PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN PARA EL ACUEDUCTO RURAL DE LA VEREDA COPO EN EL MUNICIPIO DE TOCAIMA (CUNDINAMARCA)

Karen Alejandra Rueda Reina

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, 12 de abril de 2018

Título del trabajo de investigación

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN PARA EL ACUEDUCTO RURAL DE LA VEREDA COPO EN EL MUNICIPIO DE TOCAIMA (CUNDINAMARCA)

Karen Alejandra Rueda Reina

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

Director (a):
Miguel Ángel Zabaleta

Línea de Investigación:
Manejo integrado del recurso hídrico y gestión para el desarrollo urbano y rural

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

Año 2018

Acta de sustentación

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.

(Dedicatoria)

A Dios…. Es mi roca y mi fortaleza, es quien me da luz en los momentos de oscuridad, es quien me ha dado la fuerza para no rendirme y luchar por mis sueños. Es mi todo.

A mis padres. … Los cuales me han apoyado en cada paso de mi vida, que han sido mi mano derecha y mi bastón, que me han ayudado a levantarme en los momentos más difíciles y que cada día me enseñan a ser una persona mejor y diferente.

A mi hermano…. El cual es una de las personas mas importantes de mi vida, es mi apoyo y con quien deseo celebrar este gran logro en mi vida.

A mi mamá… En especial le dedico este logro a ella, puesto que, sin ella a mi lado no sería nadie.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por la ayuda que me brindaron durante todo mi proceso para poder llegar a este punto de mi vida. Agradezco a mi hermano que sin el no habría podido culminar el proyecto. Agradezco a Aminta Segura y Nelson Diaz, dos personas que me brindaron su ayuda incondicional y fueron fichas esenciales para poder culminar el proyecto. Agradezco al profesor Miguel Ángel Zabaleta que me brindo parte de su tiempo y de sus conocimientos para poder sacar adelante el proyecto. Agradezco a Carolina Gómez quien de manera muy gentil me ayudo en el proyecto. Finalmente, quiero agradecerle a Juan Pablo Bernal que ha estado conmigo en los buenos y en los malos momentos y que me ha ayudado de mil maneras a salir adelante.

Tabla de Contenido

Resumen **13**

Abstract **13**

Introducción **14**

1. Justificación **15**

2. Planteamiento del problema **16**

3. Objetivos **17**

3.3. Objetivo general 17

3.4. Objetivos específicos 17

Pregunta de investigación **17**

Definición del problema **17**

4. Marco de referencia **18**

4.1. Perspectiva teórica 18

4.1.1. Estado del arte 18

Marco teórico conceptual **21**

4.1.2. Marco conceptual 21

4.1.3. Marco teórico 23

4.2. Marco normativo 24

4.3. Marco geográfico 27

5. Metodología **31**

5.1 Diseño metodológico 31

5.1.1 Metodología primer objetivo 31

5.1.2 Metodología del segundo objetivo 32

5.1.3 Metodología del tercer objetivo 36

5.1 Plan de trabajo 40

6. Plan de trabajo **40**

6.1. Organigrama 40

6.2. Metodología de la investigación 41

6.1. Cronograma 41

6.1. Presupuesto 42

7. Resultados. **42**

7.1. Primer objetivo específico, análisis y resultado 42

7.2. Segundo Objetivo específico, análisis y resultados 45

7.3. Tercer objetivo específico, análisis y resultados 52

7.3.1. Desinfección 62

7.3.2. Comparación entre el sistema de acueducto antiguo y el diseño actual 63

6. Conclusiones.....64

7. Recomendaciones.....65

8. Bibliografía 66

9. Anexos 71

Anexo 1. Bocatoma actual.....71

Anexo 2. Imagen de la bocatoma actual 72

Anexo 3. Tanque desarenador actual 72

Anexo 4. Tanque almacenador actual.....73

Anexo 5. Red de distribución actual 74

Anexo 6. Estado de las estructuras del acueducto actual 75

Anexo 7. Muestreo del caudal 76

Anexo 8. Equipos HANNA.....77

Anexo 9. Técnica empleada para el análisis fisicoquímico.....77

Anexo 10. Medios de cultivo.....80

Anexo 11. Toma de muestras 81

Anexo 12. Viraje.....81

Anexo 13. Bocatoma diseño..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 14. Tanque desarenador diseño ..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 15. Tanque de almacenamiento diseño..... ¡Error! Marcador no definido.

Anexo 16. Sistema de potabilización ..... ¡Error! Marcador no definido.

Listado de Tablas

Tabla 1. Zonas geológicas a las que pertenece la vereda de Copo……. .…28
Tabla 2: Parámetros generales unidades hidrográficas de interés…….……...29
Tabla 3. Métodos de análisis para parámetros fisicoquímicos……..……34
Tabla 4. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros microbiológicos…….….35

Tabla 5. Nivel de complejidad del proyecto…….……35
Tabla 6. Periodo de diseño de componentes de sistema de acueductos……36
Tabla 7. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema…….36
Tabla 8. Dotación bruta……..…37
Tabla 9. Demanda de agua por población…….37
Tabla 10. Cálculos para el diseño bocatoma……..…38
Tabla 11. Cálculos para el diseño del tanque desarenador……38
Tabla 12. Cálculos para la tubería de conducción…….……38
Tabla 13. Cálculos para el diseño del tanque de almacenamiento……39

Tabla 14. Caudales de la Quebrada Grande…….……45
Tabla 15. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros fisicoquímicos según la normativa…….……...46
Tabla 16. Análisis fisicoquímico con equipo HANNA…….46
Tabla 17. Análisis fisicoquímico de las muestras de agua en el laboratorio…….....47
Tabla 18. Comparación entre normativa y muestras analizadas……...…48
Tabla 19. Análisis microbiológico de las muestras de agua …….49
Tabla 20. Tipos de microorganismos presentes en la muestra de agua de la quebrada…….50
Tabla 21. Microorganismos presentes en el agua por medio de agar EMB……..……50
Tabla 22. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros microbiológicos según la normativa……51
Tabla 23. Demanda de agua por población……...…52
Tabla 24. Diseño de la bocatoma y tubería de aducción……...……53
Tabla 25. Diseño del tanque desarenador y tubería de conducción……...…56
Tabla 26. Diseño del tanque de almacenamiento……..……59

Listado de Figuras

Figura 1. Mapa del municipio Tocaima…….....…27
Figura 2: Mapa geológico de la vereda Copo…….……..28
Figura 3: Fuentes hídrica de la vereda Copo……..……29
Figura 4. Microcuenca del Tabaco……..…….……30
Figura 5. Implementos para la medición del caudal……..……32
Figura 6. Requerimientos especiales para toma de muestras o manipulación……..33
Figura 7. Vista en planta de la bocatoma……..54
Figura 8. Vista lateral de la bocatoma……...55
Figura 9. Vista de la bocatoma……..55
Figura 10. Vista de la rejilla……..55
Figura 11. Perspectiva de la bocatoma……..56
Figura 12. Vista en planta del tanque desarenador……57
Figura 13. Vista lateral del tanque desarenador……....58
Figura 14. Perspectiva del tanque desarenador…….58
Figura 15. Vista en planta del tanque de almacenamiento……59
Figura 16. Vista lateral del tanque de almacenamiento…….60
Figura 17. Perspectiva del tanque de almacenamiento……..60
Figura 18. Sistema completo de potabilización……61

Resumen
La población mundial que vive en zonas rurales se está quedando atrasada en el acceso a agua potable y servicios básicos de saneamiento. Según un informe de UNICEF y la Organización Mundial de la Salud en las zonas rurales, las personas con menos recursos no tienen cubiertas esas necesidades básicas. A nivel mundial existe una desigualdad muy marcada entre zonas rurales y urbanas en relación al acceso a agua potable, especialmente en los países más pobres. Actualmente, la calidad de vida de los habitantes de la vereda Copo se ve afectada debido a que el recurso hídrico no se encuentra en buenas condiciones y el agua del acueducto que abastece a la población no contiene ningún tratamiento previo de potabilización, por ende, no es apta para el consumo humano. Por esta razón, se pueden presentar algunas afectaciones a la salud generadas por componentes microbiológicos como consecuencia a la mala calidad del agua generada por contaminación. Con el fin de dar una solución a esta problemática, se desea proponer el diseño de un sistema de potabilización de agua para el consumo humano en el acueducto rural en la vereda Copo municipio de Tocaima por medio del diseño de una planta de potabilización adaptada a las condiciones de la vereda. Finalmente, se determina que la manera más eficiente de potabilizar el agua teniendo en cuenta las características tanto del recurso como de la región se divide en tres pasos, bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento en el cual se promueve la desinfección.

Palabras clave: Recurso hídrico, acueducto rural, agua potable, agua cruda, sistema de purificación.

Abstract
The world population living in rural areas is lagging behind in access to drinking water and basic sanitation services. According to UNICEF and the World Health Organization in rural areas, people in rural areas have a resource weaker than basic needs. In a global level exist a very marked inequality between rural and urban areas in relation to drinking water access, especially in the poorest countries. Currently, the quality of life of the people living in Copo, is not in a good condition, and the water of the aqueduct that supplies the population contains problem of purification, therefore, it is not suitable for human consumption. For this reason, there may be some health effects generated by microbiological components as a consequence of the poor quality of the water generated by contamination. In order to give a solution to this problem, it is possible to propose the design of a water purification system for human in the rural aqueduct in Copo Tocaima's municipality through the design of a drinking water treatment plant adapted to the conditions of the region. Finally, it could determine that the most efficient way to purify water taking into account the characteristics of both the ecosistem and the region, this process is divided into three steps, catchment, desander and storage tank in which disinfection is promoted.

Keywords: Hydric resource, rural aqueduct, drinking water, raw water, purification systems.

Introducción

El agua constituye un elemento identificador y diferenciador de las culturas. Está estrechamente relacionada con el patrimonio cultural de la Nación. Su uso y aprovechamiento se hará de conformidad con las costumbres ancestrales y tradicionales, respetando el ambiente y el interés público y social. De acuerdo con la visión de las comunidades, el agua representa el valor y desarrollo de su cultura y costumbres, alrededor de la cual se desenvuelven las actividades del diario vivir de los conglomerados sociales. Las comunidades, en la ruralidad, tienen una relación directa con el agua, su captación y con la protección de la cuenca, ya que el efecto de su alteración influye de manera directa en su vida y cultura (pueblo, 2013). Por su parte, existen diversos factores que influyen en la calidad del agua que consume una población. Entre estos se encuentran: aspectos culturales y socioeconómicos que condicionan la aceptación o rechazo a ciertas formas de abastecimiento y potabilización de agua y factores políticos que afectan la normatividad relativa a la inversión en el desarrollo y mantenimiento de sistemas de abastecimiento de agua potable. Para la selección de la alternativa de tratamiento óptima, deben considerarse los factores técnicos, económicos, financieros, institucionales y ambientales (Palacio L. M., 2014).

En las áreas rurales la principal fuente de agua es el río, o la quebrada, o el manantial o nacimiento, la cual es utilizada por el 40% de los hogares; el 24% la extrae de un reservorio o aljibe con o sin bomba y el 23% la toma de un sistema de acueducto o abasto y el 5% de agua lluvia (Saneamiento del sector rural). La expansión de las redes de abastecimiento, el crecimiento de las zonas urbanas y rurales, el incremento de la superficie de riego, el aumento en la producción agropecuaria, la expansión industrial, la mala gestión pública y los bajos costos del agua son factores que explican el deterioro del recurso hídrico (Munevar, 2015).

El municipio de Tocaima forma parte de la Provincia del Alto Magdalena, en el suroeste del Departamento de Cundinamarca. La vereda Copo, ubicada en el municipio de Tocaima, está situada en la parte media de la Región Andina, margen izquierdo de la cordillera Oriental y pertenece a la subregión natural central del valle cálido del Alto Magdalena (Cundinamarca, 2016); se encuentra a una altura sobre el nivel del mar entre 588 metros de altitud y 1538 metros de altitud, su latitud es de 4°34'18.02"N y su longitud corresponde a 74°37'37.46"O; esta vereda se encuentra a 27,5 Km de Tocaima y a 139 Km de Bogotá. Cuenta con una población aproximada de 392 habitantes en donde hombres >18= 170, hombres < 18 = 51 y mujeres > 18 = 134, mujeres < 18 = 37 de acuerdo con una Base SISBEN - diciembre de 2017, la vereda tiene una extensión total de 16 Km2 como área en donde la base de su economía se identifica principalmente en la producción agrícola con diversos productos como lo son árboles frutales (mango, limón, mandarina, naranja), caña, café, panela, plátano y cacao (entre otros), sector pecuario y ganadero, diversidad en comercio y turismo, además, se encuentra la producción artesanal especialmente en chusque, choco, fique y totumo, producción de ganadería dedicada a la cría y ceba y las explotaciones de aves y cerdos (LUNA & SALAME, 2014).

Al evaluar los recursos hídricos de la vereda, se identifica que la población no cuenta con un sistema de potabilización que garantice las condiciones óptimas para el consumo del agua, además que el acueducto no cuenta con las condiciones necesarias para abastecer correctamente a toda la población; de esta manera se puede realizar un programa de Calidad en el Suministro de Agua que tenga la posibilidad de ampliar la cobertura y mejorar la calidad del servicio de agua, por lo tanto, se desea evaluar la posibilidad del diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable con una buena capacidad que supla las necesidades de los habitantes de la vereda.

1. **Justificación**

El hombre que es parte de la naturaleza debe vivir en armonía con ella, esto significa que las actividades humanas deben desenvolverse de tal manera que sean compatibles con el mantenimiento y mejoramiento del entorno ecológico que lo sustenta y condiciona.
El agua es cada vez más escasa debido a diversos factores como sequías y contaminación; factores que no sólo afectan la cantidad, sino que también contribuyen a empeorar la calidad de los recursos hídricos. Estos acontecimientos, unidos a otros aspectos, hacen imprescindible el tratamiento de las aguas para ser utilizadas, tanto para su uso industrial como para el uso potable (TemasAmbientales, 2017).

Desde el punto de vista social, el propósito de este proyecto es beneficiar a las personas que habitan en la vereda Copo y mejorar su calidad de vida en cuanto al suministro del agua, teniendo en cuenta que es una población que no cuenta con el servicio de agua potable; y según lo establecido por el comité de derechos económicos, sociales y culturales, el agua es un derecho fundamental el cual indica que todas las personas deben disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico, de esta manera, todas las personas deberían poder acceder al servicio de acueducto en cuanto a calidad y cantidad suficiente para abastecer sus necesidades.

En el ámbito Económico, el proyecto pretende buscar soluciones a los altos costos económicos que puede generar la potabilización del agua al evaluar la viabilidad y conveniencia que pueda tener el diseñar e implementar una planta de potabilización en la vereda; además, se desean implementar tecnologías que sean costo efectivas y sostenibles para promover el desarrollo rural teniendo en cuenta el entorno en el que se encuentra.

A nivel ecológico, se busca proteger tanto el recurso hídrico como el ecosistema. Con el fin de lograr mayor eficiencia y protección del recurso, se busca que al realizar la potabilización del agua se genere un mayor cobro del servicio (dependiendo de los m^3 consumidos y no un valor único fijo mensual), lo cual generaría un incremento de costos para los habitantes de la comunidad disminuyendo así el consumo ya que la población haría un uso adecuado del recurso. Lo anterior aseguraría la constancia tanto en el servicio como en el caudal en todas las épocas del año; de esta manera, se promueve la protección del recurso hídrico debido a que permanece el flujo de agua en la quebrada y así se evitaría la perdida de la biodiversidad de la región mitigando el impacto sobre los recursos naturales.

2. Planteamiento del problema

Actualmente, la vereda Copo en el municipio de Tocaima, Cundinamarca, no cuenta con un sistema de acueducto que garantice a la comunidad de la vereda el suministro constante de agua, debido a que esta zona presenta un régimen bimodal de lluvias, lo cual dificulta la obtención del recurso hídrico. A su vez, el agua que llega a la población no cuenta con las condiciones aptas para el consumo humano, motivo por el cual se presentan problemas de salud como reacciones alérgicas al agua y problemas estomacales, ya que el acueducto no posee ningún tratamiento previo y la población debe usar el agua tal cual como se obtiene de la fuente.

Cabe resaltar que las fuentes hídricas no cuentan con una protección ambiental lo cual permite que la población tenga un total ingreso a la quebrada y de esta manera se facilita la contaminación del recurso que es generada por la población, los cultivos y animales de granja; por esta razón, las condiciones fisicoquímicas del agua no son las adecuadas y se pueden presentar microorganismos que afectan la salud como coliformes fecales, entre otros.

Por otro lado, debido a que la población no cuenta con una educación ambiental se dificulta el tener un uso adecuado del recurso. Actualmente el cobro del servicio se realiza por un valor único de $7000 al mes sin importar el consumo en m^3/casa; por esta razón, cada hogar consume más de lo que en verdad necesita haciendo un uso inadecuado del recurso.

Adicionalmente, la población sufre constantemente por la falta del servicio debido a que el acueducto no cuenta con un manejo o un mantenimiento adecuados y los tanques que se utilizan no tienen ninguna función ya que estos están dañados y en total abandono; a su vez, los métodos de captación y distribución del agua no son los correctos y en varias ocasiones la bocatoma se llena de sedimentos y las mangueras que abastecen a la población se taponan interrumpiendo el suministro de agua a la población.

Con base en lo anterior, la población posee un problema grande en el acueducto de la vereda y dificulta la obtención del recurso hídrico ya que no existe un personal capacitado para su correcta manipulación y la comunidad no cuenta con una educación ambiental que les permita entender y analizar cómo hacer un uso adecuado del agua y una protección del ecosistema, lo cual puede generar que al extraerse demasiada agua de la quebrada llegue en un futuro a secarse de forma permanente.

3. Objetivos

3.3. Objetivo general

Proponer el diseño de un sistema de potabilización de agua para el consumo humano en el acueducto rural en la vereda Copo municipio de Tocaima.

3.4. Objetivos específicos

- Elaborar un inventario y un diagnóstico de las estructuras existentes para establecer las condiciones actuales del acueducto rural de la vereda.
- Determinar la cantidad y calidad del agua, los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos para la formulación y el diseño de un sistema de potabilización veredal.
- Diseñar cada uno de los componentes requeridos de la planta para llevar a cabo la potabilización del agua haciendo uso o modificando las estructuras existentes del mismo.

Pregunta de investigación
¿Cuál sería el diseño óptimo para potabilizar el agua que abastece a la población de la vereda Copo en su acueducto rural?

Definición del problema
Actualmente, la calidad de vida de los habitantes de la vereda Copo se ve afectada debido a que el recurso hídrico no se encuentra en buenas condiciones y el agua del acueducto que abastece a la población no contiene ningún tratamiento previo de potabilización; por ende, no es apta para el consumo humano. Por esta razón, se pueden presentar algunas afectaciones a la salud generadas por componentes microbiológicos como consecuencia a la mala calidad del agua generada por contaminación.

4. Marco de referencia

4.1.Perspectiva teórica

4.1.1. Estado del arte

En cualquier proceso de investigación a desarrollar, es necesario seguir diversos pasos para abordar cualquier problema. Uno de estos pasos se conoce como el estado del arte, cuya elaboración es necesaria para afianzar la formulación del problema o tema investigativo (Palacio O. L., 2014).

Teniendo en cuenta las indicaciones del profesor sobre los autores a tratar y la realización del estado del arte; por medio de la página del Bosque, se ingresó a la biblioteca proporcionada por la universidad en internet y se buscaron los artículos utilizando palabras claves como lo fueron recurso hídrico, potabilización y acueductos rurales, entre otras. Para llegar a los autores o los trabajos seleccionados, se buscaron trabajos a nivel mundial, regional y local; de esta manera se identificaron las convergencias y divergencias entre los autores y, por último, se determinó el aporte hacia el presente trabajo.

Al evaluar la opinión y el trabajo de diversos autores, (André, 2012) identifica que, en la actualidad, existen muchas localidades de pequeña población en donde no existe desinfección ni tratamiento en el suministro de agua para consumo humano. En otras localidades utilizan dosificadores por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio, que se disuelven por la acción erosiva que ejerce el agua a su paso. Estos dosificadores son sencillos, pero no son muy precisos, ya que la tableta se erosiona más o menos dependiendo del caudal de agua que pase. Además, estos dosificadores requieren bastante atención por parte del personal de mantenimiento, que las localidades no poseen, ya que se deben inspeccionar con regularidad para detectar obstrucciones, limpiarlo bien, calibrarlo, entre otros. Generalmente, estos depósitos se encuentran en entornos aislados y el acceso a la red eléctrica es difícil, empleándose sistemas de energía solar fotovoltaica. Por todo ello, nació en la Fundación Ciudad de la Energía la idea de la automatización de la cloración del agua de consumo humano en áreas rurales. De esta manera, el funcionamiento básico del sistema consistió en inyectar cloro de forma proporcional a la entrada de agua en el depósito para que se encuentre en un valor óptimo para el ser humano.

Por otro lado, para (Joven, 2014) a pesar de las numerosas fuentes de agua existentes en Tanzania, la cobertura del servicio de agua potable no alcanza el 60% de la población en las zonas rurales. Los principales problemas de las fuentes de agua son la diferencia de disponibilidad entre época de lluvia y época seca, los niveles de turbidez, el color, la concentración de fluoruro o la contaminación bacteriana. Las poblaciones a la que distribuye la planta de agua potable a la que se refiere el trabajo son Ngerwe, Mtanga y Mirumba, al norte de Kigoma y al sur del Parque Nacional de Gombe, a las orillas del lago Tanganica. La captación se realiza de un pequeño afluente del lago Tanganica cuyos principales problemas son la turbidez, la existencia de elementos patógenos y la concentración de fluoruro. En este trabajo, los autores diseñan un sistema de potabilización para abastecer a la población por medio de una planta la cual consta de tres fases: la primera fase es la de sedimentación, encargada de separar los elementos sólidos en suspensión en el agua. La segunda fase es la de filtración, en la que se reducirá los niveles de turbidez y bacteriológicos. Finalmente se añade una disolución de cloro para asegurar la eliminación de contaminación bacteriológica y evitar que ésta ocurra posteriormente en el depósito o durante su suministro.

A su vez, (Mendoza, Fernández, Ettiene, & Díaz, 2000) aportan cierta información a la investigación presente mediante su proyecto basado en la eficiencia de la Moringa oleifera como

coagulante en la potabilización de aguas crudas sintéticas con valores de turbidez entre 7 y 49 NTU; en estudiaron los parámetros de turbidez, color, pH y alcalinidad. En donde se identificó que los resultados indicaban que el extracto acuoso de Moringa utilizado en el proceso de coagulación a dosis entre 10 y 20 ppm remueve la turbidez de 49, 29, 20, 15, 11 y 7 NTU a valores iguales o por debajo de los establecidos por las Normas de Calidad del Agua de Venezuela (5 NTU) en el proceso de sedimentación; los valores de turbidez del agua filtrada oscilaron entre 0,5 y 1,5 NTU, el color disminuyó de 30, 25 y 15 UC a valores entre 5 y 10 UC.

Por otro lado, el suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. De acuerdo con estadísticas, el 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable, 1000 millones de personas están sin acceso al servicio, 2500 millones no cuentan con servicio de purificación y en los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo. Para (Romero, 2011), la potabilización del agua suele consistir en la eliminación de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono. El autor en este artículo presento una revisión de los diferentes métodos de tratamiento del agua y presento un esbozo de la situación en Guatemala sobre este tema.

De esta manera, para (Palacio L. M., 2014) Colombia, atendiendo a sus compromisos para alcanzar los Objetivos del Milenio, en particular lo concerniente al aseguramiento de la cobertura de agua potable, ha hecho esfuerzos en algunas regiones por mejorar la infraestructura relacionada, de esta manera, el trabajo que el autor lidera tiene como objetivo identificar los factores que determinan las decisiones de uso de las plantas de tratamiento de agua potable en los acueductos rurales tomando un caso de estudio como referencia (acueductos rurales pertenecientes al Municipio de El Retiro - Antioquia). Para tal fin se realizaron grupos focales con los actores involucrados en la operación, administración, monitoreo y control de los acueductos rurales que permitieran identificar factores claves en las decisiones de uso de la infraestructura. Luego, realizó una encuesta a los usuarios de estos acueductos a través de un modelo de regresión logística binaria, y aplicando el método stepwise forward-backward (Agresti, 2002) con el cual se alimentó el software R versión 3.0.2 y el autor encontró que las características económicas e institucionales son las más determinantes para que una comunidad use las plantas de tratamiento de agua potable.

