



**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS
LLUVIAS PARA SUMINISTRO EN LA CUENCA DEL RIO SÍQUIMA
UTILIZANDO HEC GEO HMS**

Juan Camilo Ramirez Barreto
German Andrés Ramirez Feo

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá
2019

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS
LLUVIAS PARA SUMINISTRO EN LA CUENCA DEL RIO
Ramírez Feo
SÍQUIMA UTILIZANDO HEC GEO HMS

Juan Camilo Ramírez Barreto
German Andrés

**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS
LLUVIAS PARA SUMINISTRO EN LA CUENCA DEL RIO SÍQUIMA
UTILIZANDO HEC GEO HMS**

Juan Camilo Ramírez Barreto
German Andrés Ramírez Feo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director:
Gonzalo Alberto Forero Buitrago

Línea de investigación
Gestión y productividad sustentable- Infraestructura Sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá

PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS
LLUVIAS PARA SUMINISTRO EN LA CUENCA DEL RIO
Ramirez Feo
SÍQUIMA UTILIZANDO HEC GEO HMS

Juan Camilo Ramirez Barreto
German Andrés

2019

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicado a:

La investigación está creando nuevos conocimientos.

Neil Armstrong

Dedicado a mi abuelito Hugo quien siempre me ha guiado desde el cielo con sus enormes alas, a mis nonos Luis y Mary quienes han sido un ejemplo de amor, respeto, dedicación perseverancia, un apoyo y múltiples enseñanzas en mi vida quienes con dedicación y amor me cuidaron, guarían y inculcaron valores para ser la persona quien soy. Finalmente agradezco de todo corazón a mi madre, por sus conejos, esfuerzos y dedicación para poder cumplir mis metas y sueños con esfuerzo, dedicación y amor.

Juan Ramirez

Este trabajo es dedicado principalmente a Dios, por darme fuerza para concluir el proyecto de investigación, además brindándome salud y sabiduría para obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y ser lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser hijo de ellos, son los mejores padres.

German Ramirez

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por habernos permitido llegar al fin de esta etapa de nuestras vidas, agradezco a cada una de las personas que formaron parte de este proceso que nos apoyaron y confiaron en nosotros para culminar esta investigación. Con todo el aprecio agradezco a mi amigo y compañero German quien ha sido el más grande apoyo, a mi directo Gonzalo Forero quien es un hombre dedicado y perseverante quien nos apoyó y depositó su confianza en nosotros para que lográramos nuestros ideales; a mi familia por sus palabras, consejos, ánimos y alegría día a día. Finalmente agradezco a la Alcaldía de Guayabal de Siquima, IDEAM y CAR por la facilitación de información para poder llegar a cabo este proyecto

Juan Ramirez

Agradezco a todas aquellas personas que colaboraron en el arduo camino para la elaboración de este proyecto y durante este proceso de formación. Principalmente a mi compañero y amigo Juan Camilo Ramírez, por ser el apoyo incondicional en el ámbito educativo y personal, al nuestro director Gonzalo Alberto Forero por dirigirnos en la elaboración del proyecto, brindándonos herramientas suficientes para entregar un proyecto de calidad. Al comité de trabajo de grado por entender la situación que estamos pasando y darnos posibles soluciones, a las alcaldías por brindarnos algunos datos de interés en el proyecto al igual que algunas entidades públicas como el IDEAM, CAR y el DANE

German Ramirez

Tabla de Contenido

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Planteamiento del problema	3
3.1 Árbol de Problemas	4
4. Justificación	5
5. Pregunta problema	6
6. Objetivos.....	6
6.1 Objetivo General	6
6.2 Objetivos Específicos	6
7. Marcos de referencia	7
7.1 Antecedentes.....	7
7.2 Estado del arte.....	9
7.3 Marco teórico y conceptual	11
7.3.1 Modelo Hidrológico	11
7.3.2 Precipitación	12
7.3.3 Evaporación	14
7.3.4 Transpiración	14
7.3.5 Evapotranspiración (ET)	15
7.3.6 Evapotranspiración potencial	16
7.3.7 Escorrentías e infiltración	16
7.3.8 Infiltración	16
7.4 Marco Normativo	18
Resolución 0330 DE 2017.....	20
7.5 Marco Geográfico	21
7.5.1 Guayabal de Siquima	21
7.5.2 Albán.....	21
7.6 Marco Institucional	23
8. Metodología	25
8.1 Diseño metodológico.....	25
8.1.1 Objetivo 1. Caracterizar la Cuenca del río Siquima teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales en fuentes bibliográficas, DEMS, Información de las estaciones meteorológicas del IDEAM, bases de datos, noticias.	28

8.1.2 Objetivo 2. <i>Establecer una propuesta para el aprovechamiento de agua lluvia mediante una estructura de almacenamiento sostenible para abastecer al municipio de Albán, utilizando la herramienta HecGeo-Hms</i>	36
8.1.3 Objetivo 3 Proponer el modelo hidráulico a partir del comportamiento hidrológico de la zona	36
9. Plan de Trabajo	41
9.1 Cronograma	41
9.2 Presupuesto	42
10. Resultados.....	43
9.1 Resultados Objetivo Especifico 1.	43
Topografía.....	46
Cobertura	48
Población	50
9.2 Resultados Objetivo Especifico 2	51
Recurso hídrico	55
9.3 Resultados Objetivo Especifico 3.	60
Periodo de retorno e Hidrograma.....	60
Diseño de reservorio de agua y conductor de agua.....	59
Dimensiones del reservorio	59
Modelos de la tubería	62
11. Análisis de resultados.....	66
12. Conclusiones	68
13. Recomendaciones.....	69
14. Referencias bibliográficas	70

Listado de Figuras

Figura 1Árbol de problemas	4
Figura 2 Línea de tiempo de los embales en Colombia	8
Figura 3. Ciclo del agua	12
Figura 4. Tipos de precipitación	13
Figura 5. Proceso de la evapotranspiración.....	15
Figura 6. Estructura del subsuelo.....	16
Figura 7. Precipitación contra tiempo	17
Figura 8 Mapa Ubicación Geográfico.....	21
Figura 9. Caso de estudio	22
Figura 10. Diagrama de Flujo de la metodología	27
Figura 11. Técnicas e Instrumentos	28
Figura 12. Flujograma de determinación de cuencas.....	29

Figura 13 Cobertura y el uso de la tierra según el sistema CIA	33
Figura 14 Metodología de HecGeo-Hms	36
Figura 15 partes del talud	40
Figura 16 Cuenca del Río Síquima	43
Figura 17 Perfil de elevación de la cuenca.....	46
Figura 18 Cobertura de la cuenca del río síquima	49
Figura 19 Microcuenca	53
Figura 20 Topografía de la microcuenca	54
Figura 21 Diseño de Talud y desarenador.....	60
Figura 22 Dirección de la tubería en campo.....	64
Figura 23 Diseño de tubería	65
Figura 24 Diseño de tubería para carretera	66

Listado de Tablas

Tabla 1. Normatividad aplicable para el proyecto.....	18
Tabla 2 Entidades públicas & privadas asociadas al proyecto	24
Tabla 3.Clase de valores de forma.....	30
Tabla 4. Clase de valores de pendientes.....	31
Tabla 5 Dotación neta máxima según la altura promedio	34
Tabla 6 Nivel de complejidad.....	34
Tabla 7 Modelo de Aprovechamiento de aguas	35
Tabla 8 Coeficientes por hora.....	37
Tabla 9 Modelo de ordenamiento de datos	37
Tabla 10 Nivel de complejidad según la densidad poblacional	38
Tabla 11 Periodos de diseños según el sistema de acueducto	39
Tabla 12 Grados de inclinación de Taludes	41
Tabla 13 Características de la cuenca	41
Tabla 14. Cronograma.....	41
Tabla 15 Presupuesto del proyecto	42
Tabla 16 Parámetros morfométricos de la cuenca	44
Tabla 17 Resultados de la herramienta HEC-GeoHMS.....	52
Tabla 18 Aprovechamiento de agua	55
Tabla 19 Parámetros de población y de la dotación	59
Tabla 20 Características de Fluido.....	62
Tabla 21 Características de algunos componentes de la zona y de los materiales	62
Tabla 22 Condiciones del diseño	63

Listado de Ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo de la Evapotranspiración.	15
Ecuación 2 Modelo de infiltración de Horton	17
Ecuación 3 Factor de forma.....	30
Ecuación 4 Pendiente media.....	30
Ecuación 5 Dotación bruta	34
Ecuación 6 Demanda media residencial	35
Ecuación 7 método aritmético	39
Ecuación 8 Darcy Weisbach.....	42

Ecuación 9 Bernoulli.....	42
Ecuación 10 Coolebrook	43
Ecuación 11 Caudal de salida	43

Listado de Gráficas

Gráfica 1 Pendiente de la cuenca.....	45
Gráfica 2 Perfil de elevación	46
Gráfica 3 Picos de temperatura.....	48
Gráfica 4 Cobertura de la cuenca.....	50
Gráfica 5 Cantidad de días de lluvia mensual	56
Gráfica 6 Precipitación anual	57
Gráfica 7 Aprovechamiento d aguas lluvias.....	59
Gráfica 8 Periodo de retorno	57
Gráfica 9 Hidrograma	58

1. Resumen

La alteración de los cuerpos hídricos modifica la dinámica hidrológica afectando los componentes internos de las cuencas en los diferentes periodos del clima, causando desbordamientos e inundaciones así como en temporadas de verano un déficit de agua, provocando impactos económicos, ecológicos y sociales. Dado esto se propone el diseño hidrológico de una estructura para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la cuenca de Guayabal de Siquima utilizando HecGeo-Hms con la finalidad de llevar agua a una zona estratégica del municipio de Albán y a su vez ser utilizado como controlador de inundaciones brindando seguridad a las comunidades que se encuentran en la zona de influencia. A partir de la caracterización realizada, se determinan las condiciones hidrometeorológicas y geomorfológicas de la zona de estudio con el fin de cuantificar el agua lluvia aprovechable para suplir la demanda hídrica de las comunidades, las cuales presentan alta probabilidad para la disminución del riesgo de inundación así como ser una alternativa para suplir las necesidades de la población

Palabras clave: Modelación hidráulico, embalse, inundaciones, variables hidrometeorológicas, aprovechamiento sostenible.

Abstract

The alteration of the water bodies modifies the hydrological dynamics affecting the internal components of the basins in the different periods of the climate, causing overflows and floods as well as in summer seasons a water deficit, causing economic, ecological and social impacts. Given this, the hydrological design of a structure for the sustainable use of rainwater in the Guayabal de Siquima basin using HecGeo-Hms is proposed in order to bring water to a strategic area of the municipality of Albán and in turn be used as a controller of floods providing security to the communities that are in the area of influence. From the characterization carried out, the hydrometeorological and geomorphological conditions of the study area are determined in order to quantify the rainwater that can be used to meet the water demand of the communities, which have a high probability of reducing the risk of flooding. how to be an alternative to meet the needs of the population

Keywords: Hydrological model. Floods, reservoir, hydrogeological variables, sustainable use

2. Introducción

Las cuencas hidrográficas son un componente esencial para el desarrollo de la sociedad, esto se debe a los numerosos servicios que pueden brindar, entre estos se encuentran el suministro de agua dulce que puede ser utilizado en el sector doméstico, industrial o agrícola, en la dinámica superficial de los suelos dada por el arrastre de materiales mejorando la fertilidad de los suelos, regulan los caudales previniendo inundaciones en épocas de lluvias y abasteciendo a las poblaciones en épocas de sequía. (Fao, s.f.)

La cuenca del rio guayabal se encuentra ubicada en los municipios de Albán y guayabal de Siquima, en la cual se encuentran ecosistemas específicos que permiten la captación y regulación del recurso hídrico. En el transcurso del tiempo estos ecosistemas se han venido deteriorando por actividades humanas, remplazando los bosques nativos por cultivos de eucalipto que luego se talan convirtiendo estos suelos en agrícolas y ganadero o removían directamente la cobertura para estos mismos fines, perjudicando la dinámica hidrológica de la cuenca (Contreras, 2016) .

Al modificar la dinámica hidrológica de una cuenca se pueden presentar anomalías que afecten los componentes internos de la cuenca en los diferentes periodos del clima, donde en temporadas de invierno se presentan desbordamiento de los ríos que pueden afectar a comunidades, mientras que en temporadas de verano se presentara un déficit de agua. Esto se debe a que disminuye el tiempo de retención del escurrimiento superficial al igual que la infiltración. (Gaspari & Senisterra, 2014)

En la actualidad existe métodos para controlar las causas de los ríos reduciendo el riesgo de que se presente una eventualidad en un periodo de tiempo. en este caso se utilizará una técnica que consiste en la captación de esorrentía en una microcuenca la cual se retendrá en un embalse estratégicamente construido con el fin de abastecer a los pobladores del municipio de Alban y disminuir el riesgo de inundación a comunidades aguas abajo.

3. Planteamiento del problema

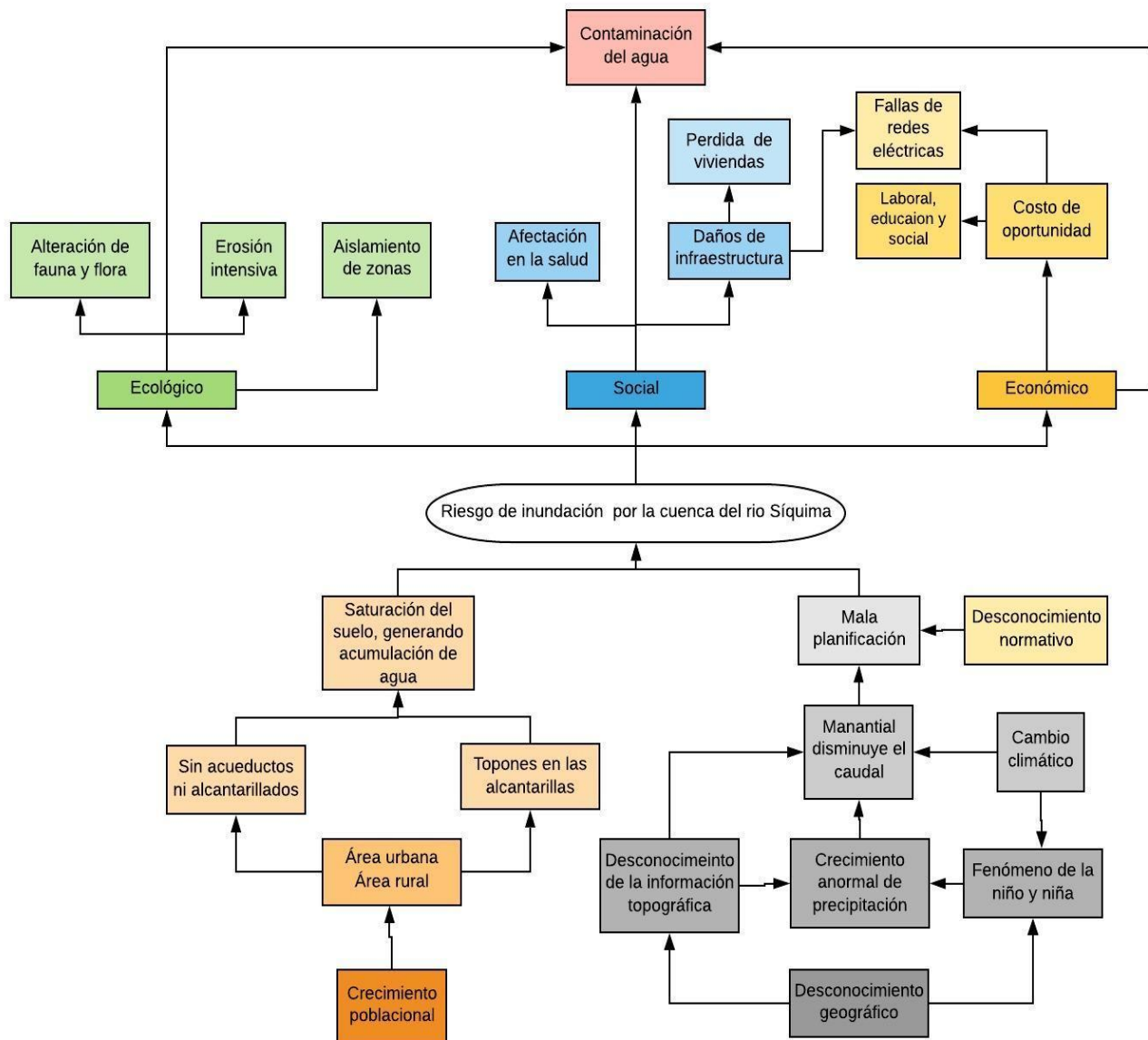
El territorio que comprende a Guayabal de Síquima está compuesto por un 35% de zonas agrícolas, 47.5% de zonas pecuarias, 5% de bosques naturales, 5% en rastrojos 5% en sistemas agrosilvopastoril y 2,5% en zonas no aprovechables, de acuerdo al esquema de ordenamiento territorial (Alcaldía Municipal de Guayabal de Síquima Cundinamarca, 2001), en el cual no se realiza un uso adecuado del suelo, generando cambios en las propiedades de este y a su vez modificando el ciclo hidrológico de la microcuenca incrementando la probabilidad de ocurrencia de una inundación (Durazo, Cota, León, & Guevara, 2007)

De acuerdo con el atlas de riesgos a inundación generado por el IDEAM para Colombia, el municipio de guayabal de Síquima se encuentra susceptible a inundación (Marulanda, 2018) además el EOT del municipio ratifica que la cabecera municipal se encuentra cerca de la ribera del río Síquima, presentando un nivel de riesgo y amenaza (Alcaldía Municipal de Guayabal de Síquima Cundinamarca, 2001)

A partir de lo anterior es importante resaltar que se hará un modelo hidraulico general para el aprovechamiento de aguas lluvias, con la finalidad de suministrar agua a una zona estratégica para que los pobladores realicen la portabilidad de esta, ya que el proyecto no realizará procesos de depuración para el consumo humano.

3.1 Árbol de Problemas

Figura 1Árbol de problemas



Fuente; Autores 2019

4. Justificación

La adaptación al entorno es la clave de la evolución para cualquier ser vivo, mientras que para ser humano es necesario alterar su entorno ambiental con el fin de adaptarlo a sus necesidades. La actividad humana, el incremento de la urbanización, la deforestación, la degradación de los ecosistemas y la variabilidad en el clima, son factores que producen una serie de cambios y consecuencias a medio y corto plazo, ocasionando la alteración de cuerpos hídricos, rondas hídricas lo cual aumenta el riesgo de inundaciones. (González, 2014). Con lo anterior se pueden considerar dos conceptos importantes, cambio climático y la alteración ecosistémica, dicha degradación ha generado una migración de la población de las zonas rurales generando un crecimiento continuo de las ciudades, creando un panorama de presión en los suelos y aumento en la demanda de los servicios ecosistémicos (CNPC, 2012)

Las inundaciones constituyen una de las catástrofes naturales que deja un gran número de víctimas a su paso. En Colombia se presentan diferentes variables climáticas tales como; el fenómeno del niño y la niña, las cuales establecen las condiciones de lluvia estacional e intraestacional, vientos alisios, zonas confluencias intertropical, ondas del este caribe, ciclones tropicales, sistemas sinópticos del pacífico y entre otras aumentando el riesgo de inundaciones (González, 2014).

El modelamiento hidraulico de un embalse contribuye de manera positiva para el aprovechamiento de aguas lluvias para la prevención y disminución del riesgo a inundaciones en la cabecera municipal de Guayabal de Siquima así como de ser una alternativa para el abastecimiento del municipio de Albán, da condición de seguridad a las comunidades localizadas aguas abajo y que pueden tener un alto riesgo por inundación debido a que reduce la frecuencia y magnitud de las inundaciones, así como de regular el caudal de un río o arroyo y la retención de sólidos provenientes de la erosión aguas arriba. (Talera, 2018).

5. Pregunta problema

¿Cómo un modelo hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias puede minimizar el riesgo a inundación en la cabecera municipal de Guayabal de Siquima?

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

- Realizar una propuesta para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la cuenca alta de río Siquima utilizando HecGeo-Hms.

6.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la Cuenca del río Siquima teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales en fuentes bibliográficas, DEMS, Información de las estaciones meteorológicas del IDEAM, bases de datos, noticias.
- Establecer una propuesta para el aprovechamiento de agua lluvia mediante una estructura de almacenamiento sostenible para abastecer al municipio de Albán, utilizando la herramienta HecGeo-Hms.
- Calcular variables hidráulicas para el suministro de la población de Alban desde el embalse hasta la planta de tratamiento de agua potable del Municipio.

7. Marcos de referencia

En este capítulo se presentan los marcos de referencia aplicables al proyecto, recalcando la importancia de la revisión general del tema y su evolución en el tiempo como guía para la construcción de una propuesta la cual este enfocada en la minimización del riesgo por inundación y el aprovechamiento de aguas lluvias. Previamente se presentan el estado del arte relacionado con los estudios y avances en materia de diseños hidrológicos seguido de las teorías a considerar para el desarrollo de la investigación. Posteriormente se encuentra el marco teórico-conceptual en el cual se exponen las posibles soluciones y conceptos de vital importancia para la investigación. Finalmente se presenta en el marco normativo con la normatividad vigente relacionada con la problemática a tratar seguida por un marco geográfico en el cual se exponen las características de la zona de estudio.

7.1 Antecedentes

La arquitectura ha reflejado la creatividad del hombre, construcciones que han sido enmarcados como grandes obras del mundo antiguo y nuevo. Estas obras se hallan en diversas áreas, desde la infraestructura urbana hasta diseños hidráulicos. El ser humano se ha encargado de construir desde la antigüedad para satisfacer necesidades que presenta. Las construcciones de los embalses es una de las obras más antiguas, pero no a sido sino hasta el último medio siglo que estos tipos de obras han presentado un auge considerable (Córdova C, 2015). Hoy en día el fin de los embalses se presenta para un sinnúmero de usos, desde el abastecimiento de una población hasta la generación de energía. Colombia presenta 13 embalses de diversos usos, donde cada uno presenta una motivación diversa o similar, uno de ellos es considerado como el más grande de latino América.

Embalse de Bucaramanga

Se considera el embalse más reciente que ha construido Colombia, fue inaugurado por el presidente Juan Manuel Santos en su segundo periodo electoral. Está situado en el cauce del río en la jurisdicción del departamento de Santander. esta bajo a la jurisdicción de la empresa Acueductos AMB, su principal objetivo es el abastecimiento de agua de agua potable y uso industrial. A pesar del principal objetivo, contrajo una serie de impactos en las comunidades de las veredas Rosa Blanca, Retiro Grande, Monserrate, Boloqui y Cuchilla Alta del corregimiento dos de Bucaramanga, para mitigar y compensar el impacto causó se está impulsando del turismo para mejorar la calidad de vida. (Cárdenas, 2015).

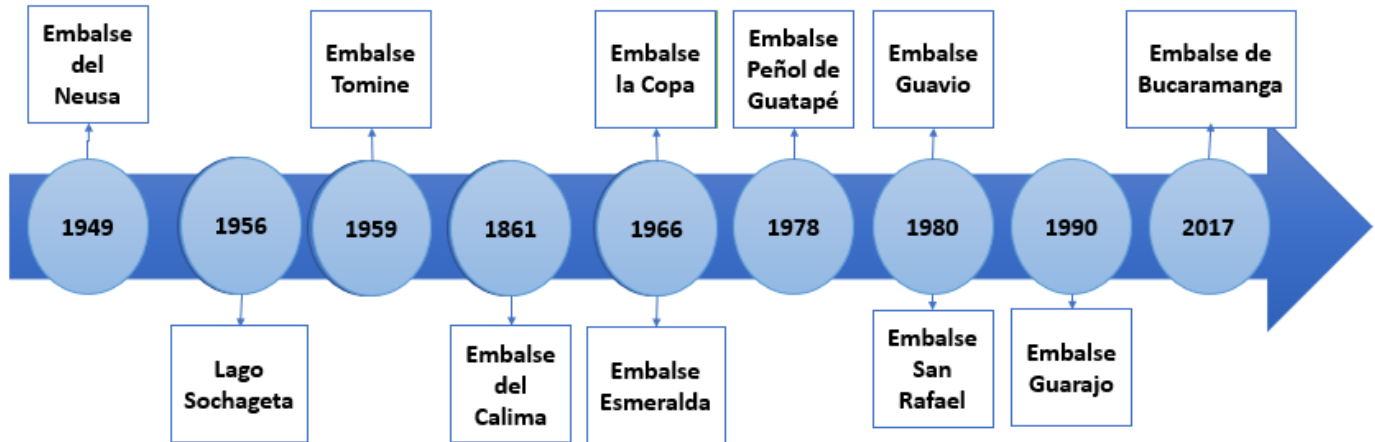
El embalse del Calima

Fue creado en el año 1961 hasta el año 1996, es considerado uno del más grande embalse en todo latino América. La motivación inicial era para el abastecimiento de energía, inundando 14 kilómetros de largo (Noguera, 1992). Hoy en día además de abastecer hidráulicamente a la población aledaña, este embalse se a convertido en un sitio turístico, promocionando el deporte acuático, en abril del año 2019 se presentaron alrededor de 8 mil (CARACOL RADIO, 2010)

Embalse Peñol de Guatapé

En 1978, el río Nara fue utilizado para hacer el embalse, como objetivo de implementar una hidroeléctrica para la salvación económica del pueblo. El embalse también es reconocido por sus tierras son reconocidas como el tapete de algas o plantas fluviales (Rendón, 2017). La ubicación geográfica presentaba un punto estratégico para hacer la implementación del Embalse, en el año 1957 se realizaron los estudios adecuados y para el año 1961 se oficializó el megaproyecto. Hoy en día representa 1222 millones m³ de agua de dolor debido a la implementación inadecuada de los diseños.

