

**IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PUNTOS CRÍTICOS EN LA RED DE
ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA
UTILIZANDO EL SOFTWARE EPANET**

Tania Melissa Bohórquez Cuevas, Carlos Fabian Sánchez Contreras, Vivian Natalia Torres

González



Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2022

**Identificación y diagnóstico de puntos críticos en la red de abastecimiento del Municipio de
la Mesa Cundinamarca utilizando el software EPANET**

**Tania Melissa Bohórquez Cuevas, Vivian Natalia Torres González, Carlos Fabian Sánchez
Contreras**

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Luis Efrén Ayala Rojas Director



**UNIVERSIDAD
La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil

Universidad La Gran Colombia

Bogotá

2022

Agradecimientos

Luego de finalizar un trabajo tan arduo, agradecemos primero a Dios por guiarnos en nuestro camino, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a nuestros padres, hermanos y parejas por ser los principales soportes, por confiar en nosotros y creer en nuestras expectativas, por sus consejos, sus valores y acompañamiento.

Agradecemos a la Universidad La Gran Colombia y a su Docente Luis Efrén Ayala por compartir su conocimiento a lo largo de nuestra formación profesional, su dedicación y compromiso y por hacer este ciclo más ameno.

Contenido

RESUMEN11

ABSTRACT12

INTRODUCCIÓN.....13

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA15

OBJETIVOS17

Objetivo General17

Objetivos Específicos.....17

ALCANCE18

JUSTIFICACIÓN19

MARCO TEÓRICO20

Marco Teórico.....20

Marco Conceptual.....23

Marco Legal24

ANTECEDENTES25

La Tecnología Y La Modelación.....25

Antecedentes Del Sistema De Acueducto De La Mesa25

METODOLOGÍA.....28

Visitas De Campo28

Recopilación De Información.....28

Identificación De Las Posibles Causas De Afectación Del Sistema De Acueducto De La Mesa28

Planteamiento De Alternativas Para La Posible Solución Del Problema De Abastecimiento De La Red De Acueducto.....29

Análisis Y Conclusiones.....29

DIAGNÓSTICO Y ASPECTOS GENERALES DEL MUNICIPIO30

Ubicación30

Vías del Municipio.....30

División Política.....31

<i>Climatología</i>	32
<i>Precipitación</i>	33
<i>Oferta Hídrica Quebrada Honda</i>	34
<i>Topografía</i>	36
<i>Geología y Suelos</i>	37
PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AL AÑO 2047	42
<i>Método Aritmético</i>	42
<i>Método Exponencial</i>	45
<i>Método Geométrico</i>	48
<i>Promedio General De Los Tres Métodos Utilizados</i>	52
PROYECCIÓN DE SUSCRIPTORES AL AÑO 2047.....	54
<i>Método Aritmético</i>	54
<i>Método Exponencial</i>	55
<i>Método Geométrico</i>	56
<i>Promedio General De Los Tres Métodos Utilizados</i>	57
POBLACIÓN FLOTANTE DEL MUNICIPIO.....	59
EVALUACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO.....	61
<i>Dotación Bruta Consumo Residencial</i>	61
<i>Dotación Bruta Consumo No Residencial</i>	63
<i>Dotación Bruta Suscriptores</i>	64
CAUDAL DE DISEÑO	66
<i>Caudal Habitantes</i>	66
<i>Caudal Suscriptores</i>	68
<i>Evaluación Del Sistema</i>	71
MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	73
<i>Condición Actual de la Red de Acueducto</i>	73
<i>Curva de consumo</i>	73
<i>Tuberías</i>	74

RED DE ABASTECIMIENTO DEL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA	6
<i>Válvulas</i>	76
<i>Tanque de Almacenamiento</i>	78
<i>Asignación de demandas</i>	78
CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	81
ALTERNATIVAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL SISTEMA	83
<i>Sectorización</i>	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	98

Lista de Figuras

Figura 1. Vías de acceso del municipio de la Mesa.....	31
Figura 2. División política del municipio de la Mesa.....	32
Figura 3. Precipitación total anual (mm).	34
Figura 4. Formaciones de Ambiente Fluvial.	36
Figura 5. Formaciones de Ambiente Estructural.	37
Figura 6. Falla de Bituima.	40
Figura 7. Formaciones Geológicas.	41
Figura 8. Proyección de población método aritmético.	44
Figura 9. Proyección de población método exponencial.	48
Figura 10. Proyección de población método geométrico.	51
Figura 11. Proyección de población.	52
Figura 12. Proyección de suscriptores.	58
Figura 13. <i>Caudales de diseño habitantes</i>	68
Figura 14. <i>Caudales de diseño suscriptores</i>	71
Figura 15. <i>Curva de Consumo</i>	74
Figura 16. <i>Información de las Tuberías</i>	75
Figura 17. <i>Diámetros de la red existente</i>	75
Figura 18. <i>Detalle de válvula PRV</i>	76
Figura 19. <i>Detalle de válvula TCV</i>	77
Figura 20. <i>Tanque de almacenamiento</i>	78
Figura 21. <i>Sectorización de la cabecera municipal</i>	79
Figura 22. <i>Modelación hidráulica año 2022</i>	81

Figura 23. <i>Modelación hidráulica año 2047.</i>	82
Figura 24. <i>Modelación hidráulica sector 1.</i>	85
Figura 25. <i>Modelación hidráulica optimizada sector 1.</i>	86
Figura 26. <i>Modelación hidráulica sector 2.</i>	88
Figura 27. <i>Modelación hidráulica optimizada sector 2.</i>	89
Figura 28. <i>Modelación hidráulica sector 3.</i>	91
Figura 29. <i>Modelación hidráulica optimizada sector 3.</i>	91

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Nivel de complejidad del sistema respecto a la población.</i>	20
Tabla 2. Factores de mayoración con respecto al nivel de complejidad del sistema.	22
Tabla 3. Clasificación CALDAS-LANG.	32
Tabla 4. Datos Históricos del Clima. National Centers for Environmental Information. 33	
Tabla 5. Oferta hídrica La Quebrada la Honda.	35
Tabla 6. Distribución de la Falla Bituima-La Salina.	38
Tabla 7. Población de los censos de la Mesa Cundinamarca.	42
Tabla 8. Proyección método aritmético censos 1993-2005.	43
Tabla 9. Proyección método aritmético censos 2005-2018.	43
Tabla 10. Promedio de proyecciones método aritmético.	44
Tabla 11. Tasa de crecimiento censos 1993-2005.	45
Tabla 12. Proyección método exponencial censos 1993-2005.	46
Tabla 13. Tasa de crecimiento censos 2005-2018.	46
Tabla 14 Proyección método exponencial censos 2005-2018.	47
Tabla 15. Promedio de proyecciones método exponencial.	47
Tabla 16. Tasa de crecimiento censos 1993-2005.	49
Tabla 17. Proyección método geométrico censos 1993-2005.	49
Tabla 18. Tasa de crecimiento censos 2005-2018.	50
Tabla 19. Proyección método geométrico censos 2005-2018.	50
Tabla 20. Promedio de proyecciones método geométrico.	51
Tabla 21. Población promedio de los métodos utilizados.	52
Tabla 22. Suscriptores de la Mesa Cundinamarca.	54

Tabla 23. Proyección método aritmético Suscriptores.....	55
Tabla 24. <i>Tasa de crecimiento al año 2022.</i>	55
Tabla 25. Proyección método exponencial suscriptores.	56
Tabla 26. Tasa de crecimiento al año 2022.....	56
Tabla 27. Proyección método geométrico suscriptores.	57
Tabla 28. Suscriptores promedio de los métodos utilizados.....	57
Tabla 29. Días festivos a nivel nacional.	59
Tabla 30. Días festivos a nivel municipal.....	60
Tabla 31. Consumo residencial municipio de la Mesa.	61
Tabla 32. Perdidas en el sistema.	62
Tabla 33. Consumo no residencial municipio de la Mesa.	63
Tabla 34. <i>Caudales de diseño por habitantes del municipio de la Mesa</i>	67
Tabla 35. <i>Caudales de diseño por suscriptores del municipio de la Mesa</i>	69
Tabla 36. <i>Caudales de diseño por suscriptores del municipio de la Mesa</i>	69
Tabla 37. <i>Diámetros de las tuberías existentes</i>	74
Tabla 38. <i>Coefficientes de pérdidas por accesorios.</i>	77
Tabla 39. <i>Demanda de acuerdo a los suscriptores.</i>	80
Tabla 40. <i>Barrios sector 1</i>	84
Tabla 41. <i>Barrios sector 2</i>	87
Tabla 42. <i>Barrios sector 3</i>	90

Resumen

La Mesa es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, el cual tiene un sistema de acueducto deficiente, debido a que no cumple con las condiciones de abastecimiento, motivo por el cual se tienen programados horarios para la utilización del servicio.

En la actualidad se está implementando una sectorización, dejando tanques de almacenamiento individuales para cada zona, con el objetivo de tener un suministro constante las 24 horas, es por esto que en el presente documento se realizó un análisis de las condiciones actuales del sistema, a través de diferentes modelaciones por medio del software EPANET.

La primera modelación se realizó tomando como base el sistema actual, la condición al año 2022 y 2047, en donde se estudió el comportamiento de factores como la presión y el caudal, a través del crecimiento poblacional y la densificación del área urbana; posteriormente con la premisa de la sectorización, se realizó la modelación en tres zonas, en donde se incluyeron cambios en las características de los elementos del sistema, como lo son los diámetros de las tuberías, reubicación de las demandas, elevación de la cota del tanque e incorporación de otros elementos; para cada sector.

En consecuencia, y posterior al análisis realizado, se determinó que con respecto a las modelaciones del año 2022 y 2047, la totalidad del sistema no garantiza el adecuado funcionamiento de la red; sin embargo, como producto de la sectorización y los cambios en los elementos de la red, el sistema logra cumplir los requerimientos del municipio.

Palabras clave: Acueducto, presión, sectorización, población, caudal

Abstract

La Mesa is a municipality located in the department of Cundinamarca, which has a deficient aqueduct system, due to the fact that it does not meet the supply conditions, which is why there are scheduled hours for the use of the service.

At present, a sectorization is being implemented, leaving individual storage tanks for each zone, with the aim of having a constant supply 24 hours a day, which is why in this document an analysis of the current conditions of the system was carried out, through different modeling by means of EPANET software.

The first modeling was carried out based on the current system, the condition to the year 2022 and 2047, where the behavior of factors such as pressure and flow was studied, through population growth and densification of the urban area; Subsequently, with the premise of sectorization, the modeling was carried out in three zones, where changes in the characteristics of the elements of the system were included, such as the diameters of the pipes, relocation of the demands, elevation of the level of the tank. and incorporation of other elements; for each sector.

Consequently, and after the analysis carried out, it was determined that with respect to the modeling for the years 2022 and 2047, the entire system does not guarantee the proper functioning of the network; however, as a result of sectorization and changes in the elements of the network, the system manages to meet the requirements of the municipality.

Keywords: Aqueduct, pressure, sectorization, population, flow

Introducción

El agua es un recurso hídrico considerado en Colombia un servicio público que alineados con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) establece en el numeral 6 que se debe:

 aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CELAC], 2018, p. 36).

Conforme a esto la CELAC 2018, detalla que en Colombia específicamente en las zonas urbanas el 97% de la población cuenta con acceso al servicio de agua potable y en las zonas rurales es inferior siendo de un 74% el acceso a este servicio, así las cosas, los sistemas de acueductos en el país presentan fallas que pueden estar dadas por una inadecuada ejecución de los proyectos, deterioro de los sistemas de abastecimiento, baja disponibilidad del recurso hídrico, e inclusive un mal manejo de los recursos económicos.

Para el presente proyecto se tomará el departamento de Cundinamarca, concretamente el municipio de la Mesa que de acuerdo con la Alcaldía Municipal al año 2022, cuenta con aproximadamente 32.000 habitantes de los cuales 18.000 habitan en el casco urbano, actualmente el municipio de la Mesa es abastecido por la quebrada la honda ubicada en la vereda Laguneta del municipio de Tena Cundinamarca, la cual abastece por gravedad dicho municipio, sin embargo, en algunas zonas se presenta baja presión tanto en el casco urbano como en el rural y el no suministro de agua potable durante las 24 horas del día, por lo cual se evidencia un incumplimiento a los criterios estipulados en la resolución 0330 de 2017 por medio de la cual se plantean las medidas necesarias para el buen funcionamiento del sistema de abastecimiento.

De acuerdo con lo anterior se hace necesario realizar la formulación y elaboración de un plan maestro de acueducto, por medio de un proceso de planificación, armonización integral de los recursos e implementación de esquemas eficientes y sostenibles en pro del bienestar de la población en lo referente al recurso hídrico, así pues con el presente trabajo de grado se pretenden identificar los puntos críticos en la red de abastecimiento existente del municipio de la Mesa, por medio de una modelación de la red, logrando identificar las posibles alternativas que permitan contribuir al cumplimiento de lo establecido en la resolución 0330 de 2017 y garantizar el acceso de la población al recurso hídrico durante las 24 horas del día con el fin de mejorar la calidad de vida.

Planteamiento Del Problema

Los problemas que afronta el municipio de la Mesa Cundinamarca comienzan sobre los años ochenta y hasta la actualidad, en donde se evidencia la escasez del recurso hídrico, siendo esta la situación problema sobre la cual se enmarca el objeto del presente estudio. Es importante mencionar que en los años noventa se realizaron mejoras en el sistema de acueducto, sin embargo, esto no fue suficiente, puesto que el municipio de la Mesa se convirtió en un sitio turístico para los habitantes de Bogotá D.C., pues se caracteriza por su clima cálido y la cercanía a la ciudad, así las cosas, el número de turistas se incrementó, con lo cual la red de abastecimiento fue insuficiente para garantizar la demanda de dicho servicio.

En principio se comenzó a gestionar un sistema de acueducto ubicado en una cascada llamada El Tambo en el municipio de Tena Cundinamarca, a través de este se realiza la captación del recurso hídrico por medio de la quebrada La Honda la cual se dirige, por más o menos cinco kilómetros hasta llegar a la planta de tratamiento, esta última se encuentra ubicada en la parte alta del municipio de la Mesa, desde este punto se distribuye el agua a varios municipios, situación que permite evidenciar la capacidad insuficiente de la red de abastecimiento debido a que esta captación no es exclusiva del municipio de la Mesa.

El crecimiento poblacional en el municipio, dio paso para iniciar los diseños para suministrar el recurso hídrico desde el Sistema de la Empresa de Acueducto de Bogotá D.C., dicha situación permitió avanzar en la construcción de la red de abastecimiento en el año 2004 y hasta la actualidad, sin embargo, este municipio al contar con alta afluencia de turistas, los avances de este proyecto han sido insuficientes puesto que no garantizan la cobertura de acuerdo con la demanda, situación dada por la corrupción, los sobrecostos, la falta de planeación, y la carencia del mantenimiento de la red de distribución la cual tiene más de 17 años, esta presenta

niveles bajos de presión así como no continuidad del suministro durante las 24 horas del día, como se establece en la normatividad vigente.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario evaluar la red de abastecimiento actual, debido a que se evidencia un crecimiento en habitantes, los cuales no estaban contemplados para el plan de ordenamiento de dicho municipio, por lo tanto en aras de generar un diagnóstico situacional a través del análisis de fuentes de información de las condiciones actuales, permitan modelar posibles alternativas de solución, con las cuales se contribuya al mejoramiento del abastecimiento de agua de acuerdo con las demandas actuales y futuras.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la red de abastecimiento del municipio de la Mesa Cundinamarca, por medio de la identificación de los criterios de operación que están dados por la baja presión y no suministro continuo del recurso hídrico, con el fin de diagnosticar alternativas de mejoramiento.

Objetivos Específicos

Evaluar el abastecimiento del recurso hídrico de la quebrada la honda de la vereda Laguneta, con el fin de verificar la capacidad de abastecer la demanda actual y futura del municipio de la Mesa Cundinamarca.

Realizar un diagnóstico de la red de abastecimiento del municipio de la Mesa Cundinamarca, a través del análisis de información suministrada en cuanto a las condiciones actuales.

Identificar las causas principales que afectan los criterios de operación de la red de abastecimiento, por medio del análisis de información a través de un software especializado.

Alcance

Llevar a cabo el desarrollo de un documento en donde se presente el análisis de la evaluación realizada a la red de abastecimiento del municipio de La Mesa, Cundinamarca, en donde se hará una identificación de los criterios de operación del sistema actual que están generando baja presión, bien sea porque no están funcionando de manera correcta o porque ya no cumple con la especificación de lo requerido para dicho sistema, según normatividad vigente resolución 0330 de 2017, (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

De acuerdo con lo anterior, como primera medida se pretende modelar la red de abastecimiento actual haciendo uso del software EPANET, para posteriormente hacer un aumento en la demanda de caudal con las nuevas implementaciones o correcciones que según el análisis deban hacerse al sistema, haciendo uso de las proyecciones de población a 45 años. Se debe tener en cuenta que, para el análisis de la red, previamente debe analizarse la captación, que para el caso de estudio corresponde a la quebrada Honda ubicada en la vereda Laguneta.

Justificación

En Colombia se considera un derecho fundamental el acceso al agua el cual tiene que ser asequible, saludable y aceptable, debido a esto se reconoce que el servicio de acueducto es de gran importancia para el desarrollo de las poblaciones, puesto que es el encargado de captar, almacenar, tratar y controlar dicho servicio, las redes de distribución del municipio de la Mesa son sistemas complejos cuyo funcionamiento se ha visto afectado por diferentes aspectos como lo son el desarrollo no planificado de la red, los malos manejos de los operarios y el mal manejo de los recursos económicos.

