**.



**Figura 6:** Importación Geometría

**Fuente:** Autor



**Figura 6:**

**Fuente:** Autor

#### 4.2.1. Análisis de datos necesarios para realizar la modelación en HEC-RAS

Para cumplir con el objetivo de la simulación, es necesario ingresar a parte de la geometría del canal, otros datos hidráulicos que facilitaron la modelación del programa.

##### 4.2.1.1. Rugosidad del canal

Ven Te Chow nos indica que: seleccionar adecuadamente un 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 a saber: (Chow, 1983)

- a) Comprender los factores que afectan el valor “n” y así adquirir un conocimiento básico del problema y reducir el ancho campo de suposiciones.
- b) Consultar un cuadro de valores n para canales de varios tipos.
- c) Examinar y hacerse familiar con la aparición de algunos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos.
- 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.

Los acercamientos en detalle los podemos apreciar en Ven Te Chow, en los capítulos:

- 5-8) Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning
- 5-9) El cuadro del coeficiente de rugosidad de Manning
- 5-10) Ilustraciones de canales con diferente rugosidad
- 8-7) Métodos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning.

<b>a) Canales sin vegetación</b>	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0.016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0.018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0.020

Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados.	0.0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0.025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0.030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0.030
<b>b) Canales con vegetación</b>	
Gramíneas cortas (50 – 150 mm)	0.030-0.060
Gramíneas medias (150-250 mm)	0.030-0.085
Gramíneas largas (250-600 mm)	0.040-0.150
<b>c) Canales de corriente natural</b>	
Limpios y rectos	0.033
Sinuosos, con embalses y bajos	0.033-0.040
Con muchas hierbas altas, sinuosos	0.075-0.150

**Tabla 6.** Valores del coeficiente n de rugosidad de Manning

**Fuente:** <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>.

Teniendo en cuenta lo anterior, se definieron los siguientes coeficientes de Manning para la sección del río:

n #1	n #2	n#3
0.039	0.028	0.039

#### 4.2.1.2. Caudales para diferentes periodos de retorno.

Para estudios de inundaciones y diseños de varios tipos de estructuras (puentes, bocatomas, vías, urbanizaciones entre otras), es necesario determinar los caudales máximos de una corriente relacionados a diferentes períodos de retorno. Para conocer estos valores se han utilizado distintos métodos o teorías que tiene como objeto analizar la ocurrencia de un aguacero, su valor representativo al generar la escorrentía la cual está directamente relacionada con el aumento del caudal del río. Para el presente trabajo se utilizó información de investigaciones realizadas aguas

arriba, ya que no se contaba con registros secuenciales de estaciones meteorológicas cercanas al tramo seleccionado, se utilizaron metodologías de tipo sintético propuestas por Snyder y el SCS con la el propósito de establecer valores de caudales máximos.

El hidrograma unitario de Snyder a partir del estudio que realizó este hacia finales de los años 30, cuando se analizaron varias cuencas del este de EEUU, las cuales variaban entre 30 km<sup>2</sup> a 30.000 km<sup>2</sup>. Snyder dedujo a partir de las características morfológicas de las cuencas estudiadas ecuaciones para la determinación de hidrogramas, posteriormente hacia el año 1959 el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers) confirmó que los estudios acerca del hidrograma hechos por Snyder eran lógicos y corresponden racionalmente a las tipologías de las cuencas para las que se le aplica el modelo. (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014)

El hidrograma unitario estándar de Snyder considera la duración lluvia ( $t_r$ ) la cual está directamente relacionada con el tiempo de retardo de la cuenca ( $t_p$ ) como se muestra en la ecuación 1 y 4.

$$t_p = 5.5 t_r \text{ (Ecuación 1)}$$

Para calcular el tiempo de retardo del hidrograma, Snyder propone la siguiente fórmula:

$$t_p = 0.75 C_t (L * L_c)^{0.3} \text{ (Ecuacion 2)}$$

Dónde:

L = Longitud de la corriente principal del río, desde la estación de aforos al punto más alejado de la cuenca.

L<sub>c</sub> = Distancia entre la estación de salida y el centro de gravedad de la cuenca, medida sobre el cauce principal.

C<sub>t</sub> = Coeficiente de retardo de Snyder

T<sub>p</sub> = Retardo de cuenca

Conocido el tiempo de retardo ( $t_p$ ) se puede calcular la duración de la lluvia unitaria ( $t_r$ ):

El caudal pico en m<sup>3</sup>/s \* km<sup>2</sup> del hidrograma unitario:

$$q_p = \frac{(7 * c * A)}{t_p} \text{ (Ecuacion 3)}$$

Dónde:

$T_p$  = Tiempo de retardo

$A$  = Área de la cuenca de estudio

$C_p$  = Coeficiente basado en cuencas instrumentadas en la misma región.

El hidrograma desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos es ampliamente conocido por la simplicidad en su aplicación, se ajusta a cuencas urbanas y semiurbanas, interesándose básicamente en el uso del suelo, considerando que esta variable influye directamente sobre los valores de escurrimiento directo que hay sobre la cuenca.

Este modelo detalla características de la intervención del proceso de infiltración durante un aguacero y propone coeficientes de infiltración según el tipo y uso del suelo, afirmando que existen ciertas precipitaciones que no afectan en los cambios de las cantidades de agua dentro de una creciente, porque estas son totalmente absorbidas por el suelo.

Este hidrograma está dividido en dos partes, en la primera, el hidrograma realiza una evaluación del valor que tiene la esorrentía directa que resulta de una precipitación dentro de la cuenca. En la segunda fase se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, donde se halla el caudal máximo. (Ecuación 5)

El caudal máximo se determina con la siguiente ecuación:

$$Q_P = \frac{2Q}{(T_p + T_R)} \text{ (Ecuación 4)}$$

Dónde:

$Q_P$  = Caudal máximo o pico

$Q$  = Volumen de escurrimiento directo (mm)

$T_p$  = Periodo de elevación o tiempo hasta el caudal pico.

$T_R$  = Tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo – recesión.

A partir de análisis de vario hidrogramas de distintas cuencas, el Servicio de Conservación de Suelos llegó a concluir que el valor del tiempo desde el caudal pico hasta el final del escurrimiento directo –recesión es  $1.67T_p$  por lo tanto la ecuación anterior queda:

$$Q_p = 0.75 \frac{Q}{T_p} \text{ (Ecuación 5)}$$

Observando los aportes por km<sup>2</sup> de escurrimiento directo dentro de la cuenca es necesario determinar el caudal de punto introduciendo la variable de tiempo de elevación:

$$qp = 0.208 \frac{(A * Q)}{T_p} \text{ (Ecuación 6)}$$

Este modelo propone un valor de tiempo unitario.

$$T_u = \frac{T_p}{4} \text{ (Ecuación 7)}$$

El periodo de elevación puede determinarse a partir del tiempo de concentración según la ecuación 8.

$$T_p = 0.7 * T_c \text{ (Ecuación 8)}$$

Dónde:

T<sub>C</sub> = Tiempo de concentración

$$T_c = \left[ \frac{11.9 * L^3}{H} \right] 0.385 \text{ (Ecuación 9)}$$

Dónde:

L = Longitud de curso de agua más largo (en millas)

H = Diferencia de elevación (en pies)

#### **4.2.1.3. Resultados**

Con base a investigaciones anteriormente realizadas (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014), a las cuales se le aplicaron las metodologías anteriormente realizadas, se relaciona a continuación los resultados obtenidos los cuales se aplicaron la modelación realizada en HEC-RAS.

#### **4.2.1.4. Caracterización de la morfología de la cuenca**

Se utilizó la cartografía obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), para digitalizar el área de influencia de la cuenca, obteniendo de esta manera sus características

morfológicas tales como: divisoria de aguas, cauce principal y sus afluentes, curvas de nivel entre otras, en la tabla 7 se relacionan los resultados:

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Área (A)	Km <sup>2</sup>	274.94
Perímetro (P)	Km	73.97
Longitud del cauce principal (L)	Km	40.30
Longitud axial de la cuenca	Km	24.60
Ancho (W)	Km	6.82
Ancho promedio (Wp)	Km	11.06
Índice de forma (Ip)	Km/Km	0.27
Índice de compacidad (Kc)		1.24
Densidad de drenaje (Dd)	Km/Km <sup>2</sup>	0.14
Pendiente del cauce principal (s)	%	19.54
Numero de orden		6

**Tabla 7.** Características morfométricas de la cuenca

**Fuente:** Análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014).

#### 4.2.1.5. Estudio de la precipitación máxima 24 horas y su valor efectivo en la cuenca

Para realizar el estudio de la precipitación máxima se identificaron la mayor cantidad de estaciones con registros de precipitaciones, se seleccionaron un total de 24 estaciones de las cuales 17 son operadas por el IDEAM y 7 por las CAR.

En la tabla 8 se relacionan las estaciones las cuales contaban con la información suficiente para haber obtenido la evaluación de escorrentía directa.

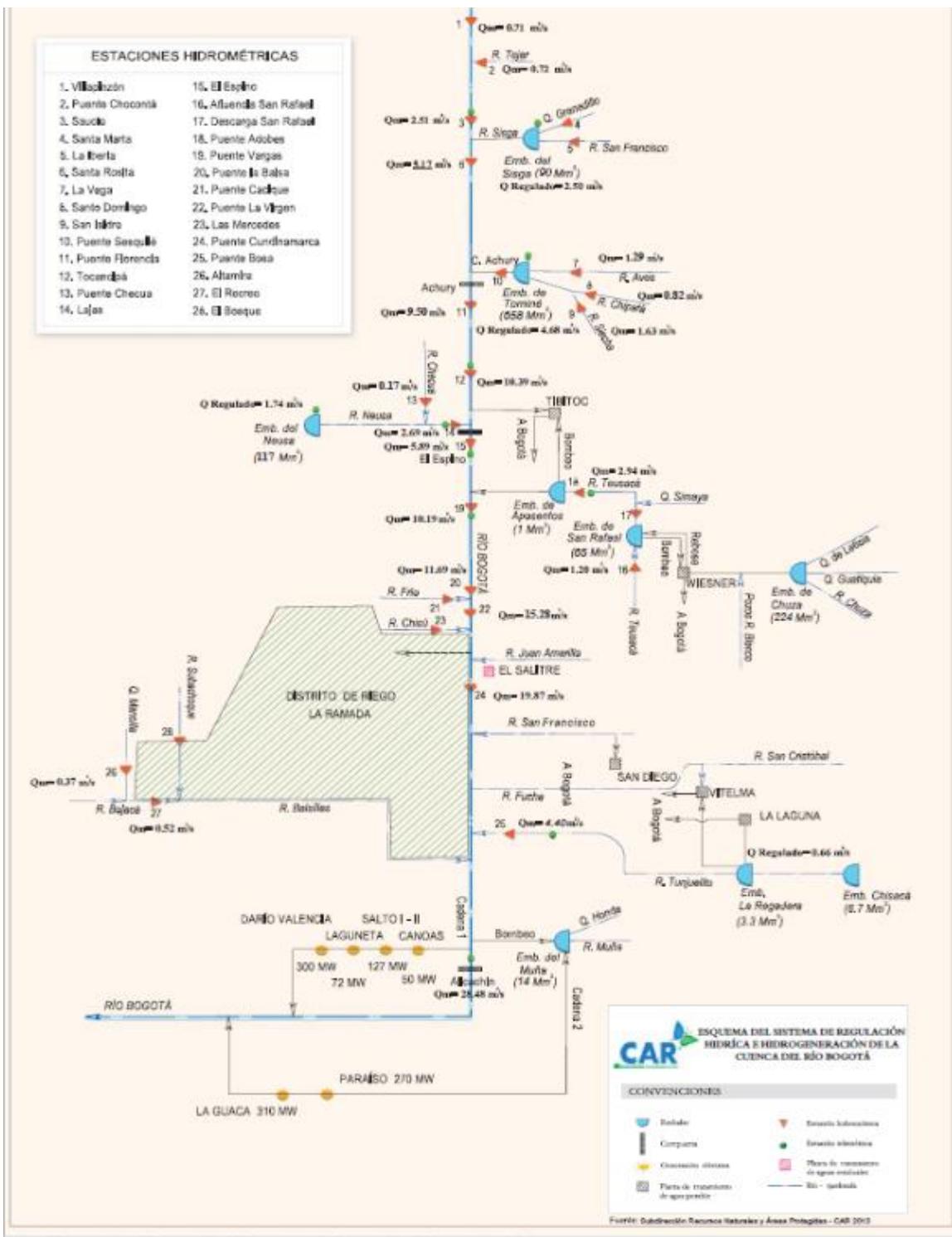


Figura 7. Estaciones Hidrométricas Cuenca Río Bogotá

Fuente: CAR.

<b>N</b>	<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO</b>	<b>LAT</b>	<b>LONG</b>	<b>ELEV</b>	<b>PERIODO</b>
1	2120548	IBERIA LA	CP	5.03	-73.71	2760	1961-2012
2	2120632	FORTUNA LA	CO	5.28	-73.6	2880	1963-2012
3	2120659	REPRESA SISGA	CO	5.08	-73.73	2675	1939-2012
4	2120719	SAUCIO	RN	5.1	-73.7	2618	1971-2012
5	2120815	VILLAPINZON	PM	5.20	-73.60	2700	1959-2012
6	2401030	HATILLO EL	PM	5.16	-73.80	2885	1960-2012
7	2401039	TRIANGULO EL	PG	5.30	-73.61	2800	1963-2012
8	21200160	PANONIA	PM	5.05	-73.73	2800	1985-2012
9	21200620	PISCIS	PM	5.06	-73.68	2820	1985-2012
10	21201640	VILAPINZON GJA	PG	5.25	-73.58	2745	1987-2011
11	21201650	STA ROSITA	PM	5.10	-73.75	2750	1988-2012
12	21205740	SILOS	CO	5.11	-73.70	2709	1974-2012
13	21206010	LORETOKI HDA	ME	5.11	-73.70	2550	1983-2012
14	24010070	LETICIA	PM	5.30	-73.70	2650	1974-2012
15	24010140	CUCUNUBA	PM	5.25	-73.76	2620	1958-2012
16	24010170	GUACHETA	PM	5.38	-73.68	2690	1958-2012
17	35070020	VENTAQUEMADA	PM	5.36	-73.51	2630	1935-2012
18	35070030	TURMEQUE	PM	5.31	-73.31	2400	1957-2012
19	35070040	TIBANA	PM	5.30	-73.38	2115	1958-2012
20	35070050	UMBITA	PM	5.21	-73.43	2300	1956-2012
21	35070070	CHINAVITA	PM	5.15	-73.35	1900	1955-2012
22	35070210	PACHATIVA	PM	5.13	-73.38	2160	1976-2012
23	35070230	MACHETA GJA AGROP	PG	5.06	-73.56	1815	1980-2012
24	35070490	HATO GRANDE HAD	PG	5.95	-73.58	2346	1982-2012

**Tabla 8.** Relación de estaciones

**Fuente:** IDEAM, CAR.

A partir de la información pluviométrica recopilada para las estaciones seleccionadas, se determinó el valor de la precipitación máxima en 24 horas utilizando el método de Gumbel descrito anteriormente, para periodos de retorno 2.33, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, los resultados se presentan en la tabla 9.

<b>N</b>	<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>Tr2.33</b>	<b>Tr5</b>	<b>Tr10</b>	<b>Tr25</b>	<b>Tr50</b>	<b>Tr100</b>	<b>Tr200</b>
1	2120548	IBERIA LA	31.5	37.9	43.0	49.5	54.4	59.2	63.9
2	2120632	FORTUNA LA	34.5	41.2	46.7	53.5	58.6	63.7	68.8
3	2120659	REPRESA SISGA	35.5	43.8	50.6	59.1	65.5	71.8	78.1
4	2120719	SAUCIO	34.9	47.5	57.7	70.7	80.3	89.8	99.3
5	2120815	VILLAPINZON	15.3	34.3	49.8	69.3	83.9	98.3	112.6
6	2401030	HATILLO EL	35.9	42.6	48.1	55.0	60.1	65.2	70.2
7	2401039	TRIANGULO EL	39.8	50.4	59.0	70.0	78.1	86.1	94.1
8	21200160	PANONIA	38.9	47.3	54.2	62.9	69.3	75.7	82.1
9	21200620	PISCIS	40.3	49.1	56.2	65.2	71.9	78.5	85.1

10	21201640	VILAPINZON GJA	36.8	42.4	46.9	52.7	56.9	61.2	65.4
11	21201650	STA ROSITA	41.9	50.5	57.5	66.3	72.8	79.3	85.8
12	21205740	SILOS	32.8	39.4	44.8	51.6	56.7	61.7	66.7
13	21206010	LORETOKI HDA	30.4	39.6	47.2	56.8	63.9	70.9	77.9
14	24010070	LETICIA	44.2	55.1	64.0	75.3	83.6	91.9	100.1
15	24010140	CUCUNUBA	42.5	51.3	58.6	67.7	74.5	81.2	87.9
16	24010170	GUACHETA	44.8	51.6	57.1	64.1	69.3	74.4	79.6
17	35070020	VENTAQUEMADA	1212.1	133.5	143.6	156.4	165.9	175.3	184.7
18	35070030	TURMEQUE	38.1	53.8	66.5	82.6	94.5	106.4	118.2
19	35070040	TIBANA	38.2	54.4	67.5	84.2	96.5	108.7	120.9
20	35070050	UMBITA	34.5	41.9	47.9	55.5	61.1	66.8	72.3
21	35070070	CHINAVITA	56.9	112.4	157.6	514.7	257.1	299.2	341.1
22	35070210	PACHATIVA	49.7	65.1	77.6	93.5	105.3	116.9	128.6
23	35070230	MACHETA GJA AGROP	39.6	47.1	53.2	60.9	66.6	72.3	77.9
24	35070490	HATO GRANDE HAD	48.5	55.6	61.3	68.5	73.9	79.2	84.5

**Tabla 9.** Precipitación máxima en 24 h.

**Fuente:** IDEAM, CAR.

#### 4.2.1.6. Precipitación efectiva ( $P_e$ ).

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el procedimiento desarrollado por el Soil Conservation Service – SCS, conocido como la Teoría del Número de Curva (CN), el cual tiene en cuenta : la precipitación, (en este caso la precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno) para fijar la condición de humedad antecedente, el tipo de suelo y el uso y cobertura vegetal del suelo; para establecer la interrelación de estas variables se fija un número de curva (CN) que permite establecer el potencial de escorrentía.

La condición de humedad antecedente está dada por el valor de la precipitación acumulada en los cinco días anteriores al valor máximo, según el cual se determina si la época del año para la cual se calcula la creciente corresponde a una condición I (estiaje), Condición II (Condición promedio) o condición III (mayor pluviosidad). Este valor se determinó con base en la información sobre precipitación diaria disponible para las estaciones seleccionadas. (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014).

Para la cuenca alta del río Bogotá se establecieron los valores de CN que se indican en la tabla 10.

<b>N</b>	<b>Tipo</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>CN (II)</b>	<b>Producto</b>
1	Cultivos	40	88	3520
2	Urbanismo	8	90	720
3	Bosque	35	77	2685
4	Pastizal	17	86	1462
		100		8397

**Tabla 10.** Valores de CN (SCS).

**Fuente:** (CAR, 2006).

Partiendo de estos valores se obtiene el valor de CN y S, los cuales tienen un valor en este caso de:

$$CN = 84 \quad S = 48.8$$

Para el cálculo de la escorrentía directa se utiliza la ecuación 10. (Posso Prado, 2009).

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)} \text{ (Ecuación 10)}$$

Dónde:

$P_e$  = Es la escorrentía directa en milímetros.

P = Es la precipitación máxima considerada en milímetros

S = Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial.

<b>Tr (años)</b>	<b>Pe-24 h (mm)</b>
2.33	13.51
5	21.39
10	28.69
25	38.49
50	46.06
100	53.78
200	61.64

**Tabla 11.** Valores de precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno.

**Fuente:** Análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014).

#### 4.2.1.7. Aplicación de los modelos de Snyder y del SCS

Partiendo de los resultados de precipitación efectiva se procede a aplicar los hidrogramas de Snyder y del Soil Conservation Service –SCS.

En la tabla 12 se muestra el caudal máximo para diferentes periodos de retorno según hidrograma Snyder y en la tabla 13 se muestran los resultados según SCS para los caudales máximos en diferentes periodos de retorno aplicando este modelo.

Tr (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2.33	89.67
5	141.93
10	190.35
25	255.40
50	305.63
100	356.87
200	409.00

**Tabla 12.** Caudales máximos según Snyder.

**Fuente:** Análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014).

Tr (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)
2.33	57.62
5	91.23
10	122.36
25	164.16
50	196.45
100	229.37
200	262.90

**Tabla 13.** Caudales máximos según SCS.

**Fuente:** Análisis de crecientes en la cuenca alta del río Bogotá (Guzmán Krhone & Corredor Rivera, 2014).

Para realizar una comparación en cuanto a los registros de caudales presentados durante los últimos años y cual resultado sería el más objetivo, se utilizó los valores máximos registrados en la Estación Saucio localizada aguas arriba del tramo de estudio. Ver **Tabla 14**.