Figura 2 Línea de tiempo de los embales en Colombia



Fuente; Autores, 2019

7.2 Estado del arte

De acuerdo con (Pérez Romo & Vanegas Sandoval , 2016) en su trabajo titulado “*Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río Frío en el municipio de Chía*” en el cual realizan un estudio hidrológico en la subcuenca del río Frío el cual abarca a los municipios de Cajicá, Tabio y Chía con el fin de determinar sus características en cuanto al: sistema de drenaje, precipitación media, pendiente de la cuenca y caudales. a partir de este estudio se determinó el funcionamiento de las estructuras hidráulicas existentes y ver su eficiencia para proponer mejoras en su funcionamiento en pro de disminuir el riesgo de inundación en el municipio de Chía.

Por otro lado, el tipo de investigación a utilizar en el documento es de tipo mixta (*Cuantitativa y Cualitativa*) en el cual la parte *cuantitativa* se expresa mediante datos obtenidos del IDEAM, mediciones topográficas, los cuales fueron la información inicial para determinar las características de la cuenca y la *cualitativa* se encuentra presente en la caracterización de las estructuras hidráulicas que presentaban el río frío. La metodología se ordenó por fases para darle un orden consecutivo al trabajo. La primera fase hace referencia a aprestamiento y trabajos iniciales, la segunda fase a la recolección de información de campo, la tercera fase al análisis y procesamiento de la información y la última fase a la elaboración del documento de resultados. Estos resultados fueron procesados mediante los softwares SMADA y HEC-RAS para determinar caudales máximos y alturas de lámina de agua en los diferentes periodos de retorno.

Como conclusión se obtuvo que la cuenca del río frío cuenta con un buen sistema de drenajes, además cuenta con un nivel de escorrentía bastante alto esto se debe a los cambios antrópicos generados. En cuanto a los caudales estos presentan un valor estándar de 4 m³/s y el caudal máximo de 53 m³/s. las estructuras hidráulicas que fueron estudiadas cumplen los requisitos para todos los periodos de retorno, pero poseían algunos problemas minúsculos que afectan el rendimiento de estos.

En el estudio realizado por (Díaz Suescún & Alarcon Africano , 2018) titulado “*Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto intervervedal en Nunchía, Casanare*” el cual tiene como objetivo determinar el uso potencial de la quebrada Niscota como fuente de abastecimiento de agua para brindar el servicio de acueducto a seis veredas de la parte baja del municipio de Nunchía del departamento del Casanare a partir del balance hídrico de la cuenca, con ayuda de datos meteorológicos oficiales, imágenes satelitales y mapas topográficos de la cuenca.

Cabe resaltar que el tipo de investigación utilizada en el proyecto es de tipo descriptiva y cuantitativa, esto se debe a que se interpreta las características de una zona específica de acuerdo con una información de entrada que se encuentra en las diferentes bases de datos ya sea pública o privada, un análisis de la información, un estudio hidrológico y una fase de resultados. De acuerdo con lo anterior se tuvo como resultado a grandes rasgos las características de cuenca como la longitud de 16.5 kilómetros , una pendiente de 5.9% , el balance hídrico para cada mes, en el cual se puede hallar la escases o la abundancia en los 12 meses, para la zona de estudio se determinó que en el año no se presentara un escasez de agua ya que la quebrada cuenta con un

alto potencial como fuente abastecedora, cuenta con otras características geológicas que complementan el estudio pero no serán traídas al caso.

En conclusión se obtuvo que la cuenca de la quebrada Niscota era de tipo oval redonda a ovalada oblonga y de acuerdo a las condiciones del terreno la pendiente es de 33.15% , lo cual se considera con una buena capacidad de drenaje y tiempos de concentración moderado, además en los datos obtenidos para el caudal se vio que aun en las temporada más seca la cual es enero el caudal que transcurre es suficiente para abastecer el proyecto de acueducto sin generar ningún impacto o presión en el cauce.

De acuerdo con los lineamientos del proyecto, el cual tiene como soporte la aplicación de herramientas tecnológicas, se tiene un artículo titulado “*Application of HEC-GeoHMS as a Tool of Hydrologic Modeling in the Field of Water Resources Engineering*” [Aplicación de HEC-GeoHMS como herramienta de modelado hidrológico en el campo de la ingeniería de recursos hídricos]. El cual tiene como enfoque la utilización de la herramienta Hec Geo HMS para realizar un modelo hidrológico, el cual permita delimitar la red hidrológica que compone a la cuenca y otros componentes que nos ofrece la extensión (Bhatt & Pandya , 2014) .

Por otra parte la metodología utilizada es de tipo descriptiva ya que determina las características de proceso de la extensión, especificando componente a componente, en los cuales se encuentra la depresión del DEM, luego dirección de flujo, acumulación de flujo, definición de la secuencia, segmentación de flujos, delineación de la rejilla de captación, procesamiento de polígonos de captación, procesamiento de la línea de drenaje y agregación de cuencas hidrográficas, estos dos últimos son un conjunto de datos los cuales mejoran la eficiencia en la delineación de la cuenca. Como resultados se encontró que el modelamiento realizado por la extensión Hec Geo HMS es similar a los datos ya conocidos (Bhatt & Pandya , 2014).

Como conclusión se encontró que la extensión Hec Geo HMS presenta un alto grado de confiabilidad debió a que los resultados encontrados en el modelo coinciden con los datos reales de la cuenca, permitiendo ser utilizada por los ingenieros ya que es una forma fácil y precisa de modelar aspectos hidrológicos (Bhatt & Pandya , 2014).

De acuerdo con (Forero B, 2017) en su trabajo titulado “*Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de altos de cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M.*” en cual se realiza un estudio de dimensionamiento de canales y embalses para la población de Cazucá con el propósito de prevenir las inundaciones que se están generando en la autopista sur, además de prevenir las inundaciones el trabajo se enfoca más que todo en el aprovechamiento de aguas lluvias para abastecer a la población. A partir de embalses que están ubicados estratégicamente para la conación de las aguas lluvias mediante la precipitación, y también la implementación de canales para la conducción de las aguas almacenadas en los embalses para llevarlas a las PTAP o sitios adecuados para el procesamiento para el consumo humano

Por otra parte, el tipo de investigación se denomina mista (cuantitativa y cualitativa), debido a que se expresa datos obtenidos por el acueducto de Bogotá, mediciones topográficas mediante modelación de elevación digitales (DEM) de ciertos satélites, el procesamiento de datos

mediante estadística, los cuales fueron formados inicialmente para determinar el área de estudio. En cuanto cualitativa en el sentido que se presenta una caracterización del tipo del embalse y las características específicas para el dimensionamiento de los canales para poder mantener la temperatura constante y también evitar los sedimentos que están presentes en el agua por efecto de las escorrentías. La metodología presente es este trabajo se puede determinar que se organizó en tres apartados, el primer apartado es la descripción del escenario ideal a donde se pretender llegar con la implementación, el segundo apartado es el escenario satisfecho según la implementación de las dimensiones y finalmente son las estrategias que se usan para llevar a cabo el proyecto tomando en mente los dos escenarios anteriores.

De acuerdo con el procesamiento de información de la precipitación junto con las curvas IDF, da indicio que para los embales tenga una tasa de almacenamiento según el método racional de 2635,51 litros/segundos, 2956,71 litros/segundo y 1128,22 litros/segundo. A su vez se expresa las dimensiones del conducto con la expresión de Manning, para conocer las características del canal de filtración, donde se establecen la compasión desde el conductor laminado en concreto permeable con piedra al interior después un recubrimiento de un geotextil NT 2500 forrado por arena.

Cabe a resaltar que es necesario la profundización es estudios de diseño hidrológicos para conocer las propiedades del suelo para poder determinar si pueden ser una variable a favor o en contra. Para hacer un control eficaz del agua no solo en cuestión de inundación sino también en la posibilidad de aprovechamiento sostenible de aguas lluvias para la población

7.3 Marco teórico y conceptual

En esta sección se exponen las teorías y conceptos relacionados con la problemática, las cuales permiten fortalecer la investigación. Esta sección consta de 7 subapartados.

7.3.1 Modelo Hidrológico

Un modelo hidrológico es “Una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica”. (IDEAM, 2019).

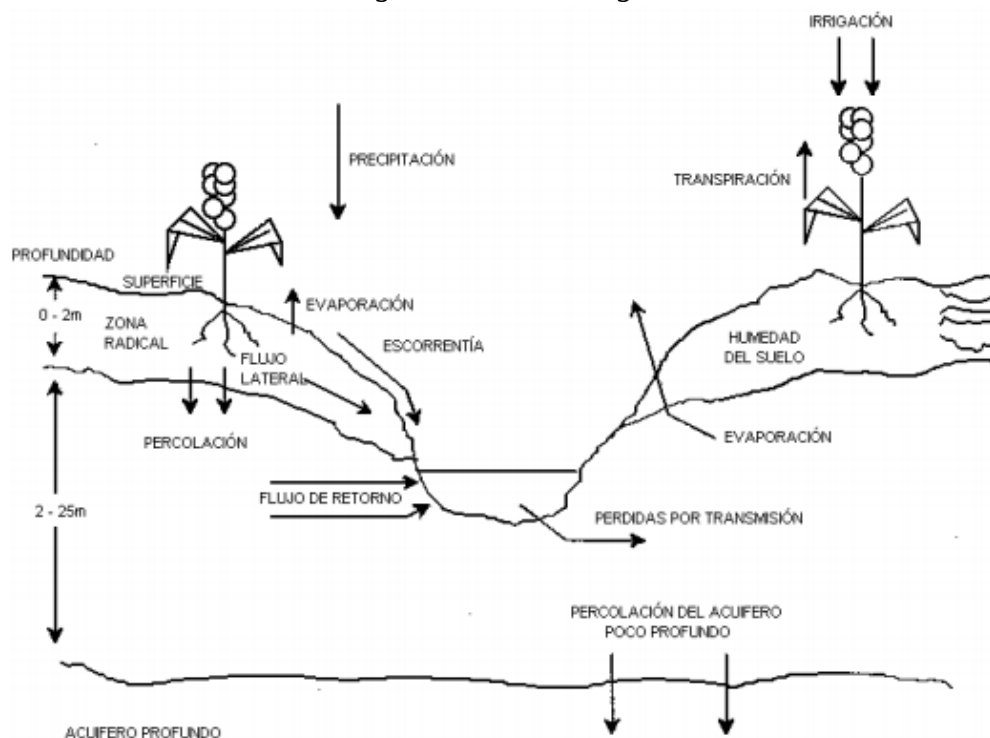
Según Sorooshian (2008) El modelo hidrológico puede ser una representación matemática de un sistema físico real (cuenca hidrográfica), su ocurrencia, circulación y distribución, también de sus propiedades químicas y físicas así como su relación cada fase del ciclo hidrológico (Linsley, Kohler, & Paulhus, 1975), sin embargo el crecimiento exponencial urbano y de las industrias, la deforestación han provocado cambios de cobertura, que han afectado el ciclo hidrológico en conjunto con el cambio climático y la heterogeneidad del suelo (Gayathri, Ganasri, & Dwarakish, 2015).

Se considera un modelo eficiente cuando presenta resultados cercanos a la realidad. Los modelos consisten en varios parámetros que definen la característica del modelo, cuyos parámetros se conforman en; modelos de escorrentías, datos de precipitación y áreas de drenaje

(Gayathri, Ganasri, & Dwarakish, 2015). Generalmente los modelos hidrológicos son considerados una herramienta la cual permite conocer un escenario o área de estudio para entender el comportamiento de las variables del proceso hídrico mediante predicciones, con el fin de analizar y permitir la toma de decisiones en obras de diseño e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Gayathri, Ganasri, & Dwarakish, 2015)

Hay que mencionar que para poder entender un modelo hidrológico es necesario tener conocimiento sobre el ciclo del agua, ya que los componentes del ciclo se consideran variables fundamentales al momento de realizar una modelación hidrológica.

Figura 3. Ciclo del agua



Tomado de SWAT, 2005

7.3.2 Precipitación

Según la Sociedad meteorológico-americana (AMS) la precipitación son todas las partículas acuosas de origen sólido o líquido que se forman en la atmósfera y caen a la superficie terrestre (American Meteorological Society, 2009). Es decir que es la caída libre del agua acumulada

en las nubes hacia el suelo de a la tierra (Teleformacion, 2007). Según los AMS se establece que hay más de diez formas de precipitaciones (Figura 2) pero de los cuales tres de ellas son los más conocidos, los cuales son; lluvia granizo y nieve. También cabe a señalar que las medidas de medición por lo general se expresan en milímetros (mm) o en pulgadas de profundidad de agua líquida, midiendo en un lugar previamente establecido en un determinado periodo de tiempo. El instrumento de medición es conocido como el pluviómetro fijo (American Meteorological Society , 2009).

Figura 4. Tipos de precipitación

	Rocío		Diluvio de agua		Diluvio de granizo		Escarchado suave
	Luvia		Diluvio de nieve		Relámpagos		Escarchado grueso
	Llovizna		Granizo		Tormenta		Reposo de nieve
	Nieve		Granizos pequeños		Arco iris		Nieve granular
	Agua nieve		Granizos suaves		Escarchado		Tormenta de nieve

Adaptado de: Climates and Weather Explained, 1997

Por otra parte es importante resaltar que la velocidad terminal, es la velocidad en la que un cuerpo cae bajo la gravedad logrando quedarse en aire suspendido y depende del tamaño del mismo (Linacre & Geerts, 1997). Por ende la precipitación da origen cuando la gota tiene el peso suficiente para poder obtener la velocidad terminal hacia abajo, la cual es inversamente proporcional a la corriente ascendente de la nube (Linacre & Geerts, 1997). Según el tamaño de la gota la precipitación puede variar (Figura 3) para el caso de las nubes normales la velocidad terminal es nula por el tamaño sin embargo la lluvia depende también de la fusión de gotas mayor tamaño (Linacre & Geerts, 1997).

El comportamiento de la nube juega un papel importante, junto con la temperatura, debido al momento de ascender la nube se expande, generando un cambio de temperatura lo que permita alcanzar un nivel de enfriamiento permitiendo obtener el vapor de agua, el punto de rocío y la condensación (Gras, 2009) la condensación permite que la fuerza de gravedad supere la fuerza

de suspensión permitiendo que el agua caiga hacia el suelo (Gras, 2009) La precipitación varía según las variables y no es igual en todo el planeta, también está de la mano del cambio climático y también del clima que se presenta en la zona; en la zona ecuatorial se presenta nubes de convección; en las zonas templadas se presentan lluvias frente; y finalmente las lluvias de barlovento son las que se origina por la orográficas o de relieve en las que son masas de aire que precipitan en barlovento (FAO, 2019).

7.3.3 Evaporación

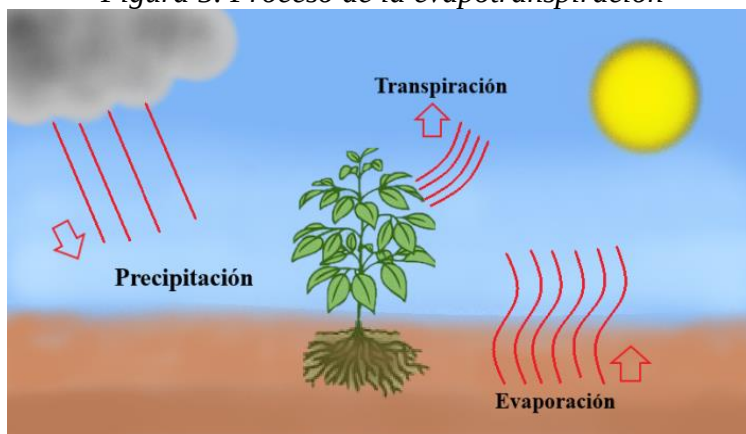
La evaporación es conocido como el proceso en el cual el agua pasa de una fase líquida a vapor (vaporación), el agua se evapora dependiendo de la temperatura y del a la variedad de la superficie, tales como, pavimentos suelos, vegetación húmeda, cuerpos hídricos (FAO, 2019). Para poder obtener este tipo de proceso una gran cantidad de energía es requerida, la radiación solar directa, la temperatura del aire y ambiente generan suficiente energía para poder realizar el proceso. Teóricamente la fuerza ejercida para eliminar el vapor del agua es la fuerza de la diferencia entre la presión del vapor en la superficie y la atmosfera. (FAO, 2019). Sin embargo se puede presentar saturación, generando una ralentización del proceso, generando un alto nivel de detener si solo si el aire húmedo no se transfiere a la atmosfera, dicha transferencia o más bien reemplazo depende de la velocidad del viento (FAO, 2019). Parámetros como la radiación solar, la calidad del aire (temperatura, humedad y velocidad) y factores climatológicos son los que evalúan el proceso y determinan la evaporación.

7.3.4 Transpiración

La transpiración consiste en la vaporación del agua en las superficies, pero por otro lado la transpiración se basa en el mismo fundamento pero en un área de tejido vegetal. En cuanto al cultivo y/o vegetación, se determina la pérdida constante del agua por el mecanismo de las estomas (FAO, 2019), donde el mecanismo permite pasar los gases y el vapor de agua. El fenómeno de la vaporación se presente dentro de los espacios intercelulares junto con el intercambio de vapor con la atmosfera quienes son controlados por la apertura de la estoma (FAO, 2019). Es importante resaltar que la vegetación no absorbe gran cantidad de agua por la apertura del estoma sino que la transpiración recoge gran parte del agua y es quien deja pequeñas fracciones para el uso delimitada de la planta (FAO, 2019).

Hay que mencionar que la transpiración presenta los mismos parámetros de evaluación de evaporación, la radiación, el gradiente de presión de vapor, la calidad del aire que se componen en velocidad, temperatura, dirección, humedad (FAO, 2019). La filtración del agua en el suelo y la absorción del agua por las raíces de la vegetación, también corresponden a la tasa de transpiración al igual que el anegamiento y la salinidad del agua, sin embargo se evidencia una alteración de la tasa de transpiración dependiendo de tipo de cultivo, ya que los factores ambientales y la práctica de este cultivo sin destinos entre sí, generando un distinto manejo al momento de evaluar la transpiración con los parámetros previo más las condiciones del ambiente (FAO, 2019).

Figura 5. Proceso de la evapotranspiración



Adaptado de Usgs, 2019

7.3.5 Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración es la combinación de los procesos de evaporación y transpiración. Estos dos procesos pueden llegar a ocurrir simultáneamente y no existe método para identificar la diferencia cuando ambos procesos están ocurriendo (FAO, 2019). En un suelo que presenta una siembra la mayoría (100%) la ET proviene de la evaporación, mientras que en un suelo que tiene cobertura completa de cultivo presenta una ET entre el 90 % al 100% proveniente de la transpiración (FAO, 2019).

Teniendo en cuenta que la ET está la composición de dos procesos que a su vez pueden llegar a ocurrir simultáneamente, hace que la medición sea compleja de calcular, a su vez se puede calcular de forma indirecta, teniendo en cuenta el principio básico del ciclo del agua, afluentes = efluentes, el agua que entra es igual al agua que sale (University of Oklahoma, 2015). Para los afluentes se pueden considerar la precipitación y el agua subterránea, mientras que el efluente se considera el vaporado y la evapotranspiración. Se puede establecer que S es el cambio de la cantidad de agua dentro de la caja donde es igual a la precipitación P menos la ET, el agua subterránea G y el vaporado Q (University of Oklahoma, 2015). Lo que expresa la siguiente ecuación:

$$S = P - ET - G - Q$$

Se presenta una ecuación general de forma indirecta donde se puede despejar ET para obtener la siguiente ecuación:

$$ET = P - S - Q - G$$

Ecuación 1 Cálculo de la Evapotranspiración.

La razón por la cual la ET es difícil o en su defecto casi imposible de medir, es porque la ET varía drásticamente a lo largo de las escalas pequeñas; las especies de las plantas, la edad y el estado de la planta; la posición y el ángulo del sol; la meteorología y climatología como, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento dirección; la cobertura terrestre y entre otros (University of Oklahoma, 2015). Sin embargo se puede medir experimentalmente pero teniendo en cuenta todas las variables que pueden alterar el ET se convierte en costoso y sujeta a errores.

7.3.6 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP o también conocido en inglés como PET), es la evaporación de una superficie entendida por un cultivo corto verde en el cual sombrea toda la superficie del suelo, que ejerce poca o insignificante resistencia al flujo de agua pero a su vez tiene reservas de agua (Mays, 2010). La ETP puede actuar sobre plantas, suelo y cualquier tipo de superficie pero a su vez también puede actuar sobre la precipitación antes de que la gota toque el suelo. Hay que mencionar que según las condiciones climáticas la evaporación siempre va a tener una mayor cantidad que la ETP. Por otro lado se presenta una diferencia entre ET y ETP, en la ETP se puede realizar tres tipos de influencia: una influencia de las superficies extendidas, también influencias de la altura del cultivo y una influencia de la cobertura del cultivo (Kirkham, 2005).

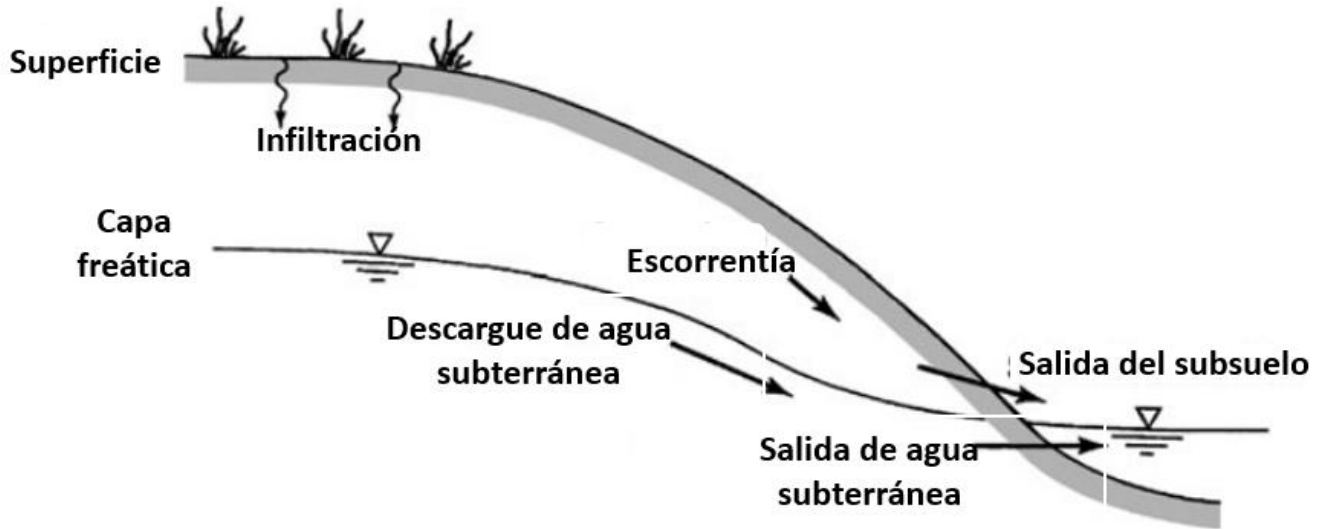
7.3.7 Escorrentías e infiltración

Se conoce que la precipitación se vaporiza mediante evaporación, transpiración o hasta incluso con la evapotranspiración, cierta cantidad de agua se ve afectado por los procesos anteriores, pero también se presenta la escorrentía y la infiltración. La infiltración se conoce como el agua que alcanza a filtrarse en la superficie del suelo. Mientras que la escorrentía es simplemente el agua que no logra infiltrarse debido al tipo de superficie o que la capacidad de retención del suelo llega al límite (University of Oklahoma, 2015).