Debido a lo anterior se pretenden realizar alternativas para dar solución a los puntos que se ven mayormente afectados en las redes de distribución, modificando e implementado nuevas tecnologías y utilizando un software más eficaz, como lo es EPANET creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, el cual es de uso público y se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas para la modelación de las redes de distribución. “Entre sus diferentes aplicaciones pueden citarse el diseño de programas de muestreo, la calibración de un modelo hidráulico, el análisis del cloro residual, o la evaluación de las dosis totales suministradas a un abonado” (Niño, 2017, p. 17).

Marco Teórico

Marco Teórico

Los diseños de acueducto realizados en Colombia, en la actualidad deben efectuarse con los métodos y procesos según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2010), título A y B (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010), además se deben cumplir los requisitos técnicos de la resolución 0330 de 2017.

Dotación neta

Es la cantidad de agua necesaria que llega a los usuarios para satisfacer las necesidades básicas de la población, sin considerar las pérdidas que ocurran en la red de distribución y teniendo en cuenta el nivel de complejidad según el número de habitantes en la zona (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), p. A. 43.

Depende del nivel de complejidad del sistema y la altura donde se realice el proyecto, a continuación, se presentan los valores de dotación neta máxima a usar según la Resolución 0330 de 2017.

Tabla 1.

Nivel de complejidad del sistema respecto a la población.

Nivel De Complejidad	Población En La Zona Urbana (Habitantes)	Capacidad Económica De Los Usuarios
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Nota. La tabla representa el nivel de complejidad dependiendo la cantidad de habitantes y su capacidad económica. Adaptado de “Resolución 0330 de 2017” por Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017. (<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>)

Pérdidas técnicas

Estas pérdidas no deberán superar el 25%, las cuales se consideran en todos los componentes del sistema (conducciones, aducciones y redes) estipuladas en la resolución 0330 de 2017.

Dotación bruta

Esta se calcula conteniendo las pérdidas que se tienen en el sistema sin que se perjudique la dotación neta y como lo indica la Resolución 0330 de 2017.

Ecuación 1

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

Donde:

- D_{bruta} : Dotacion bruta.
- D_{neta} : Dotacion neta.
- $\%p$: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño.

Factor de mayoración

Para determinar los factores de mayoración k_1 y k_2 , se debe tener en cuenta el nivel de complejidad del sistema, según la Resolución 0330 del 2017 para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes lo que es igual a un nivel de complejidad bajo y medio, el factor k_1 no podrá ser superior a 1.3 ni el factor k_2 superior a 1.6, en cambio, para poblaciones mayores a 12.500 habitantes, el factor k_1 no podrá superar el valor de 1.2 ni el factor k_2 superior a 1.5.

Tabla 2.

Factores de mayoración con respecto al nivel de complejidad del sistema.

NIVEL DE COMPLEJIDAD	k1	k2
Bajo	1,3	1,6
Medio	1,3	1,6
Medio Alto	1,2	1,5
Alto	1,2	1,5

Nota. La tabla representa los factores de mayoración de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema. Adaptado de “Resolución 0330 de 201” por Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Republica de Colombia,2017. (<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>)

Caudales

En lo establecido en el RAS, 2010 Titulo B para el diseño de un sistema de acueducto se deben contemplar los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario, esto con el fin de obtener el caudal de diseño de dicho sistema.

Caudal Medio Diario (Qmd). “Pertenece al promedio de los consumos diarios de caudal en un periodo de un año” (RAS 2010, p. 38), el cual se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 2

$$Q_{md} = \frac{N^{\circ} \text{ Suscriptores} * D_{bruta}}{30}$$

Donde:

- *Qmd: Caudal medio diario*
- *D_{bruta}: Dotacion bruta dada en $\frac{m^3}{\text{suscriptor mes}}$*

Caudal Máximo Diario (QMD). “Corresponde al consumo que se registra durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año” (RAS, 2010, P. 38), el cual se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 3

$$QMD = Qmd * k_1$$

Donde:

- *QMD: Caudal máximo diario*
- *k₁: Coeficiente de consumo máximo diario*

Caudal Máximo Horario (QMH). “Corresponde al consumo máximo que se registra durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio” (RAS, 2010, p.39), el cual se calcula de la siguiente manera.

Ecuación 4

$$QMH = QMD * k_2$$

Donde:

- *QMH: Caudal máximo horario*
- *k₂: Coeficiente de consumo máximo horario*

Marco Conceptual

Estudios previos

Para el diseño de un sistema de acueducto es necesario y muy importante aplicar lo establecido en el RAS, 2010 Título B, numeral 6.2 estudios previos, con el fin de lograr un diseño óptimo y eficaz que supla las necesidades básicas de la población.

Conducción

“Las tuberías de conducción son redes destinadas al transporte de agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los tanques de almacenamiento o hasta la red de distribución” (RAS, 2010, p. 123)

Redes de distribución

"Conjunto de tuberías cuya función es la de suministrar el agua potable a los consumidores de la localidad" (Cualla, 1995, p. 235).

Trazado de red

"Debe obedecer a las condiciones físicas de la población, dependiendo de condiciones por tal motivo no existe una forma predefinida del trazado" (Cualla, 1995, p. 235).

Presiones mínimas de servicio

La presión mínima en las redes de distribución en Colombia debe ser de 10 m.c.a, en las que se esté diseñando con 12.500 habitantes y 15 m.c.a para poblaciones mayores a 12.500 habitantes (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

Marco Legal***Resolución 0330 de 2017***

En la Resolución se presentan los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas tanto de diseño, construcción, operación y entre otras, con todo lo relacionado a servicios públicos, acueducto, alcantarillado y aseo.

Antecedentes

La Tecnología Y La Modelación

En la actualidad es de gran importancia el uso de la tecnología, debido a que nos permite tener una mejor organización, llevar controles y registros, mejoramiento de la comunicación y reducción de costos, entre otros; sin embargo para el caso del diseño de los sistemas de acueducto y alcantarillado, podemos contar con el software EPANET, este es de uso libre y nos permitirá realizar una modelación hidráulica, el análisis de ese modelo, en donde se deben tener en cuenta las características de las tuberías y el comportamiento en los nodos de las mismas.

Antecedentes Del Sistema De Acueducto De La Mesa

Históricamente en este municipio, no se ha logrado obtener un servicio de agua potable eficiente, esto debido a la diversa lista de dificultades que presenta el sistema de acueducto, los que van desde corrupción; siendo este uno de los factores que más afecta el desarrollo efectivo de los proyectos, por los intereses económicos de quienes han estado a cargo; hasta sobrecostos, falta de planeación e incumplimiento en los términos pactados por diferentes entidades para el desarrollo de dicho proyecto; este desabastecimiento también afecta el municipio de Anapoima en el mismo departamento, porque el agua potable se genera bajo la misma red de acueducto; este servicio es intermitente para ambos lugares y en diferentes horas del día; sin embargo “el Acueducto de Bogotá, las Empresas Públicas de Cundinamarca y la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A.E.S.P. firmaron un convenio para que los municipios de La Mesa y Anapoima tengan suministro permanente del líquido” (Semana, 2017, párr. 2). Lo que corresponde al 48% de avance de la obra total según lo indica la Gobernación de Cundinamarca en enero de 2022, pero que aún carece del abastecimiento para aproximadamente 104 mil habitantes.

De igual manera sobre la misma noticia de la Gobernación de Cundinamarca (2022) titulada Más de \$39 mil millones para culminar las obras del acueducto regional La Mesa-Anapoima; se indica que pretende garantizar la finalización del proyecto y poner en marcha dicho acueducto, actividades que iniciarán de acuerdo a su presupuesto así:

\$2.291 millones para la optimización de la infraestructura de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de La Mesa. \$580 millones para el fortalecimiento al prestador del servicio de acueducto, la ERAT (Empresa Regional Aguas del Tequendama). Y \$864 millones para los estudios y diseños de la optimización de las redes de distribución en los dos municipios, los cuales hoy cuentan con un avance del 20% (párr. 2).

De acuerdo con lo anterior se tiene que, a pesar de contar con el sistema de acueducto para el abastecimiento de agua potable en el sector de La Mesa, Cundinamarca, la cual corresponde a la zona de estudio; este no es suficiente para la dotación que requiere la población hoy en día, de modo que lo que se busca obtener por medio de este estudio investigativo, es el planteamiento de alternativas de solución a la problemática ya mencionada anteriormente, la cual corresponde al desabastecimiento de agua potable en el municipio de la Mesa, por medio de un sistema eficiente de acueducto.

En la identificación de estas alternativas se pretende principalmente establecer una manera de lograr la presión requerida durante las horas del día donde el abastecimiento que proviene desde la quebrada Honda no es suficiente para la demanda total que se tiene del servicio en dichas horas del día, dentro de estas alternativas, se realizará el modelamiento de las redes de distribución actuales y se identificarán los puntos críticos del servicio, para así comenzar a generar el cambio que se tiene actualmente y lograr la demanda durante las 24 horas del día para el municipio por medio del establecimiento de estrategias y soluciones efectivas.

Debido a que corresponde a una problemática del ámbito social, consideramos que, desde nuestra profesión como ingenieros civiles, es de gran importancia generar aportes positivos a la sociedad a partir de nuestros núcleos de conocimiento, como lo son en este caso los sistemas de acueducto para las poblaciones y evaluando de igual manera la necesidad de dicho servicio, no solo para las personas que allí residen si no de igual forma para la población que visita el lugar por motivos turísticos y que afecta de gran manera a la población, debido a que al no tener un sistema que logre el abastecimiento permanente del servicio, esto puede generar molestias en cuanto a la limpieza de lugares públicos, o a la no prestación del servicio en el más extremo de los casos, de igual forma en el caso del consumo, tanto para los habitantes como para los visitantes, la idea es asegurar que el agua sea apta para dichos fines.

Además, según el *Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico* de la Financiera del Desarrollo Territorial S.A. (FINDETER, 2017) se presume que “garantizar disponibilidad del recurso es una de las prioridades establecidas por el Plan Nacional de Desarrollo, que pretende reducir brechas en la provisión de servicios públicos como el agua potable y saneamiento básico” (p. 3).

Metodología

Las actividades que se desarrollaran en esta investigación se dividen en las siguientes cinco fases:

Visitas De Campo

Se realizará una visita a la ERAT S.A.E.S.P., con el fin de consolidar la información obtenida y así mismo tener un acercamiento con la población y obtener fotografías del lugar.

Recopilación De Información

Se realizó un estudio de la red de distribución de agua potable actual y sus características por medio de la recolección de información suministrada por la ERAT S.A.E.S.P. del municipio de la Mesa Cundinamarca; obteniendo la siguiente información:

- Evaluación de las estructuras que componen el sistema.
- Datos de consumo de los habitantes del municipio de la mesa.
- Registros de presiones de la red primaria.
- Planos de redes del sistema de acueducto.
- Datos hidrológicos de la zona.
- Curva de modelación de consumo.

Identificación De Las Posibles Causas De Afectación Del Sistema De Acueducto De La Mesa

Con base a la información obtenida en la fase 2 se realizará una modelación de la red existente, por medio del software EPANET con el fin de identificar cuáles son los elementos o factores que están generando afectación en el sistema, es decir, identificar los puntos que generan

bajas presiones o el no suministro de agua durante las 24 horas del día en el municipio de la Mesa Cundinamarca.

Planteamiento De Alternativas Para La Posible Solución Del Problema De Abastecimiento De La Red De Acueducto

De acuerdo con la fase 3 se podrá establecer cuáles son los cambios necesarios para optimizar la red de abastecimiento actual, en donde se presentarán situaciones como descarte de accesorios, cambios de tuberías (diámetros, material) o su lineamiento. Con el fin de realizar una comparación de los resultados que se obtengan de la modelación, teniendo en cuenta la optimización de la red, frente a la información brindada por la ERAT S.A.E.S.P.

Análisis Y Conclusiones

Evaluando la información obtenida con respecto a la comparación, se determinarán los puntos críticos en la red actual y así poder determinar cuál de las dos soluciones planteadas permite una mejor optimización del sistema para que el abastecimiento sea el necesario durante las 24 horas de día en el municipio.

Diagnóstico Y Aspectos Generales Del Municipio

Ubicación

La Mesa es un municipio del departamento de Cundinamarca, es cabecera y capital de la Provincia del Tequendama, se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 4°37'49" N 74°27'45" O. Limita al norte con los municipios de Cachipay, Quipile y Zipacón, al sur con Anapoima y El Colegio, al oriente con Tena y Bojacá y al occidente con Quipile y Anapoima.

La superficie total es de 148 km², distribuidos en 2,75 km² para el casco urbano y el 145,25 km² de área rural, se ubica entre los 600 y 2350 msnm con su cabecera municipal a 1220 msnm y con una temperatura media de 22°C, (Alcaldía Municipal de la Mesa, 2022).

Vías del Municipio

Según la Alcaldía Municipal de la Mesa, (2022), el municipio de la Mesa posee la ruta del valle del Tequendama (Bogotá – La Mesa – Girardot) por una de las mejores vías del occidente, se ubica a 74 km de Bogotá con un tiempo aproximado de 2 horas, en el trayecto Bogotá – la Mesa, encontramos 2 peajes detallados así:

- Peaje Río Bogotá
- Peaje Mondoñedo

También podemos encontrar rutas alternas o secundarias adicional a la ruta del Valle del Tequendama la vía que conduce por Soacha – Salto del Tequendama – Mesitas del Colegio – la Mesa.

Figura 1.

Vías de acceso del municipio de la Mesa.



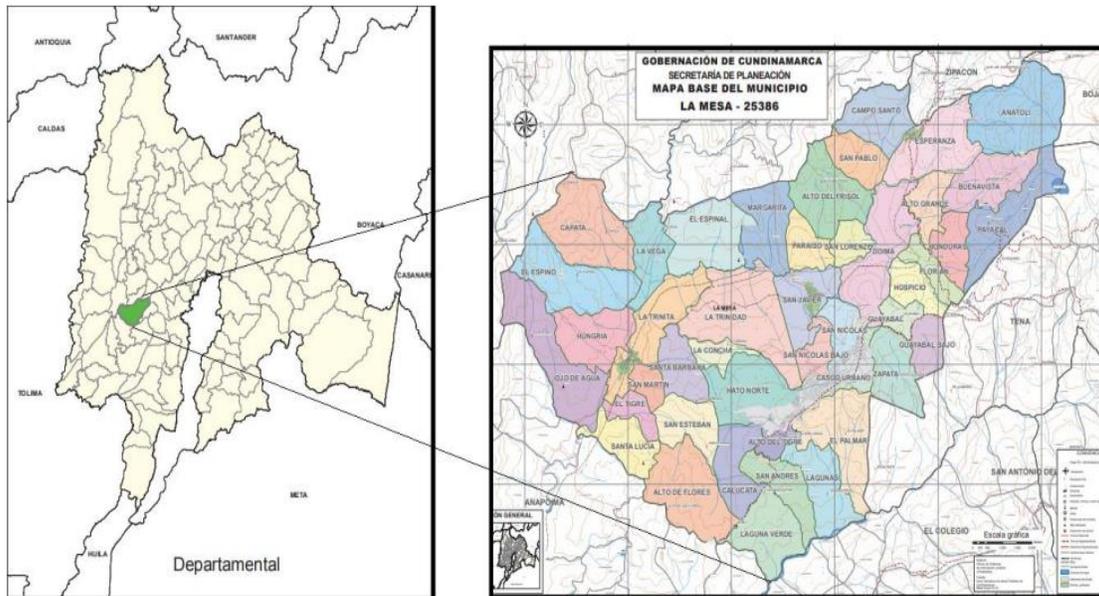
Nota. La figura representa las vías de acceso al municipio de la Mesa, en donde la de color negro representa la vía principal y la de color rojo la secundaria. Tomado de “Alcaldía Municipal de la Mesa”, Gobernación de Cundinamarca. 2022 (<https://lamesa-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>)

División Política

El municipio de la Mesa Cundinamarca cuenta con 20 barrios y 7 veredas en su cabecera municipal, 3 inspecciones municipales las cuales se denominan a continuación: San Javier (se divide en 7 veredas), San Joaquín (se divide en 8 veredas), La Esperanza (se divide en 10 veredas). Para un total de 32 veredas en el municipio de la Mesa y que se detallan en la siguiente imagen.

Figura 2.

División política del municipio de la Mesa.



Nota. La figura representa la división política del municipio el cual se divide en 32 veredas y 20 barrios en su cabecera municipal. Tomado de “Estudio de prefactibilidad para la implementación de una turbina hidroeléctrica como fuente energética para la población del casco urbano de la inspección municipal de san Joaquín ubicada en el municipio de la Mesa, Cundinamarca. Fase I”, Romero, D. 2019 (https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2857/Romero_Ronderos_Daniel_Fernando_2019.pdf?sequence=1)

Climatología

El municipio de la Mesa Cundinamarca se caracteriza por tener un clima templado según la clasificación CALDAS-LANG, publicada en el año 2014 por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia).

Tabla 3.

Clasificación CALDAS-LANG.

Piso Térmico	Rango Elevación	Rango Temperaturas
Cálido	0 a 800	T>24°C
Templado	800 a 1800	24°C>T>18°C
Frío	1800 a 2800	18°C>T>12°C
Muy Frío	2800 a 3700	12°C>T>6°C
Extremadamente Frío	3700 a 4700	6°C>T>0°C
Nival	>4700	T<0°C

Nota. Clasificación CALDAS-LANG, la cual representa el piso térmico de acuerdo con la elevación y temperatura. Adaptado de “Atlas Climatológico de Colombia”, por el IDEAM, s.f. (<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas-de-colombia>)

La temperatura de la zona ha sido medida mediante las estaciones y cuyos resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.