Fecha	Q (m <sup>3</sup> /s)
Mayo 2011	68.14
Junio 1976	61.95
Julio 1972	44.28

Mayo 1971	44.22
Julio 1997	43.57
Octubre 1979	42.84
Julio 1978	42.16
Junio 1978	42.16
Mayo 1976	40.45

**Tabla 14.** Caudales máximos Estación Saucio.

**Fuente:** CAR.

Analizando los resultados de los caudales máximos los cuales fueron obtenidos a partir del cálculo de los hidrogramas de Snyder y del SCS se puede llegar a la conclusión que el hidrograma de Snyder arroja valores mucho más altos que los del SCS, adicional a esto haciendo una comparación con los valores de caudales máximos de la estación Saucio, los valores dados en el SCS se acercan más a estos resultados, especialmente en la época de mayo de 2011 donde alcanzo un pico de 68.14 m<sup>3</sup>/s, época en la cual se vivió un fuerte invierno en el país afectando entre las muchas zonas el área de estudio.

#### 4.2.1.8. Pendiente del tramo del río.

Para determinar la pendiente del tramo del río, se utilizó la información de la batimetría realizada a través del software AutoCAD, el resultado de la pendiente se muestra en la tabla 15.

	VALOR	UNIDAD
Cota alta (aguas arriba)	2568.112	m
Cota baja (aguas abajo)	2565.302	m
Longitud	845.28	m
Pendiente	0.00332434	m/m

**Tabla 15.** Pendiente tramo del río.

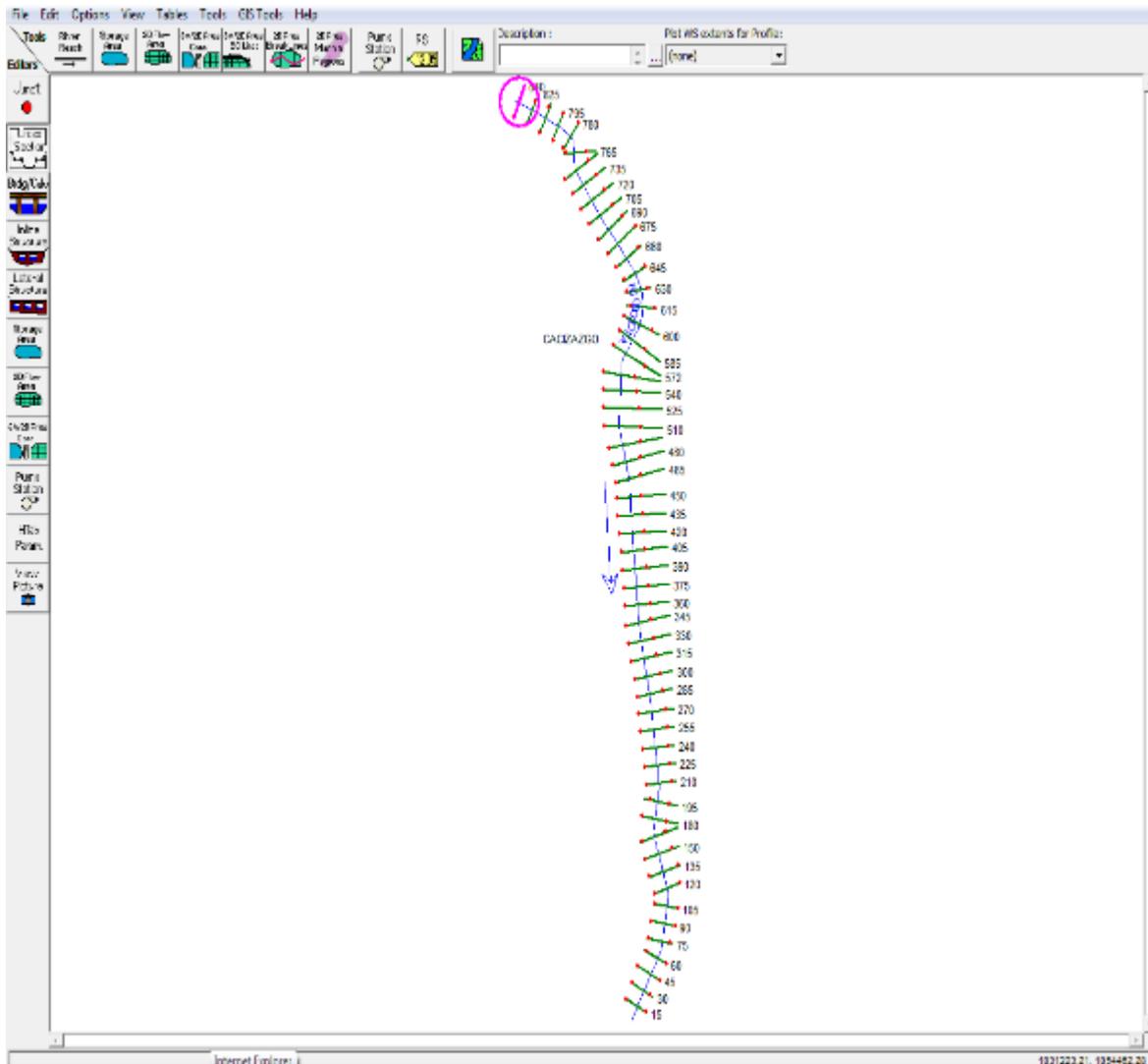
**Fuente:** Autor.

#### 4.3. Configuración secciones transversales tramo del río.

Se generaron un total de 56 secciones a lo largo del tramo de los ríos espaciados cada 15 metros, se revisó cada sección y se configuraron los datos faltantes para completar este paso.

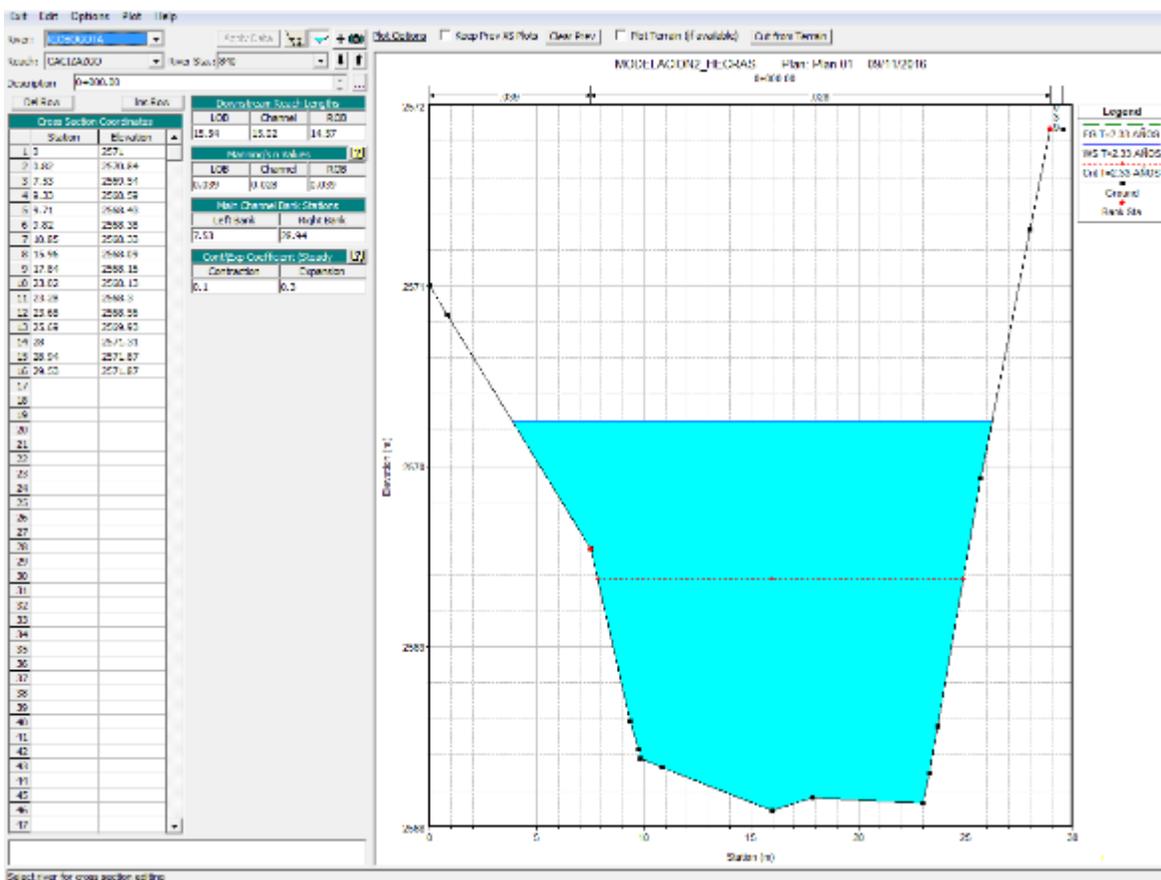
- STATION: Distancia al origen X
- ELEVATION: Cota del terreno Y
- DOWNSTREAM REACH LENGHTS: Distancia entre cada sección aguas abajo, margen derecha e izquierda.
- Manning's n Values: Valores de Manning del cauce y márgenes derecha e izquierda.

- Main Channel Bank Stations: Coordenas X a la que se encuentra el borde izquierdo y derecho del cauce.
- Cont/Exp Coefficient (Steady): Coeficientes de contraccion, normalmente 0.1 y de expansion, que suele tomar el valor de 0.3.



**Figura 8.** Geometría tramo del río..

**Fuente:** Autor



**Figura 9.** Configuración secciones transversales.

**Fuente:** Autor.

#### 4.4. Ingreso de los Datos Hidráulicos: Caudal y Condiciones de Contorno.

Una vez ingresados y configurados los datos geométricos, se procedió a ingresar los datos de flujo que se requieren. La forma de entrada de datos para los datos de flujo está disponible bajo la opción *Edit* de la barra de menú en la ventana principal del HECRAS.

Los datos de flujo consisten de:

- El número de perfiles computado.
- Los datos de flujo (Caudales, niveles de agua en sección de control)
- Las condiciones límite del río.

Se requirieron también las *condiciones del límite* para realizar los cálculos. Para tener en cuenta; cuando realice un análisis de flujo subcrítico, entonces sólo las condiciones de límite aguas abajo se requieren. Cuando el flujo es supercrítico, entonces solo las condiciones de límite

de aguas arriba se requieren y si se va a realizar el cálculo de régimen mixto (como en este proyecto), entonces se requieren ambas condiciones límite tanto aguas arriba como aguas abajo. El límite condiciona la forma de entrada de datos. (U.S.Army Corps of Engineers, 2005).

#### 4.4.1. Ingreso de Caudales

Para ingresar los datos se realizaron los siguientes pasos.

- Seleccionar *EDIT/Steady Flow Data*, aparece una ventana que permite:
- Definir el número de perfiles (hasta 2000), cada uno de los cuales corresponde a los caudales para diferente periodos de retorno (*Enter/Edit/ Number of profiles*)
- Definir las condiciones de contorno (*Reach Boundary conditions*)

Numero de caudales diferentes que se simularan en este proyecto, en este caso 7

Introducción de las condiciones de contorno?

Sección en la que se presenta en caudal a estudiar (normalmente la situada mas agua arriba)

Steady Flow Data - Flowdata\_031116

File Options Help

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 7

Reach Boundary Conditions ...

Apply Data

Locations of Flow Data Changes

River: RIOBOGOTA

Reach: CACIZAZGO

River Sta.: 840

Add Multiple ...

Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates							
River	Reach	RS	T=2.33 AÑOS	T=5 AÑOS	T=10 AÑOS	T=25 AÑOS	T=50 AÑOS	T=100 AÑOS	T=200	
1	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	840	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
2	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	825	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
3	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	810	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
4	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	795	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
5	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	780	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
6	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	765	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
7	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	750	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9
8	RIOBOGOTA	CACIZAZGO	735	57.67	91.23	122.36	164.16	196.45	229.37	262.9

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Caudal de calculo para cada perfil y periodo de retorno.

**Figura 10.** Steady Flow data.

**Fuente:** Autor

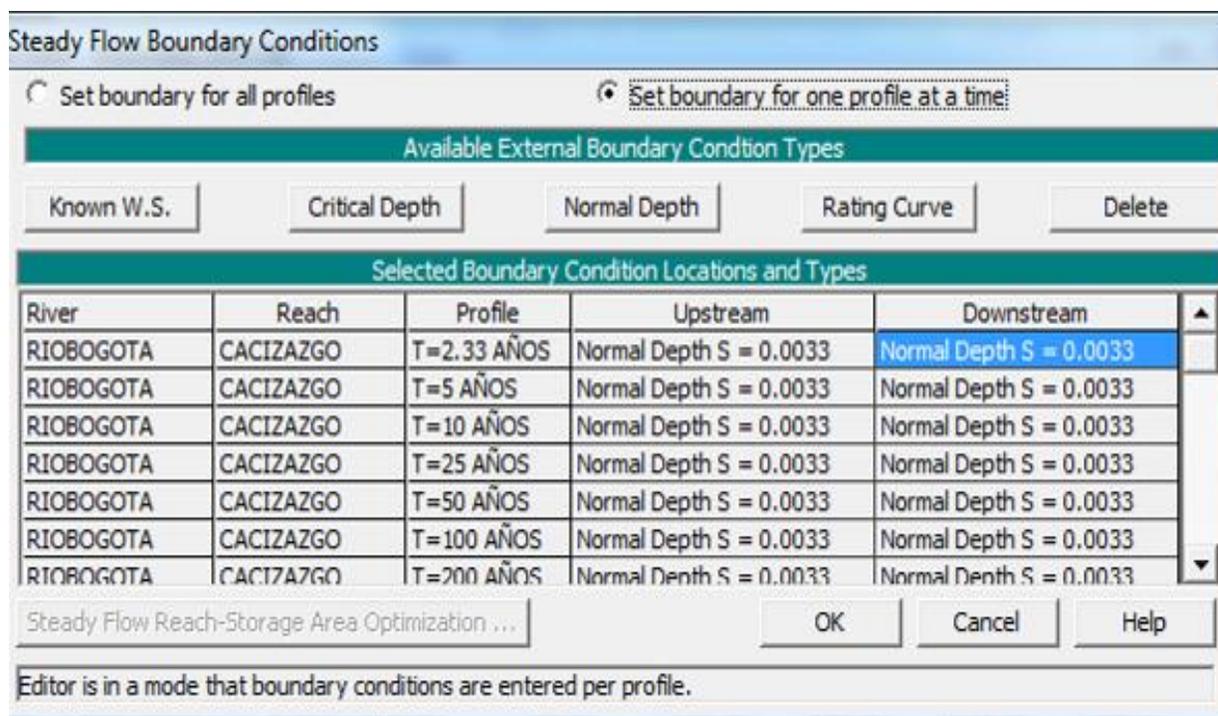
#### 4.4.2. Introducir las condiciones de contorno

Las condiciones de contorno que se admiten son:

- Nivel de agua conocido (Known W.S.): adecuada si se conoce un nivel en alguna sección transversal. Es importante destacar que el programa exige NIVEL, por lo que hay que introducir el calado más la cota más baja de la sección.
- Calado crítico (Critical Depth): Adecuada si existe alguna sección de control. En esta opción no se exige ningún dato adicional.
- Calado normal (Normal Depth): Adecuada para situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme. Exige introducir la pendiente del tramo de influencia.
- Curva de Gasto (Rating Curve): Adecuada si existe alguna sección de control con una relación entre calado y caudal fija. (U.S.Army Corps of Engineers, 2005)

Seleccionado el icono “Reach Boundary Conditions” aparece la ventana para introducir las condiciones de contorno.

Pueden introducirse condiciones para cada uno de los perfiles o todos a la vez, en este caso se seleccionaron todos los perfiles (Set boundary for all profiles), se ingresaron la pendientes aguas arriba y aguas abajo (Normal Depth) ya que se realizar el cálculo en régimen de flujo mixto.



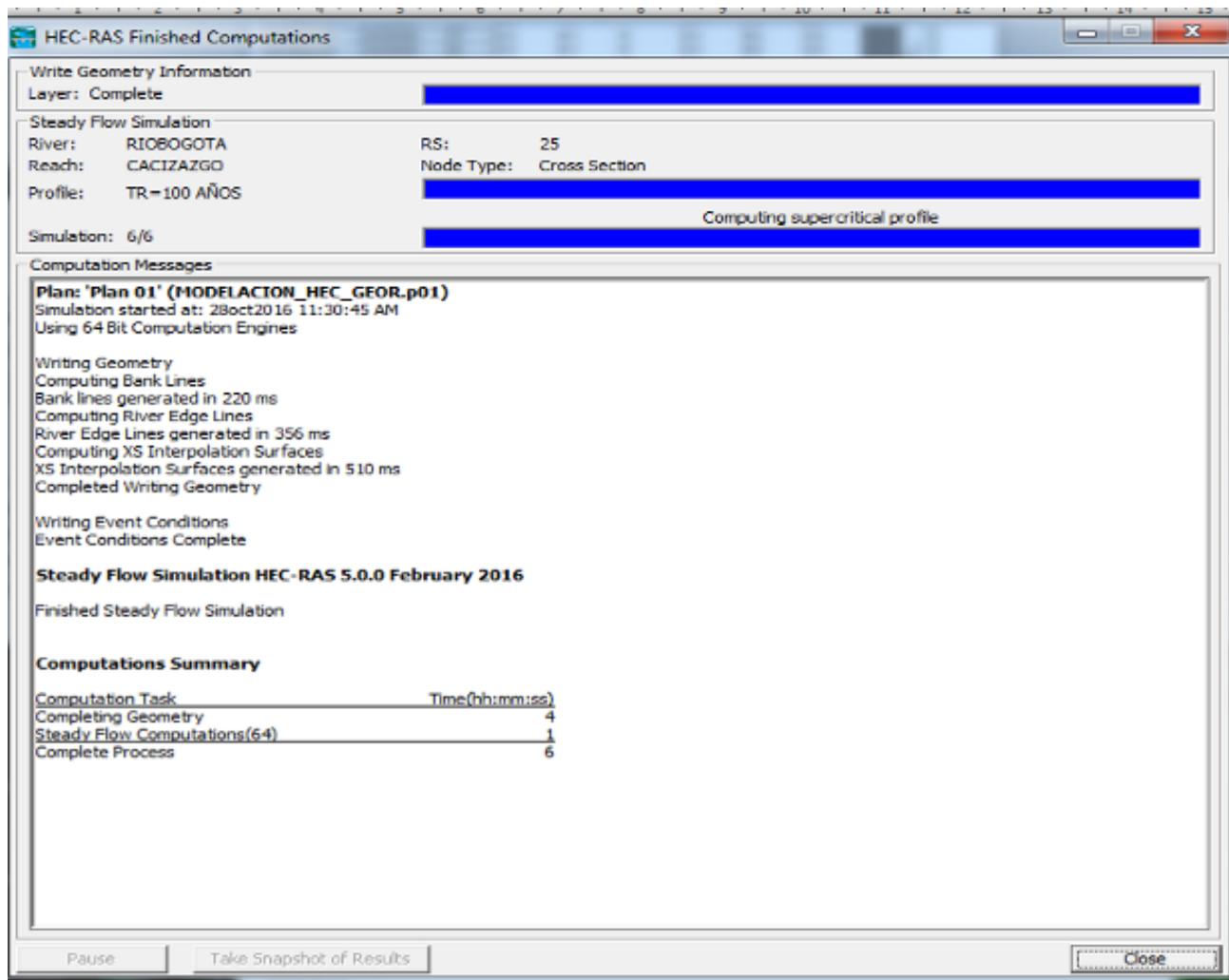
**Figura 11:** Steady Flow Boundary Conditions.

**Fuente:** Autor

#### 4.5. Crear un plan y ejecutar la simulación

Para crear una simulación hidráulica del tramo del río es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

- *Run/Steady/Flow Analysis*
- Aparecerá una ventana donde se introduce un identificador, en caso de no realizarse, aparece por defecto (plan 01).
- Por defecto aparece el fichero de datos geométricos y el de datos hidráulicos el cual veníamos trabajando.
- Se seleccionó el régimen de flujo, en este caso se seleccionó mixto ya que anteriormente se ingresaron condiciones de contorno tanto aguas arriba como aguas abajo.
- Se ejecutó la simulación seleccionando “*Compute*”.