Se identifica que en la investigación generada por (pueblo, 2013) y de acuerdo con la visión de las comunidades, el agua representa el valor y desarrollo de su cultura y costumbres, alrededor de la cual se desenvuelven las actividades del diario vivir de los conglomerados sociales. En el mismo sentido, en el marco de la IV Cumbre Mundial del Agua se concluyó que “El agua es un elemento vital e irremplazable para la existencia de vida en el planeta: es una garantía de vida”. Las comunidades, en la ruralidad, tienen una relación directa con el agua, su captación y con la protección de la cuenca, ya que el efecto de su alteración influye de manera directa en su vida y cultura

El autor (Saavedra, 2009) señala que en los últimos diez años las comunidades campesinas están enfrentando el deterioro acelerado de sus fuentes y cuerpos de agua (lagunas, riachuelos, acequias, ríos, etc.), tanto en calidad como en cantidad; así como también de sus suelos y parcelas productivas. El deterioro de la zona de recarga (nacientes, vertientes y quebradas) del agua se produce por efecto de prácticas tales como el saqueo, la tala de árboles, el sobrepastoreo, el monocultivo, etc., que provocan la erosión de los suelos y la consiguiente pérdida de su fertilidad debido a una inadecuada captación en la toma y la presencia de fugas laterales en las tuberías o canales.

Así mismo, para (MORALES, 2013) las relaciones entre la oferta y la demanda establecidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM ,en el Estudio Nacional del Agua (2001) confirman que a pesar de que Colombia es uno de los países del mundo con mayor riqueza hídrica, buena parte de la población tiene problemas de abastecimiento, de hecho para los años 2015 a 2025 entre 65 y 68 por ciento de la población de las cabeceras municipales respectivamente, se encontrará en riesgo de desabastecimiento y se alcanzaría un índice de escasez de agua superior a 20 %. Según la información proporcionada por las Direcciones de Salud territoriales departamentales, el 76% de los municipios colombianos no disponía de agua potable para el año 2000. El promedio de continuidad del servicio de abastecimiento en Colombia es de 21 horas/día, sin embargo, en las capitales de Departamentos menores de 100,000 habitantes y en los municipios menores de 12,000 habitantes es aproximadamente de 16 horas/día; en donde la calidad del agua de consumo continúa siendo un importante problema en Colombia.

Según el Ministerio de la Protección Social, 60% de la población colombiana en las cabeceras municipales tiene un Índice de Riesgo entre medio y alto de contraer enfermedades debido a la mala calidad del agua. La situación más grave se presenta en las zonas informales, las áreas urbanas menores de 30,000 habitantes y la zona rural. Hasta 2001, los sistemas de acueducto en Colombia beneficiaban a 95,2 % de la población (40.969.694 habitantes), 96,5% en la zona urbana y 27,3% en el área rural (29.071.374 en la zona urbana y 3.323.372 en el área rural). Entre 1993 y 2003 la cobertura de acueducto urbano se incrementó de 94.6 % a 97.4 %.5 Según una encuesta de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SSPD) en 2004, el 72% de los usuarios tenía agua de calidad potable, y el 28% tenía agua de calidad no potable. En algunos casos, la presión del sistema de abastecimiento de agua es inadecuada, lo que aumenta el riesgo de contaminación bacteriana (MORALES, 2013).

En América Latina existe un reconocimiento del impacto de las inadecuadas condiciones de agua y saneamiento en la salud pública, por tal razón diferentes países invirtieron en el sector con varias entidades internacionales; en donde en el periodo de 1990 -1995, el Banco Mundial y el BID invirtieron en América Latina un total de 4.219 millones de dólares, el Gobierno Alemán aporto 93.3 millones en el mismo periodo. A pesar de esto, en 1997 aún 10.8 millones de habitantes colombianos no contaban con servicio de acueducto y 16.8 millones carecían de alcantarillado y esta situación era aún más crítica en la zona rural donde sin considerar sistemas no convencionales la cobertura en acueducto era del 44.2% y en alcantarillado 25.4% (Bastidas & Garcia, 2015).

Al evaluar proyectos realizados anteriormente por diversos autores, se identificó por parte de (Espinosa, Serrano, & Flórez, 2013), una alternativa de potabilización del agua en zonas rurales, donde no se cubre la red de acueducto; generándose problemáticas de salud pública, originando un número elevado de casos de enfermedades diarreicas agudas (E.D.A.) en la población de menos de 5 años; en zona rural del municipio de pamplona, Norte de Santander; de esta manera, la metodología de los autores se encuentra basada en procesos natural y con la utilización de materiales de fácil acceso (Rejillas, mangueras de PVC, tanques de plástico, diferentes tamaños de arena, Carbón vegetal, tela, semilla de moringa oleífera, cloro comercial).

Por otro lado, algunos autores identifican diversas maneras de evaluar las condiciones microbiológicas del agua con el fin de conocer las afectaciones a la salud que pueden tener los microorganismos, en este caso, (ROA, 2017) utiliza el método de filtración por membrana para determinar *ESCHERICHIA COLI* y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar CHROMOCULT en donde el medio de cultivo contiene el sutrato Salmon GAL – 6 cloro – 3 indol y βD galactopiranosido es un sustrato cromogénico que es usado para la detección de la enzima galactosidasa de colonias bacterianas en un ensayo colorimétrico; que da

como resultado el cambio de la colonia a un color rojo salmón. Esta reacción se observa cuando hay coliformes totales. Finalmente, para diferenciar la *E.coli* de los coliformes totales se hace por medio del sustrato cromogénico X-Glucorósido, que reacciona con la enzima glucoronidasa pero estas también reaccionan con el Sustrato Salmón- GAL produciendo un color azul - violeta en la colonia. El método es aplicable a aguas superficiales y residuales en el IDEAM en un rango de 1 a 200000 UFC/100mL. Según el Decreto número 1575 de 2007 "Por el cual se expiden normas técnicas de calidad de agua potable". ARTICULO 25. El agua para consumo humano debe cumplir con los siguientes valores admisibles desde el punto de vista microbiológico. FILTRACION POR MEMBRANA: Coliformes totales. 0 UFC/100mL y E. coli, 0 UFC/100mL.

De esta manera, para (Sáenz, 2010) es importante identificar las características fisicoquímicas del agua en donde el autor por medio de su estudio establece los criterios fundamentales para el desarrollo de los monitoreos del agua, considerando las pautas para identificar los parámetros, las estaciones de muestreo, procedimientos de toma de muestras, preservación, conservación, envío de muestras y documentos necesarios. Asimismo, permite incorporar el aseguramiento y control de calidad del monitoreo. El protocolo está elaborado para facilitar la labor de los técnicos y/o profesionales del Laboratorio de Calidad Ambiental – FCAM en la toma de muestras en campo, así como el posterior análisis de datos de los mismos.

El agua potable, es sin duda de gran importancia para la supervivencia humana y en el transcurso de su aprovechamiento, su calidad disminuye debido a sus múltiples usos (domésticos, industriales y agropecuarios). El recurso hídrico es contaminado en grandes cantidades y generalmente no recibe ningún tipo de tratamiento convirtiéndose en una problemática socio ambiental. De esta manera, se encuentra que muchas fuentes hídricas se encuentran contaminadas y esto puede provenir de la descarga de aguas residuales no tratadas, que provienen de los alcantarillados municipales y de sistemas productivos agropecuarios que se han intensificado durante la última década. Los planes de acción y de gestión ambiental de las Autoridades Ambientales Regionales son débiles en el desarrollo de programas de control a la contaminación hídrica, pues encuentran restricciones de ley para desarrollar obras de saneamiento asociadas a la prestación de servicios públicos y sistemas productivos pecuarios. Por esto es necesario implementar planes regionales o locales de descontaminación del recurso hídrico, teniendo en cuenta las características propias de cada cuenca hidrográfica, y presentar alternativas de solución frente al problema que ellas presenten. Los estimativos económicos hacen evidente la imposibilidad de iniciar simultáneamente la solución a todos los casos de contaminación hídrica, por lo cual aparece la necesidad de priorizar para abordar el problema de la descontaminación del recurso hídrico. (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Marco teórico conceptual

4.1.2. Marco conceptual

Agua cruda: Es el agua natural, superficial o subterránea, que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

Agua potable o agua para consumo humano: Es aquella que cumple características, físicas, químicas, microbiológicas y, es apta para consumo humano. De esta manera, el agua potable se utiliza en bebidas, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.

Área rural: Se caracteriza por la disposición dispersa de viviendas y en parte del territorio se practican las explotaciones agropecuarias, por otro lado, no poseen los servicios adecuados como acueducto o agua potable.

Captación: Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento. Acción y efecto de captar. En el aprovechamiento del agua lluvia es la superficie destinada a su recolección.
Caudal: El caudal de agua es el volumen, por ejemplo, la cantidad de litros, que pasa por una sección
específica de la quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado, por ejemplo, segundos.
Cloración: Aplicación de cloro o compuestos de cloro, al agua clarificada y filtrada para desinfección.
Coliformes Totales: Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35ºC +/- 2ºC causan fermentación de lactosa con producción de gas. Poseen la enzima B-galactosidasa.
Desarenador: Cámara destinada a la remoción de las arenas y sólidos sedimentables que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación simple.
Desinfección: Proceso físico o químico que permite la inactivación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.
Dureza: concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.
E. coli: Escherichia coli: Bacilo gram negativo, capaz de desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes (tensoactivos) que tengan propiedades similares e inhibitorias del crecimiento y que son capaces de fermentar la lactosa a temperaturas de 35°C +/- 2°C, con producción de ácido, gas y aldehído en un lapso de 18 a 48 horas. Oxidasa negativa, no esporógena y reduce el nitrato a nitrito. También es capaz de producir indol a partir de triptofano a una temperatura de 44°c +-05 en un tiempo de 21+/- 3 horas. Poseen la enzima B-glucoronidasa, la cual es detectada por medios cromógenos o fluorógenos.
Fuente de abastecimiento: Depósito o curso de agua superficial o subterránea utilizada por la población ya sea proveniente de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas para atender sus necesidades de agua.
Medio de Cultivo Selectivo: Medio que promueve el crecimiento de microorganismos específicos, al tiempo que inhibe, total o parcialmente, el crecimiento de otros microorganismos
Método volumétrico: se aplica cuando la corriente presenta una caída de agua, en la cual se pueda poner un recipiente con volumen conocido.

Planta de tratamiento o de potabilización: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable, contempladas en el Decreto 1575 de 2007, o la norma que lo modifique o adicione.
Recurso hídrico: Los recursos hídricos son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida .
Rejilla: Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.
Sistemas de acueducto: Conjunto de obras de captación, potabilización, almacenamiento y distribución operadas por una persona prestadora que, acorde con la Ley 142 de 1994, suministra agua para consumo humano en zona urbana o rural (Ministerio de Ambiente, 2010).
Tanque de almacenamiento: Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.
Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada por las partículas en suspensión.

4.1.3. Marco teórico

Se realiza el marco teórico como el conjunto de ideas, procedimientos y teorías que le sirven a la presente investigación para llevar a término su realización.
La tierra tiene una cantidad de agua constante, pero sufre de estrés hídrico y los pronósticos para el futuro no son optimistas. Al analizar los "Objetivos del Desarrollo del Milenio para el 2015" se encuentra que estos poseen una especial referencia al tema del agua. En donde se puede evaluar el concepto de desarrollo sostenible el cual se divide en dos partes: la interconexión de la crisis y el desarrollo sostenible como tal, además, se pueden evaluar los indicadores de sostenibilidad de los recursos hídricos, teniendo en cuenta los beneficios de la planificación integrada en agua y energía, una nueva cultura del agua, la eficiencia eco-social y el enfoque ecosistémico (LÓPEZ, 2011).

El uso inadecuado del agua puede generar problemas ambientales los cuales llegan a tener un valor económico, en donde la presión sobre los recursos hídricos es un problema que, anudado a los crecientes niveles de contaminación, ha conducido en los últimos tiempos a la sobreexplotación y a un incremento de la demanda por agua, con sus consecuencias en la calidad. A pesar de que no existen muchos estudios empíricos en el mundo, Colombia dispone de algunas estadísticas en donde se puede destacar sobre todo los costos financieros y económicos del recurso hídrico, así como las desigualdades que se presentan como privilegios sociales, culturales y antropológicos en donde se pueden analizar a nivel mundial, poblacional, regional, gestión del recurso y su valor (Munevar, 2015).

Por su parte, la Constitución Política de Colombia establece como uno de los fines principales de la actividad del Estado, la solución de las necesidades básicas insatisfechas, entre las que está el acceso al servicio de agua potable, que es fundamental para la vida humana. El abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano es necesario para evitar casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea; por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo. Al analizar los planes de desarrollo, según los criterios establecidos en el Reglamento Técnico del Sector (RAS 2000) sobre la cobertura de acueducto mínima exigida, es posible observar que de los 568 municipios que informan al respecto, 412 cumplen con una cobertura igual o superior a la exigida en el RAS. Los de mejor cobertura son, por lo general, los que tienen entre 2.501 y 60.000 habitantes. Por otro lado, 156 municipios reseñan en sus planes coberturas menores a las exigidas, lo que permite concluir que en estos municipios una gran parte de la población no tiene acceso al servicio de acueducto. Debido a que no toda la población colombiana presenta agua potable para su consumo, la tasa de morbilidad y mortalidad infantil por enfermedades relacionadas con el consumo de agua de baja calidad, entre las que se encuentran la diarrea y el cólera, aún es alta en el país. Las malas aguas generan un impacto negativo en la salud pública que según cálculos recientes asciende aproximadamente a 1,96 billones de pesos al año21, de los cuales el 70% corresponde al impacto de la morbilidad y mortalidad por enfermedades diarreicas y el 30% restante al gasto en prevención (Unicef, s.f.).

Actualmente, la calidad de muchos ríos se ha deteriorado a través de nuestra explotación como portadores de efluentes de aguas residuales. Por lo tanto, el objetivo de la potabilización seria garantizar al consumidor que el tipo de agua captada, alcanzará la calidad indicada en la legislación para un determinado uso. Debido a esto es que es de suma importancia realizar un tratamiento de potabilización al agua antes del consumo humano para evitar que sea una fuente de contaminación. De esta manera, se identifican diferentes maneras de potabilizar el recurso hídrico como lo son cloración al Breakpoint, coagulación-floculación, decantación, decantadores de flujo horizontal, filtración, afino con Carbón Activo, desinfección, tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación (Romero, 2011).

Cualquier Sistema de acueducto tiene implícito un nivel de vulnerabilidad, además enfrenta una serie de amenazas, tanto provocadas por el ser humano como por la misma naturaleza. Sin embargo, la vulnerabilidad se torna grave cuando los individuos o la sociedad se exponen sin evaluar las amenazas y sus consecuencias a corto, mediano o largo plazo. La determinación de la vulnerabilidad de los sistemas debido a las causas apuntadas, así como la educación y los procesos de gestión ambiental, hacen ver a la sociedad la necesidad de conservar los diferentes ecosistemas a lo largo del tiempo. Esto quiere decir su desarrollo en un medio ambiente sostenible desde diferentes puntos de vista: económicos, sociales, culturales, tecnológicos, científicos y ecológicos, entre otros, para resolver los problemas de vulnerabilidad de las presentes y futuras generaciones. El análisis de la vulnerabilidad contempla las nacientes de agua para el consumo humano, así como su almacenamiento previo al suministro en tanques y la misma red de distribución para los usuarios. También se analizan los aspectos administrativos de las organizaciones responsables de suministrar el agua para consumo humano. La administración de los sistemas de acueductos rurales es deficiente y vulnerable, dado que no cuentan con captaciones protegidas de las diferentes actividades humanas. También son vulnerables porque no cuentan con tratamientos básicos, como la filtración física de las aguas o su cloración (Navarro, Araya, Pérez, Moreira, & Estrada, 2013).

Una de las principales complicaciones que presentan los acueductos comunitarios tiene que ver con la dispersión en cuanto a su vigilancia y control, así como su apoyo y fortalecimiento, lo cual es causa, entre otras, de las diversas formas asociativas; los elementos principales que justifican y reafirman la necesidad de implementar una propuesta de educación ambiental tomando como punto de inicio y de finalización la comunidad (Moreira-Segura, Araya-Rodríguez, & Charpentier-Esquivel, 2015). Las actividades que adelantan en desarrollo de su objeto social llamadas también aspecto objetivo, siendo del caso la prestación de los servicios públicos domiciliarios, estarán vigiladas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Sin embargo, los inconvenientes que se presenten en su interior, tales como problemas administrativos, de personal, de contratación, asambleas y otros llamados también aspectos subjetivos estarán generalmente asignados a otra entidad (pueblo, 2013).

Finalmente, la Constitución Política de Colombia menciona que como consecuencia de su compromiso social es deber del Estado “garantizar” la prestación de los servicios públicos (art. 311 y 365), bien por sí mismo de forma directa a través de municipios, departamentos o entidades descentralizadas (art. 367) o indirectamente por medio de particulares (art. 365 párr. 2), llámense comunidades organizadas, empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios y con mayor precisión y de forma exclusiva las autorizadas por el artículo 15 de la Ley 142 de 1994. En aquellos casos en los cuales no sea posible la prestación del servicio por los autorizados por la ley, tendrá el Estado que suplir dicha falencia por intermedio de su estructura y primeramente por los municipios, quienes son los llamados a “solucionar las necesidades insatisfechas de salud, educación, saneamiento ambiental, agua potable, servicios públicos domiciliarios” (Moreno, 2014).

4.2.Marco normativo

La legislación ambiental o derecho ambiental, es un complejo conjunto de tratados, convenios, estatutos, reglamentos, y el derecho común que, de manera muy amplia, funcionan para regular la interacción de la humanidad y el resto de los componentes biofísicos o el medio ambiente natural, hacia el fin de reducir los impactos de la actividad humana, tanto en el medio natural y en la humanidad misma (TemasAmbientales, 2017). En el presente trabajo, se utiliza la normativa colombiana como instrumento esencial que permite identificar los componentes con los que debe contar el recurso hídrico y su manejo. A continuación, se muestra la normatividad pertinente.

Ley/ Decreto/ Resolución	Nombre	Artículos seleccionados	
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. (COLOMBIA C. D., 1997)	Artículo 1o. Programa para el uso eficiente y ahorro del agua	
		Artículo 4º. Reducción de perdidas	
		Artículo 7o. Consumos básicos y mínimos	
Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias (COLOMBIA E. C., LEY 9 DE 1979, 1979)	TÍTULO I	Artículo 1o. Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece
			Artículo 38o. Se prohíbe colocar letrinas directamente sobre fuentes de agua
		TÍTULO II	Artículo 51o. Para eliminar y evitar la contaminación del agua para el consumo humano la presente Ley establece
			Artículo 52o. Para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de suministro de agua, deberán seguirse las normas del Ministerio de Salud.
			Artículo 56o. No se permitirán las concentraciones humanas ocasionales cerca de fuentes de agua para el consumo humano, cuando causen o puedan causar contaminaciones
			De la potabilización del agua Artículo 69o. Toda agua para consumo humano debe ser potable cualesquiera que sea su procedencia Artículos desde 69 hasta 79.
Ley 79 de 1986	Por la cual se prevé a la conservación de agua y se dictan otras disposiciones (Colombia, 1986)	Artículo 1o. Declárense áreas de reserva forestal protectora, para la conservación y preservación del agua, las siguientes	
Ley 99 de 1993	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 renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (COLOMBIA E. C., LEY 99 DE 1993, 1993)	Artículo 111. Adquisición de Áreas de Interés para Acueductos Municipales. Modificado por el art. 106, Ley 1151 de 2007, Modificado por el art. 210, Ley 1450 de 2011. Reglamentado por el Decreto Nacional 953 de 2013, Declárense de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales	

Decreto Nacional 475 de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable (República, 1998)	Artículo 3o. El agua suministrada por la persona que presta el servicio público de acueducto, deberá ser apta para consumo humano, independientemente de las características del agua cruda y de su procedencia	
		Normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable	Artículo 6o. Las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable establecidas en el presente decreto rigen para todo el territorio nacional y deben cumplirse en cualquier punto de la red de distribución de un sistema de suministro de agua potable
			Artículo 7o. Los criterios organolépticos y físicos de la calidad del agua potable son los siguientes
			Artículo 9o. El valor admisible del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución de agua potable, deberá estar comprendido entre 0.2 y1.0 mg/litro.
			Artículo 10o. El valor para el potencial de hidrógeno, pH, para el agua potable deberán estar comprendido entre 6.5 y 9.0.
			Artículos del 20 en adelante
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SOCIAL M. D., DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007 , 2007)	Artículo 3o. Características del agua para consumo humano	
		Artículo 12o. Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA	
		Artículo 13o. Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano, Irabam	
		Artículo 29o. Análisis de vulnerabilidad	
		CAPÍTULO II Características y criterios de la calidad del agua para consumo humano	
		CAPÍTULO III Responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano	
		CAPÍTULO IV Instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo humano	
		CAPÍTULO V Procesos básicos del control y la vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano	
Resolución 1096 de 2000	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (ECONÓMICO, 2000)	TITULO IV	Artículo 206.- Licencias de construcción Artículo 207.- Licencias ambientales
			Artículo 208.- Permisos especiales
			Artículo 209.- Certificados de conformidad

Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones (DOMICILIARIOS, 1994)	Servicios públicos domiciliarios. Artículo 5o. Competencia de los municipios en cuanto a la prestación de los servicios públicos.
		Artículo 15. Personas que prestan servicios públicos
		Artículo 25. Concesiones, y permisos ambientales y sanitarios
		Artículo 26. Permisos municipales

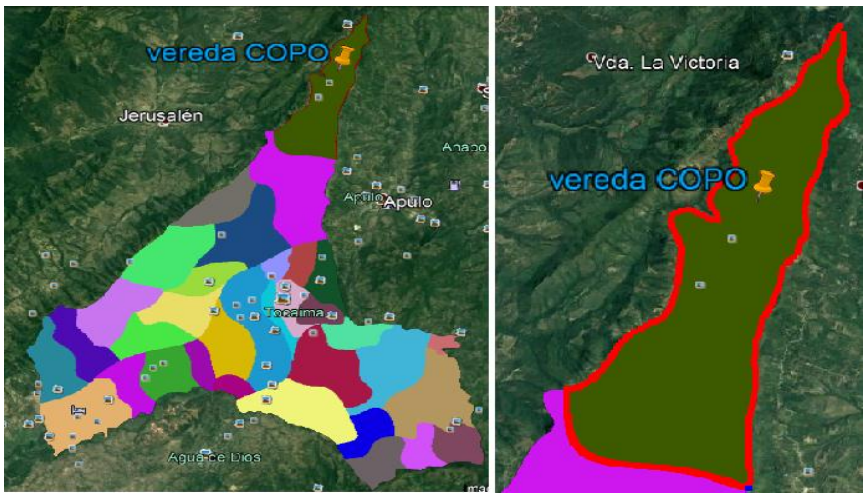
Finalmente, por medio del marco legal se puede identificar las normas y leyes que se deben tener en cuenta al hablar de los recursos hídricos, de su utilización y manejo y de cómo tener un buen servicio de acueducto y potabilización que favorezca a la comunidad y proteja al ambiente.

4.3.Marco geográfico

En la división territorial de Colombia, Tocaima forma parte de la Provincia del Alto Magdalena, en el suroeste del Departamento de Cundinamarca. Está situada en la parte media de la Región Andina, margen izquierdo de la cordillera Oriental y distante 30 Km. del margen derecho del Río Magdalena a la altura del Municipio de Girardot, pertenece a la subregión natural central del valle cálido del Alto Magdalena; se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 287 metros de altitud de la parte baja de Pubenza, límite con el vecino municipio de Girardot y a los 1.568 metros de altitud en el Alto del Trigo, extremo norte de Copó; La cabecera municipal se encuentra a 400 metros sobre el nivel del mar. El municipio de Tocaima tiene dos pisos térmicos, Templado en el 6,5% del territorio o sea unos 15 kilómetros cuadrados y Cálido en el 93.5% equivalente a unos 230 kilómetros cuadrados, en donde la vereda Copo se encuentra en el piso térmico templado (CUNDINAMARCA, 2016).

La vereda de Copo, se encuentra situada a una altura sobre el nivel del mar entre 588 metros de altitud y 1538 metros de altitud, su latitud es de 4°34'18.02"N y su longitud corresponde a 74°37'37.46"O; esta vereda se encuentra a 27,5 Km de Tocaima y a 139 Km de Bogotá, localizada al Nor-Oriente: Municipio de Apulo, Nor-Occidente: Municipio de Jerusalén y Sur: Vereda Vásquez. Cuenta con un área de 16 Km^2 y un perímetro de 23 Km.

Figura 1. Mapa del municipio tocaima



Fuente: (Google Earth pro, 2018)

Copo, cuenta con una temperatura media mensual multianual la cual es de 25.3 ºC. La temperatura máxima mensual multianual oscila entre 26.4 y 27.6 °C en los meses de junio y agosto correspondientemente, mientras la temperatura mínima mensual multianual fluctúa entre los meses de mayo y agosto con valores de 23.6 y 24.8 °C, con una precipitación promedio anual de 1.051,1 mm; régimen pluviométrico bimodal, caracterizado por presentar dos períodos típicos de lluvias en el año, uno más lluvioso en el segundo semestre (octubre - noviembre), y otro menos lluvioso (abril - mayo) y dos períodos secos (diciembre - enero y julio - agosto); presentando un punto de rocío anual de 24.2; el Municipio se ubica en una zona de disponibilidad deficitaria de agua, presentando tan solo excedentes del orden de 47 mm en Abril, Mayo, Octubre, y déficit que alcanzan los 620 mm al año; con una precipitación barométrica promedio año de 976.4 y una humedad relativa de 67% (Cundinamarca, 2016).

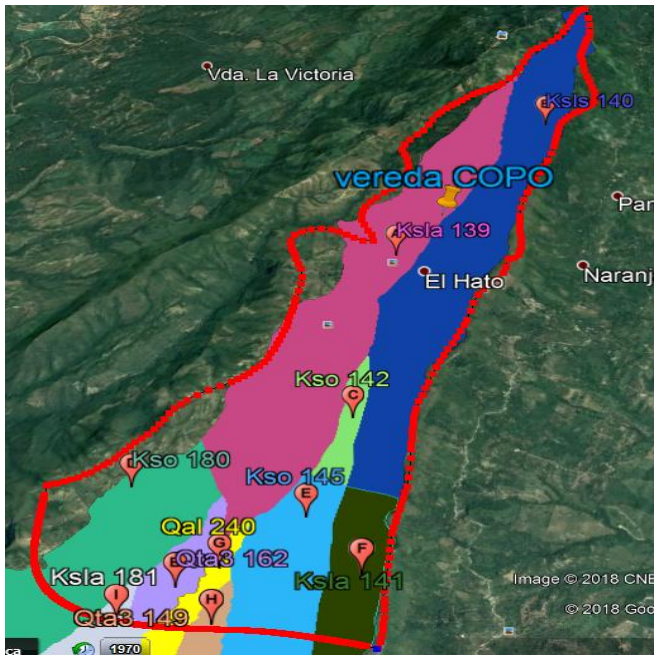
La región del municipio de Tocaima se encuentra ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Oriental colombiana en cercanía de la cuenca del Valle Superior del Magdalena. Presenta una alta complejidad tectónica, debido a su relación con la evolución estructural de la cordillera Oriental.
Las unidades geológicas comprenden desde el cretácico superior hasta el cuaternario. La secuencia inicia de base a techo por el Grupo Guaguaqui, seguido del Grupo Oliní, la unidad de Lutitas y Arenas y la Formación La Tabla del Cretácico superior, la Formación Guaduas (Cretácico-Terciario), la Formación Barzalosa y los Conglomerados de Carmen de Apicalá del Paleógeno. Al tope de estas unidades se encuentran los depósitos cuaternarios de Terrazas, Coluviones y los depósitos de Llanura Aluvial, Figura 2 (CUNDINAMARCA, 2016)

Tabla 1. Zonas geológicas a las que pertenece la vereda de Copo

GRUPO OLINI (Kso)	**NIVEL DE LUTITAS Y ARENAS (Ksla)**	**DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES (QAL)**	**DEPÓSITOS DE TERRAZAS ALTAS (QTA)**
Secuencia litológica compuesta por dos niveles silíceos, denominados Lidita Inferior y Lidita Superior, los cuales se encuentran separados por un nivel de lutitas; incluyen además dentro de este grupo el Nivel de Lutitas y Arenas, y elevan a la categoría de Formación las Liditas Inferior y Superior.	Está constituido en su totalidad por lodolitas y arcillolitas negras calcáreas, con laminación interna ondulosa paralela con partición en escamas.	Depósitos constituidos por sedimentos fluviales de grano fino que afloran a lo largo de los ríos principales que generalmente están por debajo de las llanuras de inundación de los ríos. El espesor máximo es de 5 m, está constituido por arcillas, en ocasiones pueden ser moteadas (grises y naranja) y pueden contener limos y arcillas orgánicas.	En el área se presenta una terraza alta de gran extensión: la de Tocaima. Consta de cantos y bloques, redondeados, de areniscas, depositados por el río Bogotá y transportados desde la región del Tequendama, donde los depósitos tienen características de flujos fluvioglaciares.

Fuente. (CUNDINAMARCA, 2016).

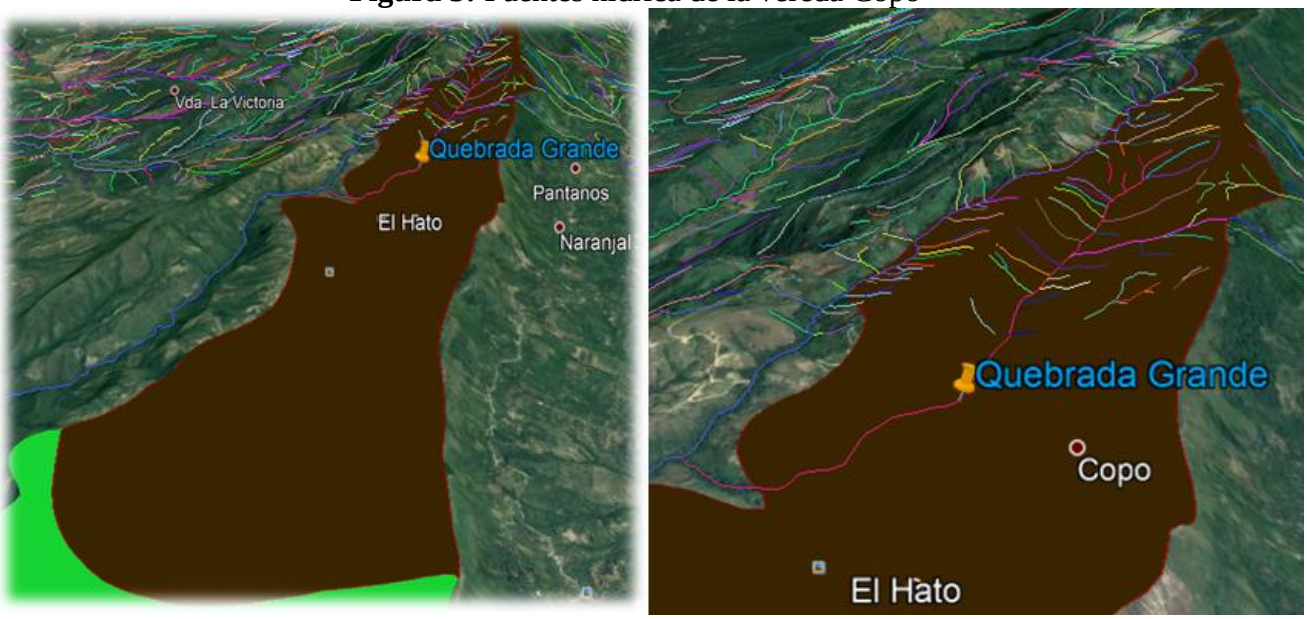
Figura 2: Mapa geológico de la vereda Copo



Fuente: (Google Earth pro, 2018)

De acuerdo al sistema clasificatorio de Holdridge, gran parte de municipio de Tocaima se encuentra ubicado en la zona de vida denominada Bosque seco Tropical (Bs-T), caracterizado por presentar biotemperaturas medias superiores a 24 ºC, lluvias anuales entre 1.000 y 2.000 mm y altitudes menores a 500 m.s.n.m. La vegetación y la fauna nativa existente en el territorio municipal la constituyen, en gran medida especies tolerantes a la presencia del hombre (Fauna) y relictos de bosque y especies vegetales aisladas. Por otro lado, se identifica que la vereda Copo cuenta con dos fuentes hídricas que abastecen a la población, estas fuentes son llamadas Quebrada la Chorrera y Quebrada Grande, en donde Quebrada Grande se identifica como fuente principal de abastecimiento para la comunidad. Quebrada Grande cuenta con una longitud aproximada de 3,47 Km y se encuentra situada en las coordenadas norte N:999546 y este E:940513, nace a los 1425 msnm y desemboca a los 1039 msnm en la Quebrada del tabaco (Cundinamarca, 2016).

Figura 3: Fuentes hídrica de la vereda Copo



Fuente: (Google Earth pro, 2018)

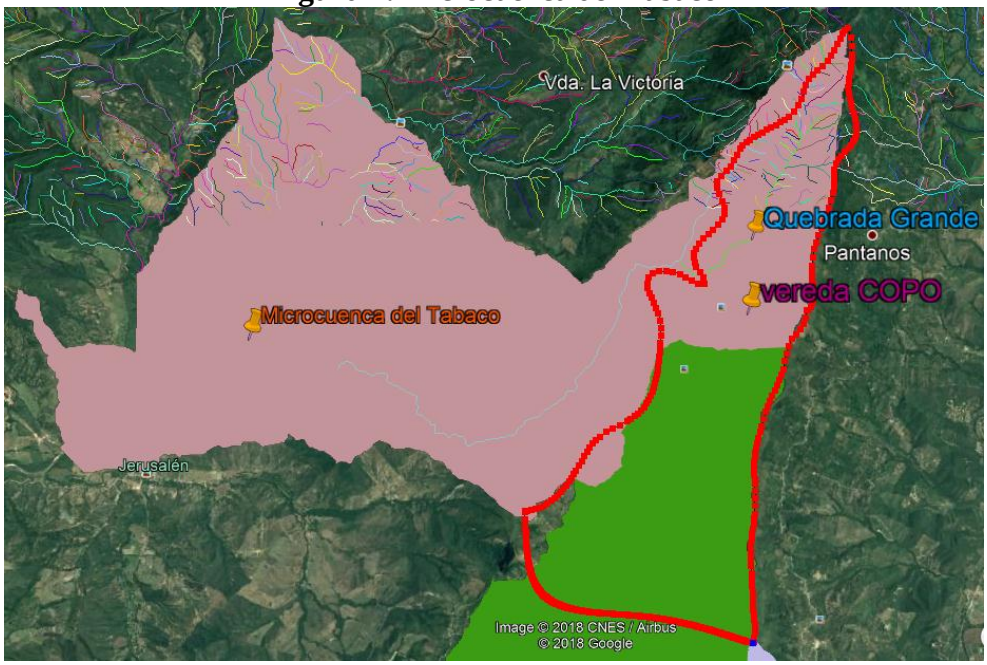
De esta manera, Quebrada Grande hace parte de la microcuenca del Tabaco la cual se encuentra en el municipio de Jerusalén y Tocaima en las veredas Alto del Trigo (Tocaima y Jerusalén) y Copó (Tocaima). A continuación, se presentan los parámetros morfométricos generales de las cuencas y su clasificación según su tamaño:

Tabla 2: Parámetros generales unidades hidrográficas de interés

CÓDIGO	CORRIENTE HÍDRICA	ÁREA (km^2)	LONGITUD AXIAL (km)	PERÍMETRO (km)	CLASIFICACIÓN TAMAÑO
		A	La	P	
21230201	Quebrada El Tabaco	44.226	6.9	43.61	Pequeña

Fuente. (CUNDINAMARCA, 2016)

Figura 4. Microcuenca del Tabaco



Fuente: (Google Earth pro, 2018)

Finalmente se determina que, de acuerdo con el ciclo erosivo, los ríos o sus tramos se clasifican en tres tipos: alta montaña (formación o niñez), montaña (juventud), piedemonte (madurez) y de llanura (vejez), como se indica en la Figura 4. En el área de estudio del proyecto los cuerpos de

agua se encuentran en la etapa de Juventud, debido a la presencia de áreas representadas por colinas o montañas menores y valles de importancia como el del río Bogotá, representados por un patrón de drenaje dendrítico en su mayoría, Así mismo, se encuentran cauces en etapa de madurez, los cuales poseen valles de configuración intermedia con profundidades de agua no muy considerables. En esta etapa el régimen fluvial está determinado por valles amplios y extensos (para los ríos principales) con caudal permanente incluso en época de estiaje o seca, las crecientes ocurren cuando se presentan lluvias prolongadas mientras que aguaceros locales y aislados no generan crecientes.

5. Metodología

En esta parte del trabajo, se estructuro la propuesta metodológica en dos partes: la primera corresponde al diseño metodológico en donde se identifica el enfoque, alcance, unidad de análisis, variables y diseño del proyecto; luego se describe por objetivo específico la metodología realizada en el proyecto. La segunda parte corresponde al plan de trabajo en forma de esquema.

5.1 Diseño metodológico

Actualmente, se idéntica que el enfoque del proyecto es cuantitativo debido a que para su diseño e implementación se requiere de la recolección de datos, el uso de ecuaciones y encuestas, entre otros. A su vez, la relación entre la teoría planteada y la investigación realizada, se determina por medio del método deductivo, en donde se tiene en cuenta un proceso de conocimiento el cual inicia al observar diversos fenómenos generales con el propósito de señalar las verdades particulares contenidas explícitamente en la situación general. (Méndez, 2009).

El estudio posee un alcance de tipo correlacional ya que su ideal es conocer el grado de asociación entre las variables por medio de un contexto particular, para un grupo o población especifica. En este contexto, se entiende que una variable es aquella propiedad que tiene una variación que puede medirse u observarse y que posee dimensiones, es decir sus atributos. Específicamente para este caso de estudio, se asocian todas las variables relacionadas con la situación actual del acueducto como lo son variables sociales de población (necesidad o complejidad; crecimiento poblacional), variables económicas de costos (instalación y mantenimiento; asequibles y productivos) y variables ecológicas de recurso hídrico (consumo de agua; calidad de agua).

Para el presente estudio, se plantea un diseño de investigación tanto experimental como no experimental. El diseño experimental se desarrolla en presencia de una situación de control en la cual se manipulan de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos). Por otra parte, en cuanto al diseño no experimental, se desarrolla una investigación de tipo transeccional ya que se describen variables y se analiza su incidencia e interrelación en un momento dado (Sampieri, Collado, & Lucio, 2006).

Para el cumplimiento de los objetivos que se plantean en el proyecto se llevan a cabo diversas etapas de investigación en donde es importante tener en cuenta: las variables de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de la información, los métodos de recolección, el análisis de información y la interpretación de resultados. Siguiendo con lo anterior, se describe la metodología realizada en el proyecto estructurándola en cada uno de los objetivos de manera separada.

5.1.1 Metodología del primer objetivo

Teniendo en cuenta el primer objetivo específico el cual corresponde a la elaboración de un inventario y un diagnóstico de las estructuras existentes para establecer las condiciones actuales del acueducto rural de la vereda, se realizó en primera instancia, el inventario el cual mostro las

dimensiones de las estructuras existentes pertenecientes al acueducto y el estado en el que se encontraban en la actualidad. En segunda instancia, se conocieron los antecedentes del acueducto. Finalmente, en tercera instancia, se validaron los procesos que hacen parte del sistema de acueducto. De esta manera, los puntos clave que se tienen en cuenta dentro de las variables corresponden al:

- Inventario: Se tuvo en cuenta las dimensiones de cada una de las estructuras del acueducto y las condiciones físicas en las que se encuentra actualmente.
- Antecedentes: Se tuvo en cuenta el año de fundación del acueducto, el propósito, las condiciones de construcción y la zonificación ambiental.
- Procesos: Se determinaron los procesos que tiene cada una de las estructuras del acueducto.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se procedió a recolectar la información pertinente para el proyecto haciendo uso de diversas técnicas en relación a las variables de estudio. En primer lugar, para tener una perspectiva real del acueducto se realizó una salida de campo a la vereda en donde está ubicado el acueducto "Asociación usuarios acueductos vereda Copo" utilizando técnicas de observación, toma de medidas de las estructuras utilizando como herramientas lápiz, metro, una libreta de notas y un registro fotográfico de la zona como principal evidencia. Luego de esto, se realizó una entrevista a la ex presidente **"Aminta Segura"** de la junta de acción comunal quien fue la encargada de recibir el proyecto del acueducto en 1998; quien informo las condiciones iniciales del acueducto y su sistema vs lo que se evidencia actualmente.

5.1.2 Metodología del segundo objetivo

Para el cumplimiento del segundo objetivo, el cual corresponde a determinar la calidad del agua, los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos para la formulación y el diseño de un sistema de potabilización veredal, se tuvo en cuenta que, en primera instancia se realizó una salida de campo a la quebrada "Quebrada grande", en donde por medio del método volumétrico se determinó el caudal de la quebrada. Este método se aplica cuando la corriente presenta una caída de agua, en la cual se pueda poner un recipiente con volumen conocido, en donde tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que pasa por la corriente. Se debe evitar la pérdida de agua en el momento de aforar (Valencia & Soto, 2014). De esta manera, las herramientas que se utilizaron para determinar el caudal de la quebrada fueron un reloj o cronómetro, un metro, un recipiente del cual se conozca el volumen que en este caso es un balde de 10 L y un tubo de PVC de 65 cm de largo por 9 cm de diámetro.

Figura 5. Implementos para la medición del caudal

Fuente: (Valencia & Soto, 2014)

En donde la medición del caudal se hizo por medio del recipiente el cual se colocó bajo la corriente de tal manera que recibía todo el flujo de agua; al mismo tiempo se activó el cronómetro. En este proceso el cronómetro inicia en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento en que se retira de ella, o el balde se llena (Valencia & Soto, 2014).. Es importante cronometrar varios tiempos de llenado, para estimar un valor promedio, por esta razón se realizó en dos épocas diferentes; la primera época correspondió a temporada de verano en donde se realizaron 10 mediciones y se promediaron todos los resultados; luego se realizó en temporada de invierno en donde se utilizó el mismo método que en verano promediando los resultados.

$$Promedio\ de\ las\ muestras = \frac{Toma\ 1 + Toma\ 2 + Toma\ 3 + \ldots + Toma\ 10}{Numero\ de\ Tomas}$$

Luego, se procedió a hacer el cálculo del caudal:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Caudal = \frac{\text{Volumen de agua capturado (en litros)}}{\text{Tiempo de llenado del balde (en segundos)}} = \frac{L}{s}$$

En segunda instancia, se determinó el método correcto para la toma de la muestra y su correcta conservación, la cual se realizó directamente en la botella o recipiente que se envió al laboratorio al siguiente día de la toma de la muestra. Este procedimiento está recomendado en grifos de redes de distribución, fuentes, canales de riego, arroyos de poca profundidad, pozos dotados de bombas de extracción y casos similares. En estos casos, es recomendable dejar fluir el agua durante cierto tiempo para conseguir que la muestra sea verdaderamente representativa (CARVAJAL, GÓMEZ, & GALLEGO, 2010). Por ello, es necesario tener en cuenta los siguientes pasos a la hora de tomar la muestra:

- En un río, acuífero abierto o depósitos, la muestra se toma a cierta distancia del fondo y de la superficie, lejos de orillas o bordes.
- Siempre evitar partículas flotantes y remover fondos
- Realizar la toma con cuidado para garantizar que los resultados analíticos correspondan a la composición real
- Llevar un registro con la información suficiente, que debe contener: Nombre del responsable, fecha, hora, localización del sitio de muestreo, identificación de la muestra, temperatura y pH de la muestra, condiciones meteorológicas, nivel del agua y velocidad de la corriente.
- Refrigerar la muestra una vez la recolecte. (4±2 °C)

En tercera instancia, se realizaron muestras de agua en el laboratorio de la Universidad El Bosque tomando como referentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (turbidez, color aparente, pH, alcalinidad, acidez, conductividad, dureza, cloruros, oxígeno disuelto, coliformes fecales, coliformes totales, E.coli, entre otros) por medio de la guía Norma Técnica Colombiana “GTC 2 Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes (CHIRUCHI, ZOBOLI, USHER, & SERRENTINO, 1996) y el MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUAS (Gómez, 1995), así, se determinaron los métodos más eficientes para analizar cada una de las muestras conforme con sus necesidades.

De esta manera, en el siguiente cuadro se especifican las condiciones de almacenamiento, envase y conservante para las diferentes determinaciones:

Figura 6. Requerimientos especiales para toma de muestras o manipulación

Determinación	Envase	Tamaño mínimo muestra (ml)	Conservación	Tiempo maximo de conservación (recomendado/obligado)
Acidez	P, V(B)	100	Refrigeración a 4ºC	24h / 14d
Alcalinidad	P, V(B)	100	Refrigeración a 4ºC	24h / 14d
Cloruros	P, V	500		7 días
Color	P, V	500	Refrigeración a 4ºC	48h / 48h
Conductividad	P, V	500	Refrigeración a 4ºC	28d / 28d
Dureza	P, V	100	Añadir HNOí hasta pH < 2	6 meses / 6 meses
pH	P, V	50	Analizar inmediatamente	24h / inmediato
Turbidez	P, V	100	Analizar el mismo día, guardar en la oscuridad hasta 24h, refriqerar	2 4 h /4 8 h

Fuente: (CARVAJAL, GÓMEZ, & GALLEGO, 2010)

Al identificar la necesidad de evaluar la calidad de agua de la vereda Copo, se optó por realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras de agua con el fin de poder definir el correcto método para potabilizar. Las muestras se tomaron en dos tipos de recipientes, las fisicoquímicas en botellas de vidrio previamente lavadas con agua y las microbiológicas es botellas de vidrio previamente esterilizadas.

5.2.1.1. Métodos para determinar las características fisicoquímicas

Para determinar las características fisicoquímicas de la muestra, primero se realizó una nueva salida de campo en la cual se tomó un nuevo caudal por ser época de verano, además, se tomaron muestras de agua en envases de vidrio completamente limpios los cuales se purgaron con agua de la quebrada tres veces antes de tomar la muestra, luego, se trasladaron de la vereda copo a Bogotá por medio de una nevera con hielo a una temperatura inferior a 4°C. De esta manera, para el análisis de la muestra se utilizaron diferentes equipos:

- Equipo HANNA HI 98129 el cual identifica in situ el pH, conductividad, temperatura y solidos totales disueltos del agua.
- Equipo HANNA HI 9829 el cual identifica el pH, oxígeno disuelto, solidos totales disueltos, salinidad, resistividad y conductividad.
- Turbidímetro de laboratorio 2100N, EPA, 230 Vca
- Se identificaron algunos parámetros fisicoquímicos como lo fueron turbiedad, acidez y alcalinidad y determinación de dureza.

Teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas a continuación, realizaron las siguientes operación para obtener los resultados, primero con ayuda de (Instituto de Hidrología, 2007) se determina el cálculo de la concentración de Dureza en una solución, segundo con ayuda de (ideam, 2005) se determina la alcalinidad y la acidez y por último la turbiedad de la siguiente forma:

Tabla 3. Métodos de análisis para parámetros fisicoquímicos

Dureza total	$\text{Dureza total}\left(\frac{\text{mg CaCO}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{Vedta} * \text{Medta}}{\text{Vmuestra}} * 100{,}091\text{g/mol}$ $\text{Dureza total}\left(\frac{\text{mg CaCO}}{\text{L}}\right) = \frac{g}{L} * \frac{1000\ mg}{1\ g}$	**Vedta** = Volumen de titulante (EDTA) para valorar dureza, mL. **Medta** = Concentración de EDTA, mol/L. **Vmuestra** = Alícuota de muestra titulada, mL. **100091** = Peso atómico del carbonato de calcio (100,091 g/mol) x 1000 mg/g.
Acidez	$\text{Acidez}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{A} * \text{N} * 50 * 1\,000}{\text{mL de muestra}}$	**A:** volumen de NaOH utilizado al vire de la fenolftaleína;

		N: normalidad de la disolución de NaOH; **50:** factor para convertir eq/L a mg CaCO3/L, **1000:** factor para convertir mL a L.
Alcalinidad	$\text{Alcalinidad } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{A} * \text{N} * 50 * 1\,000}{\text{mL de muestra}}$	**A:** volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en mL; **N:** normalidad de la disolución de ácido; **50:** factor para convertir eq/L a mg CaCO3/L, **1000:** factor para convertir mL a L.

5.2.1.2. Métodos para determinar las características microbiológicas

Para realizar el análisis microbiológico se tuvo en cuenta algunos procedimientos previos al muestreo:

- Colocarse frente a la dirección de la corriente del agua
- Sumergir el frasco debajo de la superficie del agua unos 15 a 20cm, realizando un semicírculo en la dirección de la corriente.
- Evitar coger material flotante y evitar tomar material del fondo.

Si las muestras no van a ser analizadas antes de una hora de haber sido tomadas, deben refrigerarse durante el transporte a 4°C, y deben estar completa e inconfundiblemente identificadas. Por otro lado, no debe transcurrir más de 6 horas entre la toma de la muestra y el análisis y máximo 2 horas en el laboratorio; si esto no se puede cumplir, las muestras deben ser conservadas a temperatura inferior a 4°C sin ser congeladas (Sanabria, 2008).

De esta manera, para determinar las características microbiológicas del agua de la quebrada Grande, el método que se utilizó para su análisis fue la filtración por membrana, mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro 0.45 um, esto gracias a que una bomba eléctrica ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre en un Erlenmeyer de 500ml. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego está es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo (ROA, 2017). El número de coliformes totales presentes en el agua se determina mediante la filtración de volúmenes específicos de la muestra a través de filtros de membrana. Por lo general, están compuestos de ésteres de celulosa, típicamente con poros de 0,45 mm de diámetro que retienen los coliformes totales y otras clases de bacterias presentes en la muestra y después se incuban las membranas vueltas hacia arriba en un medio selectivo (Educativa, 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, las muestras de agua se filtraron y la membrana se colocó en dos agares diferentes identificados como Agar Chromocult y Agar EMB. Así, en la siguiente tabla se identifican los niveles máximos permisibles para los análisis microbiológicos del agua.

Tabla 4. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros microbiológicos

Técnicas utilizadas	**Coliformes Totales**	***Escherichia coli***
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm^3	0 UFC/100 cm^3

Fuente: (SOCIAL M. D., 2007)

Así, para analizar la calidad del agua del afluente, se debe tener en cuenta todas las características y parámetros mencionados anteriormente. Así, por medio de la Resolución 2115 de 2007 se determinaron los indicadores para el análisis del agua teniendo en cuenta los valores máximos permisibles para que el agua sea apta para consumo humano.

Para el cumplimiento del tercer objetivo específico el cual corresponde a diseñar cada uno de los componentes requeridos de la planta para llevar a cabo la potabilización del acueducto haciendo uso o modificando las estructuras existentes del mismo. En primera instancia se realizó una salida de campo a la vereda para realizar la recolección de datos los cuales sirvieron para el cumplimiento del tercer objetivo, en donde uno de los beneficios que atrajo es que se pudo determinar el estudio hidrológico el cual define cuáles son las consecuencias hidráulicas que una obra o proyecto puede llegar a afectar el estado de una cuenca hidrológica que le corresponde.
En segunda instancia, se determinaron los datos específicos para calcular la población y proyección adecuada del acueducto y su potabilización.

5.1.3 Metodología del tercer objetivo

De esta manera se determinó el nivel de complejidad que posee el proyecto.

Tabla 5. Nivel de complejidad del proyecto

Nivel de complejidad	Población (hab.)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2500	Baia

Asignación del nivel de complejidad. RAS 2000, Capítulo A.3

Fuente. (MAVDT, 2007)

Tabla 6. Periodo de diseño de componentes de sistema de acueductos

Nivel de complejidad del sistema	COMPONENTES ACUEDUCTO				
	Captaciones superficiales Aducciones y conducciones Sistemas de bombeo	Obras de captación subterráneas Redes secundarias	Redes matrices o primarias	Redes menores o terciarias	Tanques de almacenamiento y compensación
Bajo	15 años	15 años	—	15 años	20 años

Fuente. (RAS001, 2002)

5.2.1.3. Datos de la población

El diseño de un sistema de distribución de agua potable o de la ampliación de éste, se debe realizar teniendo en cuenta una gerencia de la demanda en lugar de una gerencia de la oferta. La gerencia de la demanda de agua se debe realizar dentro del concepto del manejo integral del agua urbana, como parte del manejo integral de la cuenca. El análisis no solo debe incluir lo que la población consume o el agua utilizada para otros usos. Debe incluir también la oferta del agua y por ello, se debe tener presente la cuenca que actualmente suministre el agua y las fuentes alternas de las cuales la población podrá abastecerse. Otro estudio que debe realizarse es el de controles al consumo, de forma que se pueda racionalizar éste, en caso que no haya una oferta suficiente (Ministerio de Vivienda, s.f.).

Luego se debe determinar el periodo de diseño, estimación de la población, consumo de agua de la población y realizar la proyección de la población futura teniendo en cuenta el crecimiento anual de la población de la vereda, de esta manera, al tener la población anual, se comprueba que el porcentaje es el correcto.

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci}\right)^{\frac{1}{(Tuc-Tci)}} - 1$$

Donde:
r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal.
Puc: Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).
Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).
Tuc: Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.
Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Utilizando la tasa de crecimiento se puede calcular la población futura de la vereda:

$$\textbf{\textit{Población futura}} = Población\ actual * (1 + r)^{Periodo\ de\ diseño}$$

Donde:
Periodo de diseño: es la diferencia entre el año al cual se quiere proyectar la información y el año correspondiente al último censo con información.
r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

5.2.1.4. Dotación neta y dotación bruta por habitante

Tabla 7. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día) clima cálido
Bajo	90	100

Fuente. (Ministerio de Vivienda, s.f.)

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

De acuerdo con la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

Tabla 8. Dotación bruta

$\textbf{Dbruta} = \frac{Dneta}{1-\%p}$	**Dbruta:** dotación bruta (L/hab*día) **Dneta:** dotación neta (L/hab*día) **%p:** pérdidas máximas admisibles El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

Fuente. (Ministerio de Vivienda, s.f.)

Luego, para propósitos de diseño de un nuevo sistema de acueducto o la parte nueva de uno existente, el porcentaje de pérdidas comerciales admisibles en la red de distribución debe ser como máximo el 7% (Ministerio de Vivienda, s.f.).

Tabla 9. Demanda de agua por población

Caudal medio diario	Caudal máximo diario	Caudal máximo horario
Qmd= $\frac{No.suscriptores*Dbruta}{86400}$	**QMD=** $Qmd * k1$	**QMH=** $QMD * k2$
Qmd: caudal medio diario (L/s) **Dbruta:** dotación bruta, dada en metros cúbicos/suscriptor mes (L/hab*día).	**QMD:** caudal máximo diario (L/s) **Qmd:** caudal medio diario (L/s) **k1:** coeficiente de consumo máximo diario	**QMH:** caudal máximo horario (L/s) **Qmd:** caudal medio diario (L/s) **K2:** coeficiente de consumo máximo horario

Fuente. (Ministerio de Vivienda, s.f.)

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario (k1)
Bajo	1,30

El coeficiente de consumo máximo diario, k1, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año. En caso de sistemas nuevos, el valor del coeficiente de consumo máximo diario, k1, será 1.3 debido al nivel de complejidad del sistema (RAS001, 2002)

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución (1)
Bajo	1,60

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k2, corresponde a un valor comprendido de 1,60 debido al nivel de complejidad del sistema (RAS001, 2002).

En tercera instancia, se determinó el consumo diario de agua por habitante y así, se logró evaluar el consumo total de agua a nivel veredal. De esta manera, al tener todos los datos anteriormente mencionados, se puede definir el caudal de diseño como base principal para determinar el diseño correspondiente de cada una de las estructuras que comprende el sistema de potabilización.
Luego, se identificaron las obras que van a ser parte del acueducto en cuanto a la potabilización del recurso, determinándolas de la siguiente manera:

1. Bocatoma y tubería de aducción

Para determinar el tamaño de la bocatoma se debe identificar primero el caudal de diseño y para identificar la tubería de aducción se determina teniendo en cuenta la altura desde la superficie libre de agua e identifica a que profundidad se debe encontrar el tubo y el diámetro correspondiente para captar el caudal de diseño.

Tabla 10. Cálculos para el diseño de la bocatoma

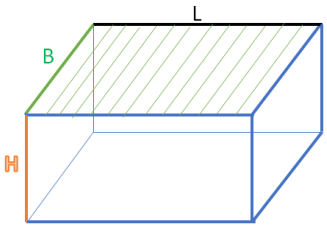
Qd= $Cd * A * \sqrt{2gH}$				
Qd: Caudal de diseño	**Cd:** Coeficiente de descarga	**A:** Área de la sección recta del tubo	**2g:** Dos veces la gravedad	**H:** Profundidad desde la superficie libre

Fuente. (Lopez, 1995)

2. Tanque desarenador y tubería de conducción

Tabla 11. Cálculos para el diseño del tanque desarenador

Vs= $\frac{g}{18} * \frac{(\rho s - \rho)}{\mu} * D^2$	**As=** $\frac{Qd}{Cs}$
Vs: Velocidad de sedimentación (m/s)	As: Área superficial del tanque desarenador (m^2)

G: Gravedad (m/s^2) **ρs**: Densidad de la arena (kg/m^3) **ρ**: Densidad del agua (kg/m^3) D: Diámetro de la partícula de arena (mm) μ: Viscosidad absoluta (Pa*s)	Qd: Caudal de diseño (m^3/s) Cs: Carga superficial (m/s)
Donde: H: Profundidad As= B*L L=3B Volumen desarenador= As*H 	$tr = \frac{V}{Q}$ Donde: tr: Tiempo de retención V: Volumen → V=B*L*H Q: Caudal de diseño (m^3/s)

Fuente. (Lopez, 1995)

Para el diseño del tanque desarenador se tuvo en cuenta la siguiente información:

Pantalla de entrada		**Pantalla de salida**		**Almacenamiento de lodos**	
Profundidad	$\frac{H}{2}$	Profundidad	$\frac{H}{2}$	Dist. Pto. De salida de la cámara de aquietamiento **Ec.1**	$\frac{L}{3}$
Distancia de vertedero de salida	15Hv	Distancia de vertedero de salida	$\frac{L}{4}$	Dist. Pto. De salida al vertedero. **Ec.2**	$\frac{2L}{3}$
				Pendiente longitudinal (en L/3)	$\frac{0,2}{Ec.1}$
				Pendiente longitudinal (en 2L/3)	$\frac{0,2}{\boldsymbol{Ec.2}}$

Fuente. (Lopez, 1995)

Tabla 12. Cálculos para la tubería de conducción

Tubería de conducción	$D = (\frac{3,59 * Qd}{150 * (\frac{HL}{L})^{0,54}})^{0,38}$	D: Diámetro del tubo Qd: Caudal de diseño HL: Perdida de energía de 10% L: Distancia desde el tanque desarenador hasta el tanque almacenador (73m)

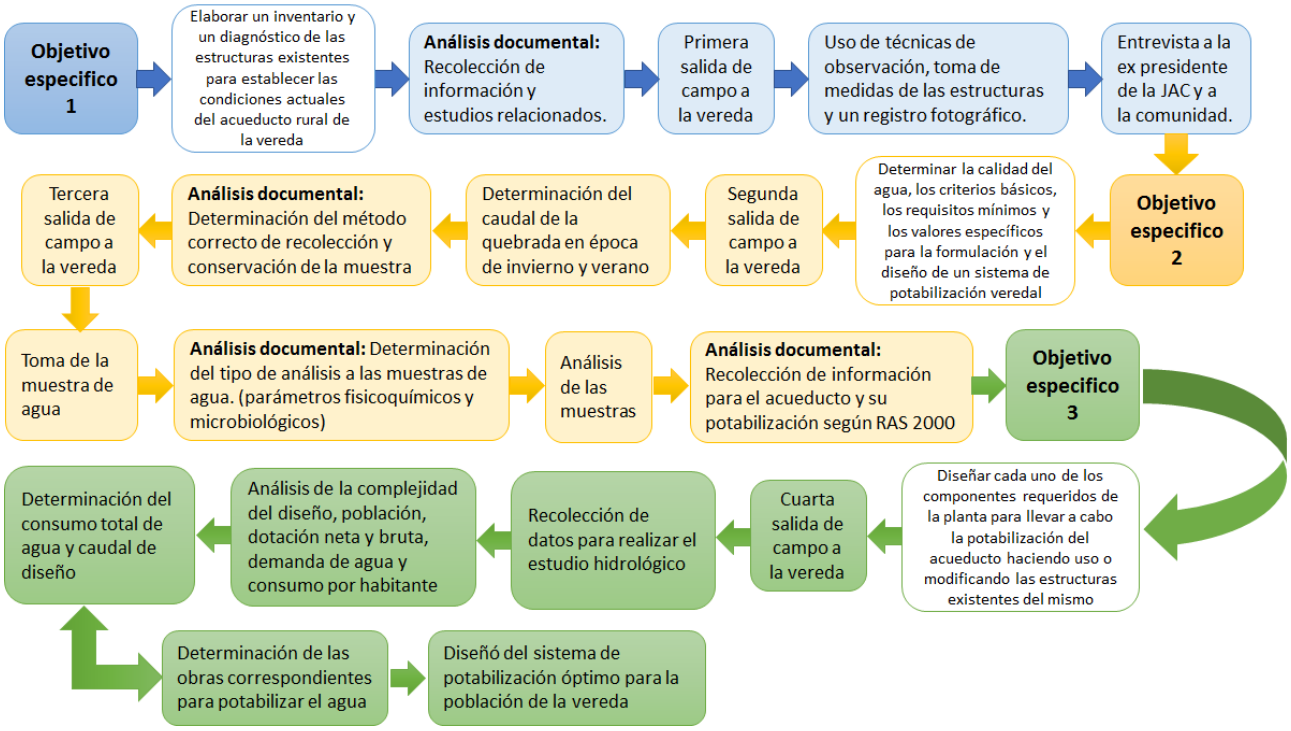
3. Tanque de almacenamiento y desinfección

Tabla 13. Cálculos para el diseño del tanque de almacenamiento

1. Volumen del tanque	**2. Altura del tanque**	**3. Dimensión del tanque**
$\mathbf{V} = \frac{Q}{t}$	$H = (\frac{V}{100} * \frac{1}{3}) + K$	$L^2 = \frac{V}{H}$
V: Volumen del tanque (m^3) Q: Caudal máximo diario (m^3/día) T: Tiempo (1 día)	H: Altura del tanque (m) V: Volumen del tanque (m) K: Constante en función de la capacidad. (K= 2)	H: Altura (m) L: Lado (m) V: Volumen (m)

Finalmente se diseñó el sistema de potabilización óptimo para la población de la vereda de Copo teniendo en cuenta el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados, de esta manera, se propuso únicamente el diseño del sistema mas no se tomó en cuenta los costos para su construcción. Al finalizar el diseño del tanque de agua, se eligió el método óptimo para la potabilización teniendo en cuenta los análisis fisicoquímicos y microbiológicos,

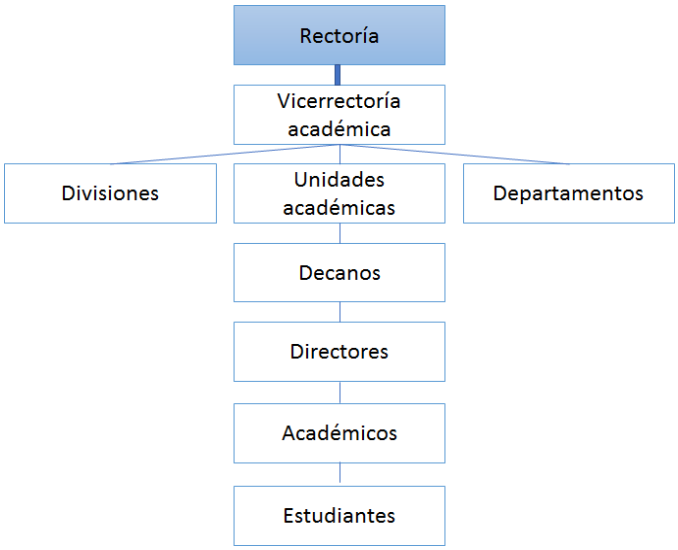
5.1 Plan de trabajo



Los resultados del trabajo se dividieron en tres secciones las cuales se dividen cada una por los objetivos específicos del proyecto dando a conocer por separado el resultado, análisis y discusión de cada uno de ellos.

6. Plan de trabajo

6.1.Organigrama



6.2. Metodología de la investigación

Metodologia de la investigación					
Objetivo general	**Objetivos específicos**	**Actividades**	**Tecnicas**	**Instrumentos**	**Resultados esperados**
Proponer el diseño de un sistema de potabilización de agua para el consumo humano en el acueducto rural en la vereda Copo municipio de Tocaima.	Elaborar un inventario y un diagnóstico de las estructuras existentes para establecer las condiciones actuales del acueducto rural de la vereda	*Inventario actual de las estructuras *Informacion secundaria *Entrevistas para evaluar los antecedentes	*Análisis y sistematización de la información *Recolección de información por fotografías *Análisis de entrevistas	*Documentos y textos *Análisis de resultados *Comparación entre diversos estudios	Se cuenta con un inventario que indique las condiciones en las que se encuentrran las estructuras actuales del acueducto y se evalua su funcionamiento
	Determinar la cantidad y calidad del agua, los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos para la formulación y el diseño de un sistema de potabilización veredal	*Análisis de las condiciones actuales del agua *Se debe conocer la cantidad de agua de la quebrada *Revisión bibliográfica	*Análisis de la información *Muestreos y analisis *Recolección de información por fotografías	*Laboratorios *Reactivos *Materiales de muestreo *Documentos y textos *Análisis y discusión de resultados	Se logra determinar el estado actual del recurso hidrico con el fin de identificar las condciones de potabilizacion que se deben tener
	Diseñar cada uno de los componentes requeridos de la planta para llevar a cabo la potabilización del acueducto haciendo uso o modificando las estructuras existentes del mismo	*Revisión secundaria *Estudio del diseño de acueductos y sistemas de potabilización	*Análisis de la información *Recolección de información por fotografías y mapas	*Documentos y textos *Evidencia fotográfica *Análisis de resultados *Diseño de planos	Se consigue diseñar un sistema de potabiización adecuado para la población dela vereda, teniendo en cuenta los anteriores objetivos

6.1.Cronograma

CRONOGRAMA		
Fecha	**Actividad**	**Resumen de la actividad**
17 al 23 de septiembre de 2017		
Informacion bibliográfica		En esta semana se empezo a buscar la informacion bibliografica para la realizacion del proyecto
7 al 14 de octubre de 2017		
13 de octubre de 2017	Reconocimiento de la zona de trabajo	Se visito la bocatoma del acueducto y se realizo un registro fotografico de la zona
30 de diciembre de 2017 al 3 de enero de 2018		
Informacion bibliográfica		En esta semana se realizo la buscqueda de informacion bibliografica compementaria para la realizacion del
4 al 13 de enero de 2018		
4 de enero de 2018	Recopilacion de la informacion de la region suministrada por la acaldia	Se visito la Alcaldia del Municipio de Tocaima, se hablò con la secretaria de planeacion y con la secretaria del alcalde (Yuli Martinez) con el fin de recopilar la informacion pertinente sobre el municipio y la vereda Copo
4 de enero de 2018	Radicacion solicitud informacion	Se realizo una carta en donde se pidio la siguiente informacion a la alcaldia de Tocaima: • Información hidrológica e hidrográfica de la Región. • Reseña histórica de la Vereda Copó. • Cuántos kilómetros o metros tienen de longitud las quebradas La Chorrera y Quebrada Grande, desde su nacimiento hasta su desembocadura. • Población de la vereda Copó • Información socio económica tanto del municipio como de la vereda Copó. • Información sobre registro de enfermedades a causa de la mala calidad del agua. • Informe de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua en el municipio y la vereda Copo • Mapas e información topográfica de la región. • Consumo promedio de agua por habitante en la vereda Copó. • Extensión geográfica de la vereda Copó. (cantidad en kilómetros cuadrados o hectáreas). • Información climatológica de la región. • Descripción física de la vereda y lugares con los que limita • Altitud, temperatura, coordenadas de la vereda Copó. • Nacederos y cuerpos de agua que posea la vereda copó. (nombre, ubicación y tamaño).
5 de enero de 2018	Inspeccion al acueducto veredal Inspeccion de la quebrada "Quebrada Grande"	Se visito la bocatoma del acueducto y se realizo un registro fotografico de la misma, ademas se realizo la toma del caudal de la quebrada por medio del metodo volumetrico usando un tubo de 65cm de largo y 9cm de diametro, se utilizo un balde de un volumen de 10 litros y un metro de 30 metros
11 de enero de 2018	Segunda inspeccion al acueducto veredal Segunda inspeccion de la quebrada "Quebrada Grande"	Se realizo la segunda toma del caudal de la quebrada por medio del metodo volumetrico usando un tubo de 65cm de largo y 9cm de diametro, se utilizo un balde de un volumen de 10 litros y un metro de 30 metros
1 al 17 de febrero de 2018		
Respuesta a la carta erradicada hacia la Alcaldia de Tocaima		El dia 1° de Febrero se obtuvo parte de la información que se pidio a la Alcandia de Tocaima
Informacion bibliográfica		En el transcurso de estas semanas se realizo una investigación bibliográfica con el objetivo de obtener el marco normativo, teórico y estado del arte, se obtuvieron los objetivos, justifcación e introducción

18 al 24 de febrero de 2018		
	Objetivos	Determinaciòn del objetivo general y los objetivos especificos
23 de febrero de 2018	Anteproyecto	Se modificó la fecha de la sustentacion para el dia 5 de marzo de 2018
25 de febrero al 11 de marzo de 2018		
2 de marzo de 2018	Turoria	Se obtuvo tutoria con el director del proyecto
	Anteproyecto	Se realizo la primera sustentación de los objetivos, problemática, justificación, pregunta problema y los marcos de referencia
		Se acordo realizar un cambio en la pregunta de investigación la cual quedo: ¿Cuál sería el diseño óptimo para potabilizar el agua de la población de la vereda Copo en su acueducto rural?; y se realizo un ligero cambio en el segundo objetivo específico el cual quedo: Determinar la cantidad y calidad del agua, los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos para la formulación y el diseño de un sistema de potabilización veredal.
5 de marzo de 2018		Se realizó la primera entrega del documento corrigiendolo con base a las sugerencias dictadas por los docentes en la sustentación.
8 de marzo de 2018	Turoria	Tutoria con el docente encargado de la materia proyecto de grado 2
	Metodologia	Se comienza desarrollar la metodología del documento identificando de que manera se van a cumplir los objetivos especificos.
9 de marzo de 2018		Se envia la metodología para revision.
9 de marzo de 2018	Turoria	Se obtuvo tutoria con el director del proyecto
12 al 20 de marzo de 2018		
15 de marzo de 2018	Revisión bibliográfica	Se realizo un analisis bibliografico con el fin de identificar la manera correcta de realizar el muestreo
16 de marzo de 2018	Turoria	Se obtuvo tutoria con el co-director del proyecto
18 de marzo de 2018	Determinacion del caudal	Se realizo la tercera toma del caudal de la quebrada junto con un analisis de ph, temperatura y conductividad de la quebrada
19 de marzo de 2018	Muestreo	Se obtuvo las muestras del agua de la quebrada para realizar el analisis de las mismas en Bogota
20 de marzo de 2018	Analisis fisicoquimico	Se realizo el analisis fisicoquimico de las muestras de agua que incluye: pH, oxigeno disuelto, solidos totales disueltos, salinidad, resistividad, conductividad, temperatura y salinidad.
21 de marzo de 2018	Analisis microbiologico	Se empezo a realizar el analisis microbioogico de lamuestras que identifica: coliformes totales y E.coli; por medio del metodo de filtracion por membrana.
22 de marzo de 2018	Turoria	Tutoria con el docente encargado de la materia proyecto de grado 2

6.1.Presupuesto

Presupuesto para el periodo 2018-1		
Fecha	**Costo**	**Especificacion**
8 al 15 de octubre de 2017	18000	Transporte Bogota - Tocaima
	180000	Alimentación
	9000	Pasaje Tocaima - Copo
	9000	Pasaje Tocaima - Copo
	30000	Asesoria de los habitantes de la vereda
	18000	Pasaje Tocaima - Bogotá
4 al 13 de enero de 2018	53000	Transporte Bogota - Tocaima
	180000	Alimentación
	9000	Pasaje Tocaima - Copo
	9000	Pasaje Tocaima - Copo
	30000	Asesoria de los habitantes de la vereda
	18000	Pasaje Tocaima - Bogotá
16 al 19 de marzo de 2018	180000	Transporte Bogota - Tocaima; Tocaima - Bogota
	75000	Alimentación
	60000	Material de trabajo
	30000	Asesoria de los habitantes de la vereda
20 al 23 de marzo de 2018	40000	Transporte para realizar el analisis de las muestras
10° semestre	160000	Transporte para asistir a las clases de proyecto
Total	**1108000**	

7. Resultados.

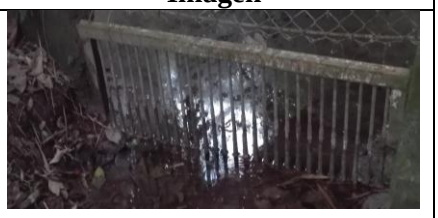
A continuación, se presentan los resultados del proyecto separándolos en tres partes: en la primera se identificó el primer objetivo específico con su análisis y discusión, luego se presenta el segundo objetivo específico con sus análisis y discusiones correspondientes y, finalmente, se presentan los resultados del tercer objetivo con análisis y discusión del mismo.