7.3.8 Infiltración

Se le llama infiltración al proceso en el cual el agua penetra el suelo. La tasa de infiltración se ve afectado por las condiciones superficiales del suelo como la cobertura vegetal, las propiedades fisicoquímicas del suelo, conductividad hidráulica (Mays, 2010), es importante conocer la estructura del subsuelo (Figura 6)

Figura 6. Estructura del subsuelo



Adaptado de Water resources engineering, 2010

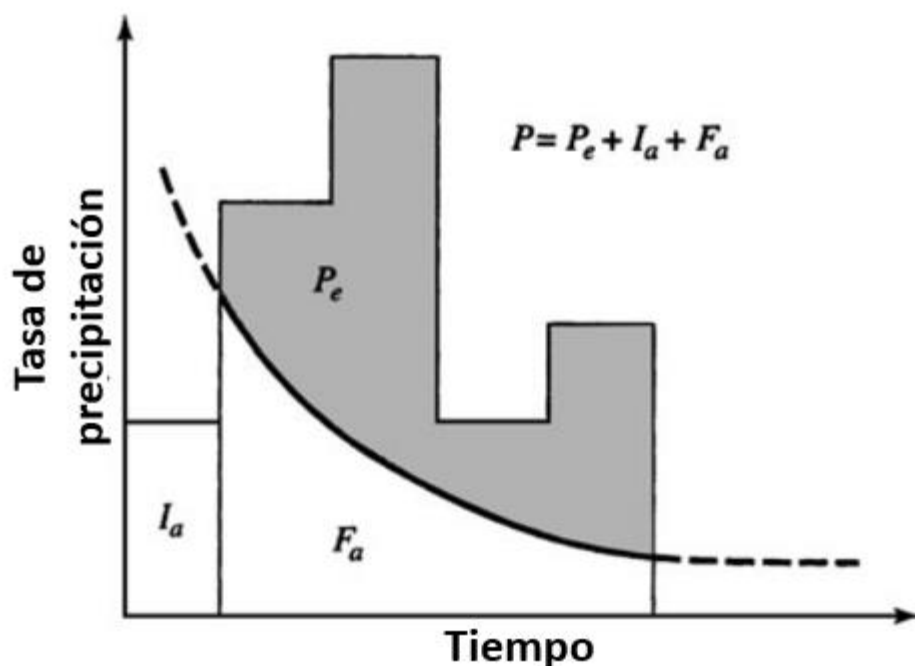
El modelo de infiltración del Horton, es una de las más simples para calcular la infiltración y conocer la tasa de abstracción (in/h o cm/h), es una relación empírica donde se asume que la infiltración comienza en una tasa f_o de forma de exponencial decreciente intentando llegar a una tasa constante f , donde se representa en la siguiente ecuación (Mays, 2010).

$$F_t = f_c + (f_o + f_c) e^{-kt}$$

Ecuación 2 Modelo de infiltración de Horton

El servicio nacional de conservación de recursos (NRCS) de Estados Unidos, desarrolló una relación entre la precipitación y la escorrentía para la cuenca. La profundidad de la precipitación o la escorrentía directa P_e siempre será menor o igual a la profundidad de la precipitación P , así mismo cuando la escorrentía comienza la adición de profundidad del agua es retenida en la cuenca F_a será menor o igual a la potencia máxima de retención S (Mays, 2010), como se puede evidenciar en la figura 6.

Figura 7. Precipitación contra tiempo



Adaptado de Water resources engineering, 2010

Donde I_a = abstracción inicial
 P_e = el exceso de escorrentía
 F_a = abstracción continuada
 P = escorrentía total

7.4 Marco Normativo

En este capítulo, se resalta los actos normativos más relevantes y relacionados con el desarrollo del proyecto, la cual se clasifica en los siguientes grupos; Recurso hídrico, embalses, gestión del riesgo de desastres con el fin de tener una visión de la normatividad aplicable para la investigación.

Tabla 1. Normatividad aplicable para el proyecto

ACTO NORMATIVO	EXPEDIDO POR	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de 1991	<i>Congreso de la República</i>	“Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”
Ley 99 de 1993- Ley General Ambiental de	<i>Congreso de Colombia</i>	“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales

Colombia		renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.
Ley 9 de 1979 – Código Sanitario Nacional	<i>Congreso de Colombia</i>	Se establecen las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para la preservación, restauración y mejora de las condiciones sanitarias así como de los procedimientos y medidas que deben adoptar para la regulación, legalización y control de descargas de residuos o materiales que afecten las condiciones sanitarias de Ambiente, con el fin de asegurar el bienestar y la salud humana.
Ley 373 de 1997- Programa para el uso eficiente y ahorro del agua	<i>Congreso de Colombia</i>	Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico.
Ley 388 de 1997- Desarrollo territorial	<i>Congreso de Colombia</i>	Se establecen los mecanismos que permitan promover el ordenamiento del territorio y el uso equitativo y racional del suelo, patrimonio ecológico y cultural.
Decreto 2811 de 1974 – Código de los Recursos Naturales Renovables	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	Su objetivo es lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos.
Decreto 958 de 2001- Comisión Intersectorial de Servicios Públicos Domiciliarios	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	Planes y programas para la prevención de desastres, costos a establecer por el servicio destinado para el mantenimiento.
Decreto 1076 de 2015 - Decreto único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	Es la recopilación en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. Teniendo en cuenta esta finalidad este decreto no contiene ninguna disposición nueva, ni modifica las existentes.
Recurso Hídrico		
Política Nacional de Recurso Hídrico 2014	<i>Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</i>	Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio, considerando el recurso hídrico como factor de desarrollo económico y de

		bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.
Decreto 1640 de 2012	<i>Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</i>	Reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y acuíferos.
Decreto 3930 de 2010		Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
Decreto 1575 de 2007- Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	<i>Ministerio de la Protección Social</i>	Establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada
Gestión del riesgo de desastres		
Ley 1523 de 2012- Política nacional de gestión del riesgo de desastres y el sistema nacional de gestión del riesgo.	<i>Congreso de Colombia</i>	Formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo con el propósito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo.
Embalses		
Decreto 2570 de 2006 – Análisis de Calidad del Agua para embalses.	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	El IDEAM publicará y actualizará permanentemente en su Página web, la información de los laboratorios ambientales acreditados y en proceso de acreditación, para conocimiento de las autoridades ambientales competentes y demás personas interesadas
Decreto 1753 de 1994.	<i>Presidencia de la República de Colombia</i>	“La licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, sujeta al cumplimiento por parte del beneficiario de la licencia de los requisitos que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada
Documentos de interés		
Resolución 0330 DE 2017	<i>Ministerio de vivienda, ciudadana y territorio</i>	“Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento- RAS y se derogan las resoluciones 1019 de 2000, 0424 de 2011, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1774 de 2005 y 2320 de 2009#

Fuente; Autores,2019

7.5 Marco Geográfico

En esta sección se presentan las características y condiciones de la zona de estudio.

7.5.1 Guayabal de Síquima

El municipio de Guayabal de Síquima pertenece al departamento de Cundinamarca bajo la provincia del Magdalena medio, ubicado en la vertiente occidental de la cordilla oriental justo a 69 Kilómetros de Bogotá D, C (CAR, 2018) , limitado por el nororiente con el Municipio de Villeta y Albán, por el Occidente con el Municipio de Bituima, por el Sur con el Municipio de Anolaima y por el Oriente con el Municipio de Albán (CAR, 2018).

Guayabal cuenta con una extensión total de 63 Km² en el cual el área rural es de 62.82 Km² y con el área urbana de 0.18 Km² (Alcaldía Municipal de Guayabal Síquima, 2018), tiene una población de 3,668 habitantes. Si composición es de 23.94 % área urbana y 76,06% el rural (DANE, 2005).

Zona urbana: 878 hab/0.18 Km²

Zona rural: 2790 hab/ 62.82 Km²

7.5.2 Albán

El municipio de Albán se encuentra en el departamento de Cundinamarca a 59 km de Bogotá D.C. Cuenta con área aproximada de 75 Km² de la cual el 0.26% es zona urbana y el 99,74% de zona rural. El municipio limita por el norte con Villeta y Sasaima, por el sur con Anolaima, por el Occidente con guayabal y por el oriente con Facatativá y Sasaima (Albán, 2008). Cuenta con una población de 5957 habitantes de la cual 1455 hace parte de la zona urbana (DANE, 2005)

Zona urbana: 1455 hab/0,19 Km²

Zona rural: 4502 hab/ 74,81 Km²

Figura 8 Mapa Ubicación Geográfico



Fuente: Autores, 2019

El río Siquima presenta su nacedero en el alto de la Tribuna del municipio de Albán, esto se debe a las condiciones ecológicas y climáticas que presenta el sector, permitiendo recoger el agua que se encuentra en la atmosfera, condensándola, produciendo pequeños vertederos que dan origen al río. (Instituto HUMBOLDT, 2017)

A partir del nacimiento, el área de la cuenca empieza a aumentar en el recorrido, hasta que llega a hacer parte de una cuenca más grande, en este caso la del río contador. En este recorrido pasa por los municipios de Albán y a Guayabal de Siquima en la parte más baja.

En el área que capta la cuenca del río Siquima, se encuentra una serie de ecosistemas naturales y otros ya modificados por el hombre para su propio beneficio, con la finalidad de implementar actividades agrícolas y pecuarias. De acuerdo con el plan de desarrollo de los dos municipios se encontró que la ganadería, la avicultura, y los cultivos son las principales actividades económicas del municipio (Alcaldía Municipal de Guayabal de Siquima Cundinamarca, 2001)

Figura 9. Caso de estudio



Fuente: Autores, 2019

La razón del porque el área rural tiene mayor porcentaje es causado por la economía que se presenta, debido a predomina la unidad agrícola familiar, ya que la mayoría de los predios que están registrado en la base de datos del catastro presentan un área menor de 5 Has (Alcaldía Municipal de Guayabal de Síquima Cundinamarca, 2001). Hay que mencionar, además que la vocación del suelo es eminentemente agropecuaria (pero importante en la economía) donde a su vez se abarca 3 tipos de actividad pecuaria; bovinos, porcinos y avícola, con su producción respectiva en toneladas, 130, 36 10800. (Alcaldía Municipal de Guayabal de Síquima Cundinamarca, 2001)

El área rural que presenta el municipio de Guayabal de Síquima (62.82 km²) se divide en once veredas en las cuales son; Chiniata, Manoa, Mesitas, Robledal, Pajonal, Picacho, Pueblo Viejo, Resguardo, Trinidad, Trigo, Torres (Concejo Municipal, 2012). En base a lo anterior el área de estudio es toda la cuenta del río Síquima, ya que va a identificar los puntos estratégicos para la implementación del modelo para minimizar el riesgo de inundación t y abastecer las veredas con el diseño.

7.6 Marco Institucional

En esta sección se realiza una breve descripción de las instituciones que contribuyen con el desarrollo del proyecto en materia de jurisdicción, datos y análisis.

Tabla 2 Entidades públicas & privadas asociadas al proyecto

IDENTIDAD	DETALLE	LOGO
Alcaldía municipal de Guayabal de Siquima	Mediante la plataforma municipal se contemplaron los datos más relevantes del municipio, con el fin de hacer un estudio que nos permitiera identificar aspectos relevantes de la zona, además es el ente que recibirá las herramientas y recomendaciones establecidas en el desarrollo del proyecto.	
Alcaldía municipal de Albán		
Departamento Administrativo Nacional de Estadística	El DANE permite identificar la población actual del municipio realizando una proyección a partir del censo realizado en el 2005. La participación de esta entidad es netamente cuantitativa aportando datos poblacionales que se encuentran en las páginas web.	
IDEAM	El IDEAM y la CAR ofrece los datos meteorológicos y climatológicos de Guayabal de Siquima y de Albán, así	

Corporación Autónoma Regional (CAR)	como las características del paisaje y los ecosistemas que integran, participando de esta manera en la construcción del proyecto	
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres	La UNGRD brinda la información actual del estado en cuanto a los desastres naturales los cual nos permite poder hacer una planificación control y una buena gestión en al reo del estudio	

Fuente; Autores, 2019

8. Metodología

Con base en los objetivos específicos planteados se establece la metodología con el fin de alcanzar el objetivo general. La elaboración de un modelo hidrológico para el aprovechamiento de aguas lluvias para la prevención y disminución del riesgo a inundaciones en la cabecera municipal de Guayabal de Siquima, consta de un embalse como controlador las inundaciones.

A continuación se realiza una explicación de las características de la metodología de investigación, compuesta por: alcance, enfoque y método, así como de las técnicas e instrumentos (Figura 11), posteriormente se realiza un diagrama de flujo el cual permita conocer las fases principales que se llevaran a cabo (Figura 10).

8.1 Diseño metodológico

Se definieron alcances de tipo **exploratorio, descriptivo y correlacional** para la investigación. Primeramente se considera un alcance exploratorio al elaborar el levantamiento secundario de información con el fin de realizar la caracterización de la zona de estudio en nuestro caso del rio Guayabal (Hernández, 2014), así como de la cabecera municipal teniendo en cuenta datos geomorfológicos, hidrológicos y topográficos permitiendo conocer la capacidad y uso de suelo así como de la degradación ecosistémica siendo de esta manera descriptivo; finalmente se tiene un alcance correlacional al relacionar las características del área de estudio con las diferentes variables hidrometeorológicas para llevar a cabo un diseño hidrológico para el aprovechamiento de aguas lluvias para la prevención y disminución del riesgo a inundaciones en la cabecera municipal de Guayabal de Siquima

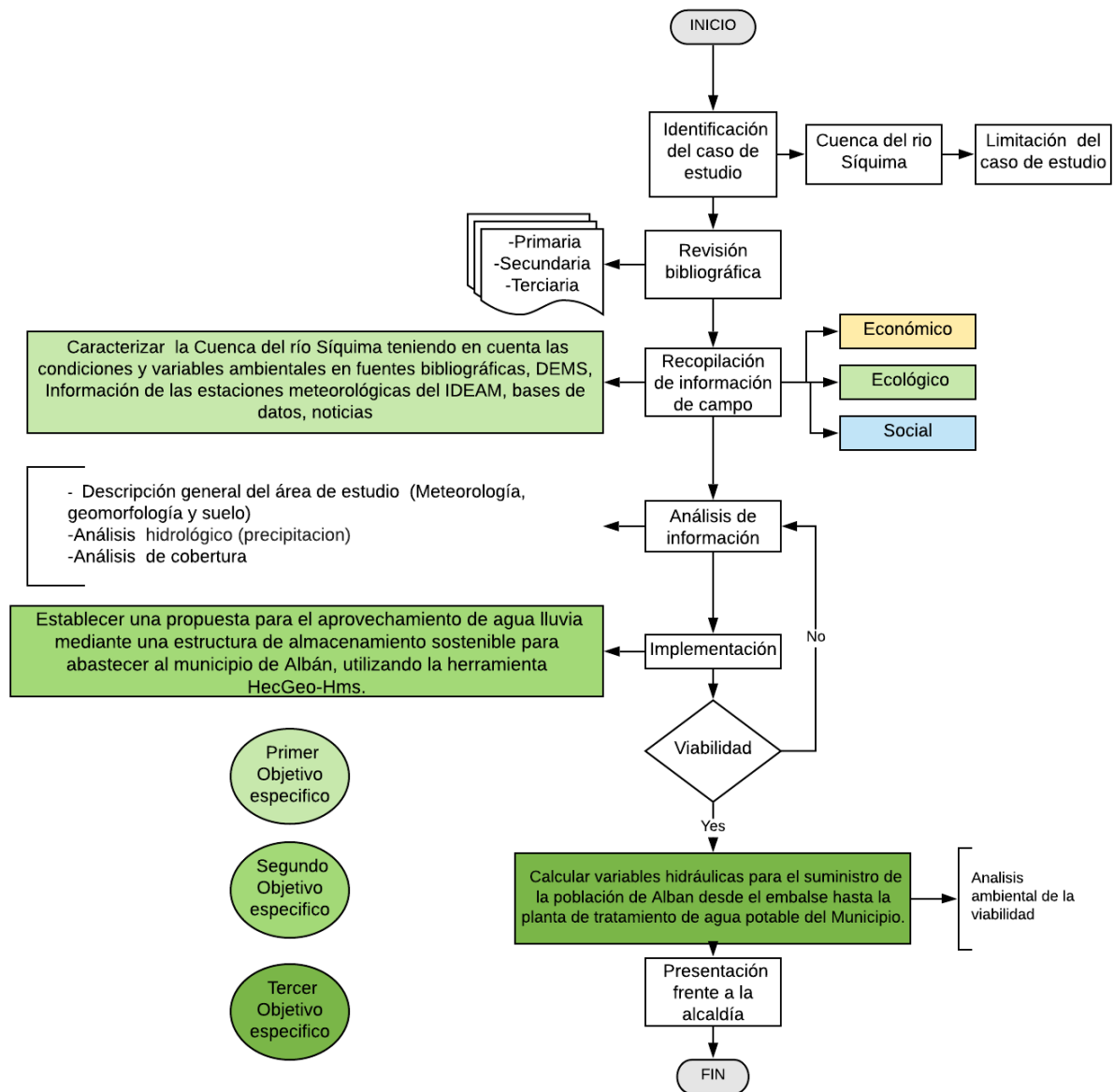
Se definieron variables de tipo **mixto (cuantitativo y cualitativo)**. En primer lugar, se define de tipo cualitativo referida como investigación interpretativa (Hernández, 2014) permitiendo incluir concepciones y percepciones en cuanto a la elaboración de la caracterización de la zona de estudio en relación con la problemática. A nivel cuantitativo, se considera que es un enfoque

relacionado a la recolección de datos de medición y análisis numérico con el fin de plantear y dar solución a teorías. (Hernández Sampieri, 2006), en relación análisis de datos hidrometeorológicos esenciales para el diseño hidrológico y el diseño del embalse.

La metodología que se llevó a cabo en el documento es de tipo **analítico** esto se debe a que se estudiaron los componentes de forma separada permitiendo conocer las causas, naturaleza (Ruiz , 2006), para luego establecer las relaciones que se pueden dar entre ellas permitiendo analizarlas desde su estructura.

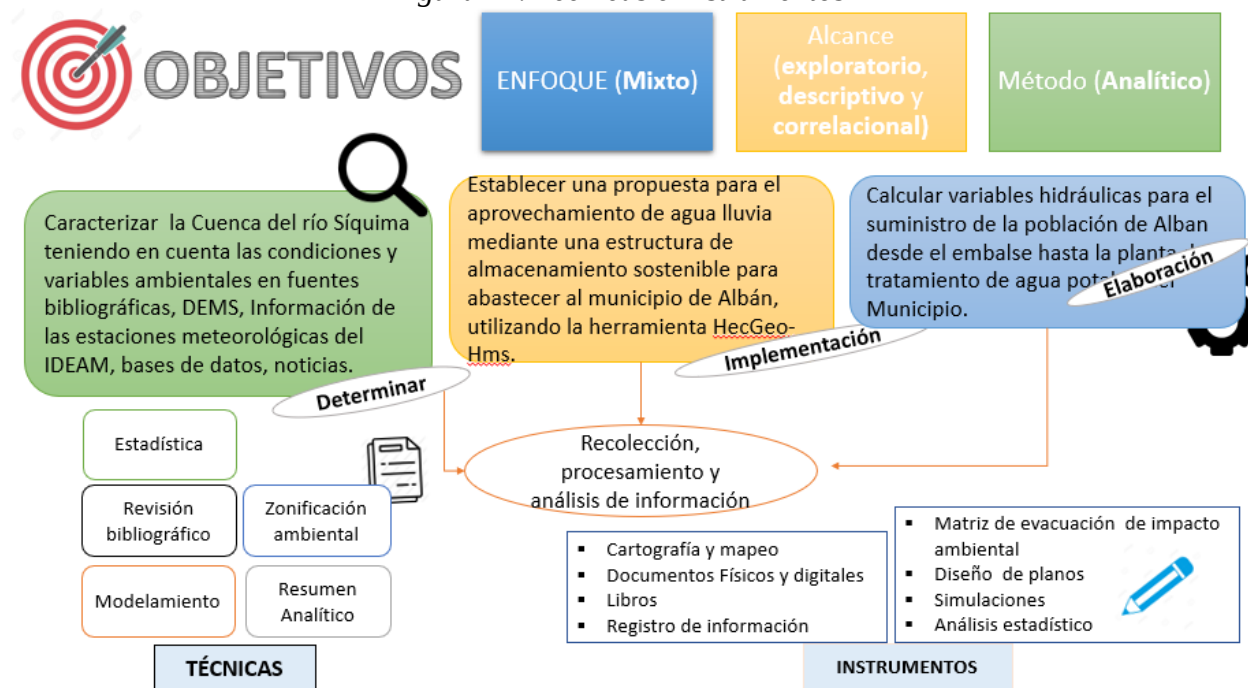
Cabe resaltar que la metodología fue diseñada por los autores con el fin de cumplir a cabalidad todos objetivos. A continuación, se encuentra el diagrama de flujo de la metodología de forma general al igual que las técnicas y los instrumentos que se utilizaron en el transcurso del documento.

Figura 10. Diagrama de Flujo de la metodología



Fuente: Autores,2019

Figura 11. Técnicas e Instrumentos



Fuente: Autores, 2019

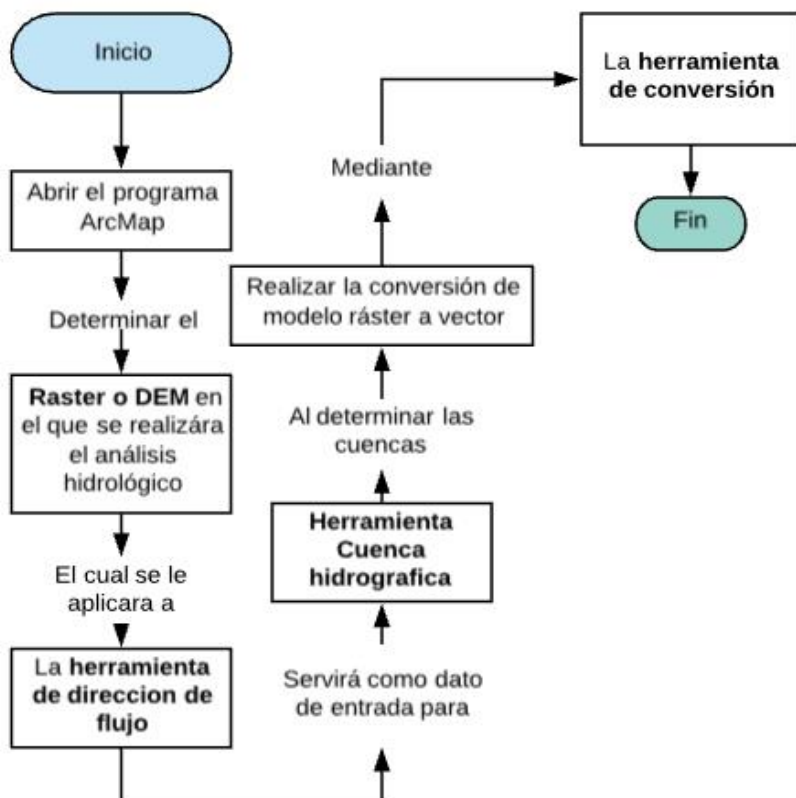
La metodología planteada se desarrolló a partir de los objetivos específicos, en el cual se desglosan por actividades consecutivas con el fin de abarcar completamente el objetivo general. A continuación, se describe la metodología específica utilizada para cada objetivo

8.1.1 Objetivo 1. Caracterizar la Cuenca del río Síquima teniendo en cuenta las condiciones y variables ambientales en fuentes bibliográficas, DEMS, Información de las estaciones meteorológicas del IDEAM, bases de datos, noticias.

De acuerdo con la metodología planteada por (Cerener , 2019) para caracterizar una zona de estudio con fines hidrológicos o hidráulicos se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Determinar el cierre de la cuneca a partir de la cartografía o aplicando programas que permitan identificar los límites entre cuencas, en este caso para identificar la cuenca o área de estudio, para ello se utilizó la metodología planteada por la empresa Escri para el software ArcMap, en el cual se tendrán como datos de entrada el modelo digital de elevación (DEM) y la utilización de algunas herramientas que posee el programa

Figura 12. Flujograma de determinación de cuencas.



Adaptada de ESRI,2019

- Hacer la caracterización física y fisiográfica de la cuenca en la cual encontraremos: área de la cuenca, forma, pendiente longitud del cauce principal, textura del suelo y cobertura.

Área de la cuenca

El área de la cuenca en este caso se determina de forma automática a partir de la poligonización de la cuenca en el programa ArcMap.

Perímetro de la cuenca

El perímetro es la longitud que posee la cuenca por su alrededor.

Longitud del cauce

Es el diámetro que posee el cauce principal desde su punto de nacimiento hasta su desembocadura.