**Figura 11:** Finished Computations.

**Fuente:** Autor

#### 4.6. Ver los resultados

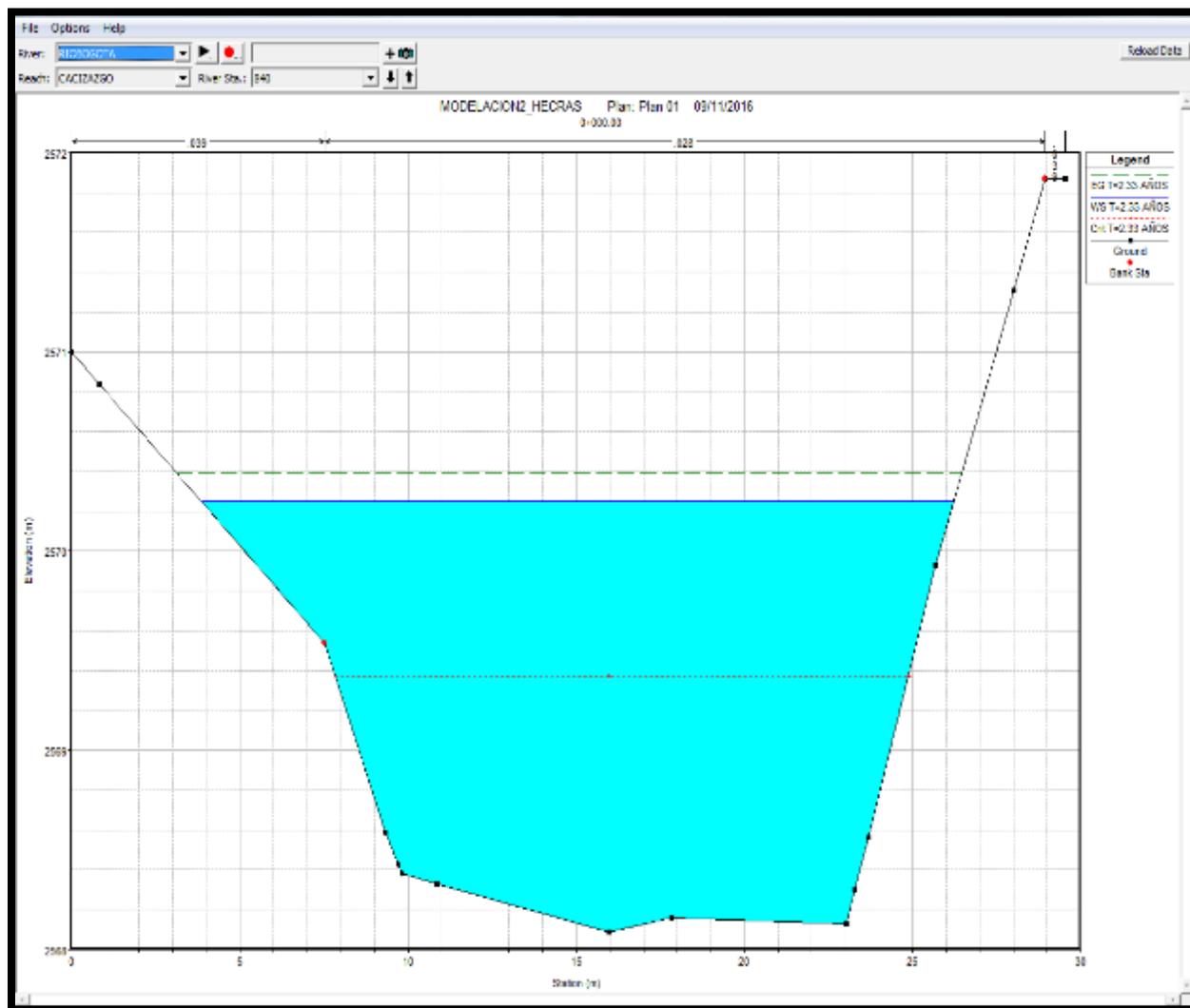
Una vez el modelo ha terminado los cálculos, se pueden observar los resultados.

La salida del programa abarca entre otras, secciones transversales (mostrando la sección del canal y los niveles de agua), perfiles longitudinales, perspectivas X-Y-Z, tabla de la sección transversal, tabla de perfil longitudinal, entre otras.

Los datos de salida permitieron visualizar el comportamiento en cada una de las secciones transversales para los diferentes periodos de retorno calculados, esto nos permite determinar el comportamiento del Jarillon en épocas invernales y si realmente la solución dada para mitigar estas afectaciones cumplió con su objetivo.

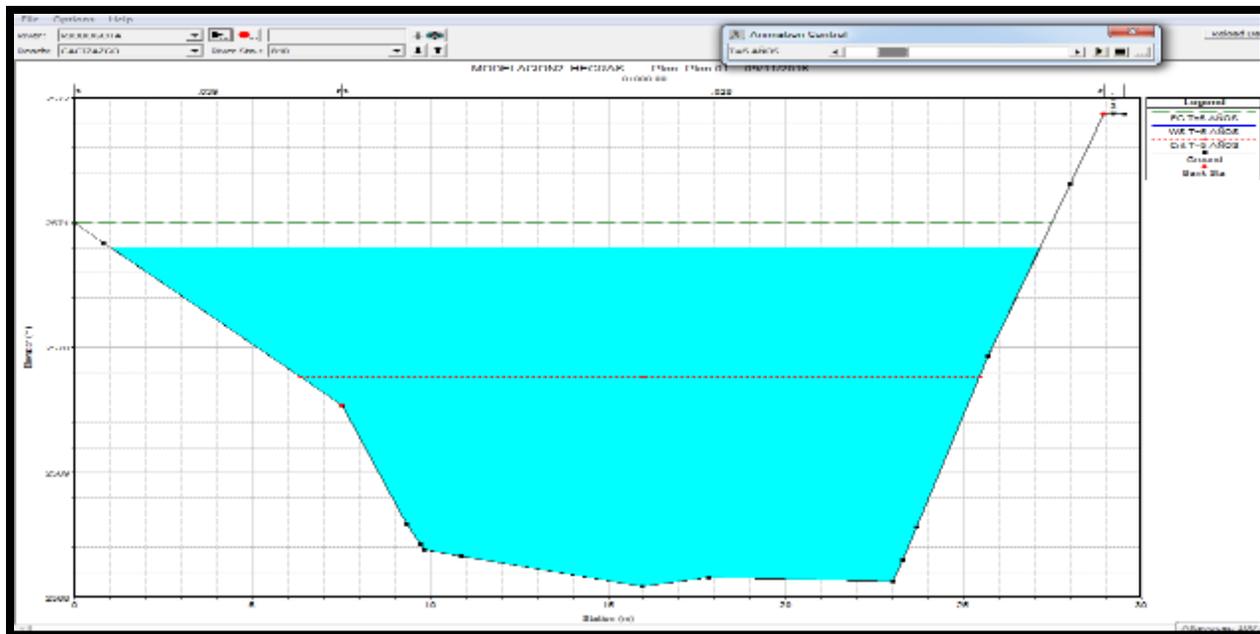
#### 4.6.1. Secciones transversales.

En el menú *View cross section* o seleccionando el icono correspondiente se visualizan las secciones transversales para diferentes periodos de retorno.



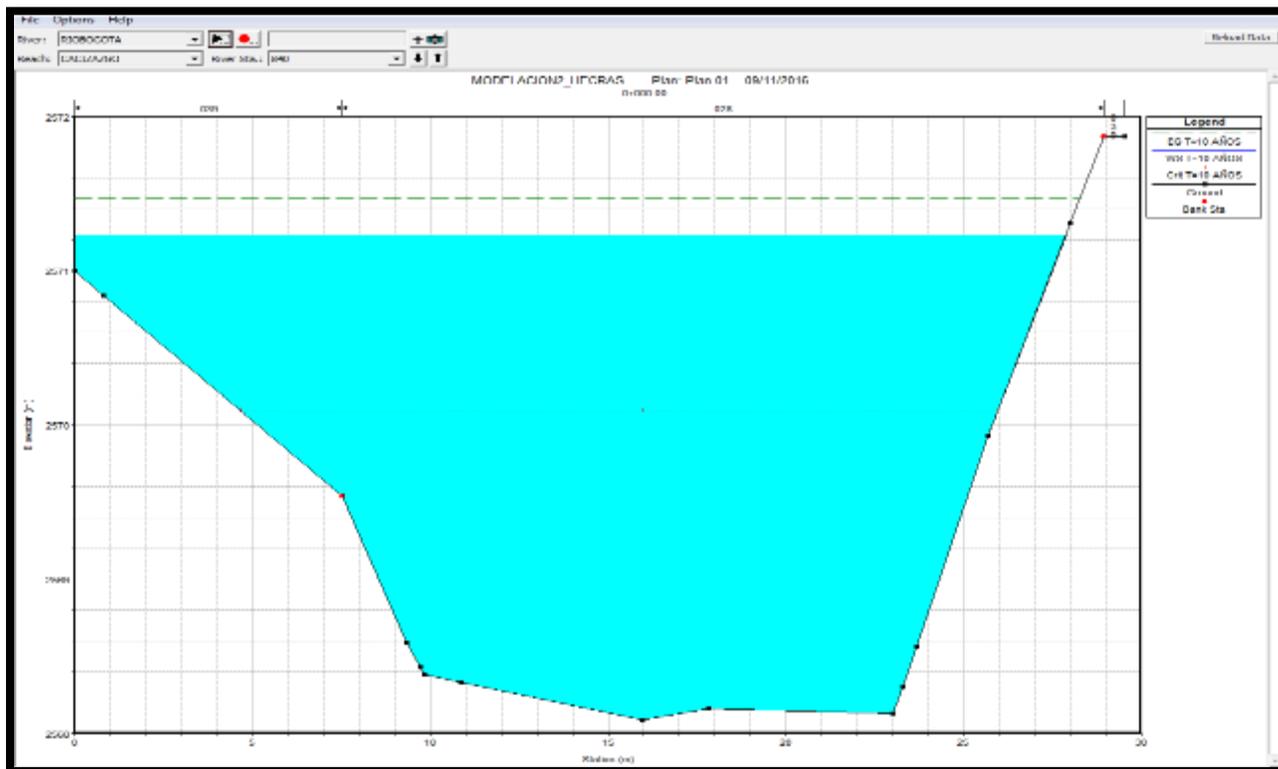
**Figura 12:** Sección 840, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



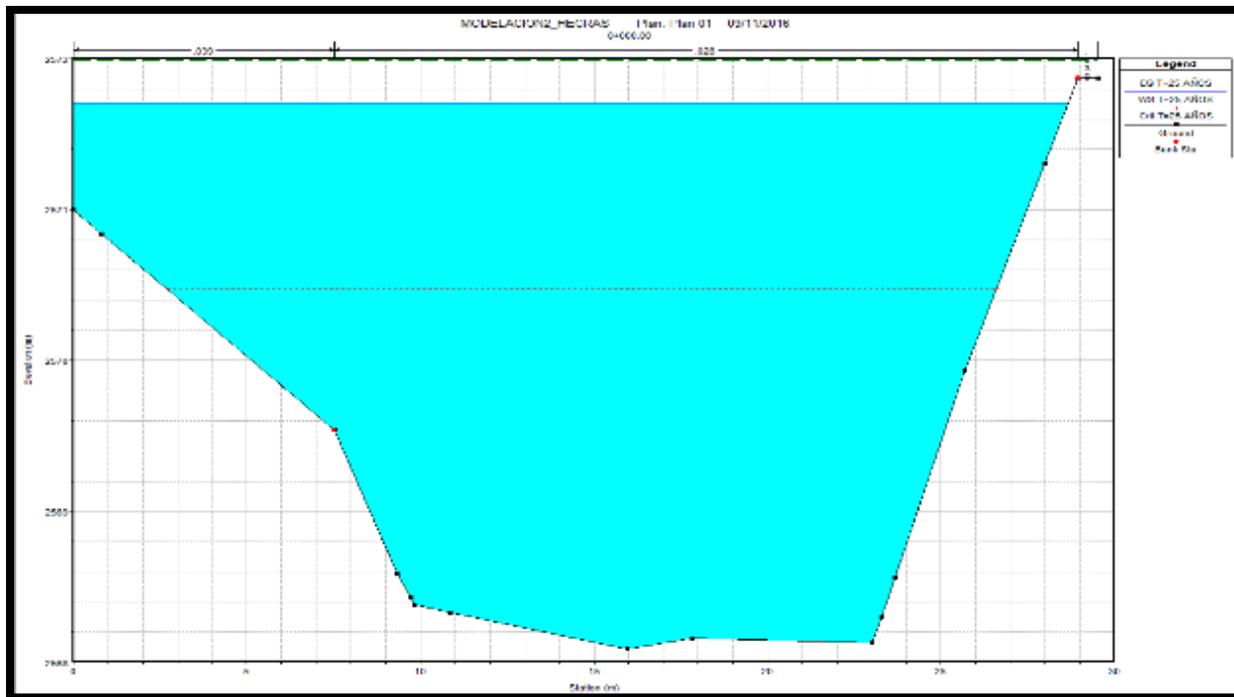
**Figura 13:** Sección 840, Tr 5 Años

**Fuente:** Autor



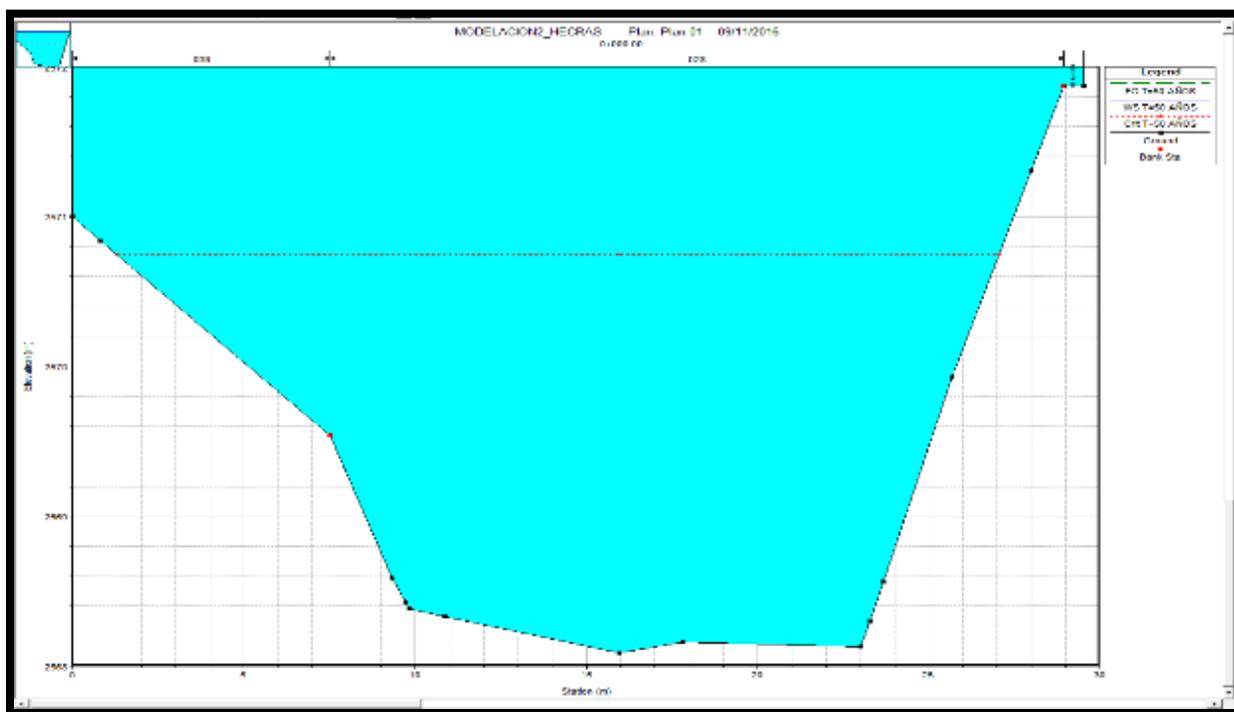
**Figura 14:** Sección 840, Tr 10 Años

**Fuente:** Autor



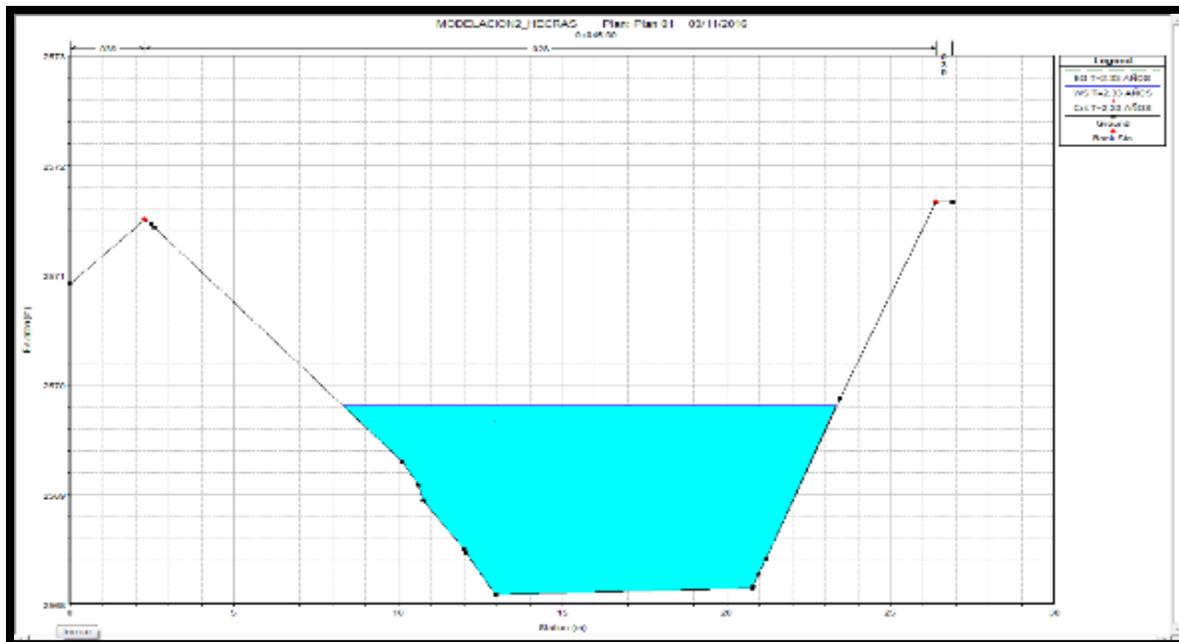
**Figura 15:** Sección 840, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



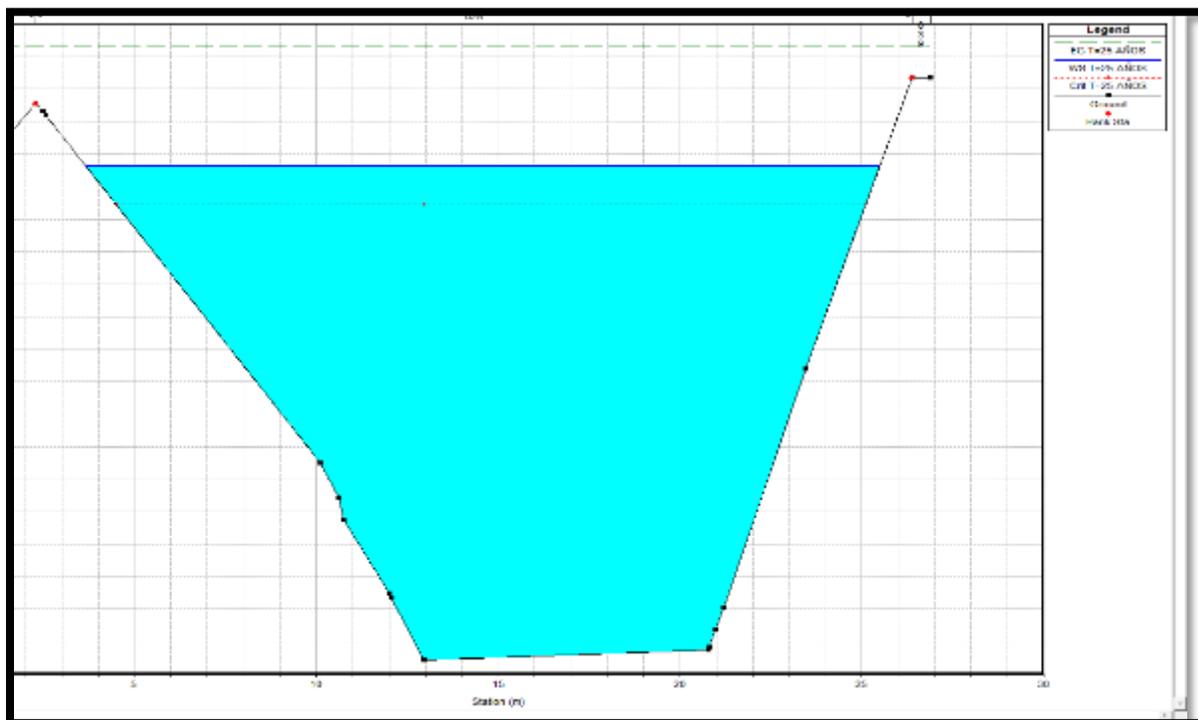
**Figura 16:** Sección 840, Tr 50 Años

**Fuente:** Autor



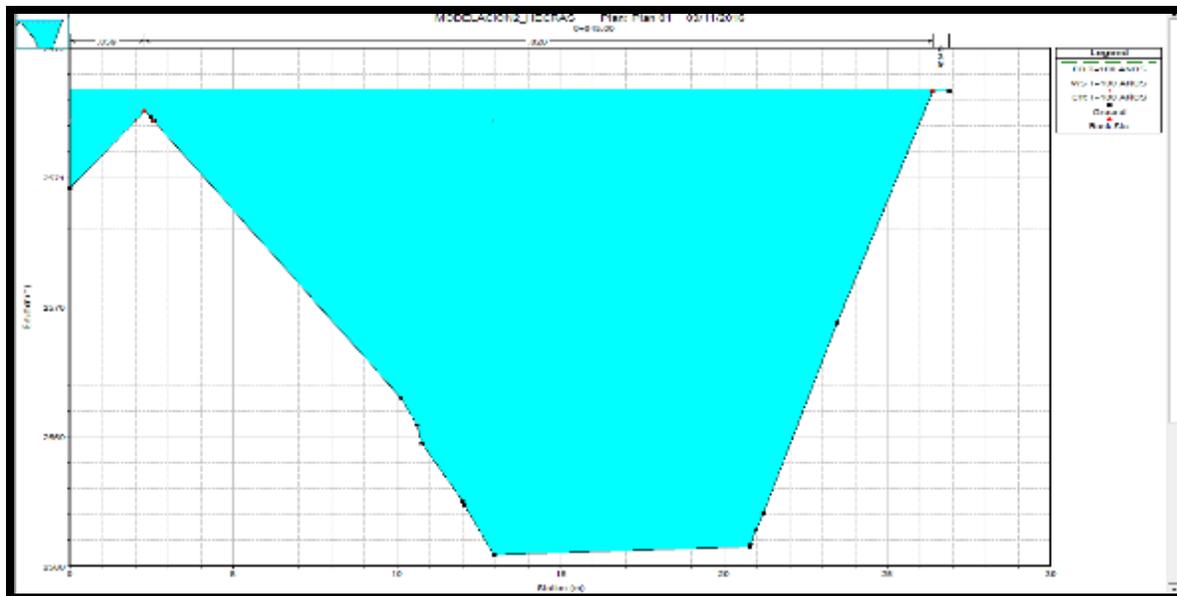
**Figura 16:** Sección 795, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