7.1. Primer objetivo específico, análisis y resultado

En el primer objetivo específico, que corresponde a elaborar un inventario y un diagnóstico de las estructuras existentes para establecer las condiciones actuales del acueducto rural de la vereda. En

primera instancia se definieron los aspectos generales de la vereda que corresponde a una zona rural en condiciones de vivienda dispersa las cuales se encuentran separadas entre otros, por áreas cultivadas, prados, bosques, potreros, carreteras o caminos. De esta manera, la vereda corresponde a la región andina con una baja densidad poblacional entre 15 y 30 habitantes por km^2, esta región se trata de la zona rural de los municipios ubicados en las laderas andinas entre los 1.100 y 3.200 msnm al norte de Cundinamarca con precipitaciones que fluctúan entre los 1.000 y 2.000 mm. La oferta de agua de la vereda, corresponde al agua superficial que surge de los nacederos, quebradas, ríos, lagos y embalses, y su volumen depende principalmente de la intensidad de las precipitaciones, el clima y la vegetación. Teniendo en cuenta la entrevista con la ex presidenta del acueducto de la vereda Copo Aminta Segura, el proyecto del acueducto nació en julio de 1997 en donde los ingenieros Álvaro Pinto y Fabio Villalobos lo ejecutaron y así fue entregado el 17 de diciembre de 1997 con 7km de redes cuyos materiales fueron mangueras de PVC las cuales se volvieron a cambiar en el año 2017 y un motor para tratar el agua el cual se optó por no instalar debido a la baja seguridad en la zona. Debido a la falta de potabilización del recurso hídrico, "Acuagir" dono 6 meses de tratamiento para el agua en el año 1998 pero a partir de esa época el agua no volvió a ser potabilizada. A partir de esto, se analizaron y evaluaron las estructuras que posee el acueducto "Asociación usuarios acueductos vereda Copo" actualmente y de esta manera se elaboró un inventario de las mismas. A continuación, se identifica el resultado y el análisis del mismo.

- Rejilla

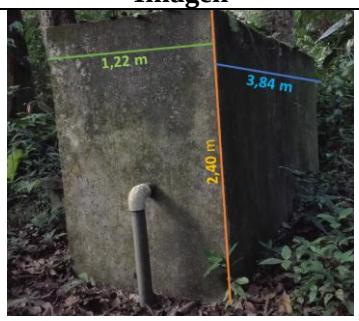
Descripción y análisis	Imagen
Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes. La captación de aguas superficiales a través de rejillas se utiliza especialmente en los ríos de zonas montañosas, los cuales están sujetos a grandes variaciones de caudal entre los períodos de estiaje y los períodos de crecientes máximas (Ministerio de Ambiente, 2010). Actualmente, estas rejillas logran detener los sólidos grandes como palos o rocas, pero no logra detener los sedimentos o partículas de arena que viajan con el curso del agua, además, presenta un desgaste por corrosión y no se encuentran en óptimas condiciones debido a la falta de mantenimiento en la captación por parte de la población. Los planos de la rejilla se encuentran en el anexo 1.	

- Bocatoma

Descripción y análisis	Imagen
La bocatoma, es un conjunto de dispositivos destinados a conducir el agua de la fuente superficial para las demás partes constituyentes de la captación. De esta manera, se identifica que esta estructura corresponde a una **captación de bocatoma de fondo** la cual se construyó en uno de los flancos del curso de agua, de forma tal, que el agua ingresa directamente a una caja de captación para su posterior conducción a través de tuberías (salud, 2004). Actualmente, la bocatoma cuenta con una malla a su alrededor que la protege y en su interior se divide en tres secciones en la primera entra el agua y la distribuye a las próximas dos secciones (cuando se encuentra en época de invierno y el caudal de la quebrada es alto es alto) cuyo objetivo es reducir un poco los sedimentos dejándolos sumergidos en la parte inferior de la estructura y así, el agua que se dirige a las tuberías pasa con menor cantidad de sedimentos. En algunos casos cuando la región se encuentra en época de estiaje, el agua no alcanza a pasar de la primera sección a las diferentes secciones, debido a esto se distribuye por medio de una rejilla que se encuentra en la primera sección de la bocatoma. Los planos de la bocatoma se encuentran en el anexo 1 y la imagen de la misma	

se encuentra en el anexo 2	

- Tanque desarenador

Descripción y análisis	Imagen
El tanque desarenador corresponde a una cámara destinada a la remoción de las arenas y sólidos sedimentables que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación simple. Luego de que el agua pasa por la bocatoma se dirige al tanque desarenador el cual posee unas dimensiones de 2,40m de alto, 1,22m de ancho y 3,84m de largo, de esta manera el proceso de sedimentación se realiza en la parte inferior del tanque el cual está compuesto de una capa de hormigón ciclópeo y otra capa de concreto en donde las arenas y solidos quedan suspendidos al fondo del tanque dándole paso al agua al tanque almacenador. Los planos del tanque desarenador se encuentran en el anexo 3.	

- Tanque de almacenamiento

Descripción y análisis	Imagen
Los tanques de almacenamiento se encargan de almacenar el agua y distribuirla a la población. Actualmente, este tanque posee unas dimensiones de 2,45m de alto, 5,45m de ancho y 5,50m de largo el cual está compuesto por una placa en concreto y una placa en recebo apisonado en el interior del tanque. En época de invierno el tanque se llena hasta en su totalidad y cuenta con una abertura lateral que permite que el agua sobrante vuelva a la quebrada, pero en época de verano deben dejar el tanque llenarse por lo menos tres días para poder suministrar el agua a la población. De esta manera, la manguera que se encuentra conectada a la parte externa del tanque es la encargada de conducir el a la población y cuenta con sistema que permite o impide el paso del agua. Los planos del tanque almacenador se encuentran en el anexo 4	

- Macro medidor

Descripción y análisis	Imagen
El acueducto de la vereda Copo cuenta con un macromedidor tipo woltman horizontal el cual permite contabilizar el agua que pasa a través de el por medio de las tuberías, tiene como función procesar y analizar los datos operacionales de flujos, presión o volumen del sistema de abastecimiento para la población. Este macromedidor se encuentra situado antes de la primera casa que abastece en acueducto y se debe evaluar mensualmente el consumo y la cantidad de agua que pasa a través de él medidor.	

- Red de distribución

Descripción y análisis	Imagen
Actualmente la red de distribución corresponde a una manguera que sale del tanque almacenador de 3 pulgadas hasta la primera casa que abastece, de ahí en adelante la manguera pasa a ser de 2 pulgadas la cual abastece a 389 usuarios con un promedio de 0,61L/s. Las mangueras, cuentan con dos	

desaireadores que permiten evaluar la presión con la que va el agua y si en alguna parte esta tapada por solidos grandes. En el anexo 5 se encuentra la red de distribución de toda la vereda	

- Estado del acueducto

Descripción y análisis	Imagen
Actualmente se encuentran algunas estructuras que fueron construidas como parte del acueducto que se encuentran en total abandono por la población. Además, se identificó que las estructuras que están en funcionamiento no se en encuentran en buenas condiciones en su exterior y tampoco cuenta con un mantenimiento interno de las mismas. En el anexo 6 se encuentra el estado actual de las estructuras del acueducto.	

Teniendo en cuenta lo anterior, se identificó que las estructuras que hacen parte del acueducto no se encuentran en estado óptimo que permitan prestar un buen servicio a la población, ya que algunas de ellas se encuentran en total abandono y otras se han estado desmoronando debido a las condiciones climáticas de la zona; esto se debe a que la parte exterior de los tanques no se encuentra permeabilizada y no posee una protección que permita que la estructura permanezca de forma correcta. Por otro lado, las mangueras que abastecen a la población se encuentran sobre la superficie del terreno lo cual permite que puedan sufrir daños ya sea por la vegetación o por la misma población de la vereda. A su vez, se identificó que el proceso que realizan los tanques del acueducto no son suficientes para que la población cuente con un servicio óptimo para el consumo humano debido a que según (Salta, 2012) para que el agua sea potable, debe ser: limpia, pulcra, inodora, insípida, sin partículas que la hagan turbia; además debe tener minerales, tales como sodio, yodo, cloro, en las cantidades adecuadas y se debe saber que un requisito para consumir el agua es que debe encontrarse potabilizada, es decir, quitarle las impurezas por medio de filtros sucesivos, luego deben eliminarse los microorganismos que pudieran existir con cloro y otros agentes purificadores y con base a esto se somete a rigurosos análisis antes de liberarla al consumo.

7.2.Segundo Objetivo específico, análisis y resultados

En el segundo objetivo específico, que corresponde a determinar la cantidad y calidad del agua, los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos para la formulación y el diseño de un sistema de potabilización veredal. En primera instancia se idéntico la cantidad de agua que posee la quebrada de la vereda en medición de caudal como litros por segundo en donde se presenta una tabla la cual señala los caudales que se tomaron en la quebrada a lo largo del proyecto, el color azul señala los caudales en época de invierno y el color naranja señala los caudales en época de verano.

Tabla 14. Caudales de la Quebrada Grande

Caudales tomados en Quebrada Grande					
Fecha	14 de octubre de 2017	18 de marzo de 2018	5 de enero de 2018	12 de enero de 2018	
Medicion	32,13	13,88	2,53	2,21	2,26
	36,45	13,28	2,55	2,36	2,5
	32,73	13,59	1,99	2,24	3,06
	33,09	13,61	2,01	2,16	2,77
	34,38	13,28	2,35	2,17	3,07
	34,14	13,55	2,48	2,01	2,57
	32,28	13,15	2,43	2,52	2,81
	36,19	13,1	2,32	1,87	2,69
	36,16	13,58	2,57	1,56	2,68
	35,17	13,96	2,4	1,96	2,36
				2,106	2,677
Promedio (L/s)	34,27	13,50	2,36	2,39	
Caudal	0,292	0,741	4,232	4,181	
Promedio del caudal según epoca del año (L/s)	Verano	0,516	Invierno	4,207	

Teniendo en cuenta la anterior tabla se puede identificar que el caudal en época de invierno aumenta aproximadamente 8 veces más comparado con el caudal en época de verano lo cual le dificulta a la población tener un continuo abastecimiento de agua. Siguiendo con el aporte de (Occidente, 2009), el bosque seco tropical es una formación vegetal que se desarrolla en regiones tropicales de piso cálido, donde anualmente las lluvias se concentran en uno o dos períodos cortos —mayo a junio y octubre a noviembre—, mientras que durante el resto del año prevalecen condiciones de sequía. De esta manera, en el diagrama de las zonas de vida de Holdridge, el bosque seco tropical ocupa un ámbito enmarcado por promedios de temperatura superiores a 24 ºC, precipitación total anual entre 800 y 2.000 mm. Debido a que la vereda está situada en el bosque seco tropical la distribución de las lluvias a lo largo del año puede ser muy irregular, por lo que la falta de agua es un factor crítico en épocas de precipitaciones muy escasas; por esta razón, las lluvias en época de verano disminuyen ocasionando una disminución en el volumen y cantidad del agua que transporta la quebrada lo que genera que su caudal tenga tantas variaciones. En el anexo 7 se identifica el muestreo del caudal.

En segunda instancia, se tomaron las muestras de agua para el análisis de los factores fisicoquímicos y microbiológicos los cuales ayudaron a identificar la calidad del agua de la quebrada con respecto a la Resolución 2115 de 2007. La siguiente tabla identifica los niveles máximos permisibles para los análisis fisicoquímicos.

Tabla 15. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros fisicoquímicos según la normativa

Características	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Turbidez	2 unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)
Acidez	50 - 60 mg/L
Alcalinidad	200 mg/L
Conductividad	1000 (µS/cm)
Dureza total	300 mg/L de $CaCO_3$
Solidos totales disueltos	500 mg/L

Fuente: (SOCIAL M. D., 2007)

En la siguiente tabla, se identificaron los primeros análisis fisicoquímicos que se le realizaron al agua de la quebrada por medio del equipo multiparámetro HANNA. En el anexo 8 se identifican los equipos HANNA que se utilizaron para los análisis básicos

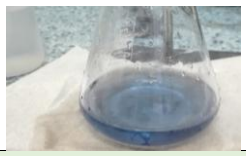
Tabla 16. Análisis fisicoquímico con equipo HANNA

Análisis de la muestra de agua con equipo HANNA HI 9829 en el laboratorio				
Oxígeno disuelto (% o mg/L)	**Conductividad (µS/cm)**	**Solidos disueltos totales (Ppm)**	**Temperatura (°C)**	**pH**
15,5% --> 1,15 mg/L	623	212	10	8,08
Análisis con equipo HANNA HI 98129				
Tipo de muestra	**Conductividad (µS/cm)**	**Solidos disueltos totales (Ppm)**	**Temperatura (°C)**	**pH**
Agua potable	117	59	25,8	7,7
Muestra 1	373	186	25,9	8,6
Muestra 2	471	235	22,4	8,1
Muestra 3	464	232	22,1	8,46
Muestra 4	454	226	22,1	8,56
Promedio	**440,5**	**219,75**	**23,13**	**8,43**
Promedio entre los dos equipos	**531,75**	**215,88**	**16,56**	**8,26**

El total de los gases concentrados en el agua no debería exceder el 110 por ciento. Las concentraciones sobre este nivel pueden ser peligrosas para la vida acuática. Los peces en agua que contiene excesivos gases disueltos podrían sufrir "la enfermedad de la burbuja de gas", sin embargo, esto es de muy rara ocurrencia. Las burbujas o el bloqueo de embolo que sufre el flujo de la sangre a través de los vasos sanguíneos causan la muerte. Un adecuado nivel de oxígeno disuelto es necesario para una buena calidad del agua. El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida. Los torrentes naturales para los procesos de purificación requieren unos adecuados niveles de oxígeno para proveer para las formas de vida aeróbicas. El oxígeno disuelto es absolutamente esencial para la supervivencia de todos los organismos y algunos microorganismos acuáticos. Además, el oxígeno afecta a un vasto número de indicadores, no solo bioquímicos, también estéticos como el olor, claridad del agua, y sabor. Consecuentemente, el oxígeno es quizás el más estabilizado de los indicadores de calidad de agua. En el caso de Quebrada Grande, el agua cuenta con un 15% de oxígeno disuelto en donde se identifica que su calidad es óptima, además permite que exista y se mantenga la vida acuática en la quebrada, lo cual facilita su tratamiento.

A continuación, se identificaron los análisis fisicoquímicos tomados en el laboratorio por medio de algunas técnicas de titulación con método de duplicado en cada análisis, en donde en el anexo 9 se encuentran las técnicas de forma específica entre los reactivos y los materiales que se usaron.

Tabla 17. Análisis fisicoquímico de las muestras de agua en el laboratorio

Tipo de análisis	Dureza total (mg CaCO3 /L)	Alcalinidad (mg/L)	Acidez (mg/L)
Resultado 1	600,55	170	60
Resultado 2	480,44	110	50
Imagen			
Promedio	**540,49 mg/L**	**140 mg/L**	**55 mg/L**

Turbiedad (UNT)	Muestra 1	0,736	
	Muestra 2	0,664	

	Muestra 3	0,65	
	Muestra 4	0,614	
	Muestra 5	0,517	
Promedio	**0,64 UNT**		

Se debe tener en cuenta que en los análisis fisicoquímicos se utilizaron los indicadores denominados como ácido o base débil. Si un indicador se añade a una muestra, generalmente una disolución, sobre la que se desea realizar el análisis, se produce un cambio químico en el que es apreciable, generalmente, un cambio de color en el indicador. Este cambio ocurre porque estas sustancias sin ionizar tienen un color distinto al que tienen cuando están ionizadas. Desde un punto de vista molecular los Indicadores son colorantes con una estructura relativamente compleja cuyo color cambia según estén en presencia de un medio ácido o un medio básico. La variación de color se denomina viraje. El indicador puede alterar su estructura debido a cambios en el pH (si el medio es lo suficientemente básico podría perder un protón y por tanto al modificarse su estructura química cambiaría su color). Los indicadores se suelen usar en química analítica para llevar a cabo valoraciones ácido-base. Este cambio en el indicador se produce debido a que durante el análisis se lleva a cabo un cambio en las condiciones de la muestra e indica el punto final de la valoración. El funcionamiento y la razón de este cambio varían mucho según el tipo de valoración y el indicador. El indicador más usado es el Indicador de pH que detecta el cambio del pH (por ejemplo, la fenolftaleína y el azul de metileno) (Pari, 2015).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se identifica como ejemplo el análisis de dureza, en el cual, mediante una titulación directa de un metal con EDTA y usando indicadores metalocrómicos (NET, Murexida) como indicadores, se verifican los siguientes hechos: inicialmente, la mayor parte del metal está presente en forma "libre" y sólo una pequeña porción está combinada con el indicador añadido, produciéndose una determinada coloración; al agregar EDTA, se combina progresivamente con el ión metálico libre. El negro de eriocromo T (N.E.T.) muestra virajes de color en base a cambios de pH teniendo en cuenta un pH entre 7 y 11, de esta manera, el indicador adopta el color azul. Los complejos metal-indicador son de color rojo, impartiendo a la solución un tono rojizo antes de iniciarse la titulación. En el punto de equivalencia, al destruirse el complejo metal-indicador, el color de solución vira del rojo al azul (Negro, 2013). En el anexo 12, se identifican los virajes según el reactivo que se utilizó para cada una de las pruebas.

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los resultados de las muestras de agua y los valores máximos permitidos por la Resolución 2115 de 2007

Tabla 18. Comparación entre normativa y muestras analizadas

Datos	pH	Turbiedad (UNT)	Acidez (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	Conductividad (µS/cm)	Dureza total (mg/L)	Solidos totales disueltos (mg/L)
Normativa	6,5 – 9,0	2	60	200	1000	300	500
Muestra	**8,26**	**0,64**	**55**	**140**	**531**	**540**	**215,88**

Teniendo en cuenta los resultados mostrados de los análisis realizados a las muestras de agua que se mencionan en la tabla 18, se identificó que el agua de la vereda no supera los valores máximos permitidos por la norma Colombiana, y se identifica que cada uno de ellos cumple con una función a la hora de potabilizar el agua. El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua (Cárdenas, 2000). La turbiedad del agua es entendida como los componentes suspendidos en el agua como material orgánico, material inorgánico, algas, y partículas muy finamente divididas, en donde la

razón de estas especificaciones es que los compuestos responsables por la turbidez van a interferir con el tratamiento de cloración (Etienne, 2009). La acidez se refiere a su capacidad para reaccionar con una base fuerte hasta un determinado valor de PH. Al obtener su medida, se permite cuantificar las sustancias acidas presentes en un cuerpo de agua con el fin de neutralizar y adecuar el agua para su potabilización (Riascos, Méndez, & Rojas, 2014).

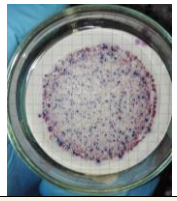
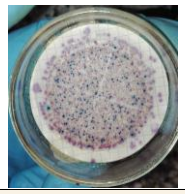
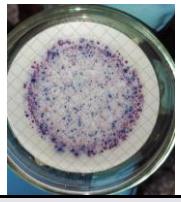
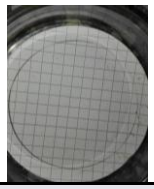
Siguiendo con los resultados fisicoquímicos, la alcalinidad no sólo representa el principal sistema amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis, además, la importancia de la alcalinidad es significativa en los fenómenos de coagulación y ablandamiento, así como en la prevención de la corrosión y da un índice de la resistencia del agua a bajar su pH cuando se le añade ácido (Avilla, 2018). La conductividad, es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas dulces; cada cuerpo de agua tiene un rango relativamente constante de conductividad, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales y algunos cambios significativos pueden ser indicadores de eventos puntuales de contaminación (MAPSA, 2007). Los sólidos totales disueltos miden específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 µm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor, por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable (Livingstone, 1963). Actualmente, en el mundo existen una serie de clasificaciones del agua respecto a su contenido de dureza, siendo una de las más utilizadas la de la Organización Mundial de la Salud (OMS) esquematizada como: CaCo3 (mg/L) de 0-60 agua blanda, de 61-120 moderadamente dura, de 121-180 dura y superior a 180 el agua se considera muy dura (GUTIÉRREZ, 2006).

Según la tabla 18, el agua de la quebrada se identifica como muy dura debido a que supera los límites permisibles con un valor de 540 mg/L. Se entiende por dureza total la suma de las durezas individuales debidas a los iones de calcio, magnesio, estroncio y bario en forma de carbonato o bicarbonato. De esta manera, al potabilizar se debe recurrir al proceso de ablandamiento el cual puede ser selectivo en cuanto a la remoción de dureza de calcio y magnesio (el agua que contiene magnesio en bajas concentraciones puede ser tratada con cal para remover el carbonato de calcio que se forma, (un exceso de cal es suficiente para remover el magnesio). Actualmente, no se han identificado problemas de salud para los usuarios, pero como ejemplo de un efecto que posee la dureza en el agua se observa en el quehacer doméstico, se manifiesta sobre la acción de los jabones, debido a que el agua es dura se gasta el jabón impidiendo la formación de espuma y produce un sólido grumoso indeseable, el cual no presenta ninguna utilidad. (GUTIÉRREZ, 2006).

Luego de analizar los parámetros fisicoquímicos, se determinaron las condiciones microbiológicas en las que se encuentra el agua que abastece a la vereda, en donde por medio de la técnica de filtración por membrana se analizó si en las muestras de agua (las cuales se realizaron por duplicado) se encontraban coliformes totales y E. coli; con base a esto, se utilizó el medio de cultivo agar Chromocult y EMB. En el anexo 10 se identifican las imágenes bien detalladas de los medios de cultivo y el método de filtración por membrana.

Tabla 19. Análisis microbiológico de las muestras de agua

Análisis microbiológico de las muestras de agua de Quebrada Grande				
Medio de cultivo	**Bocatoma**			
	Muestra 1	Muestra 2	Microorganismos encontrados	Cantidad

			• *E. coli* • **Coliformes totales**: *Citrobacter freundi, Enterobacter aerogenes, Klebsiella pneumoniae y Pseudomonas aeruginosa*	**Muestra 1 y 2** *E. coli*: >100 Coliformes totales: >100
Agar Chromocult	**Quebrada**			
	Muestra 1	Muestra 2	Microorganismos encontrados	Cantidad
			• *E. coli* • **Coliformes totales**: *Citrobacter freundi, Enterobacter aerogenes, Klebsiella pneumoniae y Pseudomonas aeruginosa*	**Muestra 1** *E. coli*: >100 Coliformes totales: >100 **Muestra 2** No se encontró
	Bocatoma			
	Muestra 1	Muestra 2	Microorganismos encontrados	Cantidad
			• Colonias lactosa positiva • Colonias negativas en lactosa o sacarosa • Medio contaminado	
Agar EMB	**Quebrada**			
	Muestra 1	Muestra 2	Microorganismos encontrados	Cantidad
			• Colonias lactosa positiva • Colonias negativas en lactosa o sacarosa	

En la tabla 19 en el agar Chromocult, se identificó el crecimiento de unidades formadoras de colonias positivas para coliformes fecales durante el estudio en cada uno de los puntos de muestreo. El agar para coliformes Chromocult es un medio de cultivo cromógeno diferencial para el análisis microbiológico de muestras de agua. En un plazo de 24 horas este medio permite la detección, la diferenciación y la enumeración simultáneas de *E. coli* y bacterias coliformes del agua potable y no potable. El recuento de coliformes se basa en la capacidad de la ß-D-galactosidasa, una enzima que es característica de las bacterias coliformes, para escindir el sustrato Salmon-GAL. La reacción produce colonias de coliformes de color rojo asalmonado. El recuento de *E. coli* se basa en la escisión de los sustratos X-glucurónido por la ß-D-glucuronidasa y Salmon-GAL por la ß-D-galactosidasa, una combinación enzimática que es característica de *E. coli*. Cuando hay *E. coli* presente se escinden los dos sustratos, lo que da lugar a colonias que adquieren un color entre azul oscuro y violeta en oposición al rojo asalmonado de otras colonias de bacterias coliformes. Las bacterias no coliformes aparecen como colonias incoloras o, con baja frecuencia, de color turquesa (Millipore, 2014). A continuación, se muestran los microorganismos presentes en las muestras de agua tomados con el agar Chromocult.

Tabla 20. Tipos de microorganismos presentes en la muestra de agua de la quebrada

Microorganismo	**UFC/placa**	**Color de la colonia**
E. coli	**>100**	Azul oscuro a violeta
Coliformes totales	**200**	**De salmón a rojo**
Citrobacter freundii		De salmón a rojo

Klebsiella pneumoniae		De salmón a rojo
Enterobacter aerogenes		De salmón a rojo
Pseudomonas aeruginosa	**>100**	Incolora

Es indispensable entender que la contaminación fecal del agua potable puede incorporar una variedad de organismos patógenos, intestinales-bacterianos, virales y parasitarios cuya presencia está relacionada con enfermedades y portadores de tipo microbiano presentes en el agua. Al emplear el agar específico para coliformes (Chromocult) se detectó la presencia positiva de estas bacterias –Gram negativas– que fermentan la lactosa a temperatura de 37ºC, produciendo ácido y gas (CO2) en un lapso de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la Bgalactosidasa (O, Beltrán, & Giraldo, 2010). Con base a lo anterior, el grupo de bacterias coliformes ha sido siempre el principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua; el número de coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y, por lo tanto, de calidad sanitaria de la misma. Los coliformes son bacilos Gram (-), aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa con formación de gas cuando se incuban 48 horas a 35 ºC. Incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y especies lactosa positivas de otros géneros. En la práctica, los organismos coliformes son siempre miembros del grupo de las bacterias entéricas. Estas bacterias son adecuadas como indicadores porque son habitantes comunes del tracto intestinal, tanto de las personas como de los animales de sangre caliente, donde están presentes en grandes cantidades. También interesa la determinación de coliformes fecales que representan la fracción de coliformes presentes en intestinos y materias fecales del hombre o animales de sangre caliente (coliformes termotolerantes). Esto proporciona información importante sobre la fuente y el tipo de contaminación presente (Agua, 2007).

En cuanto al agar EMB, se identificó que las muestras de agua poseen los siguientes microorganismos

Tabla 21. Microorganismos presentes en el agua por medio de agar EMB

MICROORGANISMO	UFC/placa	RESULTADO
Escherichia coli	**>100**	Colonias azules a moradas, con brillo metálico azul
Enterococcus faecalis	**>100**	Inhibición parcial
Staphylococcus aureus	**>100**	Crecimiento parcialmente inhibido o colonias puntiformes
Candida albicans	**60**	Colonias plumosas, rosa pálido atípicas

Teniendo en cuenta la tabla 21, el agar EMB es una combinación del medio de Levine y el de Holt-Harris y Teague, contiene una mezcla de peptonas según Levine y presenta dos carbohidratos lactosa y sacarosa. Este medio de cultivo permite una diferenciación muy clara entre las colonias de organismos fermentadores de lactosa y aquellos que no la fermentan; el contenido de eosina y azul de metileno inhiben en cierto grado organismos Gram positivos. La presencia de sacarosa permite para algunos miembros del grupo coliforme, fermentarla con más facilidad que la lactosa. Las colonias lactosa positiva son azules a moradas con brillo metálico o poseen centros oscuros con periferias transparentes incoloras y las que son negativas en lactosa o sacarosa, se observan incoloras o rosa pálido transparentes (DIBICO, 2017). De lo anterior, se identificó que las muestras por duplicado que se tomaron en la quebrada arrojaron como resultado colonias de color rosadas, moradas y verdes y, se encuentran de manera puntiforme y extendida; por otro lado, en las muestras que corresponden a la bocatoma del acueducto una de ellas arrojó el mismo resultado que se mencionó anteriormente y los resultados de la segunda muestra no se toman en cuenta puesto que el medio de cultivo fue contaminado por el medio en que se realizó la prueba.

De esta manera, se identifica que en su mayoría son bacterias entéricas, provenientes del tracto gastrointestinal de animales y humanos, denominadas bacterias fecales, cuya capacidad de

sobrevivir y reproducirse en el agua es restringida dado el estrés fisiológico que presenta el medio acuoso. Dentro de las bacterias establecidas como contaminantes del agua se han aislado Gram negativas, especialmente pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, entre otras. Además de estos grupos de bacterias, se identifican otros géneros como *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, y *Citrobacter*; estos cuatro últimos se encuentran en grandes cantidades en fuentes de agua, vegetación y suelos, por lo que no están asociados necesariamente con contaminación fecal y no plantean ni representan necesariamente un riesgo evidente para la salud. Sin embargo, especies de géneros *Enterobacter* y *Klebsiella* colonizan superficies interiores de las tuberías de agua y tanques de almacenamiento, que forman biopelículas en presencia de nutrientes, temperaturas cálidas, bajas concentraciones de desinfectantes y tiempos largos de almacenamiento. Existen otros géneros de bacterias en donde se identifica que, aunque las bacterias gram positivas no son muy comunes en fuentes de agua, algunos géneros representan a este grupo: *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Enterococcus faecalis*, estas bacterias afectan a los humanos, habitando en su intestino, por lo que también se considera indicador de contaminación fecal (Ríos-Tobón, Agudelo-Cadavid, & Gutiérrez-Builes, 2017).

Tabla 22. Niveles máximos permisibles en el agua en parámetros microbiológicos según la normativa

Técnica utilizada	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm^3	0 UFC/100 cm^3

Se encontró que existe contaminación fecal, ya que el indicador de contaminación (*Escherichia coli*) fue uno de los microorganismos de mayor crecimiento en el estudio, además de las diferentes bacterias patógenas encontradas. Se observaron varios factores que pudieron propiciar la aparición de los microorganismos no deseables en el agua, debido a que la población ubica diferentes animales en el cauce y alrededor de la quebrada. Por otro lado, se identificó que la población posee un acceso directo a la quebrada y en algunos casos hacen sus necesidades corporales en ella mientras que en otros casos hacen sus necesidades a los alrededores y por escorrentía terminan en el cauce de la quebrada.
De esta manera, la tabla 22 identifica los niveles máximos permisibles para los análisis microbiológicos. Al realizar una comparación entre los resultados de las muestras de agua y entre los niveles máximos permisibles, se identificó que los niveles de *E.coli* y coliformes totales superan los valores establecidos por el la RESOLUCION 2115 del 2007 de tal manera que el agua de la quebrada no es apta para el consumo de la población y puede generar problemas a la salud por su consumo. Finalmente, en el anexo 11 se identifica la toma de muestras de agua para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se resolvieron anteriormente.

7.3.Tercer objetivo específico, análisis y resultados

En el tercer objetivo específico, que corresponde a diseñar cada uno de los componentes requeridos de la planta para llevar a cabo la potabilización del acueducto haciendo uso o modificando las estructuras existentes del mismo.

Según el Ras-2000 se debe asignar un nivel de complejidad al sistema dependiendo del número de habitantes en la zona afectada y su capacidad económica. En el caso de la vereda Copo se define el sistema como nivel de complejidad debido al bajo número de habitantes y de usuarios al proyecto y su capacidad económica.

Tabla 23. Demanda de agua por población

Variables	Resultado, análisis y discusión
Periodo de	El proyecto se diseña para unos 20 años los cuales corresponden a un nivel de

<table>
<tr><td>diseño</td><td>complejidad bajo ya que la población de la vereda es inferior a 2500 habitantes y los componentes del acueducto corresponden a tanques de almacenamiento además de captaciones con tubería de aducción y conducción para el sistema de potabilización (RAS001, 2002).</td></tr>
<tr><td>Estimación de la población</td><td>La población que va a ser usuaria y beneficiaria del proyecto se ha obtenido por medio de la alcaldía de Tocaima, la cual de forma amable suministro la información en donde indica que según el estudio realizado por el Sisben para el año 2017 la población corresponde a 392 habitantes en el sector rural de la vereda Copo.</td></tr>
<tr><td>Consumo de agua de la población</td><td>Actualmente el total de la población consume 0,61 L/s (0,0006 m^3 /s) en donde al día se consume 52704 L/día (52,704 m^3 /día). De esta manera, se determinó el consumo de agua de cada usuario por día teniendo en cuenta que son 389 usuarios de acueducto lo cual dio como resultado en total 135,5 L/día*hab (0,135 m^3 /día*hab). Luego, se determinó el consumo mensual de cada usuario dando como resultado 3780 L/mes*hab (3,78 m^3 /día*hab). Finalmente, se determinó el consumo mensual de toda la población el cual fue de 1’470.420 L/mes (1470,42 m^3 /mes).</td></tr>
<tr><td>Tasa de crecimiento anual</td><td>Teniendo en cuenta la información brindada por el DANE, la población del municipio de Tocaima para el año 1995 correspondía a 16.207 habitantes y para el año 2005 correspondió a 16.783 habitantes. Con base a esto, la tasa de crecimiento corresponde a 0,0034 o 0,34% anual.</td></tr>
<tr><td>Población futura</td><td>La proyección de la población se hace por el método geométrico, por medio de este método se identifica que la zona posee importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades, así, aplicando la formula recomendada por el Ras-2000 en su capítulo 2.4.3.4; para este proyecto se asumió un crecimiento anual de 0,34% anual, tomado de los datos históricos de la población de la región (Population.City, 2015).
<table>
<tr><th colspan="2">Cuadro resumen de población</th></tr>
<tr><td>Población actual (año 2017)</td><td>392 hab</td></tr>
<tr><td>Población futura (año 2037)</td><td>420 hab</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Dotación neta</td><td><u>Dotación neta por habitante:</u> Teniendo en cuenta que la vereda Copo se encuentra en un nivel de complejidad bajo, la dotación por suscriptor corresponde a 90 L/hab*mes debido a que esta zona corresponde a clima templado puesto que se encuentra a un nivel mayor de 1000 msnm. para el cálculo de la demanda de agua, la cual corresponde a la proyección de la población, la dotación neta por habitante es función del nivel de complejidad del sistema y sus valores máximos se deben establecer con la tabla 5 (Ministerio de Vivienda, s.f.).</td></tr>
<tr><td>Dotación neta según el uso del agua</td><td><u>Uso rural:</u> En aquellos casos en que el sistema de acueducto de una cabecera municipal incluya el abastecimiento de agua potable a centros poblados rurales cercanos, el consultor o la persona prestadora del servicio deben utilizar los datos del censo rural para dichos centros con el fin de estimar los consumos futuros del agua potable (Ministerio de Vivienda, s.f.).</td></tr>
<tr><td>Dotación bruta</td><td>De acuerdo con la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, en el caso del proyecto da como resultado 96,77 L/hab*día.</td></tr>
<tr><td>Demanda de agua por población</td><td>Los siguientes caudales se tomaron en cuenta con la población para el 2032 que corresponde a 412,5 habitantes según los parámetros establecidos por (Ministerio de Vivienda, s.f.).</td></tr>
</table>

2032	**Caudal medio diario:** 0,47 L/s ($4,7x10^{-4}$) **Caudal máximo diario:** 0,61 L/s ($6,1x10^{-4}$) **Caudal máximo horario:** 0,98 L/s ($9,78x10^{-4}$)

En la tabla 23 se identificaron los valores necesarios para comenzar a diseñar el sistema de potabilización. De esta manera, se inició con el diseño de la bocatoma y tubería de aducción en donde el termino genérico utilizado para las obras de captación, derivación o toma en ríos es "Bocatoma". Por medio de esta estructura, se puede derivar el caudal de diseño que, por lo general, corresponde al caudal máximo diario. Las obras de captación deben localizarse en zonas donde el suelo sea estable y resistente a la erosión, procurando que la captación se haga en un sector recto del cauce.
A continuación, se muestra el resultado correspondiente a la bocatoma:

Tabla 24. Diseño de la bocatoma y tubería de aducción

Variables	Resultado, análisis y discusión
Tipo de Captación	El tipo de captación que se empleó para el proyecto, correspondió a una captación de toma lateral la cual según (Lopez, 1995) se utiliza en ríos relativamente pequeños o quebradas, en donde la profundidad del cauce no es muy grande. En este tipo de captación la estructura se debe ubicar en la orilla y a una altura conveniente sobre el fondo, teniendo en cuenta que el nivel de aguas mínimo en épocas de estiaje debe permitir captar el caudal de diseño.
Caudal de diseño	Para un sistema por gravedad se debe considerar el **caudal máximo diario** como caudal de diseño para la población de diseño. La demanda máxima diaria corresponde a la demanda máxima estimada en un lapso de 24 horas durante un periodo de análisis de un año, esto se origina en el hecho de que los hábitos de consumo de agua de la población no son los mismos todos los días de la semana ni todos los días del año. De esta manera, el caudal de diseño se implementó por medio del caudal máximo diario dando como resultado: 0,00061 m^3 /s (RAS001, 2002).
Bocatoma	Las obras de toma o bocatomas son las estructuras hidráulicas construidas sobre un río o canal con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal. Las bocatomas suelen caracterizarse principalmente por el Caudal de Captación, el que se define como el gasto máximo que una obra de toma puede admitir (Felices, 2003). La bocatoma se encuentra situada a 1093msnm en dirección a la quebrada, es decir, se encuentra de forma lateral a la quebrada permitiendo que el flujo del agua entre a la captación y fluya a través de una tubería hacia los demás tanques correspondientes al sistema. Esta estructura cuenta con una profundidad de 1m y a un costado de la estructura se encuentra una rejilla que permite que, si el agua sobre pasa el nivel máximo del tanque, esta pueda devolverse a la fuente de donde proviene, es decir la quebrada. Por otro lado, se identificó que la longitud del tanque es de 2,06m y su base es de 1m, además, cuenta con 1m de profundidad desde la superficie junto con 0,46m sobre la superficie dando un total de 1,46m.
Rejilla	La rejilla correspondió a una reja con varillas redondas de 1'' de diámetro y de 0,005m de separación entre cada una de las varillas con el objetivo de retener material sólido grande; para su facilidad de limpieza se dará a la reja una inclinación de 75° con la horizontal. El tamaño de la rejilla correspondió a 0,8m de largo y 0,5m de alto en donde según (Muñoz, 1997) las medidas mínimas de las rejillas son 0,4m de largo por 0,7m de ancho.

Tubería de aducción	La aducción corresponde al transporte de agua cruda desde la cuenca y a través de la bocatoma hasta el tanque desarenador por tubería, canal o túnel. Las alternativas para la aducción pueden ser abiertas o cerradas a presión o gravedad; y para las conducciones, las cuales deben ser cerradas también pueden ser a presión o gravedad. La incidencia ambiental está relacionada por una parte con la calidad del agua que se transporta, (Cortolima, s.f.). En la tubería de aducción se tiene en cuenta un tubo de 1'' colocado a 20cm por debajo de la superficie libre; esto se debe a que el caudal de diseño es pequeño y una tubería de una pulgada es suficiente para transportar el flujo del agua correctamente, de esta manera, 20cm es la profundidad adecuada para que el agua fluya a través de la tubería desde la bocatoma hacia el tanque desarenador y los sedimentos queden sumergidos en el piso del tanque. Finalmente, la tubería de aducción se considera cerrada la cual distribuye el agua por presión.

Fuente. Alejandra Rueda

Figura 7. Vista en planta de la bocatoma

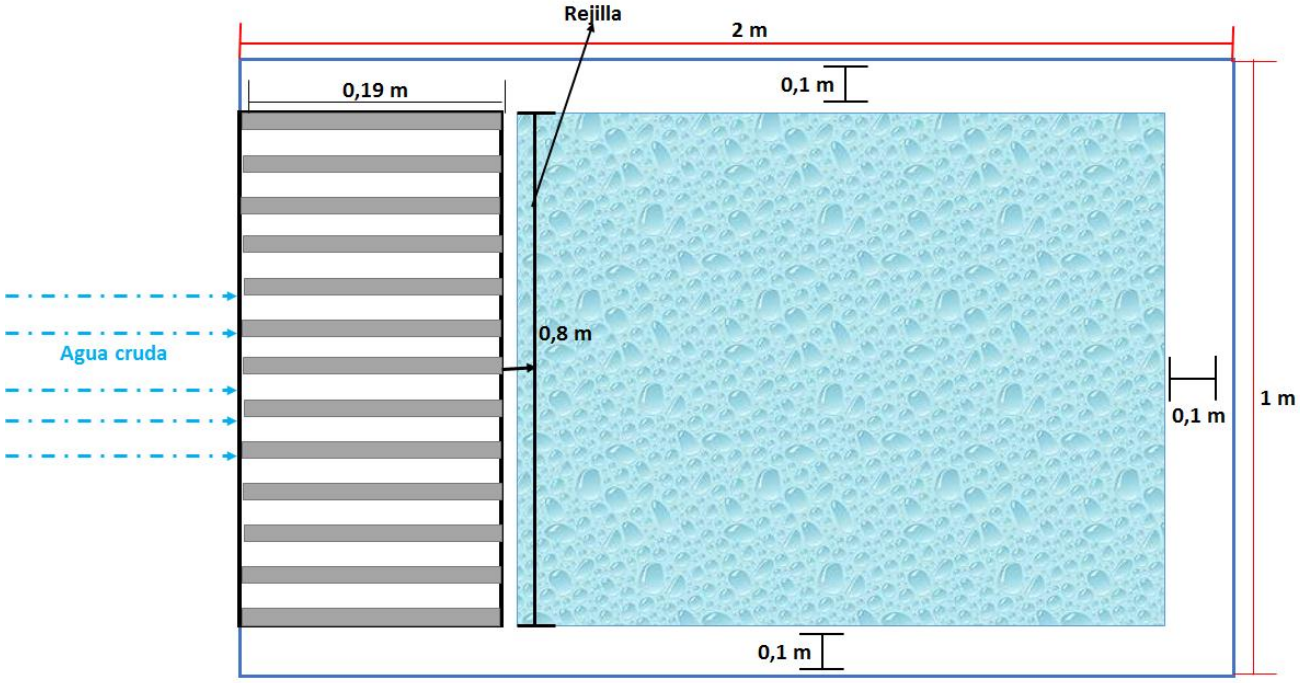


Figura 8. Vista lateral de la bocatoma

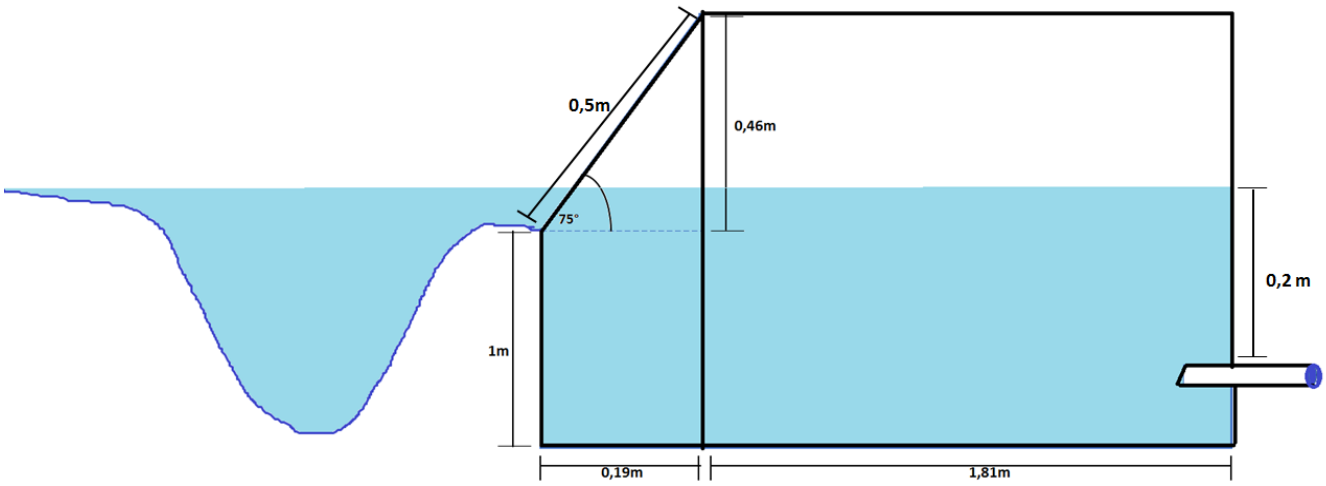


Figura 9. Vista de la bocatoma

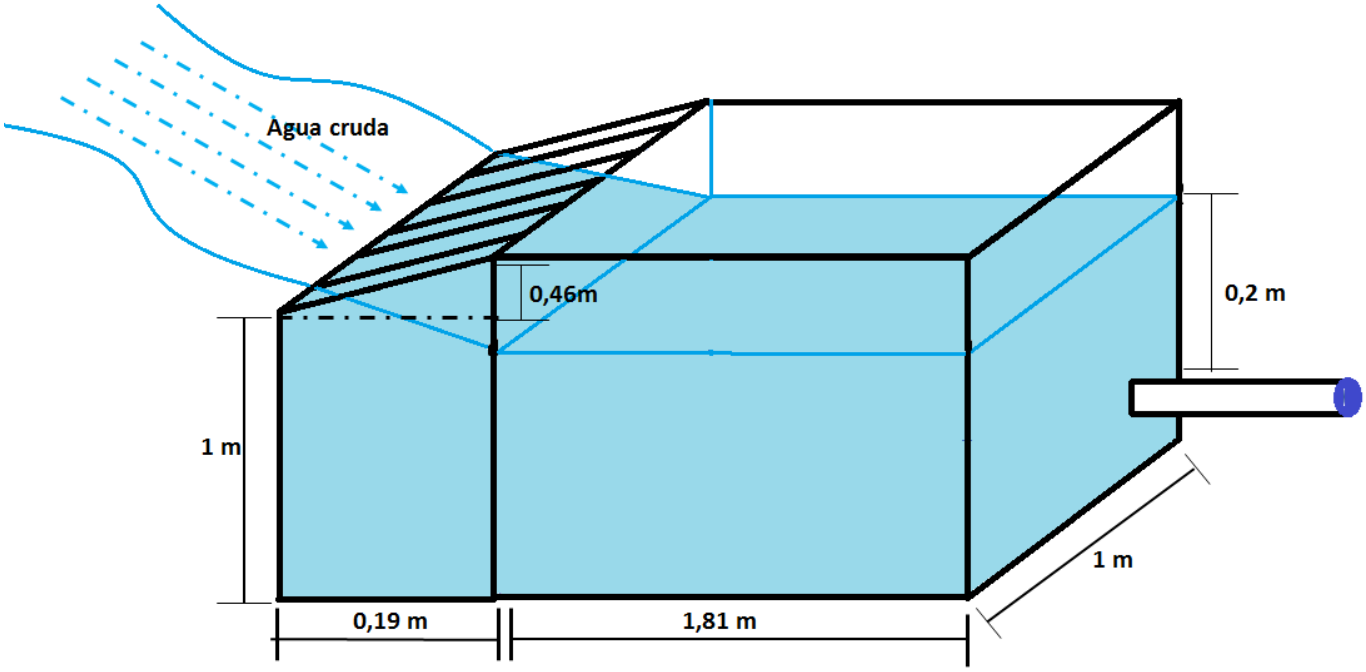


Figura 10. Vista de la rejilla

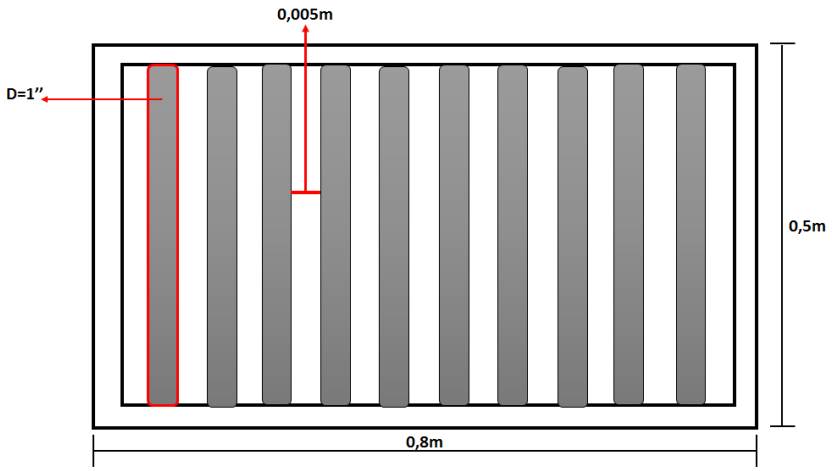
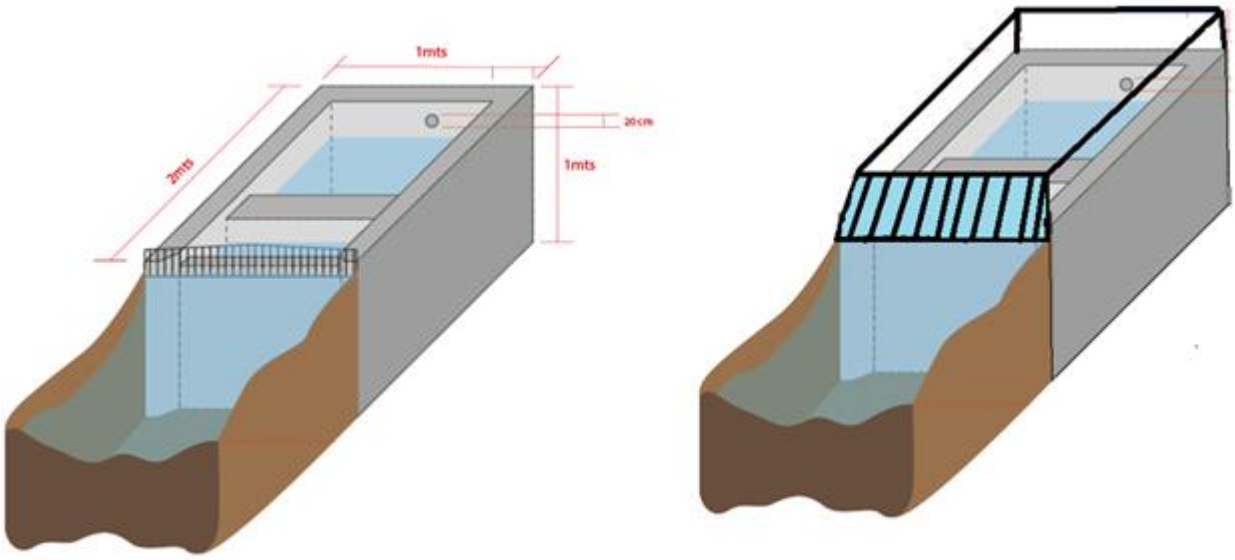


Figura 11. Perspectiva de la bocatoma



Por otro lado, un desarenador convencional es un tanque construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión por la acción de la gravedad. Este elemento constituye un tratamiento primario, pero en algunos casos es necesario realizar un tratamiento convencional de purificación de aguas. El desarenador debe situarse lo más cerca posible de la bocatoma, con el fin de evitar problemas de obstrucción en la línea de aducción (Lopez, 1995).

