

**DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE REDES Y EVALUACIÓN
TÉCNICOECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA.**

JUAN PABLO BOTERO MONSALVE

GINA PAOLA GONZALEZ REYES

CAMILO ANDRÉS SANCHEZ RUIZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017

**DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE REDES Y EVALUACIÓN
TÉCNICOECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA.**

JUAN PABLO BOTERO MONSALVE

GINA PAOLA GONZALEZ REYES

CAMILO ANDRÉS SANCHEZ

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en. Recursos Hídricos

ASESOR: JESÚS ERNESTO TORRES QUITERO

INGENIERO CIVIL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2017



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto a nuestras familias, por darnos la fuerza en todo momento para lograr nuestras metas, por permitirnos el espacio para cada requerimiento académico, por su respeto, apoyo y constancia.

Agradecimientos

El agradecimiento más importante va dirigido a este equipo de trabajo, cada uno con su experiencia, conocimiento y actitud hizo posible generar este estudio para crecimiento personal y profesional tanto individual como en conjunto.

Agradecemos a nuestras familias, por su apoyo en cada momento, a nuestros compañeros y amigos del programa por los aportes que nos permitieron crecer e incrementar nuestra curva de aprendizaje.

Extendemos nuestro agradecimiento a cada uno de los docentes de la especialización, especialmente al Ingeniero Ernesto Torres, por su apoyo en el desarrollo de este documento, sus aportes nos hicieron lograr un trabajo de la mejor calidad.

Gracias Totales!.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	16
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 <i>Antecedentes del problema</i>	16
1.2.2 <i>Pregunta de investigación</i>	17
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	17
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	17
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
2 MARCOS DE REFERENCIA	19
2.1 MARCO CONCEPTUAL	19
2.2 MARCO TEÓRICO	23
2.2.1 <i>Proyecciones de Población</i>	23
2.2.1.1 Método de comparación gráfica	23
2.2.1.2 Método de Crecimiento Lineal o Aritmético	24
2.2.1.3 Método de Crecimiento Geométrico.....	24
2.2.1.4 Método de Crecimiento Logarítmico.....	24
2.2.2 <i>Consumo de Agua</i>	25
2.2.2.1 Consumo Residencial o Doméstico:	25
2.2.2.2 Consumo Comercial y Público:	25
2.2.2.3 Consumo Industrial:	25
2.2.3 <i>Pérdidas de Agua</i>	26
2.2.3.1 Pérdidas técnicas del sistema:.....	26
2.2.3.2 Pérdidas Comerciales de la red:.....	26
2.2.4 <i>Aguas Subterráneas</i>	26
2.2.4.1 Clasificación de las formaciones geológicas.....	27
2.2.4.2 Tipos de Acuíferos.....	27
2.2.4.3 Parámetros Hidráulicos de las Aguas Subterráneas	29
2.3 MARCO JURÍDICO.....	30
2.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	31

2.5	MARCO DEMOGRÁFICO	32
2.6	ESTADO DEL ARTE	34
3	METODOLOGÍA	36
3.1	FASES DEL TRABAJO DE GRADO	37
3.1.1	<i>Fase 1. Recolección de Información.</i>	37
3.1.2	<i>Fase 2. Procesamiento de Información.</i>	38
3.1.2.1	Etapas 1. Diagnóstico de suministro de Agua Potable - Anapoima.....	38
3.1.2.2	Etapas 2. Descripción y selección de alternativas de optimización.....	39
3.1.3	<i>Fase 3. Análisis y evaluación de alternativas.</i>	39
3.1.4	<i>Fase 4. Conclusiones y Recomendaciones.</i>	40
3.2	INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	40
4	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	41
4.1	EVALUACIÓN SITUACIÓN ACTUAL DEL ACUEDUCTO DE ANAPOIMA.	41
4.1.1	<i>Descripción del Sistema de Acueducto de Anapoima</i>	41
4.1.1.1	Quebrada la Honda	43
4.1.1.1	Embalse Mesa de Yeguas	44
4.1.2	<i>Proyecciones de población</i>	50
4.1.3	<i>Estimación Población Flotante.</i>	53
4.1.4	<i>Aspectos Complementarios</i>	53
4.1.5	<i>Calculo de la Dotación del Municipio</i>	54
4.1.6	<i>Calculo Caudal Requerido.</i>	56
4.1.7	<i>Análisis del caudal demandado con relación al caudal ofertado.</i>	58
4.2	EVALUACIÓN ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	58
4.2.1	<i>Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.</i>	58
4.2.1.1	Descripción General del Proyecto.	58
4.2.1.2	Descripción de la Propuesta Seleccionada	60
4.2.1.3	Etapas del Proyecto.	66
4.2.1.4	Costos del Proyecto.	67
4.2.2	<i>Embalse de Calandaima.</i>	69
4.2.2.1	Descripción General del Proyecto.	69
4.2.2.2	Etapas del Proyecto.	76
4.2.2.3	Costos del Proyecto.	79
4.2.3	<i>Otras Alternativas.</i>	81

4.2.3.1	Captación superficial de agua de fuentes de abastecimiento en el sector.....	81
4.2.3.2	Captación subterránea de agua.	82
4.3	DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS.....	86
5	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	89
5.1	COMPARATIVO TÉCNICO.....	89
5.2	COMPARATIVO ECONÓMICO.	91
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
6.1	ESTADO ACTUAL DEL ACUEDUCTO.....	94
6.2	ALTERNATIVAS PLANTEADAS	94
6.3	COMPARATIVO TÉCNICO DE ALTERNATIVAS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
	BIBLIOGRAFÍA	98

LISTA DE FIGURAS

FIGURA. 2-1. ACUÍFERO LIBRE.	27
FIGURA. 2-2. ACUÍFERO SEMICONFINADO.	28
FIGURA. 2-3. ACUÍFERO CONFINADO.	28
FIGURA. 2-4 LOCALIZACIÓN DE MUNICIPIO DE ANAPOIMA	33
FIGURA. 4-1. SECTORIZACIÓN DE ABASTECIMIENTO DE ANAPOIMA.	42
FIGURA. 4-2 PLANO DE SECTORIZACIÓN DE ABASTECIMIENTO ANAPOIMA.....	42
FIGURA. 4-3. LOCALIZACIÓN DE QUEBRADA LA HONDA.	43
FIGURA. 4-4. PLANTA COMPACTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LA CHICA.	45
FIGURA. 4-5. PROCESO DE MEZCLA RÁPIDA – PTAP LA CHICA.	45
FIGURA. 4-6. VERTEDERO TRIANGULAR – PTAP LA CHICA	46
FIGURA. 4-7. MEDICIÓN DE CAUDAL – PTAP LA CHICA.....	46
FIGURA. 4-8. LOCALIZACIÓN EMBALSE MESA DE YEGUAS.	47
FIGURA. 4-9. EMBALSE MESA DE YEGUAS.	47
FIGURA. 4-10. BOCATOMA EMBALSE MESA DE YEGUAS.	48
FIGURA. 4-11. SISTEMA DE BOMBEO MESA DE YEGUAS.	48
FIGURA. 4-12. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE RÍO BOGOTÁ.	49
FIGURA. 4-13. TANQUE DE ALMACENAMIENTO – PTAP RÍO BOGOTÁ.	50
FIGURA. 4-14 PROYECCIONES DE POBLACIÓN ANAPOIMA.....	52
FIGURA. 4-15 DIAGRAMA DE PLANTEAMIENTO DE PROYECTO EAAB	59
FIGURA. 4-16 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN A LOS MUNICIPIOS DE OCCIDENTE.....	61
FIGURA. 4-17 ESQUEMA DE ETAPAS DE OPERACIÓN DE LA ALTERNATIVA.	67
FIGURA. 4-18. MAPA DE LA SUBCUENTA DEL RÍO CALANDAIMA Y MICROCUENCA DEL PROYECTO.	70
FIGURA. 4-19 LOCALIZACIÓN GENERAL DE ÁREAS CONSTRUIDAS	80
FIGURA. 4-20. MAPA DE COLOMBIA CON LAS ZONAS DE ACUÍFEROS.....	84
FIGURA. 4-21. MAPA HIDROGEOLÓGICO DE COLOMBIA.....	85

LISTA DE TABLAS

TABLA 2-1. PARÁMETROS DE TRANSMISIVIDAD.....	29
TABLA 2-2. PARÁMETROS DE COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO.....	29
TABLA 4-1 CENSOS POBLACIONALES DE ANAPOIMA.	50
TABLA 4-2 NIVEL DE COMPLEJIDAD.....	51
TABLA 4-3 MÉTODOS PARA EL CALCULO DE POBLACIÓN.	51
TABLA 4-4 RESUMEN PROYECCIONES DE POBLACIÓN.....	52
TABLA 4-5 DOTACIÓN POR HABITANTE DE ACUERDO AL NIVEL DE COMPLEJIDAD.	54
TABLA 4-6. CÁLCULO DE LA DOTACIÓN TOTAL NETA DEL SISTEMA EN EL AÑO BASE.	55
TABLA 4-7. PROYECCIÓN DE LA DOTACIÓN NETA DEL MUNICIPIO.	56
TABLA 4-8 CÁLCULO DE CAUDALES REQUERIDOS.	57
TABLA 4-9 CÁLCULO DE CAUDALES CONSIDERANDO POBLACIÓN FLOTANTE.....	57
TABLA 4-10 RESUMEN DE REDES PROYECTO EAAB.	60
TABLA 4-11 OBRAS A REALIZAR EN EL PROYECTO EAAB	63
TABLA 4-12 COSTOS DEL PROYECTO EAAB.....	68
TABLA 4-13 PLAN DE FINANCIACIÓN PROYECTO EAAB.....	68
TABLA 4-14 FICHA TÉCNICA PROYECTO CALANDAIMA	72
TABLA 4-15 TABLA DE RESUMEN DE COSTOS.	79
TABLA 4-16. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE ACUÍFEROS.....	83

RESUMEN

Teniendo como premisa que el abastecimiento de agua potable es un derecho fundamental para la sociedad, este trabajo tiene como objetivo determinar las alternativas más viables para optimizar el servicio de acueducto en el Municipio de Anapoima, dentro de las cuales se prioriza el Proyecto de venta de agua en bloque por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y el Proyecto Embalse Calandaima; la definición del sistema más eficiente se realiza a partir del diagnóstico del estado actual de redes, para conocer los requerimientos de demanda que requiere dicho municipio, y posteriormente la evaluación técnica y económica de los proyectos antes mencionados.

A partir del estudio de la información y el análisis de la misma se determinó que la alternativa más viable, económica, técnica, ambiental y socialmente es el Proyecto de venta de agua en bloque desarrollado por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, considerando que este tiene la capacidad de abastecer la totalidad de la demanda solicitada, de manera continua, sin transmitir altos costos a los usuarios del sistema, lo que conlleva al desarrollo de las poblaciones beneficiadas por el proyecto.

Palabras clave: Anapoima, Embalse de Calandaima, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, agua potable, desabastecimiento, caudal de diseño.

ABSTRACT

Having as premise that, the supply of potable water is a fundamental right for the society, the objective of this work is to determine the most viable alternatives to optimize the aqueduct service in the town of Anapoima, among those alternatives the Project of selling water by blocks by Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, as well as the Calandaima Reservoir Project are prioritized; the definition of the most efficient system is done starting by the diagnose of the current status of the networks to be able to know the requirements of demand of such municipality

and, consequently, carry out the technical and economic assessment of the projects mentioned above.

The Project of selling water by blocks by Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota was pointed out as the most viable, economic, technical, environmental and social alternative, based on the study and on the analysis of the information, considering that it has the capacity to entirely supply the requested demand, in a continuous manner, without generating high costs to the users of the system, which will result in the development of the populations that are benefited with the project.

Key words: Anapoima, Calandaima reservoir, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota, potable water, shortage, design flow rate.

INTRODUCCIÓN

Se considera que el suministro de agua potable hace parte de los derechos humanos, de acuerdo a la resolución 64/292 del 28 de julio de 2010 en el cual se reconoce *“la importancia de disponer de agua potable y saneamiento en condiciones equitativas como componente esencial del disfrute de todos los derechos humanos”*, (Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010, 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento) sin embargo en la actualidad solo un porcentaje de las cabeceras municipales de Colombia se encuentran abastecidas de este recurso.

A partir de esta información y teniendo en cuenta las condiciones de abastecimiento del Municipio de Anapoima, Cundinamarca, surge la necesidad de realizar un estudio del estado actual de sus redes de abastecimiento de agua y determinar cuáles son las alternativas que permitan la optimización del sistema de acueducto y con ello disponer del servicio de agua potable para la totalidad del municipio de manera continua, bajo los parámetros de calidad del agua mínimos establecidos.

Anapoima es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, en la provincia de Tequendama a 87 km de Bogotá, cuenta con una población aproximadamente de 13.000 habitantes (urbano y rural), inicialmente el Municipio era abastecido en su totalidad por el Río Bogotá, sin embargo, por los altos índices de contaminación en sus aguas este dejó de ser una alternativa para el suministro de agua potable, a partir de allí se cuenta con fuentes alternativas las cuales no son suficientes. A partir de esta modificación en la fuente principal, así como el aumento de la población y la falta de fuentes de abastecimiento aptas para el consumo humano cercanas al municipio, se han presentado problemas en el sistema de suministro de agua.

A partir de la información de las condiciones del suministro de agua potable prestado en el municipio, se prevé hacer el diagnóstico técnico de la situación actual del sistema de acueducto con el fin de establecer las alternativas que permitan mejorar el abastecimiento, partiendo de estas

alternativas se realizara un análisis más profundo de las dos que se consideren más viables de acuerdo a los estudios realizados por Entidades Municipales, Departamentales y Nacionales, teniendo en cuenta que a la fecha no ha sido posible implementar alguna solución de forma eficaz y eficiente.

Para cumplir con el objetivo previsto se plantea realizar el análisis de los caudales mínimos requeridos de acuerdo a la demanda de la población de municipio, versus los caudales reales suministrados actualmente por el sistema de acueducto de Anapoima, con base en esta información y el diagnóstico de las redes existentes (fuentes de abastecimiento, plantas de potabilización, redes instaladas, conexiones erradas y fraudulentas, etc.) se generara la evaluación técnicoeconómica de las alternativas propuestas para determinar cuál de ellas es la más favorable para el municipio.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión y Tecnologías para la Sustentabilidad de las Comunidades

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

La principal fuente de abastecimiento de agua para el Municipio de Anapoima inicialmente era el Río Bogotá, sin embargo dicha condición se modificó debido al incremento de los porcentajes de contaminación que este ha venido presentando en los últimos años, abandonando la red de acueducto existente y generando la necesidad de encontrar nuevas fuentes hídricas con la capacidad de suministrar constantemente el caudal requerido, tarea que no ha sido fácil teniendo en cuenta su localización geográfica y las condiciones de calidad del agua, considerando que estos afluentes se encuentran en la cuenca del Río Bogotá.

Actualmente el municipio capta el agua para el acueducto de dos fuentes principales: La Quebrada Honda en el municipio de Tena, de donde extrae 23 l/s, y el proyecto de Mesa de Yeguas, que suministra al sistema 15 l/s. En total, el municipio tiene la capacidad de recibir 38 l/s, pero en la conducción desde Tena hasta Anapoima, el sistema pierde 15 l/s debido a conexiones fraudulentas realizadas en el área rural. De esta forma no es posible garantizar suministro continuo para el municipio.

Es importante tener en cuenta que la actividad económica predominante de Anapoima está basada en el turismo, por lo cual la población flotante aumenta los fines de semana y temporadas de vacaciones haciendo que el problema de desabastecimiento sea mayor; por otro lado se encuentra la condición climática, que en temporada de verano alcanza 27° aproximadamente lo que causa disminución en el caudal aportado por la Quebrada La Honda, generando déficit e

intermitencia en el suministro de agua potable. Además de esto las poblaciones localizadas en las partes más altas del municipio presentan problemas de presión y no cuentan con el servicio adecuado, por lo cual en las condiciones más críticas se requiere solicitar carrotanques a la Empresa de Servicios Públicos del Tequendama.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿La evaluación técnico económica de las alternativas consideradas en este estudio, es suficiente para establecer la posible solución al déficit de suministro de agua potable en el municipio de Anapoima?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El propósito de esta investigación está fundamentado principalmente en el estudio de la caracterización de los sistemas de suministro de agua potable en los Municipios del departamento de Cundinamarca, específicamente en el Municipio de Anapoima donde se presenta actualmente un déficit en el sistema de abastecimiento, esto con fin de evaluar la eficiencia de su funcionamiento y plantear las alternativas más convenientes que permitan garantizar que la red de agua potable sea asequible, con dotaciones continuas y suficientes para el 100% de la población.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar la factibilidad para la optimización del sistema de acueducto del Municipio de Anapoima, con base en el diagnóstico del suministro actual de agua potable y la evaluación técnica y económica de las alternativas de abastecimiento planteadas que permitan mejorar las condiciones de suministro actuales y satisfacer el déficit actual.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la población de diseño de acuerdo a los censos actuales del Municipio.
2. Determinar la demanda del Municipio.
3. Evaluar las condiciones del suministro actual de agua potable (fuentes, redes, caudal y calidad de servicio).
4. Estudiar diferentes alternativas para el abastecimiento de agua del Municipio, que permitan satisfacer el déficit actual.
5. Comparar técnica y económicamente las alternativas para la optimización del acueducto de Anapoima.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

- ***Acometida:*** Derivación de la red local del servicio de acueducto que llega hasta el registro de corte de un inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. (RAS 2000, 2009)
- ***Aducción:*** Transporte de agua cruda sin tratamiento desde la fuente de abastecimiento hasta la planta de Purificación de Agua ya sea por medio de tubería, canal o túnel.
- ***Aguas Potable:*** Es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en el presente decreto y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.
- ***Aguas del Tequendama:*** Empresa de servicios Públicos de Anapoima encargada de la operación y funcionamiento del acueducto del Municipio en estudio.
- ***Bocatoma:*** Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente de abastecimiento y la ingresa al sistema de acueducto.
- ***Bombeo:*** Sistema empleado para la elevación de agua u otro fluido, compuesto por bombas que añaden energía a los líquidos, intercambiando energía a través del movimiento de los alabes.
- ***Calidad del Agua:*** Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.

- **Captación:** Lugar físico en el que se toma el agua de la(s) fuente(s) de abastecimiento del Municipio mediante una estructura hidráulica.
- **Caudal ecológico:** El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua (RAS 2000, 2009)
- **Conducción:** Transporte de agua potable tratada desde la planta de purificación hasta el tanque de almacenamiento o red de distribución. Esta se realiza mediante Tuberías o túneles.
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica. (RAS 2000, 2009)
- **Diámetro nominal:** Es una denominación comercial con la cual se conoce comúnmente el diámetro de una tubería, a pesar de que algunas veces su valor no coincida con el diámetro real interno. (RAS 2000, 2009)
- **Diseños Fase I:** Hace referencia a los estudios y diseños presentados en las etapas preliminares. Son estudios generales que permiten obtener una idea gruesa del alcance y los costos de las diferentes alternativas de solución para el proyecto.
- **Diseño Fase II:** Son los estudios que se realizan en el momento que la idea es aceptada e inicia la estructuración de un proyecto. Son estudios más detallados de la alternativa que se eligió en los estudios fase I.
- **Diseño Fase III:** Corresponden a los estudios y diseños definitivos de la alternativa seleccionada. Son estudios de detalle y son utilizados para realizar la construcción del proyecto.