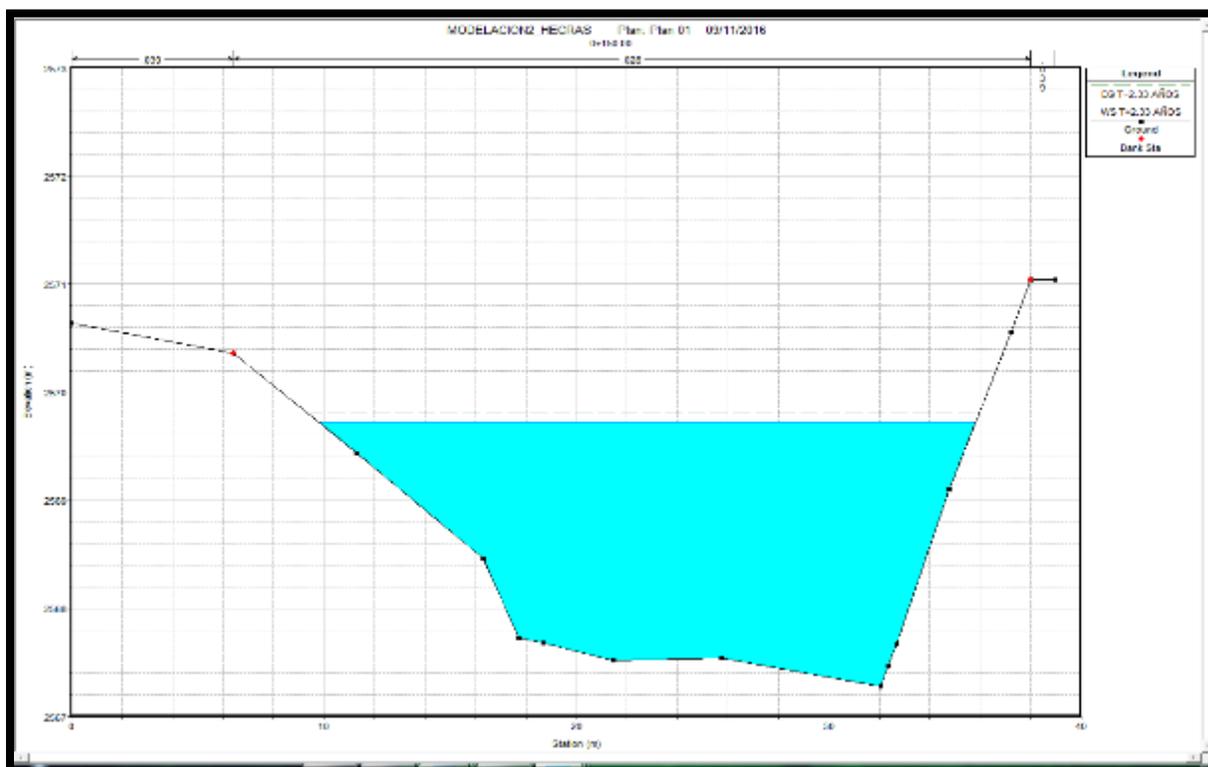
**Figura 17:** Sección 795, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



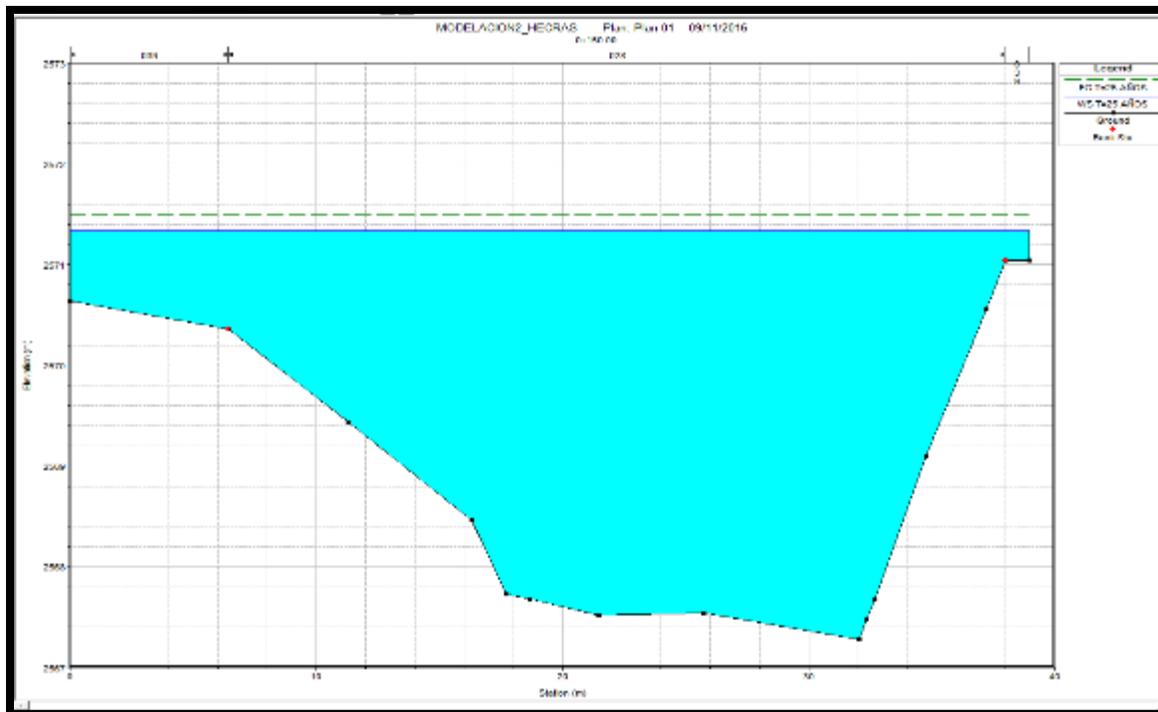
**Figura 18:** Sección 795, Tr 100 Años

**Fuente:** Autor



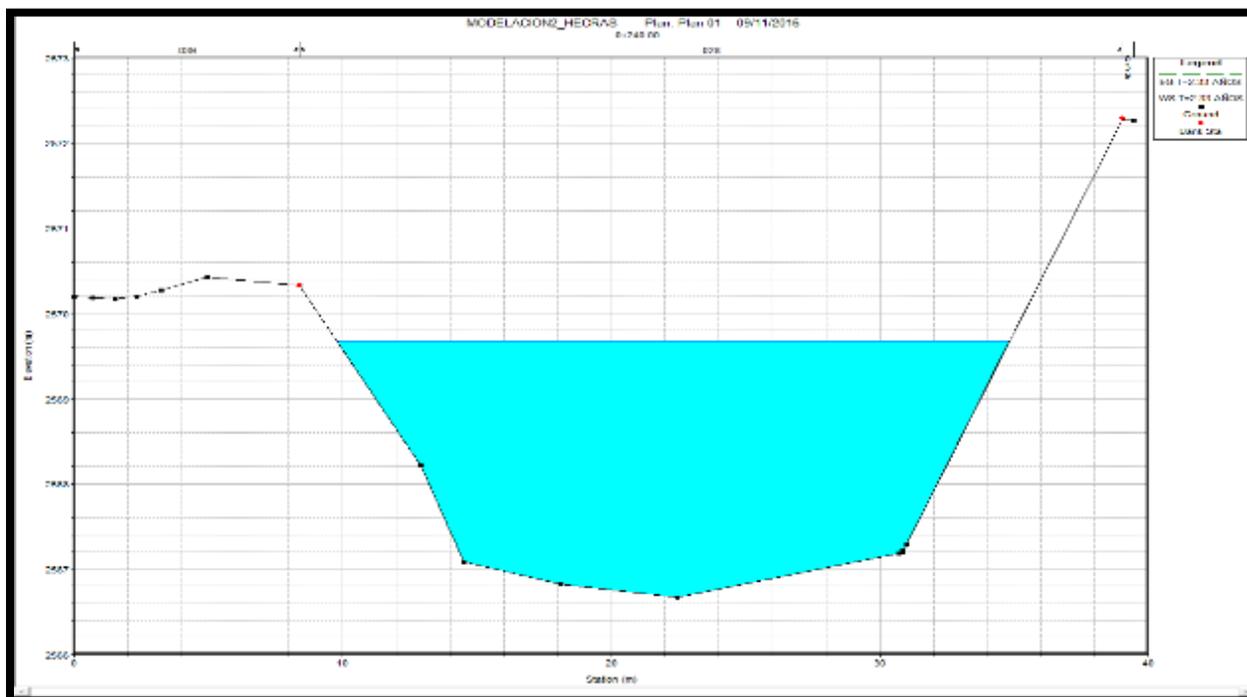
**Figura 19:** Sección 795, Tr 100 Años

**Fuente:** Autor



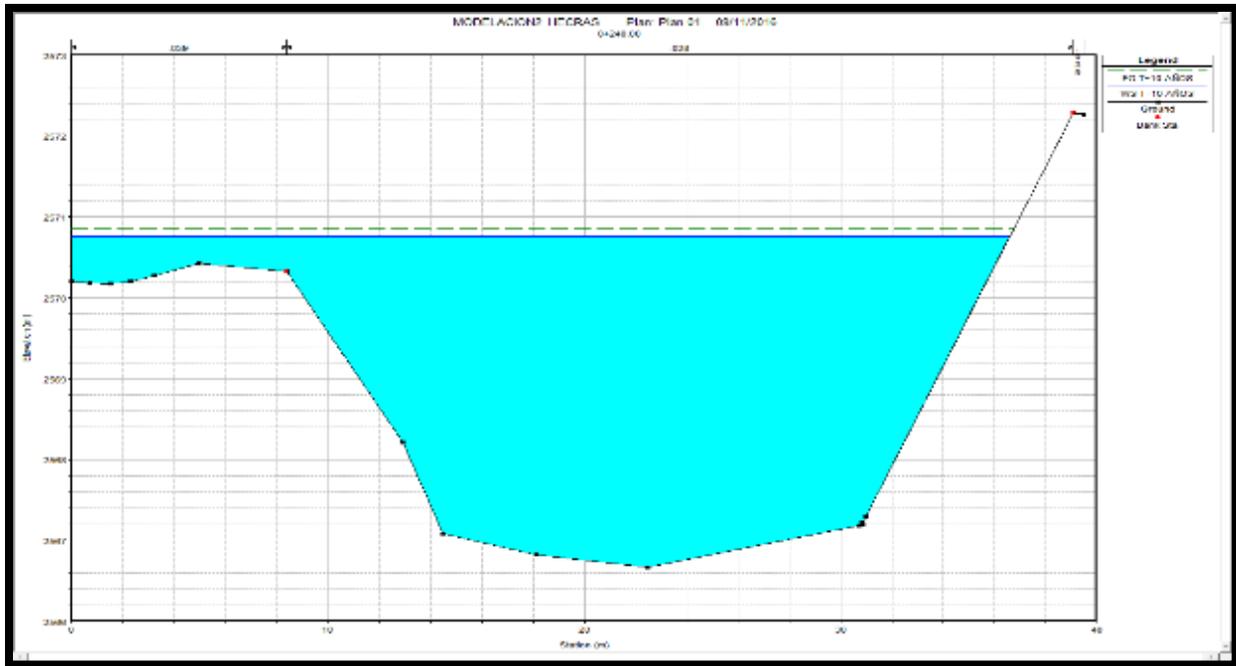
**Figura 20:** Sección 690, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



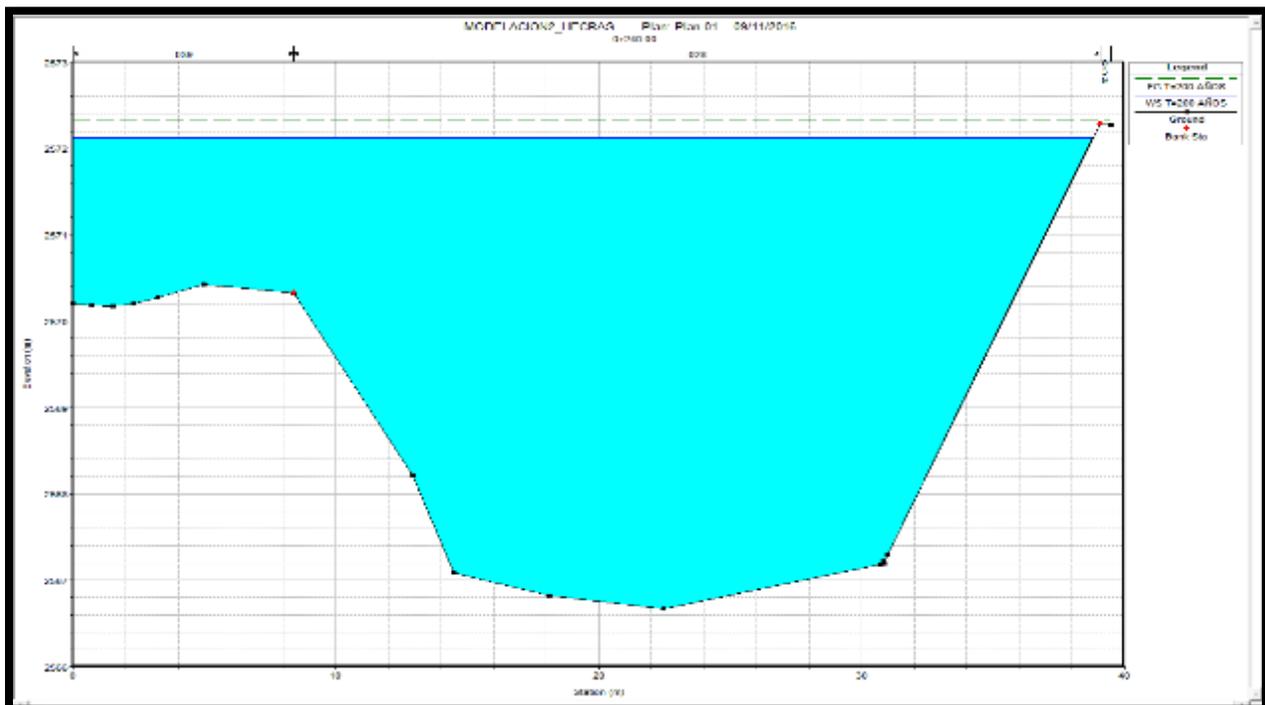
**Figura 21:** Sección 600, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



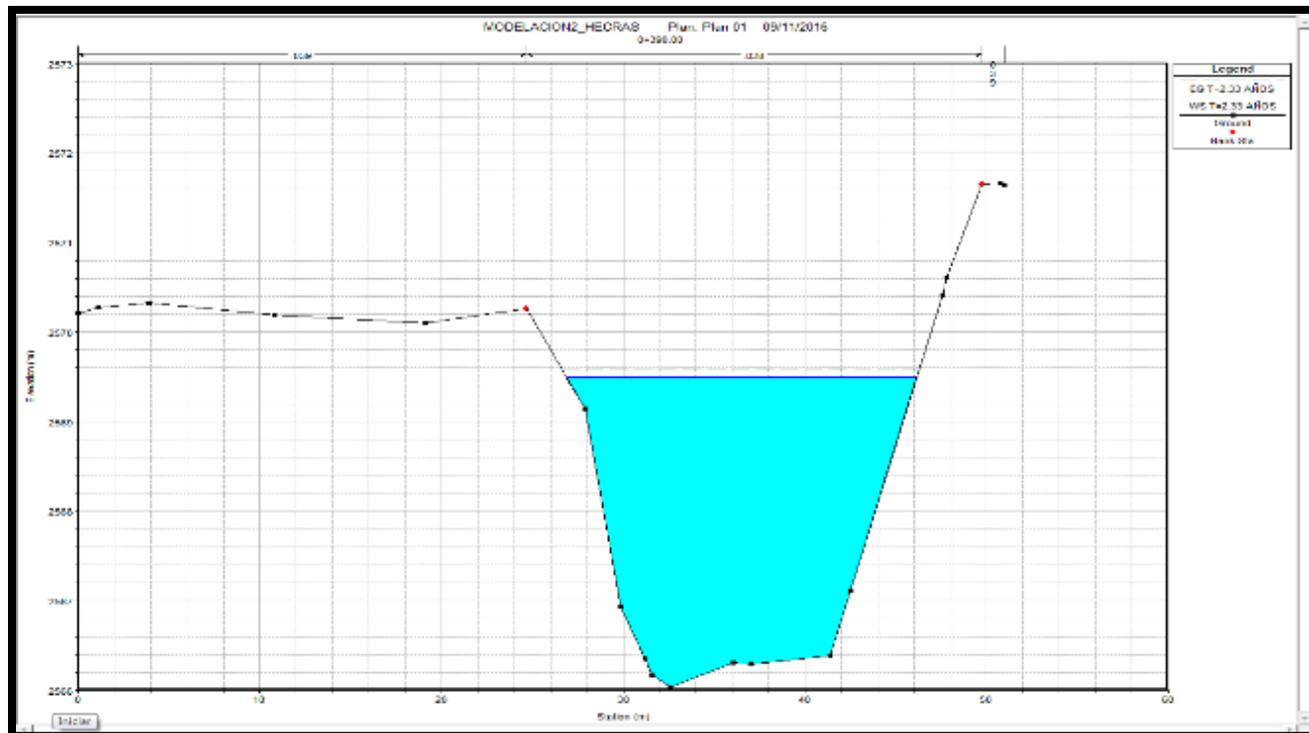
**Figura 22:** Sección 600, Tr 10 Años

**Fuente:** Autor



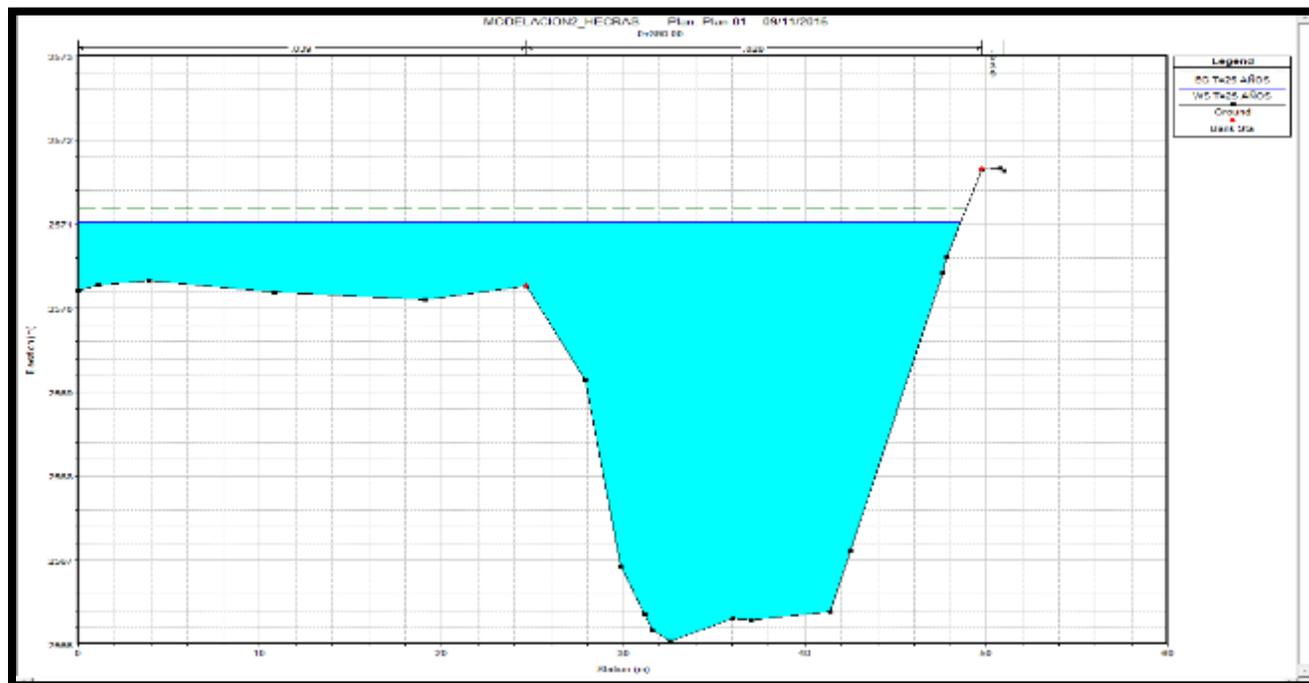
**Figura 23:** Sección 600, Tr 200 Años

**Fuente:** Autor



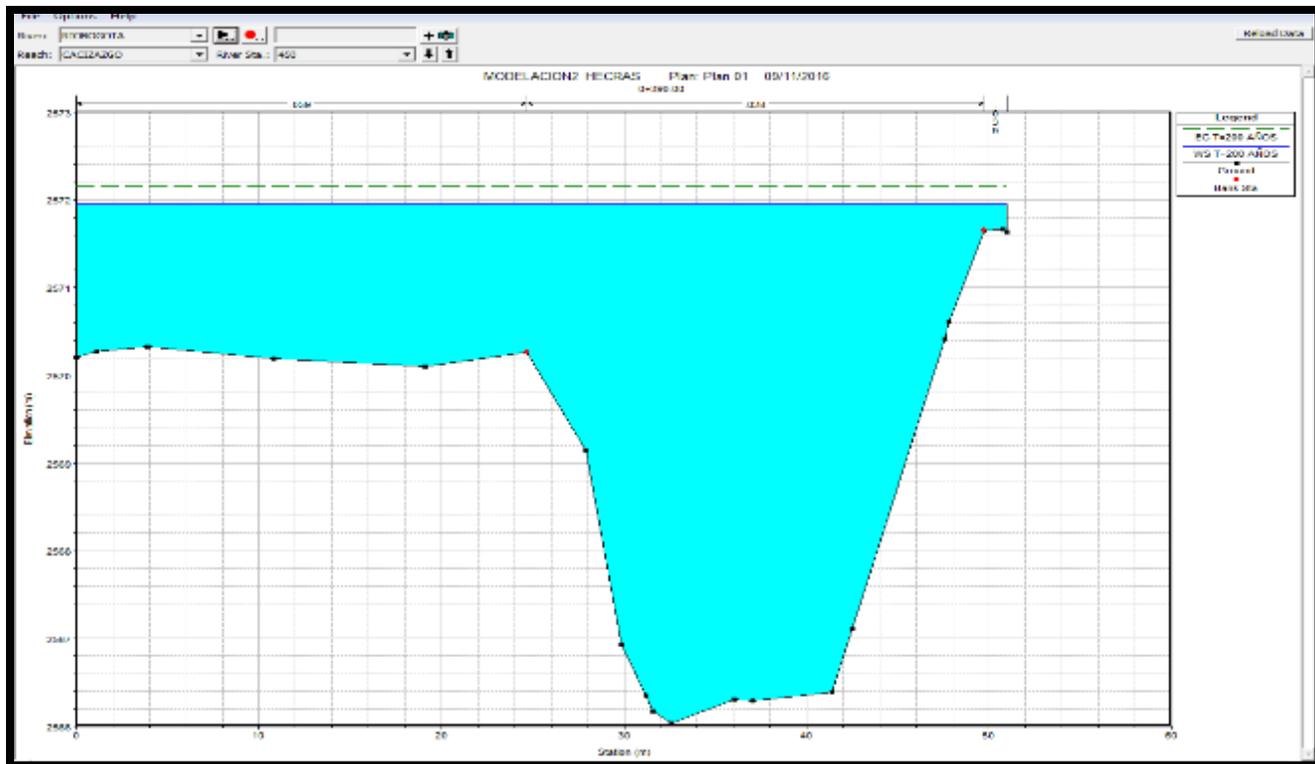
**Figura 24:** Sección 450, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