Datos Históricos del Clima. National Centers for Environmental Information.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	22,8	23,2	22,9	22,6	22,5	22,3	22,4	22,9	23,1	22,5	22,2	22,5
Temperatura min (°C)	20,2	20,6	20,6	20,6	20,6	2,4	20,1	20,4	20,6	20,2	20	20,1
Temperatura máx (°C)	25,7	26,3	25,9	25,1	24,7	24,5	24,7	25,5	25,8	25,1	24,9	25,2
Precipitación (mm)	134	210	370	498	609	569	522	401	381	383	288	186
Humedad (%)	77%	76%	80%	83%	84%	82%	79%	76%	77%	82%	84%	81%
Días lluviosos (días)	17	17	21	21	21	21	21	20	20	21	21	19
Horas de sol (horas)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,3	8,6	8,8	8,9	8,6	7,5	6,9	7,5

Nota. Representa los datos generales de climatología del municipio de la Mesa 1991-2021. Adaptado de “Clima La Mesa (Colombia)”, por Climate Date, s.f. (<https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/la-mesa-49864/>)

Se aprecian los siguientes datos:

- Temperatura Max: Se evidencia que el mes de febrero presenta la temperatura máxima en la zona la cual es de 26.3 °C
- Temperatura Min: Se evidencia que el mes de noviembre presenta la temperatura mínima en la zona la cual es de 20 °C
- Humedad: La zona presenta una humedad entre el 76 % y 84% en el año.
- La zona presenta más o menos 240 días lluviosos en el año.

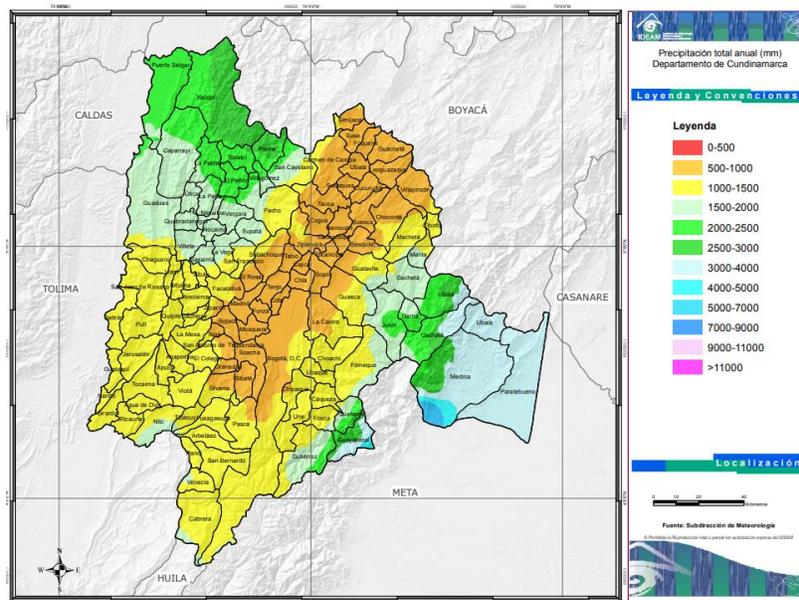
Precipitación

El Análisis de la precipitación se realiza mediante el estudio de las estaciones climatológicas suministradas por el IDEAM, donde se puede observar que en el departamento de Cundinamarca predomina una precipitación promedio entre 500 y 1500 mm de lluvia en el año; el municipio de la Mesa Cundinamarca presenta precipitaciones con un promedio de 1000 a 1500

mm de lluvia en el año, no obstante, se puede observar que en las zonas más distantes al municipio se presentan precipitaciones más altas.

Figura 3.

Precipitación total anual (mm).



Nota. Representa los datos generales de precipitación del Departamento de Cundinamarca. Tomado de “Atlas Climatológico de Colombia”, por el IDEAM, s.f. (<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas-de-colombia>)

Oferta Hídrica Quebrada Honda

La quebrada cuenta con una extensión total de 36.33 Km² cuenta con un caudal estimado en época de verano de 81.5 m/s, una temperatura promedio de 21°C, una precipitación que oscila entre los 1.800 a 2.300 mm por año y con una altitud de 850 a 2.600 m.s.n.m.; es una quebrada que pertenece a la Cuenca Baja del Río Bogotá, la podemos encontrar en la región del Tequendama, al occidente, en el Municipio de Tena.

Esta microcuenca cuenta con una serie de afluentes, los cuales permiten la alimentación de la misma, denominados de la siguiente manera:

Tabla 5.

Oferta hídrica La Quebrada la Honda.

Red Hídrica
Dos quebradas
El Obispo
San Isidro
Roble Hueco
Veinte de Julio
Coyancha
Palestina
Honduras
Los Canelos
Santa Cruz
La Azufrada

Nota: La tabla representa los afluentes que alimentan la Quebrada la Honda. Elaboración Propia.

Esta microcuenca cuenta con una problemática de control del recurso, lo que a su vez genera un desperdicio en el recurso; esto se debe al aumento de algunos acueductos que no se encuentran reglamentados, debido al desorden también se genera que no se puede unificar y parametrizar la eficiencia en cuanto a la prestación del servicio, ni en provisión ni en consumo.

En cuanto a las características ambientales, se abordan algunas problemáticas como lo son:

- La distribución predial, cuenta con 137.8 Ha. en área de ronda de afluentes contribuyentes; los cuales abastecen 135 predios de 32 propietarios.
- Desprotección de las áreas de ronda.
- Contaminación por la actividad ganadera.
- Mal manejo de las aguas residuales y de escorrentía.
- Deterioro paisajístico del espacio público peatonal.
- Turismo desorganizado.
- Erosión por deforestación.

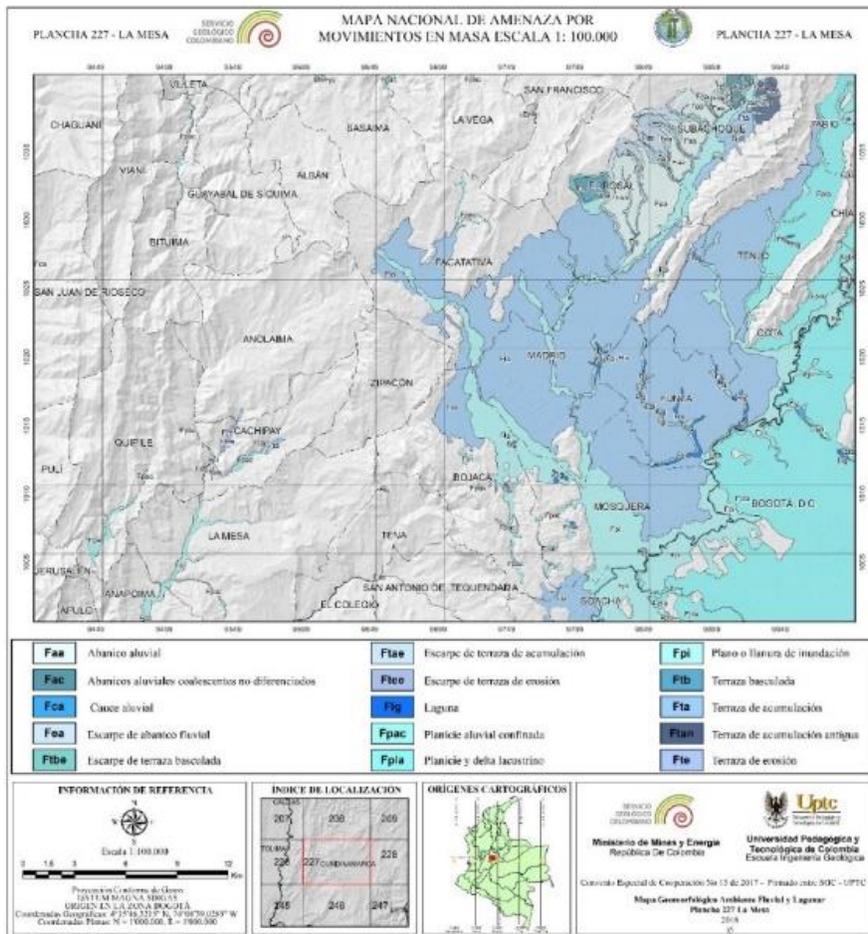
Topografía

La topografía del municipio va desde ondulado a quebrado, en donde predomina el terreno quebrado por que se presenta tanto en la zona nororiental como en el sur de la meseta; donde se generan fallas geológicas que ocasionan deslizamientos leves; en general es una zona de riesgo por deslizamientos.

Ambiente fluvial

Figura 4.

Formaciones de Ambiente Fluvial.

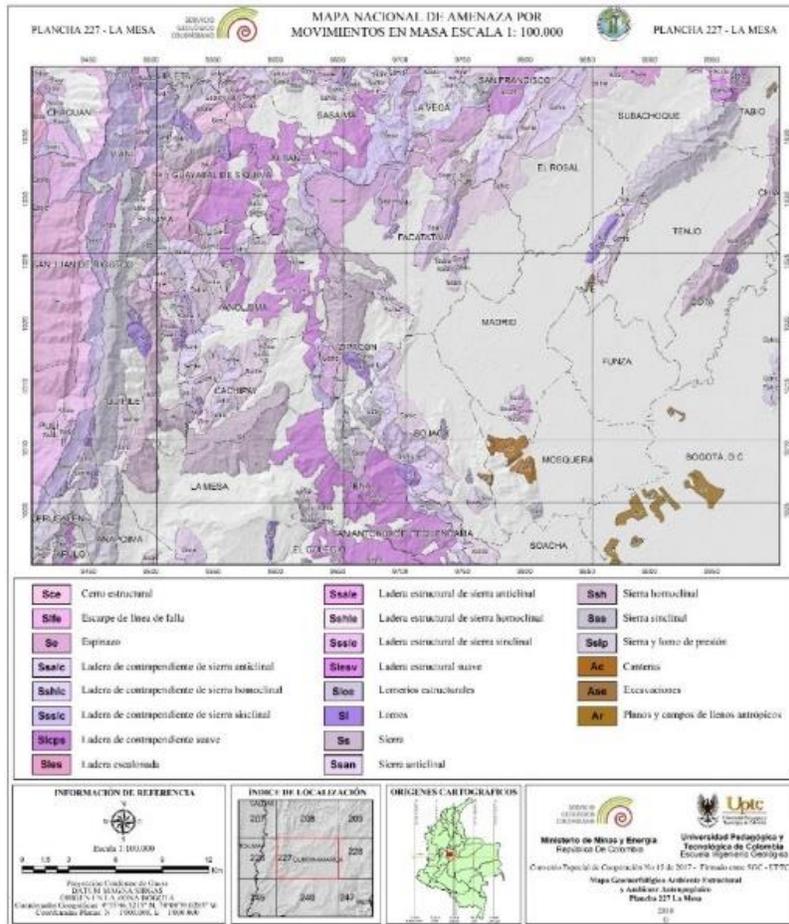


Nota. Representa las formaciones fluviales del municipio de la Mesa. Tomado de “Mapa Nacional de Amenaza Por Movimientos en Masa Escala 1:100.000” por el SGC (2018).

Ambiente estructural

Figura 5.

Formaciones de Ambiente Estructural.



Nota. Representa las formaciones estructurales del municipio de la Mesa. Tomado de “Mapa Nacional de Amenaza Por Movimientos en Masa Escala 1:100.000” por el SGC (2018).

Geología y Suelos

Para el caso de La Mesa, la plancha correspondiente es la No. 227, según el SGC, en donde se determina que el municipio tiene unidades litoestratigráficas que están compuestas por dos regiones, estas se encuentran separadas por el sistema de fallas de Bituima – La Salina,

conocidas como: “Área de la Sabana de Bogotá y Región del Tequendama” para el sector Oriente de la Estructura y “Área del Valle Medio del Magdalena” para el occidente de esta.

Tabla 6.

Distribución de la Falla Bituima-La Salina.

ESTE			
1	2	3	4
Grupo Villeta (3.400 m, Barremiano a Coniaciano)	Grupo Guadalupe (490 m, Santoniano a Maastrichtiano inferior)	Formaciones Guaduas y Bogotá (1.500 m, Maastrichtiano superior a Eoceno inferior),	Depósitos Cuaternarios
Lodolitas Cuarzoarenitas Calizas Liditas Chert Negro	Cuarzoarenitas Liditas	Lodolitas Rojas Cuarzoarenitas	Relleno Lacustre de la Sabana de Bogotá Levantamiento de los Andes
OESTE			
1	2	3	4
Grupo Guaguaquí (400 m, Turoniano a Coniaciano),	Grupo Olini (200 a 600 m, Coniaciano superior a Maastrichtiano medio)	Formaciones Seca, Hoyón y San Juan de Río Seco (2.020 m, Paleoceno a Oligoceno)	La Formación Santa Teresa (150 m, Oligoceno)
Lodolitas Calcáreas Liditas Negras	Chert Liditas Lodolitas Calcáreas Conglomerados de cherts grises	Lodolitas Rojas Cuarzoarenitas Sublitoarenitas Conglomerados polimícticos	Lodolitas Grises Cuarzoarenitas Carbones Arcillosos

Nota. Especifica los diferentes tipos de roca de acuerdo con las formaciones y grupos que hacen parte de la Falla Bituima-La Salina en el municipio de la Mesa. Adaptado de: “Plancha 227 municipio la Mesa” por el SGC (2018).

Geología estructural

La zona se encuentra dividida en tres bloques, de los cuales cada uno tiene características propias y está separado por fallas regionales, si los nombramos de oriente a occidente, tenemos lo siguiente:

Sabana de Bogotá

Cubre el 65% del área de la plancha, comprende desde el límite oriental de la plancha hasta la Falla de Zaragoza-Corraleja; y es allí donde encontramos la Falla de Zaragoza que limita por el sur la zona y en el cerro Pan de Azúcar cambia de dirección y se convierte en el frente de la Falla la Corraleja; al norte de estas formaciones se observan

fallas de cabalgamiento y pliegues, las cuales de acuerdo a su relación angular, indican que ha tenido un desplazamiento lateral con sentido sinistral.

Encontramos al norte la Falla de Santa Bárbara, en donde terminan fallas del suroeste que repiten secuencias del Grupo Guadalupe y pliegues de esta; esta Falla termina al norte cerca al río Cachipay. Al nororiente de esta encontramos la Falla de la Delicia la cual termina hacia el norte de la población de Zipacón; según la plancha 246 el Sistema de Fallas de Facatativá termina contra la Falla de Santa Bárbara. (INGEOMINAS, 2001).

Anticlinorio de Villeta

Se encuentra ubicada entre la Falla de Bituima y la Falla en Corraleja-Zaragoza; esta zona puede dividirse en cuatro sectores de sur a norte, en donde el primero es un amplio Anticlinorio compuesto por la Formación Trincheras; la segunda se encuentra al sur del municipio de Quipile, secuencia de cabalgamientos separados por pliegues estrechos, en donde se repiten secuencias de las Formaciones Capotes, Socotá y Trincheras; la tercera se encuentra localizada desde el oriente del Municipio de Quipile hasta la Falla de Vianí, se caracteriza por presentar rocas de las Formaciones Simijaca, Hilo y Capotes, las cuales se conforman por una serie de pliegues estrechos y alargados los cuales están separados por Fallas de Cabalgamiento; en esta zona se presenta una inflexión que corresponde al reflejo del movimiento del límite del sur del bloque de la Sábana de Bogotá. Y, por último, la región No. 4 se presenta desde la Falla de Vianí hasta el límite del norte de la plancha, en donde se observan pequeños pliegues estrechos y una Falla de Rumbo. (INGEOMINAS, 2001)

Figura 6.

Falla de Bituima.