Coefficiente de compacidad

Para determinar la compacidad de la cuenca de forma cuantitativa se hace la comparación con figuras geométricas conocidas las cuales son: círculo, ovalo cuadrado y rectángulo. En primera medida se determina mediante el Coeficiente de compacidad de Gravelius (K_c), el cual se relaciona el perímetro o longitud de la cuenca con el radio de circunferencia, como se puede apreciar en la ecuación 1

$$K_c = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 3 Factor de forma

Fuente: (Cortolima, 2015)

Donde:

K_c = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la Cuenca

En el cual los valores del coeficiente se encuentran iguales o mayores a uno, a partir de la unidad mínima su forma puede variar. Ver tabla x

Tabla 3.Clase de valores de forma

Rangos de K_c	Tipos de forma
1 – 1,25	Forma redonda a oval redonda.
1,25 – 1,5	Forma oval redonda a oval oblonga
1,5 – 1,75	Forma oval oblonga a rectangular oblonga
1,75 – Mayor	Forma rectangular oblonga

Fuente: (Cortolima, 2015)

Pendiente media del cauce

Para el cálculo de la pendiente media se debe tener en cuenta la cota máxima y mínima al igual que la longitud del cauce a partir de la siguiente formula:

$$P_m = \frac{H_{Max} - H_{Min}}{L} * 100$$

Ecuación 4 Pendiente media

Fuente: (Cortolima, 2015)

Donde:

P_m = Pendiente media

H_{Max} = Cota Máxima

H_{Min} = Cota Mínima

L = Longitud del Cauce

De acuerdo con el porcentaje de la pendiente media se puede determinar a la clase que pertenece como se puede ver en la tabla X

Tabla 4. Clase de valores de pendientes

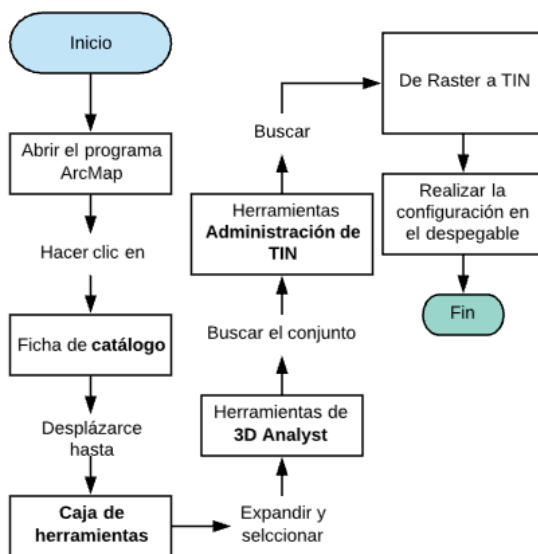
Rango de pendiente (%)	Clases
1 – 5	Suave
6 – 11	Moderado
12 – 17	Fuerte

Fuente: (Cortolima, 2015)

Topografía

Para determinar el componente topográfico de la cuenca del río Siquima se utilizó la metodología realizada por la empresa Escri para el programa ArcMap, en el cual se tendrán como datos de un modelo digital de elevación (DEM) para la zona de estudio y la utilización de algunas herramientas de 3D Analyst.

Ilustración 1 Flujograma para determinar las topografías para el programa ArcMap



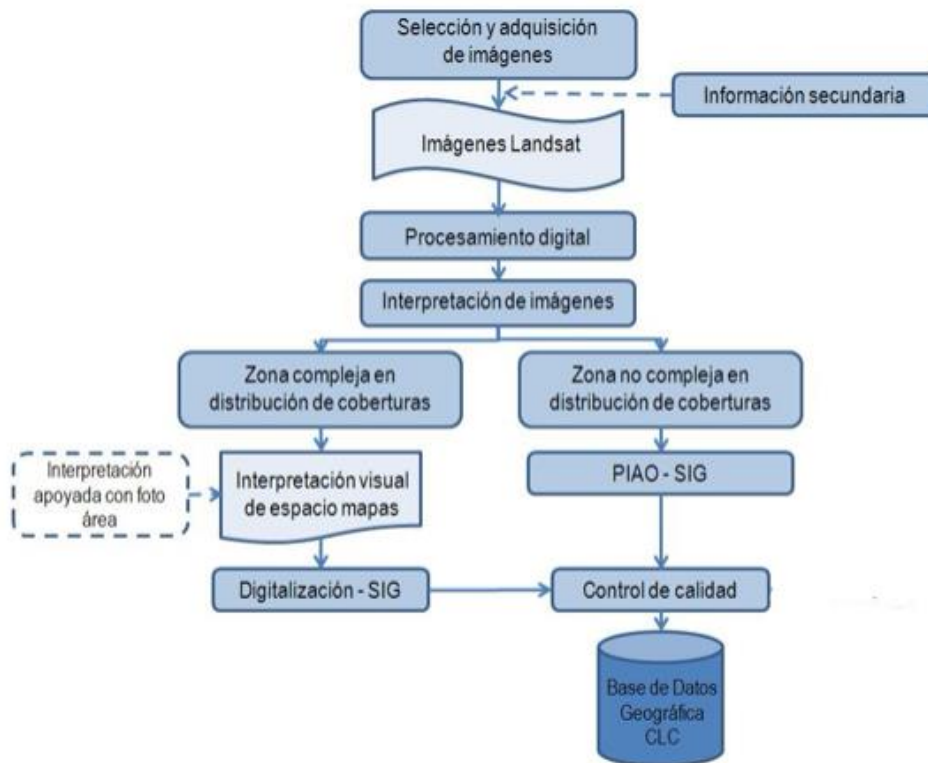
Fuente:(Autores, 2019. Esri, 2012)

Zonificación y uso de suelo

Para realizar la zonificación de la cuenca se tomó como base la metodología Corine Land Cover para Colombia, la cual permite caracterizar, describir y clasificar la cobertura de la superficie a partir de imágenes de satélite, con el fin de elaborar mapas de cobertura a diferentes escalas.

A partir del análisis se encontraron nueve coberturas dentro de la cuenca como se puede ver en la siguiente figura

Ilustración 2 Modelo General de la metodología de Corine Land Cover



Fuente: (IDEAM, 2007)

Luego de tener el mapa de Zonificación se tuvo en cuenta como guía el sistema de clasificación de cobertura y uso de la tierra del CIAF, la cual está compuesta por 4 niveles; desde el nivel exploratorio, de reconocimiento, semidetallado y detallado. Ver figura x

Figura 13 Cobertura y el uso de la tierra según el sistema CIA

C l a s i f i c a c i ó n	Nivel 1 exploratorio	Nivel 2 Reconocimiento	Nivel 3 Semidetallado	Nivel 4 Detallado
	1. Construcciones	a. Urbano	1. Residencial 2. Industrial 3. Comercial 4. Educativo 5. Recreativo	· Unifamiliares, multifamiliares. · Textil, metalmecánica, transporte, artesanal, fabril · Supermercados, respuestos, zonas abiertas, centros cerrados · Colegios, escuelas, universidad elemental superior · Parques, cines clubes
		b Rural	1. Nucleado 2. Dispersos	· Caseríos, industrias, parques · Viviendas, galpones, corrales, bodegas, invernaderos
	2. Cultivos y Parcelas	a. Perennes o semiperennes	1. Irrigados 2. No irrigados	· Frutales, caña, cultivos comerciales. · Café, banana, palma de aceite, frutales, caña
		b. Temporales	1. Irrigados 2. No irrigados	· Espigas, líneas forrajes, habas, tomates, flores · Cultivos comerciales · Espigas, líneas, barbecho, algodón
		c. Confinados	1. Horticultura 2. Flores 3. Viveros	· Lechiga, repollo, rábanos · Claveles, rosas, anturios
	3. Vegetación Herbácea Descubierta	a. Pastizales Naturales	1. Herbáceos 2. Arbustivos	· Géneros, protección, pastoreo · Géneros, características fisionómicas, estructura florística
		b. Potrerros o dehesas	1. Irrigados 2. No irrigados	· Leguminosas, gramíneas, especies · Mezclas, especies
		c. Tundras o Páramos	1. Herbáceos 2. Arbustivos	· Género, especies · Protección pastoreo
	4. Bosques y/o montes	a. Natural	1. Latifoliadas 2. Coníferas 3. Matorral	· Protector, comercial, especies, dominancia, posición · Fisiográficas, densidad, composición estructural · Protector comercial, especies, dominancia, posición, fisiográfica, densidad
		b. Pantano	1. Latifoliadas 2. Coníferas 3. Reforestación	· Protector, comercial, especies, densidad · Protector, comercial, especies, densidad · Protector, comercial, especies, densidad
	5. Cuerpos de agua	a. Superficies libres	1. Natural 2. Artificial	· Lagos, nieves, hielos · Represas, dársenas
		b. Pantanos	1. Permanentes 2. Temporales	· Hierbas, eutróficas, arbustos · Hierbas, arbusto
	6. Tierras Eriales	a. Rocas expuestas	1. Masicos 2. Fragmentación	· Escarpes, inselbergs, etc. · Debris, coluvios
		b. Suelos desnudos	1. Erosión provocada 2. Erosión natural 3. Canteras y minas 4. Riveras y playas 5. Dunas	· Surcos, cárcavas, mal país, remoción en masa · Movimiento en masa · Arenas, calizas, otros · Gravas, arenas turismo

Tomado del CIAF 1992

Precipitación media de la cuenca

Para determinar el aporte hídrico dado por la cuenca, se tuvo en cuenta la información de la estaciones meteorológicas “SANTA TERESA” del IDEAM, desde los años 2008 hasta el 2014 y la estación “Venecia” de la CAR, desde los años 1970 hasta el 2018, en el cual se realiza una interpolación mediante la distancia inversa ponderada lineal (Método de interpolación IDW) (ArcMap, 2019) de los valores conocidos en el software ArcMap, esta interpolación se dará a conocer en forma de isoyeta.

Identificación de la Población

Para este apartado se tuvo en cuenta el censo que realizó el DANE en el 2018. Para determinar la población que están presentes dentro de la cuenca, se tuvo en cuenta VIHOPE junto con las veredas totales o parciales que conforman la cuenca.

Estimación de la demanda de agua

Para determinar la demanda de agua del municipio de Alban se hizo a partir de los lineamientos establecido en el RAS 002, en el cual la demanda media total de agua es la suma de la demandando residencial más la demanda de otros usos. En este caso solo tendrá en cuenta la demanda media residencial, y se desprecian los otros usos.

Para determinar la dotación neta, se tomó en cuenta los valores generalizados que se encuentran en la guía, el cual tiene como referente los promedios de altura sobre el nivel del mar

Tabla 5 Dotación neta máxima según la altura promedio

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/HAB*DIA
>2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
<1000 m.s.n.m	140

Fuente: (MAVDE, 2002)

Para determinar la dotación bruta es de vital importancia tener en cuenta las pérdidas generadas el cual se puede determinar con el nivel de complejidad como se puede ver a continuación
Tabla x Pérdidas de agua en el sistema.

Tabla 6 Nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	% de perdidas
Bajo	40%
Medio	30%
Medio alto	25%
Alto	20%

Fuente: (MAVDE, 2002)

Al determinar las pérdidas generadas se puede determinar la demanda bruta, aplicando la siguiente ecuación

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

Ecuación 5 Dotación bruta

Fuente (MAVDE, 2002)

Donde:

Dbruta = Dotación bruta

Dneta = demanda neta

A partir de los datos anteriores se puede hacer el cálculo de la demanda total de agua, de acuerdo a lo estipulado en el proyecto, en este caso la demanda residencial es igual a la demanda total de agua, la cual se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{mr} = \frac{Ps * Dbruta}{86400}$$

Fuente: (MAVDE, 2002)

Donde:

$$Q_{mr} = \text{Demanda media residencial}$$

Dbruta = Dotación bruta

Ps = Población servida

- Finalmente se realizará una comparación entre la demanda de agua para el municipio con la cantidad de agua que capta la cuenca para cada mes, para determinar si realmente se alcanza a abastecer.

Tabla 7 Modelo de Aprovechamiento de aguas

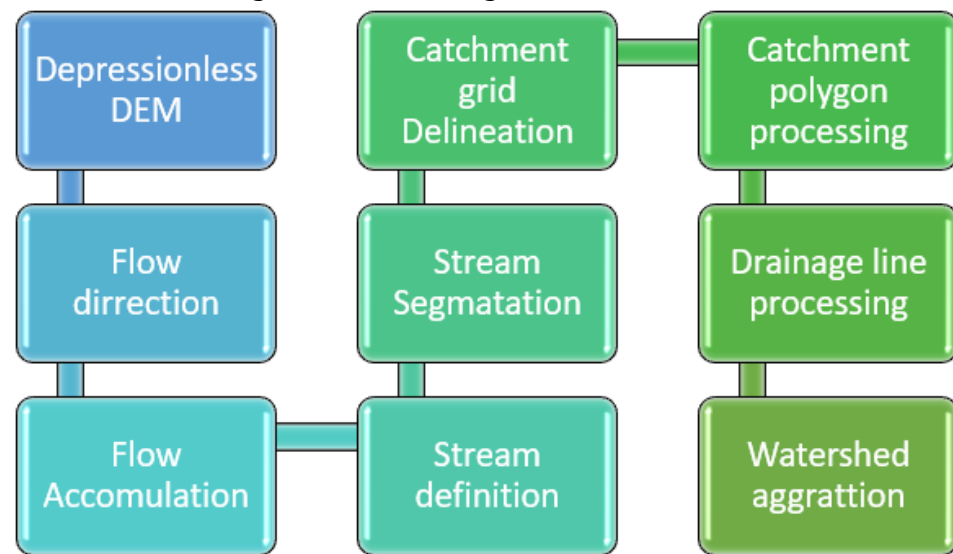
[illegible]

Fuente: Autores, 2019

8.1.2 Objetivo 2. Establecer una propuesta para el aprovechamiento de agua lluvia mediante una estructura de almacenamiento sostenible para abastecer al municipio de Albán, utilizando la herramienta HecGeo-Hms

Se tomo en cuenta la metodología de Bhatt &Panya (2014)

Figura 14 Metodología de HecGeo-Hms



Fuente:(Autores, 2019. Bhatt &Panya, 2014)

8.1.3 Objetivo 3 Calcular variables hidráulicas para el suministro de la población de Alban desde el embalse hasta la planta de tratamiento de agua potable del Municipio.

Curvas IDF

Registro de datos

Para los registros pluviométricos se tuvo en cuenta la información suministrada por parte de la CAR y se utilizó el Método Gumbel. Antes que todo se organizó la información de precipitación cada 24 horas, se determinó el promedio mensual y anual. En seguida se organizó la información en a la siguiente tabla

No	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Máxima Preocupación	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1991			
2	1992			
3	1993			
		total		

(EPTISA, 2010)

Junto con las siguientes educaciones:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

(EPTISA, 2010)

$$o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

(EPTISA, 2010)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * o$$

(EPTISA, 2010)

$$u = \bar{X} - 0.5772 * \alpha$$

(EPTISA, 2010)

Modelo de probabilidad

Según (Llinás, 2018) se tuvo en cuenta la siguiente ecuación para determinar el análisis pirobalística llevando a cabo con las lluvias máximas anuales donde se toma un valor fijo intervalo de observación:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

(Llinás, 2018)

Ecuación de intensidad

Según (Campos, 2009) establece que los cocientes a la lluvia de 24 horas se pueden emplear para duración de varias horas. Los datos obtenidos por 24 horas se les dará un valor de porcentaje según a su periodo de retorno como se muestra la siguiente table:

Tabla 8 Coeficientes por hora

duration (horas)	percentage
1	0.30
2	0.39
3	0.46
4	0.52
5	0.57
6	0.61
8	0.68
12	0.80
18	0.91
24	1.00

Tomado de Campos, 2009

Se Organiza la información en la siguiente tabla:

Tabla 9 Modelo de ordenamiento de datos

Duración (horas)	Cociente	Precipitación. (mm) para diferentes tiempos de duración							
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años	500 años
1	0.30								
2	0.39								
3	0.46								
4	0.52								
5	0.57								

6	0.61								
8	0.68								
12	0.80								
18	0.91								
24	1.00								

(Campos, 2009)

En seguida se aplicó la fórmula de intensidad:

$$I = \frac{\text{Precipitacion (mm)}}{\text{Duracion (horas)}}$$

(Campos, 2009)

Se realiza una presentación matemática de las curvas de intensidad , duración y periodo de retorno

(Pereyra, Antonio, Pérez, & Gómez, 2004)

$$I = \frac{a * T^b}{t^c}$$

(Pereyra, Antonio, Pérez, & Gómez, 2004)

Donde:

I = Intensidad (mm/horas)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

a,b,c = Parámetros de ajuste

En cual se realiza un cambio de variable quedando

$$d = a * T^b$$

(Pereyra, Antonio, Pérez, & Gómez, 2004)

Reemplazando queda

$$I = d * t^{-c}$$

Demanda de agua

Para determinar la demanda de agua para el municipio de Albán se tomó como referencia la guía RAS 002 en la cual establece el paso a poso como se ve a continuación

Nivel de complejidad del sistema

Para encontrar el nivel de complejidad del sistema, el aspecto principal a tener en cuenta es la estimación de la población en el cual se puede asignar el nivel de complejidad. Ver imagen X

Tabla 10 Nivel de complejidad según la densidad poblacional

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja

Medio	2501 a 12500	Baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	60001>	Alta

Fuente: (MAVDE, 2002)

Periodo de diseño

De acuerdo con el RAS en los apartados B y D se establece los periodos de diseño dependiendo a los diferentes elementos que constituyen los sistemas de agua potable como se puede ver en la siguiente figura

Tabla 11 Periodos de diseños según el sistema de acueducto

Nivel de complejidad del sistema	Componentes acueducto				
	Captación superficial aducciones y conducciones sistemas de bombeo	Obras de captación subterránea	Redes, matrices o primarias	Redes menores o terciarias	Tanques de almacenamiento o compensación
Bajo	15 años	15 años	--	15 años	20 años
Medio	20 años	15 años	20 años	15 años	25 años
Medio alto	25 años	20 años	25 años	15 años	30 años
Alto	30 años	25 años	30 años	20 años	30 años

Fuente: (MAVDE, 2002)

A partir de los datos obtenidos con anterioridad se utilizará la metodología que se encuentra en la guía RAS 001 para determinar la proyección de la población para cual se tomó el método aritmético el cual es recomendado para niveles de complejidad bajo y medio. Para calcular la población se utiliza la siguiente ecuación

$$P_f = p_{uc} + \frac{p_{uc} - p_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Ecuación 7 método aritmético

Fuente: (MAVDE, 2002)

Donde:

P_f = Población correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población

p_{uc} = Población correspondiente al último año censado con información

p_{ci} = Población correspondiente al censo inicial con información

T_{uc} = Año correspondiente al último censo con información

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información

T_f = Es el año al cual se requiere proyectar la información

Para calcular las dotaciones de agua requerías para el diseño se realizará el mismo procedimiento que en el objetivo 1, en el cual se partirá desde el apartado 8.1.1.3 Estimación de la demanda de

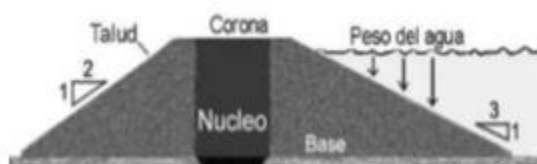
agua, cabe destacar que los valores pueden variar de acuerdo con las nuevas condiciones que tomara con respecto a la proyección

Dimensionamiento del Reservorio

Para determinar las dimensiones del reservorio este debe cubrir por lo menos para un mes la dotación requerida. Se debe tener en cuenta las pérdidas generadas por la filtración y la evaporación. Para el modelo del reservorio se utilizará una capa de 60 cm de arcilla para disminuir la infiltración. (MEFCCA, 2018)

Para hacer el reservorio se realizará un talud que se encuentre sobre una cota que en la parte superior se pueda remover la cobertura vegetal (MEFCCA, 2018)

Figura 15 partes del talud



(Gras, 2009)

Colocación de la tubería de desagüe

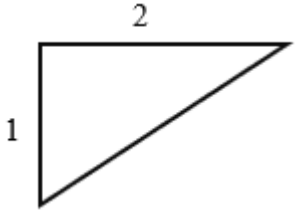
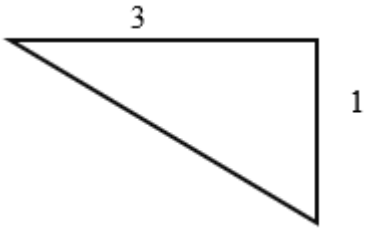
Se debe realizar una zanja de 60 cm x 60 m de profundidad y luego de colocar la tubería se rellena 40 cm con greda humedad

Formación de Taludes

Para la construcción de los taludes debe utilizar materiales que están compuestos por 40 % de arcilla

Los diámetros de los taludes se realizan a partir de varias relaciones, en la prime se tiene que el grado de inclinación debe ser de 1: 2 en el lado seco y 1:3 en el lado húmedo (Gras, 2009)

Tabla 12 Grados de inclinación de Taludes

Grado inclinación lado Seco	Grado inclinación lado Húmedo
	

(Gras, 2009)

Corona

Para calcular el diámetro de la corona esta dada por la altura del reservorio, la relación recomendada es de 1,5 m por cada metro de altura en el talud (MEFCCA, 2018)

Con el fin que la corona no acumule agua esta debe tener un desnivel intermedio de 15 cm

Desarenador

Para los reservorios el desarenador es una caja de concreto reforzado con ladrillo Se construye a 3 metros de distancia del talud en la parte inferior. Se recomienda construir la caja de 0,8 m² x 60 de profundidad El tubo de PVC contara con un codo en la punta de la tubería

Diseño de tubería

Fluido

Para el diseño de tubería es de vital importancia hacer la caracterización del fluido, entre estos parámetros se encuentran: la temperatura en (C°), Densidad (Kg/m³), estado en el que se encuentra y viscosidad del fluido (Pa*s)

Posterior a la identificación del flujo se debe caracterizar algunos componentes de la zona y de las materias (Tirenti, 2016).