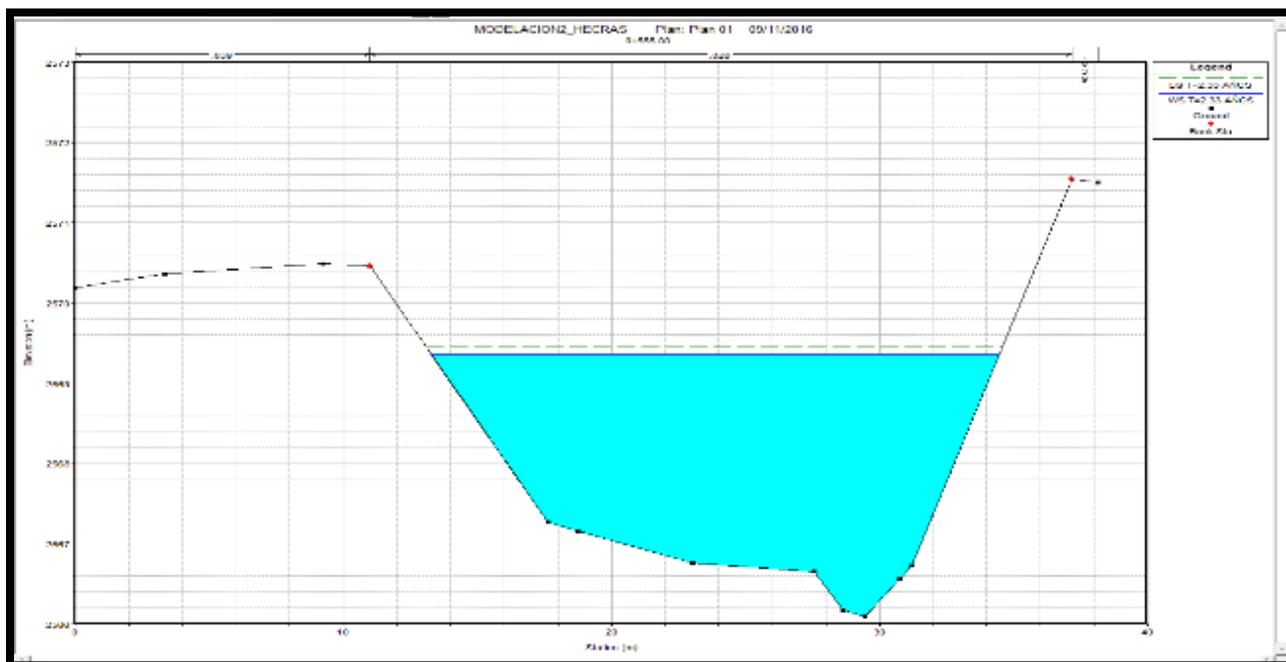
**Figura 25:** Sección 450, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



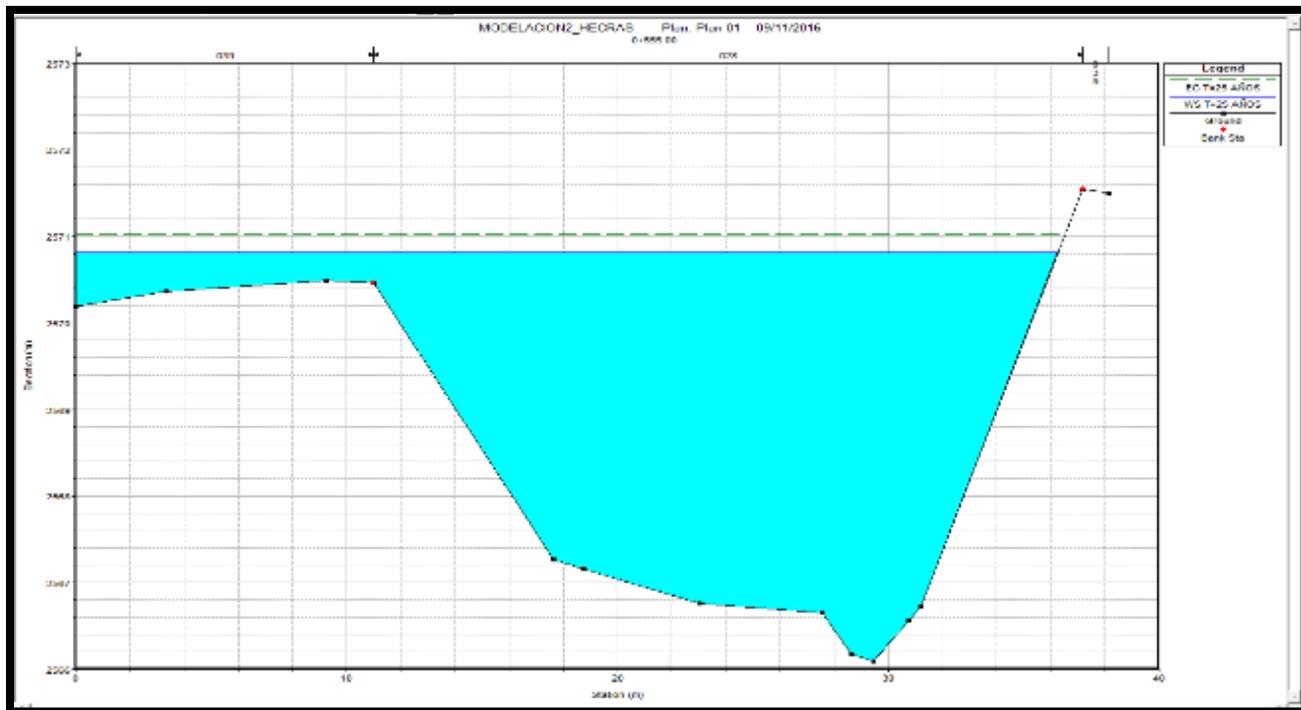
**Figura 26:** Sección 450, Tr 200 Años

**Fuente:** Autor



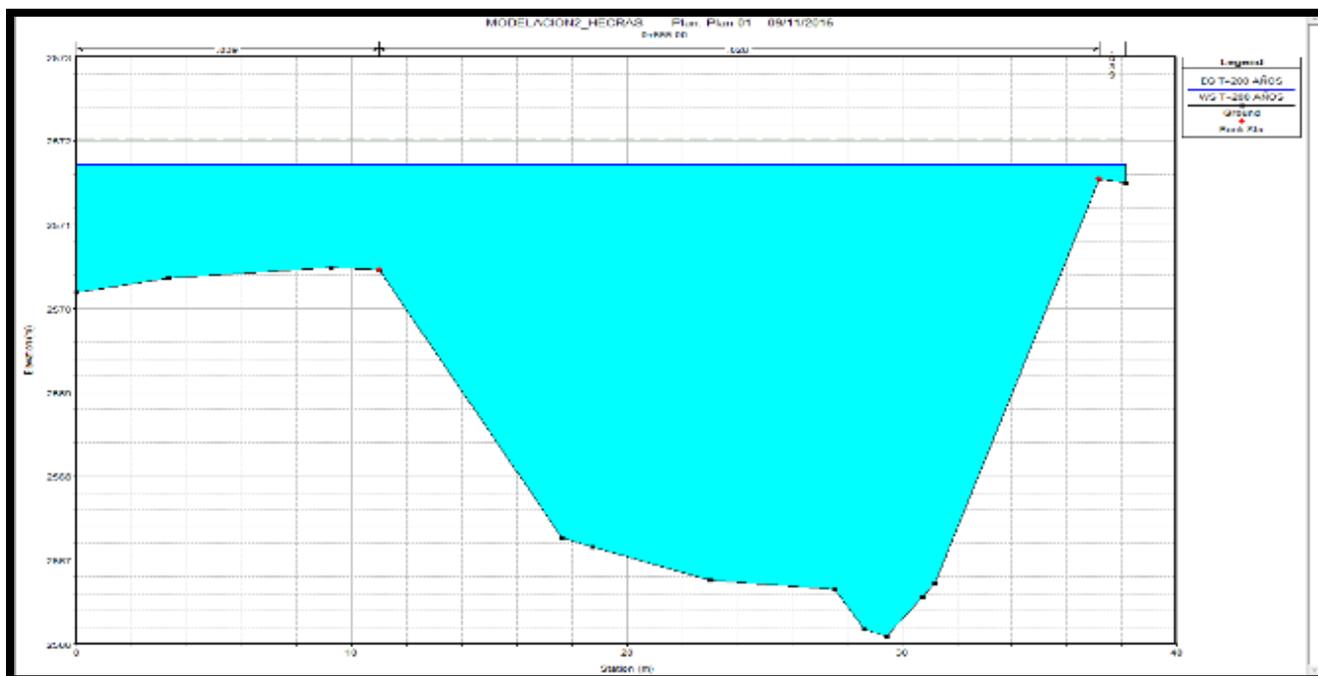
**Figura 27:** Sección 285, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



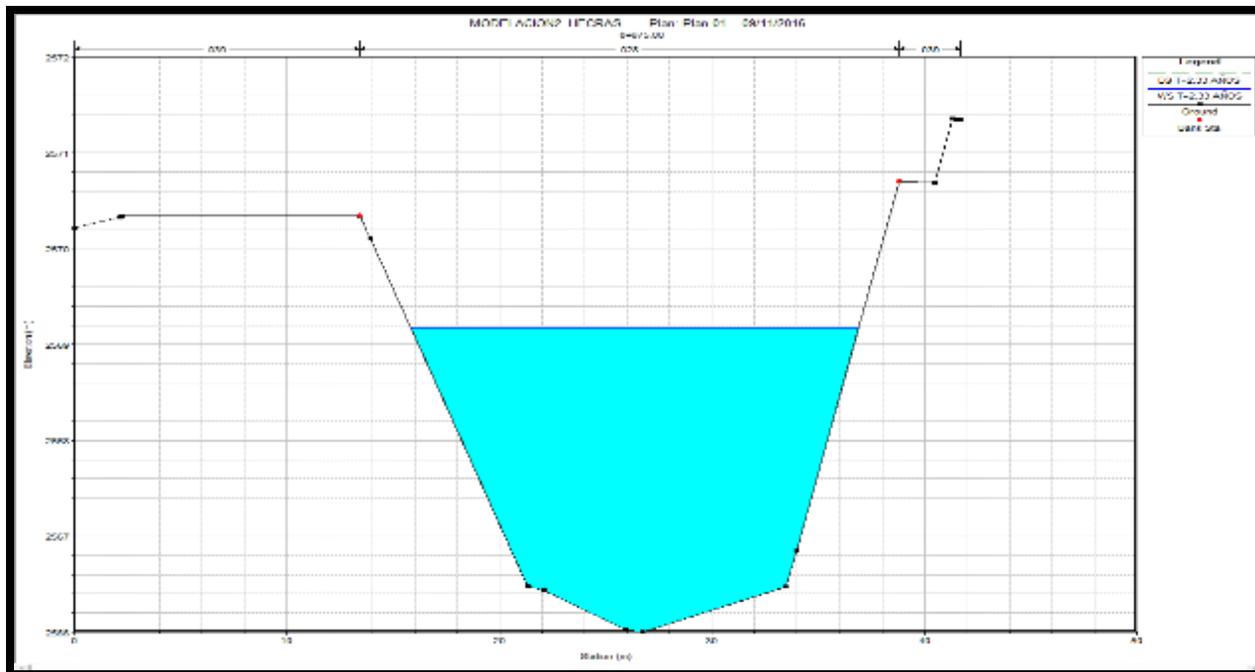
**Figura 28:** Sección 285, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



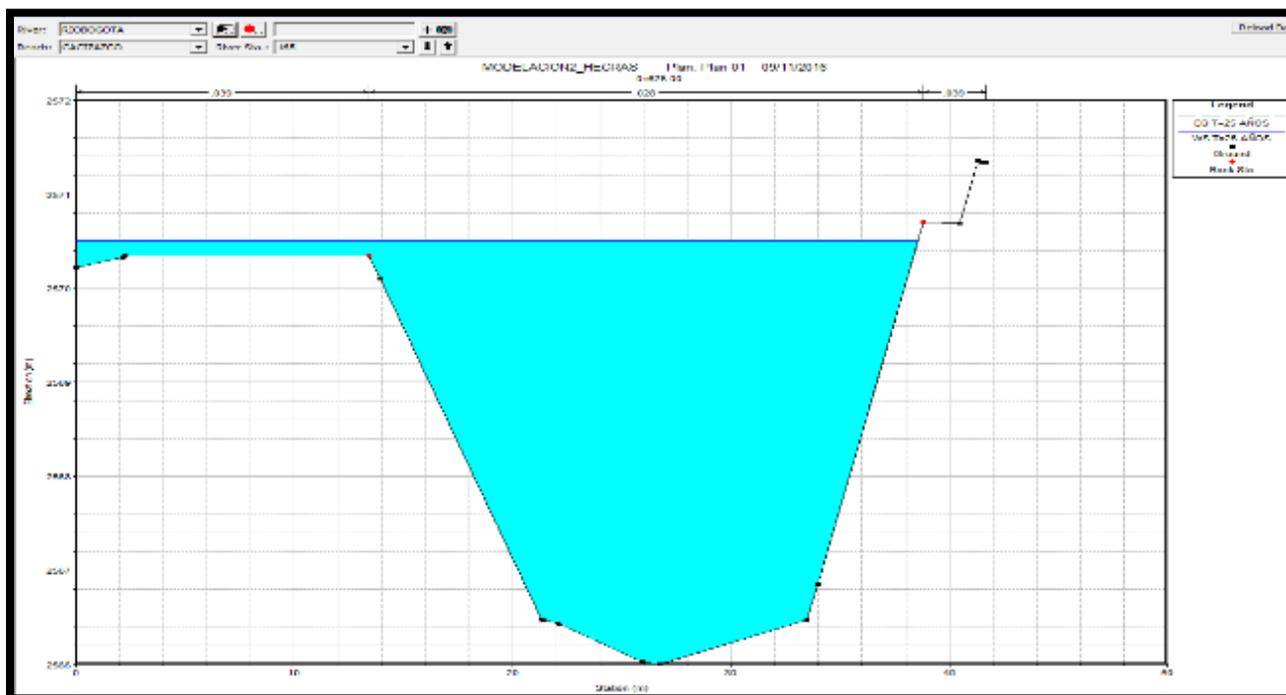
**Figura 29:** Sección 285, Tr 200 Años

**Fuente:** Autor



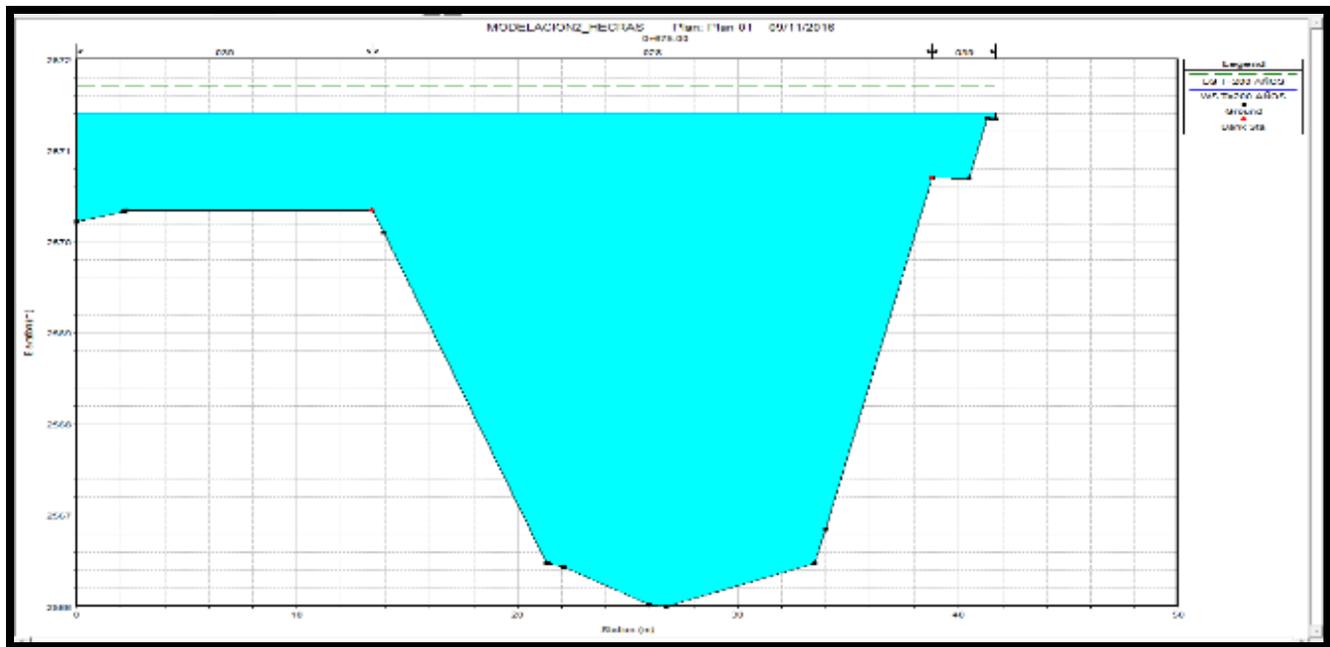
**Figura 30:** Sección 165, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