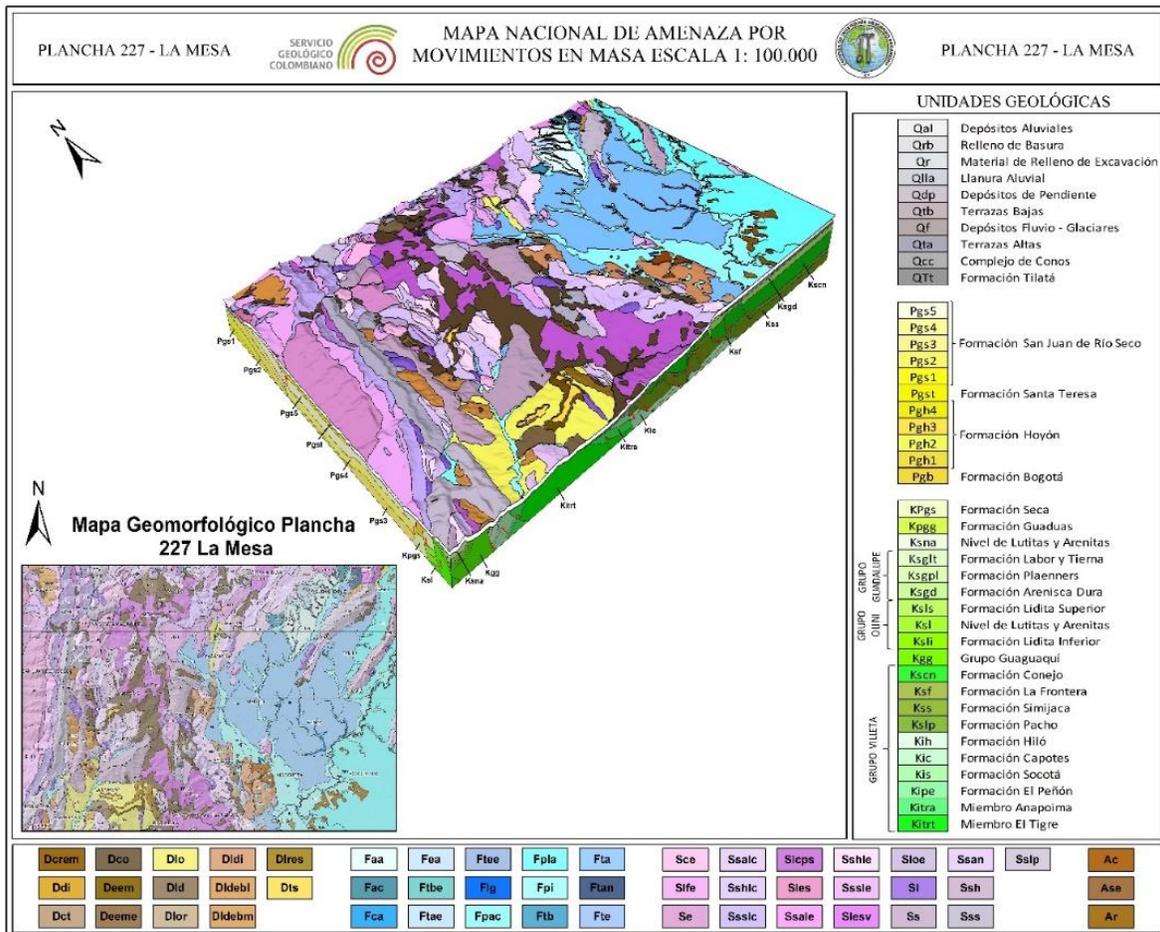
Nota. Apreciación de la Falla de Bituima en el municipio de la Mesa la cual representa la mayor estructura geológicamente importante. Tomado de "Memorias fotográficas de la plancha 227 municipio la Mesa del SGC (Servicio Geológico Colombiano)" 2018.

Sinclinorio de Guaduas

Se encuentra ubicada desde el occidente de la Falla de Bituima hasta el límite Occidental de la plancha, está región se encuentra conformada de oriente a occidente por el Sinclinal de Bituima; al occidente se encuentra la Falla del Agrado la cual cabalga al nivel más alto de la Formación San Juan de Río Seco sobre los niveles de la Formación Hoyón.

Figura 7.

Formaciones Geológicas.



Nota. Apreciación de las unidades Geológicas que componen el municipio de la Mesa. Tomado de “Mapa Nacional de Amenaza Por Movimientos en Masa Escala 1:100.000” por el SGC (2018).

Proyección De Población Al Año 2047

Para determinar el número de habitantes proyectados al año 2047, del municipio de la Mesa Cundinamarca, se tomaron los datos proporcionados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), respectivamente de los años 1993, 2005 y 2018, en los cuales se encuentran la totalidad de población de la cabecera municipal, en donde se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 7.

Población de los censos de la Mesa Cundinamarca.

Población DANE	
Año	Censo
1993	8267
2005	14041
2018	16502

Nota. La tabla representa los censos nacionales de población y vivienda. Adaptado “Censo Nacional de Población y Vivienda” por el DANE (2018). (<https://sitios.dane.gov.co/cnpv/#!/>)

Con los datos mencionados en la tabla anterior, se realizó la proyección de población por medio de tres métodos, los cuales son:

- *Método aritmético*
- *Método exponencial*
- *Método geométrico*

Método Aritmético

Ecuación 5

$$Pf = \left(\frac{n}{m}\right) * (Pi - Po) + Pi$$

Donde:

- P_f = Población correspondiente al año para el que se requiere realizar la proyección
- n = Diferencia de años entre la población futura y el año del último censo
- m = Diferencia de años entre los 2 últimos censos
- P_i = Población último censo
- P_o = Población censo anterior

En un principio se realizó la proyección usando los censos del año 1993 y 2005 y proyectando la población hasta el año 2021 y por último cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8.

Proyección método aritmético censos 1993-2005.

1993-2005	
Año	Población
2021	21740
2022	22221
2027	24627
2032	27033
2037	29438
2042	31844
2047	34250

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 1993-2005. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior, se realizó el mismo procedimiento usando los censos de los años 2005 y 2018 y así poder obtener los siguientes resultados:

Tabla 9.

Proyección método aritmético censos 2005-2018.

2005-2018	
Año	Población
2021	17070
2022	17259
2027	18206
2032	19152
2037	20099
2042	21045
2047	21992

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 2005-2018. Elaboración Propia.

Finalmente se realizó el cálculo promedio de las proyecciones anteriores obtenido los siguientes resultados:

Tabla 10.

Promedio de proyecciones método aritmético.

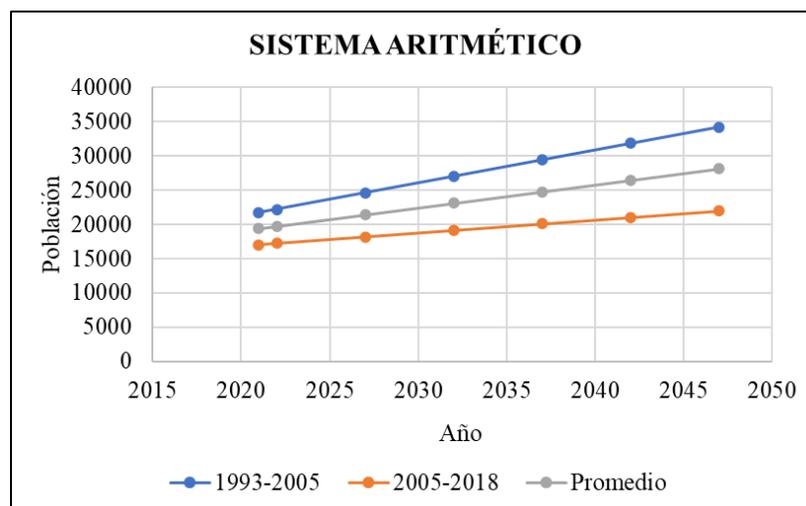
Sistema Aritmético	
Año	Promedio
2021	19405
2022	19740
2027	21416
2032	23092
2037	24769
2042	26445
2047	28121

Nota. La tabla representa los promedios de proyecciones de población al año 2047. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica teniendo en el eje horizontal los años transcurridos y en el eje vertical el aumento de la población, representando los tres resultados obtenidos y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 8.

Proyección de población método aritmético.



Nota. La grafica representa las proyecciones de población al año 2047 teniendo en cuenta los censos de 1993-2005, 2005-2018 y el promedio de estas. Elaboración Propia.

En la gráfica anterior se puede observar la población de acuerdo con su proyección para el sistema aritmético; en donde encontramos los habitantes por censo y el promedio de los mismos.

Método Exponencial

Ecuación 6

$$Pf = Pi * e^{kx(n)}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula a través de la siguiente ecuación

Ecuación 7

$$k = \frac{\ln(Pi) - \ln(Po)}{m}$$

- *Pf = Población correspondiente al año para el que se requiere realizar la proyección*
- *n = Diferencia de años entre la población futura y el año del último censo*
- *m = Diferencia de años entre los 2 últimos censos*
- *Pi = Población último censo*
- *Po = Población censo anterior*
- *Ln = logaritmo natural o neperiano*

En un principio se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento respecto a los censos del año 1993 y 2005 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11.

Tasa de crecimiento censos 1993-2005.

1993-2005	
Año	k
2021	0,044
2022	0,044
2027	0,044
2032	0,044
2037	0,044
2042	0,044
2047	0,044

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2047 de acuerdo con los censos 1993-2005. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior se realizó la proyección de la población hasta el año 2021 y por último cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 12.

Proyección método exponencial censos 1993-2005.

1993-2005	
Año	Población
2021	28453
2022	29737
2027	37081
2032	46239
2037	57659
2042	71898
2047	89655

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 1993-2005. Elaboración Propia.

Se realizó el mismo procedimiento del primer paso, pero se tuvo en cuenta los censos del año 2005 y 2018 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13.

Tasa de crecimiento censos 2005-2018.

2005-2018	
Año	k
2021	0,012
2022	0,012
2027	0,012
2032	0,012
2037	0,012
2042	0,012
2047	0,012

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2047 de acuerdo con los censos 2005-2018. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior se realizó la proyección de la población hasta el año 2021 y por último cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14

Proyección método exponencial censos 2005-2018.

2005-2018	
Año	Población
2021	17129
2022	17343
2027	18454
2032	19637
2037	20895
2042	22234
2047	23659

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 2005-2018. Elaboración Propia.

Finalmente se realizó el cálculo promedio de las proyecciones anteriores obtenido los siguientes resultados:

Tabla 15.

Promedio de proyecciones método exponencial.

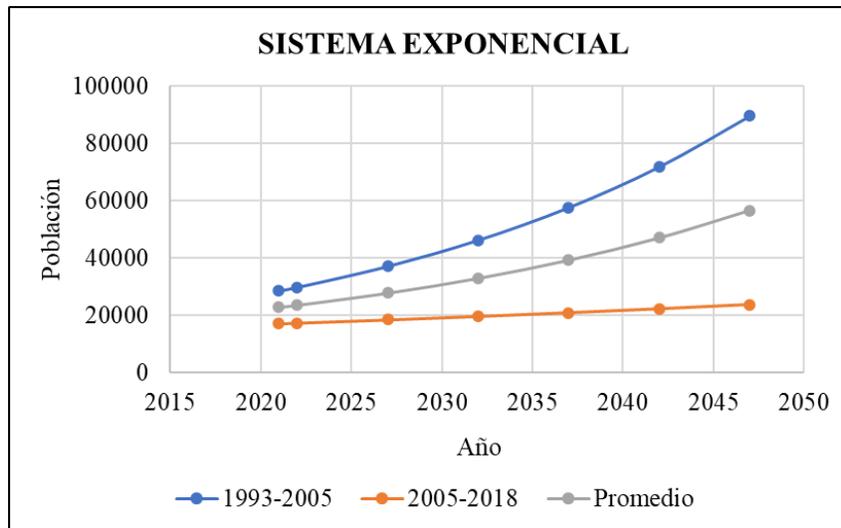
Sistema Exponencial	
Año	Promedio
2021	22791
2022	23540
2027	27768
2032	32938
2037	39277
2042	47066
2047	56657

Nota. La tabla representa los promedios de proyecciones de población al año 2047. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica teniendo en el eje horizontal los años transcurridos y en el eje vertical el aumento de la población, representando los tres resultados obtenidos y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 9.

Proyección de población método exponencial.



Nota. La gráfica representa las proyecciones de población al año 2047 teniendo en cuenta los censos de 1993-2005, 2005-2018 y el promedio de estas. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica teniendo en el eje horizontal los años transcurridos y en el eje vertical el aumento de la población, representando los tres resultados obtenidos y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Método Geométrico

Ecuación 8

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf-Tuc}$$

Donde r es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula a través de la siguiente ecuación

Ecuación 9

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

- *Pf = Población correspondiente al año para el que se requiere realizar la proyección*

- $Puc = Población\ último\ censo$
- $Tf = Año\ al\ cual\ se\ quiere\ proyectar$
- $Tuc = Año\ último\ censo$
- $Pci = Población\ censo\ anterior$
- $Lci = Año\ censo\ anterior$

En un principio se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento respecto a los censos del año 1993 y 2005 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16.

Tasa de crecimiento censos 1993-2005.

1993-2005	
Año	r
2021	0,045
2022	0,045
2027	0,045
2032	0,045
2037	0,045
2042	0,045
2047	0,045

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2047 de acuerdo con los censos 1993-2005. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior se realizó la proyección de la población hasta el año 2021 y por último cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17.

Proyección método geométrico censos 1993-2005.

1993-2005	
Año	Población
2021	28453
2022	29737
2027	37081
2032	46239
2037	57659
2042	71898
2047	89655

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 1993-2005. Elaboración Propia.

Se realizó el mismo procedimiento del primer paso, pero se tuvo en cuenta los censos del año 2005 y 2018 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18.

Tasa de crecimiento censos 2005-2018.

2005-2018	
Año	r
2021	0,013
2022	0,013
2027	0,013
2032	0,013
2037	0,013
2042	0,013
2047	0,013

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2047 de acuerdo con los censos 2005-2018. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior se realizó la proyección de la población hasta el año 2021 y por último cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19.

Proyección método geométrico censos 2005-2018.

2005-2018	
Año	Población
2021	17129
2022	17343
2027	18454
2032	19637
2037	20895
2042	22234
2047	23659

Nota. La tabla representa la proyección de población al año 2047 de acuerdo con los censos 2005-2018. Elaboración Propia.

Finalmente se realizó el cálculo promedio de las proyecciones anteriores obtenido los siguientes resultados:

Tabla 20.

Promedio de proyecciones método geométrico.

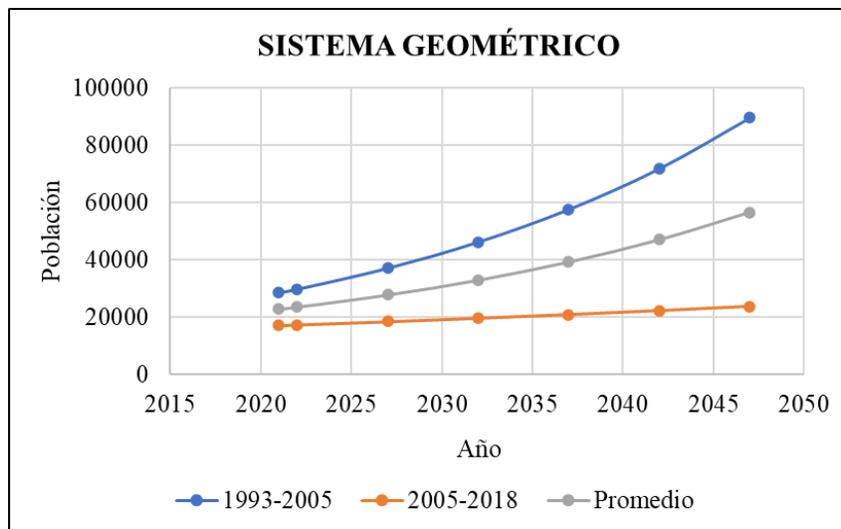
Sistema Geométrico	
Año	Promedio
2021	22791
2022	23540
2027	27768
2032	32938
2037	39277
2042	47066
2047	56657

Nota. La tabla representa los promedios de proyecciones de población al año 2047. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica teniendo en el eje horizontal los años transcurridos y en el eje vertical el aumento de la población, representando los tres resultados obtenidos y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 10.

Proyección de población método geométrico.



Nota. La grafica representa las proyecciones de población al año 2047 teniendo en cuenta los censos de 1993-2005, 2005-2018 y el promedio de estas. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica teniendo en el eje horizontal los años transcurridos y en el eje vertical el aumento de la población, representando los tres resultados obtenidos y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Promedio General De Los Tres Métodos Utilizados

Con los datos obtenidos en los tres métodos finalmente se realizó un promedio general de los mismos obteniendo:

Tabla 21.

Población promedio de los métodos utilizados.

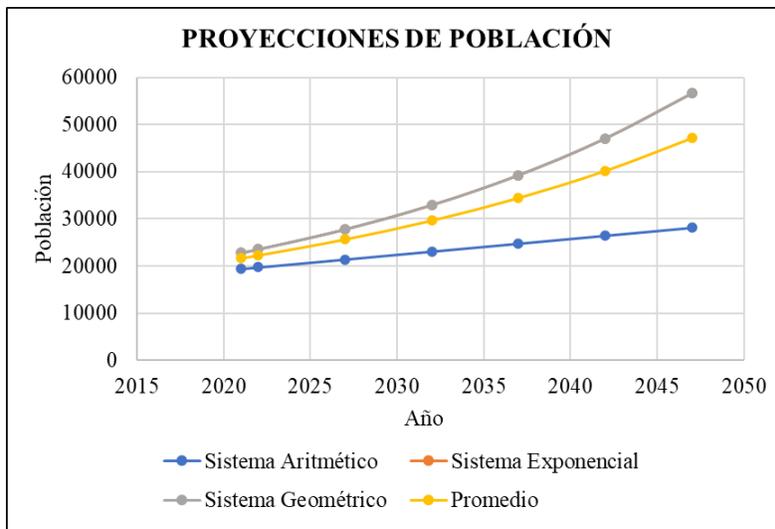
Promedio	
Año	Población
2021	21662
2022	22273
2027	25651
2032	29656
2037	34441
2042	40192
2047	47145

Nota. La tabla representa los promedios de los tres métodos utilizados para la proyección de población al año 2047. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica, representando los tres métodos utilizados y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 11.

Proyección de población.



Nota. La grafica representa las proyecciones de población al año 2047 teniendo en cuenta los tres métodos utilizados. Elaboración Propia.

Se puede observar en la gráfica que respecto al promedio general el método exponencial y geométrico tienen un crecimiento similar, mientras que el método aritmético crece de forma lineal respecto a los otros dos métodos obteniendo una diferencia significativa.

Proyección De Suscriptores Al Año 2047

Para determinar el número de suscriptores proyectados al año 2047, del municipio de la Mesa Cundinamarca, se tomaron los datos proporcionados por la ERAT S.A.E.S.P., respectivamente de los años 2016-2021, en los cuales se encuentran la totalidad de suscriptores en la zona urbana y rural donde se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 22.

Suscriptores de la Mesa Cundinamarca.