Tabla 13 Características de la cuenca

Características de la zona	
cota 1 (m)	
cota 2 (m)	
longitud total (m)	

Material de la tubería	
Rugosidad (mm)	
Diámetro interno de la tubería (mm)	

Fuente; Autores,2019

Ya que se utilizará el programa Flow Máster el cual trabaja con las siguientes ecuaciones para determinar las variables deseadas (Sanz , y otros, 2006)

Luego se debe calcular las perdidas por fricción usando la ecuación de Darcy Weisbach

$$hf = \frac{L_T * v^2_2}{D * 2g}$$

Ecuación 8 Darcy Weisbach

Fuente: (Tirenti, 2016)

Donde:

LT = Longitud total del

D= Diámetro interno de la tubería

V22 = Velocidad del flujo del fluido en la cota 2

g = Gravedad

A carder con la ecuación # la velocidad de flujo no se encuentra estimada, para eso se debe calcular a partir de las ecuaciones de Bernoulli y Coolebrook

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v^2_1}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v^2_2}{2g} + h_2 + hf_{1-2}$$

Ecuación 9 Bernoulli

Fuente: (Tirenti, 2016)

Donde:

P1 = cabeza de Presión en la cota 1

P2 = cabeza de Presión en la cota 2

ρ = Densidad del fluido

V21 = Velocidad del flujo del fluido en la cota 1

V22 = Velocidad del flujo del fluido en la cota 2

g = gravedad

h1 = altura de la cota 1

h2 = altura de la cota 2

hf = las perdidas por fricción

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[\frac{0,0015}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2 \right\}}$$

Ecuación 10 Coolebrook
Fuente: (Tirenti, 2016)

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería

Re = Numero de Reynolds

Por último se determina el caudal de salida mediante la siguiente ecuación

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} * v$$

Ecuación 11 Caudal de salida
Fuente: (Tirenti, 2016)

Donde:

Q = caudal de salida

D= Diámetro interno de la tubería

V= Velocidad del fluido

9. Plan de Trabajo

9.1 Cronograma

En este capítulo se mostrará las actividades que se desarrollaron para llegar al cumplimiento de los objetivos específicos, de tal manera la solución del objetivo general. El siguiente cronograma se divide en 27 semanas

Tabla 14. Cronograma

Etapas	Año																
	Mes	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
	Semana																
	Actividades	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Caracterización	Selección y cambio del tema de proyecto																
	Revisión bibliográfica																
	Recopilación de casos de estudio como fuente de base datos																
	Construcción del estado del arte																
	Construcción del Marco de Referencia																
	Entrega del ante proyecto																
Elaboración	Reunión & revisión con el director																
	Elaboración de la metodología																
	Salida técnica (reconomiento del terreno)																
	Desarrollo de los objetivo 1																
	Procesamiento de información																
	Implementación de información en la																
	Desarrollo del diseño hidraulico (objetivo 3)																
Implementación	Análisis, discusiones & conclusión																
	Ajustes de redacción																
	Entrega final a jurados																
	Sustentación final																
	Entrega del documento final																
	Entrega del documeto a la alcaldia de Guayabal de Síquima																
	Entrega del documeto a la alcaldia de Abán																

Fuente: Autores,2019

9.2 Presupuesto

Tabla 15 Presupuesto del proyecto

Personal	Valor Unitario	Cantidad	Unidades	Valor Total
Investigadores	\$14,000	320	horas	\$4,480,000
Licencia de ArGIS	\$14,609,032	1	pesos	\$14,609,032
Licencia de Flow Máster	\$9,978,000	1	pesos	\$9,978,000
TOTAL				\$29,067,032
Viáticos				
Bus- Intermunicipal	\$15,000	4	pesos	\$60,000
Transporte urbano (Transmilenio& SITP)	\$2,500	4	pesos	\$10,000
Alimentación	\$10,000	2	pesos	\$20,000
Papelería (impresiones, carpeta, copias):	\$18,500	1	pesos	\$18,500
TOTAL				\$108,500
Elaboración				
Alquiler de Retrocargadores mixtas	\$180,000	1	día	\$180,000
Alquilar de volqueta	\$285	11285.00	1m3	\$3,216,225
Excavación	\$11,200	11285.00	1m3	\$126,392,000
PCV de presión de 4 " con 6 m de largo	\$7,650	1780.00	unidad	\$13,617,000
Tapón de PCV de presión 4"	\$900	6.00	unidad	\$5,400
Unión PCV de presión 4"	\$1,620	290.00	unidad	\$469,800
TOTAL				\$143,880,425
PRESUPUESTO DEL PROYECTO				\$173,055,957

Fuente: Autores, 2019

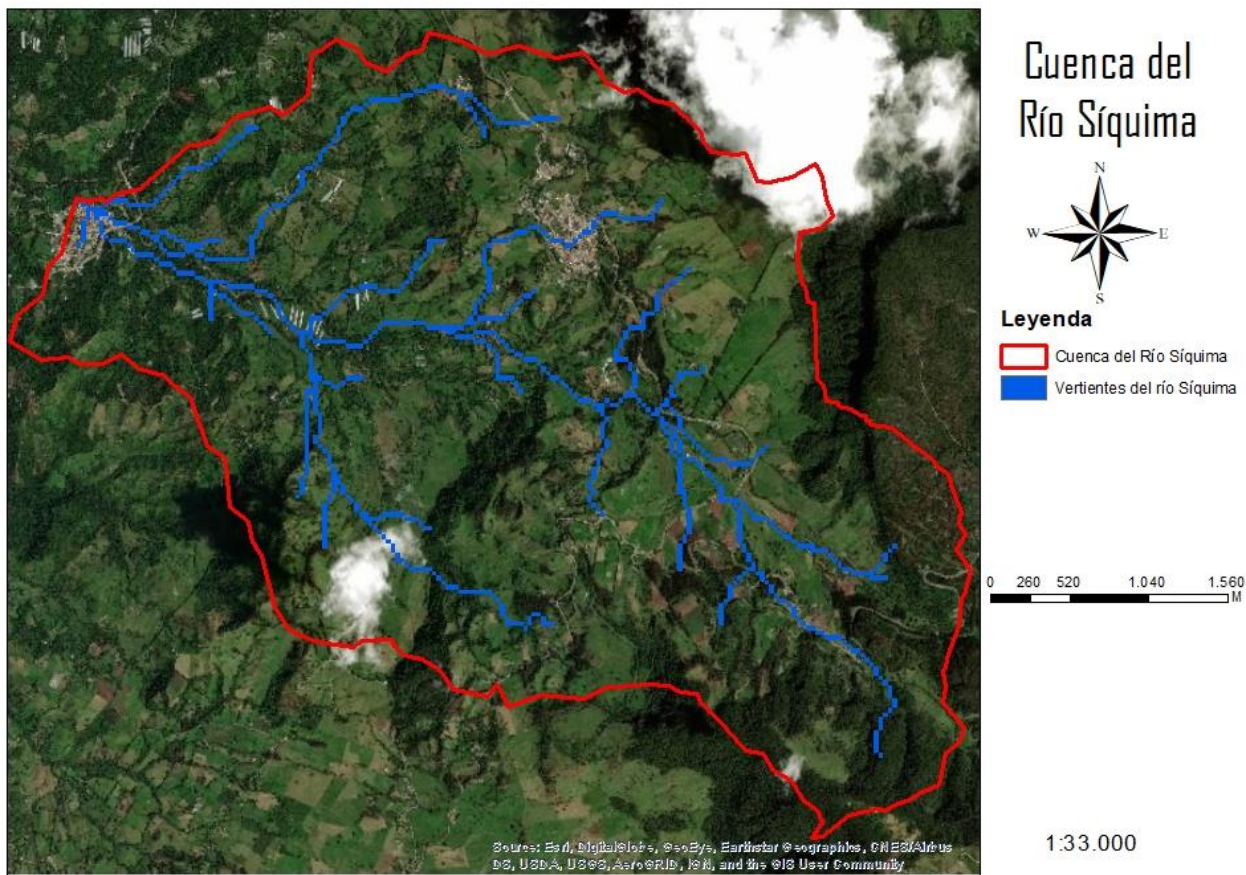
10. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de cada objetivo específico, basado en la metodología planteada.

9.1 Resultados Objetivo Especifico 1.

A partir del análisis fotográfico junto con las herramientas que brindan los Sistemas de información Geográficas (SIG), se realizó un reconocimiento de la cuenca del río Síquima como se puede observar en la Figura 16, Identificando los límites establecidos por la geología, permitiendo conocer la dirección del flujo de agua, canalizando el único río que desemboca en el río Contador aguas abajo. La cuenca se encuentra bajo la jurisdicción de dos municipios, Guayabal de Siquima con un 25% y Alban con un 75%.

Figura 16 Cuenca del Río Síquima



Fuente, Autores, 2019

Los parámetros morfométricos de una cuenca nos permiten predecir y comparar algunos entornos con el fin de determinar características propias del área de estudio (Rincón & Vegas, 2000), en otras palabras, las variables físicas que componen la cuenca se encuentran relacionada con el comportamiento hidrológico como se muestra en la *tabla 16*.

Tabla 16 Parámetros morfométricos de la cuenca

Parámetros morfométricos	Valores
Área de la cuenca	18,91 Km ²
Perímetro	20,72 km
Coeficiente de compacidad	1,33
Longitud del cauce más largo	7,622 km
Factor de forma	0, 38
Pendiente media	16,15 %

Fuente Autores, 2019

De acuerdo con lo anterior se determinó que la cuenca posee un área total de 18,91 Km², la cual se encuentra directamente relacionado con el agua que puede recoger en cada precipitación y la magnitud del caudal de los diferentes afluentes que transitan en la cuenca (Cortolima, 2015).

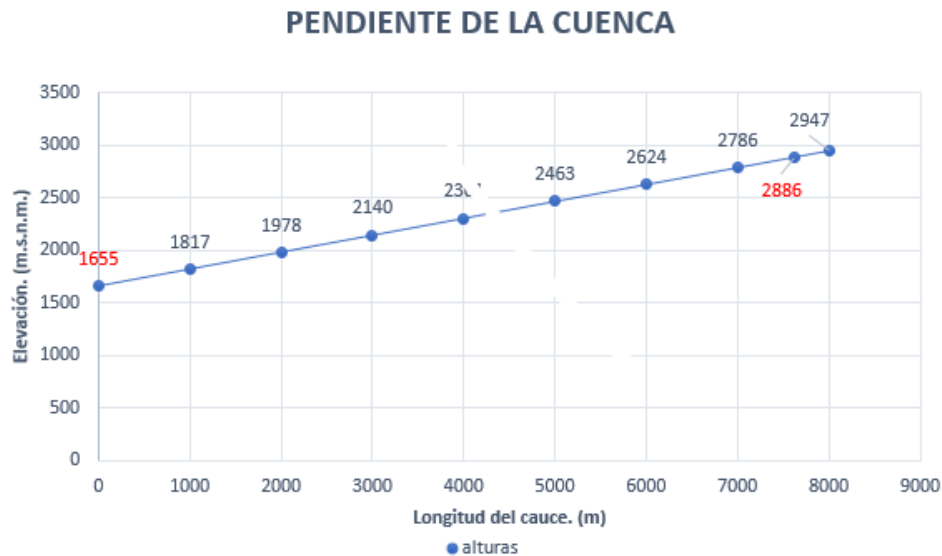
Por otro lado, se tiene que la cuenca del río Siquima posee un perímetro de 20,72 km, presentando una cresta de la divisoria de agua. Este dato por sí solo no representa gran importancia pero sirve como un componente para determinar el coeficiente de compacidad, permitiendo comparar el área de un círculo de la misma magnitud de la cuenca con el área que está (Cortolima, 2015), de acuerdo con lo anterior la cuenca del río Siquima presenta un compacidad de 1,33, presentado una forma geometría de un ovalo redonda o ovalo oblonga, indicando que el nivel de concentración de agua por escorrentía es moderado pero no se encuentra exento a presentar peligro de torrencialidad si se presentan grandes precipitaciones en un largo periodo de tiempo.

Para la longitud del cauce, en este caso el río Síquima es de 7,622 km desde su nacimiento hasta su desembocadura, a partir de la longitud y el área se determinó que la forma de la cuenca la cual es menor a 1, por lo tanto tiende a ser alargada permite regular el flujo de agua en su recorrido disminuyendo las crecidas del cauce cuando se presentan grandes lluvias (Benjamín, S.F), pero se pueden presentar en algunos periodos de retorno como un ciclo natural.

La pendiente media de la cuenca es un factor morfométrico de gran importancia, esto se debe a que nos permite determinar la velocidad de los cauces al igual que la escorrentía que se genera en cada precipitación. También la pendiente se encuentra relacionada con el comportamiento de la capa superficial en la que se puede presentar erosión si se cuenta con pendientes muy pronunciadas y sedimentación o problemas de drenaje en zonas plana o con pendientes significativas (Cortolima, 2015)-

En este caso la pendiente de la cuenca es de 16,15%, esto se debe a que la diferencia de elevación entre el punto más alto y el más bajo al igual que la longitud del cauce principal, como se puede ver en la siguiente imagen:

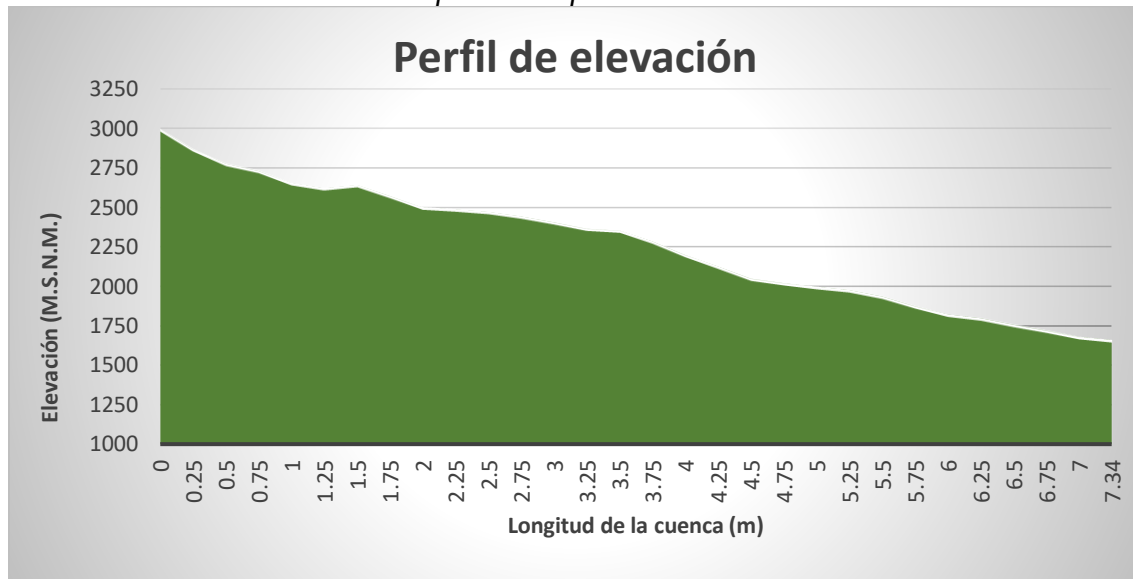
Gráfica 1Pendiente de la cuenca



Fuente; Autores, 2019

En la siguiente imagen se puede determinar el perfil de elevación de la cuenca, el cual representa el relieve del terreno de forma transversal desde el punto alto al más bajo (Fonseca, 2009).

Gráfica 2 Perfil de elevación



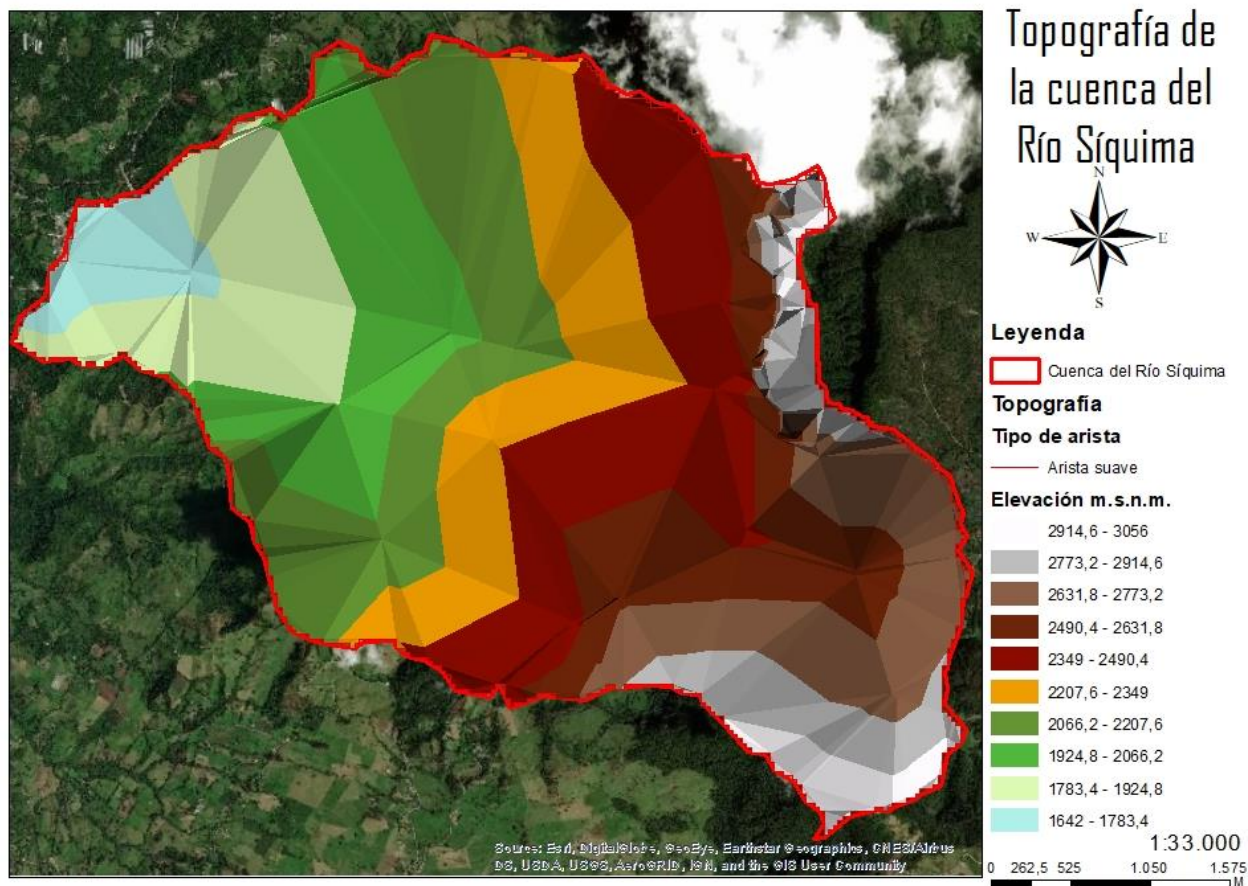
Fuente; Autores, 2019

Acorde con lo anterior se puede decir que la cuenca del río síquima puede padecer de problemas de erosión con el tiempo si los suelos se encuentran desnudos o no posee la cobertura necesaria para minimizar la velocidad de caída o de escurrimiento sobre la ladera (SIAC, 2019)

Topografía

Mediante el modelo de elevación digital (DEM) tomadas del Satélite Alos Palsar de las instalaciones de Alaska junto con la Herramienta ArcGIS se construyó la figura 17, permitiendo mostrar los rangos máximos y mínimos de elevación presentes en la cuenca. La elevación máxima presenta un valor de 3056 m.s.n.m y la de elevación mínima de 1641 m.s.n.m, en las crestas con mayor elevación tienden a presentarse problemas de erosión, mientras que en los valles, llanuras o terreno con menor elevación que presentan problemas principales como drenaje y sedimentación. Según la representación topográfica y teniendo en cuenta que la pendiente es de 17.5%, se establece que la cuenca representa un relieve de tipo accidentado (Cortolima, 2015).

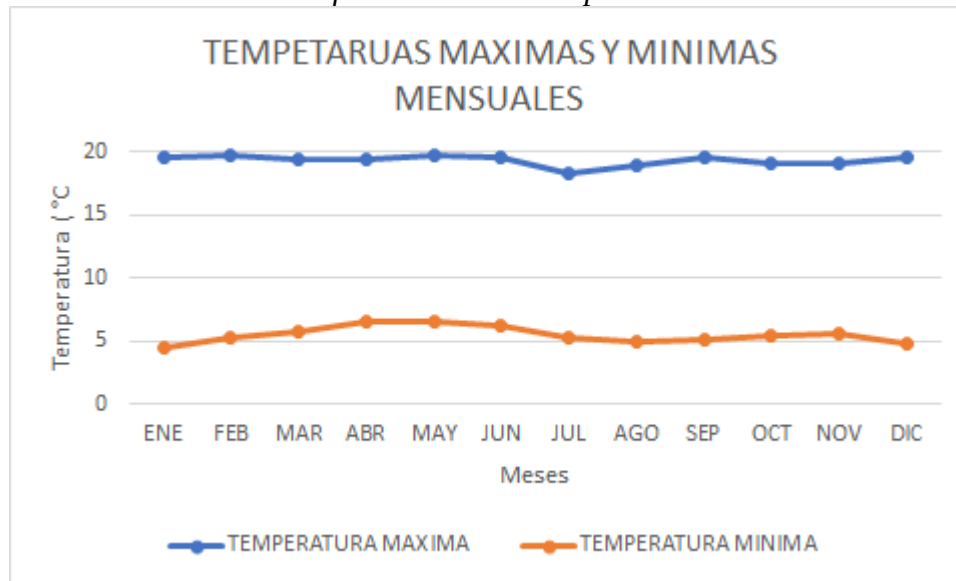
Figura 17 Perfil de elevación de la cuenca



Fuente: Autores, 2019

El área de estudio se encuentra en el hemisferio norte, lo que determina que las laderas en la cara sur reciben más radiación solar en el invierno, mientras que en el verano recibirán una menor cantidad de radiación, significando que a lo largo del año se encontraron picos máximos y mínimos de temperatura (Gras, 2009). La *Grafico3* representa la variación de temperatura desde el año 1985 hasta el año 2019, resaltando el pico más alto de los últimos 34 años que corresponde a un valor de 20°C y 4°C como el pico menor. La influencia de la vegetación altera los valores de la temperatura, es decir: se pueden presentar; aspectos soleados, donde la radiación es considerada el motivo a los bosques secos; y aspectos sombreado donde el bosque se puede considerar húmedos (Gras, 2009).

Gráfica 3 Picos de temperatura



Fuente: Autores, 2019

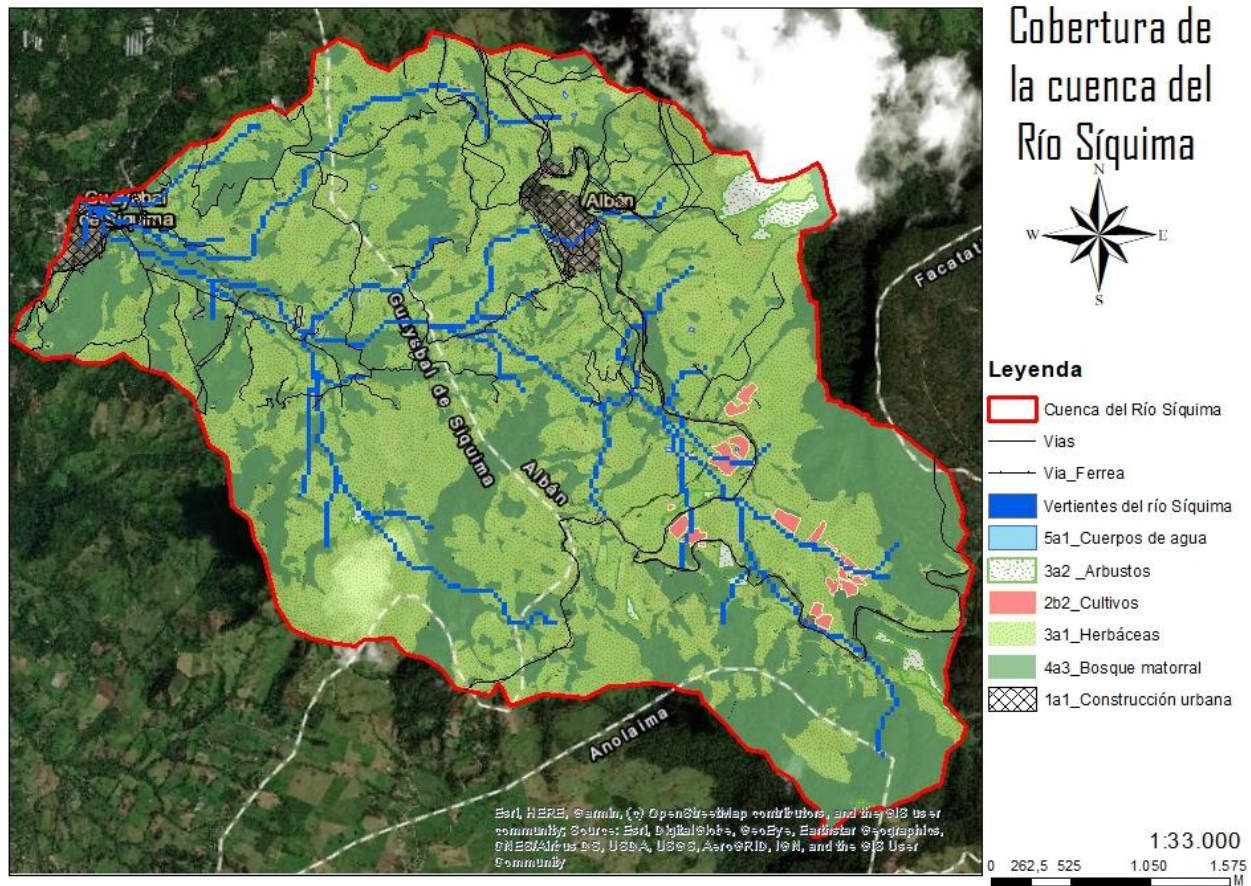
Dentro de la topografía de la cuenca se determinó una formación de un valle, lo que puede indicar que las corrientes de aire se están viendo afectadas por el rápido calentamiento y enfriamiento con respecto a las horas diurnas intenso y nocturnas despejadas (Gras, 2009). Dentro de los grandes valles, se observa la alteración de las direcciones de los vientos. Los ciclos diurnos las corrientes de aire van de colina arriba, a comparación de los ciclos nocturnos que van de colina abajo (Gras, 2009). En base a la información suministrada por la entidad de la CAR, se determinó que en las horas diurnas la dirección del viento va al noroeste (NW), mientras que en las horas nocturnas la dirección del viento va al sur este (SE).

Cobertura

El estudio de la cobertura o uso de la superficie de la cuenca nos da a conocer cómo se encuentra compuesta la superficie del terreno a partir del uso que se le está suministrando por el hombre.

para realizar la identificación se tuvo en cuenta una serie de imágenes satelitales, fotos aéreas y se complementó con el mapa base que ArcMap. Estas imágenes se extrajeron de la página del satélite landsat y las imágenes de google earth las cuales fueron interpretadas por los autores de acuerdo a la metodología planteada, en ocasiones se encontraron partes donde la interpretación es compleja, esto se debe ya que en ocasiones se mezclan los componentes que se están evaluando.