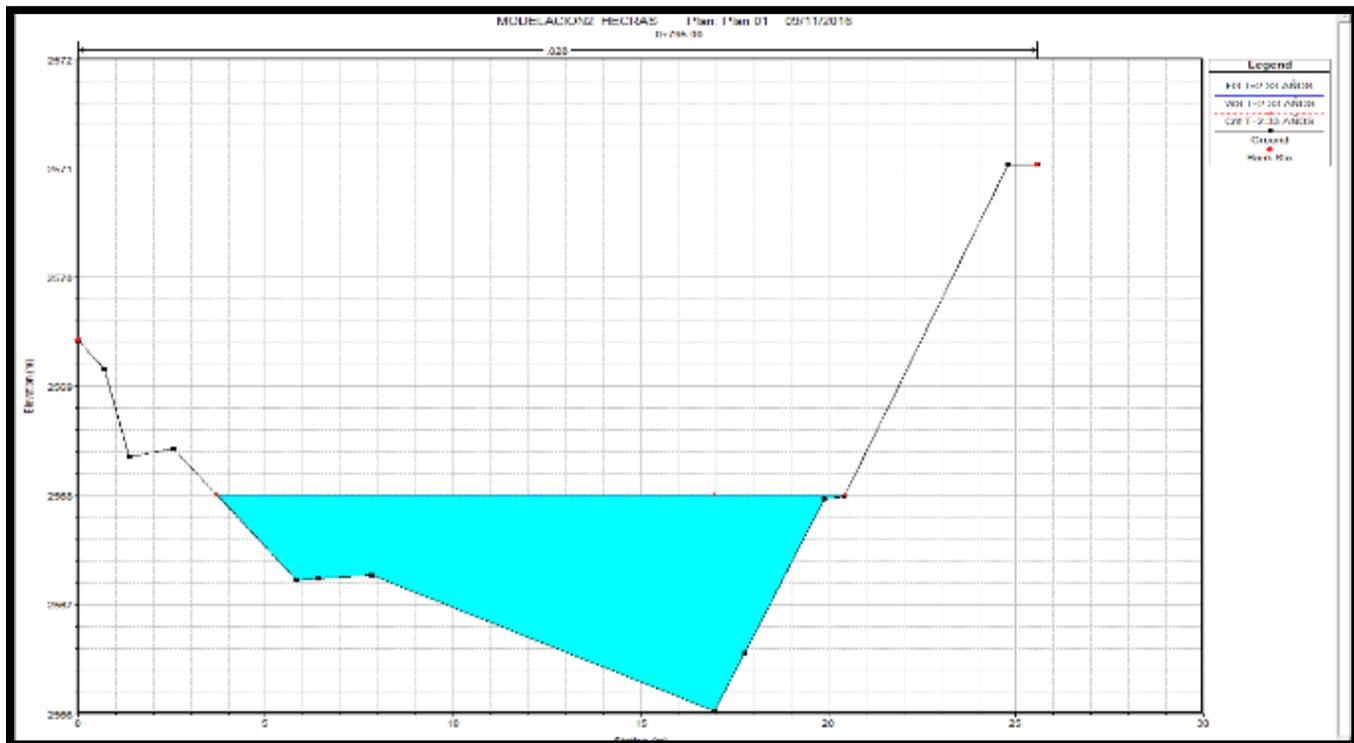
**Figura 31:** Sección 165, Tr 25 Años

**Fuente:** Autor



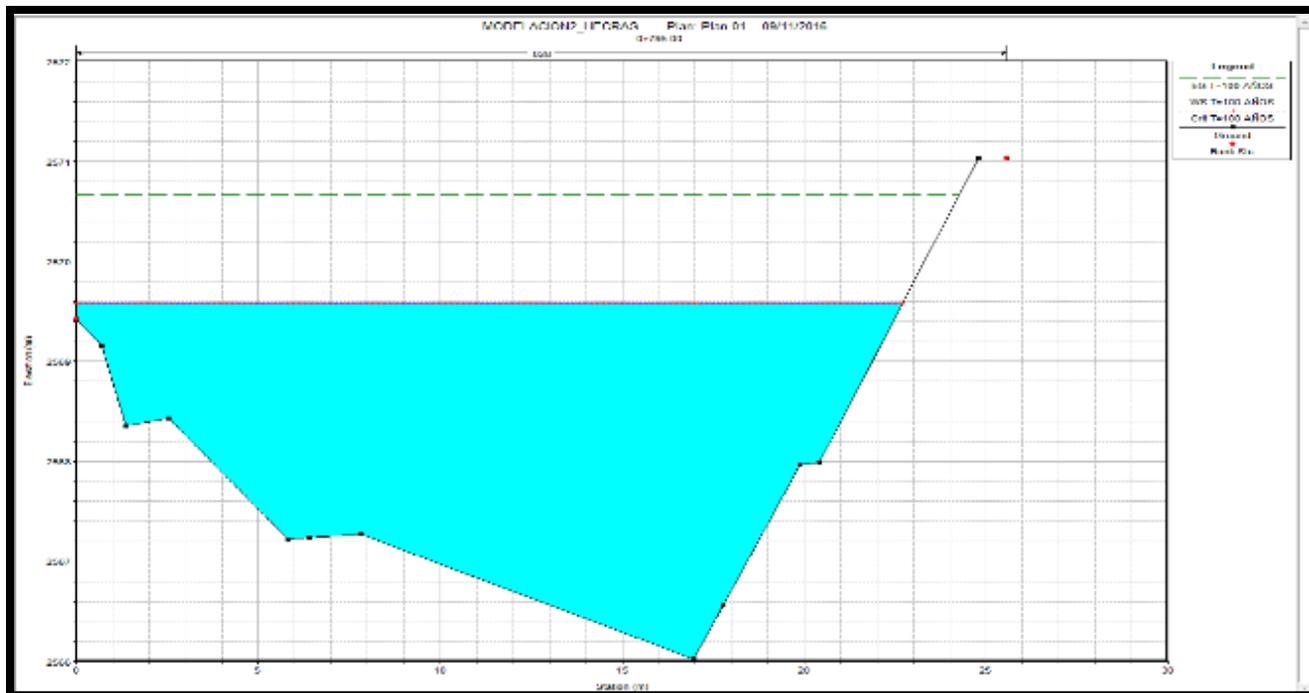
**Figura 32:** Sección 165, Tr 200 Años

**Fuente:** Autor



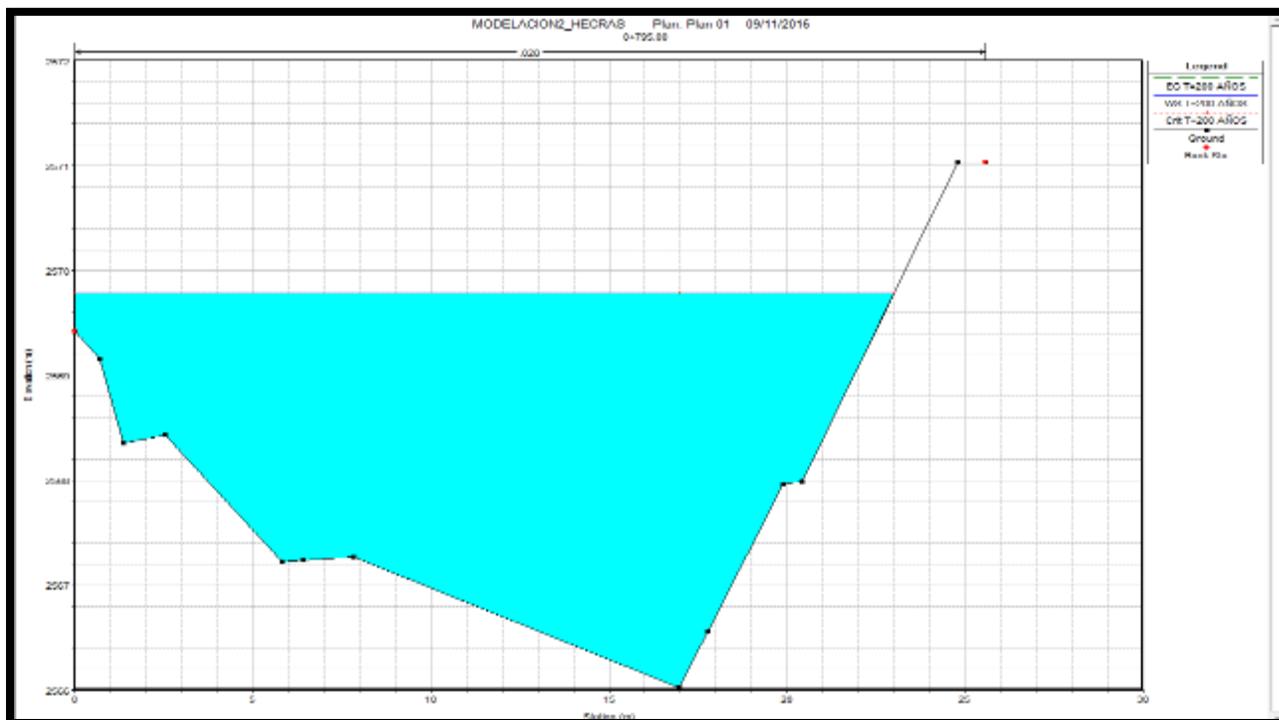
**Figura 33:** Sección 45, Tr 2.33 Años

**Fuente:** Autor



**Figura 34:** Sección 45, Tr 100 Años

**Fuente:** Autor

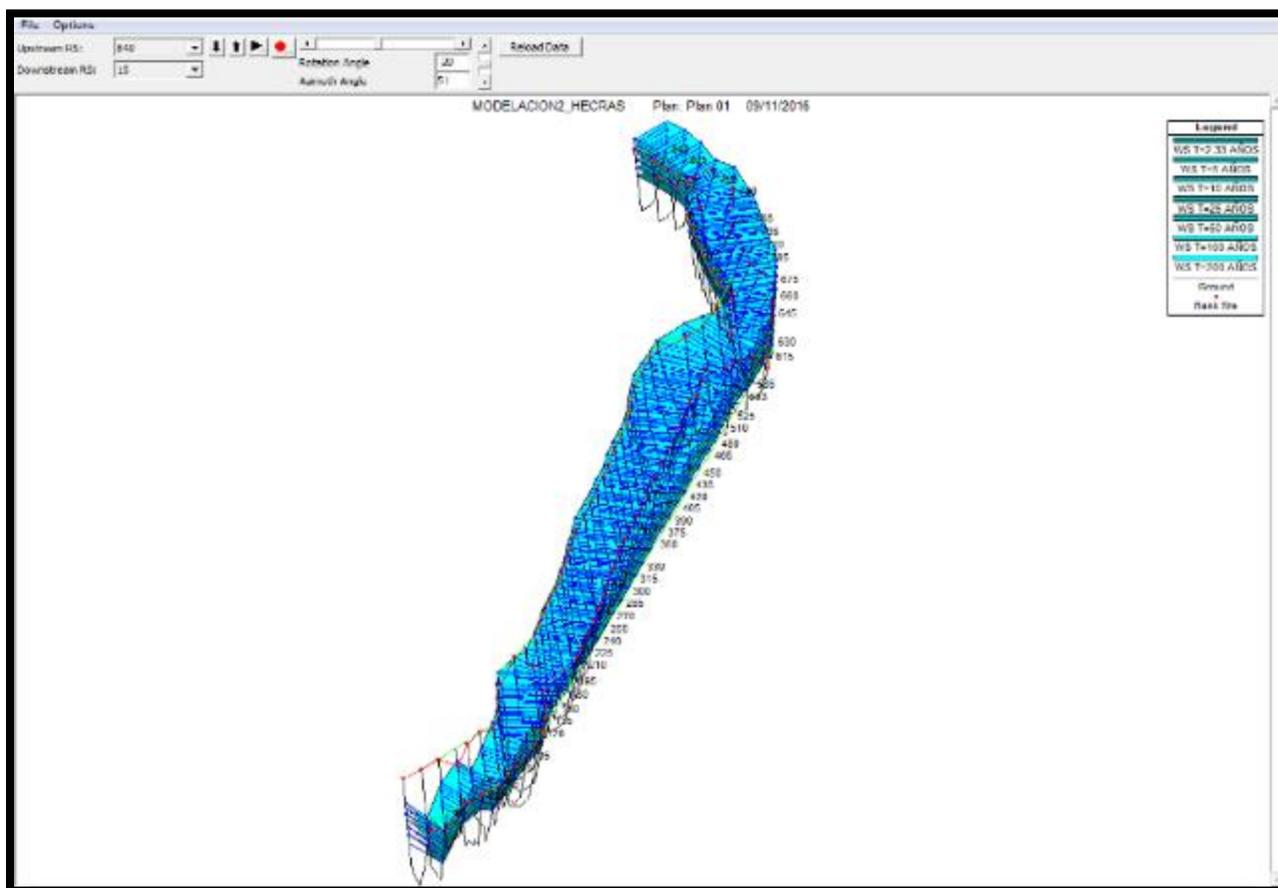


**Figura 35:** Sección 45, Tr 200 Años

**Fuente:** Autor

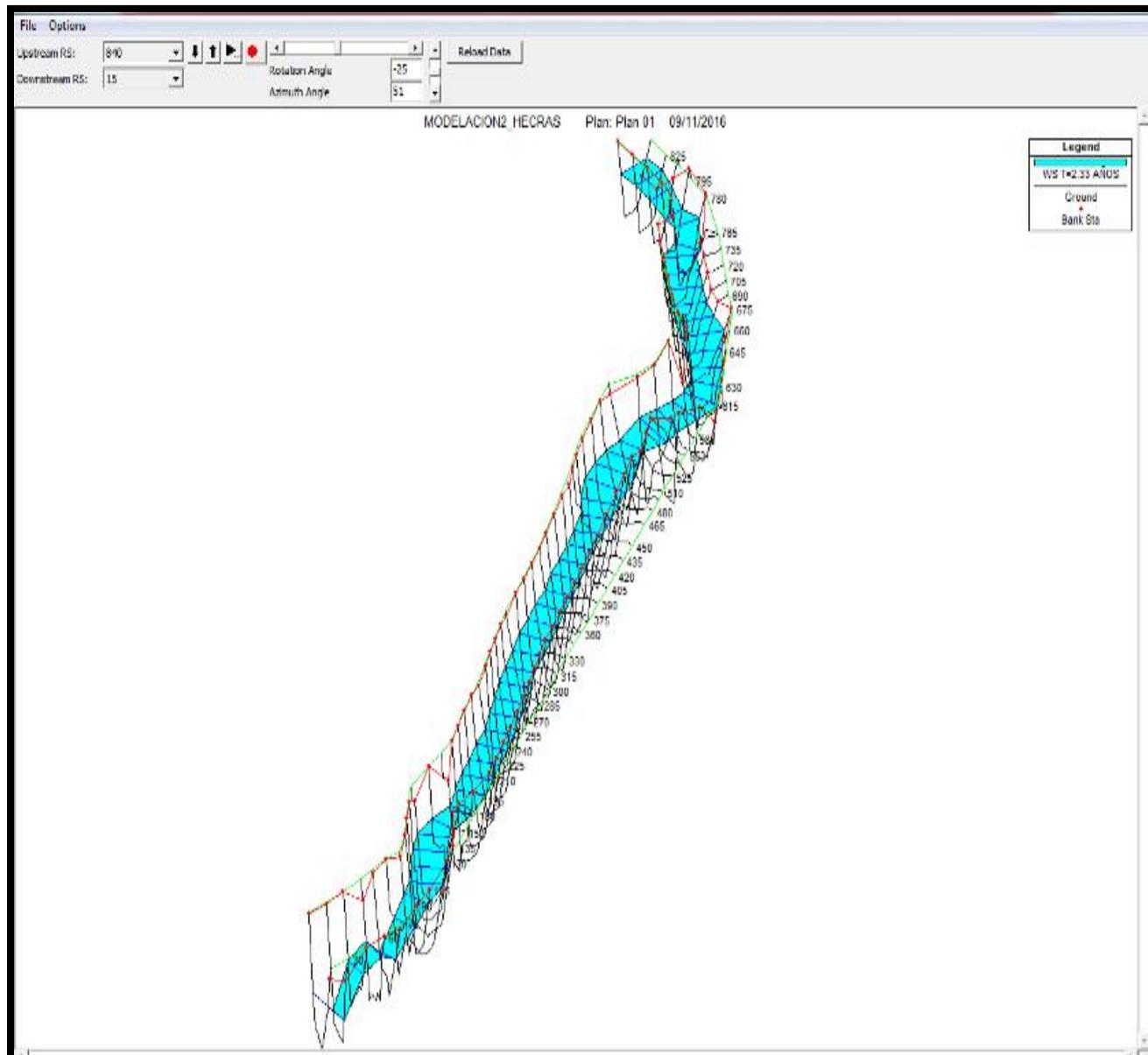
#### 4.6.2. Ver dibujos en perspectiva.

En el menú “*View 3D multiple cross section plot*” o seleccionando el icono correspondiente Se pueden visualizar todas las secciones, además de esto se puede seleccionar la vista para cada uno de los caudales y analizar de una mejor manera el comportamiento del tramo del río para los diferentes periodos de retorno.



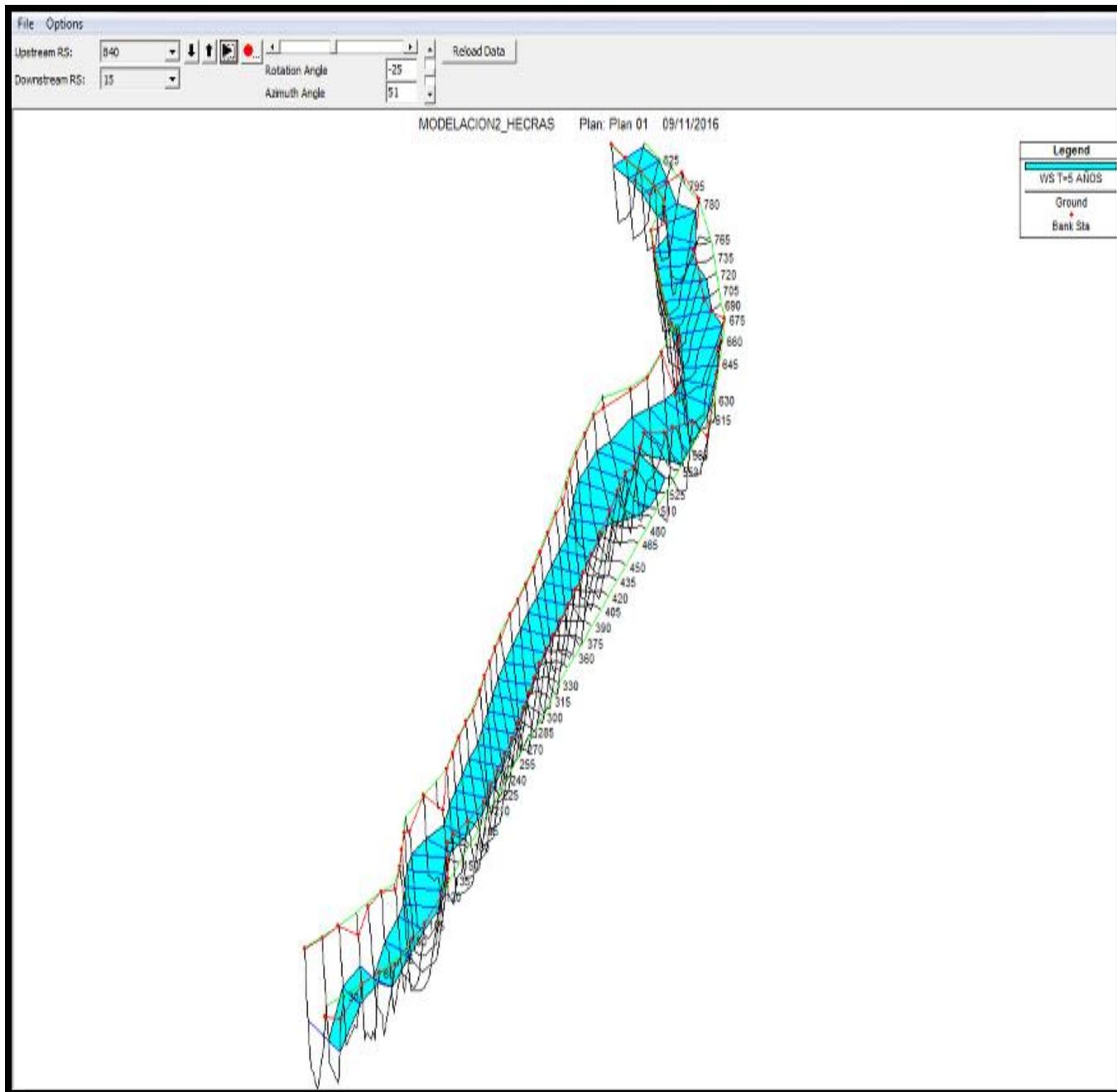
**Figura 36:** Tramo del río en 3D, Tr 2.33, 5, 10, 25, 50,100 y 200 años.