ERAT S.A.E.S.P.	
Año	Suscriptores
2016	8825
2017	9039
2018	9327
2019	10093
2020	10281
2021	10798

Nota. La tabla representa los suscriptores de acuerdo con la información suministrada por la empresa de acueducto del municipio de la Mesa 2016-2021. Elaboración Propia.

Con los datos mencionados en la tabla anterior, se realizó la proyección de población por medio de tres métodos, los cuales son:

- *Método aritmético*
- *Método exponencial*
- *Método geométrico*

Método Aritmético

Con relación a la ecuación 5 se realizó la proyección de suscriptores usando los datos mencionados en la tabla 22 cada 5 años hasta el año 2047 obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23.*Proyección método aritmético Suscriptores.*

Sistema Aritmético	
Año	Suscriptores
2022	10990
2027	11951
2032	12912
2037	13873
2042	14834
2047	15795

Nota. La tabla representa la proyección de los suscriptores al año 2047. Elaboración Propia.

Método Exponencial

Con relación a la ecuación 6 se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento tomando como referencia un intervalo de tiempo de un año y proyectándolo al año 2022, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 24.*Tasa de crecimiento al año 2022.*

Sistema Exponencial	
Año Proyectado	k
	0,024
	0,031
2022	0,079
	0,018
	0,049
Promedio	0,040

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2022. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior y con relación a la ecuación 7 se realizó la proyección de suscriptores hasta el año 2047 tomando como referencia el valor promediado de la tasa de crecimiento obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25.*Proyección método exponencial suscriptores.*

Sistema Exponencial	
Año	Suscriptores
2022	11243
2027	13756
2032	16832
2037	20595
2042	25199
2047	30833

Nota. La tabla representa la proyección de suscriptores al año 2047. Elaboración Propia.

Método Geométrico

Con relación a la ecuación 8 se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento tomando como referencia un intervalo de tiempo de un año y proyectándolo al año 2022, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26.*Tasa de crecimiento al año 2022.*

Sistema Geométrico	
Año Proyectado	r
	0,024
	0,032
2022	0,082
	0,019
	0,050
Promedio	0,041

Nota. La tabla representa la tasa de crecimiento de población al año 2022. Elaboración Propia.

Posterior al paso anterior y con relación a la ecuación 9 se realizó la proyección de suscriptores hasta el año 2047 tomando como referencia el valor promediado de la tasa de crecimiento obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27.

Proyección método geométrico suscriptores.

Sistema Geométrico	
Año	Suscriptores
2022	11245
2027	13776
2032	16876
2037	20674
2042	25327
2047	31026

Nota. La tabla representa la proyección de suscriptores al año 2047. Elaboración Propia.

Promedio General De Los Tres Métodos Utilizados

Con los datos obtenidos en los tres métodos finalmente se realizó un promedio general de los mismos obteniendo:

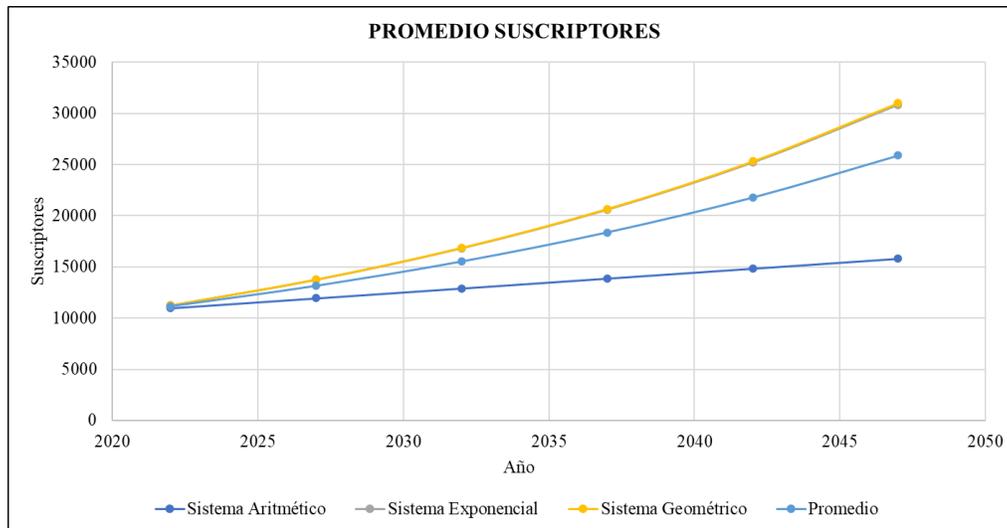
Tabla 28.

Suscriptores promedio de los métodos utilizados.

Promedio	
Año	Suscriptores
2022	11159
2027	13161
2032	15540
2037	18381
2042	21787
2047	25885

Nota. La tabla representa los promedios de los tres métodos utilizados para la proyección de suscriptores al año 2047. Elaboración Propia.

Se realizó una gráfica, representando los tres métodos utilizados y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 12.*Proyección de suscriptores.*

Nota. La gráfica representa las proyecciones de suscriptores al año 2047 teniendo en cuenta los tres métodos utilizados y el promedio de estos. Elaboración Propia.

Se puede observar en la gráfica que respecto al promedio general el método exponencial y geométrico tienen un crecimiento similar, mientras que el método aritmético crece de forma lineal respecto a los otros dos métodos obteniendo una diferencia significativa.

Población Flotante Del Municipio

Para determinar la población flotante del municipio es necesario conocer cuántos días festivos hay a nivel nacional como municipal para el año 2022, a nivel nacional se evidencian 18 días festivos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 29.

Días festivos a nivel nacional.

Días Festivos a Nivel Nacional	
Fecha	Motivo
01 de enero	Año nuevo
10 de enero	Día de los reyes magos
21 de marzo	Día de San José
14 de abril	Jueves santo
15 de abril	Viernes santo
01 de mayo	Día del trabajo
30 de mayo	Día de la ascensión
20 de junio	Corpus-Cristo
27 de junio	Día del sagrado corazón
04 de julio	San Pedro y San Pablo
20 de julio	Día de la independencia
07 de agosto	Batalla de Boyacá
15 de agosto	Día de la Asunción
17 de octubre	Día de la Raza
07 de noviembre	Día de los santos
14 de noviembre	Independencia de Cartagena
08 de diciembre	Inmaculada Concepción
25 de diciembre	Navidad

Nota. Días festivos a nivel nacional. Tomado de " Calendario Colombia 2022: estos son los días festivos del año, puentes y celebraciones" por Noticias Caracol, 2021. (<https://noticias.caracoltv.com/colombia/calendario-colombia-2022-dias-festivos#:~:text=%20D%C3%ADas%20festivos%20en%20Colombia%20para%20el%20a%C3%B1o,Lunes%2C%2020%20de%20junio%3A%20Corpus%20Cristi%20More%20>)

Se evidencia que a nivel municipal se identifican 20 días festivos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 30.*Días festivos a nivel municipal.*

Días Festivos la Mesa Cundinamarca	
Fecha	Motivo
Mayo	Festival de Teatro
Junio	Festival del dulce y el postre
Junio	Feria y exposición equina
Junio	Ferias y fiestas San Javier
Junio	Ferias y fiestas La Esperanza
Septiembre	Festival folclórico
Diciembre	Ferias y fiestas San Joaquín
Diciembre	Feria Ganadera
Fines de mes	Eventos Culturales

Nota. Días festivos a nivel municipal. Tomado de "Fiestas y Celebraciones" por Alcaldía Municipal de La Mesa, 2022. (Fiestas y Celebraciones (<https://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Fiestas-y-Celebraciones.aspx>)

Se puede determinar la población flotante mediante la ecuación 10.

Ecuación 10

$$Poblacion\ Flotante = \frac{días\ festivos}{365\ días} * 100$$

Se identifica que en el municipio de la Mesa hay 38 días festivos (18 nacionales + 20 municipales)

$$Poblacion\ Flotante = \frac{38\ días\ festivos}{365\ días} * 100$$

$$Poblacion\ Flotante = 10.41\%$$

Evaluación De Oferta Y Demanda Del Sistema De Abastecimiento

Dotación Bruta Consumo Residencial

Para estimar la dotación bruta se debe tener en cuenta el consumo residencial medido por los micromedidores de la red de acueducto del municipio de la Mesa como lo reporta la ERAT S.A.E.S.P., respectivamente de los años 2016-2021 y como se evidencia a continuación:

Tabla 31.

Consumo residencial municipio de la Mesa.

Consumo Residencial		
Año	Consumo Total m ³	Número de Suscriptores
2016	553.280	8269
2017	566.222	8480
2018	632.936	8759
2019	642.956	9514
2020	701.473	9704
2021	787.776	10206

Nota. La tabla representa los consumos residenciales y número de suscriptores de acuerdo con la información suministrada por la empresa de acueducto del municipio de la Mesa 2016-2021. Elaboración Propia.

Para realizar el cálculo de la dotación bruta se estableció acorde a lo estipulado en el RAS-2000 como también teniendo en cuenta los aspectos de la ley 0330.

El cálculo del consumo se realiza en litros por habitantes al día para el año 2021

Ecuación 10

$$D_{neta\ residencial} \cdot \left(\frac{L}{Hab * dia} \right) = \frac{787.776\ m^3 * 1000L}{21662\ Hab * 365\ dias}$$

$$D_{neta\ residencial} = 99.634 \frac{L}{Hab * dia}$$

Se considera el aumento de la población flotante con el fin de calcular la dotación total residencial del sistema como se muestra en la ecuación 11 y 12.

Ecuación 11

$$\text{Incremento } D_{neta\ residencial} \cdot \left(\frac{L}{Hab * dia} \right) = \frac{99,634 \frac{L}{Hab * dia} * 10.41 \%}{100\%}$$

$$\text{Incremento } D_{neta\ residencial} = 10,373 \frac{L}{Hab * dia}$$

Ecuación 12

$$\text{Total } D_{neta\ residencial} = D_{neta\ residencial} + \text{Incremento } D_{neta\ residencial}$$

$$\text{Total } D_{neta\ residencial} = (99,634 + 10,373) \frac{L}{Hab * dia}$$

$$\text{Total } D_{neta\ residencial} = 110,007 \frac{L}{Hab * dia}$$

Finalmente se deben considerar las perdidas en el sistema, que para el municipio de la Mesa son del 23% dato proporcionado por la ERAT S.A.E.S.P., y como se muestra a continuación:

Tabla 32.

Perdidas en el sistema.

Perdidas en el Sistema	
Componente	Perdida
Aducción	3%
Planta de tratamiento	4%
conducción	1%
Tanque de almacenamiento	1%
Red de distribución	8%
Comerciales en la red de distribución	6%

Nota. La tabla representa las perdidas en cada uno de los componentes del sistema de acueducto de acuerdo con la información suministrada por la empresa de acueducto del municipio de la Mesa. Elaboración Propia.

Por último, se muestra el cálculo obtenido de la dotación bruta como lo describe la ecuación 13.

Ecuación 13

$$D_{bruta\ residencial} = \frac{110,007 \frac{L}{Hab * dia}}{1 - 0.23}$$

$$D_{bruta\ residencial} = 142,866 \frac{L}{Hab * dia}$$

Dotación Bruta Consumo No Residencial

El consumo no residencial representa los sectores industrial, comercial, oficial para fines públicos y comerciales, para dar continuidad al análisis de este sector se realizó de igual manera al sector residencial con la diferencia que los consumos se evidenciaran en la tabla descrita a continuación:

Tabla 33.

Consumo no residencial municipio de la Mesa.

Consumo no Residencial		
Año	Consumo Total m3	Número de Suscriptores
2016	77.207	556
2017	69.567	559
2018	74.234	568
2019	68.147	579
2020	47.550	577
2021	49.651	592

Nota. La tabla representa los consumos no residenciales y número de suscriptores de acuerdo con la información suministrada por la empresa de acueducto del municipio de la Mesa 2016-2021. Elaboración Propia.

Se realiza el mismo procedimiento de las ecuaciones 10 a 13, el cual se mostrará en las ecuaciones 14 a 17 el cálculo de la dotación neta y bruta respectivamente, teniendo en cuenta las mismas pérdidas en el sistema descritas en la tabla 32.

Ecuación 14

$$D_{neta\ no\ residencial} \cdot \left(\frac{L}{Hab * dia} \right) = \frac{49.651 m^3 * 1000L}{21662 Hab * 365 dias}$$

$$D_{neta\ no\ residencial} = 6,280 \frac{L}{Hab * dia}$$

Ecuación 15

$$Incremento\ D_{neta\ no\ residencial} \cdot \left(\frac{L}{Hab * dia} \right) = \frac{6,280 \frac{L}{Hab * dia} * 10.41 \%}{100\%}$$

$$Incremento\ D_{neta\ residencial} = 0,654 \frac{L}{Hab * dia}$$

Ecuación 16

$$Total\ D_{neta\ no\ residencial} = D_{neta\ no\ residencial} + Incremento\ D_{neta\ no\ residencial}$$

$$Total\ D_{neta\ no\ residencial} = (6,280 + 0,654) \frac{L}{Hab * dia}$$

$$Total\ D_{neta\ no\ residencial} = 6,933 \frac{L}{Hab * dia}$$

Ecuación 17

$$D_{bruta\ no\ residencial} = \frac{6,933 \frac{L}{Hab * dia}}{1 - 0.23}$$

$$D_{bruta\ no\ residencial} = 9,004 \frac{L}{Hab * dia}$$

Dotación Bruta Suscriptores

Para estimar la dotación bruta se debe tener en cuenta el consumo residencial y no residencial descritos en la tabla 31 y 33, donde también se detalla el número de suscriptores al año 2021 y a partir de estos datos se realiza el procedimiento de la ecuación 18 donde se estimará el valor de la dotación neta para suscriptores descrita a continuación.

Ecuación 18

$$D_{neta\ suscriptores} \cdot \left(\frac{m^3}{sus * mes} \right) = \frac{837.427 m^3}{10798 sus * 12 meses}$$

$$D_{neta\ suscriptores} = 6.463 \frac{m^3}{sus * mes}$$

Finalmente se realiza el mismo procedimiento de las ecuaciones 11 a 13, el cual se mostrará en las ecuaciones 19 a 21 el cálculo de la dotación neta y bruta respectivamente, teniendo en cuenta las mismas perdidas en el sistema descritas en la tabla 32.

Ecuación 19

$$Incremento\ D_{neta\ suscriptores} \cdot \left(\frac{m^3}{sus * mes} \right) = \frac{6.463 \frac{m^3}{sus * mes} * 10.41 \%}{100\%}$$

$$Incremento\ D_{neta\ residencial} = 0.673 \frac{m^3}{sus * mes}$$

Ecuación 20

$$Total\ D_{neta\ suscriptores} = D_{neta\ suscriptores} + Incremento\ D_{neta\ suscriptores}$$

$$Total\ D_{neta\ suscriptores} = (6.463 + 0.673) \frac{m^3}{sus * mes}$$

$$Total\ D_{neta\ no\ residencial} = 7.163 \frac{m^3}{sus * mes}$$

Ecuación 21

$$D_{bruta\ suscriptores} = \frac{7.163 \frac{m^3}{sus * mes}}{1 - 0.23}$$

$$D_{bruta\ suscriptores} = 9.267 \frac{m^3}{sus * mes}$$

Caudal De Diseño

Caudal Habitantes

Para realizar el caudal de diseño se tiene en cuenta la suma de las dotaciones brutas obtenidas en las ecuaciones 13 y 17, con el fin de obtener el valor de consumo del municipio de la Mesa, de acuerdo con lo estipulado en la ley 0330 se procede a calcular el caudal medio diario descrito en la ecuación 22, caudal máximo diario y caudal máximo horario descritos en la ecuación 3 y 4 y mostrado en la ecuación 23 y 24 respectivamente.

Ecuación 22

$$Q_{md} = \frac{\text{Población} * D_{bruta}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{22273 \text{ Hab} * 151,870 \frac{L}{\text{Hab} * \text{dia}}}{86400}$$

$$Q_{md} = 39,151 \frac{L}{s}$$

Para proceder con el cálculo de las ecuaciones 22 y 23 se tiene en cuenta lo descrito en la tabla 1 donde se observa el nivel de complejidad del sistema, debido a esto se muestra que para el municipio de la Mesa se encuentra en un nivel medio alto esto con respecto a sus habitantes, teniendo en cuenta este nivel se determina que los factores de mayoración para el municipio los cuales son K1=1.2 y K2=1.5 descritos en la tabla 2.

Ecuación 23

$$Q_{MD} = 39,151 \frac{L}{s} * 1.2$$

$$Q_{MD} = 46,981 \frac{L}{s}$$

Ecuación 24

$$QMH = 46,981 \frac{L}{s} * 1.5$$

$$QMH = 70,472 \frac{L}{s}$$

De acuerdo con los métodos utilizados anteriormente se realizó el cálculo de caudales de diseño hasta el año 2047 con intervalos de 5 años desde el año 2022, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 34.

Caudales de diseño por habitantes del municipio de la Mesa.

Caudales de Diseño				
Año	Habitantes	Qmd (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
2021	21662	38,077	45,692	68,538
2022	22273	39,151	46,981	70,472
2027	25651	45,088	54,105	81,158
2032	29656	52,128	62,554	93,831
2037	34441	60,539	72,646	108,970
2042	40192	70,649	84,778	127,168
2047	47145	82,869	99,443	149,165

Nota. La tabla representa los caudales de diseño al año 2047. Elaboración Propia.

Finalmente se realizó el cálculo del caudal de diseño de los años 2022 y 2047 mostrado en la ecuación 25 respectivamente, esto con el fin de verificar que no se presente un déficit para abastecer al municipio de la Mesa.