Figura 18 Cobertura de la cuenca del río síquima

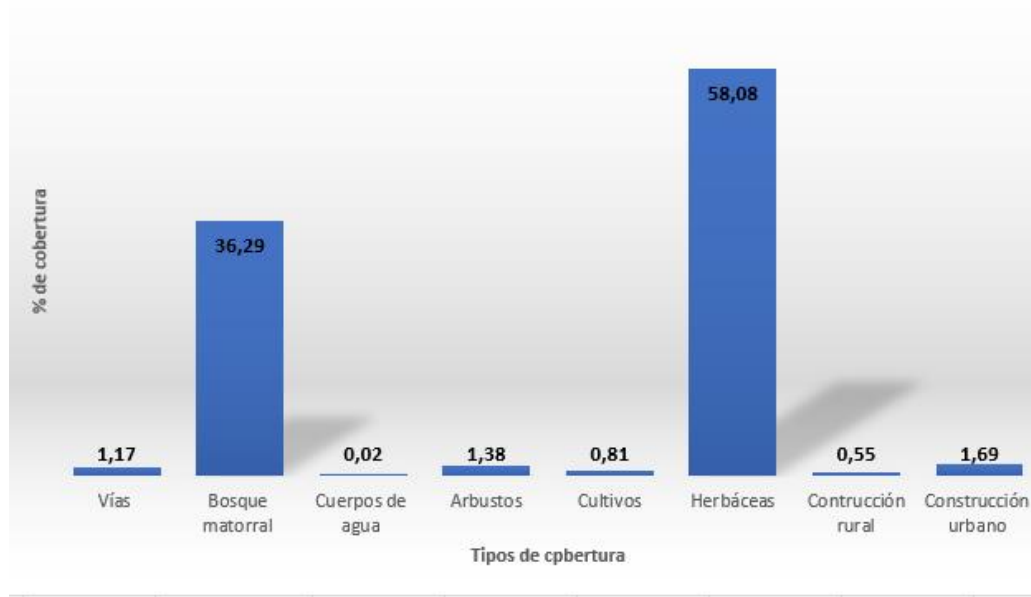


Fuente: Autores 2019

La cobertura de una superficie terrestre comprende los aspectos físicos que se pueden determinar a simple vista sobre la tierra, el cual no solo tiene en cuenta la vegetación y los aspectos antrópicos en la interpretación sino también otros aspectos de la superficie como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (IDEAM, 2019)

En la cuenca del río síquima presenta se encontraron diferentes tipos de coberturas en las que se presentan con gran proporción los herbazales (pastos), esto se debe a que la actividad ganadera en los últimos años a aumentado en los municipios de Guayabal de Siquima y el municipio de Albán, esto se puede dar ya que las alcaldías y el ICA han incentivado a los campesinos a realizar esta actividad (Municipio de Guayabal de Siquima, 2019)

Gráfica 4 Cobertura de la cuenca
Cobertura de la cuenca



Fuente: Autores, 2019

a partir de la interpretación de la cobertura de la cuenca mediante estadística, se pueden destacar componentes de la cobertura de gran importancia, en primera medida con 58% de la cobertura aproximadamente 10,981335 km² de la cuenca se encuentra los herbazales, la cual se encuentra distribuida por toda el área de la cuenca. En segunda medida se encuentra los bosques con un 36.29 % de la extensión, en el cual se encuentra parte de la reserva natural Peña del Aserradero que se estableció en el acuerdo N° 17 del 19 de junio de 2007. Las demás coberturas no son tan significativas debido a su baja presencia en la cuenca, donde se encuentran con 1,17 % en vías, 0,02 en cuerpos de agua, 1,38% en arbustos o bosques bajos, cultivos con 0,81% y construcciones 0,55% en área rural y 1,69% en rural.

Población

El área de estudio, la cuenca del río síquima presenta dos municipios los cuales con Guayabal de síquima y Albán, los cuales dentro de la delimitación se encuentra ubicada la cabecera municipal del Abán, en el cual solo se tomó en cuenta la población urbana de Albán junto con la información del municipio, el reporte del censo del DANE y el RAS, se determinó que el nivel de complejidad del dicho municipio es baja, lo cual corresponde la ecuación aritmética al ser una complejidad baja se realizó una proyección a 20 años,.

Hay que mencionar y según el DANE, la población del para el 2005 fue de 1455 habitantes y para el año 2019 fue de 1615, lo cual se pone en evidencia que en 14 años hubo un incremento del 11% de la población, mientras que para el 2040 en 21 años solo habrá un incremento del 15% dando una población de 1855 habitantes.

9.2 Resultados Objetivo Especifico 2

En este apartado se presentan los diferentes procesos definidos en la herramienta HEC-GeoHMS, para las características de la cuenca del río Siquima. Los procesos definidos se determinaron de acuerdo con las herramientas individuales que conforman el procedimiento del HEC-GeoHMS. También se realizó una interpolación de información en zonas donde el DEM no registraba información.

Según Bhatt y Pandya (2014), se determina los resultados obtenidos del procedimiento de la herramienta HEC-GeoHMS junto con las imágenes de cada herramienta como se muestra en la *Table 17*.

Depression less DEM (DEM sin depresión): En este proceso se determinó que se creó una capa en la cual se llena las depresiones, es decir aumentan los pozos a la elevación de las capas al nivel del terreno circundante.

Flow direction (direction de flujo): Se muestra un proceso en el cual se define la dirección en base al pendiente pronunciado en cada capa el terreno.

Flow accumulation (Acumulación de flujo): Determinación del número de capas río arriba que drenan una capa determinada. Donde el área es calculada al multiplicar el valor del flujo acumulado por el área de las capas de la cuadrícula.

Stream definition (Definición de flujo): Se muestra una clasificación de todas las capas con una acumulación de flujo mayor al umbral definido por el usuario como capas que pertenecen a la red de flujo.

Stream Segmentation (Segmentación de flujo): Realiza una división de la cuadrícula del flujo en segmentos, los segmentos de corrientes o enlaces, son las secciones de una corriente que pueden conectar dos uniones sucesivas, una unión con la salida o la división de drenaje.

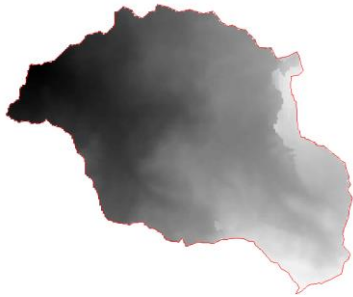
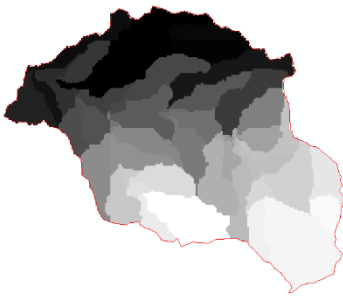
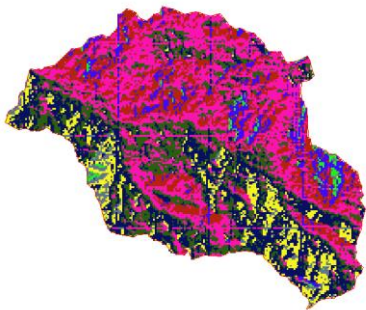
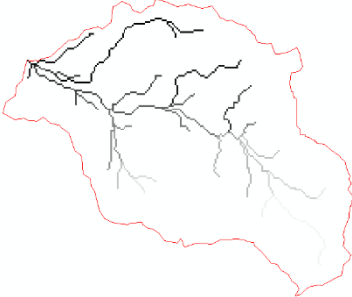
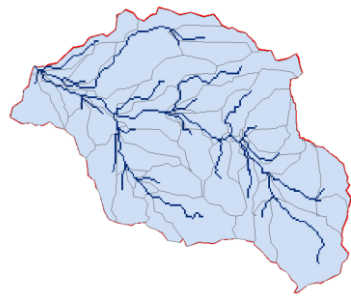
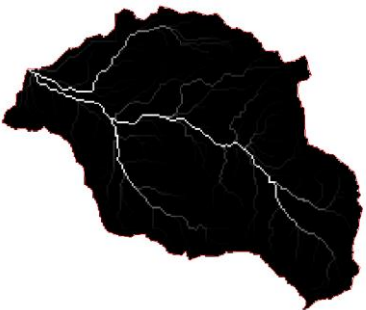
Catchment grid delineation (Delimitación de la cuadrícula de captación): Se evidencia la delimitación de cada subcuenta para cada segmento de flujo.

Catchment polygon processing (Procesamiento de polígonos de captación): Se crea una capa vectorial de las subcuencas utilizando la cuadrícula de captación del paso anterior.

Drainage line processing (Procesamiento de una línea de drenaje): Creación de una capa de flujos de vectores.

Watershed aggregation (Agregación de cuencas): Proceso en el cual se agrega las subcuencas aguas arriba en cada confluencia. Paso obligatorio que no solo mejora el rendimiento computacional de las subcuencas delineadas sino también la extracción de datos al definir un proyecto HEC-GeoHMS.

Tabla 17 Resultados de le herramienta HEC-GeoHMS

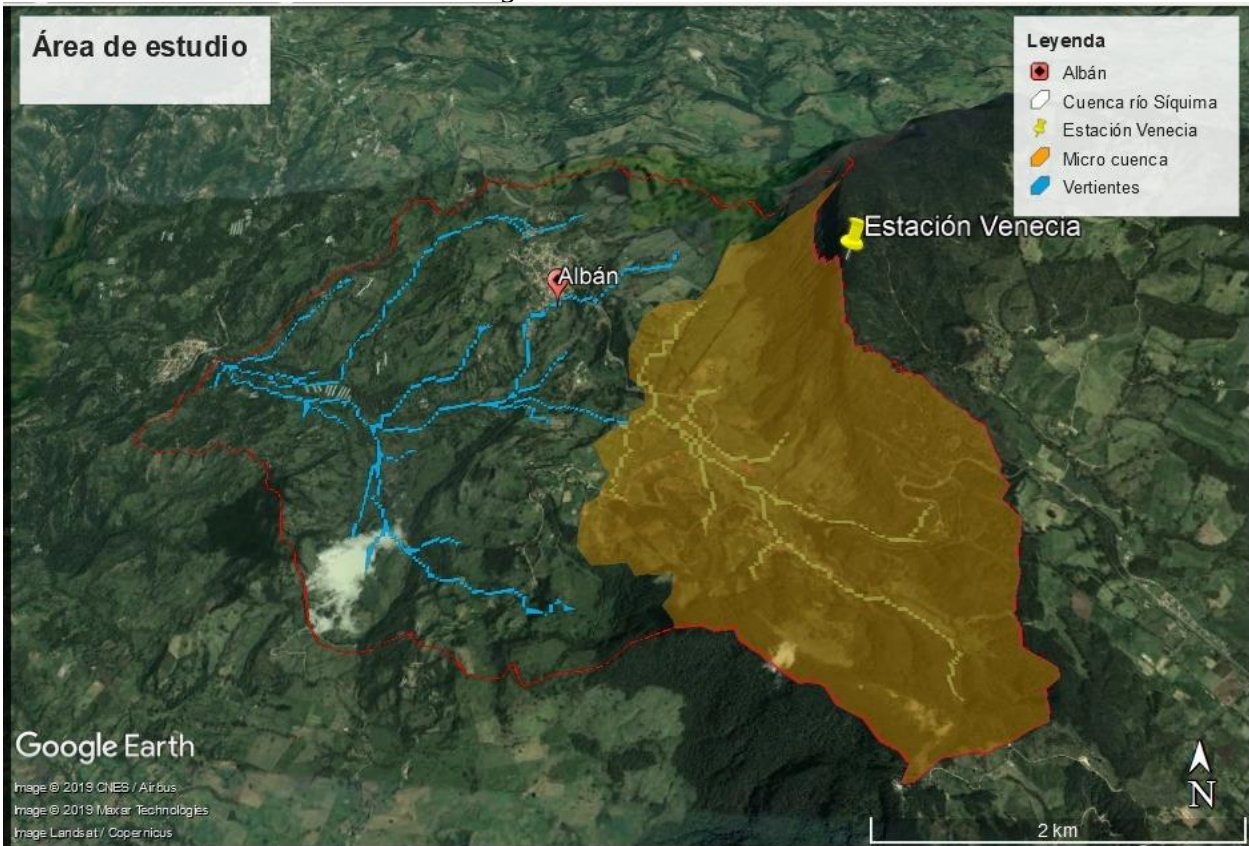
DEM sin depresión 	Delimitación de la cuadrícula de captación 	Procesamiento de polígonos de captación 
Dirección de flujo 	Segmentación de flujo 	Procesamiento de una línea de drenaje 
Acumulación de flujo 	Definición de flujo 	Agregación de cuencas Para la manipulación de los datos con mayor facilidad primero se delimitó la cuenca reduciendo el peso de los archivos

Fuente: Autores, 2019

Con respecto a *Tabla 14* y la *Figura 17* se determinó la posible ubicación del reservorio de agua. Para implementar el termino de aprovechamiento sostenible se identificaron las cotas máxima y mínima para usar a favor la variable de la gravedad para almacenar la precipitación de la cuenca. Dentro de los resultados del procedimiento de la *Tabla 14*, se identifico una subcuenca en la cuenca alta del rio Siquima como se muestra en la *Figura 19*.

La *Figura 19* no solo muestra el área de la subcuenca, sino también la exageración del terreno para una perspectiva de 3D, se encuentra la ubicación de la estación meteorológica “VENECIA” de la jurisdicción de la CAR, finalmente se muestra las vertientes de agua tanto en la micro cuenca como en la cuenca.

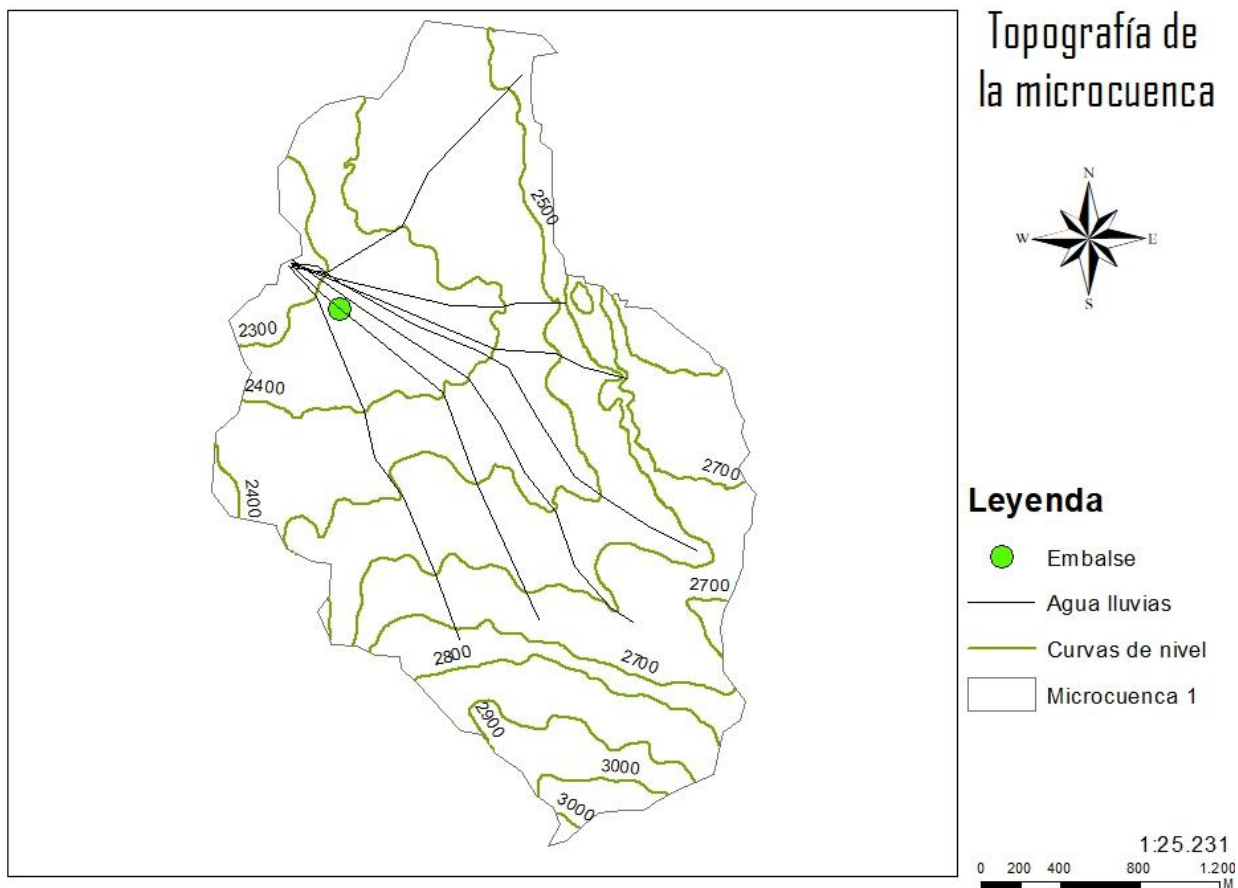
Figura 19 Microcuenca



Fuente: Autores 2019

El comportamiento topográfico de la subcuenca permite predecir el recorrido que hace el agua cuando se presentan precipitación en el sector. Algunas técnicas de aprovechamiento de aguas lluvias realizan pequeños cambios en la topografía con el fin de conducir el recurso hídrico donde se encuentra el embalse mediante camellones y zanjias (FAO, 2013)

Figura 20 Topografía de la microcuenca



Fuente: Autores, 2019

De acuerdo con la *Figura 20* se puede ver que no es necesario hacer canales de conducción en la microcuenca, esto se debe a que el relieve y la ubicación del embalse coincide en la parte más baja de la microcuenca.

Recurso hídrico

Considerando la información suministrada por parte de la estación meteorológica de la CAR, se realizó un tratamiento de información como se muestra en la *Tabla 17*. Se toma en cuenta la información hídrica desde el año 1957 hasta el año 2019 (donde quedo faltan el ultimo trimestre del año 2019), se tuvo en cuenta los 62 años de información para obtener resultados más concretos y confiables. la *Tabla 15* muestra el procesamiento de información como; la precipitación promedio mensual de los últimos 62 años, los litros de agua aprovechable por mes, el consumo estimado mensual que se calculó mediante la dotación bruta junto con la población proyectada, finalmente la diferencia entre el consumo y el agua aprovechable para conocer la cantidad estimada que puede almacenar dicha subcuenca. Por otra parte el área de captación se determino mediante la *Figura 19*, a diferencia del coeficiente escorrentía que se tomó mediante el modelo de Molchanov y la *Figura 18*, en el cual se tomo el valor de 0.42 al presentar un mayor área y ubicación de pastizales.

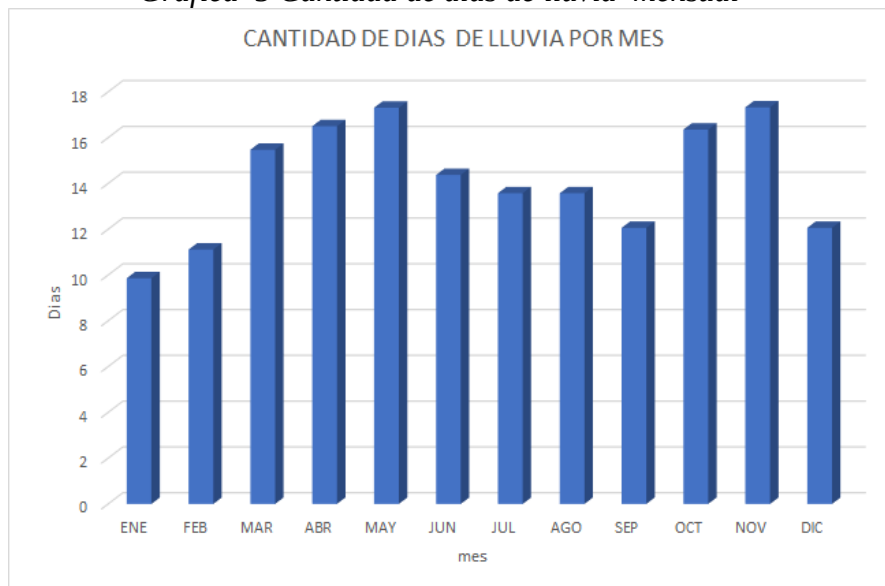
Tabla 18 Aprovechamiento de agua

Embalse	Mes	Precipitación mm	Precipitación promedio mensual en litros/metro2	Área de Captación en (metro) ²	Coeficiente de escorrentia Método de Molchanov	Litros de agua aprovechable al mes en litros	Consumo estimado mensual	Diferencia entre consumo y agua almacenada al mes en litros
Medición	Enero	52.0	52.0	6781661.8	0.42	148224521.85	11284583.33	136939938.51
	Febrero	66.0	66.0			187888201.28	11284583.33	176603617.94
	Marzo	90.8	90.8			258670666.25	11284583.33	247386082.91
	Abril	106.4	106.4			302950396.82	11284583.33	291665813.49
	Mayo	95.7	95.7			272572927.14	11284583.33	261288343.80
	Junio	63.4	63.4			180632625.26	11284583.33	169348041.93
	Julio	50.5	50.5			143949303.90	11284583.33	132664720.56
	Agosto	48.8	48.8			139130167.50	11284583.33	127845584.17
	Septiembre	66.3	66.3			188929441.59	11284583.33	177644858.26
	Octubre	131.7	131.7			374996803.13	11284583.33	363712219.80
	Noviembre	131.1	131.1			373375110.90	11284583.33	362090527.57
	Diciembre	73.1	73.1			208173828.97	11284583.33	196889245.63
	Anual	975.8	975.8	-	-	2779493994.58	135415000.00	2644078994.58

Fuente autores, 2019

La *Grafica 6* se muestra los meses con mayor cantidad de días con lluvia, dentro de los cuales fueron; marzo con 15 días, abril con 17 días, mayo con 17 días, octubre 16 días y noviembre con 17 días. Lo que expresa que dentro del año se evidencia dos épocas con mayor precipitación a comparación del resto del año. Sin embargo el mes con menor días con lluvia fue de 10 días, lo que significa que durante todo el año siempre se presenta una precipitación continua, en el sentido que por lo menos lluvia casi medio mes todo los meses,

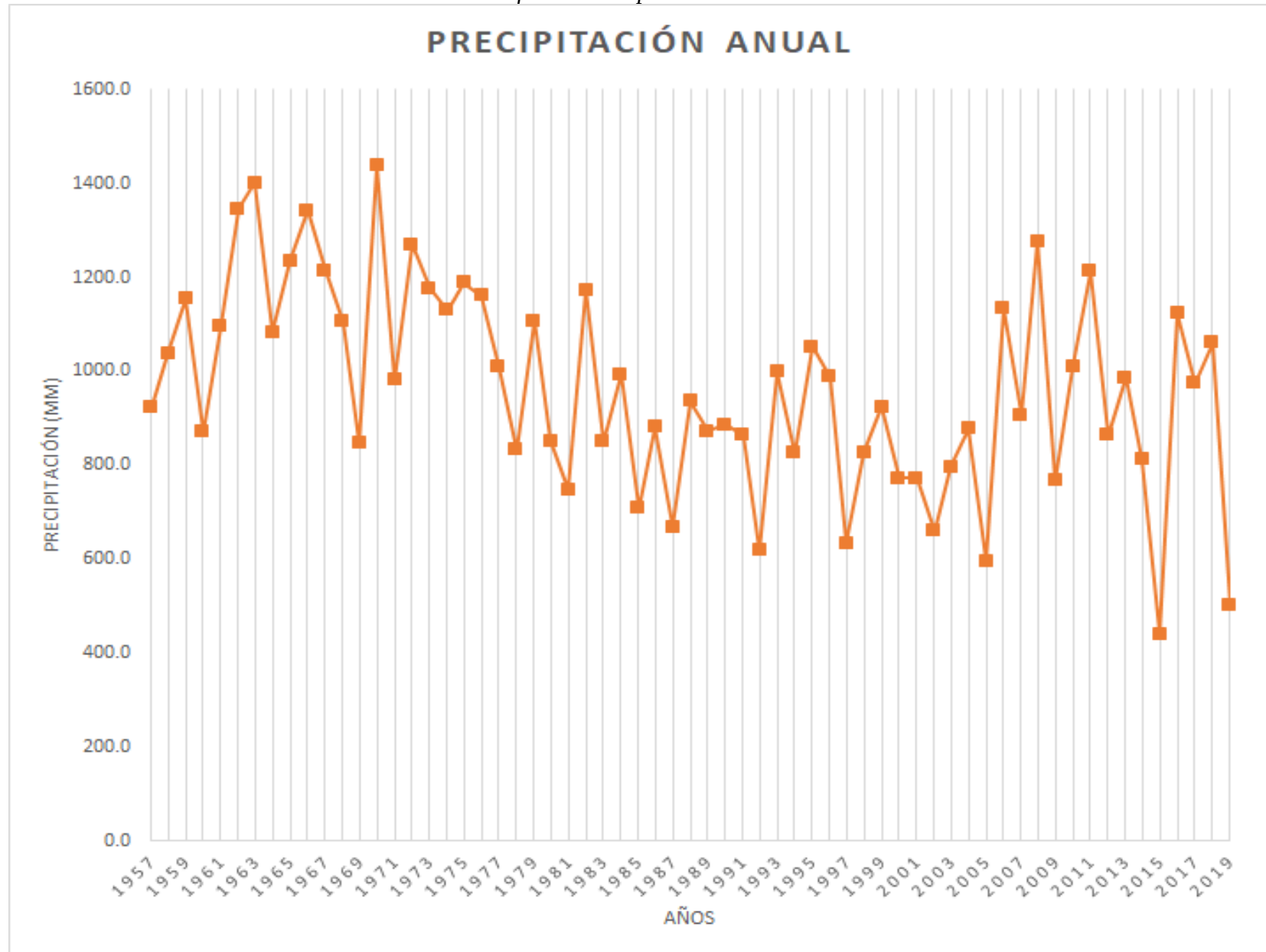
Gráfica 5 Cantidad de días de lluvia mensual



Fuente: Autores 2019

Por otra parte la Grafica 7 muestra los registros de información desde el año 1957 hasta el año 2019, en pocas palabras una bitácora de información de precipitación de 62 años, dentro de los cuales se han registrado una precipitación mínima de 800 mm y una máxima de 1200 mm. Durante los 62 años, la cuenca ha presentado momentos críticos de invierno y de verano en su sentido, para el año 2015 presento una de las sequias alarmantes con un dato de 441.3 mm, a comparación de los años 1962, 1963, 1966, 1970, 2006, 2008, 2011 con una precipitación de 1346.7 mm, 1401.6 mm, 1342.9 mm, 1436.8 mm 1134.0 mm, 1277.3 mm y 1213.2mm respectivamente que representando los inviernos más críticos de la historia de la cuenca.