- **Dotación:** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en una unidad de tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes. (RAS 2000, 2009)
- **Empresa de Acueducto de Bogotá (EAAB):** Empresa de servicios Públicos de Bogotá encargada de la operación y funcionamiento del acueducto de la capital. Esta empresa está asociada al proyecto con una alternativa de vender agua en bloque al municipio de Anapoima.
- **Fuente de Abastecimiento:** Punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta temporalmente para ser utilizada, regresando finalmente a la naturaleza (Hilleboe, 2004). Existen dos tipos de fuentes de abastecimiento: fuentes de abastecimiento superficiales, y fuentes de abastecimiento subterráneas.
- **Nivel de complejidad:** Rango en el cual se clasifica un proyecto el cual depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, su capacidad económica o el grado de exigencia técnica que se requiera (RAS 2000, 2009)
- **Periodo de diseño:** Número de años durante los cuales una obra determinada ha de prestar con eficiencia el servicio para el que se diseñó (López Cualla, 2003).
- **Población de diseño:** Cantidad de habitantes proyectados que habitarán el municipio cuando se cumpla el periodo de retorno planteado.
- **Población flotante:** Población de alguna localidad que no reside permanentemente en ella y que la habita por un espacio corto de tiempo por razones de trabajo, turismo o alguna otra actividad temporal. (RAS 2000, 2009)
- **Proyección de Población:** Método estadístico para realizar la estimación de la población

futura de un municipio. Se puede realizar por diferentes métodos.

- **Red de distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo. (RAS 2000, 2009)
- **Red matriz:** Parte de la red de distribución que conforma la malla principal de servicio de una población y que distribuye el agua procedente de la conducción, planta de tratamiento o tanques de compensación a las redes secundarias. La red primaria mantiene las presiones básicas de servicio para el funcionamiento correcto de todo el sistema, y generalmente no reparte agua en ruta. (RAS 2000, 2009)
- **Red secundaria de distribución:** Parte de la red de distribución que se deriva de la red primaria y que distribuye el agua a los barrios y urbanizaciones de la ciudad y que puede repartir agua en ruta. (RAS 2000, 2009)
- **Sostenibilidad:** La sostenibilidad se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovabilidad del mismo. La sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. (RAS 2000, 2009)
- **Tanque de Almacenamiento:** Estructura hidráulica utilizada para acumular agua teniendo en cuenta que el caudal de captación no es siempre constante, con el fin de garantizar el suministro continuo en el municipio.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Proyecciones de Población

Para el diseño de las estructuras hidráulicas de la red de suministro de agua potable es determinante el cálculo de la población futura del municipio, para desarrollar este cálculo es necesario conocer los censos poblacionales y a partir de ellos estimar de manera acertada la población futura de acuerdo a su comportamiento a través de los años.

Considerando las características particulares del municipio se pueden considerar los siguientes métodos para la proyección de la población (López Cualla, 2003):

- Método de Comparación gráfica
- Método lineal o aritmético
- Método de Crecimiento Geométrico
- Método de crecimiento logarítmico
- Teorema de Wappus

Sin embargo, mediante la resolución 2320 del 2009, se excluye dentro del (RAS 2000, 2009), el método de Wappus como admitido para calcular proyecciones de población. A continuación, se presenta una breve descripción de los métodos de proyecciones de población establecidos en el (RAS 2000, 2009).

2.2.1.1 *Método de comparación gráfica*

El método consiste en tomar mínimo tres municipios con características similares al municipio que se está estudiando. Se realizan las proyecciones de población de los municipios en los que se conocen los diferentes censos, y se estima que el crecimiento de población del municipio en estudio se puede considerar como el promedio de los crecimientos de los otros municipios, partiendo desde el último censo de población del municipio en estudio.

2.2.1.2 Método de Crecimiento Lineal o Aritmético

Este método se basa en el principio que el crecimiento de la población de un municipio es constante y la proyección de la población tiene un comportamiento de línea recta. La ecuación que rige a este método es la siguiente:

$$\frac{dP}{dt} = k_a \quad (1)$$

2.2.1.3 Método de Crecimiento Geométrico

En este método se estima que el crecimiento de la población en un municipio se asemeja al comportamiento del interés compuesto. La ecuación que determina este método es la siguiente:

$$P_f = P_{UC} (1 + r)^{(T_f - T_{UC})} \quad (2)$$

Dónde:

- Pf: Población Futura
- P_{UC}: Población Último Censo
- r: Tasa de Crecimiento Anual
- T_f: Año al que se proyecta la población
- T_{UC}: Año del último censo

2.2.1.4 Método de Crecimiento Logarítmico

En este método se tiene como premisa principal que la variación de la población en el tiempo no es constante, sino que depende adicionalmente de la población que se está analizando. Esta se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{dP}{dt} = k_g P \quad (3)$$

2.2.2 Consumo de Agua

Con el fin de determinar el caudal de agua requerido en una población para un año determinado, se requiere además de la proyección de la población, el cálculo del consumo de agua de cada población. Para esto se debe tener en cuenta que el consumo de agua se divide en tres grandes áreas que deben ser tenidas en cuenta para el cálculo.

2.2.2.1 Consumo Residencial o Doméstico:

Corresponde al consumo que se hace en las viviendas del municipio y normalmente es el mayor valor del consumo. (RAS 2000, 2009), da unos parámetros para el cálculo de acuerdo con la población que tenga el municipio.

2.2.2.2 Consumo Comercial y Público:

Hace referencia al consumo que se realiza en los locales comerciales, oficinas de índole público, instalaciones educativas.

2.2.2.3 Consumo Industrial:

Dentro de este tipo de consumo se encuentra todos los requerimientos de agua para el funcionamiento de la industria del municipio. Se deben tener en cuenta los diferentes tipos de industria y no se debe generalizar puesto que, cada industria tiene diferentes finalidades, y el consumo de agua difiere de acuerdo con su finalidad

2.2.3 Pérdidas de Agua

Las pérdidas de agua en el sistema de acueducto corresponden a la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen de agua entregado a la población y que ha sido medido en las acometidas domiciliarias del municipio. (RAS 2000, 2009)

Existen dos tipos de pérdidas dentro de un sistema de acueducto. Las pérdidas técnicas en el sistema, y las pérdidas comerciales.

2.2.3.1 Pérdidas técnicas del sistema:

Son pérdidas que se generan dentro del funcionamiento nato del sistema y de sus elementos. Incluyen las fugas en tuberías y accesorios y en estructuras, como reboses en tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento, etc.

2.2.3.2 Pérdidas Comerciales de la red:

Las pérdidas comerciales son aquellas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la persona prestadora del servicio. Estas pérdidas incluyen las conexiones fraudulentas, los suscriptores que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación de la empresa y los caudales dejados de medir por imprecisión o deficiente operación de los micromedidores domiciliarios. (RAS 2000, 2009)

2.2.4 Aguas Subterráneas.

Para el análisis de las alternativas se considera el abastecimiento de agua a partir de fuentes subterráneas, para dicho fin se hace una breve descripción de la clasificación de estas de acuerdo a su estructura geológica.

2.2.4.1 Clasificación de las formaciones geológicas

Acuífero: Formación geológica que contiene una gran cantidad de agua y que permite que fluya a través de ella con facilidad. Por ejemplo, Arenas o gravas

Acuicludo: Formación geológica que contiene una gran cantidad de agua y que no permite que fluya a través de ella. Por ejemplo, Limos y Arcillas

Acuitardo: Formación geológica que contiene una gran cantidad de agua y que fluye a través de ella con dificultad. Por ejemplo, Arenas arcillosas y areniscas

Acuífugo: Formación geológica que no contiene agua porque no permite que fluya a través de ella. Por ejemplo, Granito o Esquistos

2.2.4.2 Tipos de Acuíferos

Acuíferos Libres: Son aquellos que su superficie libre está a presión atmosférica. (Ver Figura. 2-1).

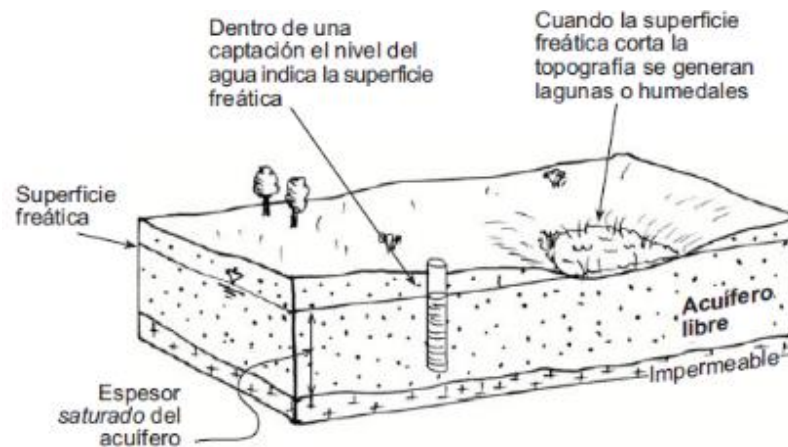


Figura. 2-1. Acuífero Libre.

Fuente: Javier Sánchez – Univ. De Salamanca

Acuíferos Semiconfinados: Son acuíferos a presión, pero alguna de sus capas confinantes son semipermeables o acuitardos, y a través de ellos llegan filtraciones. (Ver Figura. 2-2)

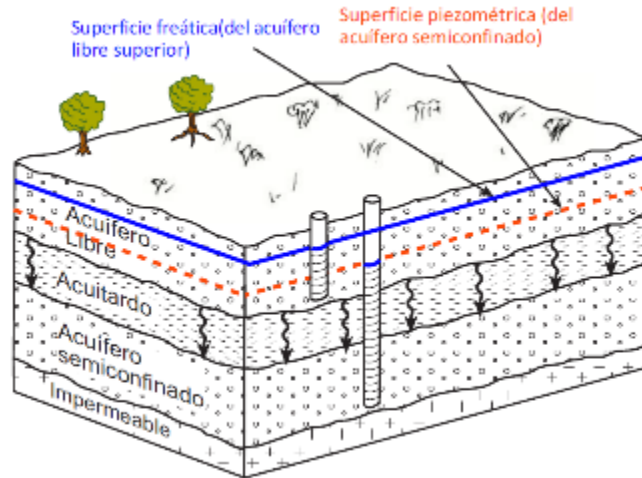


Figura. 2-2. Acuífero Semiconfinado.

Fuente: Javier Sánchez – Univ. De Salamanca

Acuíferos Confinados: Son aquellos cuyo límite superior se encuentra a presión superior a la atmosférica. (Ver Figura. 2-3)

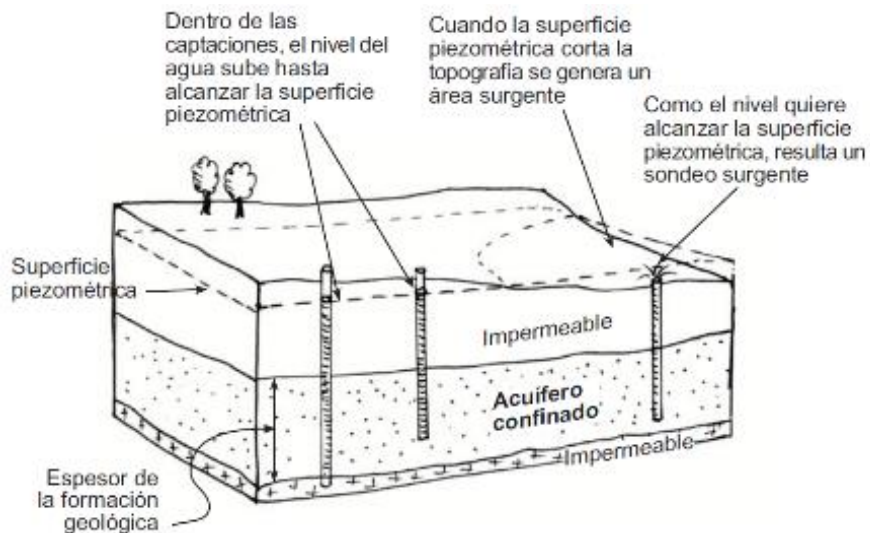


Figura. 2-3. Acuífero Confinado.

Fuente: Javier Sánchez – Univ. De Salamanca

2.2.4.3 Parámetros Hidráulicos de las Aguas Subterráneas

Transmisividad, es el caudal de agua subterránea que circula por una sección de acuífero de altura el espesor saturado y anchura la unidad cuando el gradiente hidráulico es la unidad, se puede clasificar de acuerdo a la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Parámetros de Transmisividad.

T (m ³ /día)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1 l/s con 10 metros de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 metros de depresión
100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50 l/s con 10 metros de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 metros de depresión
T<1000	Muy alta	Más de 100 l/s con 10 metros de depresión

Fuente IGME 1.984

Coefficiente de almacenamiento (S) es el volumen de agua que es capaz de liberar un prisma de acuífero de base unitaria y altura la del espesor saturado (b), cuando el potencial hidráulico varía la unidad. Es un parámetro adimensional. El coeficiente de almacenamiento en un acuífero cautivo (se suele denominar también coeficiente de almacenamiento elástico), se puede clasificar de acuerdo a la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Parámetros de Coeficiente de Almacenamiento.

Material Permeable	Acuífero	S (Valores medios)
Kárstico: Calizas y dolomías jurásicas	Libre	2.10 ⁻²
	Semiconfinado	5.10 ⁻⁴
	Confinado	5.10 ⁻⁵
Calizas y dolomías cretácicas y terciarias	Libre	2.10 ⁻² – 6.10 ⁻²
	Semiconfinado	10 ⁻³ – 5.10 ⁻⁴
	Confinado	10 ⁻⁴ – 5.10 ⁻⁵
Poroso intergranular gravas y arenas	Libre	5.10 ⁻² – 15.10 ⁻²
	Semiconfinado	10 ⁻³
	Confinado	10 ⁻⁴
Kársticos y porosos Calcarenitias marinas terciarias	Libre	10.10 ⁻² – 18.10 ⁻²

Fuente IGME 1.984

2.3 MARCO JURÍDICO

MARCO LEGAL			
NOMBRE	AÑO	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de Colombia	1991	Artículo 366	El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación.
Resolución 1096 de 17 de Noviembre	2000	Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS	El presente reglamento tiene por objeto señalar los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, señaladas en el artículo 14, numerales 14.19, 14.22, 14.23 y 14.24 de la Ley 142 de 1994, que adelanten las Entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien haga sus veces.
Decreto 1575 de 9 de Mayo	2007	Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano	El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causadas por su consumo, exceptuando el agua envasada. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.

MARCO LEGAL			
NOMBRE	AÑO	IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Decreto 849 de 30 de Abril	2002	Reglamento del artículo 78 de la Ley 715 de 2001	Determina la destinación de los recursos de propósito general y establece un porcentaje de destinación específica para el sector de agua potable y saneamiento básico. Que dichos recursos se destinarán al desarrollo de las competencias asignadas a los municipios y distritos en agua potable y saneamiento básico. Que para el cambio de destinación de estos recursos, el Gobierno Nacional deberá determinar los requisitos que deberán cumplir los municipios y distritos con el fin de realizar dicho cambio y estará condicionado a la certificación que expida la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

El Municipio de Anapoima se encuentra ubicado en la Provincia del Tequendama en el departamento de Cundinamarca, a 68 km de la capital de Bogotá por la vía que conduce a La Mesa – Girardot.

Sus límites son:

Por el Norte: Municipio de La Mesa y Quipile.

Por el Occidente: Municipio de Apulo y Tocaima.

Por el Sur: Municipio de Viotá

Por el Oriente: Municipio de El Colegio.

Las generalidades del municipio son las siguientes:

Altitud media: 710 m.s.n.m.

Temperatura promedio: 28 ° C – 30 ° C

Distancias a la Capital: 87 Km.

Población (2015): Total de 13.312 habitantes y urbana de 5.709 habitantes.

En la Figura. 2-4. Localización de Municipio de Anapoimase ve en resumen la localización del municipio.

2.5 MARCO DEMOGRÁFICO

De acuerdo con el censo realizado en el año 2005 por el DANE, el municipio de Anapoima contaba a ese año con una población de 11.337 habitantes de los cuales 4.804 corresponden a la población ubicada en la Cabecera del municipio y 6.533 al restante, mostrando que la mayoría de los habitantes del municipio se ubican en zonas rurales. El 50.9 % de la población son hombres y el 49.1 % mujeres (DANE, 2017)

Dentro de estos, el 46% de la población cuenta con Alcantarillado y el 85.7% con Acueducto, contando también con un promedio de 3.1 personas por hogar. Así mismo, es importante mencionar que el 46.8% de los establecimientos se dedican al comercio, actividad de gran importancia en el municipio (DANE, 2017)

Según proyecciones del DANE, para el año 2017, el municipio contará con 13.713 habitantes, siendo alrededor de 5.800 habitantes de la zona urbana y el restante rural, datos que no difieren mucho de los suministrados por el Sisbén para el mismo año.

El catastro de usuarios que se encuentran registrados en la Empresa Aguas de Tequendama es de 4850 usuarios en el Municipio.

Vale la pena resaltar que el municipio presenta un importante volumen de población flotante, llegando incluso a duplicar su población en algunas temporadas del año, como resultado del importante volumen de visitantes que provienen de municipios aledaños.



Figura. 2-4. Localización de Municipio de Anapoima

Fuente: Internet

2.6 ESTADO DEL ARTE

Actualmente el suministro de agua potable para la población de un municipio en Colombia, el cual sea de manera continua y abastezca al 100% de sus habitantes, es uno de los grandes retos de la sociedad especialmente de las entidades prestadoras de servicios públicos y los entes gubernamentales encargados, dicha preocupación lleva a analizar diferentes situaciones en torno al recurso, con el fin de resolver o dar alternativas que disminuyan el impacto que tiene en la población no contar con acceso al mismo.

Es así, como (Cabrera Ramírez, 2015), realiza el diseño para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable de la vereda “el tablón” municipio de Chocontá (Cundinamarca). El proyecto se enfocó en mejorar el sistema de captación, tratamiento y distribución del acueducto, con el fin de brindar agua potable en condiciones de calidad y continuidad óptimas para el consumo humano y de esta manera mejorar las condiciones de salubridad. Se evaluaron varias alternativas como la optimización del sistema de abastecimiento, un plan de reforestación y protección para el área productora de agua y una campaña de sensibilización y concientización a la comunidad cercana a la fuente sobre manejo de agroquímicos en el medio ambiente, llegando a la conclusión que la mejor opción es una combinación de todas las alternativas, ya que todas en conjunto y actuando simultáneamente van a generar cambios significativos en la comunidad, logrando esto únicamente con el compromiso de la comunidad y con la ayuda de sectores públicos y privados que estén dispuestos a realizar la inversión necesaria para las obras y demás evaluadas en el proyecto.