Ecuación 25

$$Q_{diseño} = Qmd * 2$$

$$Q_{diseño \text{ hab } 2022} = 39,151 \frac{L}{s} * 2$$

$$Q_{diseño \text{ hab } 2022} = 78,302 \frac{L}{s}$$

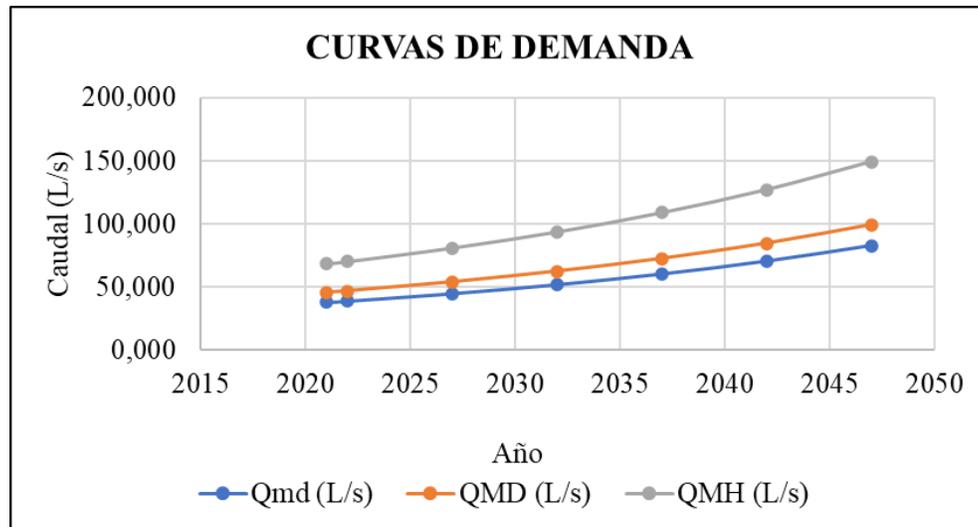
$$Q_{diseño \text{ hab } 2047} = 82,869 \frac{L}{s} * 2$$

$$Q_{\text{diseño hab 2047}} = 165,739 \frac{L}{s}$$

Se realizó una gráfica, representando los caudales de diseño de la tabla 34 y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 13.

Caudales de diseño habitantes



Nota. La grafica representa el caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario del municipio de la Mesa en los años 2021 a 2047. Elaboración Propia.

Se puede evidenciar que el caudal máximo horario siempre será el que presenta mayor demanda y el más bajo es el caudal medio diario.

Caudal Suscriptores

Para realizar el caudal de diseño se tiene en cuenta la dotación bruta obtenida en la ecuación 21, con el fin de obtener el valor de consumo del municipio de la Mesa, se procede a calcular el caudal medio diario descrito en la ecuación 2 y mostrado en la ecuación 26, caudal máximo diario y caudal máximo horario descritos en la ecuación 23 y 24 y mostrado en la ecuación 27 y 28 respectivamente.

Ecuación 26

$$Qmd = \frac{11159 \text{ sus} * 9.267 \frac{m^3}{\text{sus} * \text{mes}}}{30}$$

$$Qmd = 3447.178 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Ecuación 27

$$QMD = 3447.178 \frac{m^3}{\text{dia}} * 1.2$$

$$QMD = 4136.614 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Ecuación 28

$$QMH = 4136.614 \frac{m^3}{\text{dia}} * 1.5$$

$$QMH = 6204.921 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

De acuerdo con los métodos utilizados anteriormente se realizó el cálculo de caudales de diseño hasta el año 2047 con intervalos de 5 años desde el año 2022, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 35.

Caudales de diseño por suscriptores del municipio de la Mesa.

Caudales de Diseño				
Año	Suscriptores	Qmd (m ³ /día)	QMD (m ³ /día)	QMH (m ³ /día)
2021	10798	3335,538	4002,646	6003,969
2022	11159	3447,178	4136,614	6204,921
2027	13161	4065,521	4878,625	7317,938
2032	15540	4800,367	5760,441	8640,661
2037	18381	5677,850	6813,420	10220,131
2042	21787	6729,966	8075,959	12113,938
2047	25885	7995,885	9595,062	14392,592

Nota. La tabla representa los caudales de diseño en m³/día al año 2047. Elaboración Propia.

Tabla 36.

Caudales de diseño por suscriptores del municipio de la Mesa.

Caudales de Diseño				
Año	Suscriptores	Qmd (L/s)	QMD (L/s)	QMH (L/s)
2021	10798	38,606	46,327	69,490
2022	11159	39,898	47,877	71,816
2027	13161	47,055	56,466	84,698
2032	15540	55,560	66,672	100,008
2037	18381	65,716	78,859	118,289
2042	21787	77,893	93,472	140,208
2047	25885	92,545	111,054	166,581

Nota. La tabla representa los caudales de diseño en L/s al año 2047. Elaboración Propia.

Finalmente se realizó el cálculo del caudal de diseño de los años 2022 y 2047 descrito en la ecuación 25 y mostrado en la ecuación 29 respectivamente.

Ecuación 29

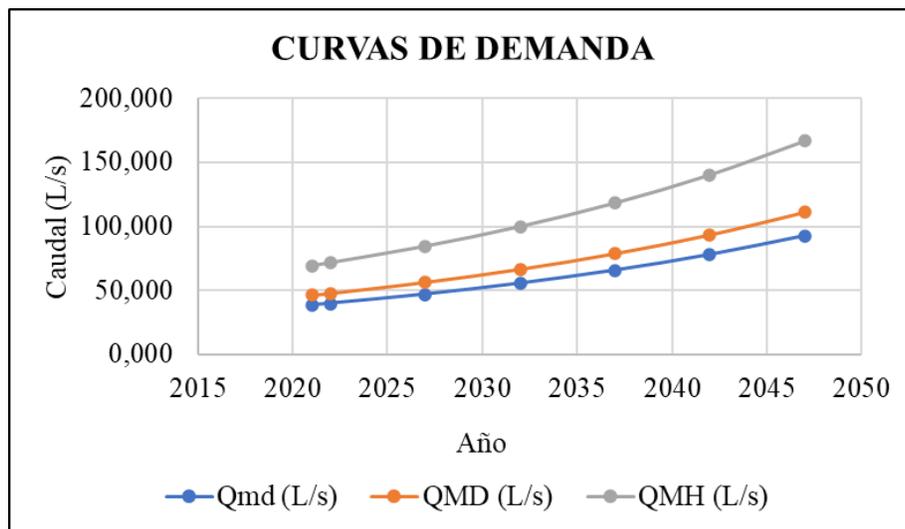
$$Q_{diseño\ sus\ 2022} = 39.898 \frac{L}{s} * 2$$

$$Q_{diseño\ sus\ 2022} = 79.796 \frac{L}{s}$$

$$Q_{diseño\ sus\ 2047} = 92.545 \frac{L}{s} * 2$$

$$Q_{diseño\ sus\ 2047} = 185.09 \frac{L}{s}$$

Se realizó una gráfica, representando los caudales de diseño de la tabla 36 y así poder visualizar los resultados de una manera más clara.

Figura 14.*Caudales de diseño suscriptores*

Nota. La gráfica representa el caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario del municipio de la Mesa en los años 2021 a 2047. Elaboración Propia.

Se puede evidenciar que hay un crecimiento paulatinamente en el municipio de la Mesa, debido al aumento de suscriptores, esto quizás se deba a diferentes factores ya que es un municipio altamente turístico.

Evaluación Del Sistema

De acuerdo con la resolución 1546 del 31 de mayo de 2018 teniendo en cuenta el aforo realizado por la Dirección de Monitoreo y Laboratorio Ambiental (DMMLA) se obtuvo como oferta hídrica del cuerpo de agua de la quebrada la Honda un caudal de 90.8 lps una vez calculado su caudal ecológico (30%) corresponde a 27.24 lps y lo concesionado hasta el momento 26.27 lps y su sumatoria (53.51 lps), descontando esta cantidad al caudal obtenido en el aforo, da como resultado un caudal disponible de 37.29 lps (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2018).

Es de resaltar que debido a lo anterior al año 2020 existía un déficit de 13.6 lps y tan solo dos años posteriores al año proyectado por la resolución 1546 aumenta considerablemente, por tal motivo el caudal captado tendrá un déficit para abastecer al municipio de la Mesa y posiblemente se tenga que reevaluar y/o buscar otra fuente hídrica alterna para cubrir el mismo.

Es importante mencionar que debido a lo anterior el municipio de la Mesa se encuentra dividido en tres zonas las cuales tienen establecidos unos días y horas a la semana donde se abastecen del servicio, es decir que no cuenta con un suministro constante durante las 24 horas del día

Modelación Hidráulica

Condición Actual de la Red de Acueducto

Se realizó la modelación hidráulica en el software EPANET de la red de abastecimiento para el municipio; teniendo en cuenta cada una de sus dimensiones y características bajo las condiciones actuales incluyendo diámetro, longitud, rugosidad y accesorios; por medio de este análisis se evidenció las propiedades y condiciones en las que se encuentra dicha red; para posteriormente realizar una evaluación y modificación del sistema, y con esto obtener las condiciones óptimas en cuanto al servicio de acueducto.

Para esta modelación se utilizan los datos suministrados; denominados de la siguiente manera:

- Informe de indicadores de consumo, suscriptores y redes.
- Optimización red de distribución acueducto casco urbano, población y demanda.
- Optimización red de distribución acueducto casco urbano, tratamiento, almacenamiento y redes de distribución.
- Optimización red de distribución acueducto casco urbano, red de distribución.
- Cronograma de suministro, presiones mensuales y promedio por sector hidráulico y valores promedio de presiones registradas.
- Plano de redes existentes.
- Estadística consumos de acueducto.

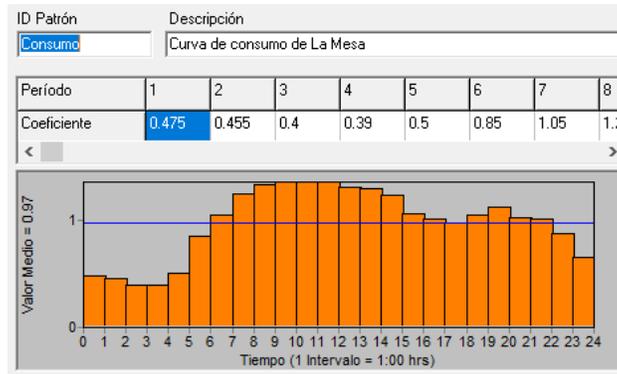
Curva de consumo

De acuerdo con la información de la curva de consumo (Ver Anexo C.), con períodos de cada 30 minutos, se evidenció un consumo promedio diario de 0,98 l/s. Para hacer el traslado de

la información al software se realizó un promedio cada hora para un total de 24 horas como se observa en la Figura 15.

Figura 15.

Curva de Consumo.



Nota. La figura representa la curva de consumo establecida en un período total de 24 horas. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Tuberías

Por medio del uso y el análisis de la información suministrada de las tuberías del sistema se asignó cada una de sus características existentes, como lo son diámetros que van desde las Ø2” hasta las Ø8” en material PVC y Ø4” en polietileno (PE), como se muestra en la Tabla 37; y longitudes, rugosidad de acuerdo con el tipo de material y el coeficiente de pérdidas ver figura 16.

Tabla 37.

Diámetros de las tuberías existentes.

Diámetro tubería	Material	Longitud (m)
2"	PVC	4602
3"	PVC	25571
4"	PVC	4981
6"	PVC	10498
8"	PVC	3385
4"	PE	450

Nota. La tabla muestra las dimensiones en términos de longitud y diámetro, donde las tuberías de Ø3" son las que conforman la mayor parte de la red. Elaboración Propia.

Figura 16.

Información de las Tuberías.

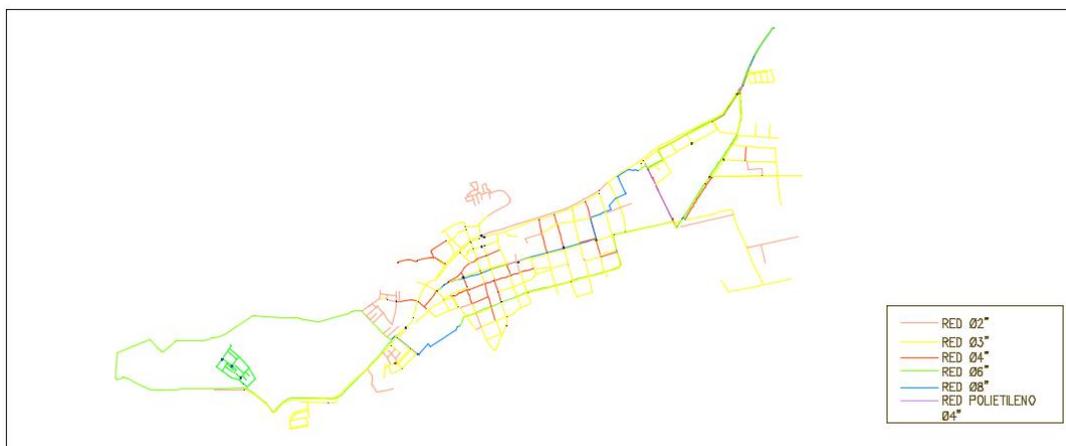
Property	Value
*Pipe ID	p1279
*Start Node	n1321
*End Node	n1322
Description	
Tag	
*Length	340.3
*Diameter	60
*Roughness	0.0025
Loss Coeff.	0.6
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	0.03
Velocity	0.01
Unit Headloss	0.01
Friction Factor	0.110
Reaction Rate	0.00
Quality	0.00
Status	Open

Nota. La figura representa la información detallada para cada una de las tuberías de la modelación de la red actual. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Haciendo uso del Anexo A, se realizó la identificación de las tuberías y se discrimina por color, en donde cada uno corresponde a un diámetro como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17.

Diámetros de la red existente.



Nota. La figura representa la información detallada para cada uno de los diámetros de las tuberías de la modelación de la red actual. Elaboración propia.

Válvulas

De acuerdo con la información se ubicó las válvula, teniendo en cuenta el tipo de las mismas, como PRV y TCV; detalladas a continuación:

- **PRV**, tiene como funcional reducir la presión en el sistema.

Figura 18.

Detalle de válvula PRV.

Valve 263	
Property	Value
*Valve ID	263
*Start Node	n99
*End Node	n98
Description	
Tag	
*Diameter	82
*Type	PRV
*Setting	16
Loss Coeff.	10
Fixed Status	None
Flow	0.00
Velocity	0.00
Headloss	0.00
Quality	0.00
Status	Closed

Nota. La figura representa la información detallada para la válvula PRV. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

- **TCV**, tiene la función de regular la presión; puede estar parcialmente abierta de acuerdo con las necesidades del sistema.

Figura 19.

Detalle de válvula TCV.

Valve 145	
Property	Value
*Valve ID	145
*Start Node	n189
*End Node	n188
Description	
Tag	
*Diameter	114
*Type	TCV
*Setting	16
Loss Coeff.	5
Fixed Status	None
Flow	0.44
Velocity	0.04
Headloss	0.00
Quality	0.00
Status	Active

Nota. La figura representa la información detallada para la válvula TCV. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Para la configuración de las válvulas se tuvo en cuenta el Manual de usuario EPANET 2

(Rossman); p. 29.

Tabla 38.

Coefficientes de pérdidas por accesorios.

Accesorio	Coef. Pérdidas
Válvula de globo, totalmente abierta	10
Válvula de ángulo, totalmente abierta	5
Válvula de retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Valvula de compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar-dirección de paso	0.6
Te estándar-dirección desvío	1.8
Entrada recta	0.5
Salida brusca	1.0

Nota. La tabla representa los coeficientes de pérdida de acuerdo al tipo de accesorio. Adaptado de “Manual de EPANET 2” (Rossman) p. 29.

Tanque de Almacenamiento

El tanque existente se encuentra ubicado a 1800 m.s.n.m. y es la herramienta receptora de la captación hídrica, que proviene de la quebrada la Honda, esta elevación se asignó por medio del tratamiento realizado con las curvas de nivel obtenidas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) Ver Anexo B, donde posteriormente se exporto en ArcGIS y con el apoyo del programar Civil 3D se creo una superficie para obtener el dato correspondiente.

Figura 20.

Tanque de almacenamiento.