**Fuente:** Autor



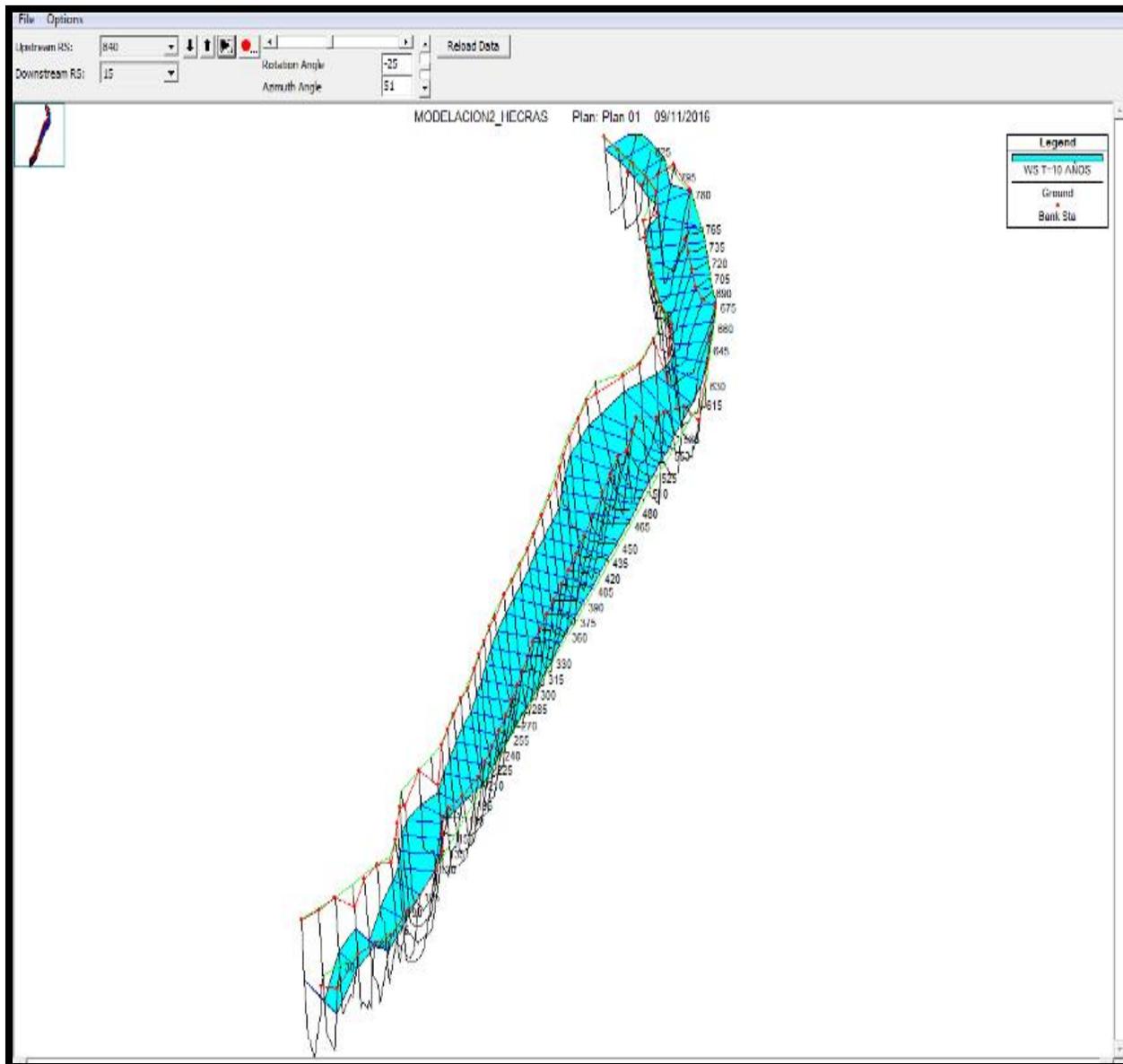
**Figura 37:** Tramo del río en 3D, Tr 2.33 años.

**Fuente:** Autor



**Figura 38:** Tramo del río en 3D, Tr 5 años.

**Fuente:** Autor



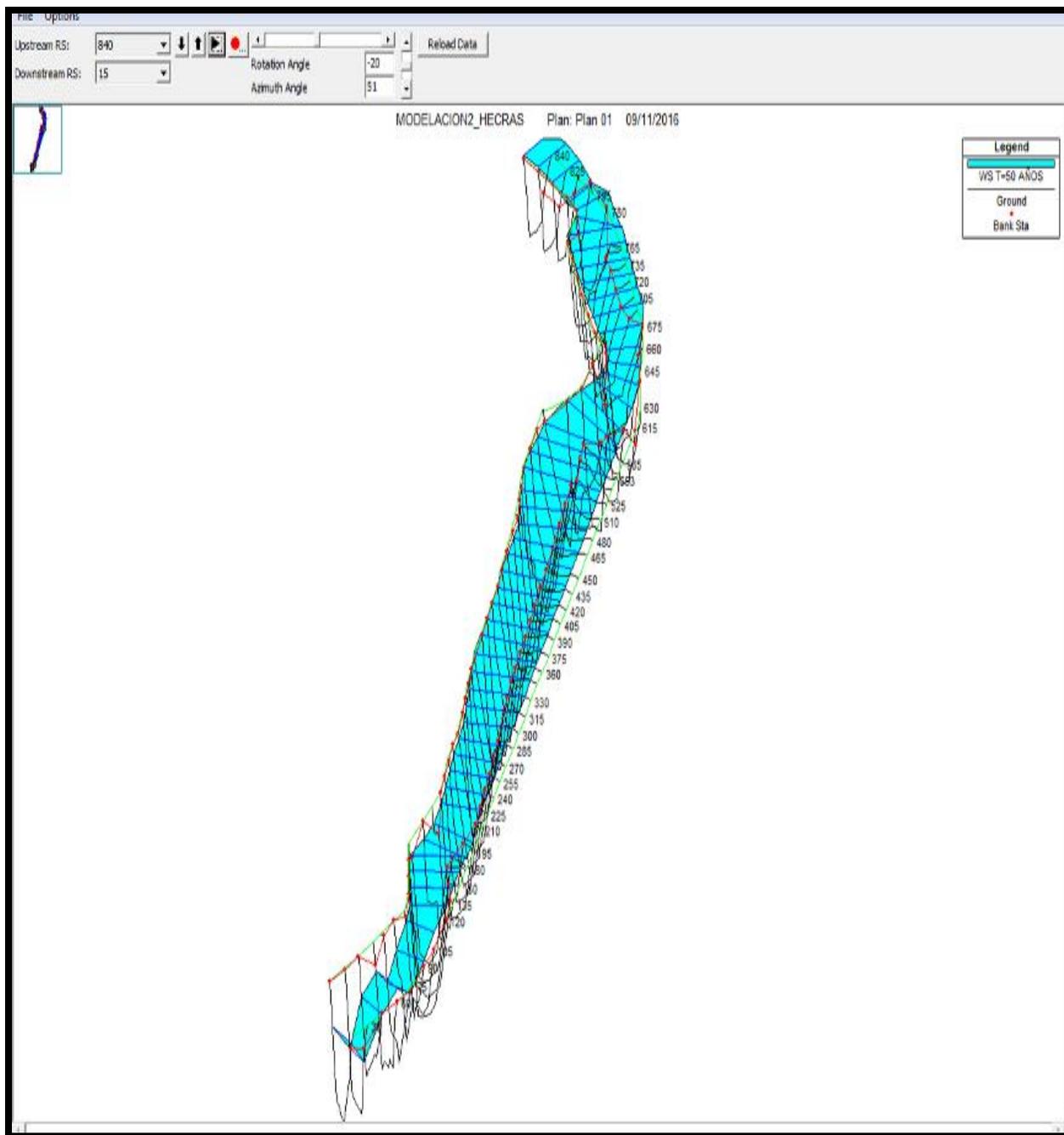
**Figura 39:** Tramo del río en 3D, Tr 10 años.

**Fuente:** Autor



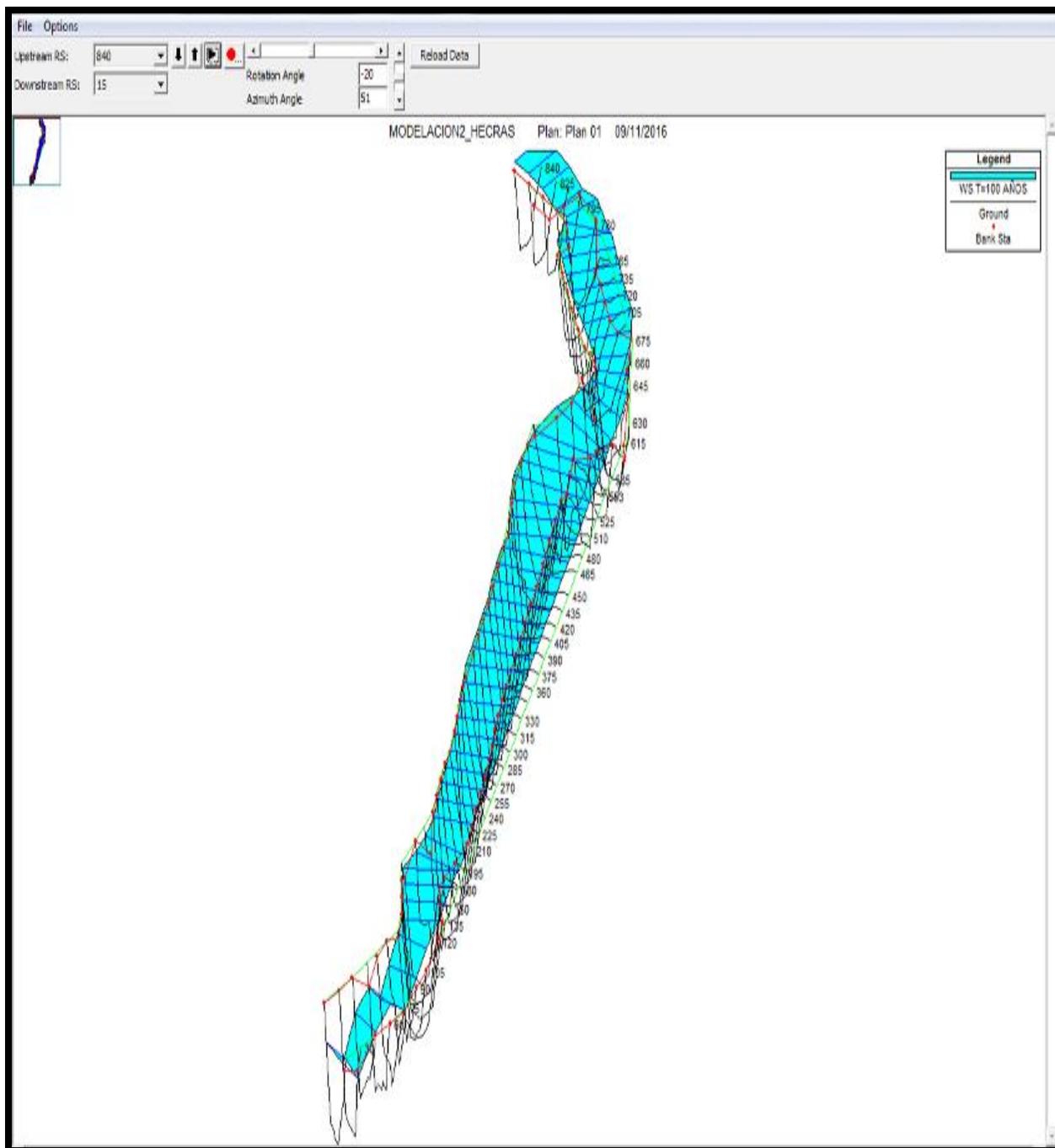
**Figura 40:** Tramo del río en 3D, Tr 25 años.

**Fuente:** Autor



**Figura 41:** Tramo del río en 3D, Tr 50 años.

**Fuente:** Autor



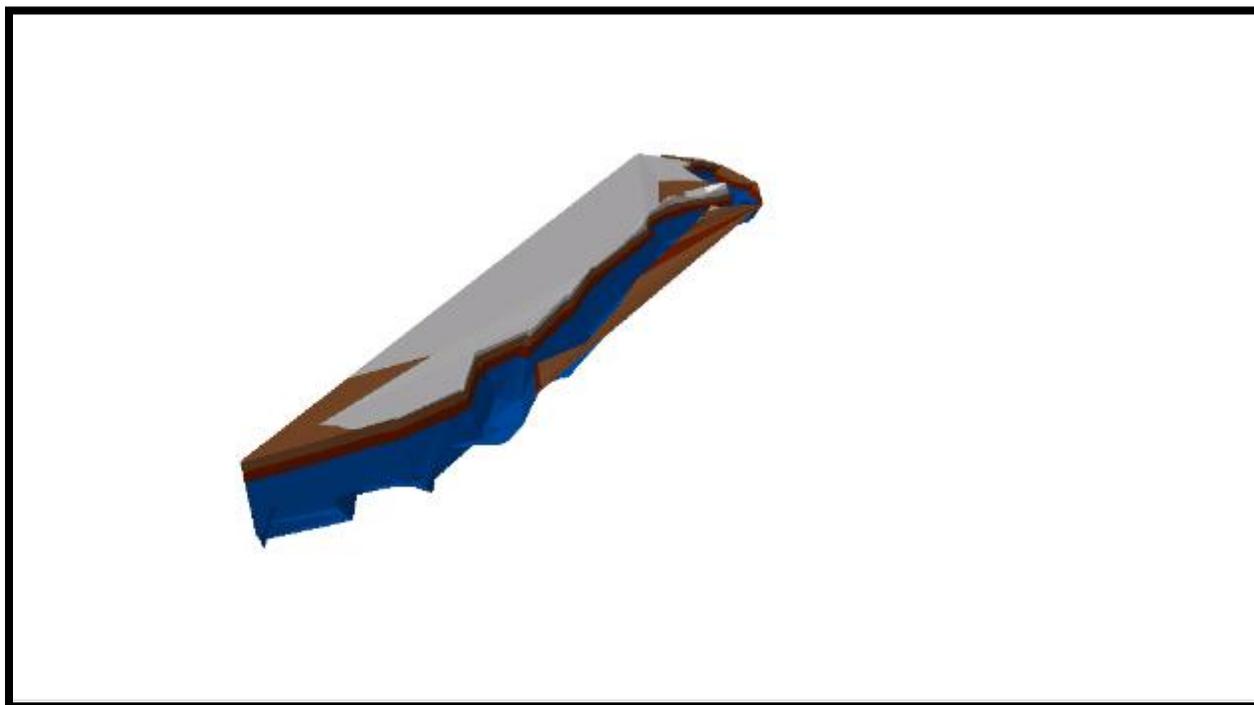
**Figura 41:** Tramo del río en 3D, Tr 100 años.

**Fuente:** Autor



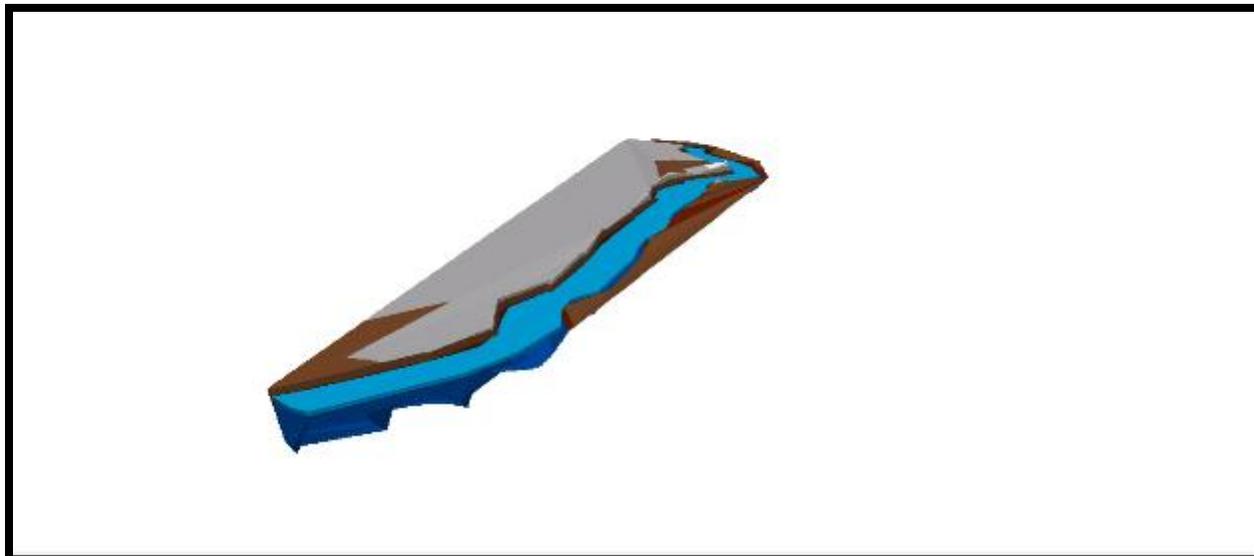
#### 4.6.3. Vista en 3D Arc Scene.

Para visualizar mejor el área afectada por amenaza de inundación, con ayuda de la extensión Arc Scene, en base con el modelo digital del terreno se crea un perfil en 3D para cada uno de los tiempos de retorno dando como resultado las siguientes imágenes:



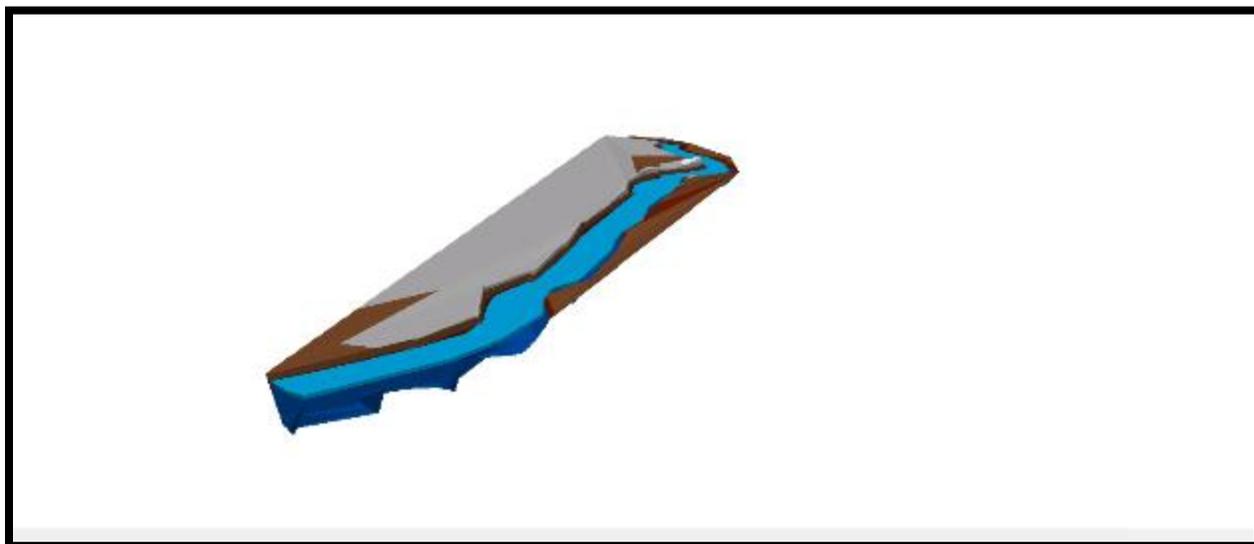
**Figura 43:** Tramo del río en 3D, Arc Scene.

**Fuente:** Autor.



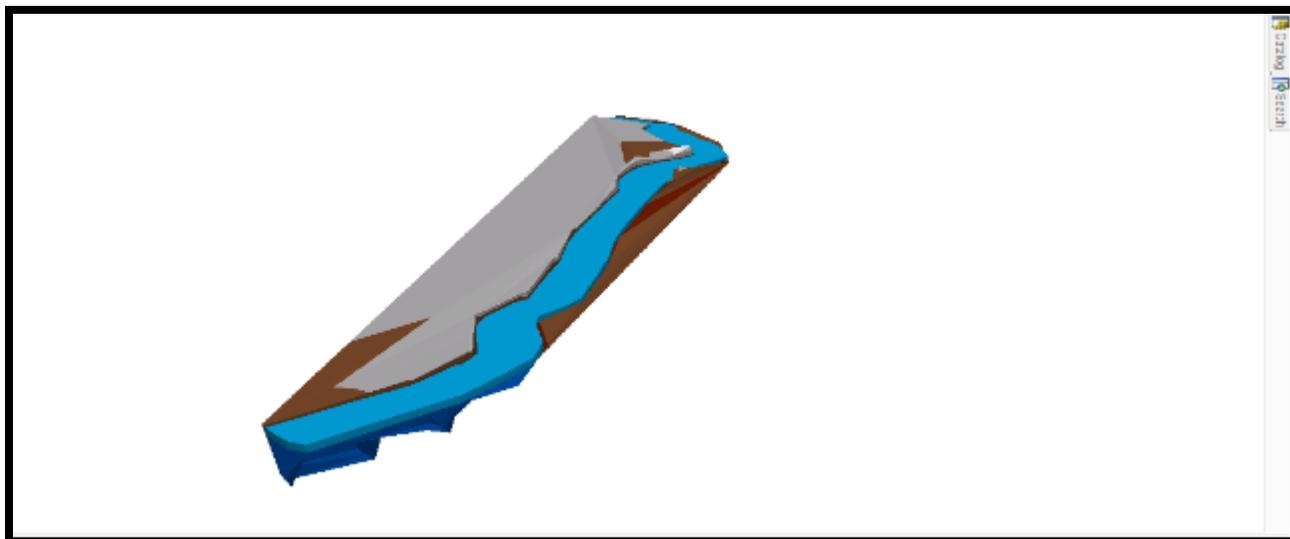
**Figura 44:** Tramo del río en 3D, TR 2.33 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



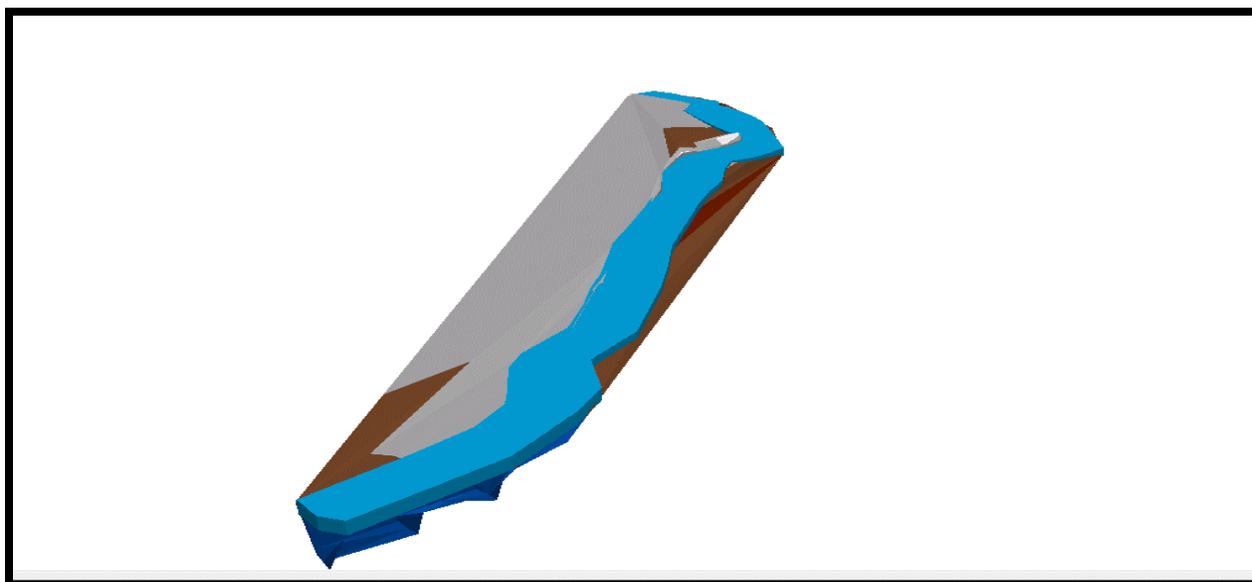
**Figura 45:** Tramo del río en 3D, TR 5 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