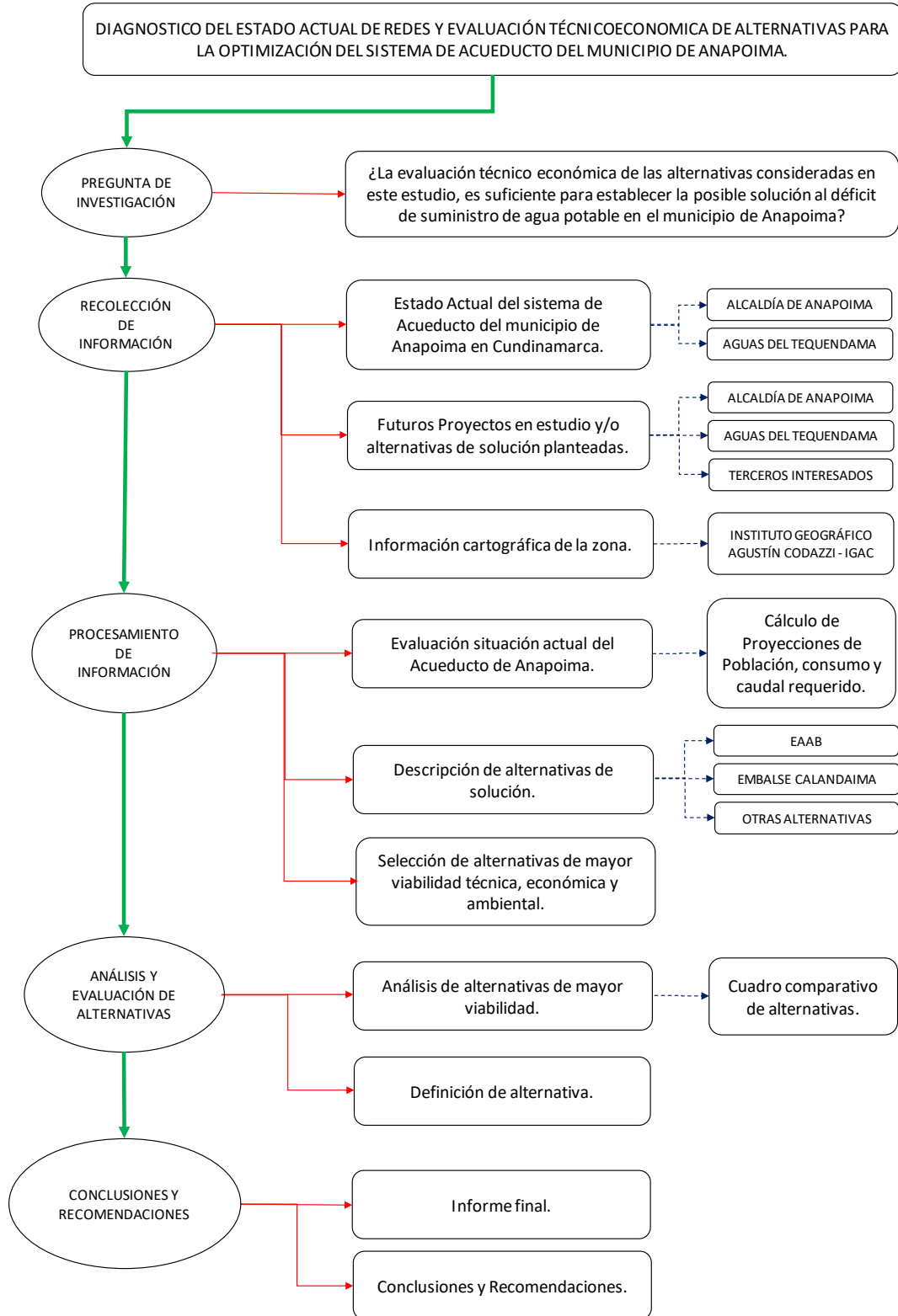
(Arias Arenas, 2013) presentó las consideraciones y análisis adicionales realizados sobre la línea de impulsión La Playita – tanque elevado zona minera en el municipio de Quibdó con el fin de proponer otras alternativas de funcionamiento y operación de esta línea de conducción, identificando problemas como la actual fuente de abastecimiento, el río Cabí, el cual sufre una problemática ambiental grave, ya que recibe directamente altas cargas contaminantes provenientes de la minería extractiva, del vertimiento de aguas residuales y de la disposición de residuos; la

inexistencia de un sistema consolidado de macromedición y micromedición, el mal estado de la infraestructura, los equipos, las redes, los accesorios y la gran proliferación de acometidas ilegales.

Se consideraron alternativas, nuevas fuentes de suministro como lo es el río Tambo, el cual cuenta con la cabeza hidráulica necesaria para alimentar una PTAP nueva que permitiría hacer distribución a todo el casco urbano; se analizaron varias alternativas de trazado para suministrar el consumo del recurso, basados en la topografía del terreno, concluyendo que la mejor alternativa era aquella que tenía un grado de confiabilidad medio frente a las demás alternativas, debido a que la rotura o falla de alguna de las líneas generaría un abastecimiento parcial a todos los usuarios de esta zona en un lapso de 3 horas y 10 minutos, situación que no causaría un traumatismo de consideración mientras se normaliza la línea colapsada, frente a las demás alternativas que tienen un grado de vulnerabilidad alto, debido a que una falla o rotura de la línea generaría el desabastecimiento completo de los usuarios.

(Hernandez Jiménez & García Perez, 2015) encontraron en la Vereda Chacua del municipio de Sibaté, que el acueducto opera de forma inadecuada, ya que los parámetros fisicoquímicos en cuanto a la calidad del agua no cumplen con las normas vigentes, concluyendo que el sistema presenta deficiencias en sus redes de aducción, conducción, tratamiento y distribución, principalmente en la calidad del agua, como consecuencia del uso de elementos no aptos para el transporte de agua potable, las conexiones fraudulentas, el deterioro de las fuentes de abastecimiento y la falta de programas de vigilancia de las redes. Sin embargo, se realizó la ampliación del esquema de tratamiento de aguas, la adquisición de equipos de medición y la actualización de las redes de distribución del sistema.

3 METODOLOGÍA



3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

3.1.1 Fase 1. Recolección de Información.

Inicialmente se realizó esta fase en la cual se reunió la información necesaria para realizar el diagnóstico del sistema de acueducto del Municipio de Anapoima, con el fin de cumplir este objetivo esta fase se dividió en las siguientes actividades específicas:

- Visita al Municipio de Anapoima para el reconocimiento de la situación actual del sistema de abastecimiento de agua potable, en esta reunión contamos con el acompañamiento del coordinador de Aguas del Tequendama para Anapoima, Javier Arevalo, se realizó un registro fotográfico e inspección visual de las condiciones de funcionamiento de los componentes del sistema, también se indagó a los usuarios sobre la calidad del servicio.
- Verificación de información levantada en planchas IGAC, se realizara la verificación de los datos de entrada obtenidos con el fin de asegurar la veracidad de los entregables a realizar.
- Reunión con personal de planeación de la Alcaldía de Anapoima, teniendo en cuenta la información obtenida en las actividades mencionadas anteriormente y su respectivo análisis, se proyecta una reunión con el personal de planeación con el fin de conocer su perspectiva e iniciativas para el problema de déficit de suministro de agua potable del Municipio, si se cuenta en la actualidad con algún proyecto para mitigar dicho problema.
- Se realizó una reunión con personal de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la cual se suministró la información acerca del proyecto *Estudio de factibilidad para la ampliación del sistema red matriz acueducto a municipios del occidente*.

- Igualmente con el apoyo del Ingeniero Ernesto Torres, asesor del presente trabajo de grado, fue posible conseguir el informe de *Actualización y complementación de la factibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto de embalse calandaima*.
- Considerando que la información del estudio de factibilidad del Proyecto Embalse Calandaima se ha ido actualizando, se realizó la investigación mediante la entidad Empresas Públicas de Cundinamarca, donde se obtuvo la información radicada de estudios y diseños para dicho proyecto.

3.1.2 Fase 2. Procesamiento de Información.

Con el fin de tomar en consideración toda la información obtenida, esta fase la se dividió en dos etapas importantes, las cuales se describen a continuación.

3.1.2.1 Etapa 1. Diagnóstico de suministro de Agua Potable - Anapoima

En esta fase se realizará la descripción del estado actual de las redes de agua potable que actualmente abastecen al Municipio de Anapoima, de acuerdo a la información recolectada previamente se desarrolló la caracterización del sistema actual y su análisis, se plantean las siguientes actividades:

1. Revisión de Fuentes de abastecimiento, se evaluarán las fuentes para el sistema actual sus características, así como identificar posibles fuentes alternas.
2. Validación de las redes instaladas, con este análisis se espera determinar la calidad del servicio que se está presentando en la actualidad, teniendo en cuenta parámetros tales como caudal entregado, tiempo de suministro de agua potable, número de usuarios conectados al sistema, índice de agua no contabilizada, entre otros, con el fin de definir ciertamente en cuales condiciones específicas se está fallando.

3. Cálculo de requerimientos mínimos, se establecerán las exigencias mínimas con las cuales se podrá mitigar el déficit existente en la red de agua potable y así mismo aquellas que permitan dimensionar a futuro, se proyectara la población, caudal, nivel de servicio, nivel de complejidad, etc.

3.1.2.2 Etapa 2. Descripción y selección de alternativas de optimización.

En esta fase se realiza la descripción más precisa de cada una de las alternativas previstas para la optimización del sistema de suministro de agua potable del Municipio de Anapoima, de acuerdo a la información recolectada en etapas previas, como resultado final de esta etapa se espera definir 2 (dos) alternativas, las cuales serán las que mejor se ajusten a las necesidades del sistema objeto de estudio. El desarrollo de esta etapa se realizara de la siguiente manera:

1. Se realiza una descripción detallada de las alternativas previstas de acuerdo a la información recolectada en fases previas. Para esta descripción se tendrán en cuenta parámetros como caudal suministrado, presión de operación, tiempo de operación, etc.
2. Con base en la información antes descrita se realizara la selección de 2 (dos) de las alternativas, teniendo como consideración la viabilidad para la solución del problema de abastecimiento, de acuerdo a las características técnicas, económicas, ambientales y de estudios previos desarrollados.

3.1.3 Fase 3. Análisis y evaluación de alternativas.

Teniendo en cuenta que el objetivo de este documento se refiere a la selección de la alternativa que es más conveniente para solucionar el sistema de abastecimiento de agua potable del Municipio de Anapoima se realizan las siguientes actividades:

1. La aproximación se desarrolla por medio de un cuadro comparativo en el cual se consideran los aspectos más importantes, relacionados con las condiciones y

características técnicas, económicas, sociales, ambientales, legales o cualquier aspecto que sea relevante para la solución del problema.

2. De acuerdo a lo descrito en el cuadro comparativo elaborado en etapas previas se selecciona la alternativa que de acuerdo al análisis sea la más viable y favorable para el sistema de suministro de agua potable del Municipio de Anapoima, se resaltan los criterios de selección.

3.1.4 Fase 4. Conclusiones y Recomendaciones.

A partir de la información obtenida en las fases anteriores se plasman las conclusiones y recomendaciones de la alternativa seleccionada, la cual será la propuesta para optimizar el sistema de acueducto del Municipio de Anapoima.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Teniendo en cuenta que el estudio se basa en el análisis de información dependiendo de diferentes variables que permitan el mejoramiento del servicio de abastecimiento de agua potable en el Municipio de Anapoima se consideran que las herramientas a utilizar serán las siguientes:

- Computador.
- Planos digitales de la zona.
- Distanciómetro.
- Decámetro.
- Herramienta menor.

4 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

4.1 EVALUACIÓN SITUACIÓN ACTUAL DEL ACUEDUCTO DE ANAPOIMA.

4.1.1 Descripción del Sistema de Acueducto de Anapoima

El municipio de Anapoima, ubicado en el departamento de Cundinamarca, presenta seis (6) fuentes de abastecimiento actualmente, dos (2) principales y las otras cuatro (4) que corresponden a acueductos veredales que prestan el servicio a algunos sectores del municipio, sin embargo, el aporte de estos no será considerado en el análisis ya que es muy pequeño para las demandas requeridas por el sistema y no presenta incidencia importante.

Anapoima, de acuerdo con información suministrada por funcionarios de Aguas del Tequendama, se encuentra dividido en tres sectores para el suministro de agua potable teniendo en cuenta la capacidad y disponibilidad de cada una de las fuentes de abastecimiento existentes. La sectorización se describe a continuación, así como se muestra gráficamente en la Figura. 4-1 y Figura. 4-2.

- **Zona I:** Corresponde a los sectores altos del municipio, zonas rurales en su mayoría con pequeños asentamientos urbanos. Esta zona es alimentada por la planta de purificación de agua de La Chica, correspondiente al sistema de abastecimiento de la quebrada La Honda.
- **Zona II:** Corresponde a la zona urbana (nuevos desarrollos) del municipio ubicada en la parte alta del sector antiguo. Esta se alimenta, al igual que la Zona I por la planta de purificación de agua de La Chica, correspondiente al sistema de abastecimiento de la quebrada La Honda.
- **Zona III:** Corresponde a la zona urbana antigua del municipio donde se ubican la plaza central y las edificaciones correspondientes a la alcaldía y demás instituciones municipales. Esta zona es alimentada por la planta de purificación del Río Bogotá, correspondiente al sistema de Mesa de Yeguas.

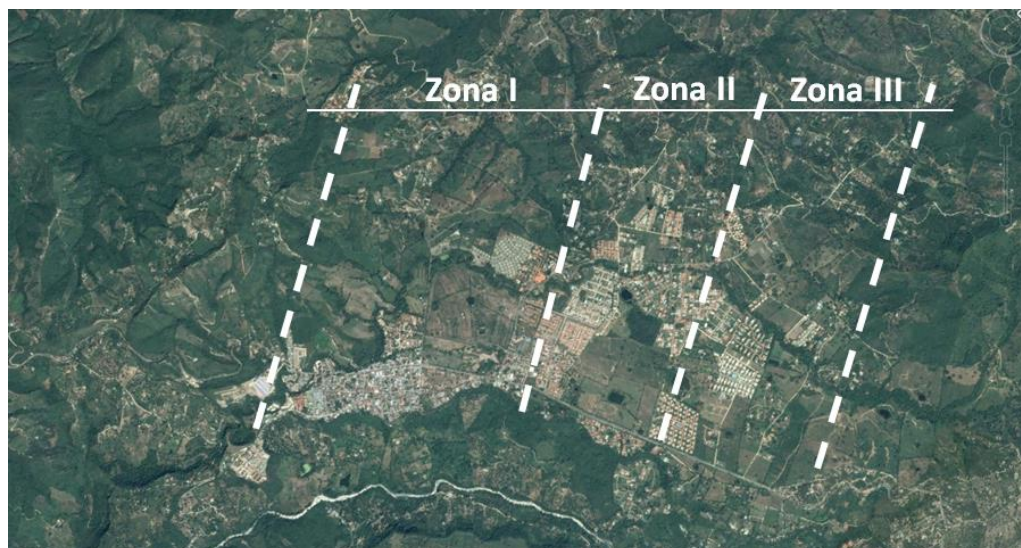


Figura. 4-1. Sectorización de Abastecimiento de Anapoima.

Fuente: Google Earth.



Figura. 4-2. Plano de Sectorización de Abastecimiento Anapoima.

Fuente: Aguas del Tequendama.

Bajo estas condiciones, a continuación, se realiza la descripción y el posterior diagnóstico de los sistemas que captan el agua de estas fuentes de abastecimiento.

4.1.1.1 Quebrada la Honda

La Quebrada La Honda se encuentra ubicada en el municipio de Tena como se identifica en la Figura. 4-3, es una de las fuentes de abastecimiento mediante una bocatoma de fondo con capacidad de 60 L/s, esta deriva el agua a un desarenador capaz de tratar el mismo caudal desviado por la bocatoma. La conducción se realiza en un trayecto de aproximadamente 10 km por medio de tuberías que se encuentran entre 8 y 10” hasta la planta de tratamiento de La Mesa, se conoce que los materiales de esta conducción son (PVC, AC, American Pipe, y Acero).



Figura. 4-3. Localización de Quebrada La Honda.

Fuente: Google Earth.

Esta zona presenta problemas de estabilidad debido a socavación de la quebrada, los cuales afloran en temporadas invernales por la saturación del suelo. (Movimientos lentos del terreno – reptamiento). Este fenómeno genera fallas en los empates de las tuberías a causa de los

movimientos en masa y lo cual hace que se vea afectado directamente el servicio de agua potable para el municipio por suspensiones inesperadas.

El segundo tramo de este sistema corresponde a la línea se encuentra ubicada entre la planta de tratamiento de La Mesa hasta la planta de tratamiento de Anapoima (La Chica), con una longitud aproximada de 11 km, y un diámetro de 6” en su gran mayoría de PVC (Se empata con la tubería existente de AC en Anapoima). La planta de tratamiento La Chica (Ver Figura. 4-4) es una planta compacta construida en 1985 con capacidad para tratar 25 L/s. Los procesos que incluye esta planta son: mezcla rápida (Ver Figura. 4-5), floculación hidráulica, sedimentación y filtración. Para realizar el aforo de caudal del mismo, la planta cuenta con un vertedero triangular para medir el agua cruda (Ver Figura. 4-6 y Figura. 4-7).

El municipio cuenta con dos tanques de almacenamiento aledaños a la planta de tratamiento, cada uno con capacidad de 400 m³. Adicional a estas estructuras, el Municipio cuenta con el Tanque Las Delicias con capacidad de 300 m³ y Las Mercedes con capacidad de 100 m³. La conducción desde la planta de tratamiento hacia el Tanque Las Mercedes se realiza mediante una línea de PVC de 6” (Parte alta del municipio) y hacia el tanque Las Delicias mediante una línea de 6” y 4” en PVC (Parte baja del municipio).

4.1.1.1 Embalse Mesa de Yeguas

El Condominio Mesa de Yeguas estableció un convenio con la CAR en la cual se permitía embalsar la quebrada Campos de manera que este embalse sirviera de abastecimiento para el conjunto y de recreación mediante actividades de piscicultura y deportes acuáticos, en la Figura. 4-8 se indica la localización de dicho embalse. Debido a que el municipio tenía problemas de abastecimiento, se permitió que el mismo sacara agua del Embalse de Mesa de Yeguas (Ver Figura. 4-9).

Este sistema consiste en la derivación del caudal establecido en el convenio suscrito con el Condominio Mesa de Yeguas, mediante una bocatoma lateral (Ver Figura. 4-10) conectada a una

aducción que se realiza por gravedad en tubería de 24", la cual llevará el líquido a un pozo de succión correspondiente al primer bombeo (Figura. 4-11), para posteriormente enviarlo a la portería principal del municipio Mesa de Yeguas mediante una línea de impulsión de 6" en una longitud aproximada de 2.200 m.



Figura. 4-4. Planta Compacta de Tratamiento de Agua Potable La Chica.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-5. Proceso de Mezcla Rápida – PTAP La Chica.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-6. Vertedero Triangular – PTAP La Chica

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-7. Medición de Caudal – PTAP La Chica.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-8. Localización Embalse Mesa de Yeguas.

Fuente: Google Earth.



Figura. 4-9. Embalse Mesa de Yeguas.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-10. Bocatoma Embalse Mesa de Yeguas.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura. 4-11. Sistema de Bombeo Mesa de Yeguas.

Fuente: Elaboración Propia.

En la portería de Mesa de Yeguas se encuentra una cámara de quiebre de presión No. 1, la cual conecta por gravedad mediante una línea de 6" con la cámara de quiebre de presión ubicada en la Carretera El Triunfo. De esta cámara se continúa una línea de 6" hasta la planta de tratamiento del antiguo bombeo del Río Bogotá, Figura. 4-12, en una longitud aproximada de 5.200 m.



Figura. 4-12. Planta de Tratamiento de Agua Potable Río Bogotá.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta es una planta compacta en la cual se realizan procesos de purificación de agua. Posteriormente se traslada al Tanque Las Delicias de donde se realiza la distribución a los usuarios del Acueducto del Municipio.

De acuerdo a la información descrita en el Capítulo 4.1.1, con relación a las condiciones del sistema de acueducto en Anapoima, a continuación, se desarrolla su análisis teniendo en cuenta las proyecciones de población, las condiciones de caudal ofertado y demandado y otros aspectos que se deben tener en consideración, esto con el fin de determinar las necesidades actuales y definir las mejores alternativas para la problemática presenta.



Figura. 4-13. Tanque de Almacenamiento – PTAP Río Bogotá.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Proyecciones de población

A partir de los censos establecidos en la página del DANE (Tabla 4-1), se realizó la proyección de población del municipio a 2017.

Tabla 4-1 Censos Poblacionales de Anapoima.

AÑO	POBLACIÓN
1951	6.185
1965	6.868
1985	8.084
1993	8.269
2005	11.337

Elaboración Propia

Fuente. DANE, 2017.

Basándose en los criterios establecidos en el Título B del (RAS 2000, 2009) se definió el nivel de complejidad del Municipio (Tabla 4-2).

Tabla 4-2 Nivel de Complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente. RAS 2000, Edición 2013.

Con base en la información de las características de población y la capacidad económica de los usuarios, se puede establecer que Anapoima tiene un nivel de complejidad Medio Alto, de acuerdo a esta caracterización el (RAS 2000, 2009) establece los métodos más recomendables para el cálculo de la población (Tabla 4-3).