Gráfica 6 Precipitación anual

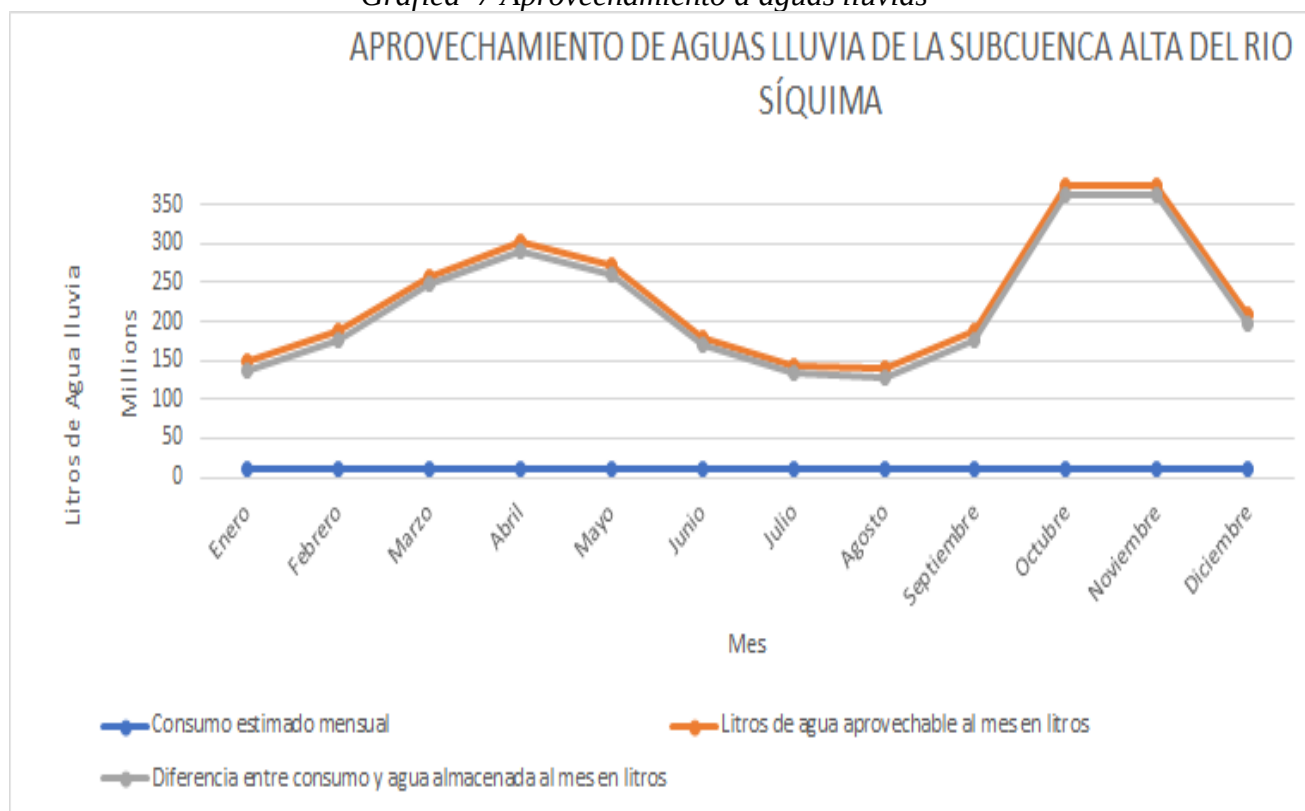


Fuente Autores 2019

De acuerdo con la información suministrada por la CAR, el RAS, el modelo de Molchanov y la herramienta HEC-GeoHMS, se tomaron en cuenta las precipitaciones promedio mensuales, la proyección de la población de quienes se va a abastecer, el área de la microcuenca previamente seleccionada y el RAS. La dotación bruta dio un resultado de 200 (L/HAB*DIA), teniendo en cuenta el resultado de la dotación se determinó el consumo estimado mensual dando un valor de 11284583.33 (L/MES). Se toma en consideración el área de la subcuenca, el coeficiente de escorrentía y la precipitación mensual para obtener los litros de agua aprovechables.

Por otra parte la *Gráfica 8*, muestra la relación entre el consumo estimado mensual, litros de agua aprovechables y la diferencia entre estas dos. Lo que nos da a entender que se presenta un exceso de agua lluvias para la microcuenca y estaría aumentado el riesgo de inundación por los grandes valores de precipitación que se dan en especial en los meses octubre y noviembre, de igual modo se presente una disminución desde el mes de marzo hasta el mes de agosto.

Gráfica 7 Aprovechamiento d aguas lluvias



Fuente autores. 2019

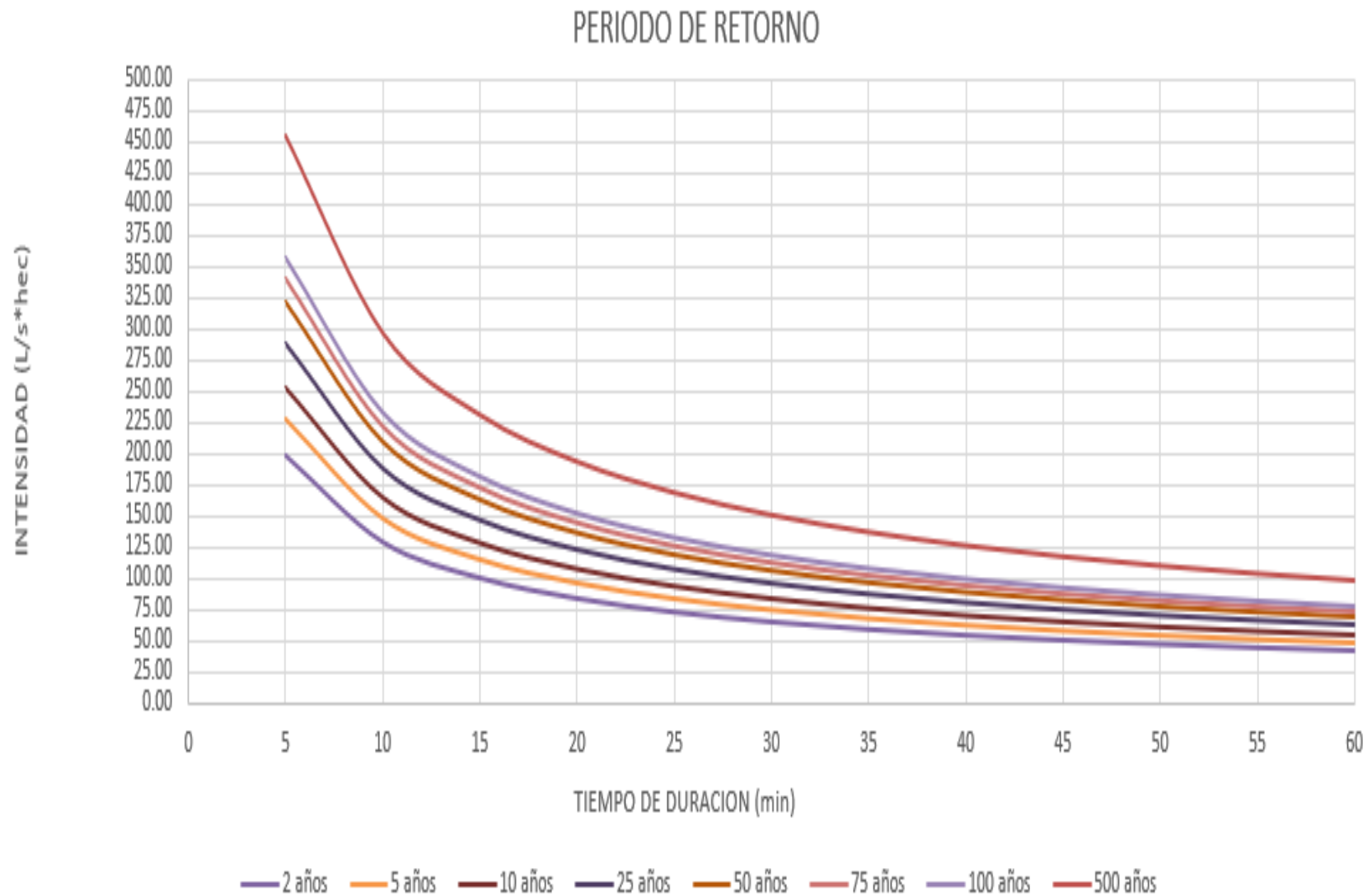
9.3 Resultados Objetivo Especifico 3.

Los resultados del tercer objetivo están compuestos por dos partes; el periodo de retorno y el hidrograma como primera parte; la segunda parte expresan las características del reservorio de agua y el diseño de tubo conductor para transportar el agua desde el embalse hasta la PTAP.

Periodo de retorno e Hidrograma

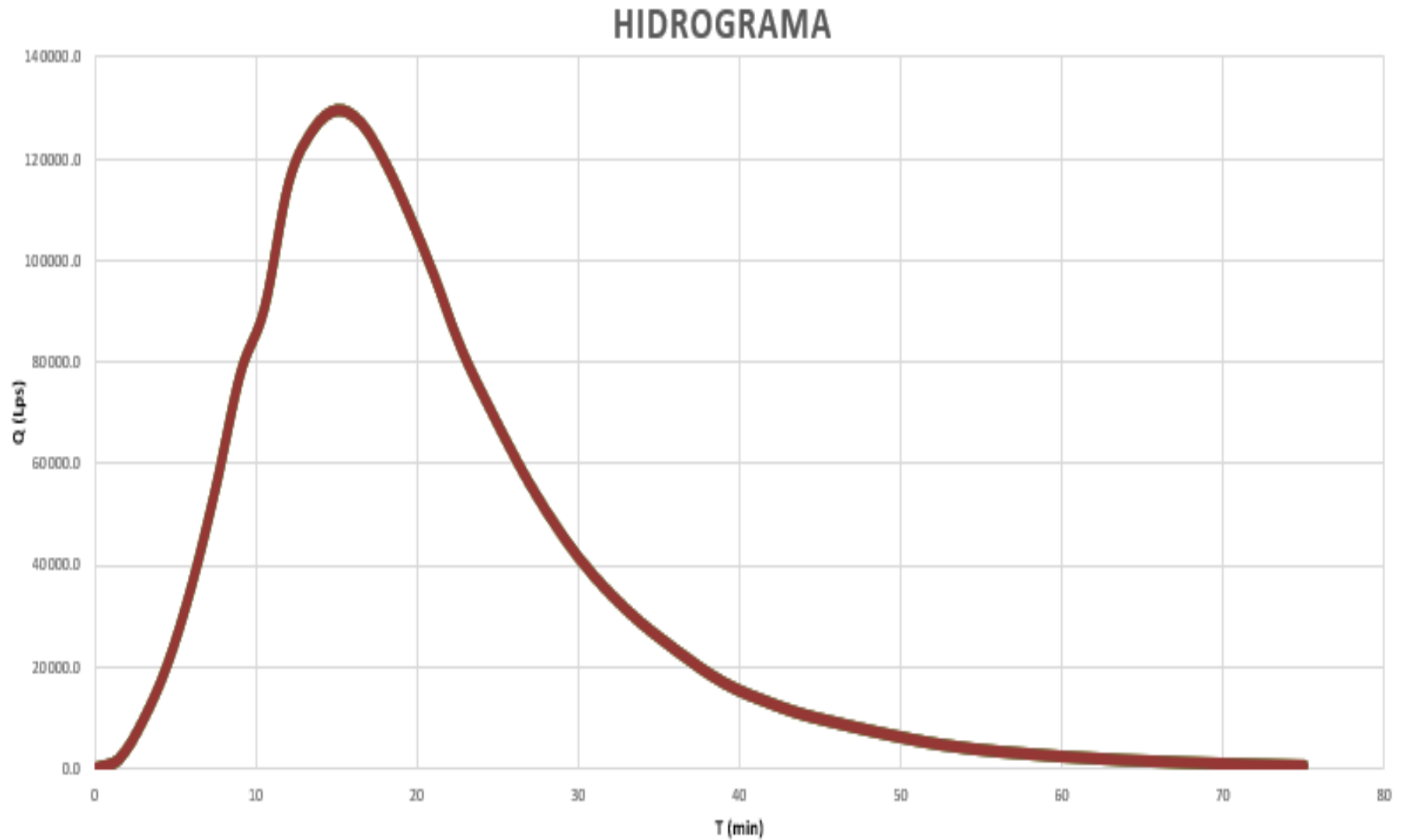
La *grafica 8* muestra el periodo d retorno de la cuenca, para 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 500 años. Sabiendo que la intensidad de un aguacero o una precipitación intensa no supera los 10 min, sim embargo después de los 10 min la intensidad de la precipitación comienza a disminuir y ser una precipitación continua pero leve. La *grafica 8* muestra que en dos años en una duración de 5 minutos se encuentra un valor de $197.21 \frac{L}{seg*Hec}$, lo que nos indica que por cada hectárea en un segundo se encontrara 197.21 L de agua lluvia, mientras que para el mismo año pero con una frecuencia de 10 min presenta un valor de $128.64 \frac{L}{seg*Hec}$, su diferencia es del $68.57 \frac{L}{seg*Hec}$. En caso hipotético para el año 500 con una frecuencia de 5 y 10 minutos presenta un valor $453.85 \frac{L}{seg*Hec}$ y $296.05 \frac{L}{seg*Hec}$ respectivamente, dejando en evidencia que la diferencia es de $157.89 \frac{L}{seg*Hec}$ lo que corresponde un 43.45% más litros por segundo en una hectárea de la diferencia de frecuencia de 5 y 10 minutos del segundo año.

Gráfica 8 Periodo de retorno



Fuente autores. 2019

Gráfica 9 Hidrograma



Fuente autores. 2019

El hidrograma de la *grafica 9* muestra la variación del caudal en un tiempo determinado, el pico mas alto de la gráfica se encuentra en el minuto 15 con un valor de 5833.31m^3 . Significando que el primer cuarto de hora representa la intensidad alta de la precipitación así como se muestra en la *grafica 8*. Finalmente, después de los primeros 15 minutos, el caudal comienza a regularse hasta llegar al valor de 0, donde se obtiene este valor justo después de los 60 minutos.

Diseño de reservorio de agua y conductor de agua

En la elaboración del modelo hidráulico como primera medida se determinó las características que debe tener el reservorio de agua con el fin de almacenar agua necesaria para satisfacer a la comunidad de Albán.

Tabla 19 Parámetros de población y de la dotación

Parámetros	Valores
Nivel de complejidad	Bajo
Periodo de diseño	20 años
Población actual	1455 habitantes
Población proyectada	1855 habitantes
Dotación bruta	200 L/ hab*día
Dotación requerida	11284,6 m ³ /mes

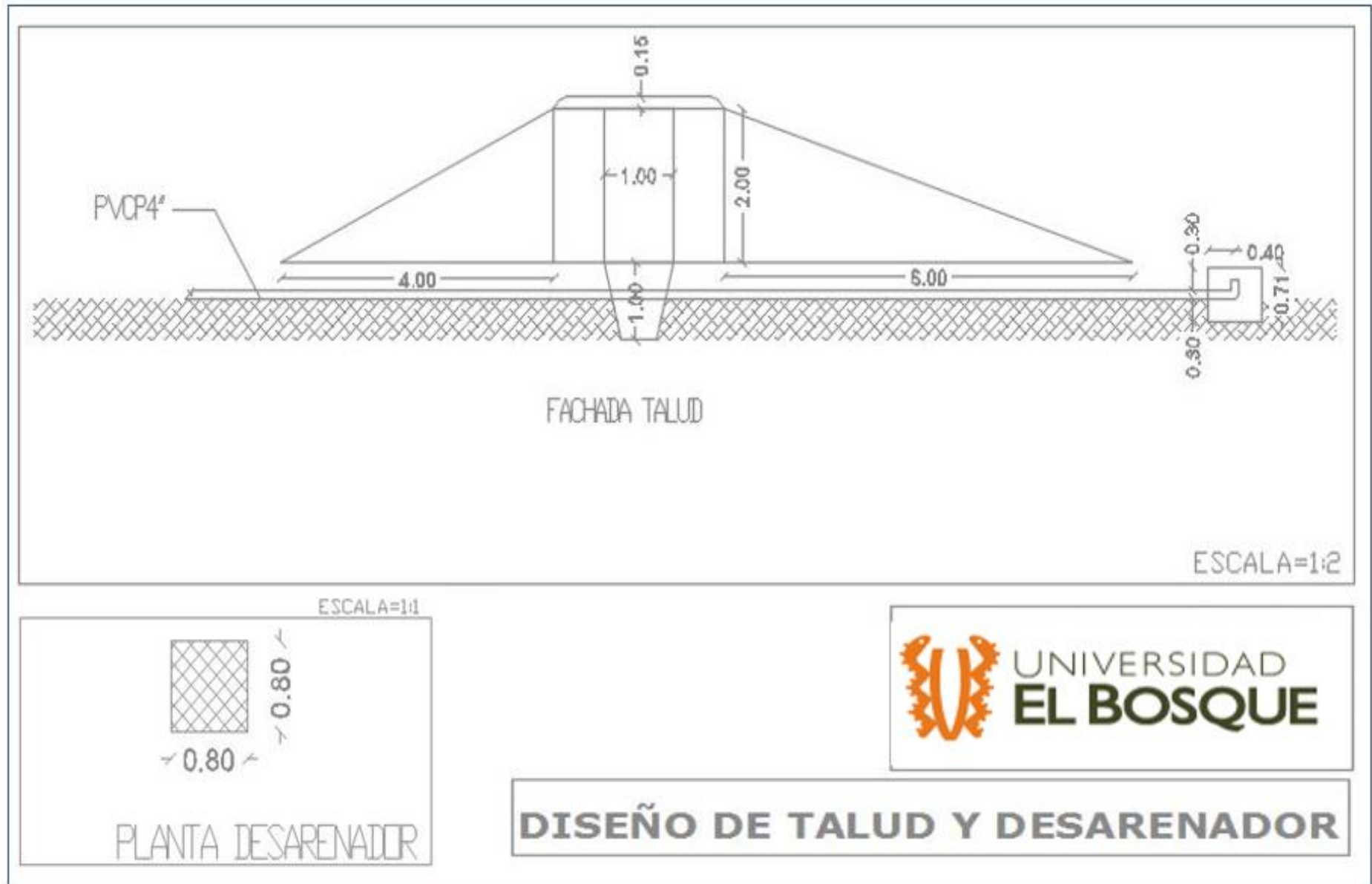
Fuente, autores 2019

Teniendo en cuenta la tabla 12 la dotación requería (11284,6 m³/mes) se determinó para un periodo de veinte años de acuerdo con el bajo nivel de complejidad que cuenta la cabecera municipal de Albán Cundinamarca

Dimensiones del reservorio

Para realizar el reservorio de agua por escorrentía se tuvo en cuenta el programa ArcGIS el cual a partir de una cota y la altura que se desea hacer el talud, nos permite conocer el área y el volumen del agua que puede alcanzar cuando en su nivel máximo. De acuerdo con el modelamiento realizado en el programa ArcMap en el cual se utilizó una altura de 2 metros, para realizar el reservorio en el cual se encontró que el volumen de agua es de 1714093.64134 m^3 en un área 3783.69138742m^2 , el cual alcanza para satisfacer la dotación requerida. A partir de la altura promedio que se le dio al modelamiento, se determinaron las posibles dimensiones que puede tener el talud como se puede ver en la *Figura 21*.

Figura 21 Diseño de Talud y desarenador



Fuente, autores 2019

Para controlar el volumen de agua en el reservorio en las condiciones apropiadas, se tendrá en cuenta un vertedero que evacuará los excesos de agua, evitando que el flujo pase por la superficie del talud, ya que se puede generar erosión, afectando el modelo que este posee y su eficiencia. (Gras, 2009)

Por otra parte, para el tubo de vertimiento, se tuvo en cuenta la salida o caudal de salida del reservorio posee en la parte interna una caja de concreto de 80 cm² x 60 cm de altura, la cual reduce la cantidad de sedimentos que se pueden ir por el sistema, reduciendo costos en el mantenimiento, además funciona como protección para la tubería de entrada. En la salida se debe realizar una caja de válvulas para controlar el caudal cuando sea necesario. (MEFCCA, 2018)

Modelos de la tubería

En primera medida se determinaron las características del fluido a partir de la temperatura promedio del sector, como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 20 Características de Fluido

nombre del fluido	Fórmula química	Temperatura C°	Presión	Densidad Kg/ m3	Estado	Viscosidad del fluido (pa*s)
Agua	H2O	16	0	998	Líquida	0,001109

Fuente, autores 2019

Con los datos generales del fluido no son suficientes para alimentar el programa Flow Master de tuberías, para esto es necesario otros datos de entrada especificando las condiciones del terreno y de los materiales que se van a utilizar.