**Figura 46:** Tramo del río en 3D, TR 10 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



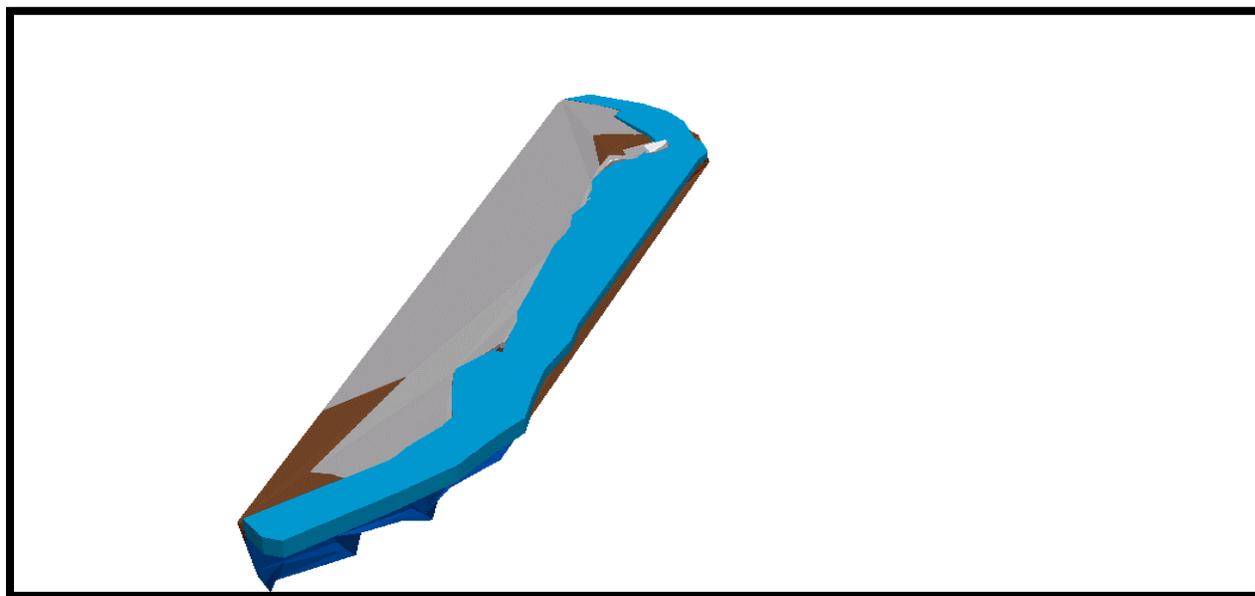
**Figura 47:** Tramo del río en 3D, TR 25 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



**Figura 48:** Vista de planta río, TR 25 años.

**Fuente:** Autor



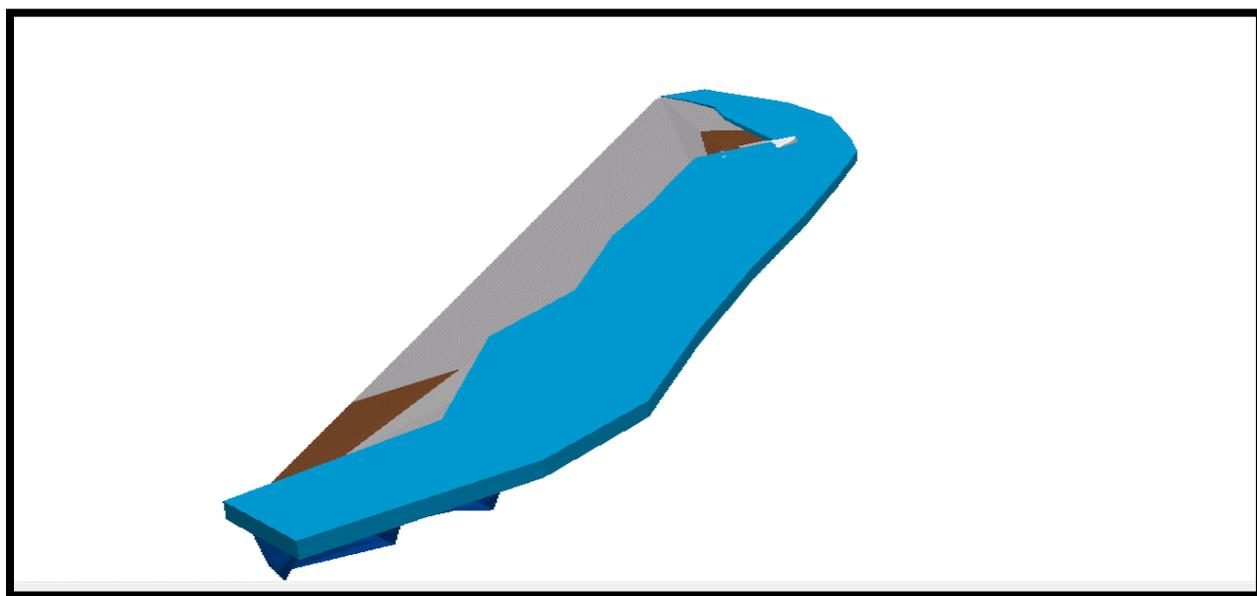
**Figura 49:** Tramo del río en 3D, TR 50 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



**Figura 50:** Vista de planta río, TR 50 años.

**Fuente:** Autor



**Figura 51:** Tramo del río en 3D, TR 100 años, Arc Scene.

**Fuente:** Autor



**Figura 52:** Vista de planta río, TR 100 años.

**Fuente:** Autor

## 5. Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados generados por el programa HEC-RAS de cada una de las secciones transversales generadas desde Arcgis, se puede observar que empiezan a presentarse inundaciones desde la secciones aguas arriba 840 a un Tr: 10 años; en la visita a campo que se realizó se puede apreciar que en este punto no se construyeron jarillones, en primer lugar porque a la orilla del río se encuentran varios árboles nativos y segundo porque no se encuentra expuesta ninguna población cercana.

Continuando con el análisis, ya se empiezan a presentar desbordamiento del tramo a partir de un tiempo de retorno de 25 años, esto ocurre en la mayoría de secciones, especialmente al lado derecho del tramo del río, teniendo en cuenta este comportamiento y si llegasen a presentar un aumento de las precipitaciones de acuerdo a los calculo obtenidos, se verían perjudicadas las viviendas cercanas a la rivera del río, más precisamente las que se encuentran cercanas al puente que atraviesa el río y comunica el municipio de Suesca con la vereda cacicazgo, a esto hay que

sumarle que estas viviendas se encuentran por debajo del nivel de la cota del río, lo que da entender que nunca se tuvo en cuenta este factor y se realizaron construcciones de una forma desorganizada sin tener en cuenta las posibles afectaciones futuras.

Inicialmente la construcciones de los jarillones estarían cumpliendo con el objetivo de mitigar las afectaciones causadas por anomalía en las precipitaciones, pero esto solamente sucedería para un tiempo entre 25 y 50 a 20 años, siempre y cuando se presentaron las precipitaciones según el SCS, es decir para Tr 10 años :  $122.36 \text{ m}^3/\text{s}$  y para Tr 25 años :  $164.16 \text{ m}^3/\text{s}$ , además para garantizar que este tiempo no sea menor, las entidades competentes y el municipio deberían crear métodos preventivos que ayuden al mantenimiento y buen uso de estas obras; por ejemplo el primero de Julio de 2016 se emitió una alerta de peligro de inundación por parte de la CAR debido a que un habitante había realizado una construcción ilegal sin previa autorización, afectando el Jarillón. (Espectador, 2016)



**Imagen 15.**Obra que afecto el Jarillón.

**Fuente:** CAR

## 6. Conclusiones

Construir Jarillones para mitigar la afectación por inundaciones en temporadas extremas de invierno puede ser una solución temporal mas no permanente; a pesar de que es un tipo de solución que se ha aplicado hace más de 200 años, cuando el hombre comenzó a construir grandes murallones al lado de varios ríos europeos como el Sena (Francia), el Támesis (Inglaterra), el Po y el Tiber (Italia); este tipo de construcciones trae sus consecuencias que afectan directamente al río, convirtiéndolo en un canal, tipo lineal, liso, desconectado completamente del subsuelo y quitándole la capacidad de expandirse, de tener una dimensión horizontal.

Los ríos naturalmente tienen dos lechos: el cauce activo, que representa el cuerpo del agua, y el lecho o cauce mayor, área que puede ser ocupada naturalmente por el cauce activo en periodos de lluvias extremas, (ver **Imagen 15**), la dinámica natural de los ríos, para lograr su equilibrio hidrodinámico, está determinada por la movilidad de su cauce activo sobre el lecho mayor, donde transporta, erosiona y deposita materiales aluviales como arenas y limos; al realizar estas construcciones lo que realmente está sucediendo es afectando la naturaleza del río y tarde que temprano tendera a recuperar su cauce. (Vargas Cuervo, 2015)

Tiempo después se realizó una visita a la zona de estudio, en algunos puntos ya se estaba presentando erosión, no en todos los sectores estaba empedrado, lo que causara que con las lluvias y el paso del tiempo estas construcciones se irán desboronando y perdiendo la funcionalidad para la cual fueron hechos, (ver **Imagen 16**) al ser un sistema completamente artificial necesita constantemente de mantenimiento, de inspección, la pregunta es ¿hay suficiente dinero para conservar este tipo de sistemas?

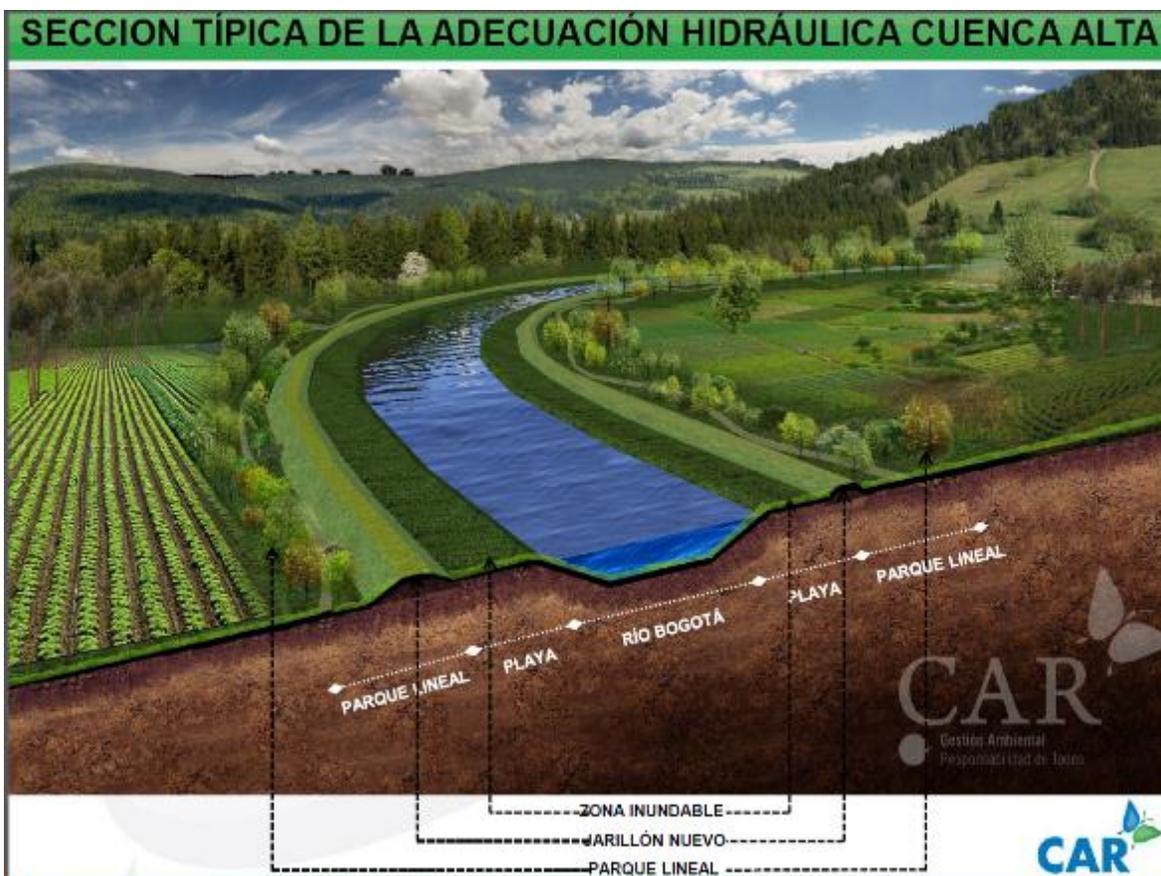
Otro punto importante para resaltar es que la gente al ver que con las construcciones de estos jarillones se sientes más seguras, empezaran a construir cerca del río, lo cual aumentaría la vulnerabilidad porque hay muchas más personas y bienes materiales viviendo cerca de la rivera del río. Es importante destacar que ninguna obra es estable. La ingeniería es presuntuosa.

Canalizar los ríos es algo que en los países Europeos ya se está deshaciendo, esto es una ingeniería que ya se ha vuelto obsoleta y en nuestro país debemos de aprender de eso, en Europa

se han realizado grandes obras para restaurar los afluentes, por ejemplo en el río Drava (Italia), que es muy parecido al río Bogotá, el cual está canalizado a razón de que también se presentaban grandes inundaciones, a este río le quitaron los diques para que creciera, lo cual generó nuevas islas. En el río Ródano (Suiza), con trabajos hidráulicos, lograron conectarlo con madres viejas y aumentar su caudal para beneficio de la fauna. En el río Adige (Italia), construyeron rampas de piedra para crear desniveles a distancias mayores y por último ejemplo en el río Isar (Alemania), allí construyeron playas de arena o grava que generan movilidad, y al mismo tiempo, turismo e interacción con la gente. (Franco Idarraga, 2016)

También se le pueden aplicar técnicas naturales como filtros verdes, barreras vegetales, franjas y humedales especialmente en zonas donde hay actividad agropecuaria, ya que este sector es un generador de contaminación a la que se le denomina difusa, es decir, aquella que no viene por un tubo, sino por el territorio como por ejemplo los pesticidas arrastrados por la lluvia, además hay que implementar la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en todos los municipios de la cuenca, caso de Suesca, hasta ahora se implementó el proyecto de la construcción de una planta en el plan de gobierno actual

Es importante analizar si realmente las inundaciones se presentan por fenómenos como la niña, por el llamado calentamiento global o si realmente se ha tenido en cuenta la forma de urbanización en las zonas inmediatamente aledañas a la cuenca, producto del cambio de los usos del suelo, la cual no ha sido adecuadamente planificada, en conclusión estamos protegiendo a la población del río o al río de la población.



**Imagen 16.** Sección típica proyección adecuación Cuenca Alta..

**Fuente:** Autor



**Imagen 17.** Tramo del Rio Bogotá.

**Fuente:** Autor

## 7. Bibliografía

- Aguilar, A. M., & Bedoya, G. (Mayo de 2008). *Creación, actualización y/o homogeneización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la Subregión Andina*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Comunidad Andina: <http://www.comunidadandina.org/predecan/doc/r2/osso/Cons025-2006-Corporaci%C3%B3nOSSO-InformeColombia-1.8.pdf>
- ArcGis. (2016.). *Que es un Shapefile*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de ArcGis: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>
- Arevalo Cháves, D. A., & Parias Villalba, J. P. (08 de Julio de 2013). *Análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa en la región del Boquerón ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Universidad Católica: <http://hdl.handle.net/10983/931>
- Arquigrafico. (2016). *Equipos mas conocidos usados en Topografía*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Arquigrafico: <http://www.arkigrafico.com/equipos-mas-conocidos-usados-en-topografia/>
- Campos G., A., Holm-Nielsen, N., Diaz G, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramirez, F., y otros. (2012). *Análisis de la gestion del riesgo de desastres en Colombia*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de Gestión del riesgo.: <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>
- CAR. (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrigráfica del río Bogotá*. BOGOTA.
- CaracolTv. (27 de Junio de 2015). *Lluvias en Cundinamarca causan inundaciones en Choconta, Suesca y Sesquile*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de <http://noticias.caracoltv.com/colombia/lluvias-en-cundinamarca-causan-inundaciones-en-choconta-suesca-y-sesquile>
- Cepal. (2012). *Valoración de daños y pérdidas*. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/47330/olainvernalcolombia2010-2011.pdf>
- Chow, V. T. (1983). *Hidraulica de los Canales Abiertos*. McGRAW-HILL.
- Construmatica. (2016). *Estación Total*. Obtenido de [http://www.construmatica.com/construpedia/Estaci%C3%B3n\\_Total](http://www.construmatica.com/construpedia/Estaci%C3%B3n_Total)

- Diaz Villaraga, J. A. (2013). *Uso de sistemas de información geográfica SIG para el análisis de procesos de remoción en masa dentro de zonas de alta vulnerabilidad, sector ciudad Bolívar, Bogotá*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Coursehero: <https://www.coursehero.com/file/11940063/GIS-5/>
- Ecoforest. (2014). *Elaboracion del Diagnostico, Prospectiva y formulacion de la Cuenca Hidrografica del rio Bogota*. Bogota.
- El Tiempo. (24 de Agosto de 2002). *Por qué se inundo Suesca*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1317336>
- Espectador, E. (01 de 07 de 2016). <http://www.elespectador.com/>. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de <http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/alerta-de-inundaciones-suesca-rompimiento-de-un-jarillo-articulo-641052>
- Felipe, G. K., & Corredor Rivera, J. (2014). *Analisis de crecientes en la cuenca alta del rio Bogota*. Bogota: ESIGN.
- Franco Idarraga, F. L. (2016). Restauración del Rio Bogotá. (<http://www.manizales.unal.edu.co/>, Entrevistador)
- Guzmán Krhone, F., & Corredor Rivera, J. (2014). *Analisis de Crecientes en la cuenca alta del río Bogotá utilizando métodos de valoración sintética*. Bogota.
- Ideam. (10 de Noviembre de 2016). *Amenazas inundación*. Obtenido de Ideam: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- Ltda., E. (201). *Elaboracion del Diagnostico, Prospectiva y Formulación de la cuenca hidrografica del río Bogota*. Bogota.
- Munera Brand, A. M., & Moreno Jaramillo, C. I. (1991). *Aplicación de los sistemas de información geográfica SIG, a los problemas de vulnerabilidad*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3260/>
- Posso Prado, H. A. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Bogotá, Colombia.: LG Consultores y Asociados S.A.
- Precipitaciones, meteorología y Climatología. (24 de 10 de 2016). *Emergencias en Colombia*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de Precipitaciones, meteorología y climatología.: <http://precipitacionesmeteoroyclimatologia.blogspot.com.co/2016/10/emergencias-en-colombia.html>

- RMz, M. (07 de Agosto de 2012). *Equipos Topograficos*. Recuperado el 11 de Octubre de 2016, de slideshare: <http://es.slideshare.net/karlamargotRMz/equipos-topograficos>
- Robayo Mejia, A. (2014). *Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito, desarrollado a través de Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de Universidad Católica: [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/3/Art%C3%ADculo\\_An%C3%A1lisis\\_Amenaza\\_Inundaci%C3%B3n\\_Tunjuelito.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1578/3/Art%C3%ADculo_An%C3%A1lisis_Amenaza_Inundaci%C3%B3n_Tunjuelito.pdf)
- Rojas, Ing. Robinson Villamil. (2013). Jarillones. Montería: Universidad del Sinú.
- Sig. (10 de Noviembre de 2016). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de <http://sig.cea.es>
- TodoSIG. (2016). *Los SIG y sus aplicaciones prácticas*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2016, de <http://www.todosig.es/9-mdt-y-tin.html>
- U.S.Army Corps of Engineers. (Mayo de 2005). HEC-RAS Users Manual, Version 3.1.3.
- Vargas Cuervo, G. (10 de 07 de 2015). Colombia no cumple con la restricción de actividades cerca a los ríos. (Sostenibilidad.semana.com, Entrevistador)
- Velez Upegui, J. I., & Correa Velazquez, P. L. (2002). *Sistema de Información Geográfica para apoyar la gestión del recurso hídrico en cuencas rurales*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4290/>
- Zapata Pardo, M. V., Martínez Zarate, C., & Carlos A. (2011). *Implementación de un sistema de información geográfica, sig, en el parque nacional natural farallones de cali*. Recuperado el 10 de 11 de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/23981/>