Tabla 4-3 Métodos para el calculo de población.

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético, geométrico, exponencial, otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X
Método gráfico	X	X		

Fuente. RAS 2000, Edición 2013.

Revisando la Tabla 4-3 se define que los métodos a utilizar son el aritmético, geométrico y exponencial para realizar la proyección de la población.

A partir de esta información se realizaron los cálculos de acuerdo a los métodos descritos en el Capítulo 2.2.1 del presente documento, a continuación, se muestra la Tabla 4-4 resumen con el análisis de estos datos y su interpretación gráfica en la Figura. 4-14.

Tabla 4-4 Resumen Proyecciones de Población

AÑO	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	MÉTODO EXPONENCIAL	PROMEDIO
1951	6.185	6.185	6.185	6.185
1965	6.868	6.868	6.868	6.868
1985	8.084	8.084	8.084	8.084
1993	8.269	8.269	8.269	8.269
2005	11.337	11.337	11.337	11.337
2007	11.650	11.724	11.574	11.649
2012	12.432	12.757	12.240	12.476
2017	13.213	13.895	12.944	13.351
2022	13.995	15.147	13.689	14.277
2027	14.777	16.528	14.476	15.260
2032	15.559	18.052	15.309	16.307
2037	16.341	19.735	16.190	17.422

Fuente. RAS 2000, Edición 2013.

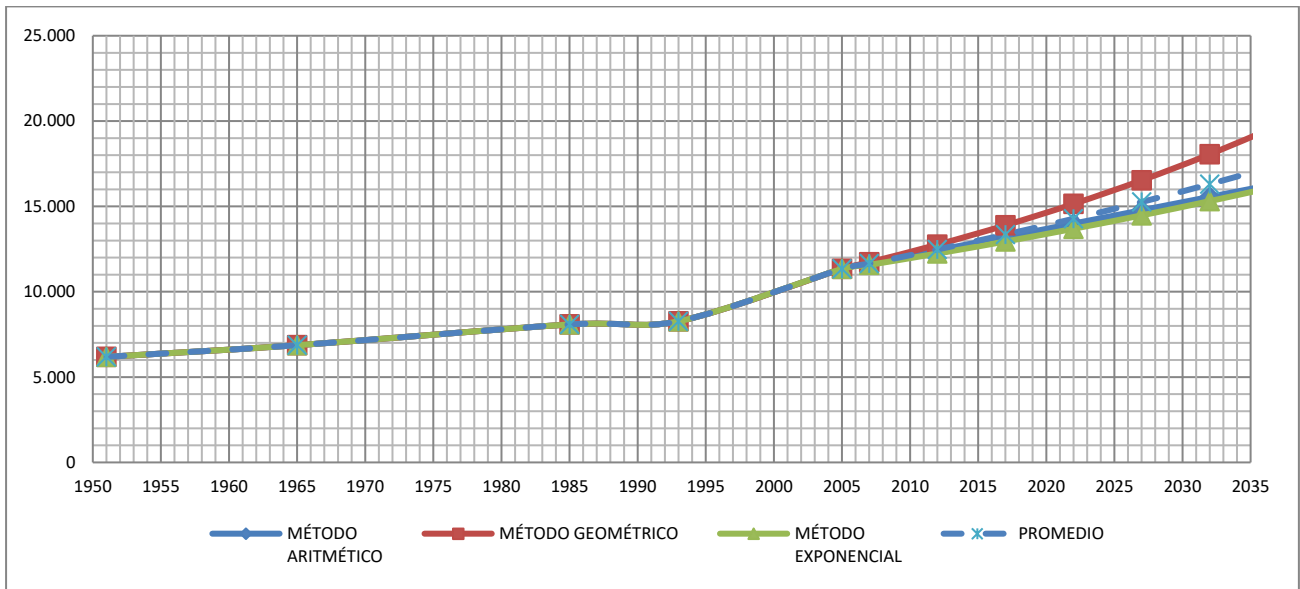


Figura. 4-14 Proyecciones de Población Anapoima.

Fuente. Elaboración Propia.

4.1.3 Estimación Población Flotante.

Teniendo en cuenta que el municipio de Anapoima basa una de sus principales actividades económicas en el turismo, se debe tener en cuenta el crecimiento en población y por tanto en consumo que tiene el Municipio los fines de semana y en los periodos de vacaciones, es decir, la población flotante.

En reunión sostenida con el coordinador de Aguas del Tequendama, correspondiente al Municipio de Anapoima, manifestó que la población del municipio se aumenta casi en el 100% los fines de semana y en temporadas vacacionales, lo cual afecta de manera considerable el sistema de abastecimiento del Municipio en esos periodos.

Se solicitó la lectura de los macro medidores del municipio para identificar la real magnitud de los consumos realizados los fines de semana y en temporadas vacacionales, pero informaron que no contaban con la información, ya que apenas iban a iniciar un proceso para la contratación de un proveedor que realice la instalación de los mismos.

Sin embargo, la Empresa de Servicios Públicos remitió un reporte de los caudales suministrados en los periodos vacacionales, el cual indica crecimiento en el consumo del orden del 60%.

4.1.4 Aspectos Complementarios.

De acuerdo con información suministrada por el coordinador de Aguas del Tequendama, correspondiente al Municipio de Anapoima, se establecieron dos factores relevantes a ser tenidos en cuenta para el análisis del sistema actual del municipio los cuales se describen a continuación:

- Anteriormente, debido a la intermitencia del servicio de acueducto en el municipio, la mayoría de personas construyeron tanques de almacenamiento en sus viviendas con

diferentes capacidades de acuerdo a sus necesidades, pero que en las proyecciones realizadas por la empresa no se tuvieron en cuenta para proyectar las necesidades de agua en el municipio.

- Teniendo en cuenta que una de las principales actividades económicas del Municipio es la del turismo, se generó una indiscriminada construcción de piscinas y jacuzzis, lo que afectó de manera considerable el caudal requerido por el municipio para abastecimiento.

4.1.5 Cálculo de la Dotación del Municipio.

De acuerdo con lo establecido en la Tabla 4-5, se puede determinar que para una población con un nivel de complejidad del sistema medio alto y una temperatura media de 28 a 30° C, se establece un consumo per cápita de 135 l/hab x día, tal como se muestra en la tabla adjunta:

Tabla 4-5. Dotación por habitante de acuerdo al nivel de complejidad.

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (L/hab•día) climas templado y frío	Dotación neta (L/hab•día) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente. RAS 2000, Edición 2013.

Igualmente teniendo en consideración el (RAS 2000, 2009), en el título B del numeral 2.5.3- Dotación Neta Según el Uso del Agua: *“Sin embargo, para aquellos sistemas del acueducto donde los consumos del uso residencial representan más del 90%del consumo total de agua potable, el cálculo de agua se puede realizar teniendo en cuenta únicamente la dotación neta residencial sumándole a esta un porcentaje que tenga en cuenta los otros usos en forma agrupada*

según los datos de consumo existentes.”, se procede a calcular la dotación neta total obteniendo lo siguiente en la Tabla 4-6:

Tabla 4-6. Cálculo de la Dotación Total Neta del sistema en el año base.

Pérdidas del sistema	
15%	
Dotación neta	
135,00	L/hab x día
Otros usos	
25%	
Dotación neta total	
169,00	L/hab x día
Dotación bruta total	
199,00	L/hab x día

Fuente. Elaboración Propia.

El (RAS 2000, 2009) establece además que las pérdidas comerciales deben ser como máximo el 7%, si se establece que es un sistema que se ha caracterizado por presentar fallas por desempates y por conexiones erradas para efectos del cálculo se establecen pérdidas iniciales del sistema del orden de 15%, y una optimización de 0.5% cada 5 años mientras el sistema se encuentra en funcionamiento. Esto se logra controlando las conexiones ilegales y capacitando a la población con estrategias de cuidado y protección de la red existente, de esta forma este esfuerzo debe implementarse en mayor medida en el sistema de la Quebrada La Honda, toda vez que su conducción es más larga, y el sistema se encuentra más asequible para usuarios y población en general.

Se estipula que el incremento en el consumo de la población cada 5 años que equivale al 10% del incremento en la población del municipio, el cual se refleja en la Tabla 4-7. Para el cálculo de la dotación proyectada, al igual que para el cálculo de los caudales se utilizó la

proyección de población promedio resultado de computar los métodos aritmético, geométrico y exponencial, tal como se determinó anteriormente.

Adicionalmente se plantea un 25% de la dotación neta residencial para las actividades complementarias del municipio de acuerdo con lo establecido en el (RAS 2000, 2009), que fue relacionado anteriormente. Con base en estos supuestos se proyecta el cálculo de la dotación neta y bruta del municipio de la siguiente forma:

Tabla 4-7. Proyección de la dotación neta del municipio.

AÑO	POBLACIÓN	INCREMENTO POBLACIÓN	INCREMENTO CONSUMO	% PÉRDIDAS	DOTACIÓN BRUTA	DOTACIÓN NETA
2.007	11.649			15,00%	199,00	169,00
		7,10%	0,71%			
2.012	12.476			14,50%	200,00	171,00
		7,01%	0,70%			
2.017	13.351			14,00%	201,00	173,00
		6,94%	0,69%			
2.022	14.277			13,50%	202,00	175,00
		6,89%	0,69%			
2.027	15.260			13,00%	203,00	177,00
		6,86%	0,69%			
2.032	16.307			12,50%	204,00	179,00
		6,84%	0,68%			
2.037	17.422			12,00%	205,00	180,00

Fuente. Elaboración Propia

4.1.6 Cálculo Caudal Requerido.

Con base en los resultados establecidos anteriormente se procede a calcular la proyección de los caudales medio, máximo diario y máximo horario para realizar los análisis respectivos. En la Tabla 4-8 se presentan los resultados de los caudales calculados.

Tabla 4-8 Cálculo de caudales requeridos.

AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN (L/hab x día)	Q _{MEDIO} (l/s)	k ₁	Q _{MAX DIARIO} (l/s)	k ₂	Q _{MAX HORARIO} (l/s)
2.007	11.649	169	22,79	1,2	27,34	1,65	45,12
2.012	12.476	171	24,69	1,2	29,63	1,65	48,89
2.017	13.351	173	26,73	1,2	32,08	1,65	52,93
2.022	14.277	175	28,92	1,2	34,70	1,65	57,26
2.027	15.260	177	31,26	1,2	37,52	1,65	61,90
2.032	16.307	179	33,78	1,2	40,54	1,65	66,89
2.037	17.422	180	36,30	1,2	43,55	1,65	71,87

Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo a la información mostrada anteriormente, se puede determinar que con base en los censos poblacionales y algunas características del municipio, para el año 2017 se requeriría un caudal (medio diario) de 26.73 l/s, el cual es mayor al suministrado actualmente al municipio, según información suministrada por el funcionario de Aguas de Tequendama del municipio de Anapoima, que corresponde a 23 l/s.

Es importante tener en cuenta que dentro de este análisis preliminar no se tuvo en cuenta la población flotante del municipio, la cual va a ser analizada posteriormente, sin embargo se realizó una proyección en el caudal de diseño requerido teniendo en cuenta la población flotante. A continuación se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 4-9.

Tabla 4-9 Cálculo de caudales considerando población flotante.

AÑO	POBLACIÓN	DOTACIÓN (L/hab x día)	Q _{MEDIO} (m ³ /s)	k ₁	Q _{MAX DIARIO} (m ³ /s)	k ₂	Q _{MAX HORARIO} (m ³ /s)
2.007	18.638	169	36,46	1,2	43,75	1,65	72,19
2.012	19.962	171	39,51	1,2	47,41	1,65	78,23
2.017	21.361	173	42,77	1,2	51,33	1,65	84,69
2.022	22.843	175	46,27	1,2	55,52	1,65	91,61
2.027	24.417	177	50,02	1,2	60,02	1,65	99,04
2.032	26.090	179	54,05	1,2	64,86	1,65	107,03
2.037	27.875	180	58,07	1,2	69,69	1,65	114,98

Fuente. Elaboración Propia

4.1.7 Análisis del caudal demandado con relación al caudal ofertado.

Según el estado actual del acueducto del municipio, en la planta de purificación La Chica se captan 23 l/s, mientras que en la planta de purificación del Río Bogotá se captan los 15 l/s restantes, para un total de 38 l/s que es lo que se suministra actualmente al municipio

Con base en los análisis realizados anteriormente, los cuales han sido planteados en un escenario un poco más conservador que el que en realidad ocurre en el municipio, se puede apreciar que, de acuerdo con los datos históricos de la población del municipio, se requeriría para el año de 2.017 un caudal de 43 l/s, muy superior a lo que a la fecha Aguas de Tequendama suministra al municipio.

Esto genera que el municipio tenga que realizar campañas de racionamiento, y que la cobertura del servicio dentro del municipio no sea completa, de allí que algunas zonas del municipio deben ser abastecidas por carro tanques.

Es importante tener en cuenta que para el análisis numérico de los sistemas de abastecimiento, se realiza la comparación con el caudal medio diario ya que en las plantas se cuenta con tanques de almacenamiento, los cuales cubren los picos requeridos por la población

4.2 EVALUACIÓN ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

4.2.1 Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

4.2.1.1 Descripción General del Proyecto.

En Noviembre de 2013 se realizó el *Estudio de factibilidad para la ampliación del sistema red matriz acueducto a municipios del occidente*, (EAAB, 2013) en el cual se presentaron varias alternativas para dar solución al problema de déficit en el abastecimiento de municipios de

occidente de Cundinamarca. Dicho documento fue emitido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Entre las alternativas presentadas se seleccionó aquella que se consideró como la mejor de acuerdo a los puntos de alimentación, el aprovechamiento e incidencia sobre la infraestructura existente en la red matriz de Bogotá, así como el menor impacto causado sobre los corredores viales disponibles y las afectaciones prediales ocasionadas.

La alternativa consiste en el reforzamiento del sistema actual por medio de la implementación de una estación de bombeo que entrega, con tanques elevados, a puntos de suministro de agua en bloque en los municipios, se reforzará la red matriz en Bogotá por la carrera 97ª y la avenida Centenario hasta la carrera 128, con una estación de bombeo tipo booster en el barrio Puente Grande de Fontibón, haciendo también un refuerzo en la conducción Mosquera-Madrid paralela a la vía nacional, colocando tuberías principales de derivación a los municipios y tanques de almacenamiento elevados como se ve en la Figura. 4-15 y el resumen de la Tabla 4-10.

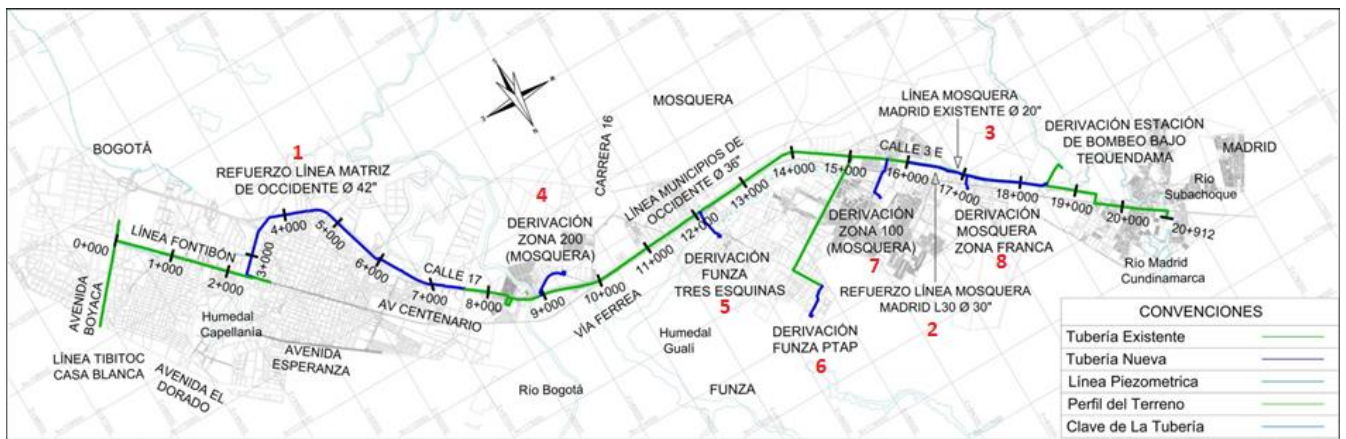


Figura. 4-15 Diagrama de Planteamiento de Proyecto EAAB

Fuente. (EAAB, 2013).

Tabla 4-10 Resumen de Redes Proyecto EAAB.

Tramo	Nombre	Longitud (m)	Diámetro (pulgadas)
1	Refuerzo Línea Matriz de Occidente	5100,8	42
2	Refuerzo Línea Mosquera Madrid	1046,22	30
3	Refuerzo Línea Mosquera Madrid	1413,83	24
4	Derivación Mosquera Zona 200	758,09	14
5	Derivación Funza Tres Esquinas	644,12	18
6	Derivación Funza PTAP	638,13	20
7	Derivación Mosquera Zona 100	784,06	16
8	Derivación Mosquera Zona Franca	249,64	18
Longitud Total Redes Matrices Proyectadas		10634,89	

Fuente. (EAAB, 2013).

4.2.1.2 Descripción de la Propuesta Seleccionada.

Con la alternativa seleccionada se proyecta atender una población total de 550.000 habitantes al año 2042, incluyendo los municipios de Funza, Mosquera, Madrid y el Bajo Tequendama (Bojacá, La Mesa y Anapoima, 90.000 habitantes para estos tres municipios), y con una capacidad de suministrar un Caudal Máximo Diario de 1455 l/s, de los cuales 181 l/s serían suministrados a los municipios de Bojacá, La Mesa y Anapoima. El proyecto garantiza presión suficiente para suministrar los caudales requeridos en cada derivación, con entrega en tanques elevados a los municipios de Funza y Mosquera, a la estación de bombeo del Bajo Tequendama y a la PTAP de Madrid como se observa en la Tabla 4-10.

El Refuerzo de la Línea Matriz de Occidente, se realizará con una tubería de 42 pulgadas desde la calle 22 con carrera 96ª, hasta el punto inicial de la línea existente, en una longitud de 5.1 km, teniendo en cuenta que la actual es una tubería de 36 pulgadas en acero. El refuerzo se instalará con una tubería tipo CCP (Concreto Para Presión).

El punto de interconexión con el sistema actual del refuerzo a la Red Matriz de Occidente se realiza sobre la Red Matriz de Fontibón (42") ubicada en la Avenida Ferrocarril. Luego del empate, el trazado continúa por el costado sur paralelo a la vía férrea entre las carreras 96^c a 96^a, cambia de dirección hacia el sur por la ZMPA del canal central de Fontibón, al llegar a la Avenida Centenario se presenta un cambio de dirección de 42° donde se ubica una junta flexible de expansión. El trazado continúa por el costado norte de la Avenida Centenario; En la Carrera 111^a se realiza otro paso en túnel hacia el costado sur por donde continúa el alineamiento hasta el empate con la Línea a Municipios a la altura de la Calle 13 con Carrera 128 como se observa en la Figura. 4-16.