Tabla 25. Diseño del tanque desarenador y tubería de conducción

Variables	Resultado, análisis y discusión
Velocidad de sedimentación de la partícula	Para determinar el área superficial del tanque primero se debe saber el diámetro del material en suspensión que es transportado por el agua, el cual es básicamente arcilla, arena o grava fina. En el caso de Quebrada Grande el material corresponde a la arcilla donde el tamaño de la partícula correspondió a 0,001mm o $1x10^{-6}$m lo cual indica que es una arcilla fina (Lopez, 1995). De esta manera, la velocidad de sedimentación según el tamaño de las partículas de arcilla correspondió 8,36x10-6, de esto se entiende que, las partícula discretas y esféricas se encuentra sometidas a la acción gravitatoria, por lo que estarán solicitadas por una fuerza que les imprimirán un movimiento vertical uniformemente acelerado permitiendo que dichas partículas queden suspendidas en el fondo del tanque impidiendo su paso a el siguiente proceso (Farrás, 2005).
Área superficial	En primera instancia se determinó la carga superficial del tanque la cual debe encontrarse entre 15 y 75m/días. Al tener conocimiento del valor mínimo y el valor máximo que puede tener la carga superficial del tanque se procedió a determinar la carga superficial en donde el valor que se toma como caudal de diseño corresponde al QMD. Por medio de este dato, se determinó el área superficial del tanque que dio como resultado 1,32m^2 y luego se determinaron las dimensiones del tanque teniendo en cuenta el caudal de la quebrada y el área: B: equivale a la base del tanque que correspondió a 0,66m aproximado a 1m L: equivale al largo del tanque que correspondió a 1,98 aproximado a 2m H: equivale a la altura del tanque; para determinar este dato primero se debía evaluar el tiempo en llenado del tanque el cual se debe encontrar entre 2 a 4 horas, y la profundidad se encuentra en el rango de entre 1,5 a 4,5m, así, se determinó que la altura apropiada del tanque correspondía a 3,5m (Lopez, 1995). Con el fin de limpiar el tanque de los lodos que quedan sumergidos en él, se

	debe colocar un tubo externo al tanque para facilitar su limpieza y colocar una tapa para impedir que el agua del tanque se filtre por este espacio.
División interna del desarenador	**Zona 1** cámara de aquietamiento. Debido a la ampliación de la sección, se disipa el exceso de energía que velocidad en la tubería de llegada. El paso del agua la zona siguiente se puede hacer por medio de un canal de repartición con orificios sumergidos. Lateralmente se encuentra un vertedero excesos que lleva el caudal sobrante de nuevo al río mediante una tubería que se une con la del lavabo. En esta misma zona se encuentra la entrada al desarenador. Constituida entre la cámara de aquietamiento y una cortina, la cual obliga las líneas de flujo a descender con rapidez, de manera que se sedimente El material más grueso inicialmente. **Zona 2** zona de sedimentación. Es la zona en donde se sedimentan las partículas restantes y en dónde se cumple en rigor con las leyes de sedimentación. **Zona 3** almacenamiento de lodos. Comprende el volumen entre la cota de profundidad útil entre la zona 3 y el fondo del tanque. El tanque tiene pendientes longitudinales y transversales hacia la tubería de lavabo. **Zona 4** salida del desarenador. Constituida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección (Lopez, 1995).
Tubería de conducción	Se entiende por línea de conducción al tramo de tubería que transporta agua desde la captación hasta la planta potabilizadora, o bien hasta el tanque de regulación, dependiendo de la configuración del sistema de agua potable. Una línea de conducción debe seguir, en lo posible, el perfil del terreno y debe ubicarse de manera que pueda inspeccionarse fácilmente. Esta puede diseñarse para trabajar por gravedad o bombeo (Felices, 2003). En el caso de la tubería de conducción que manejo el proyecto, el diámetro de la misma correspondió a 1”.

Fuente. Alejandra Rueda

Figura 12. Vista en planta del tanque desarenador

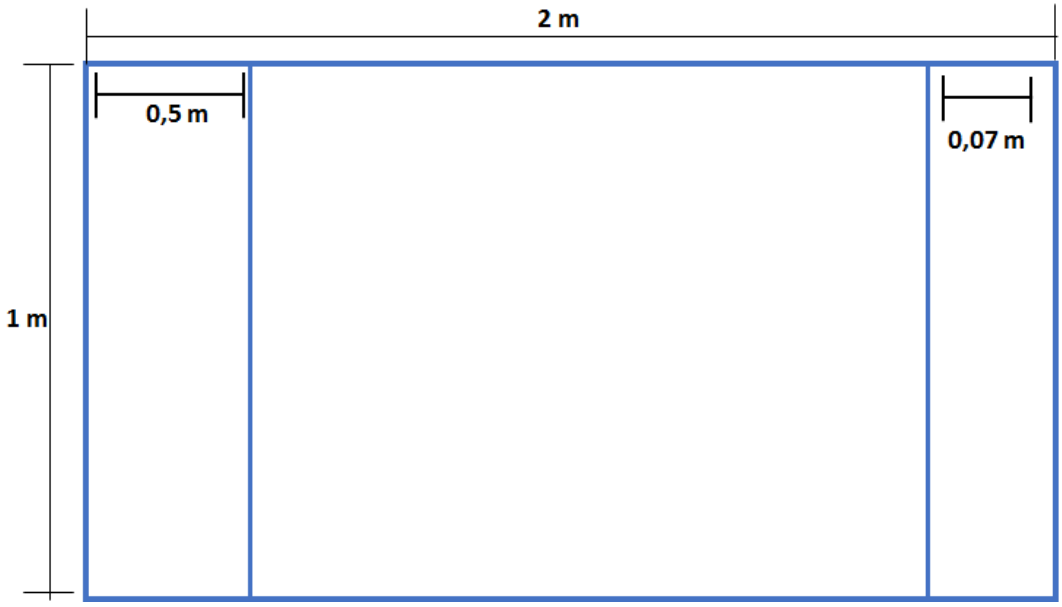


Figura 13. Vista lateral del tanque desarenador

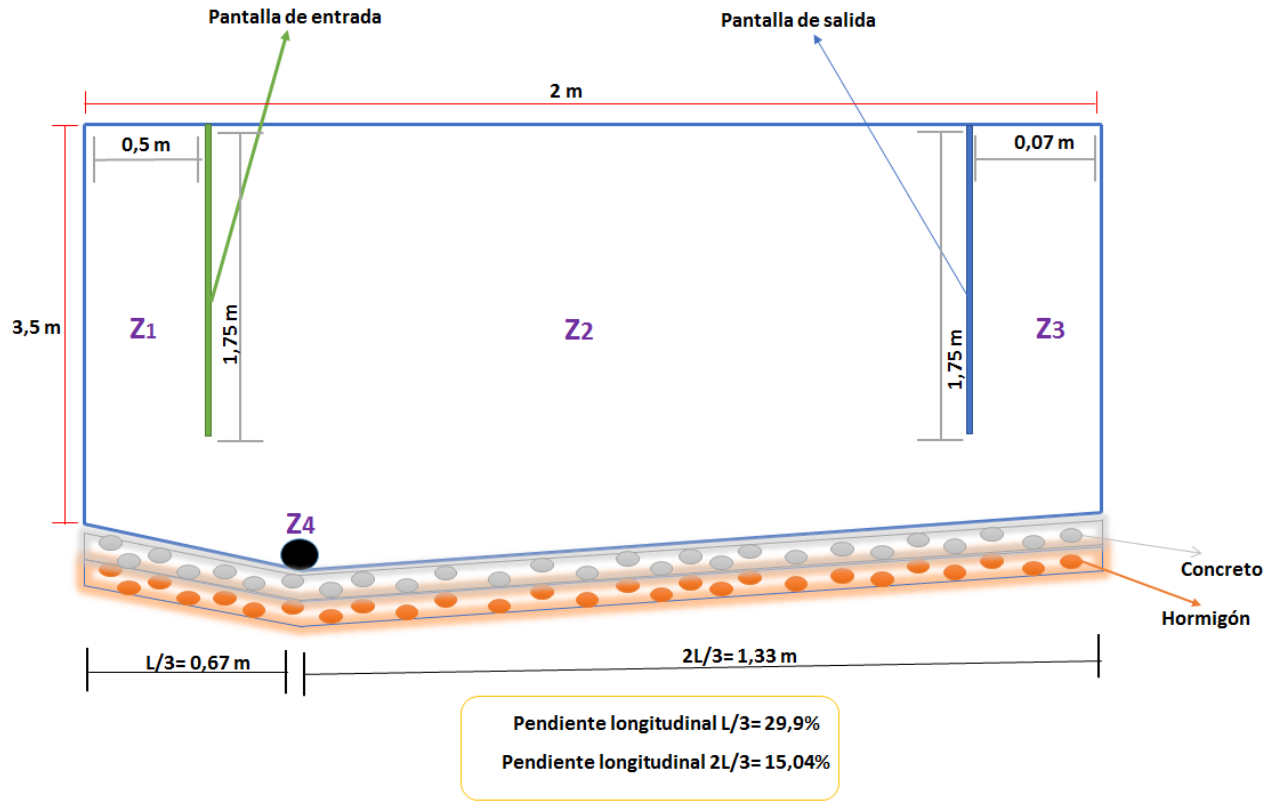
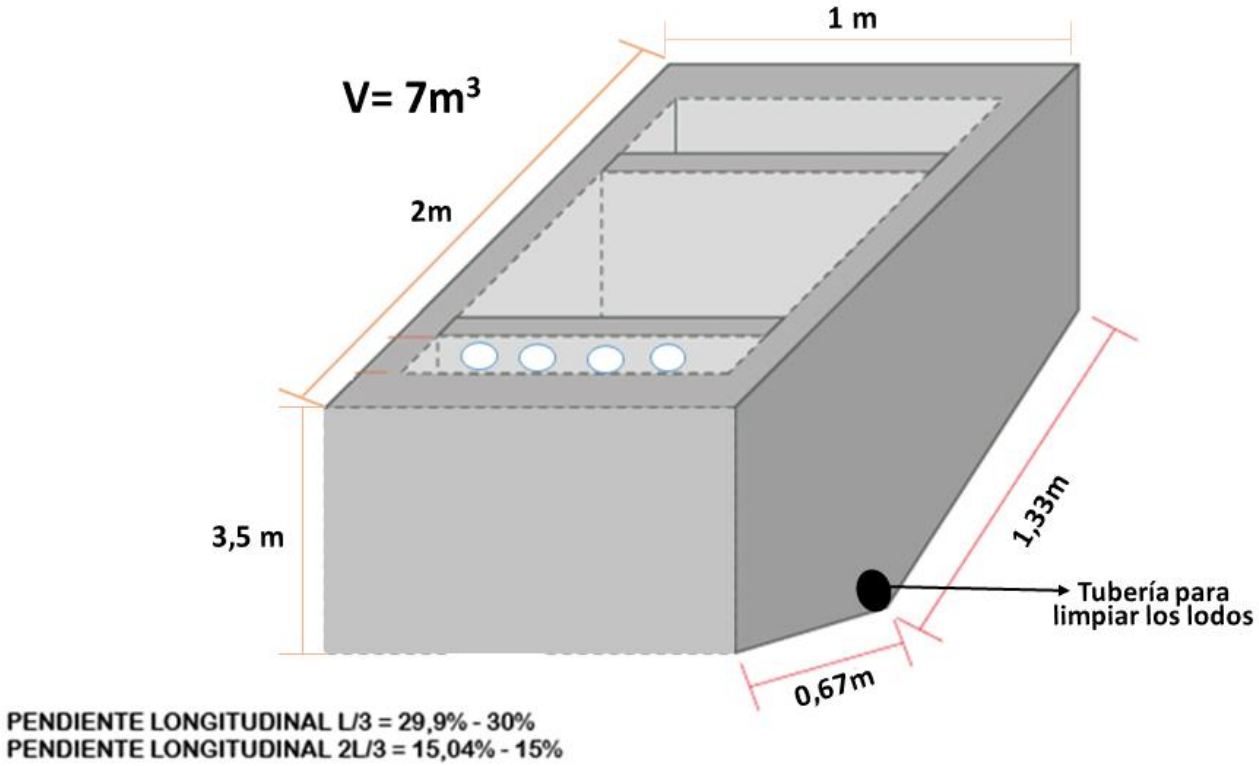


Figura 14. Perspectiva del tanque desarenador



Nota. Diseños realizados por Karen Alejandra Rueda Reina

Tabla 26. Diseño del tanque de almacenamiento

Variables	Resultado, análisis y discusión
Tipo de tanque	El tanque que se diseñó para el sistema de potabilización correspondió a un tanque superficial. Este tipo de tanques están construidos sobre la superficie del terreno ya que el empleo del mismo es común cuando el terreno es de difícil excavación o conviene no perder altura y existe la topografía adecuada (Ministerio de Vivienda, s.f.).
Dimensiones del tanque	Las dimensiones del tanque de almacenamiento se determinaron por medio de (Ministerio de Vivienda, s.f.) en donde se indica que el caudal de entrada a los tanques de almacenamiento y/o compensación, depende de los parámetros de diseño y del tiempo de operación de los bombeos. En aquellos casos en que los tanques se encuentren abastecidos por gravedad desde el sistema de conducciones, el caudal de entrada al tanque es igual al caudal máximo diario (QMD), calculado de acuerdo con la demanda proyectada al período de diseño de la red de distribución localizada inmediatamente aguas abajo del tanque. Debido a que la población de la vereda no cuenta con la suficiente información que señale o indique el consumo de cada habitante por hora, se identificó que, en el nivel de complejidad del sistema bajo, si no existen datos que describan las curvas de variación del consumo horario, el volumen almacenado será igual que 1/3 del volumen distribuido a la zona que va a ser abastecida en el día de máximo consumo, garantizando en todo momento las presiones adecuadas (Ministerio de Vivienda, s.f.). Con base a lo anterior, se determinó que el caudal de diseño para el tanque de almacenamiento correspondió a 52,704m^3/día dando un volumen de 17,568m^3 los cuales se aproximan a 18m^3. Por otra parte, la altura del tanque correspondió a 2,06m los cuales se aproximan a 3m debido a que entre mayor altura, mayor es la presión con la que va a distribuirse el agua. Finalmente, se identificó que la base y el lado del tanque dieron valores iguales de 2,5m ya que si el tanque se diseña con mayores valores será más tiempo el que se necesite para llenarse.
Zona de desinfección	La zona de desinfección se encuentra en una de las esquinas de la parte superior del tanque cerca al tubo de conducción con el fin de que el tratamiento aplicado en el tanque se mezcle correctamente y permita que al salir el agua por la red de distribución se encuentre potabilizada y apta para el consumo humano. LA desinfección se procede en un tanque de contacto donde se agitará la mezcla con reactivos químicos para disminuir el pH y eliminar patógenos presentes en el agua.

Fuente. Alejandra Rueda

Figura 15. Vista en planta del tanque de almacenamiento

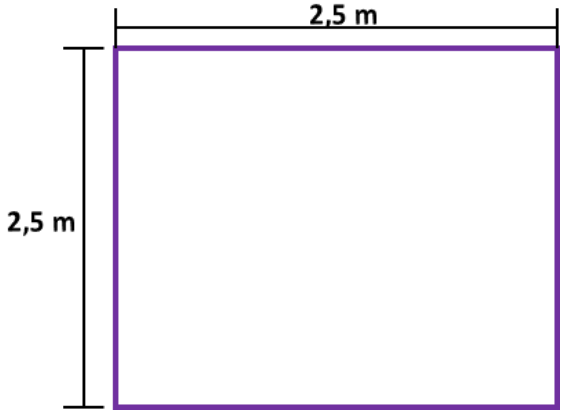


Figura 16. Vista lateral del tanque de almacenamiento

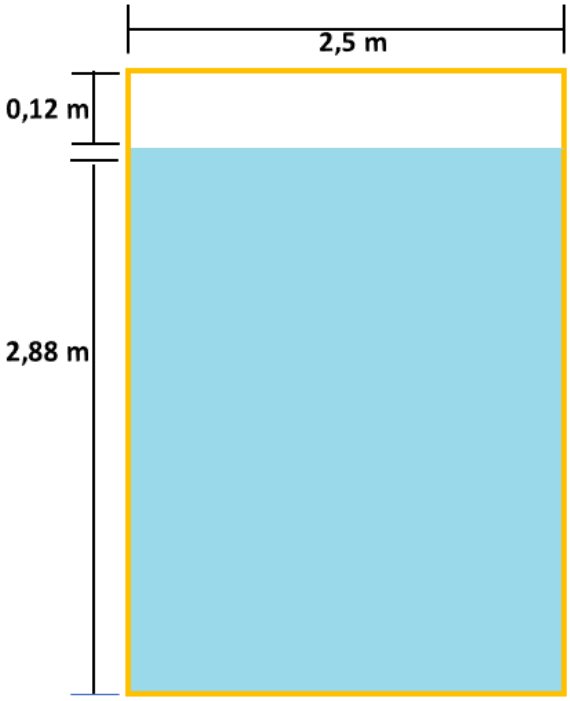
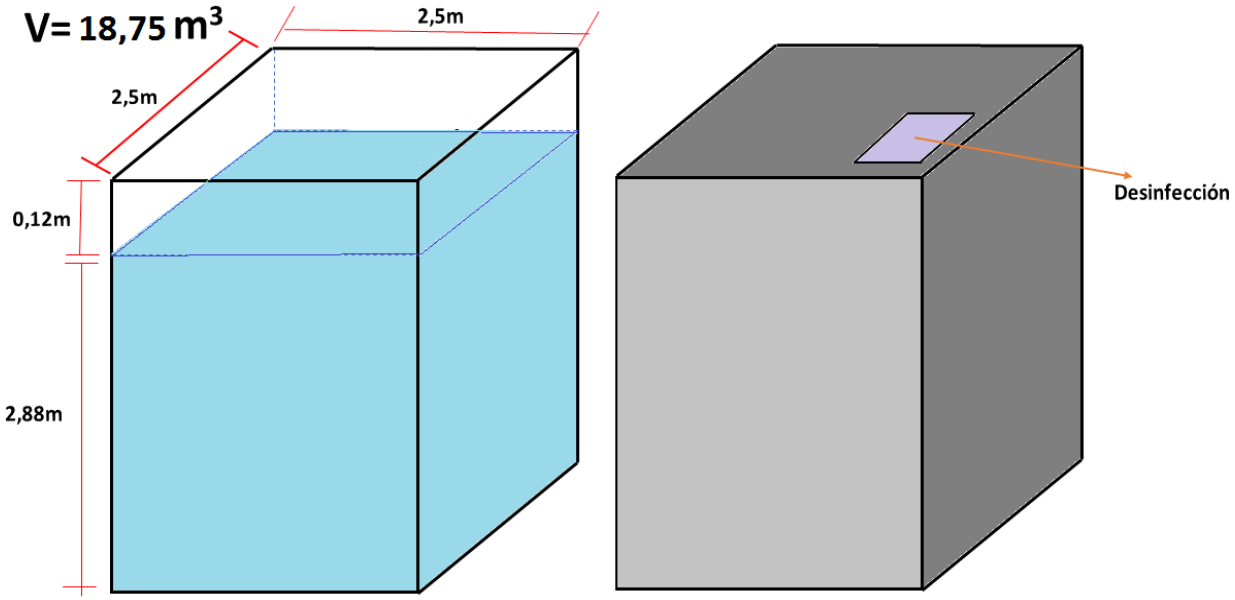


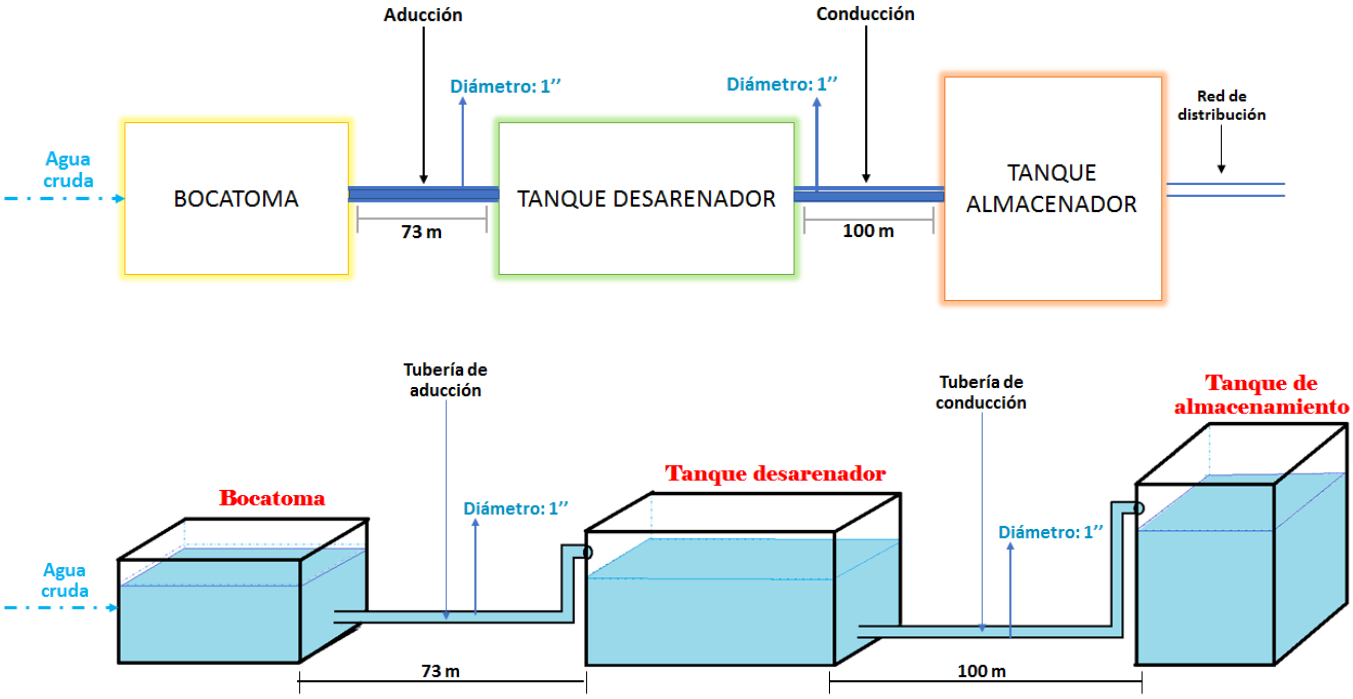
Figura 17. Perspectiva del tanque de almacenamiento



Nota. Diseños realizados por Karen Alejandra Rueda Reina

Teniendo en cuenta los diseños de las estructuras, los materiales que se pueden utilizar para su construcción son concreto, hormigón armado de alta resistencia, ladrillo, varillas de hierro y se deben impermeabilizar integralmente para protegerlos de las condiciones ambientales (Alcoser, Zabala, & Perez, 2010). Estos materiales se utilizan con el objetivo de que el tanque sea resistente y soporte las condiciones ambientales que se puedan presentar en la zona. En el anexo 16 se identifica el sistema completo de potabilización para la vereda Copo.

Figura 18. Sistema completo de potabilización



Nota. Diseños realizados por Karen Alejandra Rueda Reina

7.3.1. Desinfección

El cloro y sus derivados son por mucho los agentes desinfectantes que más se emplean en el mundo. Es posible emplear compuestos tales como: el cloro gas, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio. Estos agentes también extraen contaminantes orgánicos del agua, que son nutrientes o cobijo para los microorganismos. Los desinfectantes no solo deben matar a los microorganismos, sino que deben además tener un efecto residual, que significa que se mantienen como agentes activos en el agua después de la desinfección para prevenir el crecimiento de los microorganismos en las tuberías provocando que el agua se contamine de nuevo. La principal ventaja del agua potable desinfectada con cloro es la protección de la salud pública a través del control de las enfermedades transmitidas por el agua; es así como la cloración desempeña una función primordial en el control de los agentes patógenos presentes en el agua (PERILLA, 2007).

La desinfección del agua a través de cloración se realiza con compuestos derivados del cloro, que, por ser oxidantes y altamente corrosivos, poseen gran poder destructivo sobre los microorganismos presentes en el agua y pueden ser recomendados, con instrucciones de manejo especial, como desinfectantes a nivel de la vivienda rural (Ministerio de Ambiente, 2010).

Al analizar la calidad del agua que presenta la quebrada de la vereda Copo, se identificó que el mejor método para potabilizar el agua y eliminar los microorganismos presentes en ella (*Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, entre otros) es el hipoclorito de calcio debido a que este compuesto es altamente eficaz contra las algas, bacterias, moho, hongos y microorganismos que resultan ser dañinos y peligrosos para la salud humana (Solsona & Mendez, 2002). El hipoclorito de Calcio puro (Ca(ClO)2) tiene de 60 a 70 por ciento de contenido disponible de cloro y se conserva durante más de un año bajo condiciones normales de almacenamiento. Se les puede obtener en paquetes de 2,3 Kg. y en latas de hasta 45 Kg.; también están disponibles en forma granular o de tabletas. Es inestable cuando se expone a la luz solar y a fuentes térmicas (mayor de 50° C).

El hipoclorito de calcio, es un producto seco, granulado o en polvo, de color blanco, el cual se puede obtener en algunas farmacias o establecimientos distribuidores de productos químicos para desinfección de piscinas y se comercializa en empaques de plástico o tambores metálicos en concentraciones entre el 30% y el 65% de cloro activo, siendo esta última la ideal. Lo que se comercializa con concentraciones bajas de cloro activo generalmente son cales cloradas inestables más no hipocloritos. Para aplicar el hipoclorito de calcio de una forma segura, la cantidad que se vaya a aplicar se debe diluir previamente en agua utilizando un balde plástico con la medida señalada en su interior para facilitar la dosificación, la cual debe buscar un cloro residual libre entre 0.5 y 1.0 mg/L después de 30 minutos de aplicado preferiblemente a un tanque domiciliario comercial con una capacidad superior a 500 litros. Esto con el fin de hacer más segura la dosificación. La capacitación para aplicar el procedimiento de desinfección con esta sustancia química, el recipiente donde se debe mezclar y su dosificación, deben estar necesariamente formulados por escrito por un técnico en saneamiento o promotor de saneamiento básico rural, después de haber hecho varios ensayos para asegurarse que la persona encargada de la cloración que recibió la instrucción no va a incurrir en sobredosis o equivocaciones en el procedimiento que puedan alterar la calidad del agua con riesgo para la salud (Ministerio de Ambiente, 2010).

A continuación, se muestra la forma de calcular los gramos de hipoclorito de calcio:

$$\boldsymbol{Peso\ de\ cloro} = \frac{Volumen\ de\ agua\ (L) * dosis\ de\ cloro\ (\frac{mg}{L})}{concentracion\ del\ cloro\ granulado\ (\%) * 10}$$

Teniendo en cuenta que el volumen del tanque de almacenamiento corresponde a 18,75 m^3, se identificó que el tanque puede almacenar 18000L de agua en un volumen de 18m^3, de esta manera, cuando el agua del tanque se encuentre en este volumen, el peso en cloro correspondiente a esta cantidad de agua con una concentración de 65% y una dosis de 1mg/L es de 27,69 g de hipoclorito de calcio.

7.3.2. Comparación entre el sistema de acueducto antiguo y el diseño actual

Tipo de estructura	Estructuras antiguas		Diseño actual	
Bocatoma	Bocatoma de fondo		Bocatoma lateral	
	Profundidad	1.30 m	Profundidad	1 m
	Ancho	2 m	Ancho	1 m
	Largo	2 m	Largo	2 m
	Volumen	**5,2 m3**	**Volumen**	**2 m3**
Tuberia de aducción	3" PVC		1" PVC	
Tanque desarenador	Profundidad	2,40 m	Profundidad	3,5 m
	Ancho	1,22 m	Ancho	1 m
	Largo	3,84 m	Largo	2 m
	Volumen	11,24 m3	**Volumen**	**7 m3**
Tuberia de conducción	3" PVC		1" PVC	
Tanque de almacenamiento	Profundidad	2,45 m	Profundidad	3 m
	Ancho	5,45 m	Ancho	2,5 m
	Largo	5,50 m	Largo	2,5 m
	Volumen	73,44 m3	**Volumen**	18 m3
Desinfección	No posee		Hipoclorito de calcio	

Al realizar una comparación entre las estructuras antiguas y el diseño que se plantea en él proyecto, se identifica que algunas de las estructuras son similares en cuanto a dimensiones de los tanques, pero se diferencian entre ellas al analizar que las estructuras existentes no poseen las condiciones

necesarias para su funcionamiento mientras que el diseño que se propone si cumple con la dimensión poblacional y las condiciones ambientales de la región.

8. Conclusiones

Primer objetivo

- Se identifica que la vereda cuenta con tres tipos de estructuras en su sistema de acueducto, que corresponde a una bocatoma de fondo, un tanque desarenador con un proceso de sedimentación simple y un tanque de almacenamiento de agua sin desinfección.

- Actualmente, la población de la vereda no cuenta con un sistema de potabilización que le permita tener un servicio optimo del recurso hídrico y se encuentra expuesta a enfermedades por el consumo de agua cruda.

- Debido a la falta de interés y preocupación por parte de la alcaldía del municipio de Tocaima, las estructuras del acueducto no se encuentran en condiciones óptimas para prestarle un servicio de acueducto que sea adecuado para la población.

- Se identifica que el tanque desarenador del acueducto no cuenta con las condiciones necesarias para cumplir correctamente con su función a comparación del tanque que se diseña actualmente, por esta razón se propone desmontar el antiguo tanque y construir un tanque con las dimensiones que aseguren un buen funcionamiento.

Segundo objetivo

- Se determinó que el caudal de la quebrada varía según la época del año al tener en cuenta la temporada de lluvias y la temporada de sequía, puesto que las precipitaciones cambian debido al régimen pluviométrico bimodal que presenta la región.

- Actualmente, las características fisicoquímicas que corresponden a alcalinidad, turbiedad, acidez, pH, conductividad y solidos totales, presentes en las fuentes hídricas de la vereda se encuentran en estado óptimo según el decreto 1575 de 2007.

- Se identifica que los niveles de coliformes totales y coliformes fecales superan en gran número los niveles máximos permisibles por la autoridad ambiental, lo cual afecta en forma directa la salud de la población; de esta manera, se encontró un gran número de colonias de bacterias que pueden ocasionar grandes afectaciones a la salud de la población en especial para los niños menores de 5 años y los adultos mayores; estas bacterias se identifican como Escherichia coli, Enterococcus faecalis, Staphylococcus aureus, Candida albicans, entre otros microorganismos que se encuentran presentes en el agua de la quebrada.

Tercer objetivo

- Se determina que la manera más eficiente de potabilizar el agua teniendo en cuenta las características, tanto del recurso como de la región, se divide en tres etapas, bocatoma, desarenador y tanque de almacenamiento en el cual se promueve la desinfección.

- Se identifica que la tasa de crecimiento de la población es muy baja, por esta razón, el diseño de algunas estructuras no varía mucho comparado con las estructuras existentes, de esta manera, el diseño que se plantea en el proyecto el cual está proyectado para 20 años, podría servir para un periodo de vida útil.

- Se determinó que el mejor método para potabilizar el agua, teniendo en cuenta las características microbiológicas de la misma es por medio del tratamiento con hipoclorito de calcio, el cual le permitiría a la población disfrutar de agua potable.

- Aun cuando el volumen del tanque es adecuado, sus dimensiones son incorrectas, ocasionando una mala prestación del servicio.

9. Recomendaciones

- Teniendo en cuenta las estructuras existentes se encuentran en mal estado, se recomienda su demolición y construcción nueva de cada una de ellas.
- Es importante tener un personal capacitado en la vereda que permita realizar un mantenimiento adecuado del sistema.
- Debido a que la vereda cuenta con un régimen de lluvias bimodal, se recomienda a la población hacer uso racional del agua lluvia en época de invierno.
- Se recomienda a las autoridades del municipio realizar campañas de educación ambiental los cuales le enseñen a la población como hacer un uso adecuado de los recursos naturales promoviendo a la interacción hombre-naturaleza con el fin de efectuar la conservación de la biodiversidad de la región.

10. Bibliografía

Agua, R. I. (2007). *RIESGO DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN ZONAS RURALES.* Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf

Alcoser, D. A., Zabala, X. M., & Perez, R. A. (2010). *Materiales utilizados para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales e industriales.* Obtenido de https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16083/1/Materiales%20utilizados%20para%20el%20Dise%C3%B1o%20de%20una%20Planta%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas.pdf

ambiente, m. d. (2008). *ministerio de ambiente y desarrollo sostenible* . Recuperado el 15 de mayo de 2016, de https://www.minambiente.gov.co

André, S. P. (2012). *Sistemas de potabilización de agua aislados en zonas rurales* . Obtenido de CONAMA2012: http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11/CT%202010/1891517819.pdf

Avilla, J. A. (2018). *Agua potable.* Obtenido de http://www.elaguapotable.com/acondicionamiento.htm#ALCALINIDAD%20DEL%20AGUA

Bastidas, S. P., & Garcia, M. (2015). *La gestión comunitaria en proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento como base de sostenibilidad y de construccion de tejido social.* Obtenido de http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_4/9/4.Bastidas_y_Garcia%20.pdf

BOHORQUEZ, G. P. (2006). *ESTRUCTURACIÓN DE LA ASOCIACIÒN DE ACUEDUCTOS VEREDALES EN EL MUNICIPIO DE SASAIMA CON VISIÒN FINANCIERA PARA SU SOSTENIBILIDAD EN EL LARGO PLAZO* . Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/4592/00781310.pdf?sequence=1

Bonilla, E., & Rodríguez, P. (1997). *Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales.*

Cárdenas, Y. A. (Abril de 2000). *TRATAMIENTO DE AGUA.* Obtenido de COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

CARVAJAL, A. L., GÓMEZ, G. I., & GALLEGO, Á. A. (2010). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL AGUA.* Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf

CHIRUCHI, J. A., ZOBOLI, J. G., USHER, S., & SERRENTINO, C. (1996). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA AGUAS Y EFLUENTES.* Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf

COLOMBIA, C. D. (6 de Junio de 1997). *LEY 373 DE 1997* . Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

COLOMBIA, E. C. (24 de Enero de 1979). *LEY 9 DE 1979*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177

Colombia, E. C. (30 de Diciembre de 1986). *LEY 79 DE 1986*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=305

COLOMBIA, E. C. (22 de Diciembre de 1993). *LEY 99 DE 1993*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297

Cortolima. (s.f.). *GUÍA AMBIENTAL PARA SISTEMAS DE ACUEDUCTO*. Obtenido de Aducción y Conducción: https://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/sistemasacueducto/Sistemas%20acueducto%202.pdf

Cundinamarca, A. d. (15 de Marzo de 2016). *Municipio de Tocaima.* Obtenido de http://tocaima-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

CUNDINAMARCA, G. d. (2016). *ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS FORESTALES EN LOS MUNICIPIOS DE SAN ANTONIO DE TEQUENDAMA, TOCAIMA, TOCAIMA, SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA Y TOCAIMA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDIN.* Bogotá: IMA (Ingenieria y medio ambiente).

DIBICO. (2017). *AGAR CON EOSINA Y AZUL DE METILENO* . Obtenido de AGAR CON EOSINA Y AZUL DE METILENO

DOMICILIARIOS, S. P. (11 de Julio de 1994). *LEY 142 DE 1994* . Obtenido de https://www.minminas.gov.co/documents/10180/670382/LEY142DE1994.pdf/68f0c21d-fd78-4242-b812-a6ce94730bf1

ECONÓMICO, M. D. (17 de Noviembre de 2000). *RESOLUCION 1096 DE 2000*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38541

Educativa, L. d. (2018). *Recuento de Coliformes Totales.* Obtenido de Filtración a través de membrana: http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html#a

Espinosa, J. A., Serrano, W. M., & Flórez, O. A. (2013). *ALTERNATIVA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN ZONAS RURALES.* Obtenido de ALTERNATIVE WATER FOR DRINKING WATER IN RURAL AREAS: file:///D:/DECIMO/Proyecto%20de%20grado%201%20y%202/ALTERNATIVA%20PARA%20LA%20POTABILIZACI%C3%93N%20DEL%20AGUA%20EN%20ZONA%20RURAL.pdf

Etienne, G. (Enero de 2009). *POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA* . Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/potabytrat.pdf

Farrás, L. E. (Agosto de 2005). *TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN* . Obtenido de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf

Felices, A. R. (2003). *LA BOCATOMA, ESTRUCTURA CLAVE EN UN PROYECTO DE APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO.* Obtenido de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/La_bocatoma.PDF

Gómez, G. I. (1995). *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUAS.* Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf

GUTIÉRREZ, M. A. (Noviembre de 2006). *DUREZA EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO INDUSTRIAL, IMPACTOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN. ESTUDIO DE CASO: CHILE* . Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf

ideam. (1 de Abril de 2005). *ALCALINIDAD POTENCIOMETRIA* . Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df

Instituto de Hidrología, M. y. (10 de Abril de 2007). *DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA.* Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3

Joven, J. S. (2014). *Estudio de un sistema de tratamiento de bajo coste para agua potable en contextos de subdesarrollo. Aplicación a Mtanga, Kigoma Rural, Tanzania.* Obtenido de http://oa.upm.es/35029/7/Tanzania_Distecd_2.pdf

LEY 79 DE 1986. (30 de Diciembre de 1986).

Livingstone, D. A. (1963). *Chemical composition of rivers and lakes.* Washington: Washington : U.S. Govt. Print. Off.

LÓPEZ, A. L. (5 de Octubre de 2011). *Recursos hídricos y desarrollo sostenible: requisitos para la planificación y gestión compartida entre España y Portugal.* Obtenido de

http://search.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/963362177/fulltextPDF/D3BD37C979ED445DPQ/1?accountid=41311
Lopez, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.* Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria.
LUNA, W. R., & SALAME, J. A. (2014). *CAMARA DE COMERCIO DE GIRARDOT, Concepto Económico de la Jurisdicción Concepto Económico de la Jurisdicción* . Obtenido de http://www.ccgirardot.org/pdf/concepto_economico.pdf
MAPSA, R. (Junio de 2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras - Conductividad* . Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf
MAVDT. (2007). *Guia metodológica para la formulación y diseño de sistemas de acueductos rurales.* Obtenido de Guia RAS - 008: http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20008.pdf
Méndez, C. E. (2009). *Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales.* México: Limusa.
Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (25 de Marzo de 2000). *Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas.* Obtenido de http://www.elaguapotable.com/Uso%20de%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf
Millipore, M. (2014). *Chromocult® Agar para coliformes*. Obtenido de Detección simultánea de bacterias coliformes y E.coli en el agua: file:///C:/Users/Alejandra/Downloads/DS4485ES00_Chromocult%20Coliform%20(6-25)%20(4).pdf
MinDesarrollo. (Junio de 2002). *Evaluación socioeconómica de proyectos de acueducto y alcantarillado*. Obtenido de Regalemnto tecníco del sector de agua potable y saneamiento básico: http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20004.pdf
Ministerio de Ambiente, V. y. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/100811_titulo_j_ras%20_.pdf
Ministerio de Vivienda, C. y. (s.f.). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Obtenido de TÍTULO B Sistemas de Acueducto: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf
MORALES, J. W. (2013). *CONDICIONES DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SANEAMIENTO BASICO - ANTIOQUIA - 2010.* Obtenido de https://www.dssa.gov.co/images/documentos/Condiciones_Suministro_Agua_Potable_y_Saneamiento_Basico_Antioquia_2013.pdf
Moreira-Segura, C., Araya-Rodríguez, F., & Charpentier-Esquivel, C. (3 de Abril de 2015). *Educación ambiental para la conservación del recurso hídrico a partir del análisis estadístico de sus variables.* Obtenido de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2413/pdf_5
Moreno, A. A. (Diciembre de 2014). *Las comunidades organizadas como prestadoras del servicio público de acueducto en la zona rural de Bogotá D. C.: el caso de los acueductos veredales de Mochuelo Bajo, Pasquilla, la Unión y Andes.* Obtenido de https://derechopublico.uniandes.edu.co/components/com_revista/archivos/derechopub/pub474.pdf

Munevar, W. G. (4 de Junio de 2015). *Gestión y valor económico del recurso hídrico.* Obtenido de http://search.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1781335066/fulltextPDF/817784212EE0441BPQ/1?accountid=41311

Muñoz, H. M. (1997). *Obras hidraulicas rurales.* Santiago de Cali: Universidad del valle. Obtenido de https://docslide.us/documents/obras-hidraulicas-rurales-hernan-materon.html

Navarro, A., Araya, F., Pérez, D., Moreira, C., & Estrada, M. (Septiembre de 2013). *Vulnerabilidad de los sistemas de acueductos rurales: cómo identificarla.* Obtenido de file:///C:/Users/Alejandra/Downloads/1518-4844-1-SM.pdf

Negro, U. N. (2013). *Técnicas de Muestreo, Análisis e Interpretación de Datos.* Obtenido de Ingeniería Ambiental: http://unrn.edu.ar/blogs/TMAI2013/files/2013/08/Lab-2-Dureza-de-agua.pdf

O, M. D., Beltrán, H. E., & Giraldo, G. (Diciembre de 2010). *Determinación de indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales) en los tanques de abastecimiento de agua de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Sedes Macarena a y b*.* Obtenido de file:///C:/Users/Alejandra/Downloads/602-1255-1-PB.pdf

Occidente, B. d. (2009). *EL BOSQUE SECOTROPICAL NO SIEMPRE ES SECO*. Obtenido de https://www.imeditores.com/banocc/seco/cap1.htm

Palacio, L. M. (2014). *USO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN ACUEDUCTOS RURALES.* Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/47378/1/42876641.2015.pdf

Palacio, O. L. (2014). *GUÍA PARA CONSTRUIR ESTADOS DEL ARTE*. Obtenido de http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articles-322806_recurso_1.pdf

Pari, S. R. (2015). *Indicadores (Quimica analitica).* Obtenido de http://www.monografias.com/trabajos105/indicadores-quimica-analitica/indicadores-quimica-analitica.shtml

Pedraza Ordoñez, W., & Díaz López, F. E. (2014). *Proyecto guías calidad del agua "Análisis de aguas"*.

PERILLA, E. V. (2007). *“COMPARACIÓN DEL PROCESO DE DESINFECCIÓN UTILIZANDO HIPOCLORITO DE CALCIO (HTH) Y EL SISTEMA DE GENERACIÓN IN SITU DE HIPOCLORITO DE SODIO”.* Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14919/41001041.pdf?sequence=1

Population.City. (2015). *Tocaima · Población.* Obtenido de http://poblacion.population.city/colombia/tocaima/

pueblo, D. d. (Agosto de 2013). *La gestion comunitaria del agua.* Obtenido de https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/control/La%20gestio%CC%81n%20comunitaria%20del%20agua.pdf

RAS001. (2002). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.* Obtenido de Definicion del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y la demanda de agua: http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf

República, P. d. (10 de Marzo de 1998). *DECRETO 475 DE 1998*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327

Riascos, L. M., Méndez, A. A., & Rojas, J. P. (17 de Febrero de 2014). *pH, Alcalinidad y Acidez.* Obtenido de http://www.academia.edu/6226387/PH_ALCALINIDAD_Y_ACIDEZ

Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (15 de Febrero de 2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano.* Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf

ROA, M. O. (30 de Abosto de 2017). *DETERMINACIÓN DE ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES EN AGUA POR EL MÈTODO DE FILTRACIÒN POR MEMBRANA EN AGAR CHROMOCULT.* Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174
Romero Rojas, J. A. (2013). *Calidad del agua.* Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
Romero, M. (19 de Junio de 2011). *TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN POTABILIZACIÓN DE AGUA.* Obtenido de https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/13/32/894.pdf
Saavedra, C. (Octubre de 2009). *El manejo, protección y conservación de las fuentes de agua y recursos naturales.* Obtenido de http://www.cuencasbolivia.org/files/guia_del_capacitador_final.pdf
Sáenz, P. B. (15 de Febrero de 2010). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE AGUA.* Obtenido de http://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf
Salta, G. d. (2012). *Agua Potable*. Obtenido de http://www.entereguladorsalta.gov.ar/?page_id=921
salud, O. p. (2004). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CAPTACIONES POR GRAVEDAD DE AGUAS SUPERFICIALES.* Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/e115-04disenocapta.pdf
Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.* Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_158/recursos/e-books/16062015/metodologia.pdf
Sanabria, L. J. (Noviembre de 2008). *VALIDACION SECUNDARIA DEL METODO DE FILTRACION POR MEMBRANA PARA LA DETECCION DE COLIFORMES TOTALES Y E.coli EN MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.* Obtenido de http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis221.pdf
SOCIAL, M. D. (9 de Mayo de 2007). *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007* . Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf
SOCIAL, M. D. (9 de Mayo de 2007). *DECRETO NÚMERO 1575 DE 2007* . Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf
SOCIAL, M. D. (22 de Junio de 2007). *RESOLUCIÓN NÚMERO 2115*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf
Solsona, F., & Mendez, J. P. (2002). *Desinfeccion del agua* . Obtenido de https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=c608055380&view=att&th=162b509fa6b70913&attid=0.1&disp=inline&realattid=162b504e48631182c861&safe=1&zw&saddbat=ANGjdJ93JfFpT9md4fxAV0PJF5EuR-H4A10r5N1GN1zBTT0dDonjgwKVK22Qbg9VB4fkPoCDhd
TemasAmbientales. (Noviembre de 2017). *Legislación o Derecho Ambiental*. Obtenido de http://www.temasambientales.com/2017/03/legislacion-ambiental.html
Unicef. (s.f.). *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. Obtenido de El estado del agua, el alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios: https://www.unicef.org/colombia/pdf/Agua3.pdf
Valencia, A. G., & Soto, J. D. (2014). *Manual Piragüero.* Obtenido de Medición del caudal: http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf
Velandia, A. C. (14 de Abril de 2011). *Claves de una gestión pública del recurso hídrico.* Obtenido de http://search.proquest.com.ezproxy.unbosque.edu.co/docview/1677587094?pq-origsite=summon
vivienda, M. d. (s.f.). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Obtenido de TÍTULO C Sistemas de potabilización: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/Titulo%20C%20-%20Dic%204%202013.pdf