Reservoir 16	
Property	Value
*Reservoir ID	16
X-Coordinate	4847639.04
Y-Coordinate	2074205.65
Description	
Tag	
*Total Head	1800
Head Pattern	
Initial Quality	77.47
Source Quality	
Net Inflow	-28.25
Elevation	1800.00
Pressure	0.00
Quality	77.47

Nota. La figura representa la información detallada del tanque de almacenamiento de la modelación de la red existente. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

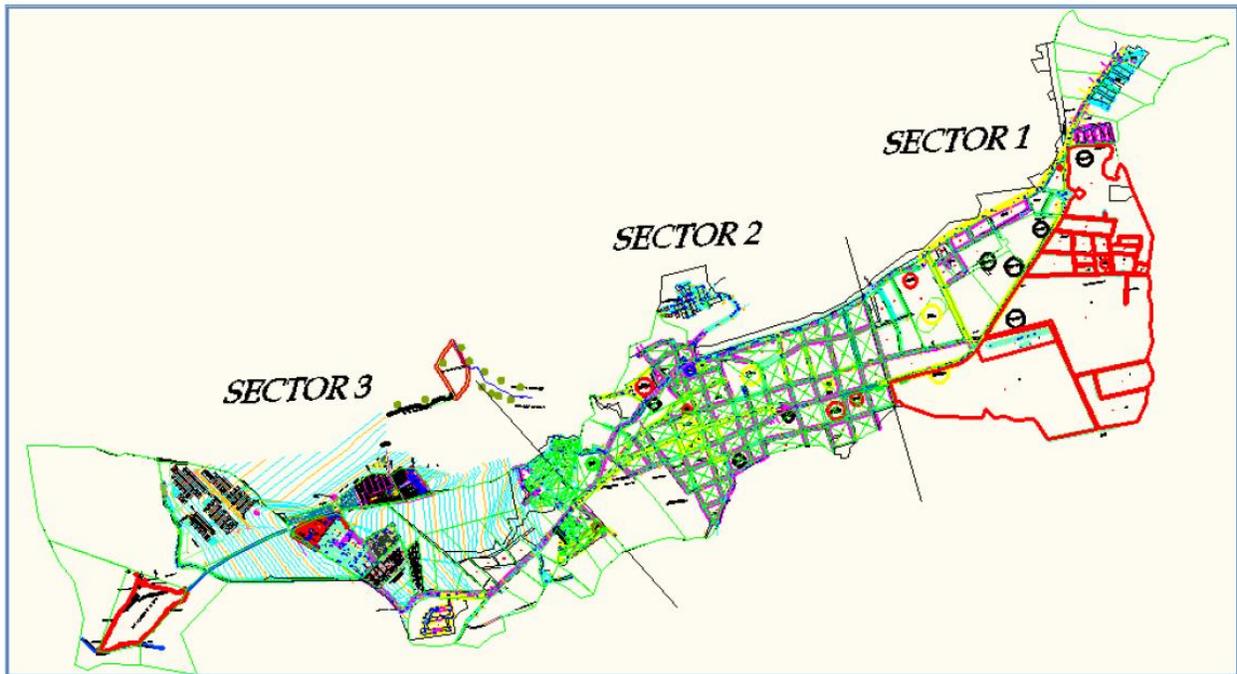
Asignación de demandas

Con la información recibida y con los datos del Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI), se obtuvo la demanda residencial y no residencial, de

acuerdo a una sectorización establecida previamente por la entidad ERAT S.A. E.S.P., la cual se compone de tres secciones, evidenciadas de la siguiente manera:

Figura 21.

Sectorización de la cabecera municipal.



Nota. La figura representa la información detallada de la sectorización establecida. “Municipio de la Mesa Cundinamarca” por la ERAT S.A. E.S.P (p. 15).

Para lo anterior, se adaptó al modelo del año 2022 de la misma manera, haciendo el conteo de nodos por cada sector. A continuación, con la información obtenida del SUI, en el apartado “Reportes del Sector” en la pestaña “Acueducto”, se filtró la información por año, departamento y municipio, y de allí se obtuvo los datos de consumo. Posteriormente, se identificó los nodos residenciales y no residenciales, con el fin de agregar la demanda directamente en el EPANET, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 39.*Demanda de acuerdo a los suscriptores.*

Sector	Suscriptores Residenciales	Suscriptores No Residenciales	Demanda Residencial (l/s)	Demanda No Residencial (l/s)
LM-1	2956	23	0,028	0,034
LM-2	4640	464	0,039	0,047
LM-3	3342	79	0,078	0,094

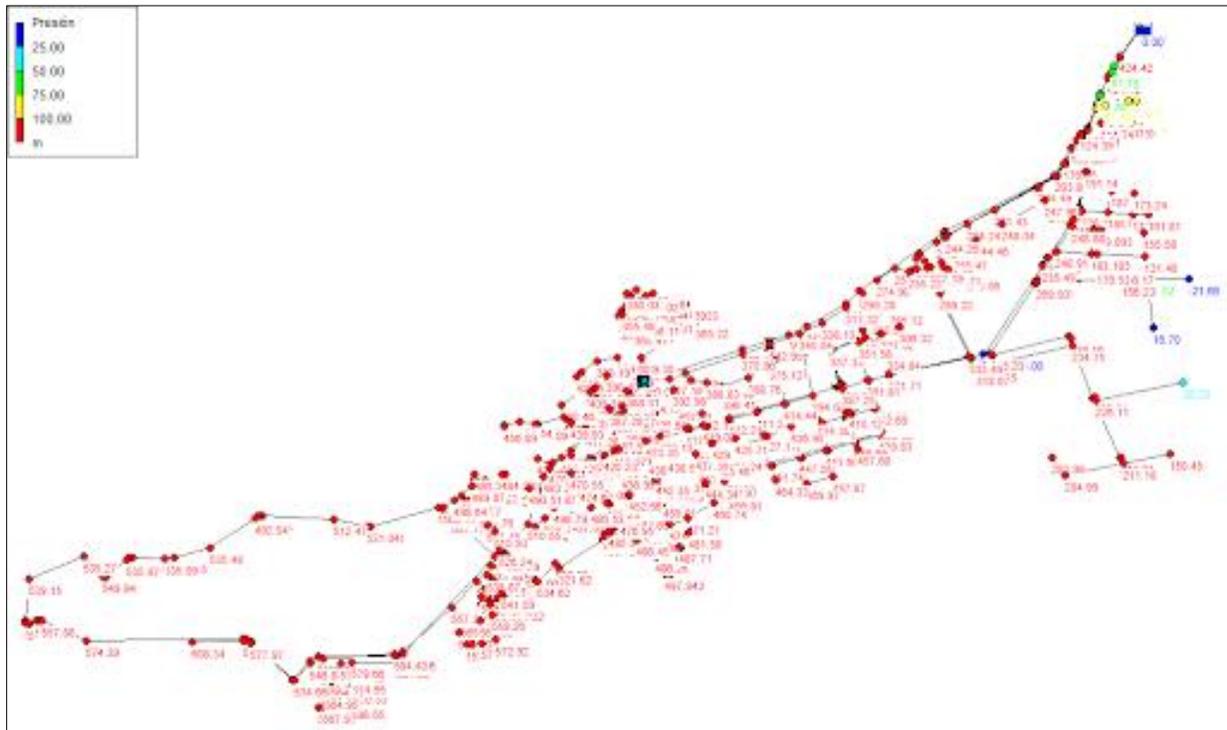
Nota. La tabla representa los consumos tanto residenciales como no residenciales, de acuerdo a los suscriptores; y teniendo en cuenta cada sector. Adaptado de: "Reportes del sector" SUI (2022).

Calibración Del Modelo

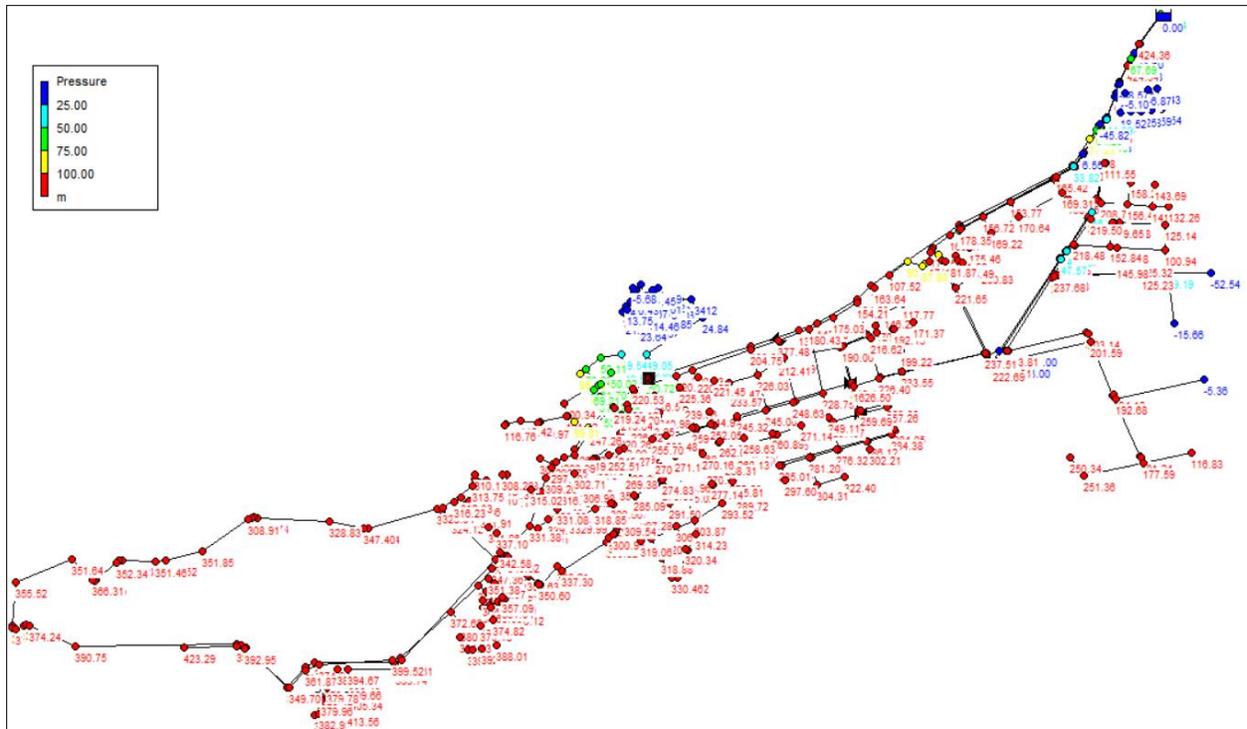
Teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el apartado *Modelación Hidráulica*, se realizan los ajustes correspondientes e ingresar la información, adicionalmente se calibro el modelo para el año 2022 y para el año 2047 bajo las mismas condiciones, teniendo en cuenta solamente la modificación del cálculo del caudal descrito en la Ecuación 25 para cada año.

Figura 22.

Modelación hidráulica año 2022.



Nota. La figura representa las presiones obtenidas de acuerdo a las condiciones actuales de la red al año 2022. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Figura 23.*Modelación hidráulica año 2047.*

Nota. La figura representa las presiones obtenidas de acuerdo a las condiciones actuales de la red al año 2047. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

De acuerdo con las figuras 22 y 23 se identificó que las presiones no corresponden a las requeridas para la población, según la Resolución 0330 del año 2017, se dice que: “Para poblaciones de diseño menores a 12.500 habitantes se requieren 8 m.c.a. como mínimo y para poblaciones mayores a 12.500 habitantes 12 m.c.a. como mínimo y que no sobrepase una presión de 60 m.c.a.” (p. 44).

De acuerdo con la modelación se identificaron presiones mayores a los 100 m.c.a., las cuales se observan de color rojo y que corresponden prácticamente a la totalidad de la red del municipio, como también se evidencian presiones negativas en algunos puntos; lo que genera el no abastecimiento continuo del servicio de agua potable para todo el municipio durante las 24 horas del día.

Alternativas De Optimización Para El Sistema

Sectorización

De acuerdo con lo evidenciado en el modelo de la red de acueducto, se optó por realizar una sectorización del municipio de acuerdo a la figura 21, esto con el fin de hacer los cambios y adaptaciones necesarias para que el modelo cumpla de manera óptima, con el suministro de todo el municipio y las presiones sean adecuadas para que este sea constante, según la Resolución 0330 del 2017, en donde se hicieron las siguientes adaptaciones:

- Ubicación de tanque de almacenamiento para cada uno de los sectores.
- Cálculo del caudal, teniendo en cuenta suscriptores por sector.
- Cambio de diámetros de las tuberías.
- Unificación de nodos en las zonas en las que no se justificaba tener más de dos conexiones.
- Ubicación de válvulas para algunas tuberías.
- Ubicación y eliminación de tuberías en algunos tramos de la red.

Sector 1.

El sector 1 cuenta con 2956 suscriptores de tipo residencial y con 23 suscriptores de tipo no residencial, cuenta con 15 barrios determinados en la tabla 40.

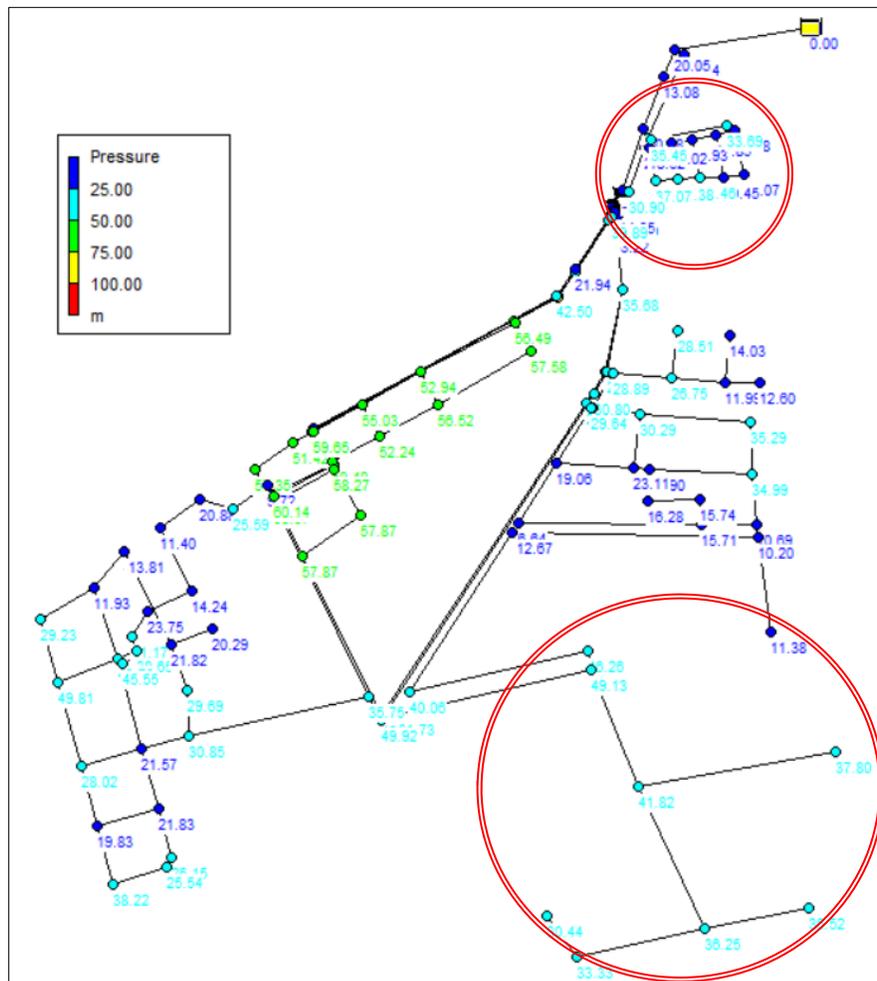
Tabla 40.*Barrios sector 1.*

BARRIOS, URBANIZACIONES Y CONJUNTOS CERRADOS DEL MUNICIPIO	
	El Mirador
	C.C. Alta Vista
	Urb. Quintas de San Pablo
	B. Naranjos
	C.C. Atalaya
	B. La Esmeralda
	C.C Guarruz
SECTOR 1	B. Marsella
	C.C La Rebeca
	C.C. El Zaguán de Don Pastor
	B. Pajonales
	Sector del Faro
	Urb. La Laguna
	Urb. Pomarrosos
	B. Nueva Marsella

Nota. La tabla identifica los barrios que hacen parte del sector 1. Elaboración propia.

Para el cálculo del caudal del sector se evaluó la dotación bruta que corresponde a 151,870 L/(Hab*día), la densidad poblacional la cual es de 2,6 personas por hogar, según la ficha 25386 La Mesa Cundinamarca, DANE (2018). Para una poblacional total de 7745 habitantes y un caudal de 27,23 lps.

De acuerdo con las condiciones existentes y los datos mencionados anteriormente, se obtuvo la siguiente modelación:

Figura 25.*Modelación hidráulica optimizada sector 1.*

Nota. La Figura representa la modelación hidráulica optimizada para el sector 1 con las condiciones actuales de la red. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Con el fin de mejorar las presiones en las tuberías, se optó por disminuir el diámetro a la salida del tanque, siendo este de $\varnothing 4''$, posterior a esto se ubicaron válvulas de disminución de caudal (PRV) y válvulas de regulación de caudal (TCV) como se evidencia en las zonas demarcadas en color rojo de la figura 25, debido a que las presiones estaban por encima de los 60 m.c.a.; también se realizó una disminución en el diámetro de las tuberías en algunos tramos, pasando de $\varnothing 3''$ o $\varnothing 4''$ a $\varnothing 2''$.

Teniendo como referencia la figura 24 de la modelación inicial, con respecto a la figura 25 de la modelación hidráulica optimizada, se puede observar que, de acuerdo con las modificaciones realizadas la modelación cumple las condiciones óptimas para su funcionamiento, observando presiones que oscilan entre los 10,18 y los 59,92 m.c.a.

Sector 2.

El sector 2 cuenta con 4640 suscriptores de tipo residencial y con 464 suscriptores de tipo no residencial, cuenta con 6 barrios determinados en la tabla 41.

Tabla 41.

Barrios sector 2.

BARRIOS, URBANIZACIONES Y CONJUNTOS CERRADOS DEL MUNICIPIO	
	B. Santa Bárbara
	B. Toledo
SECTOR 2	Centro
	B. Recreo
	B. Rincón Santo
	Villas del nuevo Siglo

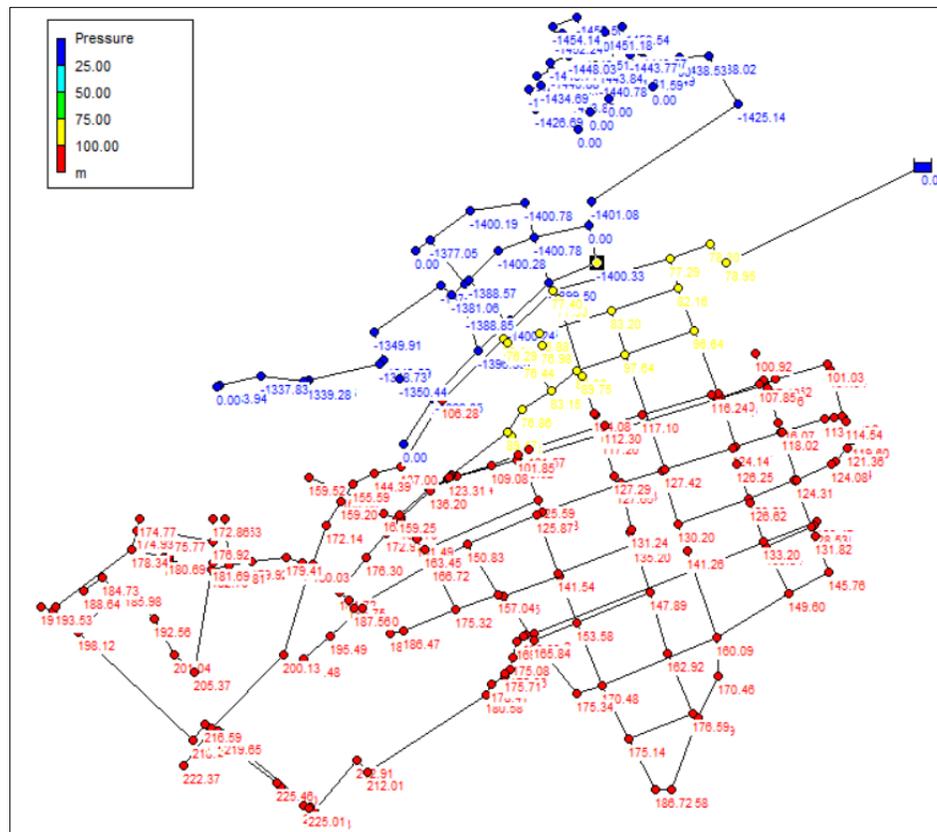
Nota. La tabla identifica los barrios que hacen parte del sector 2. Elaboración propia.

Para el cálculo del caudal del sector se evaluó la dotación bruta que corresponde a 151,870 L/(Hab*día), la densidad poblacional la cual es de 2,6 personas por hogar, según la ficha 25386 La Mesa Cundinamarca, DANE (2018). Para una poblacional total de 13270 habitantes y un caudal de 46,65 lps.

De acuerdo con las condiciones existentes y los datos mencionados anteriormente, se obtuvo la siguiente modelación:

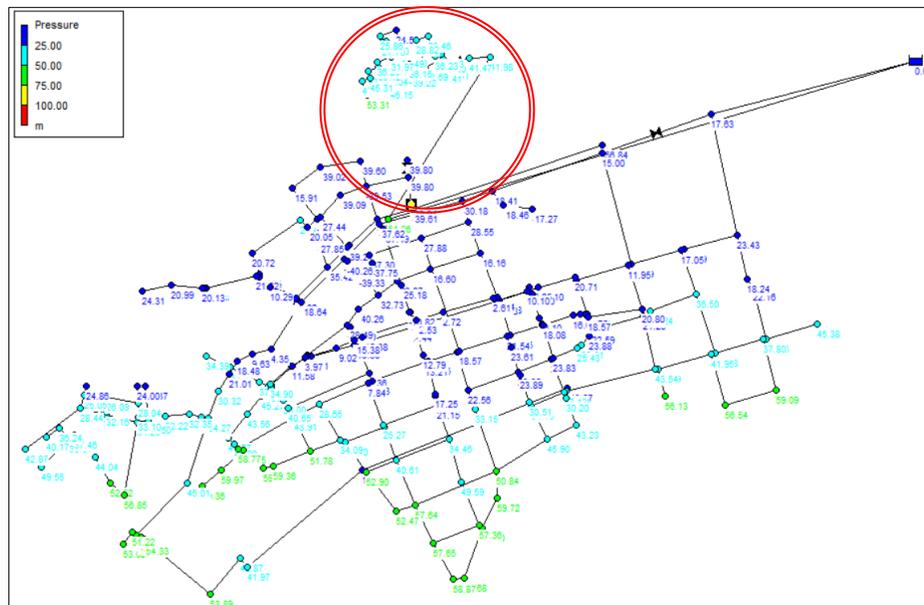
Figura 26.

Modelación hidráulica sector 2.



Nota. La Figura representa la modelación hidráulica para el sector 2 con las condiciones actuales de la red. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Modelación hidráulica optimizada. Se realizó las adaptaciones mencionadas en el apartado *sectorización*, adicionalmente se le asignó la cota de elevación al tanque de almacenamiento con un valor de 1480 m.s.n.m., y teniendo en cuenta que la red contaba con diámetros de tuberías entre $\varnothing 2''$ a $\varnothing 8''$, se realizaron ajustes quedando de $\varnothing 3''$ y $\varnothing 4''$; fue necesario incluir válvulas en algunos tramos de tipo TCV y PRV.

Figura 27.*Modelación hidráulica optimizada sector 2.*

Nota. La Figura representa la modelación hidráulica optimizada para el sector 2 con las condiciones actuales de la red. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Con el fin de obtener presiones dentro del rango estipulado, para la zona demarcada en color rojo se incluye una nueva tubería que va conectada a la salida principal del tanque, el cual tiene un diámetro de $\text{Ø}4''$, adicional a ello se incluyó una válvula de regulación de presión en vista de que hay presiones negativas.

Según la figura 26 y 27 se puede evidenciar que las presiones de color azul se encuentran por debajo de lo estipulado, en la nueva modelación se puede observar que se encuentran dentro del rango, generando un aumento que no sobrepasa lo máximo permitido; como también en las zonas de color amarillo y rojo están por encima de los 60 m.c.a., y en la figura 27 se observa que con los cambios realizados y la inclusión de nuevos elementos, estas disminuyen considerablemente, cumpliendo con las condiciones óptimas para su funcionamiento, observando presiones que oscilan entre los 15,00 y los 59,98 m.c.a.

Sector 3.

El sector 3 cuenta con 3342 suscriptores de tipo residencial y con 79 suscriptores de tipo no residencial, cuenta con 6 barrios determinados en la tabla 42.

Tabla 42.

Barrios sector 3.

BARRIOS, URBANIZACIONES Y CONJUNTOS CERRADOS DEL MUNICIPIO	
	B. La Perlita
	B. La Perla
	B. José Antonio Olaya
	Urn. El Tesoro
	B. La Esperanza
	B. El Cucharal
	B. Villas de la Mesa
	B. Las Celbas
	C.C. La María
	C.C. La Victoria
	C.C.El Mirador de La Mesa
SECTOR 3	C.C. Añoranzas
	C.C. El Zaguán de Juan Díaz
	C.C. La Carolina
	C.C. La Pradera
	B. Villa Nueva
	Urb. San Diego
	B. Comfenalco
	Proyecto Alcaldía
	Urb. Techo Mesa
	Urb. Asovimesa
	Urb. Hato Grande
	Urb. Volterra
	Villas del Nuevo Siglo

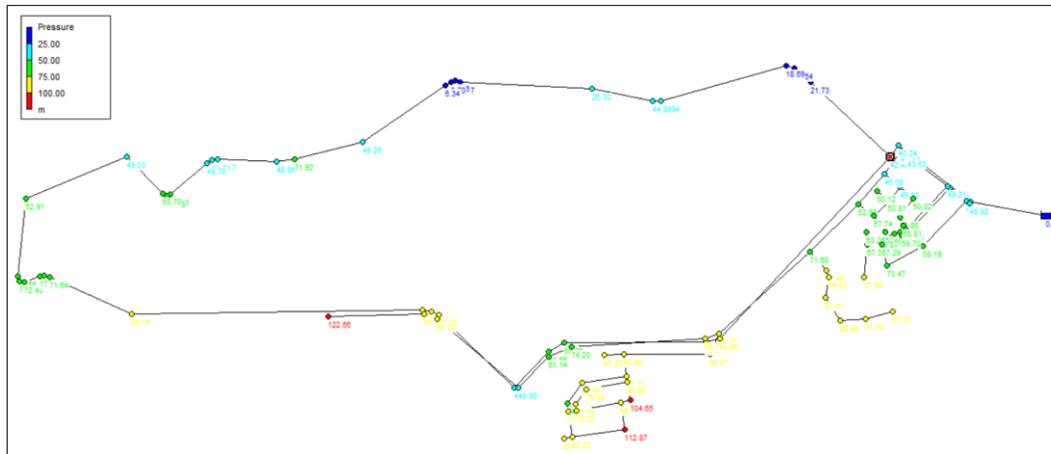
Nota. La tabla identifica los barrios que hacen parte del sector 3. Elaboración propia.

Para el cálculo del caudal del sector se evaluó la dotación bruta que corresponde a 151,870 L/(Hab*día), la densidad poblacional la cual es de 2,6 personas por hogar, según la ficha 25386 La Mesa Cundinamarca, DANE (2018). Para una poblacional total de 8894 habitantes y un caudal de 31,27 lps.

De acuerdo con las condiciones existentes y los datos mencionados anteriormente, se obtuvo la siguiente modelación:

Figura 28.

Modelación hidráulica sector 3.

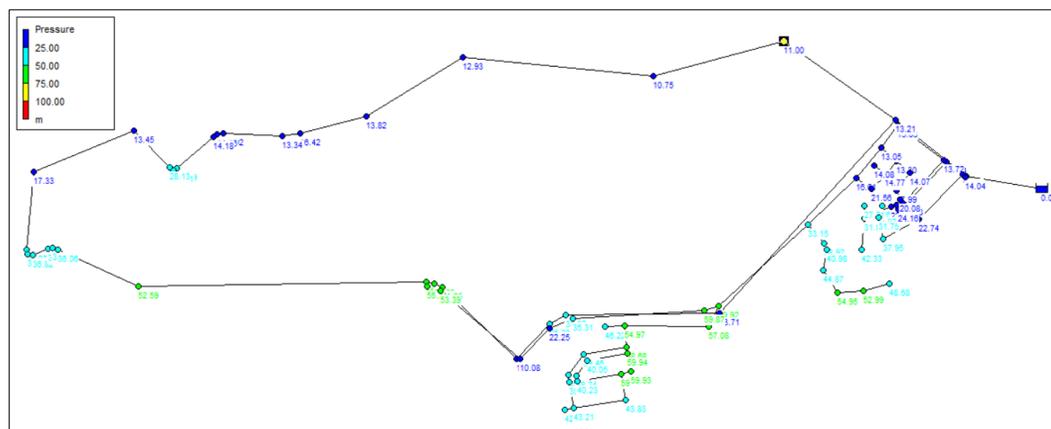


Nota. La Figura representa la modelación hidráulica para el sector 3 con las condiciones actuales de la red. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Modelación hidráulica optimizada. Se realizó las adaptaciones mencionadas en el apartado *sectorización*, adicionalmente se le asignó la cota de elevación al tanque de almacenamiento con un valor de 1271 m.s.n.m., y teniendo en cuenta que la red contaba con diámetros de tuberías entre Ø3” y Ø6”, se realizaron ajustes quedando de Ø3”.

Figura 29.

Modelación hidráulica optimizada sector 3.



Nota. La Figura representa la modelación hidráulica optimizada para el sector 3 con las condiciones actuales de la red. Este cálculo se hizo a partir del uso del software EPANET. Elaboración propia.

Para esta zona no se realizó la instalación de elementos adicionales, como tuberías o válvulas, sin embargo, fue necesario hacer cambios en los diámetros pasando toda la red a Ø3". De acuerdo con las modificaciones realizadas se evidencia que este cumple con las condiciones óptimas para su funcionamiento, observando presiones que oscilan entre los 10,75 y los 59,92 m.c.a.

Conclusiones y Recomendaciones

A partir de la información suministrada por la ERAT S.A.E.S.P. se realizó la evaluación del sistema bajo sus condiciones actuales, se evidencio que el municipio de La Mesa Cundinamarca no cuenta con las condiciones óptimas del sistema de acueducto descritas por la Resolución 0330 del año 2017; motivo por el cual la red de abastecimiento no genera el suministro continuo durante las 24 horas del día, esta verificación se realizó en visita de campo y se contrasto por medio de la modelación hidráulica de la red existente donde se observó que las presiones no cumplen con lo estipulado.

Por medio de la modelación hidráulica y los resultados obtenidos se identificó que existe una falta de planificación, así como el aumento de la población, los cambios generados en las condiciones de la captación con respecto al caudal, las condiciones físicas de la red y la ubicación de elementos para el suministro de nuevos sectores los cuales no se evalúan previamente a su instalación.

La problemática que se identifica acorde con la evaluación realizada es que el municipio de La Mesa en la actualidad presenta puntos críticos de presión en su red de abastecimiento, principalmente en los sectores 2 y 3, donde se genera una insuficiencia en el servicio, por lo tanto, perjudica principalmente a la zona centro de este, donde se encuentra el comercio y acoge la mayor parte de la población flotante.

Las modelaciones para cada uno de los sectores no afectan las condiciones hidráulicas, las presiones oscilan entre los 10.18 y 59.98 m.c.a. y se encuentran dentro del rango estipulado por la Resolución 0330 de 2017, generando así un beneficio en el servicio.

Según la DMMLA para la quebrada La Honda se presenta un déficit; esto debido a que el caudal de la fuente hídrica no es suficiente para abastecer tres municipios, según estudios esta

quebrada abastece el municipio de Tena y Anapoima; por lo que se recomienda un cambio por completo de la fuente hídrica para cubrir el caudal requerido a futuro como parte de los ajustes que pudieran darse dentro del plan de ordenamiento territorial.

De acuerdo con la sectorización planteada se sugiere tener en cuenta los cambios especificados en el apartado *sectorización*, en el cual se precisa para cada sector cuales son las modificaciones que deben hacerse efectivas con el fin de que la red de abastecimiento sea optima en su totalidad según la normatividad y se tiene en cuenta, cambios de diámetros o adición de tuberías para el caso de algunos tramos e inclusión de válvulas y tanques por sector.

Bibliografía

Alcaldía Municipal de la Mesa. (23 de Agosto de 2022). *La Mesa En El Corazòn*. Obtenido de

<https://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/Paginas/default.aspx>

Arquitectura, T. (10 de Febrero de 2020). Obtenido de [https://trignum.mx/arquitectura/los-](https://trignum.mx/arquitectura/los-trabajos-preliminares-de-una-obra/)

[trabajos-preliminares-de-una-obra/](https://trignum.mx/arquitectura/los-trabajos-preliminares-de-una-obra/)

Contraloría de Cundinamarca. (2019). *Agua Potable en Cundinamarca*. Bogotá. .

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (31 de Mayo de 2018). Resolución

No. 1546. La Mesa, Cundinamarca, Colombia.

Cualla, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado*. Santafé de Bogotá:

Escuela Colombiana de Ingeniería.

Financiera del Desarrollo Territorial S.A. FINDETER. (2017). *Informe Sectorial: Agua potable y*

Saneamiento básico.

FINDETER. (s.f.). *Informe Sectorial: Agua Potable y Saneamiento Básico* . Nathalia Martinez

Vanegas.

Gobernación de Cundinamarca. (19 de Enero de 2022). Obtenido de

<https://www.cundinamarca.gov.co/noticias/mas+de+39+mil+millones+para+culminar+obras+del+acueducto+la+mesa+-+anapoima>

Gobernación de Cundinamarca. (19 de enero de 2022). Más de \$39 mil millones para culminar

las obras del acueducto regional La Mesa-Anapoima. Cundinamarca, Colombia.

Ingeominas. (2001). *Geología de la Plancha 227, La Mesa*.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico.

(17 de Noviembre de 2000). *Título A: Aspectos Generales De Los Sistemas De Agua*

- Potable Y Saneamiento Básico*. Obtenido de
https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a_.pdf
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (Noviembre de 2010). *Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Basico - RAS*. Obtenido de
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). *Resolución Número 0330*.
Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Niño, O. T. (2017). *Inclinación a la Programación con la ToolKit de Epanet V2.00.12 en un Entorno de Windows*. Mexico: Semarnat.
- Radio, W. (26 de abril de 2021). Las promesas incumplidas con el acueducto de La Mesa - Anapoima. Bogotá, Bogotá, Colombia.
- Rossmann, L. A. (s.f.). *Epanet 2 Manual de Usuario*. Cincinnati, Ohio, Estados Unidos.
- Rotta, A. T. (Abril de 2019). *DIagnóstico de la PTAP del Municipio de La Mesa Cundinamarca*. Obtenido de
<file:///G:/Mi%20unidad/TESIS%20DE%20GRADO/PARA%20INCLUIR%20EN%20BIBLIOGRAF%3%8DA/2019angiezapata.pdf>
- Semana. (09 de Septiembre de 2017). Un esperado acueducto para La Mesa y Anapoima.
- Semana. (2017). Un esperado acueducto para La Mesa y Anapoima. *SEMANA*.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios República de Colombia . (2021). *Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios - SUI*. Obtenido de
<https://sui.superservicios.gov.co/>

Unidas, N. (Diciembre de 2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf

Anexos

Anexo A. *Plano de red existente del sistema acueducto municipio de La Mesa Cundinamarca.*

Anexo B. *Plancha 227IIID La Mesa IGAC Curvas de Nivel.*

Anexo C. *Datos de la curva de consumo del municipio de La Mesa Cundinamarca.*