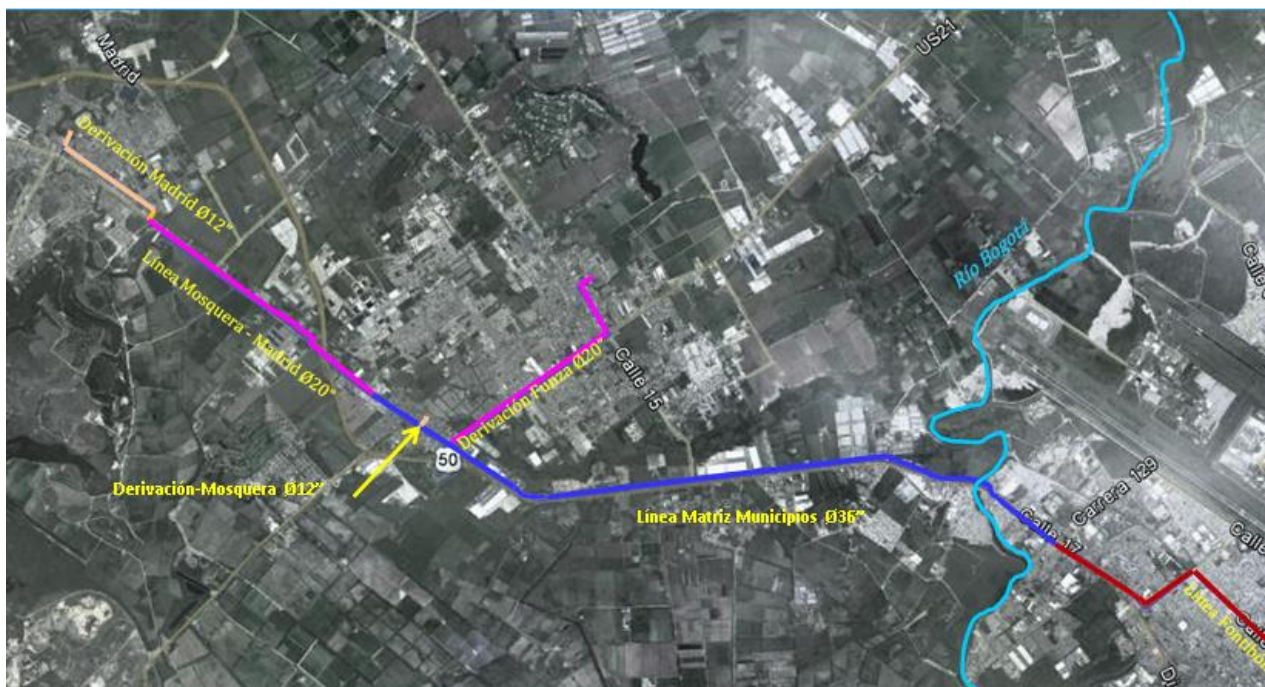


Figura. 4-16 Sistema de Distribución a los Municipios de Occidente.

Fuente. (EAAB, 2013).

La interconexión al sistema de abastecimiento existente de los municipios desde Bogotá (Línea expresa Fontibón – Madrid) con la tubería diseñada, inicia en la brida predefinida para tal fin sobre la tubería de 36" de diámetro según los planos del diseño original, ubicada en la Calle 3 del municipio de Mosquera.

Al llegar a la intersección circular con la Troncal de Occidente, el diseño atraviesa la glorieta alejado 4 metros de las pilas del puente vehicular y continúa por la vía de acceso al casco urbano de Madrid en una longitud de doscientos metros. En este punto, se deriva el caudal al tanque Zona Franca (Diámetro = 18”), y se reduce a 24”. La Línea Mosquera- Madrid continúa en un Ø24” hasta llegar al punto de derivación en Ø20” a la Estación de Bombeo del Bajo Tequendama a 650 metros del casco urbano de Madrid.

La estación de bombeo propuesta tiene el propósito de elevar la presión disponible en la línea de los municipios de occidente, aprovechando la presión residual de la misma. Por lo tanto, es de tipo booster, ya que la succión se conecta directamente de la línea de los municipios, y la descarga se conecta a la misma línea unos metros más adelante. La capacidad de la estación de bombeo, para el final del horizonte de planeamiento es de impulsar un flujo de 1,455 L/s, lo cual se logra con tres bombas en operación, una en stand-by, cada una con un caudal de 486 L/s, HDT (24 a 49 mca) con motor 300 Kw, 4000 V, para operar con variador de velocidad.

La Estación de Bombeo contará con una subestación eléctrica que incluye un Transformador de potencia de 1.600 kVA, 34,5-4,16 kV, para instalación exterior, con refrigeración ONAN. Se plantea construir edificaciones que respondan a la funcionalidad y características de las estaciones de bombeo, las cuales contemplan:

1. Estación de Bombas.
2. Zona de Descargue.
3. Zona de Montaje y Mantenimiento.
4. Cuarto de Celdas de Distribución y UPS.
5. Área de Celdas de Protección, mando y control de motores.
6. Celdas de entrada – salida, medida y protección.
7. Cuarto de Control de motores.
8. Depósitos.
9. Área de Servicios (Batería de baños y Cocineta)

Se consideraron 6 derivaciones con los siguientes puntos de suministro: Tres para Mosquera, dos para Funza, una compartida para el Acueducto del Bajo Tequendama y Madrid y una expresa para Madrid. Se propone la instalación de tanques elevados de suministro de 300 m³ con funcionamiento “A filo de Agua”, es decir no son de almacenamiento y/o compensación pues solo regulan alrededor del 10% del requerimiento total de almacenamiento, pero garantizan un caudal constante con un nivel mínimo operativo a 30 m sobre el suelo, en los puntos de entrega. A partir de esas estructuras, los prestadores locales del servicio de acueducto deberán proyectar su sistema de distribución.

El proyecto tendrá un sistema de Automatización, Control y Comunicaciones, que permite el manejo de la red matriz y comprende:

- Centro de control de Modelia del Acueducto de Bogotá.
- Sistema de control de la Estación de bombeo.
- Unidades terminales remotas a lo largo de la tubería de conducción.
- Instrumentación asociada a la estación de bombeo y a las estaciones reguladoras de presión.
- Sistema de comunicaciones para telemetría y telecontrol.

La Tabla 4-11 presenta las características generales de la obra del proyecto:

Tabla 4-11 Obras a Realizar en el Proyecto EAAB

ITEM	COMPONENTE	ELEMENTOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
1	Refuerzo Línea Matriz de Occidente en Fontibón	Refuerzo LMO	Tubería CCP - Clase 150 Caudal de Diseño Q= 1455 L/s Diámetro 42 pulgadas, Longitud = 5,1 Km, Cra 96 C con Calle 22, Cra 96A, Avenida Centenario, Calle 13 con Cra 128 en Bogotá
		Empates con Red Matriz Existente	Empate Ø42" x 42" con Línea Fontibón en la Cra. 96C con Av. Ferrocarril
			Empate Ø42" x 36" con Línea Municipios en la Calle 13 con Cra 128

ITEM	COMPONENTE	ELEMENTOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
		Cruces en Túnel Sistema Aueger Boring	Cruce Vial del Refuerzo Línea Matriz de Occidente en Bogotá AC17 con cra 96 A, L=40 m
			Cruce Vial del Refuerzo Línea Matriz de Occidente en Bogotá Avenida Centenario con cra 111 A, L=36 m
		Sistema de Protección Catódica	Con ánodos galvánicos en el tramo del sector de Capellanía paralelo al canal central de Fontibón
		Obras de Mitigación y Contingencia	Juntas Flexibles para Asentamientos y Movimientos Sísmicos: Al Inicio de la Línea y en el cambio de dirección sobre la Avenida Centenario
2	Refuerzo Línea Mosquera-Madrid y Derivaciones al Acueducto del Bajo Tequendama y Madrid	Refuerzo Línea Mosquera Madrid hasta Derivación Mosquera Zona Franca	Tubería CCP - Clase 150 -Caudal de Diseño Q= 582 L/s Diámetro 30 pulgadas, Longitud =1,05 Km, Inicia en la Cra 3 de Mosquera con Cra 7, hasta la Derivación a Mosquera Zona Franca
			Empate Ø36" x 30" con Línea Municipios
		Refuerzo Línea Mosquera Madrid desde Derivación Mosquera Zona Franca hasta el Municipio de Madrid	Tubería CCP - Clase 150 Caudal de Diseño Q= 364 L/s Diámetro 24 pulgadas, Longitud =1,35 Km, Inicia en la Derivación a Mosquera Zona Franca y termina con la Derivación al Acueducto del Bajo Tequendama
			Empate Ø24" x 20" con Línea Municipios
		Derivaciones al Acueducto Regional del Bajo Tequendama y Madrid	Tubería CCP - Clase 150 Ø 20" Caudal de diseño Q=451m, L=0,07 Km Empate con Tubería de 20" del Acueducto Regional del Bajo Tequendama
			By-Pass Madrid = Ø 20" Caudal de diseño Q=140 L/s L=0,11 Km, Dos Empates de Ø36" x 20" con Línea Mosquera Madrid existente
Estación Reguladora de Caudal y Presión (dos válvulas de 250 mm y una de 500 mm)			
3	Derivaciones y Puntos de Suministro con Tanques Elevados para los Municipios de Mosquera y Funza	Derivación Mosquera Zona 200	Tubería CCP - Clase 150 Ø14" Q=125 L/s, L =0,77 Km
			Obras de Mitigación : Dos juntas flexibles de Ø 350 mm al inicio y al final del ramal
			Empate Ø36" x 14" con Línea Municipios
			Estación Reguladora de Caudal y Presión (Una Válvula de 350 mm)
			Sistema de protección catódica con ánodos galvánicos

ITEM	COMPONENTE	ELEMENTOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
		Derivación Funza Tres Esquinas	Tanque Elevado de 300 m ³ a 30m de altura
			Tubería CCP - Clase 150 Ø18" Q=215 L/s, L =0,65 Km
			Cruce en Túnel Sistema Ramming - Vía Férrea L=20m
			Empate Ø36" x 14" con Línea Municipios
			Sistema de protección catódica con ánodos galvánicos
			Obras de Mitigación: Dos juntas flexibles de Ø 350 mm al inicio y al final del cruce del humedal
			Estación Reguladora de Caudal y Presión (Una Válvula de 450 mm)
			Tanque Elevado de 300 m ³ a 30m de altura
		Derivación Funza PTAP	Tubería CCP - Clase 150 -Ø20" Q=150 L/s, L =0,67 Km
			Empate Ø20" x 20" con Derivación Existente Funza PTAP
			Estación Reguladora de Caudal y Presión (Una Válvula de 500 mm)
			Tanque Elevado de 300 m ³ a 30m de altura
		Derivación Mosquera Zona 100	Tubería CCP - Clase 150 Ø16" Q=172 L/s, L =0,80 Km
			Empate Ø36" x 16" con Línea Municipios
			Estación Reguladora de Caudal y Presión (Una Válvula de 400 mm)
			Tanque Elevado de 300 m ³ a 30m de altura
Derivación Mosquera Zona Franca	Tubería CCP - Clase 150- Ø18" Q=202 L/s, L =0,30 Km		
	Empate Ø20" x 18" con Línea Municipios		
	Estación Reguladora de Caudal y Presión (Una Válvula de 450 mm)		
	Tanque Elevado de 300 m ³ a 30m de altura		
4	Estación de Bombeo Tipo Booster en Fontibón	Empates con Red Matriz Existente	Dos empates Ø36" x 36" con Línea Municipios (succión e impulsión)
		Sistema de Bombeo Booster Qt= 1455 L/s, HDT (24 -49 m)	Tres bombas en operación, una en stand-by. C/u con Q=486 L/s, HDT (24 a 49 mca) con motor 300 Kw, 4000 V, para operar con variador de velocidad

ITEM	COMPONENTE	ELEMENTOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
		Subestación Eléctrica	Transformador de potencia de 1.600 kVA con relación de transformación 34,5-4,16 kV, tensión de corto circuito de 6% (NTC 819), refrigeración ONAN, sellado y con encerramiento metálico para los bujes de 34,5 kV 4,16 kV.
		Obras de Mitigación y Contingencia	Dos by-pass de Ø36" con válvulas de mariposa con control hidráulico, actuador eléctrico y contrapeso
			Sistema de Control de Golpe de Ariete en la succión con dos válvulas de alivio anticipado con control hidráulico y control electrónico Ø12" y descarga a tanque
			Planta Eléctrica de Emergencia: Grupo electrógeno de emergencia de de 1.400 kW con factor de potencia 0,8 y 1.750 kVA, potencia efectiva en el sitio será de 1.258,3 kW con factor de potencia 0,8 y 1.572,8 kVA. La velocidad nominal será de 1.800 RPM y la altura de instalación será a 2.600 m.s.n.m.
5	Sistema De Automatización, Control y Comunicaciones	Sistema de Automatización, Control y Comunicaciones	Equipos y sistemas que permitirán el control, la automatización, adquisición de datos, telemedida y telecontrol de la Red Matriz: <ul style="list-style-type: none"> - Centro de control de Modelia del Acueducto de Bogotá. - Sistema de control de la Estación de bombeo. - Unidades terminales remotas a lo largo de la tubería de conducción. - Instrumentación asociada a la estación de bombeo y a las estaciones reguladoras de presión. - Sistema de comunicaciones para telemetría y telecontrol.

Fuente. (EAAB, 2013).

4.2.1.3 Etapas del Proyecto.

La alternativa tiene la flexibilidad de poderse implementar por etapas y aprovechar al máximo la capacidad de la infraestructura existente, se propone un cronograma de implementación que debe evaluarse de manera anual, a partir del crecimiento de la demanda que muestren tanto los municipios como la ciudad de Bogotá, el cual se presenta en la Figura. 4-17.

La Etapa 1 abarca los diseños detallados y construcción de líneas de construcción principal y derivaciones. La Etapa 2 incluye los diseños detallados y construcción de la estación de bombeo booster y tanques elevados. La Etapa 3 abarca el suministro y montaje de bomba adicional en la estación de bombeo.

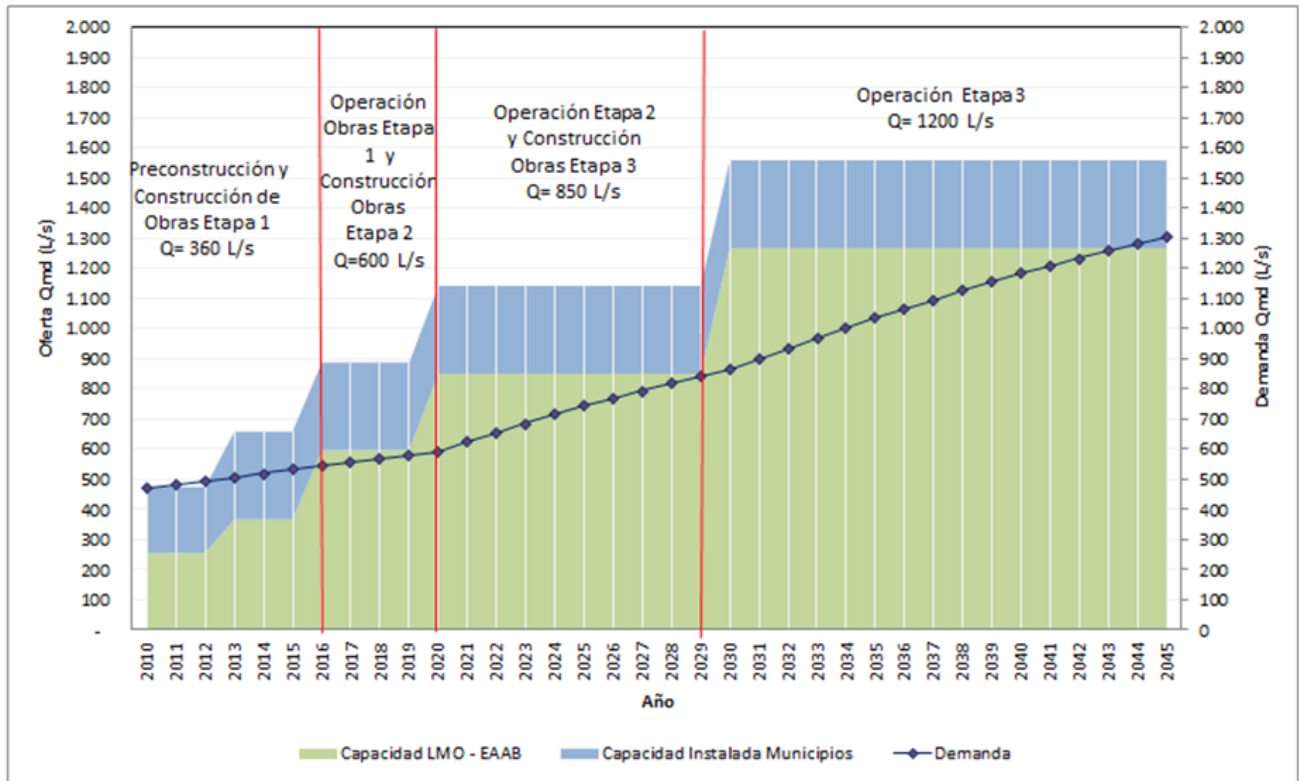


Figura. 4-17 Esquema de Etapas de operación de la alternativa.

Fuente: (EAAB, 2013)

4.2.1.4 Costos del Proyecto.

El valor total estimado del proyecto asciende a la suma de setenta y cinco mil cuatrocientos noventa y cinco millones de pesos colombianos de 2013, los cuales se discrimina en la Tabla 4-12

Tabla 4-12 Costos del Proyecto EAAB.

RESUMEN PRESUPUESTO (MILL PESOS COL MCTE – Año 2013)	
ADQUISICIÓN PREDIAL	\$8,050
COSTO DIRECTO ESTUDIOS Y DISEÑOS	\$1,610
COSTO DIRECTO OBRAS	\$49,232
AIU (25%) Sobre Consultorías y Obras Civiles (sin suministros de tuberías y accesorios)	\$11,019
IVA (16%) +AIU (5%) Sobre suministro de Tuberías y Accesorios	\$2,105
COSTO DE INTERVENTORIAS	\$3,479
COSTO TOTAL PROYECTO	\$75,500

Fuente: (EAAB, 2013)

El Plan Financiero estimado para cada etapa del proyecto, se presenta en la siguiente en la Tabla 4-13:

Tabla 4-13 Plan de Financiación Proyecto EAAB.

ETAPAS DEL PROYECTO	2013	2014	2015	2016	2019	2020	2029	VALOR TOTAL ETAPAS
FASE PRECONSTRUCCIÓN - ADQUISICIÓN PREDIAL	350	8.05						8400
ETAPA 1: DISEÑOS DETALLADOS Y CONSTRUCCIÓN LÍNEAS DE CONSTRUCCIÓN PRINCIPAL Y DERIVACIONES		4195	16721	16603				37519
ETAPA 2: DISEÑOS DETALLADOS Y CONSTRUCCIÓN ESTACIÓN DE BOMBEO BOOSTER Y TANQUES ELEVADOS					5666	22565		28231
ETAPA 3: SUMINISTRO Y MONTAJE BOMBA ADICIONAL ESTACIÓN DE BOMBEO							1345	1345
VALOR TOTAL ANUAL	350	12245	16721	16603	5666	22565	1345	75.495

Fuente: (EAAB, 2013)

4.2.2 Embalse de Calandaima.

4.2.2.1 Descripción General del Proyecto.

El Proyecto Embalse Calandaima nace de la necesidad evidenciada de tener una fuente de abastecimiento alterna para los periodos críticos de sequía y estiaje de las fuentes actuales de los municipios de Anapoima, Apulo, El Colegio, Tocaima y Viotá, de allí, el objeto de este proyecto es el suministro de agua para los acueductos urbanos y veredales de los Municipios antes mencionados, igualmente se espera con este proyecto la disminución drástica de las inundaciones y/o avenidas torrenciales de la parte media de la cuenca.

Dentro del estudio para el desarrollo de este proyecto se estudiaron catorce (14) escenarios diferentes para determinar los de mayor viabilidad, en general se puede decir que estas fueron consideradas con y sin el abastecimiento del Municipio de Anapoima, igualmente se tuvo en cuenta los periodos a abastecer, ya sea únicamente en los meses que los acueductos principales no lo hicieran o durante todo el año.

