

**Pasantía Desarrollada en Veolia Aguas de Tunja S. A E.S.P; Modelación de Alternativas de manejo urbano en los distritos Soaquira y Cristales en el Software EpaSwmm**

**Nathalia Paola Pedroza Daza**

**COD: 2165572**

**Universidad Santo Tomás De Aquino**

**Facultad De Ingeniería Civil**

**Tunja**

**2019**

**Pasantía Desarrollada en Veolia Aguas de Tunja S. A E.S.P; Modelación de Alternativas de manejo urbano en los distritos Soaquira y Cristales en el Software EpaSwmm**

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

**Nathalia Paola Pedroza Daza**

**2165572**

**Director: Camilo Lesmes Fabian, PhD**

**Universidad Santo Tomás de Aquino**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Tunja**

**2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer principalmente al motor del mundo, el creador de todo, aquel que no me abandona en ningún camino y que me ha acompañado a lo largo de este importante trayecto de mi vida, a Dios.

A mi Mamá por su ayuda en este proceso tan valioso, su educación ha sido primordial en este proceso, por ser uno de los motores que me guía en mi vida, por sus consejos y su dirección en este camino.

A mi Papá por la gran fuerza que impuso en mí, para sobre pasar todo obstáculo por formarme en cada paso que he dado, por ser uno de los motores de mi vida.

A mis hermanos por ser la fuerza que me animaba a terminar este importante trayecto.

A mi familia por incorporarse en el proceso y estar siempre cuando lo necesite.

A los Ingenieros de la empresa Veolia Aguas de Tunja por brindarme el conocimiento, información y apoyo en el proceso de realización de pasantía.

A el Ingeniero Camilo Lesmes Fabián por hacer el seguimiento como tutor en la empresa.

A cada docente que acompañó mi proceso de formación en esta etapa y cultivó un gran conocimiento.

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Tunja, 2019**

## Tabla de Contenidos

1.	RESUMEN	10
2.	INTRODUCCIÓN	11
3.	OBJETIVOS	13
3.1	Objetivo General	13
3.2	Objetivos Específicos	13
4.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO	14
4.1	Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Soaquira	14
4.1.1	Diagnostico y problemática de la cuenca	15
4.1.2	Geomorfología de la cuenca	16
4.2	Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Cristales	17
4.2.1	Diagnóstico y problemática de la Cuenca	18
4.2.2	Geomorfología de la cuenca	18
4.3	Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Héroes	20
4.3.1	Diagnostico y problemática de la cuenca	21
4.3.2	Geomorfología de la cuenca	22
5.	Descripción de actividades desarrolladas	23
5.1	Depuración y revisión de 145 APU del presupuesto adicional ejecución obras de saneamiento básico.	25
5.2	Acompañamiento a instalación, programación y revisión de caudalímetro en diferentes puntos	25
5.3	Realización de proyecto drenaje urbano en la zona nororiental de Tunja en el distrito Soaquira	26
5.3.1	Planeación del proyecto:	27
5.3.2	Alcances:	27
5.4	Identificación de los aspectos legales:	27
5.4.1	Reglamentación general:	28
5.5	Metodología:	31
5.6	Identificación de la población en la cuenca Soaquira	35
5.7	Identificación de la población en la cuenca Héroes	38
5.8	Identificación de Población de la cuenca Cristales:	40
5.9	Visita de campo:	43

5.10	Problemática inundación frente a Bavaria:	45
5.11	Parámetros de Diseño para la modelación de redes existentes en las cuencas Soaquira, Cristales y Héroes:	46
5.12.	Redes de alcantarillado de aguas pluviales	48
5.13	Parámetros Requeridos por SWMM:	49
5.14	Coeficiente de Manning para el diseño	50
6.	APORTES DEL TRABAJO	52
6.1	Cognitivo:	52
6.1.1.	Geomática	52
6.1.2	Área geotécnica y de pavimento	53
6.1.3	Área de programación y presupuestos	54
6.2	Aportes realizados a la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.	54
6.2.1	Dirección y acumulación de flujo:	54
6.2.2.	Modelo red irregular de triángulos (TIN)	58
6.3	Realización de la lluvia de diseño requerida para la modelación en el programa EpaSwmm	61
6.4	Planteamiento de alternativas.	64
6.4.1	Cuenca Soaquira	64
6.4.2	Presupuesto para la red de drenaje planteada en la cuenca Soaquira:	67
6.4.3	Cuenca Cristales	71
6.5	Aporte a la comunidad:	73
7.	IMPACTOS	74
7.1	Impacto Social	74
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
9.	BIBLIOGRAFÍA	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Lista de tablas

Tabla 1	Parámetro Geomorfología de la cuenca Soaquira.....	16
Tabla 2	Parámetro factor de forma de la cuenca Soaquira .....	16
Tabla 3	Parámetro Geomorfología de la cuenca Cristales .....	18
Tabla 4	Parámetro Geomorfología de la cuenca Héroes .....	22
Tabla 5	Parámetro factor de forma de la cuenca Héroes .....	22
Tabla 6	Actividades desarrolladas durante la Pasantía en la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P .....	24
Tabla 7	Lista de actividades para el desarrollo del proyecto de alternativas de manejo urbano en los distritos Soaquira y Cristales de Tunja; <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 8	Norma constitucional .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 9	Reglamentación específica.....	29
Tabla 10	Modificación Excepcional Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tunja (MEPOT).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 11	Usos según áreas de protección .....	31
Tabla 12	Acuerdo Municipal No. 0016 del 28 de Julio de 2014; <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 13	Fases de la metodología planteada .....	33
Tabla 14	Número de usuarios por barrio cuenca Soaquira .....	37
Tabla 15	Número de usuarios por barrio cuenca Héroes.....	40
Tabla 16	Número de usuarios por barrio cuenca Cristales .....	42
Tabla 17	Parámetros para el diseño de redes .....	48
Tabla 18	Parámetros requeridos de subcuencas <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 19	Parámetros requeridos de conductos... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 20	Parámetros requeridos de nodos .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 21	Parámetros requeridos de pluviómetro <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 22	Coeficiente de Manning para la red de alcantarillado pluvial .....	51
Tabla 23	Coeficiente de Manning utilizados para la red de alcantarillado pluvial	51
Tabla 24	Parámetros Hietograma .....	62
Tabla 25	Topología de diseño.....	67

## **Lista de figuras**

Figura 1	Mapa de localización Soaquira .....	14
Figura 2	Localización cuenca Cristales .....	17
Figura 3	Localización Drenaje Héroes .....	20
Figura 4	Ubicación e instalación del caudalímetro en un pozo de inspección..	26
Figura 5	Reglamentación general .....	28
Figura 6	Usuarios cuenca Soaquira Tunja .....	35
Figura 7	Usuarios cuenca Soaquira dividido en barrios .....	36
Figura 8	Convenciones barrio Soaquira .....	36
Figura 9	Usuarios cuenca Héroes .....	38
Figura 10	Usuarios cuenca Soaquira dividido barrios .....	39
Figura 11	Convenciones Soaquira .....	39
Figura 12	Usuarios cuenca Cristales.....	41
Figura 13	Usuarios cuenca Soaquira dividido barrios .....	41
Figura 14	Convenciones Cristales.....	42
Figura 15	Box Culvert cuenca Soaquira .....	43
Figura 16	Box Culvert cuenca Soaquira .....	44
Figura 17	Inundación sector Bavaria .....	45
Figura 18	Periodos de retorno.....	46
Figura 19	Curvas IDF .....	47
Figura 20	Profundidad a las cotas claves del colector <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 21	Dirección y acumulación de flujo cuenca Soaquira .....	55
Figura 22	Dirección y acumulación de flujo cuenca Héroes .....	56
Figura 23	Dirección y acumulación de flujo cuenca Cristales.....	57
Figura 24	Modelo de red irregular de triángulos Soaquira (TIN) 2D.....	58
Figura 25	Modelo de red irregular de triángulos Soaquira (TIN) 3D.....	59
Figura 26	Modelo de red irregular de triángulos Héroes (TIN) 2D.....	59
Figura 27	Modelo de red irregular de triángulos Héroes (TIN) 3D.....	60
Figura 28	Modelo de red irregular de triángulos Cristales (TIN) 2D .....	60
Figura 29	Modelo de red irregular de triángulos Cristales (TIN)3D .....	61
Figura 30	Hietograma tiempo estimado 1 hora, cada 5 minutos .....	63

Figura 31	Modelación cuenca Soaquira en EpaSwmm .....	64
Figura 32	Tubería de diseño planteada para dar solución a la inundación en el distrito Soaquira .....	65
Figura 33	Topografía de diseño distrito Soaquira.....	66
Figura 34	Diseño sumidero combinado.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 35	Modelación Epa Swmm de todo el distrito cristales .....	71
Figura 36	Identificación de zonas las cuales excedieron su capacidad en el tramo identificado.....	72
Figura 37	Topografía de diseño distrito Cristales .....	73

## 1. RESUMEN

El sistema de drenaje urbano de Tunja posee elementos dados por formaciones naturales de la ciudad los cuales hacen parte importante del sistema de alcantarillado, conformado por zanjones y cárcavas, el cual procede a encargarse de evacuar las aguas lluvias principalmente provenientes de las zonas altas de la ciudad hasta el río Jordán, para continuar con la recepción de todos los residuos orgánicos e industriales de la ciudad y sus zonas aledañas, este sistema de drenaje fue eficiente en el momento que lo poseía la ciudad.

Al paso del tiempo este sistema de drenaje se empezó a afectar por diferentes causas, entre estas se encuentra el crecimiento urbanístico descontrolado y acelerado de la ciudad. Debido a la falta de planeación, estas Obras han venido generando inconvenientes en el sistema de drenaje de Tunja ya que se están realizando en zonas identificadas con huellas de inundación, especialmente en los barrios: Quintas, Quince de mayo, pozo de Donato entre otros lo que genera la obstrucción o desviación de zanjones y cárcavas, lo que permite que no haya buena retención de aguas lluvias provenientes de las zonas altas de la ciudad, debido a la reducción de área de drenaje a la que se ha venido sometiendo Tunja.

Es por esta razón que para la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P es importante tener el proyecto drenaje urbano en la ciudad de Tunja, el cual fue asignado al pasante en la delimitación de los distritos Soaquira y Cristales. Finalizando con el planteamiento de soluciones en la zona crítica del distrito, donde se abarca especialmente problemas de inundación.

El proyecto de drenaje urbano en la ciudad de Tunja consta en tres fases principales: La realización de recolección de información primaria, la realización de visitas de campo al distrito para la verificación de el adecuado funcionamiento del sistema existente, la modelación del sistema de drenaje pluvial existente en el distrito a estudiar para así finalizar con el planteamiento de soluciones en las zonas críticas del distrito.

La empresa Veolia Aguas de Tunja asigna otras actividades al pasante importantes para el aprendizaje de este, entre las cuales se desarrolló visitas de campo para la programación de caudalímetros ubicados en diferentes puntos de la ciudad, los cuales arrojaban resultados de caudal, velocidades y niveles.

Palabras clave: Cuenca de drenaje, Modelación, Epa Swmm, inundaciones y sistema de drenaje pluvial

## 2. INTRODUCCIÓN

Tunja siendo la capital de Boyacá, departamento que se encuentra ubicado en la zona centro oriental del país, recorrido de sur a norte por la cordillera oriental, genera un complicado sistema topográfico que permite todos los picos térmicos, esto sumado al crecimiento urbanístico descontrolado y la mala planeación de las construcciones de infraestructura sobre zanjas o cárcavas haciendo que se eleven los caudales pico y se amplíe el desarrollo en la presión de los alcantarillados, lo cual genera episodios de inundaciones principalmente cuando se originan fuertes eventos de precipitación en la ciudad.

Estas inundaciones también se deben a la acumulación de sedimentos en tramos de baja pendiente, ocasionando taponamientos en elementos principales del sistema de alcantarillado de la ciudad como lo son los sumideros. Estos factores hacen que se limite el desarrollo social, económico y ambiental de la ciudad lo cual genera la necesidad de proponer soluciones para brindar condiciones estables a la población de la ciudad principalmente en las zonas afectadas de los distritos Soaquira y Cristales de Tunja,

Dichos distritos pertenecen a la zona nororiental de Tunja y por las condiciones topográficas del terreno se recibe todo el caudal proveniente de las partes altas de la ciudad. Es por esta razón que la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P, toma la decisión de implementar el proyecto alternativas de manejo urbano de la zona nororiental de Tunja en los distritos Soaquira y Cristales con el objeto de efectuar las medidas necesarias para ayudar a mitigar los problemas generados por la escorrentía superficial de las cárcavas. Conociendo por medio de visitas y modelaciones el comportamiento de las redes para así identificar las áreas de conflicto y poder plantear alternativas de solución viables.

Mejorando así la calidad del servicio prestado y ayudando al desarrollo de la ciudad, llegando a generar impactos ambientales, sociales y económicos, positivos. Esto por medio de diferentes herramientas como lo son: EpaSwmm y ArcGIS. Cabe aclarar que las soluciones planteadas en el desarrollo de la pasantía fueron determinadas por el pasante en compañía del jefe y auxiliar de ingeniera a cargo del área de diseño y construcción.

Estas alternativas de diseño son desarrolladas mediante la modelación de la red de drenaje pluvial existente, la cual se apoya de la base de datos de las comunicaciones nacionales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) que cuenta con herramientas científicas para la toma de decisiones y, la base de datos de catastro de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P de donde se extraen datos topográficos para la modelación de la red como lo son profundidades, cotas y longitudes de los pozos y tuberías del sistema. Siendo también sostenidas por el SIG proporcionado por la empresa y la creación de shapfiles en el software ArcGis tales como la acumulación de flujo y modelos irregulares de triángulos (TIN) para así plantear una solución más específica al problema encontrado en los distritos Soaquira y Cristales de Tunja.

El presente trabajo se limita y se centre en la solución de alternativas de drenaje urbano pluvial mediante software netamente académico para así proceder al análisis por parte de los altos directivos de la empresa Veolia Aguas de Tunja, sus debidas correcciones y la construcción de las mismas; esto siempre con el acompañamiento del jefe y auxiliar del área de diseño y construcción.

Finalmente la pasantía estuvo acompañada de diferentes actividades asignadas como lo fueron el acompañamiento a la instalación y al seguimiento del caudalímetro Flo Dar, realizando diferentes visitas de campo, también se realizan diferentes trabajos extras como lo son la delimitación, geomorfología y modelación de las tuberías existentes en el programa EpaSwmm del distrito Heroes las cuales se encuentran descritas a lo largo del presente trabajo.

### **3. OBJETIVOS**

#### 3.1 Objetivo General

Modelar en el programa EpaSwmm una solución óptima a los problemas de drenaje pluvial urbano para el distrito Soaquira así como el distrito Cristales ubicados en la zona Nor-oriental de la ciudad de Tunja.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de la red de drenaje existente en los Distritos Soaquira y Cristales de la ciudad de Tunja por medio del programa EpaSwmm
- Plantear la solución a los problemas de inundación identificados en el distrito Soaquira y Cristales.
- Ejecutar los respectivos presupuestos para cada zona, identificando el impacto económico que genera la solución propuesta a mitigar el problema de drenaje urbano en los distritos a estudiar de la ciudad de Tunja.

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO

Las zonas donde se desarrolló el proyecto fueron el distrito Soaquira y Cristales ubicadas en la zona nororiental de Tunja. Sin embargo se realizó la descripción y modelación del distrito Héroes aclarando que este distrito no tuvo ninguna alternativa de solución de inundación y debido a esto no se hace énfasis en el mismo en el proyecto ya que no hacía parte de las funciones del pasante sin embargo se realiza como aporte a la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P y permite la solución rápida del próximo colaborador a cargo del proyecto. A continuación se describen las zonas de Soaquira, Cristales y Héroes.

##### 4.1 Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Soaquira

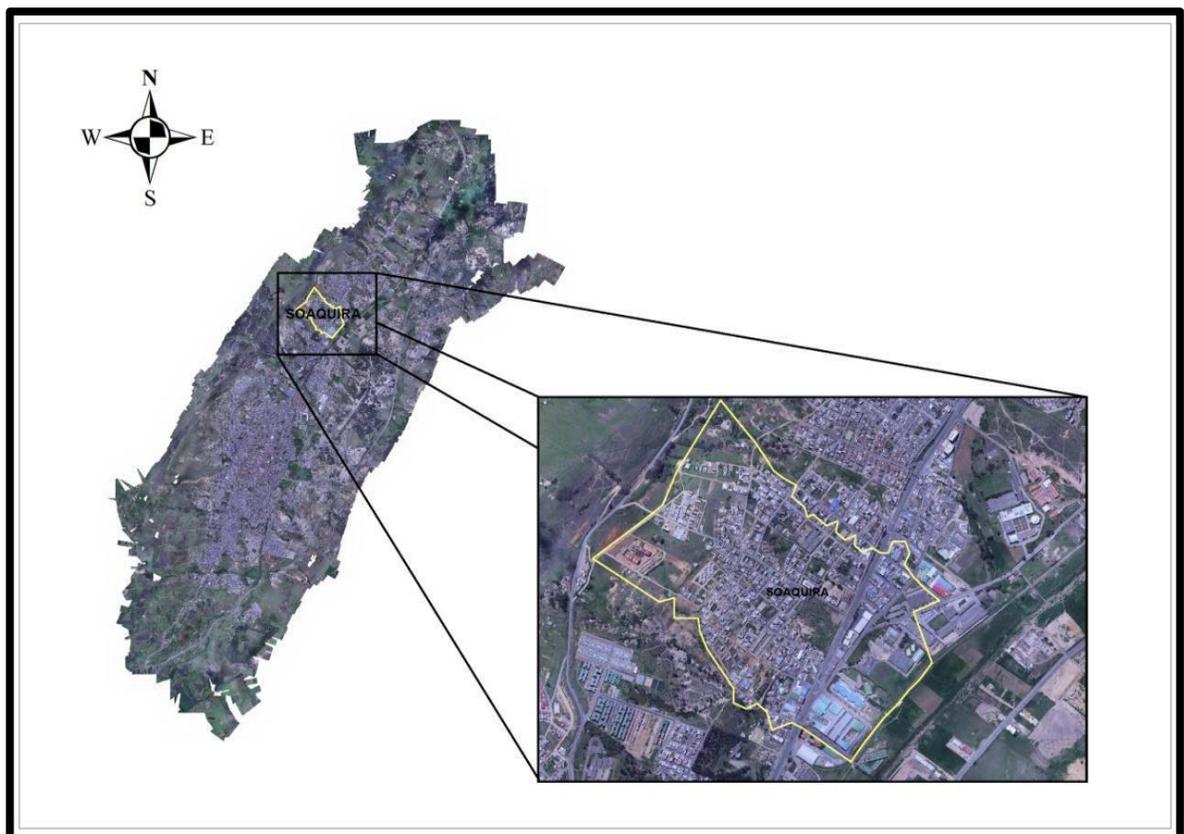


Figura 1 Mapa de localización Soaquira

Fuente. Veolia Aguas de Tunja

La cuenca Soaquira se localiza en la parte norte de la ciudad de Tunja, hacia el costado oriental de la avenida Norte, limita al sur con los barrios José Joaquín Camacho y Héroes y por una serie de lotes baldíos, al norte por La Granja, Villa Toledo y Santa Jacoba de Porto, así como por una serie de lotes, la parte occidental limita con la cuchilla de montaña y en su parte oriental se encuentra la avenida Norte, en esta zona la cuenca reduce considerablemente su ancho, y entrega caudal a un box, que dirige las aguas a través de predios de la Electrificadora. La cuenca como tal está constituida por área construida de más del 80%, lo cual representa un gran aporte al momento de calcular la escorrentía superficial, esto debido a que estas construcciones impiden el paso normal del agua. Se puede determinar según referencias de la empresa Veolia aguas de Tunja S.A E.S. P que en la cuenca se presenta en su mayoría alcantarillado combinado

El eje de la cuenca está constituido por una gran cárcava que se desarrolla casi desde la vía a Moniquirá y atraviesa hasta la parte final. De acuerdo con la morfología de la cuenca, esta puede dividirse en dos zonas principales, la primera localizada aguas arriba de la vía que conduce hacia Moniquirá, que se desplaza hasta la cuchilla de la montaña, y la segunda localizada entre la misma vía y la avenida norte. Estas dos zonas están comunicadas por medio de un box que transporta los caudales de escorrentía desde la cárcava localizada en el área I hasta la zona II

#### 4.1.1 Diagnostico y problemática de la cuenca

Debido a la geología de la zona, la cuenca Soaquira se encuentra en depósitos coluviales del cuaternario (Qc) y la otra parte está ubicada en la formación Bogotá (Tb) lo que indica que el suelo es compuesto por arcillolitas rojizas y grises con ocasionales alternancias de areniscas gris rojizas, amarillas y arcillolitas limosas color amarillo.

La presencia de arcillas en el suelo permiten las formaciones de cárcavas, por esta razón esta cuenca está compuesta por una cárcava bastante profunda y erosionada la cual recibe la totalidad del caudal de escorrentía producido en la cuenca, su alto grado de aridez permite la aparición de grandes picos en los caudales de escorrentía esto sumado a la alta pendiente con la que cuenta el terreno y carencia de cubrimiento vegetal debido al crecimiento urbanístico descontrolado hacen que esta zona se vuelva una zona crítica ya que es un potencial de erosión.

#### 4.1.2 Geomorfología de la cuenca

Basado en los parámetros arrojados por el software ArcGIS se obtienen los siguientes datos:

*Tabla 1 Parámetro Geomorfología de la cuenca Soaquira*

Área de la cuenca	567415.03 m <sup>2</sup> o 0.567 Km <sup>2</sup>
Perímetro de la cuenca	3697.081 m o 3.697 Km
Longitud Axial	1212.280 m o 1.212 Km (Distancia entre la desembocadura de la cuenca y el punto más alejado de la misma)
Ancho máximo	638.118m o 0.638Km

*Tabla 2 Parámetro factor de forma de la cuenca Soaquira*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ECUACIÓN TEÓRICA</b>	<b>ECUACIÓN CON VALORES</b>	<b>RESULTADO</b>
Ancho Promedio	$\frac{(Área\ cuenca)}{(Longitud\ axial)}$	$\frac{(567415.03\ m^2)}{(1212.280\ m)}$	468.05 m
Factor de forma:	$\frac{(Ancho\ Promedio)}{(Longitud\ axial)}$	$\frac{(468.05\ m)}{(1212.280\ m)}$	0.38
Coefficiente de compacidad:	$0.28 * \frac{(Perímetro\ Cuenca)}{\sqrt{(Area\ Cuenca)}}$	$0.28 * \frac{(3697.081\ m)}{\sqrt{(567415.032m^2)}}$	1.37
Índice de alargamiento	$\frac{(Longitud\ axial)}{(Ancho\ Máximo)}$	$\frac{1212.280m}{725.31m}$	1.67
Índice de homogeneidad	$\frac{(Área\ de\ la\ cuenca)}{(Longitud\ axial * Ancho\ Máximo)}$	$\frac{(567412.03\ m^2)}{(1212.80\ m * 638.118m)}$	0.73

Estos valores son predeterminados para saber el comportamiento de la cual de lo cual atiende que el coeficiente de compacidad al ser mayor que 1 posee una forma casi circular en este caso oval redonda a oval oblonga, esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales (1)

Para el factor de forma obtenemos un valor de 0.38 el cual indica que la cuenca ni alargada ni ensachada. Lo que indica baja susceptibilidad a las avenidas.

El índice de alargamiento al ser mayor a 1 indica que la cuenca es achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

El índice de homogeneidad al indicar un valor de 0.73 indica que el cauce principal es bastante recargado a una de las vertientes (2)

#### 4.2 Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Cristales

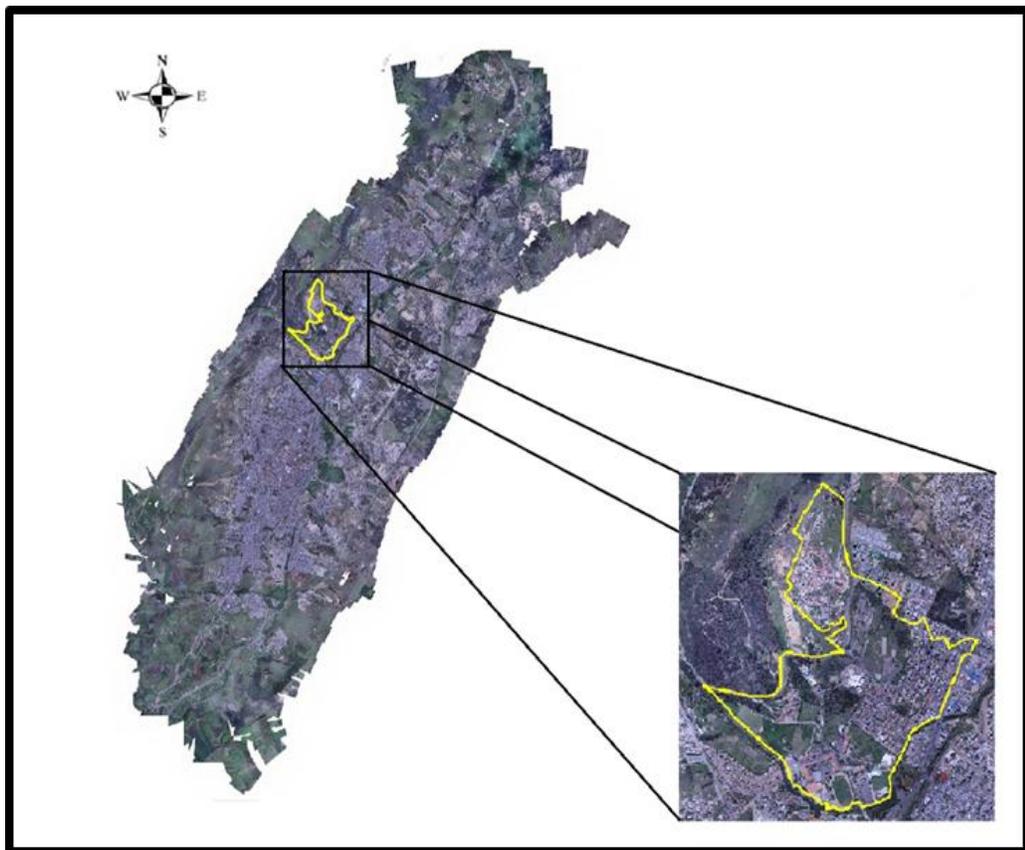


Figura 2 Localización cuenca Cristales

Fuente: Veolia Aguas de Tunja

La cuenca Cristales se localiza en la parte norte de la ciudad de Tunja, hacia el costado oriental de la avenida Norte, limita al sur con el barrio los lirios y villa universitaria, al norte por La María y rincón de la maría, así como por una serie de lotes, la parte occidental limita con la cuchilla de montaña y en su parte oriental se encuentra el barrio Pozo Donato y Santa Inés.

La cuenca como tal está constituida por área construida de más del 90%, lo cual representa un gran aporte al momento de calcular la escorrentía superficial, esto debido a que estas construcciones impiden el paso normal del agua. Se puede determinar según referencias de la empresa Veolia aguas de Tunja S.A E.S. P que en la cuenca se presenta en su mayoría alcantarillado combinado. El distrito Cristales ha sufrido un alto crecimiento en los últimos años propiciado por el desarrollo urbanístico dado en el norte de la ciudad, para este sector se evidencia la construcción de edificios multifamiliares.

#### 4.2.1 Diagnóstico y problemática de la Cuenca

En la cuenca cristales se encuentra el sistema de cárcava denominado San Rafael el cual limita al norte con el costado noroccidental del barrio San Rafael, al sur con el río La Vega al nivel del barrio La María, al oriente con predios de la U.P.T.C (bosque), y al occidente con el barrio la colina y predios de la U.P.T.C. El área de esta cárcava presenta un porcentaje de Erosión de 8.95% y una pendiente de 26.1%. Debido al alto crecimiento urbanístico en el distrito y la pendiente y erosión que posee la cárcava, hace que esta se vuelva una zona crítica y de estudio permanente.

#### 4.2.2 Geomorfología de la cuenca

Basado en los parámetros arrojados por el software ArcGIS se obtienen los siguientes datos:

Tabla 3 Parámetro Geomorfología de la cuenca Cristales

Área de la cuenca	la cuenca tiene un área de 748009.39 m <sup>2</sup> o 0.748 Km <sup>2</sup>
-------------------	---

Perímetro de la cuenca	5568.61 m o 5.568 Km
Longitud Axial	1480.3063 m o 1.480 Km (Distancia entre la desembocadura de la cuenca y el punto más alejado de la misma)
Ancho máximo	966.41m o 0.966Km

Tabla 4. Parámetro factor de forma de la cuenca Cristales

PARAMETRO	ECUACIÓN TEÓRICA	ECUACIÓN CON VALORES	RESULTADO
Ancho Promedio	$\frac{(\text{Área cuenca})}{(\text{Longitud axial})}$	$\frac{(748009.39 \text{ m}^2)}{(1480.306 \text{ m})}$	505.31m
Factor de forma:	$\frac{(\text{Ancho Promedio})}{(\text{Longitud axial})}$	$\frac{(505.31 \text{ m})}{(1480.306 \text{ m})}$	0.34
Coefficiente de compacidad:	$0.28 * \frac{(\text{Perímetro Cuenca})}{\sqrt{(\text{Area Cuenca})}}$	$0.28 * \frac{(5568.61 \text{ m})}{\sqrt{(748009.39 \text{ m}^2)}}$	1.80
Índice de alargamiento	$\frac{(\text{Longitud axial})}{(\text{Ancho Máximo})}$	$\frac{1480.30 \text{ m}}{966.41 \text{ m}}$	1.53
Índice de homogeneidad	$\frac{(\text{Área de la cuenca})}{(\text{Longitud axial} * \text{Ancho Máximo})}$	$\frac{(748009.39 \text{ m}^2)}{(1480.30 \text{ m} * 966.41 \text{ m})}$	0.52

Estos valores son predeterminados para saber el comportamiento de la cual de lo cual atiende que el coeficiente de compacidad al ser mayor que 1 posee una forma casi circular en este caso oval oblonga a rectangular oblonga, esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales (1)

Para el factor de forma obtenemos un valor de 0.34 el cual indica que la cuenca es ligeramente alargada. Lo que indica baja susceptibilidad a las avenidas.

El índice de alargamiento al ser mayor a 1 indica que la cuenca es achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

El índice de homogeneidad al indicar un valor de 0.52 indica que el cauce principal es bastante recargado a una de las vertientes (2)

#### 4.3 Determinación y localización de la Cuenca de drenaje Héroes

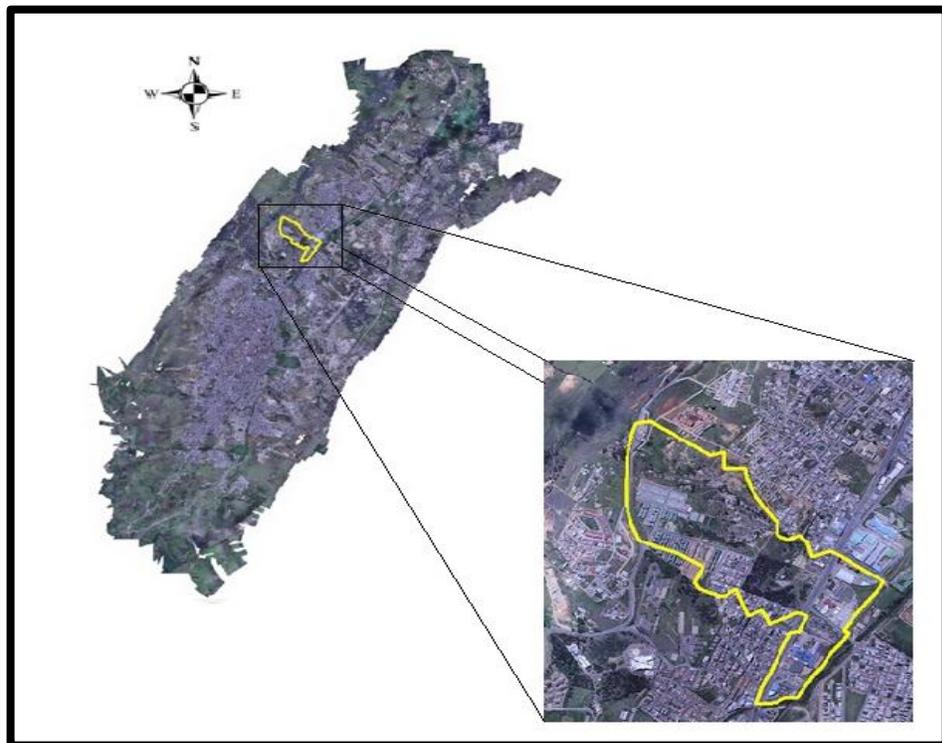


Figura 3 Localización Drenaje Héroes

Fuente: Veolia Aguas de Tunja

La cuenca Héroes se localiza en la parte norte de la ciudad de Tunja, hacia el costado oriental de la avenida Norte, limita al sur con el barrio Cristales, Las quintas y por una serie de lotes baldíos, al norte por La Granja y altos de San Diego, así como por una serie de lotes, la parte occidental limita con la cuchilla de montaña y en su parte oriental se encuentra la avenida Norte. La cuenca como tal está constituida por área construida de más del 90%, lo cual representa un gran aporte al momento de calcular la escorrentía superficial, esto debido a que estas construcciones impiden el paso normal del agua. Se puede determinar según referencias de la empresa Veolia aguas de Tunja S.A E.S. P que en la cuenca se presenta en su mayoría alcantarillado combinado.

En lo relacionado con estructuras naturales de drenaje, el distrito está limitado en la parte nororiental por el río Jordán, principal sistema de drenaje de la ciudad. En el sector occidental del distrito es posible encontrar vestigios de formaciones de drenaje natural de nivel secundario como cárcavas y zanjonés, sistema denominado zanjón Héroes.

#### 4.3.1 Diagnóstico y problemática de la cuenca

Debido a la geología de la zona, la cuenca Héroes se encuentra en un 37,5% por la formación Bogotá, esta formación se compone de una sucesión de arcillolitas abigarradas que conforman horizontes más o menos gruesos y que van separándose por bancos de arenisca arcillosa blanda con alto contenido de óxido en la parte del conjunto superior de la formación.

En un 20.2% por el depósito Fluvio-Lacustre, la cual se encuentra formando los valles del Río Chulo y de la quebrada la Cascada, su composición varía lateralmente, así como la granulometría de sus elementos, lo que refleja la variación de la intensidad de las corrientes hídricas que la depositaron. En un 42.3% se encuentran depósitos coluviales los cuales están ubicados principalmente en la parte baja. La matriz en la que se hallan embebidos es generalmente arcillosa y limo-arenosa. La presencia de arcillas en el suelo permite la formación de cárcavas, lo que indica también amenaza de erosión en el área de influencia de la cárcava debido a esto la zona se hace crítica. El tipo de suelo en la parte erosionada de la cárcava es arenoso lo que permite aumentar la infiltración y por ende recargar el acuífero.

#### 4.3.2 Geomorfología de la cuenca

Basado en los parámetros arrojados por el software ArcGIS se obtienen los siguientes datos:

*Tabla 4 Parámetro Geomorfología de la cuenca Héroes*

• Área de la cuenca:	la cuenca tiene un área de 390755.65 m <sup>2</sup> o 0.390 Km <sup>2</sup>
• Perímetro de la cuenca	3729.7610 m o 3.729 Km
• Longitud Axial	1138.588 m o 1.138 Km (Distancia entre la desembocadura de la cuenca y el punto más alejado de la misma)
• Ancho máximo	661.315 m o 0.661 Km

*Tabla 5 Parámetro factor de forma de la cuenca Héroes*

PARAMETRO	ECUACIÓN TEÓRICA	ECUACIÓN CON VALORES	RESULTADO
Ancho Promedio	$\frac{(\text{Área cuenca})}{(\text{Longitud axial})}$	$\frac{(390755.65 \text{ m}^2)}{(1138.58 \text{ m})}$	343.195 m
Factor de forma:	$\frac{(\text{Ancho Promedio})}{(\text{Longitud axial})}$	$\frac{(343.195 \text{ m})}{(1138.58 \text{ m})}$	0.30
Coficiente de compacidad:	$0.28 * \frac{(\text{Perímetro Cuenca})}{\sqrt{(\text{Area Cuenca})}}$	$0.28 * \frac{(3729.7610 \text{ m})}{\sqrt{(390755.65 \text{ m}^2)}}$	1.67
Índice de alargamiento	$\frac{(\text{Longitud axial})}{(\text{Ancho Máximo})}$	$\frac{(1138.588 \text{ m})}{(661.315 \text{ m})}$	1.72
Índice de homogeneidad	$\frac{(\text{Área de la cuenca})}{(\text{Longitud axial} * \text{Ancho Máximo})}$	$\frac{(390755.65 \text{ m}^2)}{(1138.588 \text{ m} * 661.315 \text{ m})}$	0.51

Estos valores son predeterminados para saber el comportamiento de la cual de lo cual atiende que el coeficiente de compacidad al ser mayor que 1 posee una forma casi circular en este caso oval oblonga a rectangular oblonga, esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán iguales (1)

Para el factor de forma obtenemos un valor de 0.30 el cual indica que la cuenca es ligeramente alargada. Lo que indica baja susceptibilidad a las avenidas.

El índice de alargamiento al ser mayor a 1 indica que la cuenca es achatada y por lo tanto el cauce principal es corto

El índice de homegeneidad al indicar un valor de 0.51 indica que el cauce principal es bastante recargado a una de las vertientes (2)

## 5. Descripción de actividades desarrolladas

En este capítulo se hará una descripción de las actividades desarrolladas durante la pasantía la cual corresponde a un cronograma que se observa en la tabla 7. Esto incluye actividades fuera del proyecto asignado debido a que la empresa Veolia Aguas de Tunja requería Acompañamiento en otras áreas. Se dividirá en cuatro fases principales: Ejecución del proyecto, Metodología, reglamentación y Modelación de redes en el programa EpaSwmm.

*Tabla 6 Actividades desarrolladas durante la Pasantía en la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P*

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO EN HORAS</b>
Depuración y revisión de 145 APU	Se hace la ubicación de 145 APU en tres plataformas: Precios de la gobernación, Veolia Aguas de Tunja y Construidita	18 horas
Acompañamiento a instalación, programación y revisión de caudalímetro en diferentes puntos	Se realizan visitas de acompañamiento a instalación de caudalímetro en diferentes pozos de inspección de la ciudad para luego realizar la respectiva programación en el software.	60 horas
Visita de inspección a los pozos profundos existentes en el sur y norte de la ciudad de Tunja	se realiza la visita a los pozos de inspección para así realizar monitoreo de bombeo con tomas de nivel con sonda (Anexo bitácora)	9 horas
Realización de proyecto drenaje urbano en la zona nororiental de Tunja	Se realizó el proyecto de alternativas de manejo urbano en los distritos Soaquira y cristales y la identificación del distrito Héroes, para este proyecto se determina una tabla de actividades y horas que se puede	717 horas

	observar en la tabla 2. determinado por la empresa Veolia aguas de Tunja.	
Asistencia a conferencias, capacitaciones y actividades requeridas por la casa matriz de la empresa Veolia Aguas de Tunja	se realizó la asistencia a conferencia actividades y capacitaciones que requería y ordenaba la casa matriz de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P	30 horas
Total		783 horas

#### 5.1 Depuración y revisión de 145 APU del presupuesto adicional ejecución obras de saneamiento básico.

En este proceso se realizó la comparación por medio de tres plataformas las cuales fueron Precios de la gobernación, Construdata y precios de Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P, Anexo bitácora 2 y 3 , donde se encuentran inconsistencias en precios de mano de obra y rendimiento. seguido de esto se hace la depuración de APU para así entregar la actividad al ingeniero a cargo de obras civiles para su respectiva revisión y confrontación con el contratista.

#### 5.2 Acompañamiento a instalación, programación y revisión de caudalímetro en diferentes puntos

Se realizo el respectivo acompañamiento a la cuadrilla a que hiciera ingreso al pozo y realizara la instalación del caudalímetro, esto con los debidos EPP (equipos de protección personal) y con acompañamiento del jefe, directo al culminar el proceso de instalación se realizaba la programación al software del mismo (Función realizada por el pasante) esto debido a que el equipo es un caudalímetro Flodar que cuenta con dos sensores, el sensor de velocidad y el sensor de nivel, junto con el logger o registrador de datos de flujo, este registrador debe ser programado por medio del software.

Este equipo cuenta con un alto nivel de precisión donde, caudal, nivel, velocidades, contiene alerta de inundación entre otras funciones, para que el equipo fuera calibrado correctamente se debe realizar las siguientes fases:

- a) Ingreso al pozo
- b) Medición de diámetro horizontal, vertical y diagonal de la tubería
- c) Medición de Lámina de agua
- d) Medición de nivel desde la lámina de agua hasta el chasis del equipo

Para culminar el proceso con la recopilación e ingreso de la información al software. esta actividad está sujeta al anexo (bitácora).

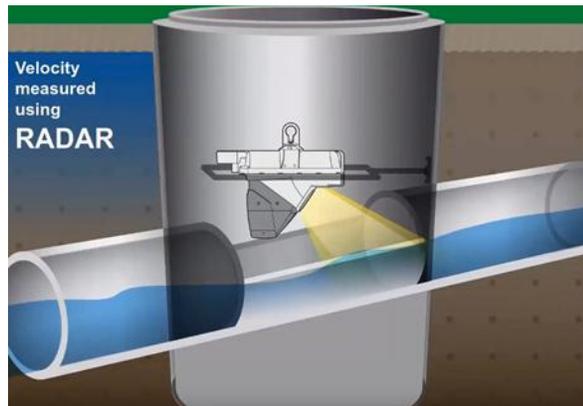


Figura 4 Ubicación e instalación del caudalímetro en un pozo de inspección

Fuente: Manual DS HASH FLO DAR

### 5.3 Realización de proyecto drenaje urbano en la zona nororiental de Tunja en el distrito Soaquira

Debido a que este proyecto fue el énfasis a lo largo del desarrollo de la pasantía, la empresa Veolia Aguas de Tunja determina una serie de actividades específicas para el desarrollo del proyecto. Esta lista de actividades permite un desarrollo adecuado y competente del mismo el cual culmina con un informe presentado a la empresa. Observar Anexo 1

Esta lista de actividades fue desarrollada satisfactoriamente para cada Distrito y están soportadas y anexadas en las bitácoras. A continuación se explica detalladamente el desarrollo de las actividades.

#### 5.3.1 Planeación del proyecto:

En esta etapa se realiza el protocolo del proyecto donde se divide en subetapas la cual se plantea la formulación del problema donde se identificaron las razones puntuales y la pregunta de análisis del proyecto, determinado esto se realiza la justificación y se determinan los objetivos a desarrollar.

#### 5.3.2 Alcances:

Los alcances son definidos para la elaboración de un estudio netamente académico rigiéndose en la culminación del proyecto con un resultado de alternativa de solución para cada distrito, teniendo en cuenta las redes de drenaje existentes en los distritos Soaquira y Cristales

a) Alcance social: Las alternativas planteadas deben presentar soluciones que permitan el desarrollo y la estabilidad del ser humano, esto logrado por medio del análisis del drenaje urbano, para así reducir la vulnerabilidad de la zona a estudiar frente a diferentes eventos como las inundaciones.

b) Alcance temporal: Su duración es definida en el anexo del cronograma de actividad, sin embargo se prestará apoyo a la empresa durante 4 meses empezando el 10 de septiembre del 2018.

c) Alcance espacial: La zona principal de estudio serán 2 distritos de drenaje de la ciudad: Soaquira y Cristales, esto debido a la vulnerabilidad encontrada en esta zona ya que reciben todo el caudal que proviene las zonas altas de la ciudad de Tunja

#### 5.4 Identificación de los aspectos legales:

En esta actividad se pide realizar la recolección de las normas vigentes que incurrirán en el desarrollo del proyecto.

### 5.4.1 Reglamentación general:

En la presente reglamentación se indica algunas de las normas que deben tenerse en cuenta para el desarrollo del proyecto “alternativas de manejo urbano de la zona nororiental de Tunja en cuatro distritos. (Soaquira, Héroes, Cristales)”, así mismo, se consignan los alcances básicos y finalmente un procedimiento recomendado para la elaboración según el POT.

Es de importancia mencionar las entidades del orden municipal, regional y actores sociales, que se relacionan activamente durante el desarrollo y aplicación del proyecto; como son:



Figura 5 Reglamentación general

Fuente: Autor

#### a) Norma constitucional:

La Constitución política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes artículos: Artículo 8, artículo 78, artículo 79, artículo 80, artículo 95, artículo 365 y artículo 366

Para la reglamentación específica se determinaran las siguientes normas. Observar tabla 7

*Tabla 7 Reglamentación específica*

<b>Planes y políticas</b>	
LEY 152 DE 1994	Ley orgánica de planeación.
ACUERDO DEL CONSEJO NACIONAL AMBIENTAL (1996)	Lineamientos de la política para el manejo integral del agua.
DOCUMENTO CONPES 3463/2007	Planes departamentales de agua y saneamiento para el manejo empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo.
DOCUMENTO CONPES 3383/2005	Plan de Desarrollo del Sector de Acueducto y Alcantarillado
DECRETO 302 DE 2000: ESP-Usuarios.	Reglamentación relación ESP-Usuarios. Orientar la planificación, diseño, construcción, supervisión, técnica, operación, mantenimiento y seguimiento de estos sistemas y sus componentes. Incluye todo lo establecido en este título.
RESOLUCION 0330 DEL 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”
LEY 9 DE 1989:	Desarrollo municipal, compra y expropiación de bienes.
LEY 2 DE 1991:	Modificación Ley 9 de 1989.
LEY 388 DE 1997:	Modificación Ley 9 de 1989.
<b>TÉCNICAS E INSTITUCIONALES</b>	
LEY 142 DE 1994	Servicios públicos Domiciliarios.
DECRETO 302 DE 2000:	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
LEY 286 DE 1996:	Modifica la Ley 142 de 1994. Periodo de ajuste.
LEY 632 DE 2000:	Modifica la Ley 142 de 1994, Subsidios y Periodos de ajuste.
LEY 373 DE 1997:	Ahorro y uso eficiente del agua
<b>Ambientales</b>	
DECRETO 1594 DE 1984	Vertimiento de agua residual y usos del agua.
LEY 99 DE 1993	Crea el Sistema Nacional Ambiental y el Ministerio del Medio Ambiente.

DECRETO 1594 DE 1994	Licencias Ambientales.
DECRETO 901 DE 1998	Implementación de tasas retributivas por vertimientos líquidos puntuales.
RESOLUCION 372 DE 1998:	Reglamentación decreto de tasas retributivas, establece el monto de tasas mínimas.
RESOLUCION 0330 DEL 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”
Decreto 2811 de 1974	Artículo 8, artículo 35 y artículo 181
Resolución 170 de 2009	Por el cual se adoptan medidas para la conservación y protección de los suelos en el territorio nacional.  DECRETO 3930 de 2016 DECRETO 2041 DE 2014 DECRETO 1076 DE 2015

b) Modificación Excepcional Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tunja (MEPOT)

Dentro de los artículos que están contenidos en el Acuerdo Municipal No. 014 de 2001, por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tunja, y que son importantes para el desarrollo del presente proyecto se tienen los siguientes artículos: Artículo 22 numeral 7, artículo 62, artículo 121, artículo 125, artículo 127, artículo 132, artículo 135, artículo 137, artículo 167 y artículo 327.

Tabla 8 Usos según áreas de protección

Código	Uso Principal	Uso Compatible	Uso Condicionado	Uso Prohibido
UENPr3v	Protección ambiental. Recuperación ambiental.	Recreativo pasivo.	En turismo. Manifestaciones culturales Recreativo activo Ubicación de infraestructura de servicios públicos.	Deportivo. Equipamiento arqueológico. Equipamiento turístico. Equipamiento cultural. Equipamiento Histórico Ferias. Equipamiento comunal.

Dentro de los artículos que están contenidos en el Acuerdo Municipal No. 0016 del 28 de Julio de 2014, por medio del cual se modifican excepcionalmente las normas urbanísticas del POT del Municipio de Tunja adoptado mediante Acuerdo Municipal No. 0014 del 2001 y que son importantes para el desarrollo del presente proyecto se tienen los siguientes: Artículo 8, Numeral 7, artículo 23 y artículo

#### 5.5 Metodología:

El proyecto se divide en dos fases principales las cuales abarcan la totalidad del proyecto. Cada rama se divide en una secuencia lógica de fases que será realizado por cada distrito de drenaje, sus fases son:

- a) Ejecución de diseño: En la cual se llevará a cabo todo lo pertinente a recolección de información primaria y secundaria necesaria para definir el perfil y las características globales por cada uno de los cuatro distritos a estudiar, el cual se subdivide en las siguientes fases.

i. Aproximación preliminar: Actualización inicial de catastro: Verificación en planos de los cambios relevantes de la información actual en SIG.

Verificación carpeta Análisis hidrológico y optimización hidráulica de las cárcavas. Corresponde a la revisión y armado de la carpeta del distrito respectivo, con base a los informes ya configurados.

ii. Delimitación distrito. Se refiere a la aproximación en campo de la línea de delimitación del distrito tanto en términos de divisorias de drenaje de alcantarillado como de divisorias de cuenca de drenaje pluvial. Se debe resaltar que durante esta actividad se definen las áreas de drenaje hasta línea isócrona para caso pluvial y/o combinado.

- b) Desarrollo del proyecto: Corresponde a todas las actividades dirigidas a la sub-sectorización y micro-sectorización de acuerdo con el criterio de tramos primarios, secundarios y terciarios del sistema, configurándose de esta manera distritos básicos de drenaje pluvial.

Esta actividad se desarrolla esencialmente en campo con la verificación de las divisorias entre micro-distritos. Con la verificación se hará un inventario de impactos, se delimitará la ronda y se detectarán las descargas y vertimientos a cielo abierto.

- c) Diagnóstico: Actividad en la que los datos de campo obtenidos son actualizados en catastro, se hará un análisis histórico con aerofotografías, para determinar el porcentaje de incremento o reducción que han tenido los zanjones. Durante esta fase se realizarán las inspecciones en campo, se determinarán problemáticas de drenaje pluvial, se hará el planteamiento de alternativas, se esquematizan y pre dimensionan las obras tendientes a mejorar el funcionamiento hidráulico del área urbana.

- d) Plan de Manejo y Recuperación: En esta fase se puntualizan las soluciones hidrológicas a fin de formular la propuesta de acción multidisciplinaria básica en términos de cuenca insertada con tejido urbano.

Esta fase involucra la valoración de las soluciones a fin de configurarla como datos de entrada a las inversiones de la empresa.

e) Informe Final: Es la última parte del proceso, donde se recopiló toda la información utilizada y generada durante el transcurso del proyecto como memorias de cálculo, diseños, planos, valoraciones económicas entre otros.

Todo lo expuesto anterior desarrollado por etapas anexadas en el cronograma ver tabla 13.

Tabla 9 Fases de la metodología planteada

<b>EJECUCIÓN DE DISEÑO</b>	
<b>Recopilación de información secundaria</b>	Recopilar información existente en red
<b>Recopilación de información primaria</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solicitud y revisión de la modelación existente del distrito de drenaje Soaquira y Cristales de la zona nororiental de Tunja</li> <li>- Recopilación de los antecedentes de inundaciones del área operativa</li> <li>- Recopilación de información obtenida acerca de estudios y propuestas de manejo de aguas lluvias</li> <li>- Recopilación de solicitudes de manejo pluvial en la zona nororiental (Distrito Soaquira), encontrada en el banco de proyectos</li> </ul>
<b>Análisis de la información:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consolidación de la información obtenida</li> <li>- Estudio y análisis de la información consolidada existente en red</li> <li>- Estudio y análisis de la información de antecedentes de inundaciones</li> <li>- Estudio y análisis de las solicitudes de manejo pluvial</li> <li>- Identificación de usos de suelo según el POT de Tunja</li> <li>- Estudio y verificación topológica de alcantarillado</li> </ul>

<b>DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	
<b>Características de la zona nororiental de la ciudad, zonas planas y de menor cota (Distrito Soaquira)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realización de recorrido por la cuenca Soaquira y Cristales</li> </ul>
<b>Verificación de caudales pluviales:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar y analizar infraestructuras existentes de drenaje urbano</li> <li>- Estimación de coeficientes de: escorrentía, periodos de retorno y tiempo de concentración</li> <li>- Determinación de las áreas tributarias</li> <li>- Verificación de caudales aportantes</li> </ul>
<b>Modelación hidráulica de la zona nororiental de Tunja</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelación de redes para condiciones de caudal pluvial</li> <li>- Análisis de la información obtenida de la modelación</li> </ul>
<b>Identificación de problemáticas asociadas al manejo de las aguas lluvias en la zona</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas de inundación</li> <li>- Falta de capacidad de redes para manejo de aguas pluviales</li> <li>- Planteamiento de alternativas para el manejo de aguas lluvias en la zona nororiental de Tunja Distrito Soaquira y Cristales</li> <li>- Modelación de infraestructura existente en función de la proyección de alternativas</li> <li>- Análisis de los resultados obtenidos de la modelación</li> </ul>

<b>Valoración económica de las alternativas planteadas para el manejo de aguas lluvias:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de presupuesto</li> </ul>
<b>Elaboración de informe final:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consolidación de documentos</li> </ul>

### 5.6 Identificación de la población en la cuenca Soaquira

Para el desarrollo de investigación del proyecto lo primero que se realizó fue la localización de la población determinada mediante la información SIG (sistema de información geográfico) que posee la empresa Veolia aguas de Tunja, se realiza la obtención de shapes de usuarios y barrios exclusivamente de la cuenca Soaquira, esto para poder determinar que usuarios existen en la misma y que caudales provenían hacia los sumideros que llevarían a los pozos y a la red de drenaje de la zona. A continuación se mostrarán los shapes generados para la cuenca Soaquira ver figura 6 y 7



Figura 6 Usuarios cuenca Soaquira Tunja

*Fuente: Autor*

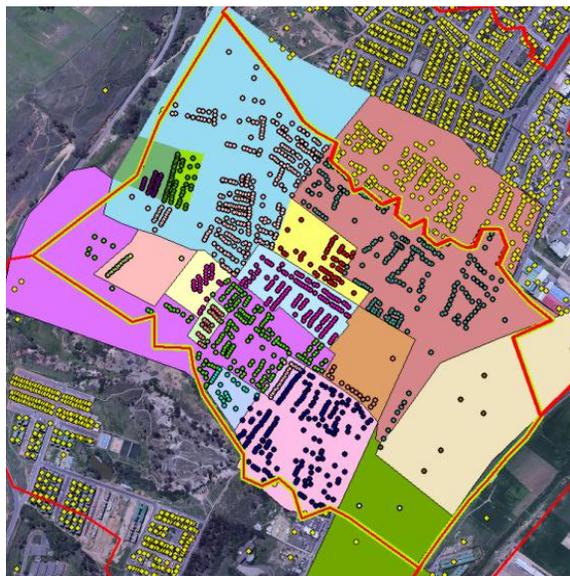


Figura 7 Usuarios cuenca Soaquira dividido en barrios

*Fuente: Autor*

En las figuras mostradas anteriormente se pueden observar los shapes generados de barrios y usuarios de la cuenca Soaquira donde los puntos representan los usuarios de la cuenca y a su vez los polígonos de color muestran los barrios de la misma, para lo que a continuación se muestra el listado de convenciones para los barrios de la cuenca Soaquira. Ver figura 8



Figura 8 Convenciones barrio Soaquira

*Fuente: Autor*

Con ayuda de la base de datos de usuarios de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P y teniendo en cuenta que se toma un promedio de cuatro personas por abonado. Se determino que en los diferentes sectores que conforman la cuenca se observa la siguiente población dividida en barrios

*Tabla 10 Número de usuarios por barrio cuenca Soaquira*

Barrio	Población
Los cedros	252
Montecarlo	132
José Antonio Galán	1420
Soaquira	436
Villa Toledo	84
Corales	124
La Granja	1288
San Jacoba del Puerto	120
Prados del Norte	564
Altos del Zue	116
Mirador de Tunja	128
Granja Sur	928
Bavaria	104
Santa Rita	1076
Nn	56
Antigua Vía Paipa	24

Para un total de población de 1713 abonados es decir una población de 6852 lo que denota un amplio aumento de más del 100% en comparación de abonados en el año 2005 donde solo se encontraba un total de 53 suscriptores.

## 5.7 Identificación de la población en la cuenca Héroes

Para el desarrollo de investigación del proyecto lo primero que se realizó fue la localización de la población determinada mediante la información SIG (sistema de información geográfico) que posee la empresa Veolia aguas de Tunja, se realiza la obtención de shapes de usuarios y barrios exclusivamente de la cuenca Soaquira, esto para poder determinar que usuarios existen en la misma y que caudales provenían hacia los sumideros que llevarían a los pozos y a la red de drenaje de la zona. A continuación se mostrarán los shapes generados para la cuenca Héroes ver figura 9 y 10

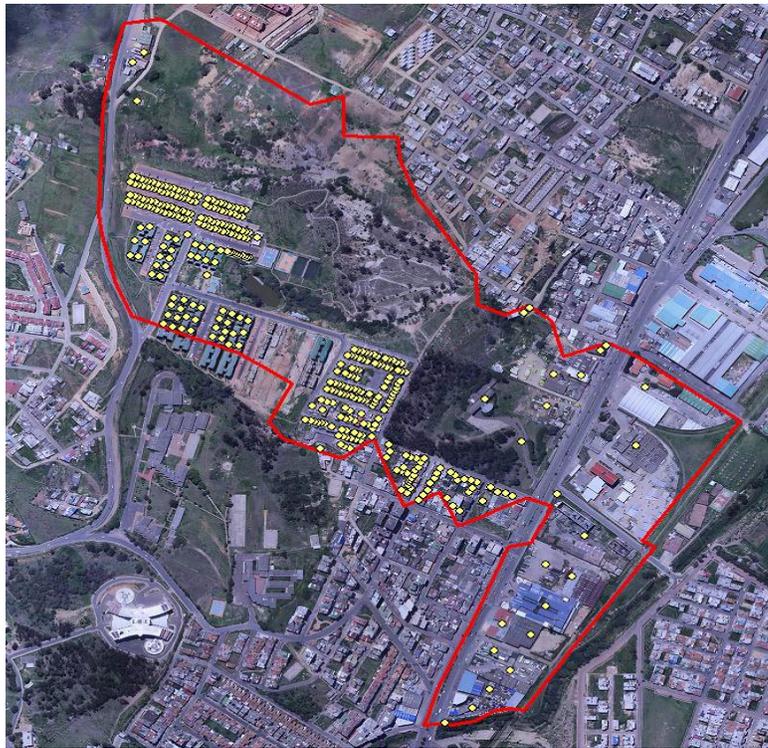


Figura 9 Usuarios cuenca Héroes

*Fuente: Autor*

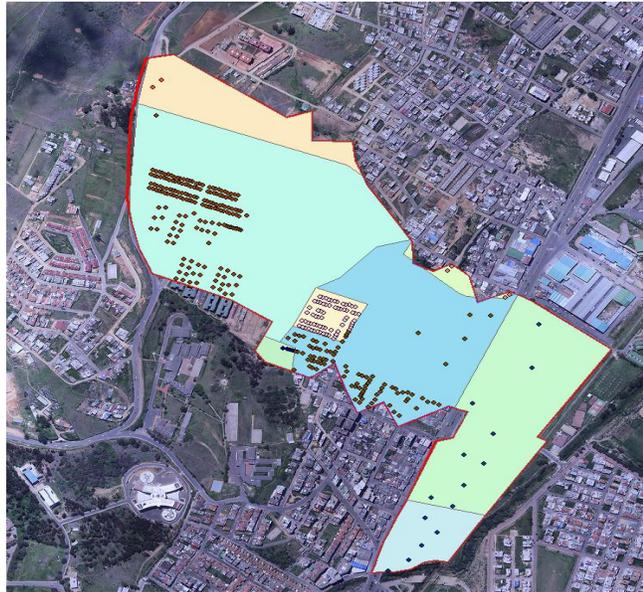


Figura 10 Usuarios cuenca Soaquira dividido barrios

*Fuente: Autor*

En las figuras mostradas anteriormente se pueden observar los shapes generados de barrios y usuarios de la cuenca Soaquira donde los puntos representan los usuarios de la cuenca y a su vez los polígonos de color muestran los barrios de la misma, para lo que a continuación se muestra el listado de convenciones para los barrios de la cuenca Héroes. Ver figura 11



Figura 11 Convenciones Soaquira

*Fuente: Autor*

Con ayuda de la base de datos de usuarios de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P y teniendo en cuenta que se toma un promedio de cuatro personas por abonado. Se determino que en los diferentes sectores que conforman la cuenca se observa la siguiente población dividida en barrios.

*Tabla 11 Número de usuarios por barrio cuenca Héroes*

Barrio	Población
Cristales	5
La Granja	2
La Estancia del Roble	646
Granja Sur	7
Las Quintas	6
NN	45
Héroes	71
JJ Camacho	201

Para un total de población de 993 abonados es decir una población de 4965 lo que denota un amplio aumento de población

#### 5.8 Identificación de Población de la cuenca Cristales:

Para el desarrollo de investigación del proyecto lo primero que se realizo fue la localización de la población determinada mediante la información SIG (sistema de información geográfico) que posee la empresa Veolia aguas de Tunja, se realiza la obtención de shapes de usuarios y barrios exclusivamente de la cuenca Soaquira, esto para poder determinar que usuarios existen en la misma y que caudales provenían hacia los sumideros que llevarían a los pozos y a la red de drenaje de la zona. A continuación se mostrarán los shapes generados para la cuenca cristales ver figura 12 y 13

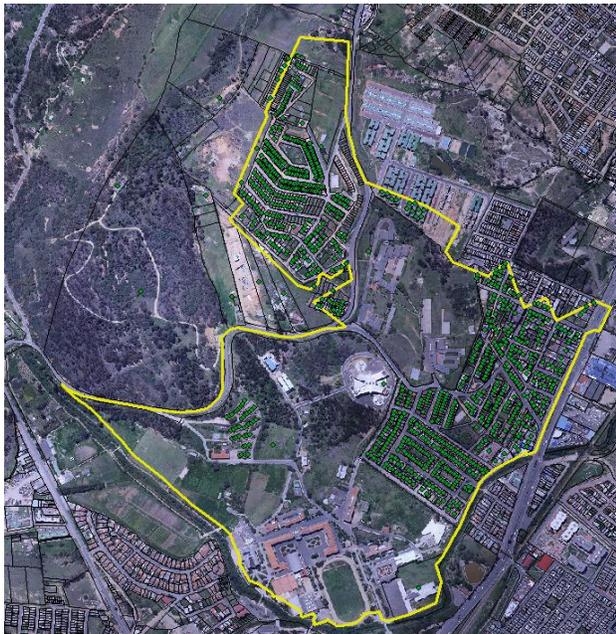


Figura 12 Usuarios cuenca Cristales  
Fuente: Autor



Figura 13 Usuarios cuenca Soaquira dividido barrios  
Fuente: Autor

En las figuras mostradas anteriormente se pueden observar los shapes generados de barrios y usuarios de la cuenca Soaquira donde los puntos representan los usuarios de la cuenca y a su vez los polígonos de color muestran los barrios de la misma, para lo que a continuación se muestra el listado de convenciones para los barrios de la cuenca Cristales. Ver figura 15

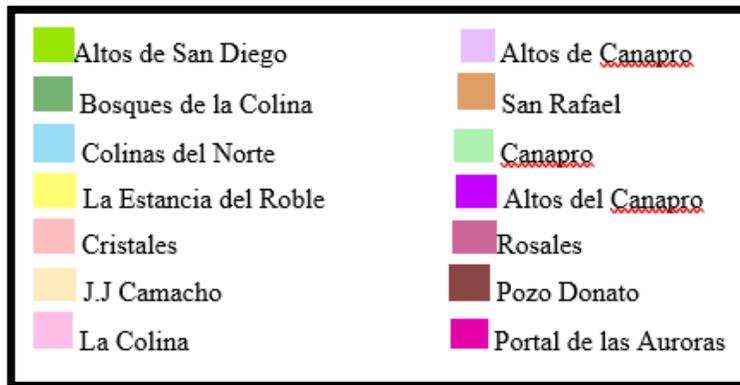


Figura 14 Convenciones Cristales

*Fuente: Autor*

Con ayuda de la base de datos de usuarios de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P y teniendo en cuenta que se toma un promedio de cuatro personas por abonado. Se determinó que en los diferentes sectores que conforman la cuenca se observa la siguiente población dividida en barrios:

Tabla 12 Número de usuarios por barrio cuenca Cristales

Barrio	Población
Altos de San Diego	92
Bosques de la Colina	76
Colinas del Norte	688
La Estancia del Roble	480
Cristales	3172
J.J Camacho	868
Altos de Canapro	20
La Colina	160
San Rafael	556

Canapro	752
Altos del Canapro	344
Rosales	836
Pozo Donato	0
Portal de las Auroras	0

Para un total de población de 2011 abonados es decir una población de 8044 lo que denota un amplio aumento a lo largo de los años en cuanto a la población de Tunja.

#### 5.9 Visita de campo:

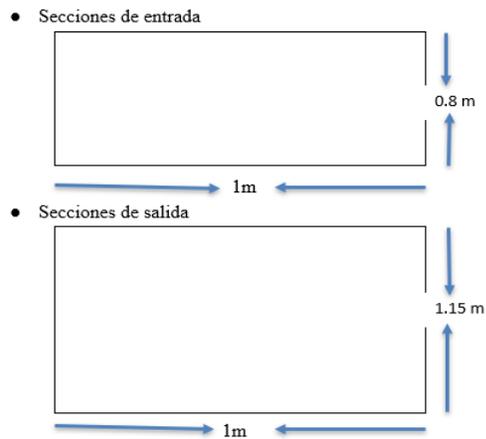
Se realizo la visita de campo junto con el acompañamiento del ingeniero a cargo del pesante, donde se realice el inventario de los sistemas de drenaje existentes en la parte alta de la Cuenca Soaquira. Donde se tomaron medidas de las secciones en las que se podía ingresar (Anexo 3) (Anexo Bitácoras)

##### a. Box Calvert cuenca Soaquira vía Moniquirá



Figura 15 Box Culvert cuenca Soaquira

*Fuente: Autor*



No se observa mayor obstrucción en el box Calvert, lo que permite el paso adecuado del agua.

b. Box Calvert Cuenca Soaquira, vía Moniquirá

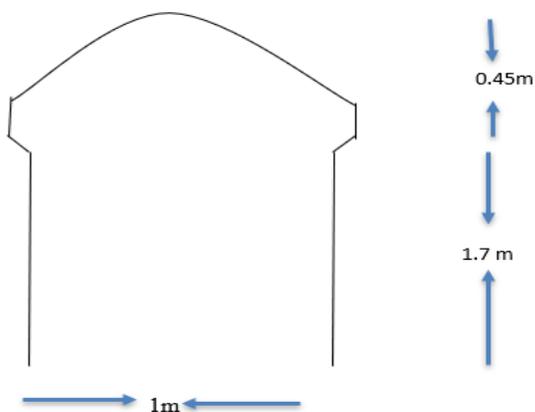


Figura 16 Box Culvert cuenca Soaquira

Fuente: Autor

- Secciones de entrada: No se pudo tomar la medida debido a que era complicado bajar al punto, se puede observar obstrucción del paso del agua debido a implementos arrojados por el ser humano

- Secciones de salida:



Se ve obstruido parcialmente por implementos que arrojó el ser humano.  
La continuación del Inventario se encuentra en el anexo 1 en fotografías

#### 5.10 Problemática inundación frente a Bavaria:

En eventos de alta precipitación este sector presenta inundación en la avenida norte esto debido grandes caudales de escorrentía que provienen de la zona alta del distrito y de la zona noroccidental de la ciudad. Esta avenida cuenta con una cuneta para drenar el agua hacia una alcantarilla la cual se conecta a una red de alcantarillado, sin embargo debido al gran caudal que baja por la cuenta esta no tiene la capacidad adecuada y genera inundaciones en la vía



Figura 17 Inundación sector Bavaria  
Fuente: Veolia Aguas de Tunja S.A E.S. P

### 5.11 Parámetros de Diseño para la modelación de redes existentes en las cuencas Soaquira, Cristales y Héroes:

Estos se rigen por la resolución 0330 del 2017 la cual indica los parámetros de diseño que obligatoriamente deben incurrir en el proceso, esto para garantizar estabilidad, durabilidad, funcionalidad, calidad y sostenibilidad de la estructura.

- a) Periodo de diseño: Se toma un periodo de diseño de 25 años para todos los componentes de acueducto y alcantarillado.
- b) Caudal de agua lluvia: El caudal de agua lluvia se realiza mediante métodos de lluvia - escorrentía, para el cual se necesitan los siguientes parámetros:
  - i. Periodo de Diseño: el periodo de diseño se selecciona mediante la tabla 16 (periodos de retorno) de la resolución 0330 del 2017 el cual se selecciona según la importancia de las áreas y los daños o molestias que las inundaciones pueden ocasionar en los habitantes y en los diferentes sectores. Ver figura 18

Características del área de drenaje	Período de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas	100

Figura 18 Periodos de retorno

Fuente: resolución 0330 del 2017

Teniendo en cuenta que la cuenca tiene tanto zonas industriales como comerciales se toma periodos de retorno entre 3 y 5 años respectivamente, sin embargo el diseño se realiza con el periodo de retorno más alto el cual en este caso es de 5.

- ii. Intensidad de lluvia: Siguiendo los lineamientos del artículo 135 de la resolución 0330 del 2017 numeral 2 se realiza la respectiva consulta y petición al IDEAM de las curvas IDF de la estación meteorológica la cual recopila información hasta el año 2010. Donde se obtuvo la siguiente información:

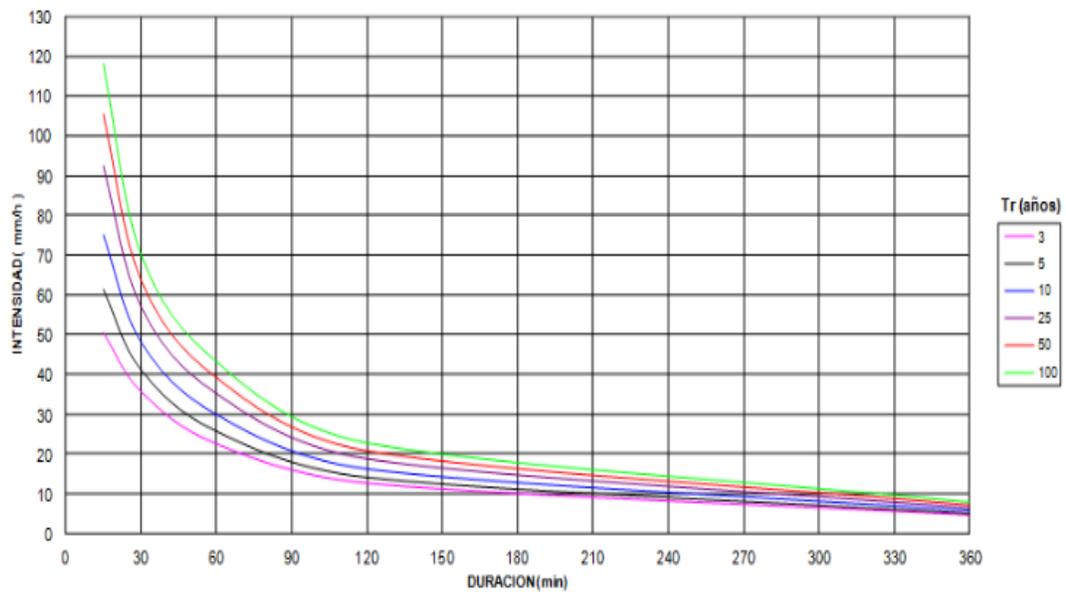


Figura 19 Curvas IDF

Fuente: IDEAM

- iii. Tiempo de concentración: según el artículo 135 de la resolución 0330 del 2017 el cual indica que se debe estimar un tiempo de concentración mínimo de duración dentro del sistema, el cual se realiza por una hora cada 5 minutos.

## 5.12. Redes de alcantarillado de aguas pluviales

a) Localización de redes de alcantarillado: Rigiéndose por el artículo 138 de la resolución 0330 del 2017 se siguen los parámetros del numeral 5 el cual indica: Las distancias mínimas libres entre los colectores que conforman la red del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y/o lluvias, y las tuberías de otras redes de servicios públicos deben ser 1 m en la dirección horizontal y 0,3 m en la vertical, medidas entre las superficies externas de los dos conductos. En callejones donde se demuestre que no se puede cumplir con las distancias horizontales establecidas anteriormente, se deben ubicar las tuberías sobre el eje de la zanja.

c) Profundidad de instalación de la tubería en alcantarillados: Rigiéndose por el artículo 139 de la resolución 0330 del 2017 se definen por la tabla 16

*Tabla 13 Profundidad de la cota clave al colector*

Servidumbre	Profundidad a la clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	0.75
Vías Vehiculares	1.2

*Fuente: Resolución 0330 del 2017*

A continuación, se mostrarán los parámetros faltantes a tener en cuenta para la modelación en el programa EpaSwmm ver tabla 17

*Tabla 14 Parámetros para el diseño de redes pluviales tenidos en cuenta para la realización de la modelación en el programa EpaSwmm*

Diámetro interno real mínimo	El diámetro interno real mínimo en redes de alcantarillado pluvial y combinado es de 260mm. Valor al cual debe regirse el diseño según el artículo 148 de la resolución 0330 del 2017.
Criterios de autolimpieza en los alcantarillados pluviales y combinados	la velocidad mínima real permitida en el colector de alcantarillado pluvial o combinado es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 2.0 Pa. Valor el cual se rige el diseño según el artículo 149 de la

	resolución 0330 del 2017
Velocidad máxima:	La velocidad máxima real no debe sobrepasar 5.0 m/s. Valor el cual se regirse el diseño según el artículo 150 de la resolución 0330 del 2017
Relación máxima entre profundidad y diámetro de la tubería en los alcantarillados pluviales y sanitarios	siguiendo los estándares del artículo 151 de la resolución 0330 del 2017 la cual indica: El valor máximo permisible de la profundidad del flujo para el caudal de diseño en un colector es de 93% del diámetro interno real de este, correspondiente a flujo lleno.
Requisitos de diseño de construcción	Las estructuras de conexión deben cumplir con los siguientes parámetros:
Distancia máxima entre pozo y pozo	120m
Parámetros para el colector	El colector que llegue a una estructura de conexión con una diferencia de nivel entre las cotas bateas mayor a 0,75 m, respecto del colector de salida, debe entregar mediante una cámara de caída.
Recomendaciones	Se debe minimizar los cambios de velocidad, pendiente, dirección y evitar que las entradas de flujo sean opuestas entre sí.

### 5.13 Parámetros Requeridos por EpaSWMM:

El programa EpaSwmm requiere de datos programados por secciones como lo son las subcuencas, los conductos, los nodos y el pluviómetro. Parametros que serán explicados detalladamente en el anexo 2. Basados en las instrucciones del programa.

Epa Swmm es un modelo dinámico de simulación de precipitación que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada especialmente en alcantarillados urbanos.

El módulo de escorrentía o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera escorrentía. Para lo cual se requiere la determinación de la dirección de flujo de la cuenca que se realizó por medio del Dem de Tunja en ArcGis, el cual contenía elevaciones de infraestructura existente permitiendo una mejor observación de la dirección de flujo dándole así el ancho determinado por cuenco dado esto, El módulo de transporte de SWMM procede a analizar el recorrido de estas aguas a través de un sistema dispuesto por tuberías y pozos. Así mismo, SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos durante una simulación compuesta por un intervalo de tiempo de una hora cada cinco minutos.

Para la realización de cotas de nodos y pozos existentes se realizó el seguimiento a la base de datos de catastro de Veolia Aguas de Tunja

#### 5.14 Coeficiente de Manning para el diseño

##### a) Manning para escorrentía superficial:

Este coeficiente proporciona el valor de la resistencia que va a tener un material al paso de un fluido, este valor depende del material con el que cuente la cuenca, el cual se predeterminara para la zona de estudio, permite determinar las velocidades, pérdidas por fricción y otros valores importantes para el diseño.

En los casos de estudio se utilizaron valores determinados por el manual del programa Epa Swmm:

En el caso de estudio se utilizaron valor de n-impermeable: 0.012, seleccionando el material de hormigón liso y n-permeable: 0,15 seleccionando pradera corta.

##### b) Coeficiente de Manning utilizados para la red de alcantarillado pluvial

El diseño fue realizado en dos fases principalmente: el primero fue la modelación de la tubería pluvial existente o tubería combinada existente en el distrito, donde se utilizaron coeficientes de Manning para cada tubería según su diámetro y material real, ya sea para tubería PVC o tubería en concreto, el cual determina los siguientes valores según el manual de PAVCO, se determina el seguimiento de este manual debido a que la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P se rige principalmente por este manual para la realización de los diseños

*Tabla 15 Coeficiente de Manning para la red de alcantarillado pluvial según el manual de PAVCO*

n- Novaloc	0,01
n- Novafort	0,009
n- Concreto	0,013

Donde para diámetros iguales o menos a 42” se utiliza el coeficiente de manning para n-Novafort y mayores o iguales a 45” para n-Novaloc

En la segunda fase de diseño y alternativa de solución presentado en el distrito se tomaron valores de tubería PVC, donde el manual indica:

*Tabla 16 Coeficiente de Manning utilizados para la red de alcantarillado pluvial*

n- Novaloc	0,01
------------	------

5.15 Herramientas necesarias extraídas de ArcGIS para la modelación y diseño en el programa Epaswmm.

Para la modelación del programa EpaSwmm se hizo uso del Dem de Tunja, shapes de subcuencas, limitaciones de cuenca y el sistema de base de inventario de alcantarillado existente. Así como usuarios y barrios de la ciudad de Tunja para lo cual se delimito usuarios y barrios por distritos, y se genero la creación del shape fill, dirección de flujo, acumulación de flujo y modelo irregular de triángulos, esto para poder obtener el ancho de las subcuencas por las cuales determinaría la dirección de escorrentía para la tormenta en cuestión y las pendientes determinadas para lo mismo.

## 6. APORTES DEL TRABAJO

### 6.1 Cognitivo:

En el transcurso de la pasantía desarrollada siendo esta empresa una modalidad en la cual se maneja el pasante de diseño y planeación con un proyecto en específico y con las actividades que se han otorgadas por el jefe inmediato de la empresa, siendo esto así los principales aportes que se dieron haciendo uso de los conocimientos empleados durante la carrera se basaron principalmente en cuatro ramas:

#### 6.1.1. Geomática

Siendo este un ámbito importante debido a que se usaron conocimientos otorgados de procesamiento, análisis, interpretación y creación de información digital geoespacial localizada, siendo esto la razón por la que se crearon nuevos shapes en la empresa como lo eran shape (usuarios cristales) shape (barrio cristales) modelación de, fil, acumulación y dirección de flujo para las cuencas Soaquira, Cristales y Héroes de donde se transmitía principalmente la información de dirección de flujo de la cuenca, divisoria de aguas entre otros, además de esto por medio de la topografía e información de catastro de la empresa Veolia aguas de Tunja se logró el reconocimiento de los pozos, tuberías y sumideros de la zona por medio del cual se logró la recopilación de información de cota batea, cota terreno y cota clave de cada uno de los distritos para así modelar en el programa Epa Swmm y observar el funcionamiento del drenaje pluvial real en la red de alcantarillado. Además de que se realizó el modelo de triángulos invertidos (TIN) en el cual se podía observar pendiente, cotas e información en 3d acerca de la composición estratigráfica de la zona.

#### 6.1.2 Área hidrosanitaria e hidrología

En este ámbito se hizo el principal aporte de conocimiento teórico debido a que se establecieron parámetros mínimos de diseño para la solución realizada en el distrito Soaquira en donde se implementó conocimientos de pendientes mínimas, coeficiente de Manning, también se implementaron conocimiento para el análisis de las curvas IDF otorgadas por el Ideam de donde se realizó la adecuada interpretación y se logró el hietograma de 1 una hora de tormenta el cual fue implementado en toda la programación y modelación de red de drenaje pluvial en EpaSwmm.

Siguiendo específicamente los pasos de diseño de una red pluvial de donde se tomó principalmente la resolución 0330 de 2015 y las especificaciones del manual de diseño hidráulica, este fue un aporte importante debido a que se dio solución a un alta problemática en la ciudad de Tunja la cual es la inundación presentada en Bavaria en Tunja Boyacá, también se dio como aporte la modelación de drenaje urbano pluvial real para tres distritos de la ciudad los cuales fueron: Soaquira, Cristales y Héroes.

### 6.1.2 Área geotécnica y de pavimento

Respecto a los estudios realizados sobre las condiciones geológicas y amenazas sísmicas de la ciudad se observa un gran número de cárcavas en el área urbana, las cuales presentan tamaños relativamente grandes y compuestos por materiales que generan una preocupante susceptibilidad a fenómenos inducidos por sismos. La amenaza más directa reside en el aumento de rellenos antrópicos, que no solo preocupan por su presencia sino por el hecho de que sobre estos se ha venido construyendo (Forero y Pinto, 2011).

En este área se realizó aportes de conocimientos teóricos importantes debido a que para la realización de presupuesto del diseño de Soaquira se debía determinar el tipo del suelo en el cual se iba a cruzar la tubería, esto debido a que se determinó realizar la construcción del cruce vial por perforación dirigida un ejemplo de esto es el diseño del tramo 2 en el cual a partir del tipo de pavimento el cual se encontraba un pavimento rígido, se podía sacar las cantidades adecuadas para la construcción esto debido a que las cantidades de demolición es diferente para un suelo rígido, flexible o común, para el pavimento rígido se da una ecuación de la longitud por dos.

Sin embargo para una demolición en pavimento flexible se debe hacer por medio de la ecuación de largo por ancho, esto debido a que al ser el pavimento diferente permite más factibilidad a la hora de hacer la demolición o lo hace más difícil y las cantidades presupuestales deben ser diferentes. Esto se observaba en: ítems de cantidades de: demolición, corte, reconstrucción del pavimento.

### 6.1.3 Área de programación y presupuestos

Esta área fue útil en cuanto al entendimiento de la hoja de programación de cantidades y APU que contenía la empresa debió a que a pesar de que la empresa ya cuenta con una hoja programada guía para poder realizar el presupuesto de las alternativas planteadas para el distrito de Soaquira fue importante dar conocimientos de rendimiento lo que permitió correcciones en la misma hoja y análisis de la misma para así poder interpretar los valor unitarios, y rendimientos adecuados para cada actividad a desarrollar.

A continuación se observará explicación detallada del proyecto ejecutado y los aportes dados en el mismo.

### 6.2 Aportes realizados a la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.

Juntos con los conocimientos cognitivos explicados anteriormente le permitió al estudiante realizar el estudio en su totalidad entregando los siguientes resultados:

#### 6.2.1 Dirección y acumulación de flujo:

La determinación de estas dos herramientas son de suma importancia debido a que permite determinar el ancho de las subcuencas permitiendo también ubicar la descarga a nodos o subcuencas correspondientes, de esta manera se hace uso del SIG proporcionado por la empresa Veolia aguas de Tunja, la cual cuenta con el modelo de elevación digital (DEM) que permite por medio del shape al cuencas proporcionar el recorte del DEM y generar el DEM únicamente de la cuenca o distrito a desarrollar, seguido de este por medio de la herramienta Spatial Analyst Tools del software ArcGIS se hacen los siguientes pasos:

- 1) Generación de Dem de la cuenca:
- 2) Generación de corrección del Dem de la cuenca (Fill)
- 3) Generación de dirección de flujo de la cuenca (Flow Direction)
- 4) Generación de acumulación de flujo (Flow Accumulation)

A continuación se mostrarán las direcciones de flujo de los distritos Soaquira, Cristales y Héroes, sin embargo en el anexo 2 se encontrará las direcciones de flujo de Toda la ciudad de Tunja, esto como aporte a la empresa Veolia Aguas de Tunja permitiendo mayor facilidad en el desarrollo de la culminación del proyecto Alternativas de manejo urbano para la ciudad de Tunja

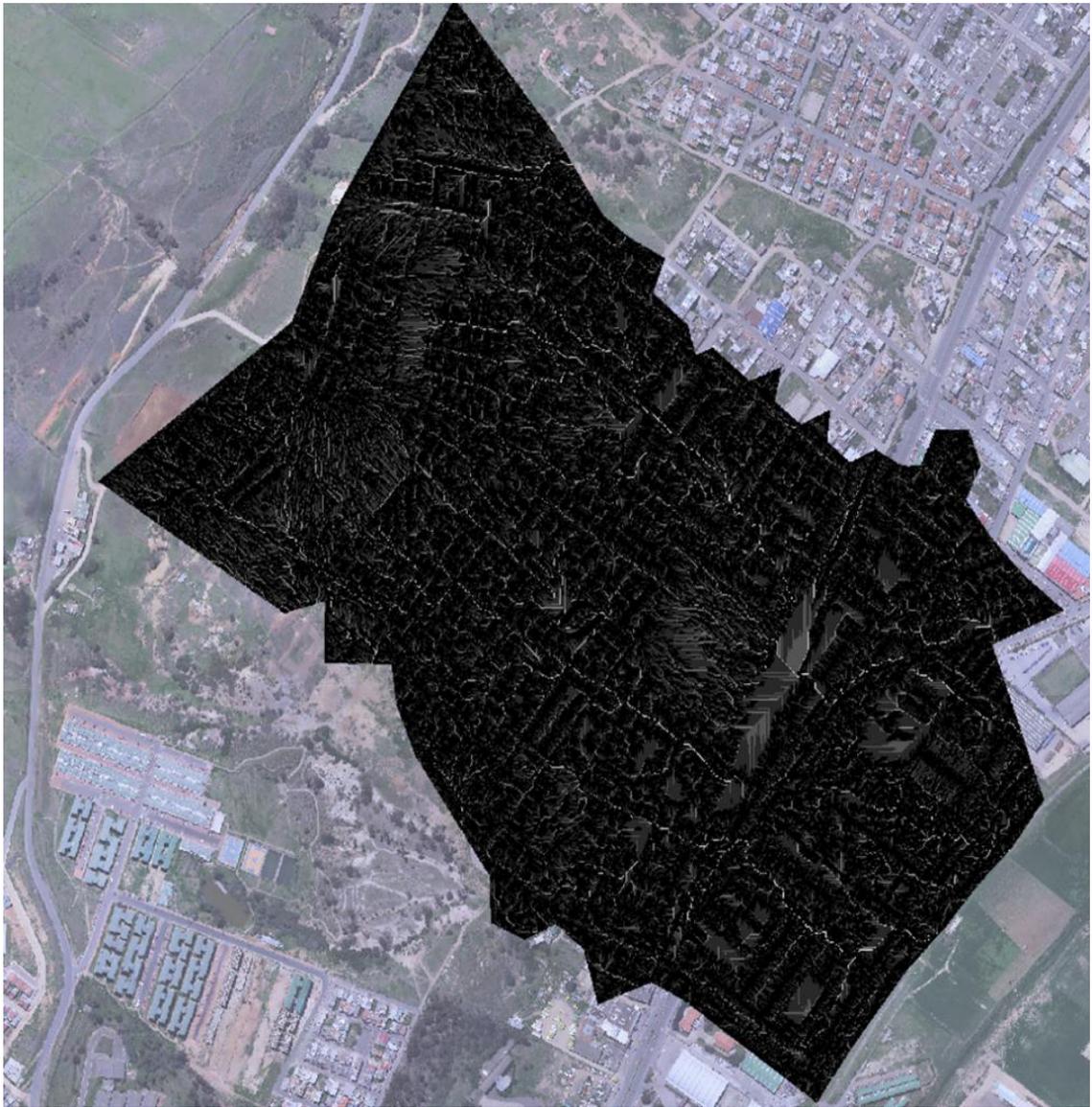


Figura 20 Dirección de flujo cuenca Soaquira

*Fuente: Autor*



Figura 21 Dirección de flujo cuenca Héroes

*Fuente: Autor*



Figura 22 Dirección de flujo cuenca Cristales

*Fuente: Autor*

### 6.2.2. Modelo red irregular de triángulos (TIN)

La determinación de este modelo es de suma importancia debido a que permite representar la morfología de la cuenca, también para el diseño porque nos arroja valores tales como cotas de las subcuencas y pendientes de las mismas, en este punto se desarrolló el modelo de red irregular de triángulos (TIN) de cada cuenca o distrito a estudiar y como aporte se generó el modelo de las cuencas faltantes de la ciudad de Tunja para así obtener el modelo irregular de triángulos el cual abarcó toda la ciudad, este modelo se obtiene por medio de la herramienta 3D Analyst Tools. A continuación se mostrarán los modelos de red triángulos (TIN) de los distritos Soaquira, Cristales y Héroes, sin embargo en el anexo 3 se encontrarán los modelos de red de triángulos (TIN) en su totalidad para la ciudad de Tunja, esto como aporte a la empresa Veolia Aguas de Tunja permitiendo mayor facilidad en el desarrollo de la culminación del proyecto Alternativas de manejo urbano para la ciudad de Tunja.

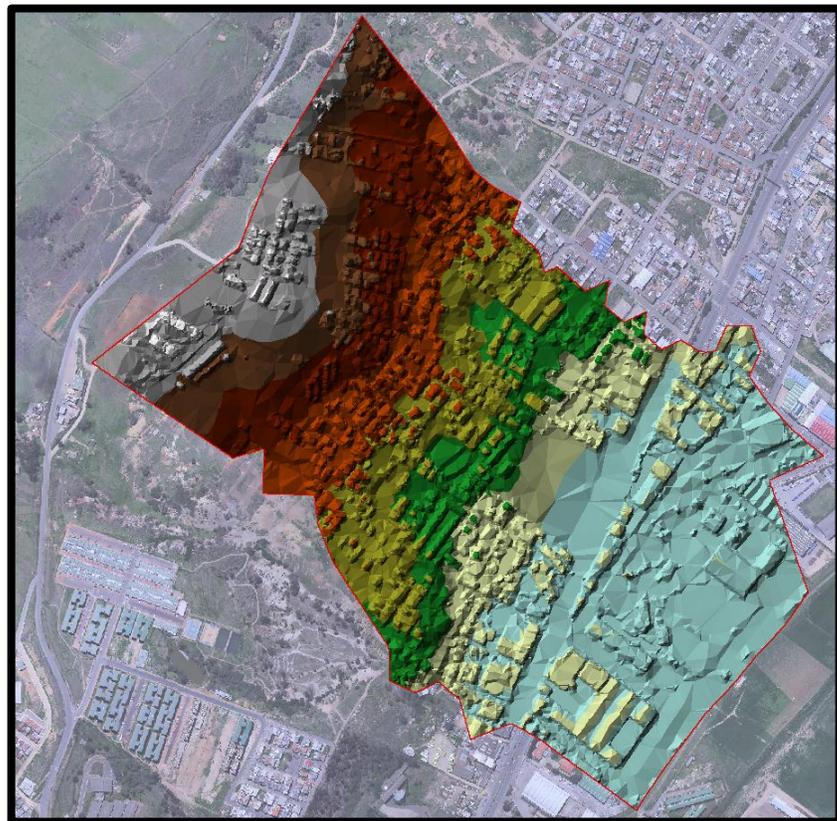


Figura 23 Modelo de red irregular de triángulos Soaquira (TIN) 2D

*Fuente: Autor*

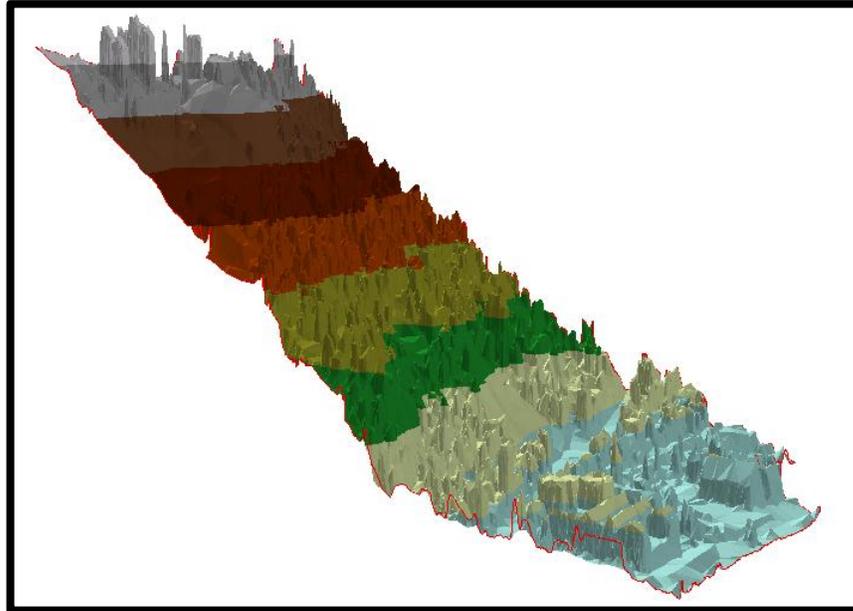


Figura 24 Modelo de red irregular de triángulos Soaquirá (TIN) 3D

*Fuente: Autor*

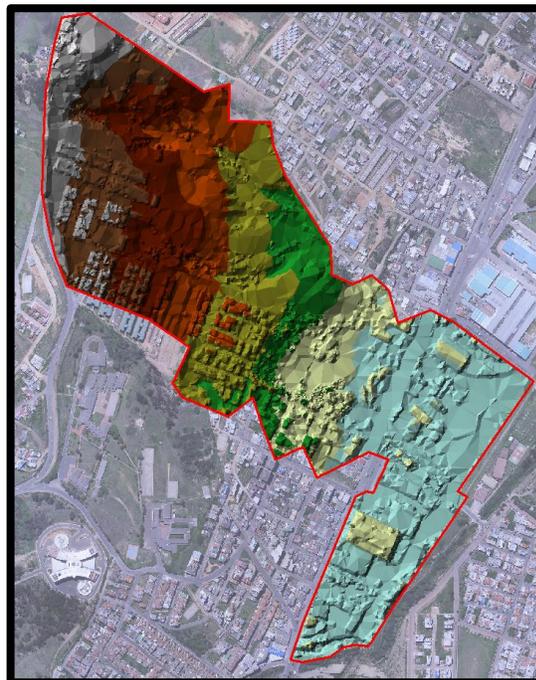


Figura 25 Modelo de red irregular de triángulos Héroes (TIN) 2D

*Fuente: Autor*

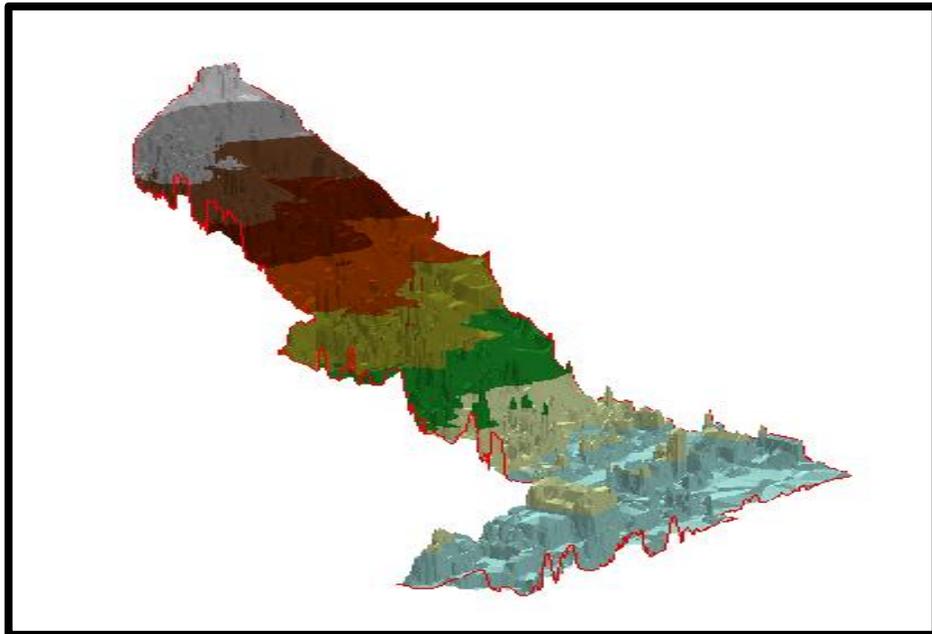


Figura 26 Modelo de red irregular de triángulos Héroe (TIN) 3D

*Fuente: Autor*

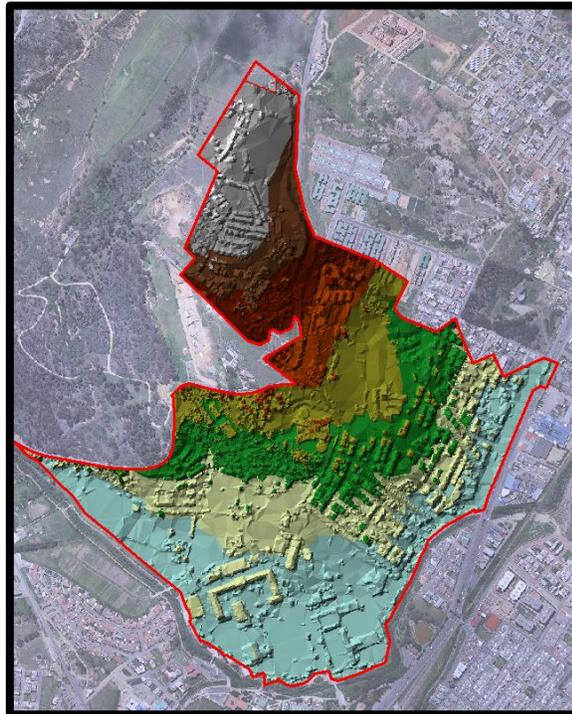


Figura 27 Modelo de red irregular de triángulos Cristales (TIN) 2D

*Fuente: Autor*

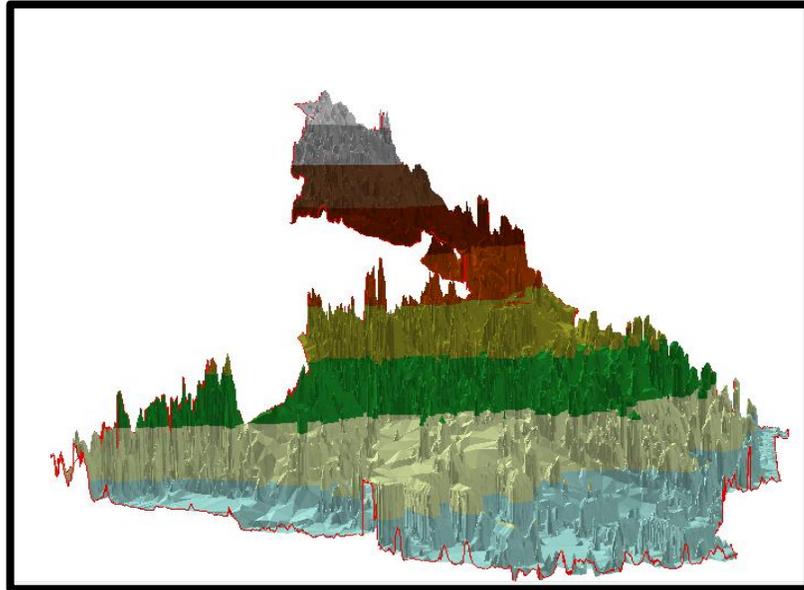


Figura 28 Modelo de red irregular de triángulos Cristales (TIN)3D

Fuente: Autor

### 6.3 Realización de la lluvia de diseño requerida para la modelación en el programa EpaSwmm

Debido al sistema de modelación del programa Swmm el cual trabaja por medio del fenómeno de la infiltración por el cual el agua lluvia penetra la superficie del terreno de los suelos no saturados de las áreas permeables de la cuenca. Debido a esto la lluvia de diseño le indicará al programa que cantidad de lluvia caerá en determinado intervalo de tiempo, lo que permitirá que el programa indique en qué momento se presenta el caudal pico de precipitación. En este caso el IDEAM proporciona información de curvas IDF. el RAS 2015 en su título D, numeral 2.2.2.1 establece que se debe contar con información de las curvas intensidad-duración-frecuencia de las estaciones cercanas al proyecto, la distribución temporal de las precipitaciones (duración de las lluvias) de la zona, y las características de los cuerpos receptores en cuanto a crecientes máximas, caudales mínimos y niveles máximos y mínimos.

Para la distribución temporal de las precipitaciones, el IDEAM realizó un estudio de las precipitaciones horarias en Colombia en el periodo 1971-2010, en la que se analizan diferentes estaciones meteorológicas del país.

Para el caso de la ciudad de Tunja, se toma el análisis de la estación UPTC, en donde se entregan los escenarios de horas consecutivas con mayor precipitación relacionándolo en periodos de diferentes horas en la cual se toma el tiempo de 1 hora debido a que en la empresa Veolia Aguas de Tunja se recomienda este valor ya que en la ciudad no se presentan regularmente tormentas mayores a este intervalo de tiempo.

Para la ciudad de Tunja y para el caso de estudio se obtiene la precipitación en un periodo de retorno de 5 esto debido a que en la resolución 0330 del 2015 en la tabla 16 y teniendo en cuenta que la zona de estudio es de zona industriales, comerciales con áreas tributarias menores a 2 hectareas se determina este periodo de retorno; Una vez interpretado esto se representa mediante un hietograma, el cual indicara los valores de intensidad, precipitación puntual y precipitación puntual acumulada, determinando la duración de la tormenta en la cual se presenta una duración de 1 hora con intervalos de 5 minutos y un periodo de retorno de cinco años.

*Tabla 17 Parámetros Hietograma*

<b>Duración (D) en min</b>	<b>Duración (D) en h</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>P (mm)= D * I</b>	<b>I ΔP I</b>	<b>I (mm/h)</b>	<b>Alternadas</b>
5	0,083	86,818	7,2348129	7,2348129	86,817755	6,31
10	0,167	70,713	11,785479	4,5506666	54,608000	8,76
15	0,250	59,605	14,901352	3,1158728	37,390474	12,87
20	0,333	51,487	17,162242	2,2608897	27,130677	20,54
25	0,417	45,296	18,873502	1,7112599	20,535119	37,39
30	0,500	40,422	20,211037	1,3375353	16,050424	86,82
35	0,583	36,486	21,283225	1,0721876	12,866252	54,61
40	0,667	33,241	22,160423	0,8771984	10,526381	27,13
45	0,750	30,520	22,890266	0,7298426	8,7581120	16,05
50	0,833	28,207	23,506130	0,6158639	7,3903678	10,53
55	0,917	26,217	24,032085	0,5259548	6,3114584	7,39

60	1,000	24,486	24,485917	0,4538317	5,4459808	5,45
----	-------	--------	-----------	-----------	-----------	------

Se realizó la distribución de precipitación por el método de Bloques Alternos, ubicando en el centro la máxima precipitación registrada en el intervalo evaluado; a su derecha, se ubica la segunda precipitación en orden descendente registrada, a la izquierda, tercera precipitación en orden descendente registrada, etc., como se observa en la última columna.

Finalmente para elaborar el hietograma que se introdujo en SWMM, se graficó en el eje Y la precipitación ordenada mediante el método de bloques y en X la duración en minutos de la lluvia de diseño

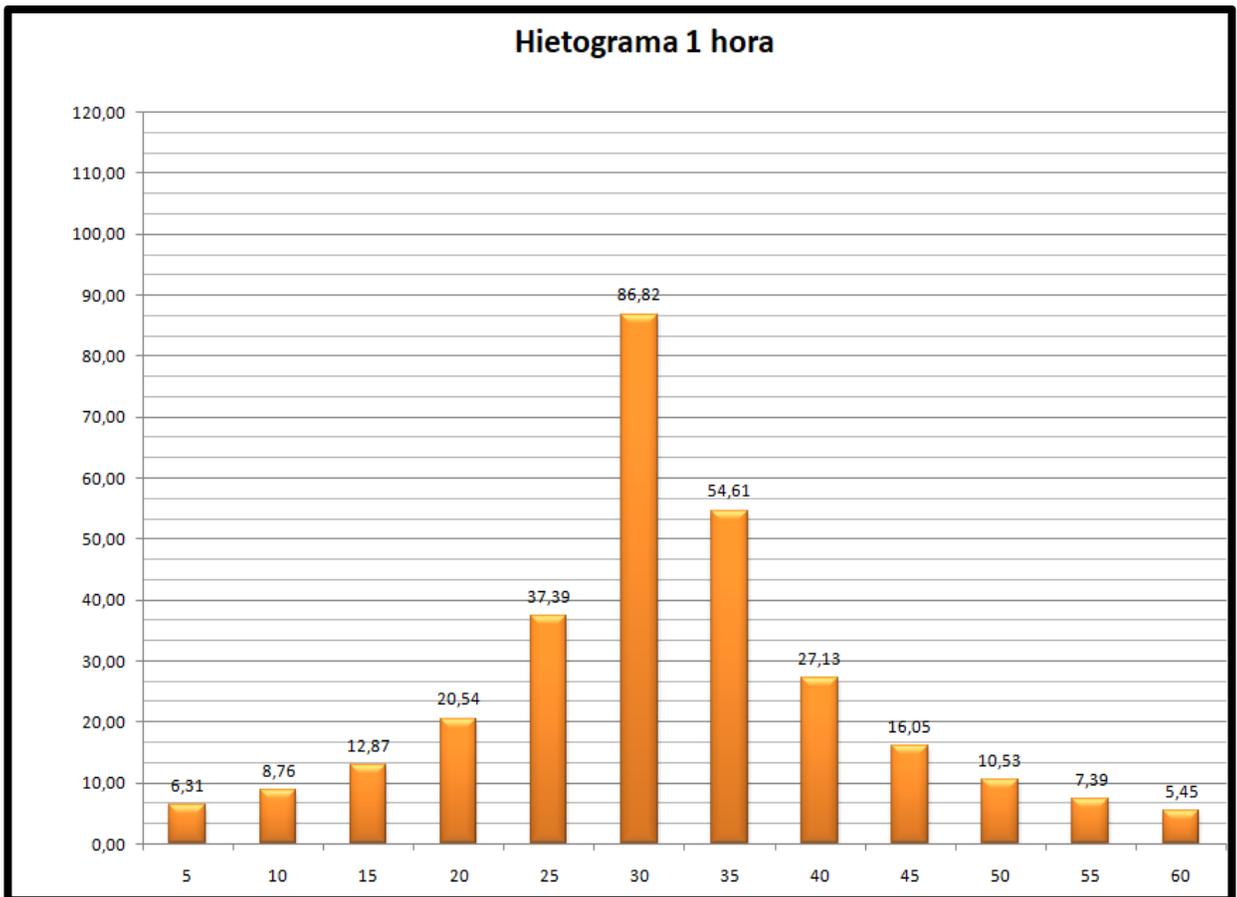


Figura 29 Hietograma tiempo estimado 1 hora, cada 5 minutos

*Fuente: Autor*

## 6.4 Planteamiento de alternativas.

Realizado el diagnóstico de las cuencas, e identificando las zonas críticas de las mismas se da paso al planteamiento de alternativas que minimicen los problemas pluviales encontrados en la zona Nororiental del municipio de Tunja. donde se realiza el diseño y la viabilidad económica del mismo.

### 6.4.1 Cuenca Soaquira

Partiendo del análisis realizado en la cuenca Soaquira donde se encontraron especialmente problemas de empozamiento en la zona baja de la cuenca, esto debido a las altas pendientes que la conforman, lo que permite que el agua pluvial bajar por medio de las vías y se empozara, especialmente por la avenida norte entre la calle 54 y 55A. Proceso que también se hace denotar en la modelación del distrito.

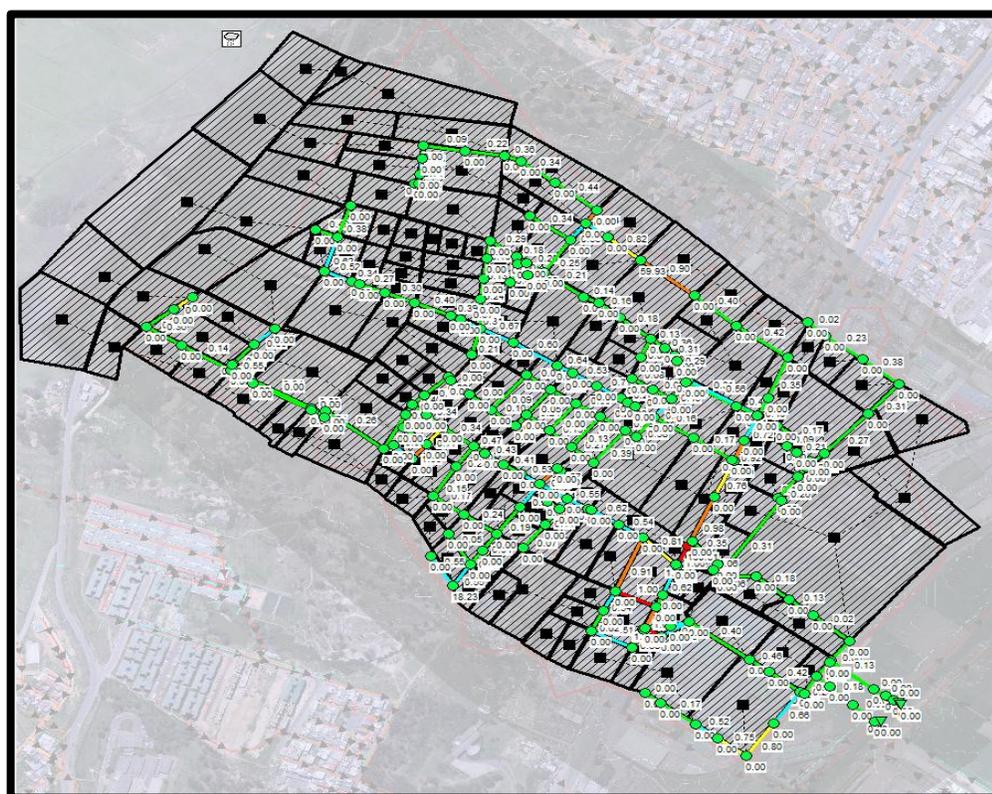


Figura 30 Modelación cuenca Soaquira en EpaSwmm

*Fuente: Autor*



Se puede observar mediante el Swmm que el diseño alivia la carga en varios tramos, además de que se diseña para que evacue el caudal de exceso, el diseño planteado es mediante una estructura de sumidero combinado conectar la red pluvial hacia un pozo el cual contara con una profundidad de 1.72 m esto por medio de una tubería de 24" en PVC la cual realizara un cruce vial por medio de perforación dirigida, en el siguiente tramo se realizara una conexión de pozo a pozo por medio de una tubería de 24 " en PVC con una longitud de 83.23m para así culminar con un pozo de 1.18m de profundidad, el cual realizara la conexión pluvial a la red ya existente y se llevara a la descarga.

En el planteamiento de alternativas también se puede observar un sumidero tipo lateral el cual dirigirá el agua que bien por la vía y será conectado por una tubería de 1m en material PVC con un diámetro de 12" para así finalizar la propuesta de alternativa de solución de la inundación presentada en Bavaria. A continuación se podrá observar la topología de diseño de la red pluvial.

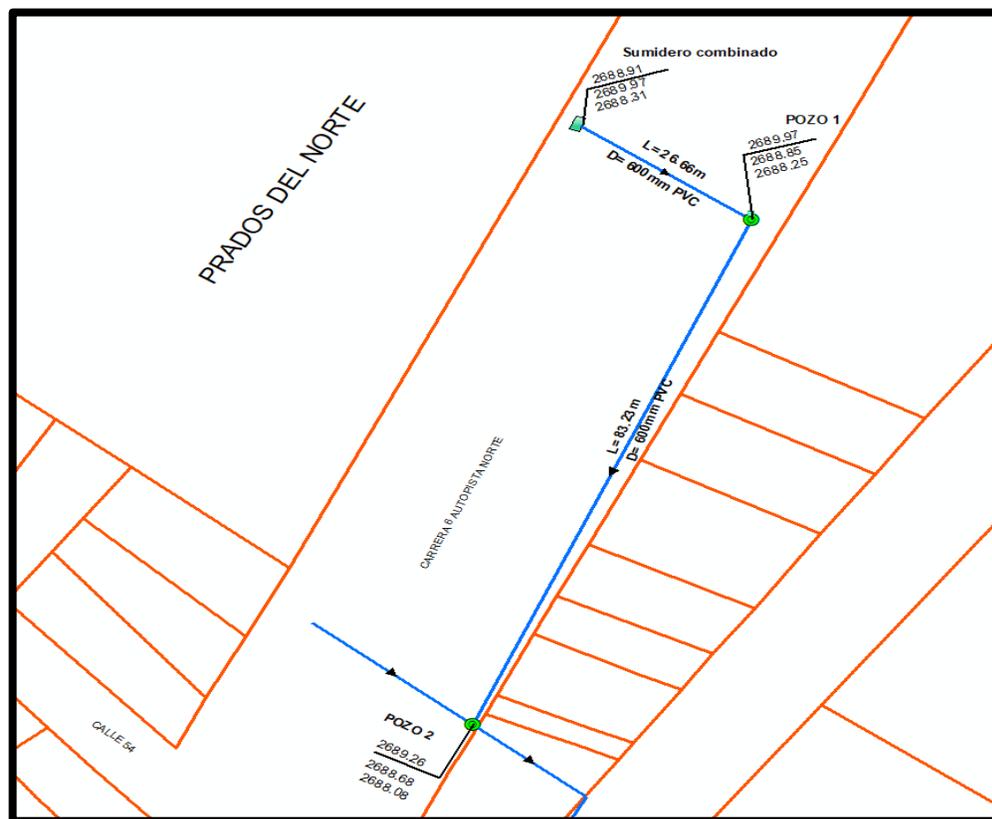


Figura 32 Topografía de diseño distrito Soaquira

Fuente: Autor

Tabla 18 Topología de diseño

Tramo	Material	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Profundidad hidráulica máxima (%)	Pendiente (%)
1	PVC	600	26.66	63.9	1.89
2	PVC	600	83.23	76.2	1.65
3	PVC	315	1	78.6	1.84

#### 6.4.2 Presupuesto para la red de drenaje planteada en la cuenca Soaquira:

Para la valoración económica de la red de alcantarillado con sus respectivos componentes se tuvo en cuenta la base de datos de costos de la empresa Veolia Aguas de Tunja y la Gobernación de Boyacá, a continuación se presenta los costos proyectados para la construcción. Es importante aclarar que para la realización de este presupuesto se tuvo previa explicación del funcionamiento de la base de datos de Veolia Aguas de Tunja y se procede a realizar verificaciones y anexos por medio de la base de precios de Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P. En conjunto con los precios de la gobernación actualizados para el año 2018

## VEOLIA AGUAS DE TUNJA S.A. E.S.P.

## GERENCIA DE PLANEACION Y CONSTRUCCIONES

## Presupuesto Alcantarillado Pluvial

## SOLUCIONES PLUVIALES CUENCA SOAQUIRA

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIOS GOBERNACION 2017 /PRECIOS VEOLIA 2019	VIUNITARIO PROACTIVA	Valor Parcial
<b>1.</b>	<b>Generalidades</b>						
1.1.	3.01.06 LOCALIZACION Y REPLANTEO TOPOGRAFICO	km	0,027	0,03	\$ 2.565.145,00	\$ 2.565.145	\$ 68.386.766
1.2.	** 1.2 Barreras de Cinta Plástica	ml	213,280	213	\$ 150,11	\$ 150	\$ 31.995
1.3.	** 1.3 Soportes Pásticos	und	17,773	18	\$ 21.186,00	\$ 21.186	\$ 377.111
<b>2.</b>	<b>Excavación, rellenos y retiros</b>						
2.1.	2.01.02 ENTIBADOS EN MADERA TIPO 1 PARA EXCAVACIONES 1 A 7 USOS	m <sup>2</sup>	314,609	315	\$ 21.354,00	\$ 21.354	\$ 6.717.968
2.2.	3.02.03 EXCAVACION DE CORTES, CANALES Y PRETAMOS EN MATERIAL COMUN A MAQUINA INCLUYE CARGUE Y ACARREO LIBRE DE 5 KM	m <sup>3</sup>	168,706	169	\$ 11.142,00	\$ 11.142	\$ 1.879.655
2.5.	3.03.11 EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL CONGLOMERADO	m <sup>3</sup>	48,202	48	\$ 58.326,00	\$ 58.326	\$ 2.811.313
2.6.	1.02.18 EXCAVACION MECANICA EN ROCA DE LA EXPLANEACION, CANALES Y PRETAMOS SIN EXPLOSIVOS, (INCLUYE RETIRO)	m <sup>3</sup>	24,101	24	\$ 117.006,00	\$ 117.006	\$ 2.819.845
2.7.	3.13.37 RELLENO PARA REDES EN GRAVILLA DE 3/4 , 1/2 (SUMINISTRO, EXTENDIDO, UMEDECIMIENTO Y COMPACTACION)	m <sup>3</sup>	28,077	28	\$ 101.386,00	\$ 101.386	\$ 2.848.947
2.8.	3.03.16 RELLENO CON MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE EXCAVACION COMPACTADO CON PLANTA VIBRADORA	m <sup>3</sup>	22,074	22	\$ 20.140,00	\$ 20.140	\$ 445.094
2.9.	3.03.15 RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO COMPACTADO PLANCHA VIBRADORA INCLUYE ACARREO LIBRE DE 5 KM	m <sup>3</sup>	151,310	151	\$ 64.945,00	\$ 64.945	\$ 9.826.179
2.10.	Relleno en afirmado compactado sin ensayos de laboratorio	m <sup>3</sup>				\$ 0	\$ 0
2.11.	3.04.07 SUMINISTRO, EXTENDIDA Y COMPACTACION DE MATERIAL SELECCIONADO PARA SUBBASE GRANULAR (INCLUYE ACARREO LIBRE DE 5KM) (**)	m <sup>3</sup>	15,119	15	\$ 84.574,00	\$ 84.574	\$ 1.277.067
2.13.	Cargue manual y retiro a relleno sanitario (Valor ingreso escombrera \$40.000)	m <sup>3</sup>				\$ 0	\$ 0
2.14.	3.12.01 CARGUE Y TRANSPORTE DE MATERIALES SUELTOS, PRODUCTO DE SOBRAINTES Y/O DERRUMBES ( INCLUYE ACARREO LIBRE 5 KM)	m <sup>3</sup>	218,934	219	\$ 4.356,00	\$ 4.356	\$ 953.528

<b>3</b>	<b>Sistema de alcantarillado SUMINISTRO</b>						
<b>3.1</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PLASTICA TIPO PVC O GRP</b>						
3.1.14	*** Ø 315 mm (12")	ml	1,00	1	\$ 86.072,90	\$ 86.073	\$ 86.073
3.1.19	*** Ø 600 mm (24")	ml	109,890	110	\$ 360.678,75	\$ 360.679	\$ 39.638.622
<b>4.</b>	<b>Sistema de alcantarillado INSTALACIONES</b>						
<b>4.1.</b>	<b>Instalación método convencional</b>						
4.1.4.	** Instalación tubería PVC 315 mm (12")	ml	1	1	\$ 13.215,20	\$ 13.215	\$ 13.215
4.1.9.	** Instalación tubería PVC 600 mm (24")	ml	109,890	110	\$ 29.391,48	\$ 29.391	\$ 3.230.071
<b>4.2.</b>	<b>Construcción de cajas y pozos inspeccionables</b>						
4.2.2	2.05.06 POZO DE INSPECCIÓN, DIAMETRO INTERIOR 1.2m, 1.0< H<1.5m	und	1,00	1	\$ 1.039.583,00	\$ 1.039.583	\$ 1.039.583
4.2.3	2.05.05 POZO DE INSPECCIÓN, DIAMETRO INTERIOR 1.2 M, 1.50 < H < 2.00	und	1,00	1	\$ 1.469.072,00	\$ 1.469.072	\$ 1.469.072
<b>5.</b>	<b>Cortes, demoliciones y recuperaciones</b>						
5.2	3.05.02 CORTE DE PAVIMENTO EN CONCRETO HIDRAULICO (INCLUYE SELLADO)	m	168,460	169	\$ 3.815,00	\$ 3.815	\$ 642.828
5.7.	ASFALTO	m <sup>3</sup>	12,095	12	\$ 703.326,00	\$ 703.326	\$ 8.510.245
5.15.	3.13.18 DEMOLICION PISOS, ANDENES EN CONCRETO HASTA E= 12 CM INCLUYE RETIRO	m <sup>2</sup>	100,791	101	\$ 15.087,00	\$ 15.087	\$ 1.520.770
<b>6.</b>	<b>CAJAS Y SUMIDEROS</b>						
<b>6.1</b>	<b>SUMIDERO LATERAL</b>						
6.1.1	1.02.17 EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL COMUN (INCLUYE RETIRO)	m <sup>3</sup>	0,593	0,6	\$ 57.282,00	\$ 57.282	\$ 34.369
6.1.2	3.03.11 EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL CONGLOMERADO	m <sup>3</sup>	0,433	0,4	\$ 58.326,00	\$ 58.326	\$ 23.330
6.1.3	1.02.18 EXCAVACION MECANICA EN ROCA DE LA EXPLANEACION, CANALES Y PRESTAMOS SIN EXPLOSIVOS. (INCLUYE RETIRO)	m <sup>3</sup>	0,216	0,2	\$ 117.006,00	\$ 117.006	\$ 23.401
6.1.4	3.03.15 RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO COMPACTADO PLANCHA VIBRADORA INCLUYE ACARREO LIBRE DE 5 KM	m <sup>3</sup>	0,587	0,59	\$ 64.945,00	\$ 64.945	\$ 38.318
6.1.5	3.03.16 RELLENO CON MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE EXCAVACION COMPACTADO CON PLANTA VIBRADORA	m <sup>3</sup>	0,661	0,66	\$ 20.140,00	\$ 20.140	\$ 13.292
6.1.6	3.13.37 RELLENO PARA REDES EN GRAVILLA DE 3/4 , 1/2 (SUMINISTRO, EXTENDIDO, UMEDECIMIENTO Y COMPACTACION)	ml	0,143	0,14	\$ 101.386,00	\$ 101.386	\$ 14.194
6.1.7	Construcción Cajas en mampostería con Tapa. Dimensiones: 0,7m - 1,1m - 1,1m	und	1,00	1	\$ 457.017,87	\$ 457.018	\$ 457.018
6.1.8	3.12.01 CARGUE Y TRANSPORTE DE MATERIALES SUELTOS, PRODUCTO DE SOBANTES Y/O DERRUMBES ( INCLUYE ACARREO LIBRE 5 KM)	m <sup>3</sup>	1,501	1,5	\$ 4.356,00	\$ 4.356	\$ 6.534
6.1.9	CODO PVC 315MM	und	1,00	1	\$ 373.763,53	\$ 373.764	\$ 373.764

6.1.10	REJILLA EN POLIPROPILENO	und	1,00	1	\$ 181.300,00	\$ 181.300	\$ 181.300
<b>6.2</b>	<b>SUMIDERO TIPO COMBINADO</b>						
6.2.1	Construcción caja 1.20 x 1.10 y altura 1.5m (placa piso 20 cm, pañete esmaltado interno, guanteado, media caña, ladrillo común en tizón)	und	1,00	1	\$ 891.586,00	\$ 891.586	\$ 891.586
6.2.2	Rejilla en polipropileno para sumidero lateral	und	1,00	1	\$ 181.300,00	\$ 181.300	\$ 181.300
6.2.3	Rejilla metalica para sumidero de ventana	und	1,00	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000	\$ 100.000
6.3	Instalación de tubería en Acero 36", por medio del método constructivo de Ramming, para instalar internamente una tubería novafort de 27" para un paso vial	ml	26,66	28	\$ 3.628.500,00	\$ 3.628.500	\$ 100.509.450

SUB TOTAL							\$	197.620.168
AIU 25 (%) OBRA CIVIL							\$	48.414.076
A 10 (%) SUMINISTRO							\$	3.963.862
TOTAL							\$	249.998.106

**Notas:**

- EL AIU PARA LA OBRA CIVIL ES DEL 25% Y DEL 10% DE ADMINISTRACIÓN PARA EL SUMINISTRO.
- LOS ITEMS IDENTIFICADOS CON DOBLE ASTERISCO (\*\*), CORRESPONDEN A PRECIOS DE VEOLIA AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P, NO INCLUYEN AIU .
- LOS ITEMS IDENTIFICADOS CON TRIPLE ASTERISCO (\*\*\*), CORRESPONDEN A LA LISTA DE PRECIOS DE ACCESORIOS Y TUBERIAS DE PAYCO DEL MES DE OCTUBRE DE 2018, INCLUYE IVA Y ES VALOR POR METRO LINEAL.
- LOS DEMÁS ITEMS (SIN MARCACIÓN) FUERON TOMADOS DE LA LISTA DE PRECIOS DE LA GOBERNACIÓN 2017 , NO INCLUYEN IVA Y AIU.

Valor metro lineal	\$	3.124.976
--------------------	----	-----------

A manera general, para la construcción de esta red, primero se deben adecuar las vías y calles, es decir, pavimentarlas con el fin evitar el arrastre de sedimentos, dado que si no se realiza, las estructuras tendrán un tiempo limitado de uso y su capacidad se va a ver afectada en un periodo de tiempo corto.

#### 6.4.3 Cuenca Cristales

Partiendo del análisis realizado en la cuenca Cristales donde se encontraron especialmente problemas en la cra 6ª c donde se encontraron colapsos en la tubería va por la vía hacia la cra 6ª esto debido a un diámetro mínimo en la tubería, que no cuenta con la capacidad hidráulica de asumir el caudal proveniente de la cuenca alta, además de esto se encuentro otro problema al observar en el shape alc\_alcantarillado de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P que no se encuentra un descarga pluvial cercana al rio. Para esta cuenca y con el tiempo estimado solo se puedo plantear una solución sin embargo esta no tiene diseño planteado o plano, se logra hacer la modelación en EpaSwmm identificando las regiones problemáticas.

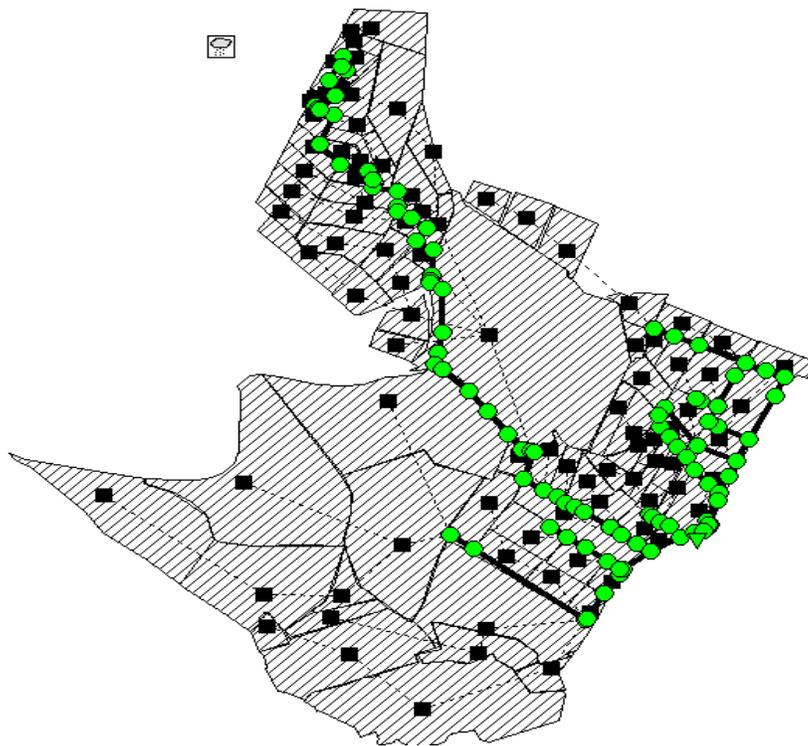


Figura 33 Modelación Epa Swmm de todo el distrito cristales

*Fuente: Autor*



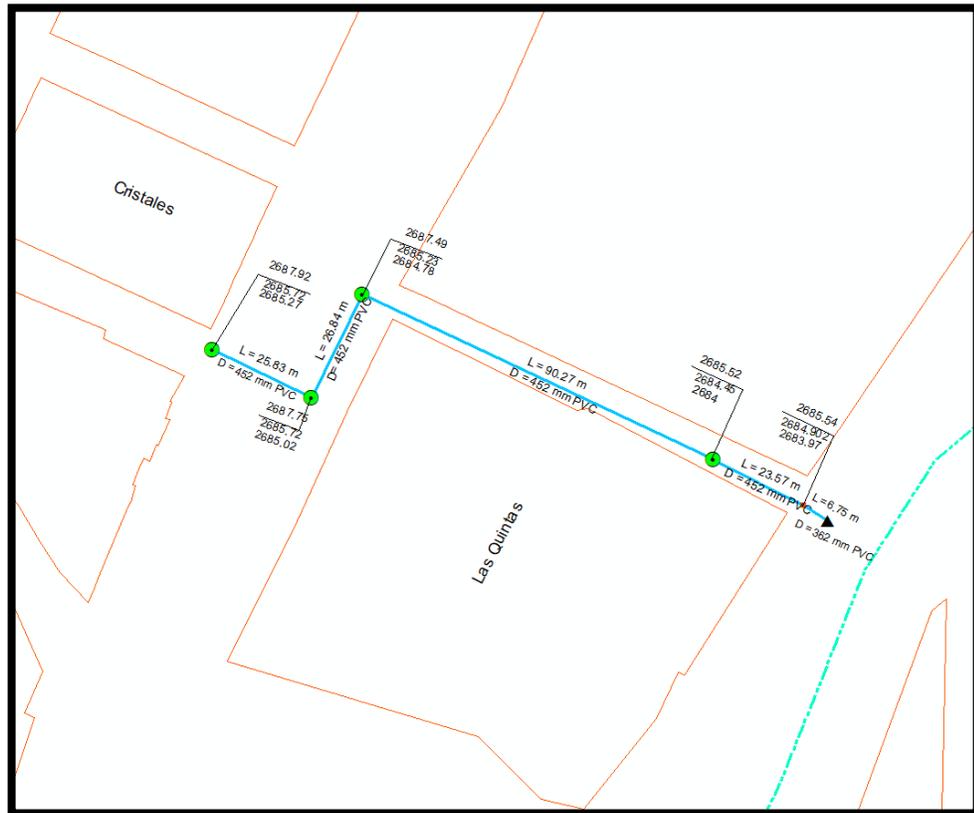


Figura 35 Topografía de diseño distrito Cristales

Fuente: Autor

### 6.5 Aporte a la comunidad:

Comunidad empresa Veolia: en la cual se dejó un informe detallado para entendimiento del desarrollo del proceso de alternativas de drenaje urbano para la cuenca Soaquira la cual permite entender la alternativa planteada y dar la opción a los ingenieros a cargo de ejecutarla.

Comunidad Tunjana: siendo esta una alternativa de solución de inundación del sector de Bavaria en la que ve beneficiada la población Tunjana esto debido a que el ingeniero civil tiene como función primordial el ingenio de solución a problemas civiles, si no existe una satisfacción a una necesidad de una comunidad no tendría caso la realización de un proyecto.

## 7. IMPACTOS

El trabajo de pasantía realizado en la empresa Veolia Aguas de Tunja no tendrá impacto a corto plazo debido a que es un proyecto de diseño y no de ejecución sin embargo al ser previsto por la empresa llevar a cabo estas obras lo más pronto posible, se pronostica que el diseño tendrá impactos tanto sociales como ambientales

### 7.1 Impacto Social

Viendo el amplio crecimiento urbanístico de la ciudad el cual viene aumentando progresiva y rápidamente a lo largo del tiempo y sabiendo que Para el año 1939 la ocupación urbanística era de 177.53 Ha, con un total de 123 manzanas. Para el año 1978 la ocupación urbanística era de 513.72 Ha, con un total de 285 manzanas; respecto a 1939, se presentó un crecimiento urbanístico del 189.37 %. Para el año 1995 la ocupación urbanística era de 634.15 Ha, con un total de 1044 manzanas; respecto a 1939, se presentó un crecimiento urbanístico del 257.21 % (3).

Dicho lo anterior se despliega un desglose de problemas radicados en la impermeabilización del suelo para llegar a niveles altos de escorrentía lo cual produce un volumen de caudal pluvial alto, que siendo el sector nor oriental de la ciudad de Tunja conformado por grandes pendiente, permite el paso del agua y genera el empozamiento en la parte baja de la ciudad al ser esto la creación de la nueva alternativa permitiría en el sector Bavaria de Tunja beneficiar a un total de 1713 abonados, es decir una población de 6852 habitantes, además de que se beneficiaría toda la población Tunjana debido a que al realizarse esta red de alcantarillado la infraestructura vial no estaría muy expuesta al agua esto teniendo en cuenta que según estudios debido al agua empozada en un pavimento pueden generarse deformaciones de tipo abultamiento, abultamiento , depresiones entre otras lo que generaría mal estado de la vía y fracturas en el pavimento (4).

Uno de los grandes impactos sociales generados es que se evitarían inundaciones en el sector Bavaria de Tunja y Cristales los cuales son zonas de inundación de alto grado, esto debido a que estos barrios fueron construidos sobre huellas e inundación altas, uno de los problemas encontrados principalmente fue, la huella de inundación para periodos de retorno de treinta años la cual llega a una cifra superior a los ciento cincuenta mil metros cuadrados (150.000 m<sup>2</sup>), en el área urbana de la ciudad, medida de forma preliminar con equipos de topografía, confrontado con entrevistas hechas a diez personas que habitan esos lugares hace más de treinta años y con fotografías tomadas en diferentes años sobre las inundaciones en diferentes épocas (4)

Al realizar una solución en la cual la tubería aumenta su diámetro, y llega a una descarga al río rápida, permite disminuir el tiempo de inundación ante una tormenta de precipitación alta lo que atribuye a no tener pérdida de inmuebles, como sucedió en el año 2018 donde la lámina de agua en el sector norte el cual se encuentra en estudio llegó a un metro de altura, la solución presentada permite que las redes de alcantarillado ya existentes y en las cuales llegan a su máxima capacidad se alivien de manera drástica observando que la tubería que llegaba a su máxima capacidad pasa al 60% de su capacidad aportándole o enviándole un caudal a tubería nueva de 200 l/s.

En la propuesta que se presentó para el distrito Cristales dándose una solución no solo de drenaje pluvial sino también de alcantarillado sanitario se genera un impacto alto para la calidad de vida de 993 abonados este dato de la base de datos de usuarios de la empresa Veolia Aguas de Tunja, siendo un sector de inundación alta debido a que por las secciones aledañas al barrio se observa el cruce del río. Por medio de la red de alcantarillado planteada se reduce escorrentía proveniente de pendientes altas y se minimiza el volumen de agua recibido en el sector del río de la carrera 6c debido a que la red de alcantarillado nuevo realiza la descarga al río en un tramo del río más alejado al barrio. Cabe incluir un grave problema en la infraestructura de la ciudad y es que la mayoría de la red de alcantarillado es alcantarillado combinado, esto debido a la antigüedad de las redes. Lo que hace que el sistema de drenaje no tenga la capacidad para los eventos de precipitación actuales, esto también debido al cambio climático, al ser las redes de solución planteadas redes pluviales, de diámetro 24" y otras de 36" permite a la ciudad estar preparada en esas zonas para un evento de precipitación acorde al que sucede actualmente. Esto abriría un campo de discusión entre la ciudadanía debido a que las alternativas sugeridas dan cabida a un entorno de discusión en cuanto a lo importante que es la realización de drenaje pluvial en la ciudad.

Al realizar estas alternativas y las modelaciones de redes existentes de los distritos Doña Limbania, Villa universitaria y Heroes se genera una colaboración y reducción de tiempo para la culminación del proyecto en el sector Nor-Oriental de la ciudad de Tunja en la empresa Veolia Aguas de Tunja, lo que permite progreso en otro sector de la ciudad y ampliación del mismo para la empresa.

#### 7.2 Impacto en el medio Ambiente:

Siendo la red de drenaje en su mayoría red de alcantarillado combinada, se puede observar mediante la modelación que muchos de los pozos y tuberías llegaban a su capacidad máxima lo que permite el rebosamiento en las estructuras, generando malos olores y emisiones de gases en el ambiente, perjudicando así también a la población, al realizar la construcción de las alternativas propuestas y al dar el alivio a las tuberías que viene rebozándose se observa impacto a largo plazo en el medio ambiente en que la población Tunja habita ya que abran menos emisiones de gases debido a que las estructuras no llegarían a rebozarse. Esto se hace relevante teniendo en cuenta que según estudios de la ciudad Jipijaca Ecuador se obtiene que: si existe contaminación ambiental en el rebose de las redes de alcantarillado especialmente si es combinado, una por los malos olores que emanan las alcantarillas con un 86 % incidiendo en la salud de los habitantes que a la vez contamina el medio ambiente en particular en el aire en un 85% (6)

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante que al realizar las modelaciones de redes de drenaje en la zona Nor oriental de Tunja se tenga el caudal proveniente de zonas altas de la ciudad debido a que por la gran escorrentía que se presenta y el bajo proceso de impermeabilización del suelo, se puede obtener un resultado erróneo, al ser modelado solo por algunas calles.

La ciudad de Tunja presenta alcantarillado combinado en la mayoría de las zonas y al ser esta una ciudad en desarrollo urbanístico alto, se debe realizar el estudio de que tan bueno es implementar las tuberías pluviales teniendo en cuenta ¿que puede ser más barato?: Las construcciones de drenaje pluvial o las reparaciones de inundaciones, sabiendo que al haber vidas involucradas la ciudad debe estar preparada para asumir este fenómeno.

- Al realizar y verificar la información existente de los distritos a estudiar se hacen denotar tuberías con baja capacidad hidráulica, pozos de inspección sin mantenimiento y con sedimentos que no permiten el flujo adecuado del agua, para lo cual se realizó un reporte a operaciones de la empresa Veolia Agua e Tunja, para así realizar su respectivo mantenimiento, es de tener en cuenta que en el distrito Soaquira se presentaron alcantarillas en la parte alta del mismo totalmente tapadas lo que permitió concluir que esta era una de las razones por las cuales provenía un alto caudal de escorrentía.
- Al realizar el diseño de solución de la cuenca Soaquira se permitió observar mediante el programa Epa Swmm que evita inundación en la zona de empozamiento, este empozamiento se debe a que el perfil de la vía tornaba una baja pendiente en un tramo la cual volvía a subir, lo que no permitía que el agua siguiera su paso, al realizar el sumidero tipo combinado en este sector el agua podía seguir su trayecto de manera adecuada y aliviaba el proceso de colapso de las tuberías que continuaban por la red de alcantarillado actual.
- Al realizar la propuesta de solución de la cuenca cristales se observó que la disminución de caudal de escorrentía que llegaba al tramo de inundación del rio Jordán disminuía y al ser esta solución determinada también con red de alcantarillado sanitario lograba aliviar las aguas provenientes al barrio Rosales y redirigirlas por otra red de alcantarillado aliviando entonces las tuberías que llevan al barrio pozo Donato.

- Al realizar el presupuesto de la solución del distrito Soaquira se procedió a realizar el presupuesto en el cual se concluyó que el valor de la obra era de 249.998.106 lo cual fue viable para las directivas de la empresa Veolia Aguas de Tunja

## 9. Bibliografía

1. **Cordova, Manuel.** Parametros Geomorfologicos de Cuencas Hidrograficas. [En línea] 30 de Abril de 2016. [Citado el: 21 de Febrero de 2019.] [http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26).
2. **G.S.F, Gavilan.** Apendice a, morfometria de cuencas. [En línea] 2016. [http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7626/57768B516%20\\_Anexo.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7626/57768B516%20_Anexo.pdf?sequence=2&isAllowed=y).
3. **Rodríguez, C. D.** Modelación del drenaje pluvial en ciudades intermedias en escenarios de cambios climáticos extremos, estudio de caso: Tunja-Colombia. Tunja. 2017.
4. **Sandoval, C. H. (s.f.).** Patología de pavimentos articulados.
5. **Granados, Nestor Rafael Perico.** Causas de inundación en Tunja y propuestas de solución. .
6. **Miguel Angel Osejos Marino, Martin Verisimo Merino Conforme, Monserrate Merino Conforme.** *Impacto Ambiental del Sistema de Alcantarillado en la ciudadela <<3 de mayo>> de la ciudad de Jipijapa Ecuador.* Jipijapa : s.n., 2018.
7. **Carpio, H. A. (s.f.).** Propuesta de diseño del drenaje pluvial
8. **Ingeniería, C. I. (2017).** Propuestas de drenaje pluvial urbano no convencional en Mendoza.
9. **López, N. J. (s.f.).** Diseño del sistema de drenaje pluvial para el casco urbano de concepción.
10. **Silva, D. D. (2015).** Estrategia para el diseño de redes de drenaje pluvial.
11. **Veolia Aguas de Tunja (2005).** Drenaje urbano en la cuenca Soaquira
12. **Veolia Aguas de Tunja (2005)** Drenaje urbano en la cuenca Cristales
13. **Nie, L. (2004).** Flooding analysis of urban drainage systems. Ph.D. Tesis. Norwegian University of Science and Technology. Noruega