Tabla 21 Características de algunos componentes de la zona y de los materiales

Datos de entrada	
cota 1 (m)	2343
cota 2 (m)	2293
longitud total (m)	1780
densidad del fluido (kg/m3)	998
viscosidad del fluido (pa*s)	0,001109
rugosidad (mm) PVC	0,0015
Diámetro interno de la tubería (mm)	99,1

Fuente, autores 2019

El software Flow master permite de una forma sencilla determinar el comportamiento del fluido en una tubería teniendo en cuenta las pérdidas de energía producía por los accesorios o material que se encuentra compuesto la tubería, este programa se puede llevar acabo en sistemas simples o complejos (Sanz , y otros, 2006)

Tabla 22 Condiciones del diseño

Variable	valor	Variable	valor
Elevación 1 (m)	45	Grado energético 1 (m)	45
Elevacion2 (m)	31.9	Grado energético 2(m)	31.999
Longitud (m)	1780	Flujo de área (pies2)	0.1
Rugosidad de altura (mm)	0.0015	Perímetro húmedo (m)	0.319
Diámetro (pul)	4	Velocidad (0.87 (m/s)	0.87
Caudal de salida (L/s)	7.09	Fricción (método Darcy Weisbach)	0.019
Coeficiente de viscosidad (m ² /s)	1.14E-06	Numero de Reynolds	77939.54
Peso especio (N/m ³)	9810	velocidad de perdida (m)	0.039
Perdidas por la fricción (m)	13	Fricción de pendiente (pies/pies)	0.007

Fuente, autores 2019

Además, se tuvieron en cuenta otra variable que fue las perdidas por accesorios la cual es de 12,47 m tubería el cual es 15, 23 m de accesorios utilizados en el trayecto, reduciendo el grado energético 2 a 19,52 m

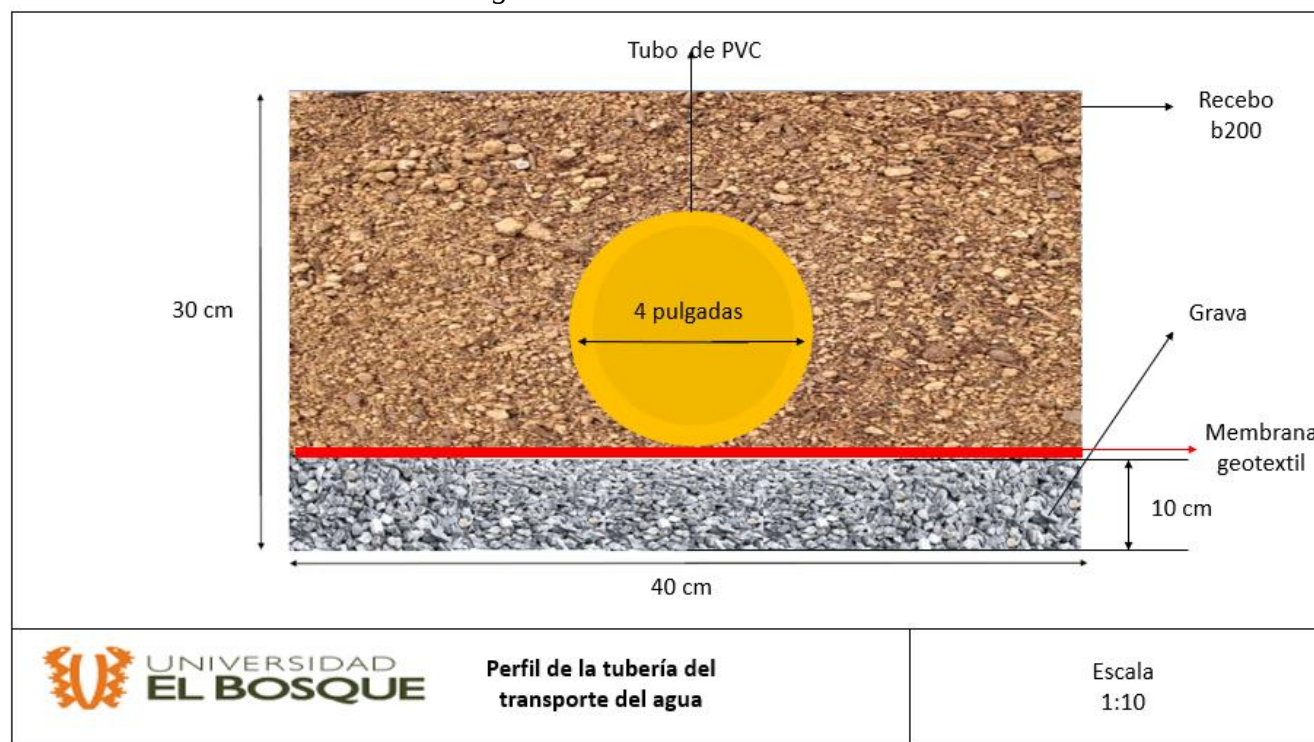
Figura 22 Dirección de la tubería en campo



Fuente, autores 2019

En la *Figura 23* y *Figura 24* muestra un diseño de una tubería en el cual se conduce el agua desde el reservorio hasta la PTAP. Las dos figuras presentan los mismos componentes, solo varían en la profundidad y la cantidad de cada material. En la *Figura 22* presenta una tubería de 4 pulgadas a una profundidad de 30 cm y un ancho de 40 cm, en el cual se presenta 3 tipos de capas, la primera capa esta conformada por 10 cm de grava, en seguida se una membrana geotextil y finalmente el tubo de precesión PVC de 4 pulgadas enterrada con 20 cm de recebo b200.

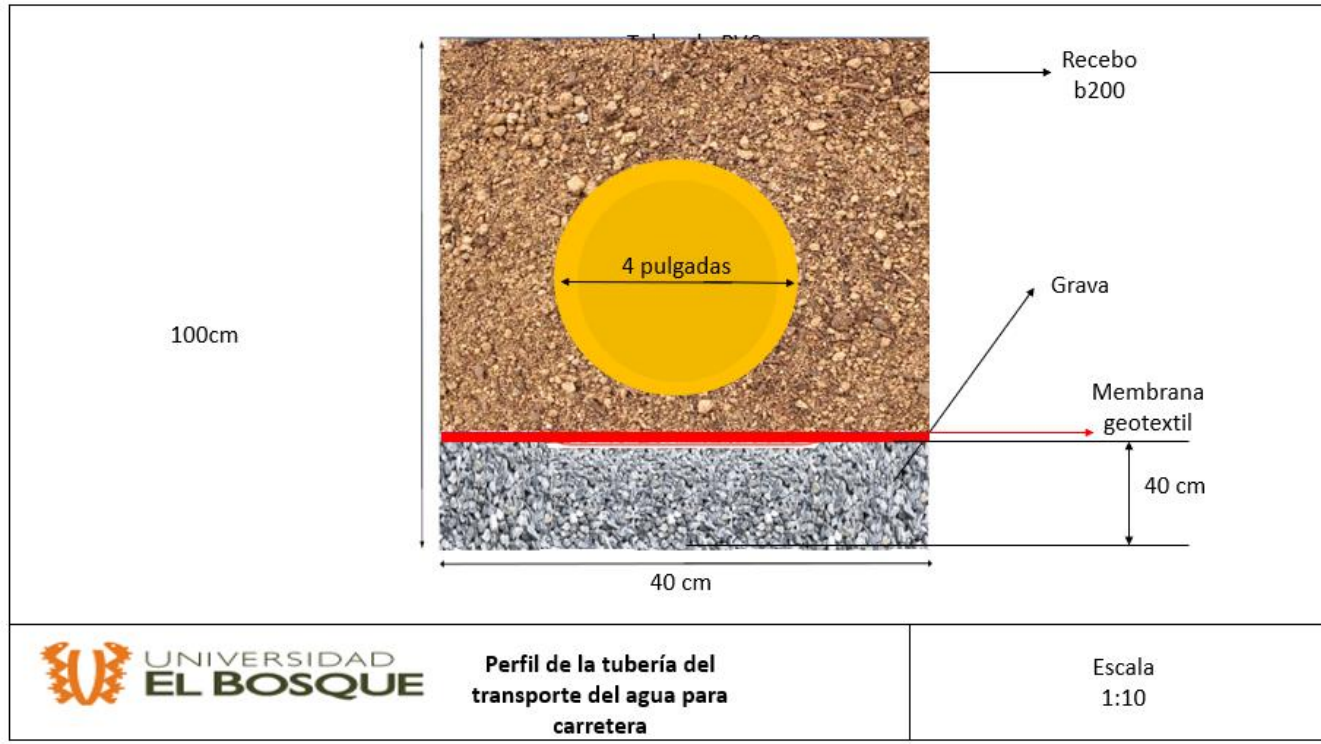
Figura 23 Diseño de tubería



Fuente, autores 2019

A diferencia de la Figura 23, La Figura 24 esta adaptada para carreteras, debido a que el recorrido del agua desde el reservorio de agua hasta la PTAP abarca una longitud de 1780 m, dentro de la longitud se encuentra 13 m que abarca una carretera. Para este caso se presenta una profundidad de 100 cm y un ancho de 40cm, presenta una capa de grava de 40 cm, seguida la membrana geotextil y después se encuentra el tubo de presentían PVC de 4 pulgadas cubierta por 60 cm de recebo b200. Para el caso de carretas es recomendado realizar mayor profundidad a comparación de la Figura 22, para que la tubería pueda soportar más peso.

Figura 24 Diseño de tubería para carretera



Fuente, autores 2019

11. Análisis de resultados

En el presente apartado se realizará el análisis integrado de los objetivos específicos con cada una de sus diseños metodológicos, al igual que los marcos de referencia que servirán de soporte para hacer una comparación con los resultados obtenidos, mostrando que el objetivo general” Realizar una propuesta de modelo hidráulicas para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en la cuenca alta del río Siquima utilizando HecGeo-Hms.” se cumplió correctamente.

De acuerdo con las características morfológicas de la cuenca del río Siquima, que se determinaron a partir de información digital que fue analizada mediante herramientas de SIG se encontró que la cuenca presenta unas condiciones que la hacen sensible en el componente hidrológico. esto se debe a que la cuenca tiene un coeficiente de compacidad de 1,33 el cual es oval redonda a oval oblonga haciendo que concentren volúmenes moderados de aguas de escurrimiento, a esto se le puede sumar la pendiente media el cual aumenta la dinámica del flujo llegando en menor tiempo a el cauce principal, donde se puede generar una creciente torrencial de acuerdo a los periodos de retorno, de tal forma que llegue a sobrepasar los límites de la rivera inundando el área que se encuentra alrededor, este proceso se puede presentar cuando las precipitaciones son muy elevadas.

otro aspecto a tener en cuenta es la cobertura vegetal en la que gran parte de la cuenca el uso actual no corresponde a la vocación del suelo, ya que gran parte de la superficie se encuentra cubierta por pastos o herbazales, elevando el coeficiente de escorrentía permitiendo que el agua lluvia tome mayor velocidad, aumentando la posibilidad de erosión y descontrol en el cauce principal. asimismo, otras variables

climatológicas y topográficas intervienen en la dinámica de la cuenca, entre estas se encuentran la forma y el posicionamiento con relación a los vientos, produciendo un choque entre las corrientes de aire y la cobertura, en algunos casos esta interacción es positiva ya que la humedad que posee el aire es retenida y condensada, en otros casos los vientos se acercan con bajo nivel de humedad, secando los suelos que se encuentran vulnerables.

Por otra parte, los datos climatológicos de la estación Venecia que hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional CAR, se determinó que la precipitación anual dio un valor de 975.8 L/m² en relación con la cuenca del río síquima. Para la microcuenca se realizó un perfil de elevaciones, la cual dio unas cotas de 3056 m.s.n.m a 1642 m.s.n.m para una pendiente de 17,5%, esta subcuenca cuenta con un área de 6781661.8 m². si bien se relaciona con la precipitación anual se obtiene un valor de 22'779,493,994. 6 litros aprovechables anuales. Dejando en evidencia que los rangos que se manejan mensualmente de agua aprovechable se encuentran entre los 140 millones a 380 millones de litros mensuales para tan sola esta subcuenca.

Además, se obtuvo que el consumo mensual fue de 11'284583.3 Litros para tan solo la cabecera municipal de Albán. Con base a lo anterior, se puede establecer la diferencia entre consumo y agua almacenada al mes en litros lo cual se evidencia una variación de 120 millones a 360 millones, presentado un valor anual de 2'644,078,994.6 Litros anuales. Al ser mayor valor de la precipitación y teniendo en cuenta que la pendiente es de 17,5%, se estima que el nivel de escorrentía aumenta, generando un crecimiento en los cauces y desbordamiento en el río principal que provocaría un alto riesgo de inundación en la cuenca baja donde se encuentra guayabal de síquima, por lo anterior se deduce que la implementación del diseño hidráulico permitiría la minimizar el riesgo por inundación para este municipio.

en primera medida el estudio de aprovechamiento de aguas lluvias, la cual se enfatiza en el agua de escorrentía de una microcuenca, que se determinó a partir del programa Hec geoHms, en el cual se analizó cada una de las capas para conocer el comportamiento de los flujos de acuerdo a la geología del sector para trazar el lugar más adecuado para hacer el reservorio, recogiendo el agua que transcurre por la superficie del suelo sin la necesidad de implementar canales de desviación.

En el modelo del reservorio se almacenará parte del agua cae en la microcuenca de tal forma que el impacto generado al ambiente sea bajo y además se controlará de cierta forma el comportamiento del cauce principal, disminuyendo el riesgo que puede presentar a inundación el municipio de Guayabal de Siquima de acuerdo con los periodos de retorno al encontrarse tan cerca del río Síquima.

De acuerdo con las condiciones del terreno, el desplazamiento de agua desde el reservorio hasta la PTAP del municipio de Albán no requiere bombas de agua que potencialicen la velocidad del fluido, esto se debe a que el sistema utiliza la gravedad como acelerador del caudal y a pesar de las pérdidas producidas en la longitud del conducto por los accesorios y características de la tubería, se sigue teniendo un grado de energía de 19,52 m.

Este reservorio de agua cumple con los dos propósitos los cuales son disminuir el riesgo a inundación al controlar parte de la cuenca del río Síquima y mejorar el abastecimiento de agua para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Albán.

12. Conclusiones

Cabe a resaltar que con algunos parámetros morfométricos de la cuenca en los cuales se encuentra la pendiente 17,5%, el coeficiente de compacidad de 1,33 y el factor de forma de 0,38, puede presentarse periodos en los que el caudal supere el área del río generando desbordamientos afectando a comunidades aledañas, pero si la cuenca fuese más alargada el tiempo de recorrido regularía el caudal por la dinámica que presenta los ríos. Además, es importante resaltar profundización de información en temas de los modelos de elevación digital (DEM) y modelos hidráulicos para poder conocer las condiciones del suelo, para buscar un aprovechamiento sostenible en cuanto al control y la eficiencia del agua lluvia.

Lo propuesto en el presente documento con respecto al procesamiento de información de la precipitación es importante reconocer que los datos fueron tomados de una estación meteorológica relativamente cercana a la subcuenca, sin embargo, para poder tener más confianza y certeza en los datos es importante no solo tener el dato histórico de una estación sino de varias estaciones para poder triangular la información. Por otra parte, se estableció que la subcuenca presenta 2779493994,58 Litros al año de agua aprovechables, esto se debe a las altas cantidades de precipitación y la duración de cada una de ellas, es importante resaltar que el reservorio puede almacenar 171409,64134 m³ en su punto máximo y la dinámica que esta tiene con el área a abastecer, se podría decir que se regularía gran parte del agua de escorrentía de la microcuenca, brindado un servicio.

Cuando se implementó la herramienta HEC GEOHMS, esta realiza una identificación casi detallada del lugar que se estudió, conociendo el comportamiento del cauce del río Síquima al igual que la topografía del sector. Esta herramienta puede ser de gran ayuda para explorar lugares que no cuentan con accesibilidad al terreno ya sea por conflictos o las condiciones del terreno no lo permiten.

Por otra parte, el área de la microcuenca cuenta con un punto estratégico para la captación de aguas lluvias y poder implementar un aprovechamiento sostenible, sin embargo, el volumen del espejo de agua del reservorio de agua dio un valor de 171409,64134 m³ en un área de 3783,138742m², lo que conlleva a que se va a inundar parte de la zona herbácea, el lugar donde se realizaría el reservorio no cuenta con bosques primarios. La forma que tome depende de la topografía del lugar y la herramienta de ArcMap no muestra el dimensionamiento, solo los valores que se estimulan a partir del procesamiento, lo que conlleva a dar importancia a profundizar información con respecto a temas de modelos hidrológicos y simulaciones de inundaciones para ver el posible impacto tanto positivos como negativos, que estarían presentes.

El cálculo del periodo de retorno en los cuales se presentó para 2,5,10, 25, 50,75, 100 y 500 años, en los cuales se determinan una eventualidad, donde la precipitación se puede presentar en gran magnitud en este caso $450000 \frac{L}{s * Hec}$ que puedan sobrepasar el nivel máximo, afectando el reservorio, para este caso se hace un vertedero desde su diseño que no colapse en el momento que se presente la eventualidad.

Se tomó como diámetro mayor en la tubería que conecta el reservorio a la planta de tratamiento de agua potable de 4 pulgadas ya que en magnitudes mayores los costos incrementan radicalmente, además regula la velocidad en la que se transporta el fluido, el cual es de 0.87 m/s, encontrándose en un promedio aceptable y en sinergia con los demás datos obtenidos en el software Flow Máster.

13. Recomendaciones

Las recomendaciones de este proyecto estarán dirigidas a entidades que se encuentren relacionadas con el ámbito ambiental, social y económico de la zona como: la corporación autónoma de Cundinamarca, la alcaldía de Guayabal de Síquima y Alban, también a entidades privadas que se puedan ver beneficiadas con el proyecto.

- Se recomienda hacer un estudio más detallado de los suelos de la cuenca para determinar los niveles de infiltración, ya que en el proyecto se llevó a cabo con datos nacionales y la precisión de estos no es tan detallada presentado que pueden afectar el desarrollo del proyecto
- Con los datos de captación de agua de la cuenca y los coeficientes de escorrentías se podría realizar una modelación con el Software HEC- RAS, permitiendo conocer el comportamiento del case principal en los diferentes periodos de lluvia y determinar las zonas más susceptibles a inundación.
- Se recomienda realizar capacitaciones a los campesinos del sector enfocadas a las buenas prácticas ganaderas ya que es una de las actividades que más se llevan a cabo en la cuenca con el fin de recuperar un poco las condiciones iniciales de la cuenca
- Es pertinente buscar la participación de entidades gubernamentales y privadas para la conservación, preservación y restauración de la cuenca alta del rio Síquima ya que se encuentran ecosistemas específicos que se han visto afectados por las actividades ganaderas y agrícolas.
- Es necesario tener una estación meteorológica en la párate baja de la cuenca para hacer una interpolación más precisa, ya que la precipitación es uno de los factores más importantes a la hora de hacer el estudio de hidrológico e hidráulico

14. Referencias bibliográficas

- Albán, A. m. (2008). Plan de desarrollo municipal de Albán 2008- 2011.
- Alcaldía Municipal de Guayabal de Siquima Cundinamarca. (2001). Esquema de Ordenamiento Territorial Guayabal de Siquima Cundinamarca 2001. 40 .
- Alcaldia Municipal de Guyabal Siquima. (10 de Enero de 2018). *Alcaldia Municipal de Guyabal Siquima*. Obtenido de Alcaldía Municipal de Guayabal de Siquima en Cundinamarca: <http://www.guayabaldesiquima-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- American Meteorological Society . (09 de 10 de 2009). *Glossary of Meteorology* . Obtenido de <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Precipitation>
- ArcMap. (2019). *Cómo funciona IDW*. Obtenido de Esri: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>
- Benjamín, L. C. (S.F). *Conceptos Basicos de Morfologia de Cuencas Hidrograficas*. Estados Unidos: Carolina Academia.
- Bhatt, J., & Pandya , P. (2014). Application of HEC-GeoHMS as a Tool of Hydrologic Modeling in the Field of Water Resources Engineering. *International Journal for Scientific Research & Development| Vol. 1, Issue 11, 2014* , 2485- 2488.
- Burgueño Muñoz, A. (s.f.). *Beneficios medioambientales*. Madrid: Departamento de Medio ambiente de Madrid.
- Campos, A. (2009). Rainfall Maximum Intensities for Urban Hydrological. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*.
- CAR. (2018). *Comité Interinstitucional de educación*. Bogotá D.C.
- CARACOL RADIO. (13 de Abril de 2010). Controles a embalses y lagunas realiza la Superintendencia de Transporte. *Caracol Radio*.
- Cárdenas, L. A. (30 de Noviembre de 2015). En el 50% avanza el llenado del embalse de Bucaramanga. *El tiempo*.
- Cerener . (2019). *Metodología estudio hidrológico*. Obtenido de Wordpress: https://www.cerener.es/?page_id=392
- Concejo Municipal. (2012). *Plan de desarrollo municipal Guayabal de Siquima 2012- 2015*.
- Consejo Municipal Guayabal. (2008). Plan Nacional de Desarrollo Municipal de Guayabal de Siquima. Guayabal de Siquima. *Gobernación de Cundinamarca*.
- Contreras, G. (Dirección). (2016). *Salidas de Campo Gustavo Contreras- Río Siquima* [Película].
- Córdova C, J. J. (2015). *Diseño de embalses teneindo en consideración los impactos ambientales*. Peru: Universidad de Piura.
- Cortolima. (2015). *Plan de ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las quebradas las panelas y la balsa*. Tolima : Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible .
- DANE. (2005). *Colombia. Proyecciones de población municipales por área*. Colombia.
- Díaz Suescún , L., & Alarcon Africano , J. G. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto intervervedal en Nunchía, Casanare*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia .
- Durazo Montaña , F., Cota Montaña, L., León Romero, D., & Guevara Ortiz, E. (2007). Inundaciones . *Secretaría de seguridad y protección ciudadana* , 3-15.
- Durazo, F. A., Cota, L. E., León, D. E., & Guevara, E. (2007). Inundaciones. *Secretaría de seguridad y protección ciudadana*, 3-15.

- EPTISA. (2010). Plan de encauzamiento en el río barbaña y arroyo san benito en el ámbito afectado por el plan especial del polígono de barreiros.
- Esri . (2012). *Tutorial de 3D Analyst*. No definida : Esri PRESS.
- Esri. (2016). *Aplicaciones de muestra de análisis hidrológico*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/tools/spatial-analyst-toolbox/hydrologic-analysis-sample-applications.htm>
- FAO. (2013). CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA.
- FAO. (2019). *Food and Agriculture Organization of the United States*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm>
- Fao. (s.f.). Servicios de las cuencas hidrográficas. *untitled*, 5-8.
- Fonseca, A. (2009). *Directrices para medir perfiles de playas*. Workshops.
- Forero B, G. A. (2017). Dimensionamiento de canales y embalses para conducir. , CTCM SENA.
- Gaspari, F., & Senisterra, G. (2014). *Análisis del uso del suelo en el contexto de su dinámica espacio temporal en una cuenca rural serrana. Argentina*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata
- Gaviria Muñoz, S. (29 de Julio de 2016). 21 departamentos y Bogotá podrían verse afectados ante la nueva temporada de lluvias. (G. d. Públicas, Entrevistador)
- Gayathri, D. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). *international conference on water resources coastal and ocean engineering (icw rcoe 2015)*. India: Elsevier.
- González, J. C. (2014). *La gestión del riesgo de desastres en las inundaciones de Colombia: Una mirada crítica* . Bogota: Universidad Católica de Colombia .
- Gras, E. (2009). *Cosecha de agua y tierra*. COAS: Permacultura.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- IDEAM. (2007). *Metodología de Corine Land Cover para Colombia* . Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
- IDEAM. (25 de 09 de 2019). *ECOSISTEMAS*. Obtenido de COBERTURAS DE LA TIERRA: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>
- Instituto HUMBOLDT. (2017). *Expediciones HUMBOLDT Cundinamarca*. Bogotá: Agenda de investigación y monitoreo de los bosques Andinos en Colombia .
- Instituto de ciencias de la salud. (2012). *Guías para hacer búsquedas bibliográficas*. JCCM.
- Kirkham, M. B. (2005). *Principals of soil and plant water relations*. Academic press.
- Linacre, E., & Geerts, B. (1997). *Climate and weather explained* . London: Routledge.
- Linsley, J. R., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. (1975). *Hydrology for engineers*. New York: McGraw-Hill.
- Llinás, H. (2018). *Introducción a la teoría de la probabilidad*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Marulanda, M. C. (2018). *Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*. Bogotá,D.C., Colombia: UNGRD.
- MAVDE. (2002). *Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda del agua*. Bogotá D.C: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
- Mays, L. W. (2010). *Water Resources Engineering* . United States of Americ.
- MEFCCA. (2018). *Construcción y supervisión de reservorios para captación de esorrentía*. Nicaragua : Serie técnica cosechade agua Vol. 3.
- Municipio de Guayabal de Siquima. (20 de 09 de 2019). *INFORME DE GESTION ADMINISTRATIVA*. Obtenido de Plan de gobierno “UNIDOS POR GUAYABAL DE SIQUIMA 2012-2015”:

<http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/guayabaldesiquimacundinamarcaig2013.pdf>

- Noguera, I. (03 de Agosto de 1992). El lago Calima, a cuidado intento. *El tiempo*.
- Pereyra, D., Antonio, J., Pérez, S., & Gómez, L. (2004). Ecuaciones que estiman las curvas intensidad-duración-período de retorno de la lluvia. *Universidad Veracruzana*, 46-56.
- Pérez Romo , A., & Vanegas Sandoval , L. J. (2016). *Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río Frío en el municipio de Chía*. Bogotá. Colombia : Univesidad Católica de Colombia .
- Rendón, L. (27 de Junio de 2017). Guatapé: una laguna de lágrimas. *El Espectador*.
- Rincón, P., & Vegas, R. (2000). *Aplicación de índices geomorfológicos de actividad*. Universidad de Madrid: Geogaceta 27.
- Ruiz , R. (2006). *Historia y evolución del pensamiento Científico*. México: History and Evolution of the Scientific Thought.
- Sanz , F., Martinez , F., Espert, V., García , J., Cabrera , E., & Bartolin , H. (2006). *El análisis de transitorios en grandes conducciones para el transporte de agua. Aplicación al trasvase Júcar-Vinalopó* . Vinalopó: Universidad Salamanca .
- Sedano Cruz, K., Carvajal Escobar , Y., & Ávila Díaz , A. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundacion en colombia . *Luna Azul* , 3-11.
- SIAC. (25 de 09 de 2019). *Degradación de suelos*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/erosion>
- Talera, G. (2018). *RIESGO Y VULNERABILIDAD POR INUNDACIONES. CASO DE ESTUDIO:*. Mexico: Univerisdad Autonoma de Mexico.
- Teleformacion. (2007). Obtenido de Precipitaciones:
http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/AYC/document/atmosfera_y_clima/humedad/precipitaciones0.htm
- Tirenti, J. (2016). *Diseño de sistemas de tubería*. Travening y engineering.
- University of Oklahoma. (2015). *EF5 Training Doc 4*. Obtenido de EF5 Control File:
http://ceos.org/document_management/Working_Groups/WGCapD/Meetings/WGCapD_SRTM-Workshop-Americas_May2015/18.%20Introduction_to_Hydrological_Models_mexico.pdf