El proyecto se localiza en la subcuenca hidrográfica del río Calandaima la cual encuentra en jurisdicción de los municipios de El Colegio, Anapoima, Apulo y Viotá. Las aguas que recibe el río Calandaima provienen de las quebradas Campos, La Palma, La Sanjuana, Colorada, Modelia, Azufrada y La Ruidosa. Nace en la Cuchilla de Peñas Blancas y desemboca en el río Bogotá. No obstante, la parte de la cuenca que será objeto de aprovechamiento mediante el embalse sólo cubre el sector más alto de la cuenca, por encima de los 2.000 msnm, hasta la divisoria de aguas, en la Cuchilla Piedras Blancas, a una altitud cercana a los 2.600 msnm. El área de la cuenca a regular mediante el embalse es cercana a las 500 ha. Figura. 4-18.

La cuenca del río Calandaima hasta el sitio de presa posee una extensión de 507,20 ha y el caudal medio del río en este punto es de 100 l/s, lo cual indica que el rendimiento hídrico es de 19,72 l/s/km², característico de la zona, que posee una lluvia media anual de 1.495 mm.

De acuerdo a la información estudiada se espera que el embalse Calandaima pueda almacenar, 4.563.260 metros cúbicos para su utilización en épocas de sequía y controlar las inundaciones que puedan afectar la cuenca Calandaima, solo 4.148.260 m³ del volumen serán útiles. El área superficial para el reservorio propuesto es de aproximadamente 32 hectáreas. La altura de la obra será de 30 metros medidos desde el fondo del río, cuya cota es 2.019,5 m.s.n.m.

Además de la presa el proyecto contempla obras anexas, las cuales están conformadas por un conducto de desviación, una estructura de captación, una descarga de fondo y un vertedero de excesos, atendidos por una caseta de válvulas en donde estarán alojadas las oficinas y el centro de operación del Proyecto.

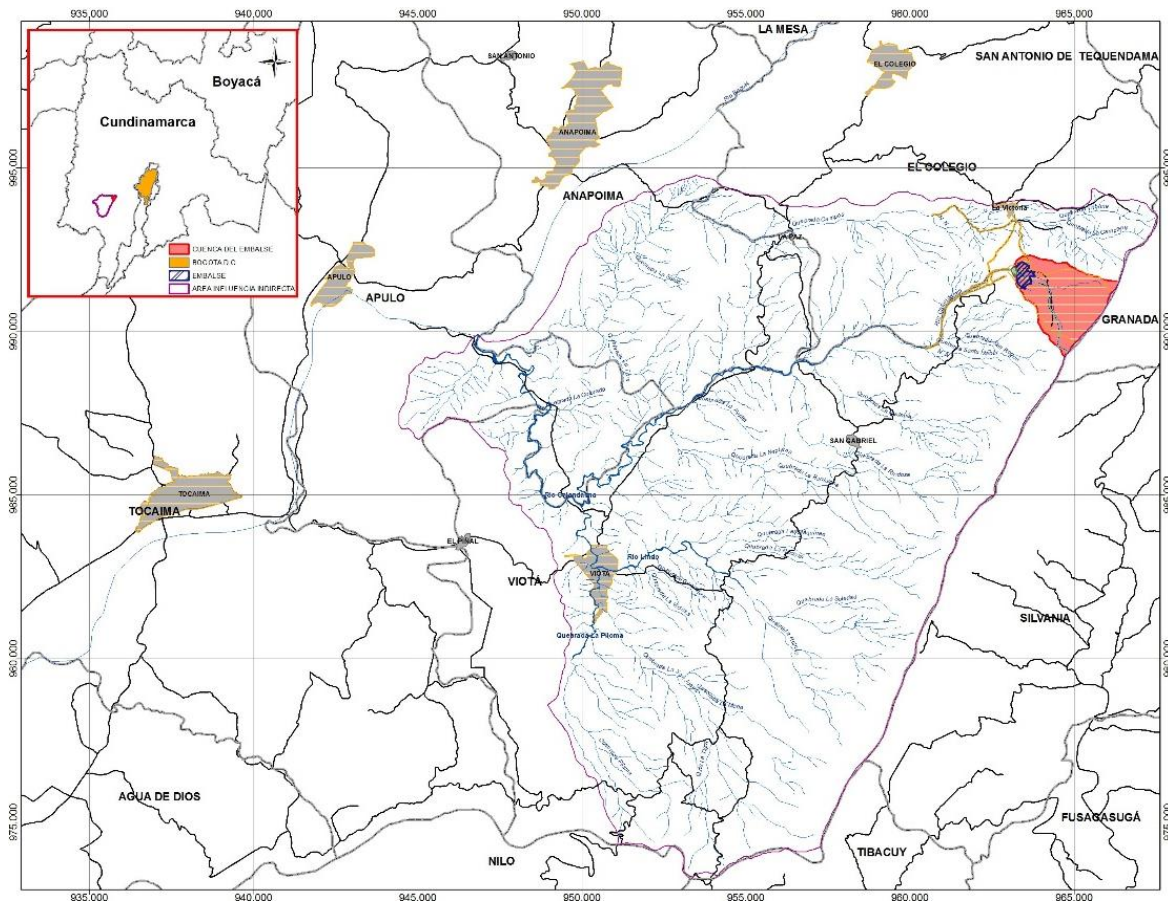


Figura. 4-18. Mapa de la subcuenta del río Calandaima y microcuenca del proyecto.

Fuente: Primer Informe Técnico – Diseños y estudios complementarios Proyecto Embalse Calandaima.2014

En la fase de factibilidad del estudio del Proyecto Embalse Calandaima se hace énfasis en la evaluación de siete (7) alternativas con el fin de determinar el mayor uso de dicho almacenamiento para cubrir las necesidades de los municipios antes mencionados:

1. Para todos los cinco municipios (Anapoima, El Colegio, Tocaima, Apulo y Viotá), con los caudales de demanda estimados de acuerdo con las proyecciones de población del estudio de factibilidad.

2. Atención de cuatro municipios, excepto Anapoima, con los caudales de demanda estimados de acuerdo con las proyecciones de población del estudio de factibilidad, y con la oferta hídrica disponible de 119,5 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2036.

3. Atención de tres municipios, excepto Anapoima y Tocaima, con los caudales de demanda estimados de acuerdo con las proyecciones de población del estudio de factibilidad, y con la oferta hídrica disponible de 119,5 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2061.

4. Atención de tres municipios, excepto Anapoima y Tocaima, con los caudales de demanda estimados de acuerdo con las proyecciones de población del estudio de factibilidad, y con la oferta hídrica disponible de 81,6 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2037.

5. Atención de sólo el municipio de Anapoima, con los caudales de demanda estimados según las proyecciones de población de la EAB, y con la oferta hídrica disponible de 119,5 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2026.

6. Atención de la demanda completa de los municipios de Tocaima y Apulo, y de 5 meses de verano de los municipios de El Colegio y Viotá (enero, febrero, marzo, julio y agosto), con oferta disponible de 119,5 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2065.

7. Atención de la demanda completa de los municipios de Tocaima y Apulo, y de 6 meses de verano de los municipios de El Colegio y Viotá (enero, febrero, marzo, julio, agosto y septiembre), con oferta disponible de 119,5 l/s., esta alternativa solo funcionara hasta 2059.

De acuerdo al estudio de las alternativas se evidencia que no es posible abastecer a los cinco (5) municipios con la oferta hídrica de generada por el embalse; sin embargo y como se mencionó líneas arriba si se espera atender la demanda durante los meses secos es necesario generar un modelo de operación del embalse que permita su llenado durante los meses de lluvias.

Dentro del desarrollo de los diseños detallados y los estudios complementarios del Proyecto Embalse Calandaima se puede establecer el estudio de fuentes alternas para el abastecimiento de agua potable en los municipios de Anapoima, Tocaima, El Colegio y Viotá, entre las cuales se encuentran para Anapoima venta de agua en bloque por parte de EAAB, para Tocaima la optimización de la captación y conducción existentes desde el río Magdalena, para El Colegio la optimización del acueducto de las quebradas Santa Marta, Antioquia y Antioqueña y para Viotá la optimización del acueducto del río Lindo y quebrada El Indio o Ruicito.

A continuación en la Tabla 4-14 se presenta en resumen la ficha técnica del proyecto, donde se indican las características principales del proyecto.

Tabla 4-14 Ficha Técnica Proyecto Calandaima
FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CALANDAIMA

Parámetro	Unidad	Cantidad
1. Características del río Calandaima y de la cuenca		
Área de la cuenca del río Calandaima hasta el sitio de presa	km ²	5,07
Longitud total del río Calandaima	km	25,0
Longitud del río Calandaima hasta el sitio de presa	km	3,16
Pendiente longitudinal media	%	16,19
Caudal medio del río Calandaima en el sitio de presa	m ³ /s	0,100
Rendimiento medio de la cuenca hasta el sitio de presa	l/s/ km ²	19,72
Caudal mínimo del río Calandaima en el sitio de presa	m ³ /s	0,018
Creciente máxima probable en el sitio de presa	m ³ /s	287
Creciente máxima probable transitada en el sitio de presa	m ³ /s	58,67
2. Características del embalse		
Volumen útil del embalse	m ³	4.148.260

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CALANDAIMA		
Volumen de sedimentación del embalse	m ³	245.984
Volumen muerto del embalse	m ³	415.000
Volumen total del embalse	m ³	4.563.260
Área total inundada con el (NAME)	ha	34,6
Área total inundada con el (NAMO)	ha	32,0
Tipo de regulación	-	Anual
Porcentaje de regulación	%	67,43
Coefficiente de capacidad del embalse	-	1,31
Nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E)	m.s.n.m	2.046,88
Nivel de agua máximo ordinario (N.A.M.O)	m.s.n.m	2.045,00
Nivel de agua mínimo de operación (N.A.M.I)	m.s.n.m	2.025,45
Cota del fondo del embalse	m.s.n.m	2.019,50
3. Características de la presa		
Ubicación	m	991.849 N – 963.193 E
Tipo de presa	-	Presa de tierra con núcleo central
Cota de la corona	m.s.n.m	2.049,50
Cota de la cimentación de la presa hasta el fondo del río	m.s.n.m	2.019,50
Borde libre a partir del N.A.M.E	m	2,62
Altura máxima	m	30
Longitud de la corona	m	323
Ancho de la corona	m	8
Inclinación del talud de aguas arriba	m	H 2,5 : V 1,0
Inclinación del talud de aguas abajo	m	H 2,4 : V 1,0
Ancho de la corona del núcleo central	m	8,0
Inclinación de los taludes del núcleo	m	H 1,00 : V 2,0
Volumen total de la presa incluyendo la ataguía	m ³	630.564
Volumen de la ataguía	m ³	53.456
Volumen de los espaldones	m ³	378.376
Volumen del núcleo central	m ³	133.793
Volumen de drenaje y filtros	m ³	53.722
Volumen del enrocado de protección	m ³	9.604
Volumen de recebo en la corona y en la vía sobre los taludes	m ³	1.613
Material de los espaldones	-	Material limo arcilloso de mayor permeabilidad
Material del núcleo central	-	Material limo-arcilloso de menor permeabilidad
Material de los drenajes	-	Gravas
Material de los filtros	-	Arenas con gravas
Área ocupada por la presa y obras anexas	ha	5,5
4. Características del dique 1		
Ubicación	m	992.125 N –963.500 E
Tipo de dique	-	Dique de tierra con núcleo central
Cota de la corona	m.s.n.m	2.048,00
Cota de la cimentación del dique hasta el fondo del río	m.s.n.m	2.025,90

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CALANDAIMA		
Borde libre a partir del N.A.M.E	m	1,12
Altura máxima	m	22,1
Longitud de la corona	m	199,5
Ancho de la corona	m	6
Inclinación del talud de aguas arriba	m	H 2,5 : V 1,0
Inclinación del talud de aguas abajo	m	H 2,4 : V 1,0
Volumen total del dique	m ³	114.855
Volumen de los espaldones	m ³	72.123
Volumen del núcleo central	m ³	26.850
Volumen de drenaje y filtros	m ³	12.449
Volumen del enrocado de protección	m ³	3.029
Volumen de recebo en la corona	m ³	404
Material de los espaldones	-	Material limo arcilloso de mayor permeabilidad
Material del núcleo central	-	Material limo-arcilloso de menor permeabilidad
Material de los drenajes	-	Gravas
Material de los filtros	-	Arenas con gravas
5. Características del dique 2		
Ubicación	m	991.800 N – 963.660 E
Tipo de dique	-	Dique de tierra con núcleo central
Cota de la corona	m.s.n.m	2.048,00
Cota de la cimentación del dique hasta el fondo del río	m.s.n.m	2.045,50
Borde libre a partir del N.A.M.E	m	1,12
Altura máxima	m	2,5
Longitud de la corona	m	23,7
Ancho de la corona	m	4
Inclinación del talud de aguas arriba	m	H 2,0 : V 1,0
Inclinación del talud de aguas abajo	m	H 2,0 : V 1,0
Volumen total del dique	m ³	660,5
Volumen de los espaldones	m ³	257
Volumen del núcleo central	m ³	187
Volumen de drenaje y filtros	m ³	169,5
Volumen del enrocado de protección	m ³	74
Volumen de recebo en la corona	m ³	33
Material de los espaldones	-	Material limo arcilloso de mayor permeabilidad
Material del núcleo central	-	Material limo-arcilloso de menor permeabilidad
Material de los drenajes	-	Gravas
Material de los filtros	-	Arenas con gravas
6. Características del vertedero		
Ubicación	-	Margen derecha del río Calandaima

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CALANDAIMA		
Tipo de vertedero	-	De ladera. Azud con perfil Creager y rápida continua
Caudal de diseño (creciente máxima probable, transitada a lo largo del embalse)	m ³ /s	58,67
Cota fondo del canal de aducción	m.s.n.m	2.043,50
Cota de la cresta	m.s.n.m	2.045,00
N.A.M.O. (Nivel de agua máximo ordinario)	m.s.n.m	2.045,00
N.A.M.E. (Nivel de agua máximo extraordinario)	m.s.n.m	2.046,88
Ancho del vertedero	m	10
Longitud total del vertedero	m	189,77
Longitud de la rápida	m	166
Longitud del tanque de confinamiento	m	15
Ancho del tanque de confinamiento	m	10
Cota fondo del tanque de confinamiento	m.s.n.m	1.994,00
Altura del muro de confinamiento	m	3,0
Cota cresta del muro de confinamiento	m.s.n.m	1.997,00
Longitud del enrocado de protección	m	24,0
Diámetro del enrocado de protección	M	1,0
7. Características de la captación		
Ubicación	m.s.n.m	Sobre el conducto de desviación, aguas arriba de la presa
Tipo de captación	-	Torre - Toma
Caudal de diseño (para desocupar el embalse)	m ³ /s	10,83
Cota de la solera de los orificios de captación	m.s.n.m	2.024,40
Cota de la clave de los orificios de captación	m.s.n.m	2.024,90
N.A.M.I. (Nivel de agua mínimo de operación)	m.s.n.m	2.025,45
Nivel de sedimentación frente a la captación	m.s.n.m	2.024,40
Longitud de la torre	m	2,20
Longitud de la tubería de descarga	m	78
Diámetro de la tubería de descarga	m	0,90
8. Características de la desviación durante construcción		
Ubicación	m.s.n.m	Margen derecha del río Calandaima
Tipo de desviación	-	Conducto de concreto
Caudal de diseño (Tr = 100 años)	m ³ /s	54,56
Cota de la solera en la sección inicial	m.s.n.m	2.019
Cota de la solera en la sección final	m.s.n.m	2.008
Cota de la corona de la ataguía	m.s.n.m	2.028,00
Altura de la ataguía	m	8,0
Sección transversal. Diámetro del conducto	m	3,20
Longitud del conducto de desviación	m	165
9. Características del suministro de agua a los acueductos por parte del embalse Calandaima		
Caudal medio diario del acueducto de Apulo	l/s	17,05
Caudal medio diario del acueducto de El Colegio	l/s	49,69

FICHA TÉCNICA DEL PROYECTO CALANDAIMA		
Caudal medio diario del acueducto de Tocaima	l/s	37,20
Caudal medio diario del acueducto de Viotá	l/s	18,13
Caudal medio diario del acueducto de Anapoima	l/s	79,2
Caudal medio diario de los acueductos rurales	l/s	79,89
Caudal medio diario total	l/s	281,11
Caudal máximo diario del acueducto de Apulo	l/s	22,17
Caudal máximo diario del acueducto de El Colegio	l/s	62,11
Caudal máximo diario del acueducto de Tocaima	l/s	48,35
Caudal máximo diario del acueducto de Viotá	l/s	23,57
Caudal máximo diario del acueducto de Anapoima	l/s	98,95
Caudal máximo diario de los acueductos rurales	l/s	99,86
Caudal máximo diario total	l/s	355,01
10. Datos climatológicos de la subcuenca del río Calandaima		
Precipitación media anual	Mm	1.495
Evaporación media multianual	mm/año	850
Temperatura media multianual	C°	178
Humedad relativa media mensual multianual	%	83

Fuente: Primer Informe Técnico – Diseños y estudios complementarios Proyecto Embalse Calandaima.2014

4.2.2.2 Etapas del Proyecto.

Fase preparatoria

1. Diseño definitivo: una vez se obtenga la licencia ambiental se procederá la adquisición de predios (incluye avalúos definitivos de predios, viviendas e instalaciones comunales, negociación con propietarios y adquisición) y amojonamiento de los linderos externos del área de uso público en tierra.
2. Luego se procederá a la licitación y contratación de la construcción de la presa, el embalse y sus instalaciones y equipos.
3. Zonificación del terreno según los diferentes usos.
4. Delimitación y cercado del terreno donde se ubicarán las instalaciones de apoyo para la etapa de construcción, con postes de 2,40 m de altura, cerramiento perimetral en alambre de púa y tela plástica.

5. Construcción y/o adecuación de servicios de apoyo para la etapa de construcción, tales como campamentos temporales, casino, áreas de aseo, casetas de oficinas, parque de maquinaria y equipo, área de almacenamiento de combustible y áreas de servicios sanitarios.
6. Construcción de la infraestructura de servicios, con trabajos de cimentación: red de suministro y tratamiento de agua de consumo, red de aguas residuales y sistema de tratamiento, red de recolección y almacenamiento temporal de residuos sólidos, sistema de almacenamiento de combustibles, subestación eléctrica y otros.
7. Selección definitiva de sitios de explotación de materiales de préstamo para la presa y vías, y negociación de los mismos.

Fase de construcción

1. Descapote y excavaciones del terreno donde se llevarán a cabo las construcciones.
2. Construcción de la atagüa y el túnel de desviación del río Calandaima durante la construcción.
3. Construcción de la presa: excavación en seco por medios mecánicos hasta las profundidades fijadas en planos, relleno y compactación del núcleo impermeable, relleno y compactación de espaldones.
4. Construcción de bocatoma.
5. Construcción de vertedero.
6. Instalación de equipos electromecánicos de operación.
7. Adecuación del tramo de vía de acceso.
8. Construcción de obras complementarias de operación. Parte de las construcciones y servicios de la etapa de construcción se adecuarán como obras complementarias para la operación, en especial campamentos, servicios de suministro y tratamiento de agua potable, servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales, servicios de aseo, parqueaderos y vías internas con sistemas de drenaje, áreas verdes.
9. Limpieza vegetal en área a inundar por el embalse.

10. Demolición de construcciones existentes (previamente adquiridas) en área a inundar por el embalse.
11. Llenado del embalse. Durante este proceso se garantizará el suministro de agua para atender las actuales demandas de los acueductos y sistema de riego.

Fase de operación

1. Suministro de agua regulada a los acueductos municipales y veredales (incluidos sistemas de riego), de acuerdo con las demandas estimadas y concertadas.
2. Operación de la bocatoma y/o sistema de bombeo a los acueductos municipales y veredales (a cargo de los acueductos).
3. Descarga de caudal necesario para garantizar el caudal ecológico en el cauce del río Calandaima aguas abajo de la presa.
4. Operación y control diarios de niveles del embalse para evitar inundaciones en predios ribereños.
5. Vigilancia periódica de usos de la tierra y actividades agropecuarias, y recreacionales en la zona aguas arriba del embalse para controlar focos de contaminación por agroquímicos.
6. Reglamentación y control de actividades de recreación, pesca y deportes náuticos al interior del embalse y en su ronda de protección.

En la Figura. 4-19 se encuentran gráficamente las áreas a intervenir durante la ejecución del proyecto.

4.2.2.3 Costos del Proyecto.

Tabla 4-15 Tabla de Resumen de Costos.

CUADRO 1					
DISEÑO DEL PROYECTO DE EMBALSE CALANDAIMA					
Presupuesto General. Costo de Construcción con AIU					
VALOR TOTAL DEL PRESUPUESTO COL\$ 54,535,484,232				PRECIOS A JULIO DE 2015	
No	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Valor Parcial
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
	Total trabajos preliminares				3,812,470,849
2	OBRAS CIVILES				
2.1	CONDUCTO DE DESVIACIÓN Y MANEJO DEL RÍO EN CONSTRUCCIÓN				
2.1.1	CANAL DE EMPALME				
2.1.2	CONDUCTO DE DESVIACIÓN				
2.1.3	ATAGUÍA				
2.2	DESCARGA DE FONDO EN EL CONDUCTO DE DESVIACIÓN				
2.2.1	DESCARGA DE FONDO				
2.2.2	CASETA DE OPERACIÓN DE VÁLVULAS				
2.3	PRESA ZONIFICADA				
2.4	DIQUE DE CIERRE No 1				
2.5	DIQUE DE CIERRE No 2				
2.6	VERTEDERO DE EXCESOS				
2.7	PUENTE SOBRE EL VERTEDERO				
2.8	TORRE DE CAPTACIÓN				
2.9	SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUAS FILTRADAS				
	TOTAL OBRAS CIVILES				48,724,611,956
3	EQUIPOS DE LAS OBRAS CIVILES				
3.1	EQUIPOS DEL CONDUCTO DE DESVIACIÓN				
3.2	EQUIPOS DE LA DESCARGA DE FONDO				
3.3	EQUIPOS DE LA CASETA DE VÁLVULAS				
3.4	EQUIPOS DE LA TORRE DE CAPTACIÓN				
	TOTAL EQUIPOS DE LAS OBRAS CIVILES				660,000,000
4	COSTOS AMBIENTALES				
	Total costos ambientales				1,338,401,428
TOTAL COSTO DE CONSTRUCCIÓN PRESA Y OBRAS ANEXAS					54,535,484,232
	Interventoría 8%	%			4,362,838,739
	Costos de Gestión y supervisión EPC 4%	%			2,355,932,919
TOTAL CON IMPUESTOS					61,254,255,889

Fuente: Primer Informe Técnico – Diseños y estudios complementarios Proyecto Embalse Calandaima.2014

La Tabla 4-16 indica que el proyecto sería financiera y económicamente viable.

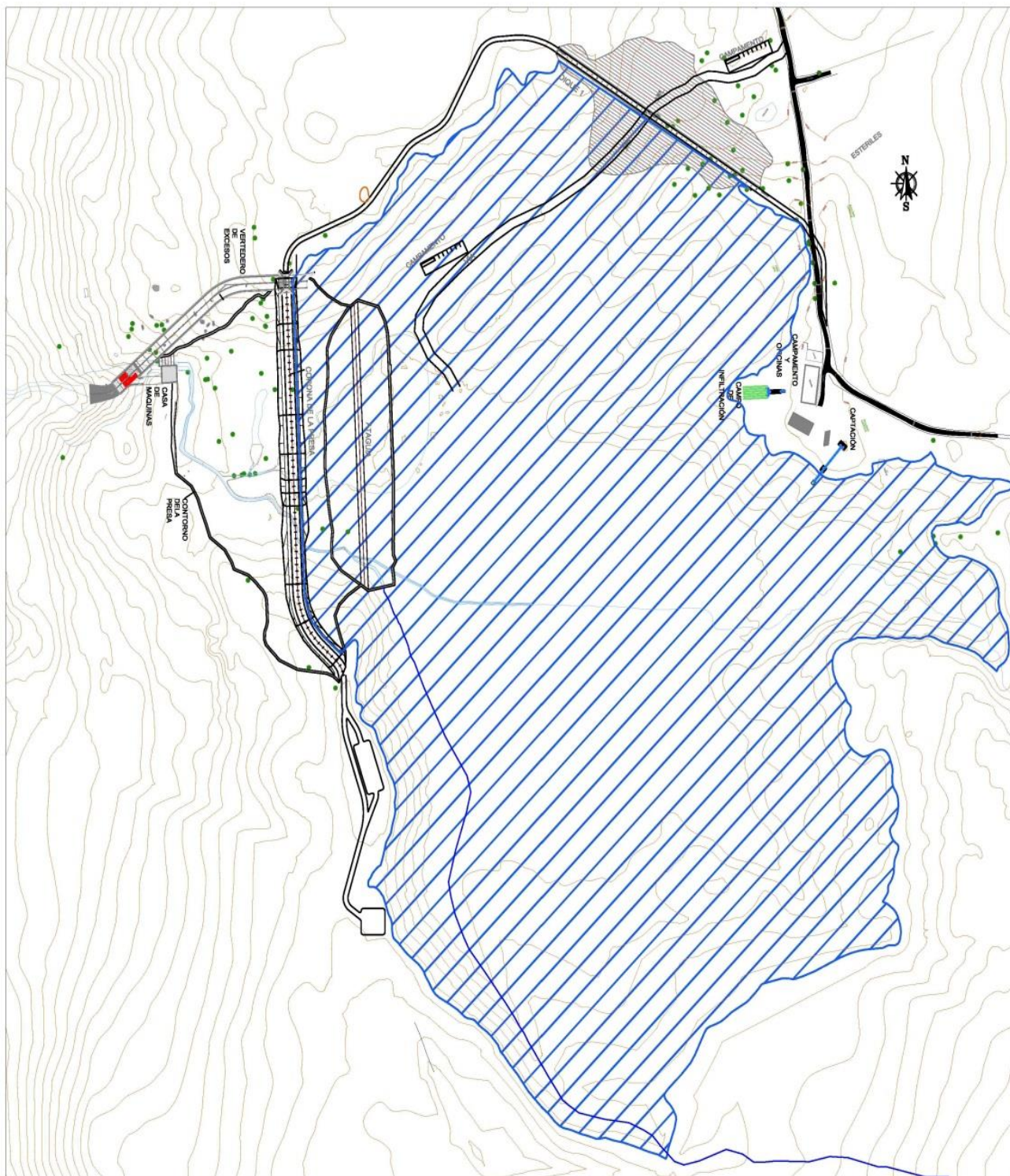


Figura. 4-19 Localización general de áreas construidas

Fuente: Primer Informe Técnico – Diseños y estudios complementarios Proyecto Embalse Calandaima.2014

4.2.3 Otras Alternativas.

Como parte de la evaluación para fortalecer el sistema de abastecimiento de agua potable se consideraron y analizaron otras alternativas. A continuación, se presenta una descripción de las alternativas planteadas.

4.2.3.1 Captación superficial de agua de fuentes de abastecimiento en el sector.

El Valle del Tequendama se caracteriza por tener como afluente principal el Río Bogotá, esto conlleva a que la oferta hídrica de los municipios del valle sea limitada debido al alto nivel de contaminación presentado en este río, sin embargo existen quebradas y ríos dentro de la zona de influencia que pueden ser utilizados como fuentes de abastecimiento para el municipio de Anapoima.

- Quebrada Campos

Esta quebrada presenta un caudal de 150 l/s y la calidad de agua es muy buena por situarse en la parte alta del Valle del Tequendama, en la actualidad un convenio realizado entre la CAR y el condominio Mesa de Yeguas, permitió embalsar la quebrada para recreación y abastecimiento de los habitantes del condominio. De este embalse, Mesa de Yeguas permite captar 15 l/s para suministro de agua potable al municipio, y el resto es para consumo del condominio.

- Quebrada Calandaima

La quebrada Calandaima presenta un caudal medio de 600 l/s, con temporadas lluviosas en los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre con un caudal medio de 900 l/s, y unas temporadas secas en Febrero y Marzo con un caudal medio de 400 l/s.

Esta Quebrada es la fuente de abastecimiento de la mayoría de municipios de la cuenca baja del Valle del Tequendama dentro de los que está Viotá, Tocaima, Apulo, entre otros.

En un análisis realizado con anterioridad se estableció que actualmente la cuenca del río Calandaima presenta un índice de escasez de 39.1 en temporada de verano, y de 27.3, lo cual indica que es Medio – alto. Esto implica que, Anapoima no puede obtener el recurso hídrico de esta fuente, ya que de hacerlo, estaría afectando la cuenca y reduciendo la oferta que esta puede brindar.

Debido a lo anterior se podría tener en cuenta esta alternativa de manera parcial con el fin de no afectar de manera drástica el suministro de agua de esta fuente de abastecimiento, adicionalmente conllevaría la construcción de un sistema de captación, conducción, tratamiento y distribución completamente nuevo lo que acarrea altos costos.

4.2.3.2 Captación subterránea de agua.

Teniendo en cuenta el alto grado de contaminación del Río Bogotá, y de la baja oferta hídrica de aguas superficiales, se logró establecer que en el municipio se está iniciando la explotación de acuíferos subterráneos por parte de los habitantes del municipio de manera artesanal, con base en esta información obtenida por personal de la empresa de aguas de Tequendama, en el municipio de Anapoima, se establece esta como una de las alternativas para la optimización del suministro de agua potable.

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua ENA 2.014, realizado entre el IDEAM y el Ministerio de Ambiente, se evaluó la situación correspondiente a las aguas subterráneas en la zona del proyecto, dicho documento evidencia en su análisis que la zona del proyecto pertenece a la provincia hidrogeológica de la Cordillera Oriental, en la cual se presentan zonas de acuíferos tipo SAM 4,6, caracterizados en la Tabla 4-16.

En la Figura. 4-20 se presenta el mapa de Colombia con sus respectivas zonas de acuíferos de acuerdo con su simbología.

De acuerdo con la clasificación antes presentada, el estudio de la ENA caracteriza los acuíferos de acuerdo con su ubicación y parámetros hidráulicos. Con base en este estudio se puede determinar que en la zona existen acuíferos de índole libres, semiconfinados y confinados.

Tabla 4-16. Caracterización de las Zonas de Acuíferos.

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas	Tipo de acuíferos	Parámetros hidráulicos		Área superficial (Km ²)
PM4 Cordillera Oriental	SAM4.4	Duitama - Sogamoso	Acuíferos de las formaciones Cuche (Cc), Montebel (Jim), La Rusia (Jru), Tibasosa (Kit), Une (Kv2), Conejo (Kscn), Plaeners (Kg2), Labor y tierra (Kg1), Guaduas (Ktg), depósitos aluviales (Qa) y depósitos fluvio lacustres (Qpl)	Libres, semiconfinados a confinados	B= 100 m K=1.59 m/d	T= 8.5 a 52.2 m ² /d S _s = 0.11 a 3.3 l/s/m	566
	SAM4.5	Ubaté- Chinquinquirá	Acuíferos de depósitos Fluviolacustres y Acuífero Formación Regadera	Semiconfinados a confinados	B= 350 m K= 2 m/d	T= 20 a 130 m ² /d S _s = 2.5x10 ⁻⁴	1.388
	SAM4.6	Sabana de Bogotá	Acuífero Sabana, Acuífero Guadalupe, Acuífero Formación Tilatá	Libres, semiconfinados a confinados	B= >1000 m K= 4.4 a 750m/d	T= 4 a 480 m ² /d S= 2.4x10 ⁻⁵ a 2.2x10 ⁻³ S _s = 0.04 a 1.94 l/s/m	3.839
	SAM4.7	Tablazo	Acuífero Tablazo y Rosablanca	Kársticos	B= 150 a 325 m K= 0.35 m/d	T= 70 m ² /d S= 2x10 ⁻⁵	1.145

Fuente. ENA 2.014

Adicionalmente, teniendo en cuenta el plano hidrogeológico de Colombia, como se observa en la Figura. 4-21, Anapoima y en general el Valle del Tequendama se encuentra en una zona con formaciones geológicas de tipo K2. Estas formaciones son conformadas por rocas sedimentarias de ambiente transicional depositadas durante el Cretácico Medio, Shale, limolitas areniscas, evaporitas y roca fosfórica, igualmente se caracterizan por ser rocas con porosidad primaria y secundaria de interés hidrogeológico.

Son acuíferos continuos de extensión regional en rocas sedimentarias cementadas o fracturadas, agua generalmente de buena calidad química y permeabilidad alta a moderada.

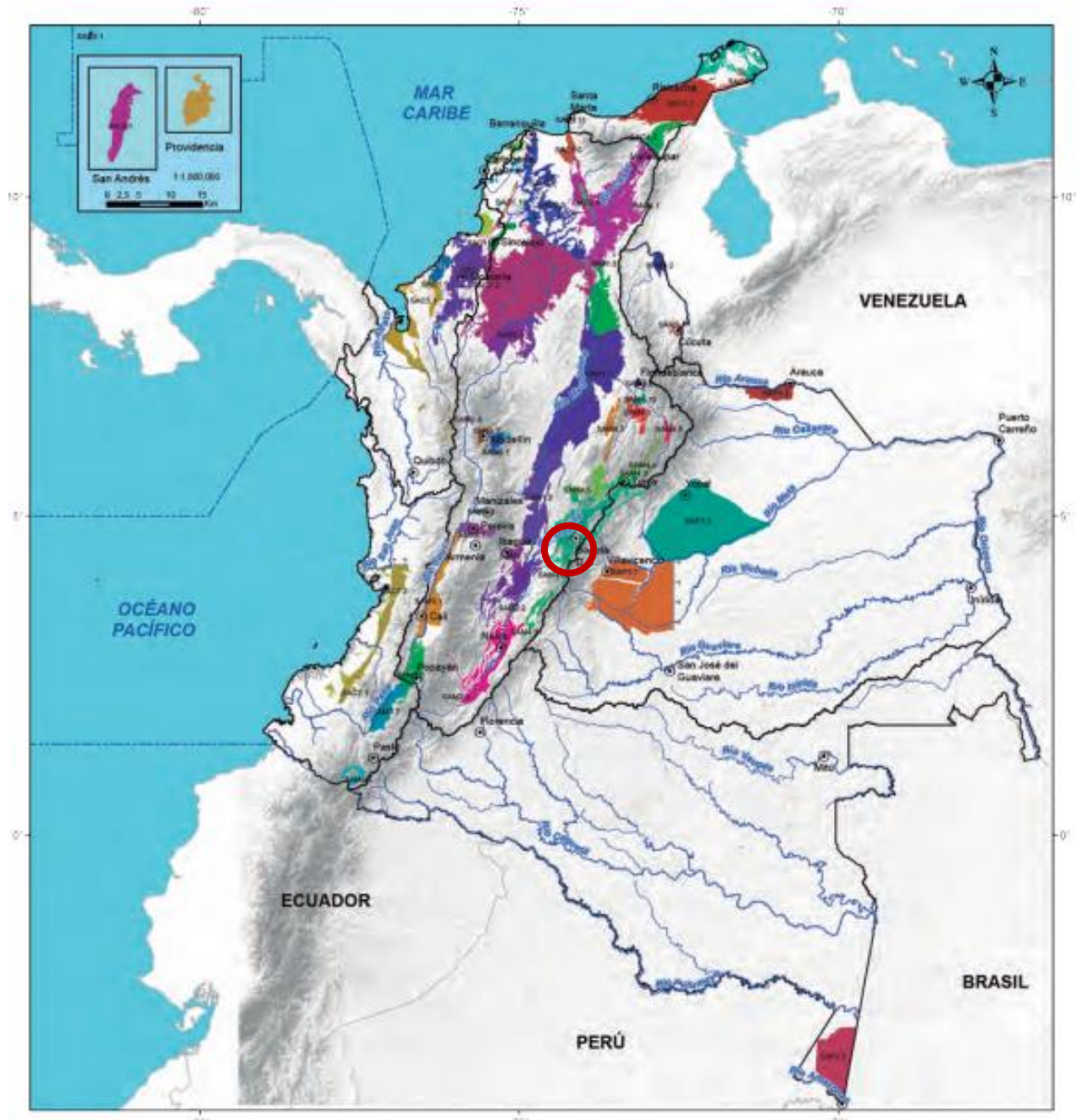


Figura. 4-20. Mapa de Colombia con las Zonas de Acuíferos.

Fuente. ENA 2.014

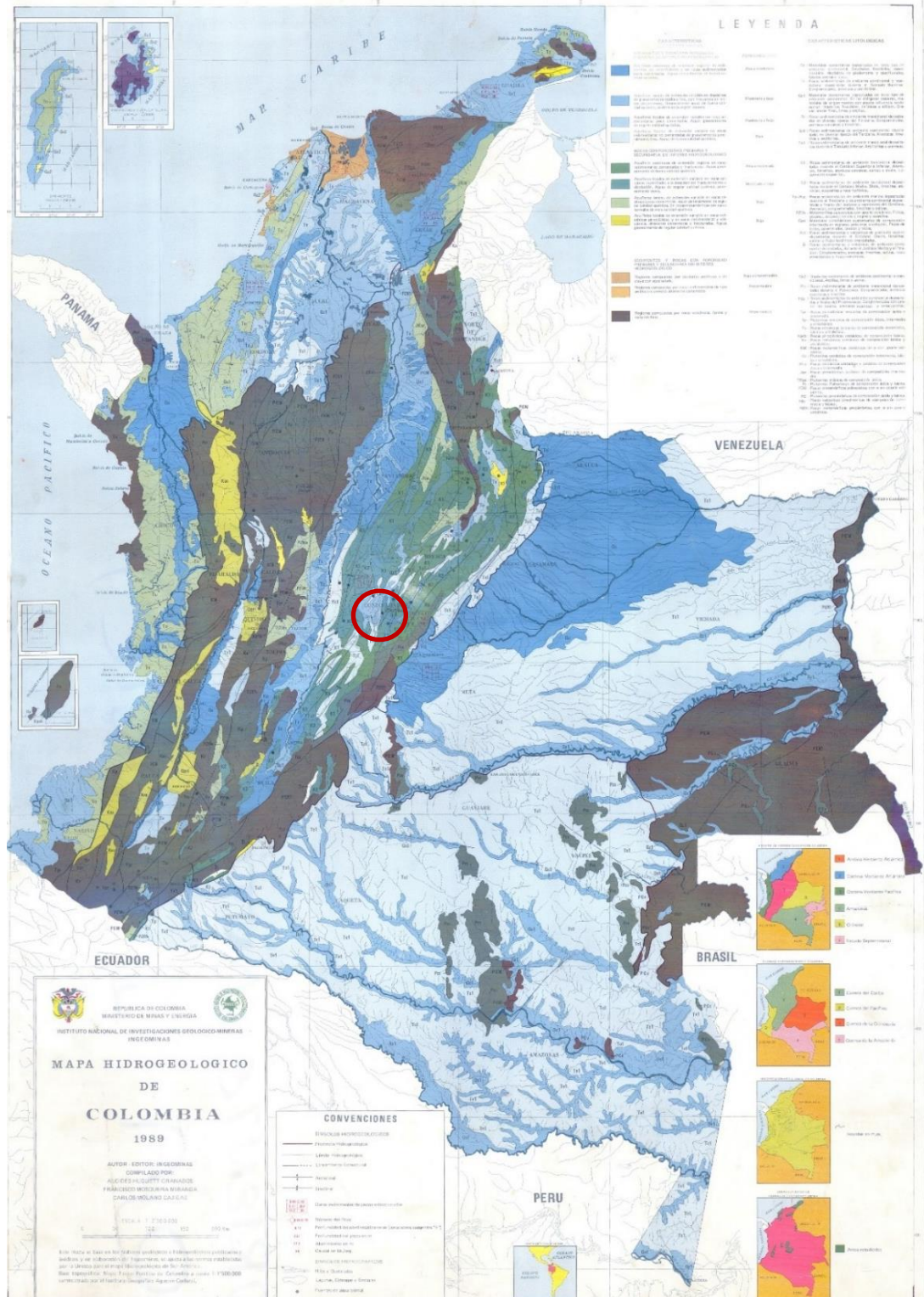


Figura. 4-21. Mapa Hidrogeológico de Colombia.

Fuente. ENA 2.014

De acuerdo con las generalidades planteadas anteriormente en las formaciones geológicas se observa que es factible la presencia de acuíferos libres, semiconfinados y confinados dentro de la zona de influencia del municipio por lo que podría considerarse como alternativa la explotación de estos acuíferos.

Dadas las condiciones de contaminación del río Bogotá, surge la necesidad de realizar un análisis físico químico del agua sobre todo en los acuíferos libres teniendo en cuenta que es muy posible que la infiltración de este río haya generado contaminación en estos. Con base en esto resulta más viable hacer uso de los acuíferos confinados teniendo en cuenta que en ellos se limita al máximo o se restringe el contacto con la superficie de manera impide al máximo el contacto con las aguas superficiales.

Se debe considerar que para poder desarrollar esta clase de aprovechamiento del recurso hídrico se requiere de estudios hidrogeológicos que permitan conservar el equilibrio del ecosistema al explotar este recurso, igualmente se requieren licencias ambientales.

4.3 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS.

De acuerdo a la información presentada en el capítulo anterior, se toman las siguientes consideraciones para definir las alternativas más viables para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable del Municipio de Anapoima, con el fin de limitar el objeto de este estudio:

- Proyecto de venta de agua en bloque EAAB.

La implementación de la propuesta de la EAAB, implicará tal eficacia, que se proyecta que a medida que aumentan las obras, se podrá aumentar los suministros a los municipios, lo que indica que desde la etapa 2 (después de 2017) ya se podrá incrementar el suministro del recurso a los municipios y por lo tanto una mejora continua del sistema y su población, casi desde el inicio mismo de las obras.

La propuesta de la EAAB, es una propuesta que repondrá y adecuará la red existente hacia los municipios del bajo Tequendama, lo que implica la realización de obras con un alto costo pero al mismo tiempo de bajo impacto tanto ambiental como social, por el hecho de utilizar la línea de acueducto ya existente.

- Embalse de Calandaima.

El proyecto del Embalse Calandaima presenta estudios completos donde se evidencia que aunque con su implementación no es posible desarrollar un abastecimiento al 100% del municipio de Anapoima durante todo el año, si garantiza caudal en temporadas secas de forma continua.

Asimismo, dado que el efecto del cambio climático será una intensificación de la irregularidad de los caudales de las cuencas, con crecidas más intensas y veranos más pronunciados, el embalse será una obra fundamental para la adaptación al cambio climático, no sólo de las poblaciones urbanas sino de las comunidades rurales agropecuarias de la región.

- Captación superficial de agua de fuentes de abastecimiento en el sector.

Es una alternativa que, para que sea viable, se requiere de una modificación del acuerdo suscrito por la CAR y el Condominio para aumentar el caudal destinado para el municipio, y con base en esto, aumentar la capacidad infraestructura existente para poder tratar el nuevo caudal suministrado.

Esta es una solución poco viable, por presentar intereses políticos, y de ser aprobado, requerir de una inversión muy elevada en la infraestructura de transporte y tratamiento, igualmente para esta alternativa se debe considerar que las fuentes de abastecimiento superficiales que se encuentran en las inmediaciones del proyecto se encuentran en algunos casos con presencia de contaminantes y su análisis consideraría realizar estudios más profundos y especializados para analizar tanto la calidad del agua presente en las fuentes hídricas cercanas y así mismo la capacidad

de captación de caudal para suplir las necesidades del municipio, por lo cual esta alternativa no será analizada para el ejercicio de este proyecto.

- Captación subterránea de agua.

Esta es una alternativa importante a tener en cuenta por parte del municipio para mitigar el desabastecimiento de los pobladores del municipio. Teniendo en consideración los problemas de contaminación que presenta la cuenca del Río Bogotá disminuye la viabilidad tanto técnica como económica de esta alternativa, teniendo en cuenta que se deben realizar estudios de mayor complejidad para garantizar que el agua es apta para el consumo humano. Por otra parte, es importante tener en cuenta que, para verificar la viabilidad técnica y económica de esta solución se debe tener en cuenta perforaciones costosas que deben ser costeadas por el Municipio y la gestión ante las entidades competentes, que podrían ser engorrosas dado la novedad de esta solución. Debido a estos costos, y que el tiempo no es suficiente para realizar la investigación de los permisos, licencias y procedimientos que se requieren para realizar la explotación de acuíferos, para este estudio no será tomada en cuenta para su análisis.

Con base en toda la información suministrada en este capítulo se definen como alternativas de estudio los proyectos Embalse de Calandaima y Venta de agua en bloque por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá; en los capítulos siguientes se realizará la evaluación de parámetros para definir cuál de ellas es la más viable para la problemática objeto de este estudio.

5 ANALISIS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

De acuerdo a la revisión de la información tanto del Proyecto de venta de agua en bloque de la Empresa del Acueducto y Alcantarillado de Bogotá y el Proyecto del Embalse Calandaima se realizó la evaluación técnicoeconómica de cada uno de ellos, así como la comparación de las condiciones identificadas en estos dos aspectos, obteniendo los siguientes resultados.

5.1 COMPARATIVO TÉCNICO.

CRITERIO	ESTADO ACTUAL DEL MUNICIPIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
<i>Caudal Ofertado</i>	38 l/s Para el municipio de Anapoima (15 l/s de Mesa de Yeguas 23 l/s Quebrada La Honda)	119,5 l/s Para los municipios del Valle del Tequendama	181,0 l/s Para los municipios del Valle del Tequendama
<i>Cubrimiento</i>	100% en la zona urbana 65% en la zona rural. Discontinuidad del servicio en temporadas altas y en verano	100% en la zona urbana 65% en la zona rural. Plantea dar continuidad del servicio en temporadas altas y en verano	100% en la zona urbana 100% en la zona rural.
<i>Tipo de Servicio Suministrado</i>	Servicio compartido con el Municipio de La Mesa (Quebrada La Honda) Gran cantidad de conexiones erradas fuera del municipio debido a la conducción tan extensa. Suministro del servicio con racionamientos en algunas temporadas.	De acuerdo con los estudios realizados se informa que por la capacidad del embalse, se podrá atender el déficit actual de la demanda de la población en los meses secos, esto implica que para los demás meses no aportaría agua al	Servicio continuo e independiente. Por contar con tanques de almacenamiento a donde la EAAB pueda entregar el agua suministrada, le da al municipio cobertura del 100% de la población durante las 24 horas del día.

CRITERIO	ESTADO ACTUAL DEL MUNICIPIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
		municipio. Se debe compartir el suministro a los municipios del Valle del Tequendama.	La EAAB entrega el caudal ofertado al municipio independientemente lo que impide que se generen altas pérdidas en el sistema por conexiones erradas fuera del municipio.
<i>Población beneficiada</i>	Municipios de: - La Mesa - Anapoima	Municipios de: - La Mesa - El Colegio - Apulo - Anapoima - Tocaima	Municipios de: - Funza - Mosquera - Madrid - La Mesa - El Colegio - Apulo - Anapoima - Tocaima
<i>Área de Afectación</i>	N/A	Área superficial del Embalse de 0.32 km ² (De afectación directa) Área de afectación por el proyecto aproximado: 5,07 km ²	Por encontrarse con infraestructura existente, y ser una obra lineal la afectación del proyecto es muy puntual.
<i>Uso de la infraestructura existente</i>	Uso del sistema de la Quebrada La Honda (Junto con La Mesa) y del antiguo sistema de captación del Río Bogotá	Por ser un proyecto nuevo requiere la construcción de toda la infraestructura que se requiera.	Aprovechamiento de la infraestructura existente. Repotenciamiento de infraestructura existente. Construcción de tramos obsoletos o inexistentes.
<i>Efectos Ambientales</i>	Desabastecimiento en la población	Efectos ambientales directos. La inundación de la tierra para formar el reservorio y la alteración del caudal del agua, más abajo. Estos efectos tienen impactos directos para los suelos, la	Efectos ambientales menores por tratarse de construcción de una obra lineal.

CRITERIO	ESTADO ACTUAL DEL MUNICIPIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
		<p>vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima, y, especialmente, para las poblaciones humanas del área.</p> <p><i>Efectos ambientales indirectos</i> Las vías de acceso, campamentos de construcción, líneas de transmisión de la electricidad y el desarrollo de las actividades agrícolas, industriales o municipales, fomentadas por el embalse.</p>	

5.2 COMPARATIVO ECONÓMICO.

CRITERIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
<i>Costo Total</i>	\$ 61.254.255.889	\$ 75.495.000.000
<i>Inversionistas</i>	Administraciones de Anapoima, Apulo, Tocaima, El Colegio y Viota	Gobernación y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

CRITERIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
<i>Costos asociados</i>	Se consideran como costos asociados el aumento de las tarifas de los usuarios.	La repotenciación, adecuación y construcción del sistema de conducción corre por cuenta de la Gobernación, y del Acueducto de Bogotá por lo que se prevé que los costos asociados con la tarifa del servicio no sean modificados. Sin embargo, los costos asociados a la operación y mantenimiento del sistema adecuado deben ser amortiguados de alguna forma.
<i>Recuperación Inversión</i>	Por medio de los usuarios de los acueductos de los municipios mencionados, a través de aumento de tarifas. Para el municipio, la tarifa por el servicio debe ser mayorada por un valor estimado de 3,4 en la zona urbana y mayorada en 4,6 para la zona rural.	La inversión se verá recuperada con el aumento de la venta de agua para los municipios involucrados lo que se convierte en un beneficio compartido, entre la EAAB y los municipios beneficiados. Posiblemente se podría considerar un pequeño aumento en las tarifas.
<i>Años Amortización</i>	Hasta 2061 en el mejor de los casos. No se conoce fecha de inicio	35 años o menos (2010 Hasta el año 2045)
<i>Costos adicionales</i>	N/A	Obras correspondientes al ensamble de la entrega del agua en los tanques elevados y el acueducto del municipio. Costos asumidos por la Administración de Anapoima
<i>Impacto económico de la población</i>	Positivo: Aumento de ingresos para la población y empresas de los municipios. Negativo: Posibles afectaciones para usuarios de zonas aledañas y aguas abajo dependientes del recurso. Aumento de tarifas	Positivo: Generación de nuevos y mayores ingresos para la empresas involucradas y la población en general del municipio. Negativo. Posible aumento de tarifas.

CRITERIO	EMBALSE DE CALANDAIMA	VENTA DE AGUA EN BLOQUE EAAB
<i>Viabilidad</i>	Inviabile, pues la población no tiene la capacidad de amortiguar un incremento en las tarifas de esta magnitud	Viable, a pesar de tener un costo un poco mayor, este lo asumirá las empresas encargadas de suministrar el recurso

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 ESTADO ACTUAL DEL ACUEDUCTO

De acuerdo con la proyección de población realizada con los censos obtenidos del DANE, se puede apreciar una diferencia entre el caudal requerido por el municipio y el suministrado actualmente por la Empresa de Servicios Públicos aproximadamente del 15% para 2017. Debido a esto se presenta el problema de desabastecimiento en el servicio de agua potable en algunas zonas del municipio y la discontinuidad en el mismo en algunas horas del día. En el análisis realizado se tuvo en cuenta la población flotante del Municipio, pero no se consideraron otros factores que inciden directamente con el consumo de agua.

El suministro de agua proveniente del embalse de Mesa de Yeguas se realiza desde la parte alta, esto genera que en temporadas de fenómenos de sequía en el municipio (muy comunes en algunos meses del año) se disminuya la lámina de agua y por ende se generen condiciones de desabastecimiento del recurso hídrico en las zonas del municipio que son abastecidas por esta fuente. Por otra parte, el abastecimiento de agua de la Quebrada La Honda, presenta conexiones legales (permitidas por el municipio de La Mesa) y erradas (ilegales) que en ningún momento permite garantizar la continuidad del caudal que requiere el Municipio.

6.2 ALTERNATIVAS PLANTEADAS

De acuerdo con las alternativas planteadas y estudiadas para solucionar los problemas de desabastecimiento de agua potable del Municipio se considera que la explotación de aguas subterráneas puede ser una de las que presenta mayor potencial considerando el caudal requerido para abastecer el sistema del municipio de Anapoima, esta información se evidencia en el mapa hidrogeológico de Colombia donde es claro que la zona presenta una gran cantidad de acuíferos libres y confinados. Sin embargo esta alternativa no fue considerada en este estudio, ya que dadas las condiciones de contaminación de la cuenca del Río Bogotá se deben realizar estudios de mayor complejidad con los cuales se pueda garantizar que el agua extraída de estas fuentes sea apta para

el consumo humano, dichos estudios además de conllevar tiempo para su elaboración generar costos elevados para la administración de Municipio, sin olvidar que el tema aún es muy novedoso y el conocimiento se encuentra de igual forma limitado.

Como se menciona anteriormente con relación a la contaminación que presenta el Río Bogotá, la Cuenca del Valle del Tequendama también presenta índices de contaminación a causa de este, con base en ello las alternativas estudiadas para captación de aguas superficiales se hacen inviables ya que los caudales ofertados por estas fuentes hídricas no son suficientes para el abastecimiento del municipio, considerando que el problema de abastecimiento en el Valle del Tequendama no afecta solo a Anapoima, sino a los demás municipios del Valle mencionados. Las pocas fuentes de abastecimiento aptas para consumo no alcanzan a suplir las necesidades completas del municipio y esta alternativa implicaría de igual forma construir todas las obras requeridas para el suministro, transporte, tratamiento y distribución del agua que harían que las tarifas del servicio aumenten.

La propuesta de venta de agua en bloque por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá fue considerada debido a que la infraestructura desde el municipio de Madrid en Cundinamarca hasta Anapoima se encuentra construida en su gran mayoría y en condiciones para su aprovechamiento, se considera para este proyecto la construcción de algunas obras complementarias, puntuales, al igual que la repotenciación de las existentes del sistema de distribución del occidente de Bogotá con el fin de garantizar el caudal requerido por el Municipio de Anapoima, además de beneficiar seis (6) municipios más de la parte alta, media y baja del Valle del Tequendama, por lo cual esta alternativa se considera viable tanto económica como técnicamente para ser evaluada en la optimización del sistema.

La propuesta de la EAAB, es una propuesta que repotenciará y adecuará la red existente hacia los municipios del bajo Tequendama, lo que implica la realización de obras con un alto costo pero al mismo tiempo de bajo impacto tanto ambiental como social, por el hecho de utilizar la línea de acueducto ya existente. La implementación de la propuesta de la EAAB, implicará tal eficacia,

que se proyecta que a medida que aumentan las obras, se podrá aumentar los suministros a los municipios, lo que indica que desde la etapa 2 (después de 2017) ya se podrá incrementar el suministro del recurso a los municipios y por lo tanto una mejora continua del sistema y su población, casi desde el inicio mismo de las obras.

El Proyecto del Embalse de Calandaima por su parte, se considera viable toda vez que el Río Calandaima, por presentar un caudal grande (100 l/s), puede generar una alternativa, no solo para el suministro de agua al municipio, sino para la regulación de caudales de la cuenca del Río, igualmente el beneficio de este proyecto, además de Anapoima, es para otros cuatro (4) municipios del Valle del Tequendama lo que hace que esta alternativa mejore la calidad de vida de varias poblaciones y sus comunidades. Por otro lado una de las características más llamativas es que la zona para el desarrollo del proyecto de Embalse Calandaima se encuentra a no más de tres (3) horas de Bogotá, capital del país, lo cual asegura un mercado directo con el principal centro de consumo del país, de esta forma una de las grandes ventajas de este proyecto es aumentar la competitividad económica de esta región Bogotá-Cundinamarca, crecimiento en sectores como el agropecuario, la recreación y el turismo.

6.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

De acuerdo con el análisis realizado de las alternativas para la optimización del abastecimiento de agua potable para el municipio de Anapoima, es claro ver que la propuesta de venta en bloque de agua por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá beneficia mayor cantidad de poblaciones del Valle del Tequendama, adicionalmente, el caudal suministrado por esta propuesta permite que se cubra la totalidad de la demanda del caudal de todo el municipio de una manera continua. El Embalse de Calandaima por su parte suministra un caudal que supliría la deficiencia de caudal en los periodos de sequía, esto quiere decir que en ningún momento esta opción solucionaría la situación actual del municipio.

Con relación a los impactos ambientales generados por cada uno de los proyectos se puede concluir que la afectación del proyecto del Embalse de Calandaima es mayor, ya que el área de

influencia de este, tanto directa como indirecta, es mayor con relación al área de influencia del Proyecto de venta de agua en bloque de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ya que este, además de ser una obra lineal la mayoría de sus componentes son de renovación y ampliación de la red existente, lo que quiere decir que su afectación sería menor.

Con relación a las condiciones económicas la propuesta del Embalse de Calandaima generaría aumento en las tarifas de suministro del recurso se requeriría multiplicar las tarifas actuales que pagan los usuarios, por 3,4 para Anapoima, 3,9 para El Colegio y 5,0 para Apulo y Viotá. En el caso de Tocaima el impacto sería menor, pero habría que multiplicar las tarifas por 1,6. Para los acueductos rurales las tarifas se multiplicarían por 4,6. Por tanto, el proyecto no sería financiera ni económicamente viable en la realidad, pues no habría como pagarlo con tarifas, ya que la población no tiene la capacidad para soportar incrementos de esta naturaleza, por otra parte de acuerdo a la dinámica del proyecto de la EAAB, podría no considerarse un aumento en las tarifas por el suministro del recurso a los municipios, lo que indica un bajo efecto económico sobre la población, factor positivo teniendo en cuenta el tipo de población que compone a los municipios involucrados.

Finalmente como resultado final del presente estudio se considera que la alternativa más viable para la optimización del sistema de abastecimiento de agua potable del municipio de Anapoima, es la propuesta por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, principalmente porque permite ofertar el caudal total requerido por el municipio, no solo en las épocas secas sino constantemente; por otro lado, aunque el costo de inversión es mucho mayor al Proyecto del Embalse de Calandaima, este costo muy seguramente no afectará las tarifas del servicio del municipio ya que se cuenta con fuentes de financiamiento e inversión, además dentro de las estructuras del sistema se puede aprovechar infraestructura existente lo que mejoraría los tiempos de ejecución del proyecto. Lo más importante es el beneficio obtenido por los pobladores de los municipios que hacen parte de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Arias Arenas, O. G. *Diagnostico, Evaluación de alternativas, Análisis y cálculos hidraulicos de las redes matrices del sistema de acueducto de Quibdó, Chocó*. Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Bogotá.

Cabrera Ramírez, N. *Propuesta para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua para los habitantes de la vereda “el tablón” del municipio de Chocontá*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Gachetá.

DANE. (2017). Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: www.dane.gov.co

EAAB, E. d. (2013). *Estudio de factibilidad para la ampliación del sistema red matriz acueducto a municipios de occidente*. Bogotá.

EPAM. (2015). *Realizar los diseños y estudios complementarios del Proyecto de Embalse Calandaima*. Bogotá.

Hernandez Jiménez, J. D., & García Perez, J. S. *Diagnostico y análisis de alternativas para la optimización del sistema de acueducto de la vereda de Chacua del municipio de Sibaté*. Universidad de la Salle, Bogotá.

Hilleboe, H. E. (2004). *Manual de Tratamiento de Aguas*. Ciudad de México: Editorial Limusa.

López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

RAS 2000. (2009). *Reglamento del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá.