

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y CALIDAD DE AGUA
POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA, CUNDINAMARCA**

AUTORES:

ANGIE TATIANA CASTRO MENDEZ

SERGIO ALEJANDRO QUIÑONES COY

YEFFERSON ALONSO CASTILLO LOPEZ

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2022



**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y CALIDAD DE AGUA
POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA, CUNDINAMARCA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

DIRECTOR:

Dr. RAFAEL ALBERTO FONSECA CORREA

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2022



NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que los estudiantes Angie Tatiana Castro Méndez, Sergio Alejandro Quiñones Coy y Yefferson Alonso Castillo López han cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, y con los lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Civil y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentran preparados para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia.



Dr. Rafael Alberto Fonseca Correa

Director del Proyecto



AGRADECIMIENTOS

Queremos dar un agradecimiento muy especial a nuestras familias, por ser el motor de nuestras vidas, apoyándonos y brindando todo su cariño, su comprensión durante desarrollo de este proyecto de grado y la culminación de nuestros estudios para obtener el título profesional como ingenieros civiles.

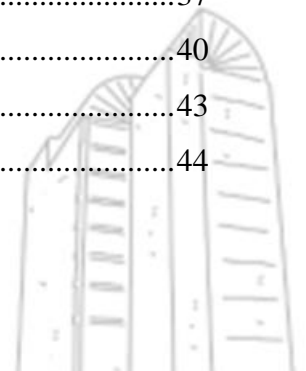
Agradecemos a nuestro tutor de tesis el Dr. Rafael Alberto Fonseca Correa, por el tiempo dispuesto para nuestra investigación y la constante claridad de sus ideas para formular un proyecto de calidad. A la universidad Piloto de Colombia, sus profesores y personal administrativo, por brindarnos estas oportunidades de promulgación del conocimiento y la conformación de profesionales íntegros y al Ingeniero Felipe Santamaría por su acertada orientación.

Agradecemos de forma atenta a la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A.E.S.P por la oportunidad de gestionar un proyecto con ellos y confianza entregada, un agradecimiento especial a el ingeniero Luis Carlos Murcia por su colaboración, su constante apoyo en esta investigación.



TABLA DE CONTENIDO

1	LINEA DE INVESTIGACIÓN	13
2	INTRODUCCIÓN	14
3	FORMULACION DEL PROBLEMA	16
4	OBJETIVOS.....	17
4.1	OBJETIVO GENERAL	17
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
5	DISEÑO METODOLÓGICO.....	18
5.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	18
5.2	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	21
6	CAPITULO I. MARCO DE REFERENCIA	23
6.1	ANTECEDENTES.....	23
6.1.1	DEMOGRAFÍA	23
6.1.2	ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	24
6.1.3	COBERTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	26
6.2	MARCO GEOGRÁFICO.....	27
6.2.1	LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	27
6.2.2	ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	28
6.2.3	HIDROLOGÍA.....	30
6.2.4	GEOLOGÍA	32
6.2.5	CLASIFICACIÓN Y USOS DEL SUELO.....	33
6.2.6	DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO	34
6.3	MARCO CONCEPTUAL.....	36
6.3.1	EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO	36
6.3.2	FUENTE DE ABASTECIMIENTO	37
6.3.3	CAPTACIÓN	40
6.3.4	ADUCCIÓN.....	43
6.3.5	DESARENADOR.....	44



6.3.6	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)	45
6.3.7	INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN.....	48
6.3.8	RED DE DISTRIBUCIÓN URBANA	49
6.3.9	PERDIDAS DE AGUA EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO	53
6.4	MARCO LEGAL	58
7	CAPITULO II – RESULTADOS Y ANÁLISIS	59
7.1	TRABAJO DE CAMPO.....	59
7.1.1	PRIMERA VISITA TÉCNICA- MARZO 30 DEL 2022	59
7.1.2	SEGUNDA VISITA - MAYO 2 DEL 2022	61
7.2	OPERACIÓN DE PLANTA Y CALIDAD DEL AGUA.....	63
7.2.1	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP).....	63
7.2.2	ANALISIS OPERACIÓN PTAP-LA MESA	75
7.2.3	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA- IRCA.....	77
7.2.4	ENCUESTAS.....	82
7.2.5	RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE	90
8	CONCLUSIONES	111
9	RECOMENDACIONES	114
10	BIBLIOGRAFÍA.....	116
11	ANEXOS.....	122
12	ENTREGABLES	122



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 .TABLA DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS DEL MUNICIPIO DE LA MESA.....	25
TABLA 2 MODELO DE CLASIFICACIÓN DE CALDAS.....	28
TABLA 3 MODELO DE CLASIFICACIÓN DE LANG.....	28
TABLA 4 MODELO DE CLASIFICACIÓN DE LOS CLIMAS CALDAS & LANG.	29
TABLA 5 CLASIFICACIÓN DEL SUELO.	33
TABLA 6 USOS DEL SUELO.	34
TABLA 7 ÁREAS PROTEGIDAS DEL MUNICIPIO.....	35
TABLA 8 .RONDAS HÍDRICAS PROTEGIDAS	36
TABLA 9 GENERALIDADES DEL PRESTADOR DEL SERVICIO.	36
TABLA 10 CONCESIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES QUEBRADA LA HONDA.	39
TABLA 11 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL REQUERIDO “USO DOMÉSTICO”.....	40
TABLA 12 CUADRO RESUMEN DE CAUDALES.	40
TABLA 13 RELACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN.....	42
TABLA 14 CAUDALES ADJUDICADOS Y VALOR PORCENTUAL POR MUNICIPIO.	42
TABLA 15 ESTRUCTURA DE ADUCCIÓN-REPORTE SUI.....	44
TABLA 16 CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL EN SUSPENSIÓN SEGÚN SU TAMAÑO.	44
TABLA 17 PROCESOS EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.	46
TABLA 18 LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN.....	49
TABLA 19 RELACIÓN DE TIPOS DE TRAZADOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	50
TABLA 20 SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	51
TABLA 21 REDES DE ACUEDUCTOS.....	51
TABLA 22 FRECUENCIA DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO.....	53
TABLA 23 MARCO LEGAL	58
TABLA 24 CLASIFICACIÓN IRCA	78
TABLA 25 ÁREAS ZONIFICADAS.....	91
TABLA 26- ÁREAS INFLUYENTES EN LOS NODOS DEL SISTEMA.....	100



INDICE DE ILUTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 MAPA CON LA UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL MUNICIPIO.....	27
ILUSTRACIÓN 2 QUEBRADAS Y RÍOS DEL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA	31
ILUSTRACIÓN 3 MAPA UBICACIÓN LAGUNA PEDRO PALO.	32
ILUSTRACIÓN 4 VISTA PRELIMINAR UBICACIÓN DE ELEMENTOS DE CAPTACIÓN Y PTAP.....	39
ILUSTRACIÓN 5 SUMINISTRO DE ABASTECIMIENTO PARA LA MESA Y ANAPOIMA.....	43
ILUSTRACIÓN 6 LOCALIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN.	49
ILUSTRACIÓN 7 REDES DE ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO.	52
ILUSTRACIÓN 8 RECORRIDO PTAP	59
ILUSTRACIÓN 9 IDENTIFICACIÓN RDAP	60
ILUSTRACIÓN 10 ANTIGUA PTAP- LA MESA.....	60
ILUSTRACIÓN 11 HIDROXICLORURO Y SULFATO DE ALUMINIO	61
ILUSTRACIÓN 12 ENCUESTAS A LA POBLACIÓN	62
ILUSTRACIÓN 13 RECOMENDACIONES DE LA COMUNIDAD	62
ILUSTRACIÓN 14 MACROMEDIDOR DE ENTRADA.....	64
ILUSTRACIÓN 15 TANQUE DE AQUIETAMIENTO	65
ILUSTRACIÓN 16 CANALETA PARSHALL.....	65
ILUSTRACIÓN 17 CAUDALÍMETRO	66
ILUSTRACIÓN 18 TOMA DE MUESTRAS.....	66
ILUSTRACIÓN 19 ENSAYO DE TURBIEDAD, PH Y COLOR	67
ILUSTRACIÓN 20 TANQUES 500 LITROS	68
ILUSTRACIÓN 21 DISPERSIÓN RÁPIDA	68
ILUSTRACIÓN 22 FLOCULADOR TIPO COX.....	69
ILUSTRACIÓN 23 ENTRADA A FLOCULADOR TIPO COX.....	69
ILUSTRACIÓN 24 FORMACIÓN DE FLÓCULOS	70
ILUSTRACIÓN 25 SEDIMENTADOR CONVENCIONAL	71
ILUSTRACIÓN 26 SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	71
ILUSTRACIÓN 27 AIREADOR	72
ILUSTRACIÓN 28 TANQUE PARA RETROLAVADO DE FILTROS	72
ILUSTRACIÓN 29 CUARTO DE CLORO.....	73
ILUSTRACIÓN 30 CILINDROS DE CLORO E INYECTOR.....	73

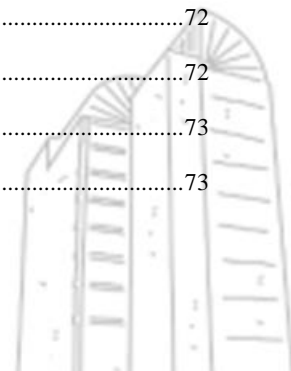


ILUSTRACIÓN 31 LLEGADA TUBERÍA ZONA DE CLORACIÓN.....	74
ILUSTRACIÓN 32 TUBERÍA RETROLAVADO Y CLORACIÓN	74
ILUSTRACIÓN 33 TANQUES DE ALMACENAMIENTO	75
ILUSTRACIÓN 34 FORMATO ENCUESTA.....	84
ILUSTRACIÓN 35- ZONAS DE OPERACIÓN EN EL CASCO URBANO.	90
ILUSTRACIÓN 36 - PERFIL DE ELEVACIÓN ZONA 1.	91
ILUSTRACIÓN 37- PERFIL DE ELEVACIÓN ZONA 2.	92
ILUSTRACIÓN 38 - PERFIL DE ELEVACIÓN ZONA 3.	92
ILUSTRACIÓN 39 – IMPORTACIÓN DE POLÍGONO A GLOBAL MAPPER.	93
ILUSTRACIÓN 40 – CURVAS DE NIVEL.....	94
ILUSTRACIÓN 41 – ASIGNACIÓN DE ELEVACIONES A PARTIR DE SUPERFICIE.	94
ILUSTRACIÓN 42 – IMPORTACIÓN DE RED A EPACAD.....	96
ILUSTRACIÓN 43 – IMPORTACIÓN DE RED A EPANET.	97
ILUSTRACIÓN 44 -OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA.....	98
ILUSTRACIÓN 45- MAPA DE CONTORNO – TOPOGRAFÍA.	99
ILUSTRACIÓN 46- POLÍGONOS INFLUYENTES EN LOS NODOS DEL SISTEMA.	100
ILUSTRACIÓN 47 CÁLCULO DE DEMANDA BASE EN NODO.	105
ILUSTRACIÓN 48- DEMANDAS BASE.....	106
ILUSTRACIÓN 49 VELOCIDADES ZONA 1.	107
ILUSTRACIÓN 50- VELOCIDADES ZONA 2.....	108
ILUSTRACIÓN 51 VELOCIDADES ZONA 3.	108
ILUSTRACIÓN 52- GRAFICO DE CONTORNO – PRESIÓN.	110



TABLAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. POBLACIÓN DESAGREGADA POR SEXO	23
GRÁFICO 2. PIRÁMIDE POBLACIONAL	23
GRÁFICO 3. POBLACIÓN DESAGREGADA POR ÁREA	24
GRÁFICO 4 PORCENTAJE DEL VALOR AGREGADO POR ACTIVIDADES ECONÓMICAS.	26
GRÁFICO 5 COBERTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	26
GRÁFICO 6 BOSQUES SECOS TROPICALES EN LA MESA.	35
GRÁFICO 7 RESULTADOS IRCA 2021-2022.....	79
GRÁFICO 8 RESULTADOS IRCA PROMEDIO MENSUAL PERIODO 2021-2022	81
GRÁFICO 9 PORCENTAJE DE MUESTRAS MENSUALES UBICADAS EN RIESGOS IRCA 2021 -2022.....	82
GRÁFICO 10 PERCEPCIÓN GENERAL DE LOS ENCUESTADOS SOBRE EL SERVICIO	85
GRÁFICO 11 PERCEPCIÓN POR PREGUNTA DE LOS ENCUESTADOS	86
GRÁFICO 12 PERCEPCIÓN POR PREGUNTA DE LOS ENCUESTADOS SECTOR 1	87
GRÁFICO 13 PERCEPCIÓN POR PREGUNTA DE LOS ENCUESTADOS SECTOR 2	88
GRÁFICO 14 PERCEPCIÓN POR PREGUNTA DE LOS ENCUESTADOS SECTOR 3	89



RESUMEN

La presente investigación busca identificar las condiciones actuales del servicio de la red de distribución y calidad del agua potable en el casco urbano del municipio de La Mesa Cundinamarca. Estableciendo como punto de partida la identificación de las posibles problemáticas que desmejoren el servicio en el casco urbano, con el fin de mitigar o prevenir eventuales riesgos en la población y los efectos económicos que puedan afectar a los administradores del sistema.

Se recopila información acerca de la red y se analiza mediante una simulación con el software EPANET, además visitas a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), para diagnosticar los procesos para la potabilización del agua. Se encuentra que la diferencia de elevaciones manifestadas en la topografía del municipio impacta significativamente en los puntos de consumo ubicados en la zona 3 y parte de la zona 2, lo que causa una situación problemática en el manejo de presiones en el sistema.

La información surgida de la presente investigación es una herramienta de gran importancia que impactará significativamente a los administradores del suministro y servicio de agua potable del municipio de La Mesa en Cundinamarca.

PALABRAS CLAVE: Índice de agua no contabilizada, planta de tratamiento de agua potable, red de distribución, La Mesa, ERAT, presiones, IRCA, EPANET, velocidad, simulación.



ABSTRACT

The present research seeks to identify the current conditions of the service of the distribution network and the quality of drinking water in the urban area of the municipality of La Mesa. establishing as a starting point the identification of possible problems that impair the service in the urban area, to mitigate or prevent possible risks to the population and the economic effects that may affect the system administrators.

Information about the network is collected and analysed through simulation with the EPANET software, as well as visits to the Potable Water Treatment Plant (PWTP) to diagnose the processes for the purification of water. It is found that the difference in elevations manifested in the topography of the municipality has a significant impact on the consumption points located in zone 3 and part of zone 2, which causes a problematic situation in the management of system pressures.

The information arising from this research is a tool of great importance that will significantly impact the administrators of the supply and service of drinking water in the municipality of La Mesa in Cundinamarca.

KEYWORDS: Unaccounted for water index, Drinking water treatment plant, Distribution network, La Mesa, ERAT, Press, IRCA, EPANET, speed, simulation.



1 LINEA DE INVESTIGACIÓN

Línea de Investigación Institucional: Hábitat, biodiversidad y tecnologías sostenibles – HBTS.

Línea de Investigación del programa: Sostenibilidad de la Infraestructura.

Línea de Investigación grupo de Investigación: Gestión y tecnologías del agua.

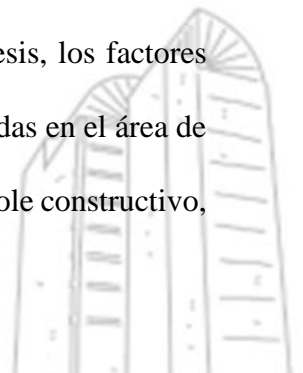
Nombre del semillero de Investigación: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo.



2 INTRODUCCIÓN

El municipio de La Mesa está ubicado al suroccidente de Bogotá en el departamento de Cundinamarca, actualmente presenta una problemática asociada a la pérdida de agua en varios tramos del acueducto que abastece a la población, según la Evaluación Integral de Prestadores realizada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en el año 2019, se registra un Índice de Agua no Contabilizada (IANC) en promedio de 66%, así mismo, para el año 2018 este valor se sitúa en 57%, por lo cual, se debe desarrollar un estudio y análisis para determinar los puntos específicos de las pérdidas y las razones sistemáticas, físicas, sociales y operativas que justifiquen esta problemática.

El trabajo de investigación analiza el comportamiento de las presiones en la red, considerando los principios fundamentales de la hidráulica, del mismo modo, mediante la optimización de presiones en la red operativa actual, se pueden generar impactos positivos resultado de la reducción del IANC, ocasionando recursos a favor de la empresa prestadora del servicio Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. y el municipio de La Mesa Cundinamarca. Posiblemente, al generar esta mejora se incremente la frecuencia del servicio del acueducto, ocasionando mejoras a la comunidad ya que según datos de ERAT S.A. E.S.P, en el año 2019 en la zona urbana se suministró el servicio 2 días por semana de 12 horas. Por otro lado, las condiciones químicas y físicas del agua impactan en cierta medida sobre la calidad de vida de la comunidad receptora del servicio, así pues, dos factores determinantes sobre esta problemática son las condiciones del sistema operativo de la red relacionadas con el planteamiento de falencias en la calidad, presiones y la ausencia de una simulación hidráulica y las posibles deficiencias de procesos afines al tratamiento del fluido. En síntesis, los factores mencionados hasta el momento requieren la aplicación de metodologías aplicadas en el área de la Ingeniería, suscitando un diagnóstico que promueva futuros proyectos de índole constructivo,



empleando conocimientos avanzados y técnicos adquiridos en el programa de Ingeniería Civil, más enfatizado en la línea de Aguas.

Algunas condiciones del estado actual de la planta de tratamiento, al igual que los procesos químicos convergentes a los métodos de mejoramiento del fluido, estarían directamente relacionados con la calidad receptora en la red, el suministro de agua no apta para el consumo humano es una de las constantes que ha presentado el municipio. El horizonte teórico-metodológico se desarrolla mediante la aplicación del software EPANET, a fin de analizar la configuración hidráulica de agua potable, lo propuesto es necesario, para verificar el comportamiento del fluido a lo largo de la red, es decir, que, si la variación de la presión está dentro de los parámetros normativos a lo largo de la línea de conducción, si no se cumple con lo establecido, las condiciones en los ramales deberán ser analizadas para la identificación de puntos generadores de agua no contabilizada.

“El objetivo de la prueba de presión es verificar la correcta instalación de la tubería y los accesorios.” (Empresas Públicas de Medellín, 2019, p. 17), así mismo, los parámetros de diseño fueron evaluados bajo la guía de la Resolución 0330 del 2017. Se realizaron encuestas a la población con el objetivo de determinar los parámetros de deficiencia desde la perspectiva del usuario, del mismo modo se interpretaron los resultados bajo un criterio técnico a fin de gestionar posibles soluciones ingenieriles. Se evaluaron resultados de calidad de agua bajo los parámetros físicos y químicos del Índice de Riesgo para la Calidad de Agua Potable (IRCA) y la Resolución 2115 del 2007.



3 FORMULACION DEL PROBLEMA

Se plantea la hipótesis de que en el casco urbano del municipio de La Mesa se presentan deficiencias de operatividad en la red de distribución. La premisa de esta hipótesis surge de las distintas problemáticas que acongojan a los prestadores y consumidores del servicio, como es el caso de la Empresa Regional Aguas del Tequendama (ERAT) S.A. E.S.P que es de vital importancia identificar los niveles de agua no contabilizada, las condiciones de la red y la calidad del agua, debido a que estas problemáticas provocan un impacto negativo en los costos de operación y sostenimiento de la empresa. Si a esto se suma la nueva inversión proyectada de compra de agua en bloque transportada desde Bogotá, que debe ser pagada con anticipación, representaría una mayor inversión en la operación del agua.

Para la población las problemáticas desencadenadas por variaciones sectorizadas de la presión, una intermitencia del servicio, una percepción regular sobre la calidad del agua y posibles alzas en el pago final del consumo debido a la compra de agua en bloque generarían preocupación e inconformismo con la comunidad.



4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un diagnóstico sobre la red de distribución, mediante la simulación con el software EPANET y evaluando la calidad del agua potable, con el fin de identificar las deficiencias y plantear estrategias para mitigar dichas problemáticas.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el estado actual del acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa mediante la caracterización de sus condiciones de operación, funcionamiento y calidad con la ayuda de herramientas de medición, softwares de simulación de redes, información geográfica y dibujo asistido.
- Diagnosticar el estado actual del acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa, la calidad del agua y las condiciones del servicio, para corroborar el cumplimiento del reglamento técnico, resolución No. 2115, resolución No. 0330 y el decreto 1575 del 2007.
- Aportar investigación y recomendaciones desde la ingeniería que permitan ampliar la información sobre el estado actual de los acueductos en Colombia en beneficio de la alcaldía de la Mesa y la Universidad Piloto de Colombia.



5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

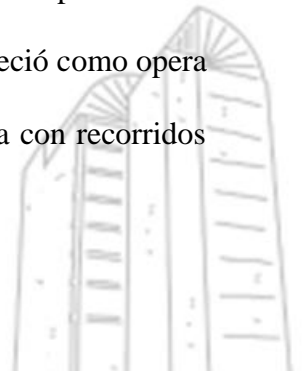
Para el desarrollo de la investigación se aplica la metodología investigación-acción, la cual establece realizar una acción para mejorar una organización o una sociedad, mientras a su vez, se aprovecha la investigación para generar conocimiento y comprensión en el campo específico del investigador. Cabe resaltar que la investigación-acción tiene origen en el psicólogo y filósofo alemán Kurt Lewin quien definió este concepto como: “una forma de investigación que podía ligar el enfoque experimental de las ciencias con programas de acción que respondieran a los problemas sociales. Argumentaba que se podía lograr en forma simultánea avances teóricos y cambios sociales” (Rodriguez.et.al,2011, p.2).

En lo que compete a esta investigación, su desarrollo metodológico corresponde con las actividades o acciones principales que posee la investigación-acción las cuales son: registrar, recopilar, observar, planificar y reflexionar todo aquello que tenga relación con la investigación. Dentro del desarrollo de la construcción metodológica se realizaron las siguientes actividades:

- Se realizó una reunión con el ingeniero Luis Carlos Murcia, en donde en este primer acercamiento se planteó la necesidad de realizar un estudio para identificar el origen de los altos IANC con el fin de proponer estrategias para mejorar aquella debilidad en la red.
- Se planteó caracterizar toda la red de distribución, para identificar el estado y las condiciones de servicio de la red y no únicamente del IANC de todo el municipio. Como se había planteado en el primer acercamiento, esto debido a la baja disponibilidad de recursos, accesibilidad y la gran complejidad de la caracterización de la red rural.



- Se llevo a cabo una recopilación de investigaciones que tuvieran relación geográfica y/o presentarán problemas similares al de esta investigación. Además, se alimentó la búsqueda con el último plan de ordenamiento territorial publicado e informes de gestión, detallando con rigurosidad la documentación veraz y efectiva para la estructuración de una posible hipótesis. Destacando la información que agrupe datos históricos de interés para la investigación y descartando toda aquella que no conservara parcialidad o fuera irrelevante.
- Se construyó en conjunto con el tutor de tesis, la investigación preliminar que tuvo sus fundamentos en la recopilación e interpretación de la documentación analizada, buscando una relación entre las necesidades de la empresa prestadora del servicio y el campo de acción de los investigadores. A su vez durante esta actividad se realizaron acercamientos con la Empresa Regional Aguas del Tequendama y la Alcaldía Municipal, en estas visitas preliminares se hicieron efectivas entregas de documentos, informes, mapas y planos con información de la red. Permitiendo ampliar y mejorar la veracidad y efectividad de la información.
- Se formalizó entre la universidad Piloto de Colombia, la Empresa Regional Aguas del Tequendama y los investigadores el primer acercamiento oficial, donde se socializó los alcances que tiene la investigación, evaluando por parte del ingeniero Luis Carlos Murcia lo planteado para converger la hipótesis con la situación actual del municipio.
- La investigación se fue profundizando con el trabajo de campo, en primera instancia con la visita a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP). Allí se presentaron acercamientos con el personal que opera en la planta, donde se esclareció como opera la PTAP y los distintos procesos que realiza para potabilizar el agua con recorridos



guiados por la planta, facilitando la observación, toma de datos y registros fotográficos de los procesos de tratamiento, su infraestructura y las condiciones de salida del agua a la red de distribución

- Se formalizó una reunión con el ingeniero Luis Murcia en la visita de campo, quien expuso el estado actual de la red de distribución y la PTAP, a su vez compartiendo su experiencia y conocimiento como ingeniero auxiliar en la operación y funcionamiento de la red y la PTAP de La Mesa. Postuló sus ideas sobre cómo afrontar y mitigar las problemáticas planteadas en la investigación.
- Una segunda visita permitió un acercamiento con la comunidad, aplicando encuestas que agrupan conceptos que permitan dar un juicio sobre la perspectiva que tienen los residentes sobre el servicio en general del agua.
- Empleando los planos del trazado de la red, los volúmenes de caudal adjudicados, las cotas y materiales de la tubería, provistos por aguas del Tequendama se realiza una simulación de la red de distribución del caso urbano de La Mesa con el software EPANET. Con el fin de evaluar las diferencias de presiones sectorizadas y generar un análisis teórico. Por otra parte, el análisis de la calidad del agua potable será equiparado con los informes entregados por la Empresa Regional Aguas del Tequendama e informes de la Super Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.
- En retrospectiva todas las actividades de la investigación conducen a la estructuración de un conglomerado de resultados obtenidos mediante la documentación y visitas de campo. Estas tendrán la finalidad de diagnosticar el estado y servicio de la red de distribución para ratificar o desmentir la hipótesis planteada en la investigación.



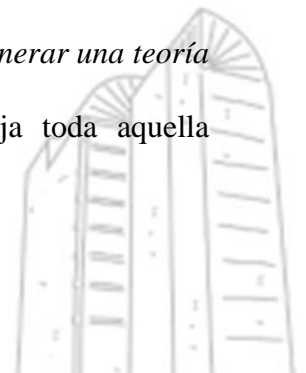
5.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Para el diseño de la investigación se ha optado por manejar dos tipos de enfoques, cuantitativo y cualitativo, estos varían según el tipo de información que se va a analizar, en ese orden de ideas, el enfoque cuantitativo aplica un método riguroso y sistemático del manejo de la información, organizándola en etapas y empleando mediciones de elementos cuantificables que determinan variables que posteriormente serán analizados mediante el uso de métodos estadísticos (sampieri.et.al.2014).

En términos de esta investigación, para el enfoque cuantitativo se formularon encuestas empleando una escala nominal, estas proponen cuantificar la percepción de las personas acerca de las variables sobre la calidad del servicio del agua potable en La Mesa. Las encuestas son asignadas en los tres sectores donde operan los tanques del agua ubicados en toda el área urbana del municipio.

Se analizan los resultados obtenidos de la simulación de la red permitiendo identificar los sectores con mayores variaciones en sus resultados. Dando hincapié a establecer puntos de interés para ser analizados a profundidad y generar estrategias para mitigar dichas problemáticas.

Para la investigación es de suma importancia identificar desde la visión de las dinámicas históricas, sociales, económicas, políticas de los residentes y población flotante del municipio la relación de la problemática planteada. Es por esta cuestión que surge la necesidad de utilizar un enfoque cualitativo, el cual es explicado por (Lerma,1999, p.45) como: *“estudios sobre el quehacer cotidiano de las personas o grupos pequeños. En este tipo de investigación interesa lo que la gente dice, piensa, siente o hace. Su función puede ser describir o generar una teoría a partir de datos obtenidos”*. En síntesis, el enfoque cualitativo maneja toda aquella



información, no medible, no cuantificable y que no puede ser analizada por métodos estadísticos.

Este tipo de enfoque nos permite recopilar, identificar y analizar la relación de la población del municipio de La Mesa desde la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) hasta las conexiones domiciliarias. Para identificar las causas y consecuencias de la operación de la red y las condiciones de la población.



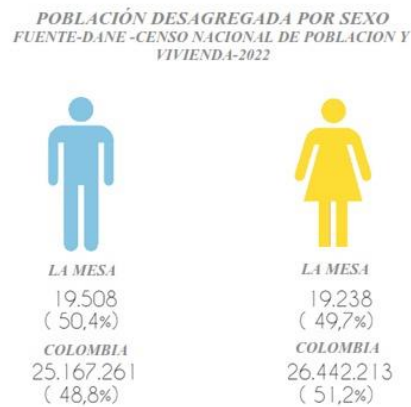
6 CAPITULO I. MARCO DE REFERENCIA

6.1 ANTECEDENTES

6.1.1 DEMOGRAFÍA

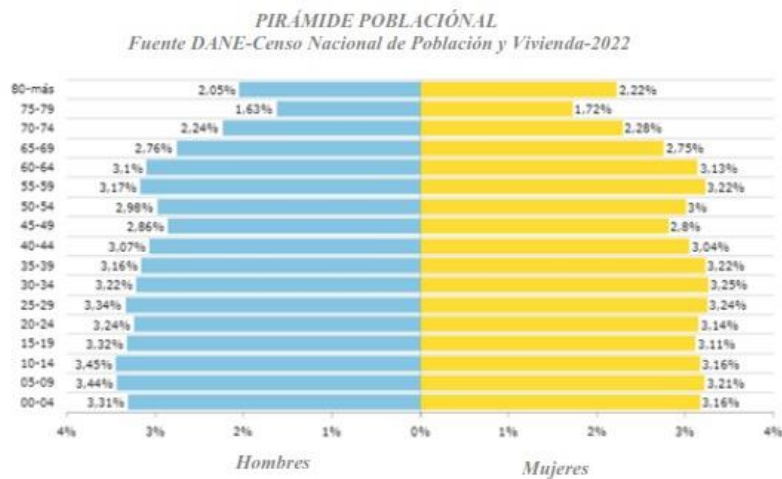
El último censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), registra para La Mesa una población de 38.746 habitantes, distribuidos entre hombres (50.4%) y mujeres (49.6%) para el 2022. Según lo establece el *Gráfico 1*.

GRÁFICO 1. Población desagregada por sexo



Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2022, p. 1).

GRÁFICO 2. Pirámide poblacional

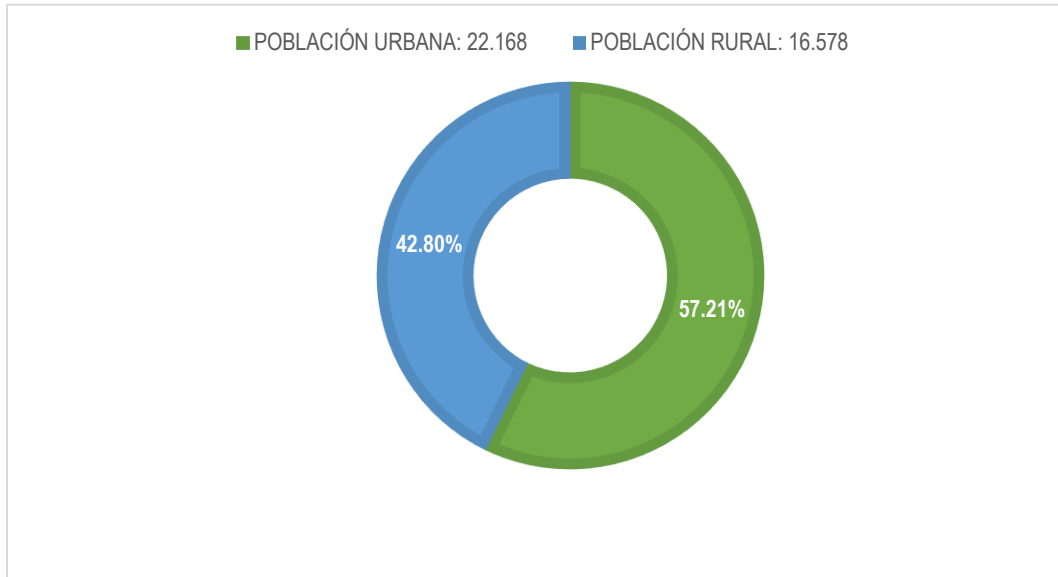


Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2022, p. 1).



La población está distribuida en aquellas personas que habitan el sector urbano y el sector rural, el *Grafico 3* presenta esta distribución.

GRÁFICO 3. Población desagregada por área



Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2022, p. 2).

6.1.2 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La ley 1551 de 2012 “por la cual se dictan las normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios” establece que todos los municipios poseen un peso relativo en función del producto interno bruto (PIB) este valor otorga un grado denominado índice de importancia económica municipal (IIEM) (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022).

Se define como la distribución del valor agregado del departamento entre cada uno de sus distritos y municipios ubicados en su jurisdicción, a partir de una estructura obtenida con indicadores sectoriales directos e indirectos, teniendo en cuenta la autonomía política, fiscal y administrativa que poseen los municipios, el IIEM es una herramienta que permite identificar la

jerarquía de cada uno de los municipios dentro de su departamento. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p.267).

Para el municipio de la Mesa se obtuvo ” En términos del valor agregado a precios corrientes, para el año 2019 (1.172 billones de pesos), representa más de la tercera parte del agregado para la provincia de Tequendama (35,0%) y el 2,1% de la producción departamental” (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p.267).

Las actividades económicas primarias del municipio ocupan para el año 2019 (véase *Gráfico 4*) un aproximado del 30 %, las actividades secundarias ocupan un 10 % y las terciarias un total de 60 %. La *tabla 1* define los tipos de actividad económicas y su clasificación. Cabe resaltar, las actividades económicas principales son “(..) el turismo, seguido del comercio, que es muy destacado y del mercado local que se realiza los domingos y los miércoles. Es de mencionar la existencia de una importante industria avícola, los cultivos de frutas y de flores exóticas (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 258).

TABLA 1. *Tabla de actividades económicas del municipio de la mesa.*

ACTIVIDAD ECONÓMICA	CLASIFICACIÓN
PRIMARIAS	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; y explotación de minas y canteras.
SECUNDARIAS	Industrias manufactureras y construcción
TERCIARIAS	Electricidad, gas y agua; comercio; reparación de vehículos automotores; transporte; alojamiento y servicios de comida; información y comunicaciones; actividades financieras y de seguros; actividades inmobiliarias; actividades profesionales, científicas y técnicas; actividades de servicios administrativos y de apoyo; administración pública; educación; salud; actividades artísticas, de entretenimiento y recreación; actividades de los hogares individuales

Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 258).



GRÁFICO 4 Porcentaje del valor agregado por actividades económicas.

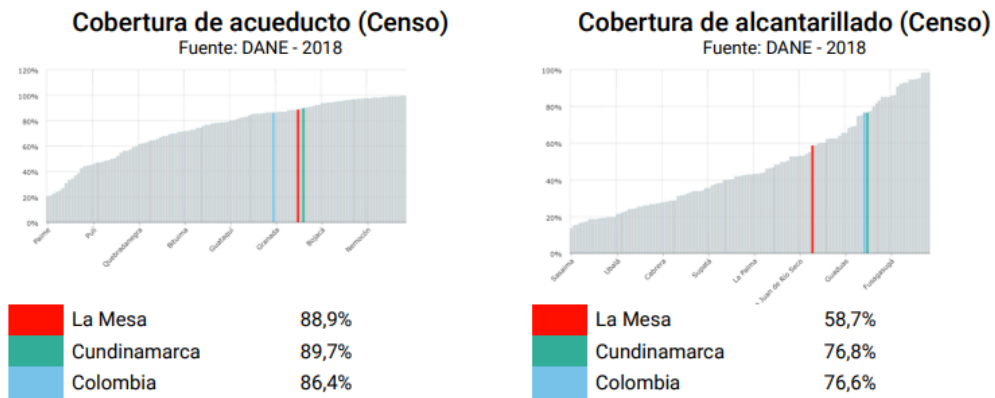


Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2022, p. 2).

6.1.3 COBERTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Según cifras del DANE, en términos del acueducto se presenta una cobertura del 88.9% y para el alcantarillado un 58.7 %. Estas cifras son explicadas en el *Grafico 5*.

GRÁFICO 5 Cobertura de acueducto y alcantarillado



Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2022, p. 13).

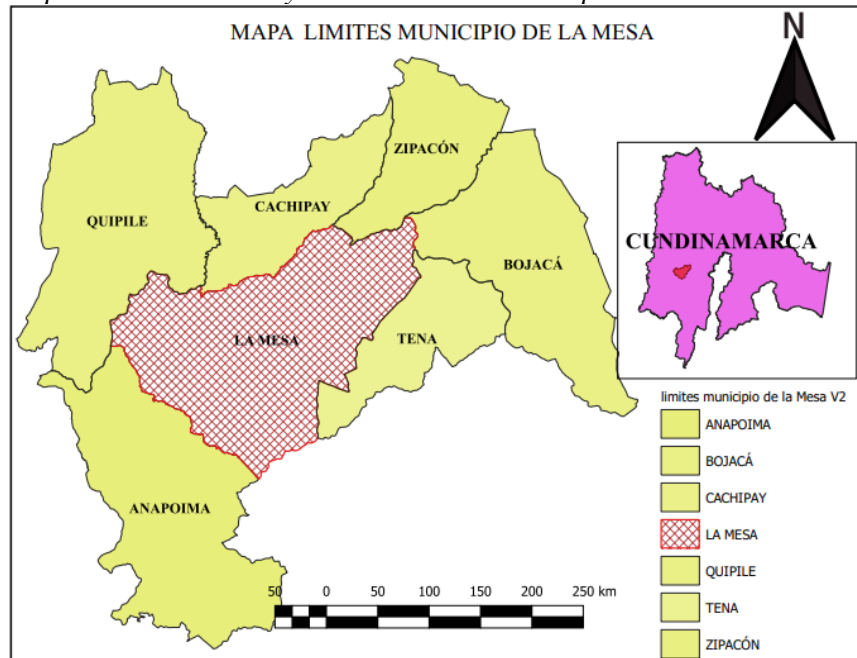


6.2 MARCO GEOGRÁFICO

6.2.1 LOCALIZACIÓN ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de La Mesa está ubicado al suroeste del departamento de Cundinamarca. Con coordenadas geográficas latitud Norte $4^{\circ} 38' 06''$ y latitud Oeste $74^{\circ} 27' 58''$ (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2000). Pertenece en conjunto con 10 municipios a la subdivisión administrativa provincia del Tequendama. Su extensión total es de aproximadamente 151 km², divididos en un área urbana de 2.75 km² y un área rural de 147.5 km² aproximadamente.

ILUSTRACIÓN 1 Mapa con la ubicación y delimitación del municipio



Fuente: Elaboración Propia.

Los límites del municipio de La Mesa son: Al Norte, con los municipios de Cachipay y Zipacón, al Occidente con los municipios de Anapoima y Quipile, al Sur con el municipio del Colegio y al Oriente con los municipios de Tena y Bojacá.



6.2.2 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

El municipio de La Mesa está ubicado a una altura promedio de 1200 m.s.n.m, presenta temperaturas promedio de 24° C. Cabe resaltar, que presenta distintos tipos de climas que son clasificados por el sistema Caldas & Lang, el modelo de caldas analiza la variación de la temperatura con la altitud de la región (*Tabla 2*) y en conjunto el sistema Lang relaciona la precipitación con la temperatura media anual medida en centígrados (*Tabla 3*), en 1962 Schaufelber "unificó e implementó el sistema Caldas & Lang, el cual utiliza la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación, que muestra la humedad." (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014, p.5) lo que permitió clasificar 25 tipos distintos de clima en el país (*Tabla 4*).

TABLA 2 Modelo de clasificación de caldas.

PISO TÉRMICO	RANGO DE ALTURA EN METROS	TEMPERATURA EN °C	VARIACIÓN ALTITUDINAL POR CONDICIONES LOCALES
CÁLIDO	0-1000	T > 24.0	LÍMITE SUPERIOR +/- 400ML
TEMPLADO	1001-2000	17.6 - 24.0	LÍMITE SUPERIOR +/- 500ML LÍMITE INFERIOR +/- 500 ML
FRÍO	2001-3000	12.1 - 17.5	LÍMITE SUPERIOR +/- 400ML LÍMITE INFERIOR +/- 400ML
PÁRAMO BAJO	3200-3700	7.1 - 12.0	
PÁRAMO ALTO	3701-4200	<7.0	

Fuente: Tomado de "Zonificación Climática". (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014, p. 5).

TABLA 3 Modelo de clasificación de Lang.

COEFICIENTE (P/T)	CLASE DE CLIMA
0.0-20.0	DESÉRTICO
20.1-40.0	ÁRIDO
40.1-60.0	SEMIÁRIDO
60.1-100.0	SEMIHÚMEDO
100.1-160	HÚMEDO
>160	SUPERHÚMEDO

Fuente: Tomado de "Zonificación Climática".
(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014, p. 5).



TABLA 4 *Modelo de clasificación de los climas Caldas & Lang.*

NO.	TIPO CLIMÁTICO	SIMBOLO
1	CÁLIDO SUPERHÚMEDO	CSH
2	CÁLIDO HÚMEDO	CH
3	CÁLIDO SEMIHÚMEDO	CSH
4	CÁLIDO SEMIÁRIDO	CSA
5	CÁLIDO ÁRIDO	CA
6	CÁLIDO DESÉRTICO	CD
7	TEMPLADO SUPERHÚMEDO	TSH
8	TEMPLADO HÚMEDO	TH
9	TEMPLADO SEMIHÚMEDO	TSH
10	TEMPLADO SEMIÁRIDO	TSA
11	TEMPLADO ÁRIDO	TA
12	TEMPLADO DESÉRTICO	TD
13	FRÍO SUPERHÚMEDO	FSH
14	FRÍO HÚMEDO	FH
15	FRÍO SEMIHÚMEDO	FSH
16	FRÍO SEMIÁRIDO	FSA
17	FRÍO ÁRIDO	FA
18	FRÍO DESÉRTICO	FD
19	PÁRAMO BAJO SUPERHÚMEDO	PBSH
20	PÁRAMO BAJO HÚMEDO	PBH
21	PÁRAMO BAJO SEMIHÚMEDO	PBSH
22	PÁRAMO BAJO SEMIÁRIDO	PBSA
23	PÁRAMO ALTO SUPERHÚMEDO	PASH
24	PÁRAMO ALTO HÚMEDO	PAH
25	NIEVES PERPETUAS	NP

Fuente: Tomado de “Zonificación Climática”.
(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014, p. 6).

En función de la clasificación Caldas-Lang, se identificó los tipos de clima del municipio.

Se evidenció que un 85.78% del municipio posee un clima semihúmedo, un 9.88 % pertenece a el clima templado semiárido ubicado en las zonas colindantes a el municipio de Quipile y un 0.98 % de frio semihúmedo en las inmediaciones a la laguna Pedro Palo (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022).



6.2.3 HIDROLOGÍA

La precipitación en el municipio de La Mesa presenta el mismo régimen de lluvias que cubre gran parte del territorio nacional, siendo este bimodal, esto quiere decir que posee dos temporadas de lluvias (abril-junio y agosto-noviembre) y dos temporadas secas. Enero es el mes donde se registra la menor cantidad de precipitación promedio anual (62.4mm) y mayo la más alta (455.6mm). Valores obtenidos según la estación meteorológica 21201370 El refugio para los periodos comprendidos desde marzo 2018 a marzo del 2022 (Guzmán, Ruiz & Cadena, 2014).

6.2.3.1 CUENCA RIO BOGOTÁ

La cuenca del río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque, municipio de Villa Pinzón a una altura aproximada de 3250 m.s.n.m y desemboca en el río Magdalena en el municipio de Girardot a la altura de 250 m.s.n.m (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018). Tiene una extensión total de 589.465,392 hectáreas divididas en la cuenca alta, media y baja. Con respecto a el municipio de La Mesa su posición la ubica en la zona denominada cuenca baja del río Bogotá, aportando un área a la cuenca de 14932.784 hectáreas, un porcentaje total del 2.53 % de la cuenca total. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

6.2.3.2 SUBCUENCA RÍO APULO

A su vez el municipio pertenece a la subcuenca del Río Apulo que nace en el cerro Manjui a 3000 m.s.n.m en el municipio de Facatativá y desemboca en el río Bogotá en el municipio de Apulo a una altura de 425 m.s.n.m (Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), tiene en extensión 48.505 hectáreas aproximadamente, de las cuales el 25.15 % las aporta el municipio de La Mesa. “Esta subcuenca presenta una oferta hídrica en los periodos secos que puede variar entre un 1 m³/seg. a 6.17 m³/seg. y en periodos de lluvias de

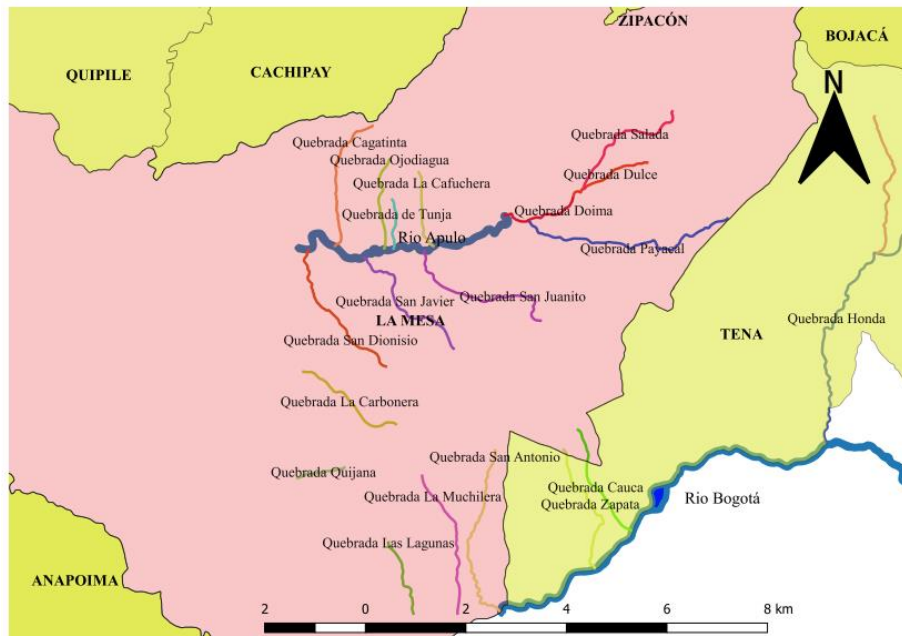


7.92 m³/seg. presentando precipitaciones anuales promedio en todo su recorrido de 1300 mm”
(Liévano, 2013, p.3).

La subcuenca del río Apulo es drenada por cuatro microcuencas, según lo clasifica el PBOT de La Mesa.

Correspondientes a la cuenca alta y baja del Río Apulo (Veredas Payacal, Esperanza, Tolú, Margaritas, Trinidad, San Joaquín, El Hato, Calucata y San Javier) drenajes pertenecientes al Río Curí (Vda. El Espinal) y la quebrada el Tigre, los cuales abarcan desde su divisoria de aguas la mayor parte del área correspondiente a la estructura ecológica principal del municipio (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022).

ILUSTRACIÓN 2 Quebradas y ríos del municipio de La Mesa Cundinamarca.



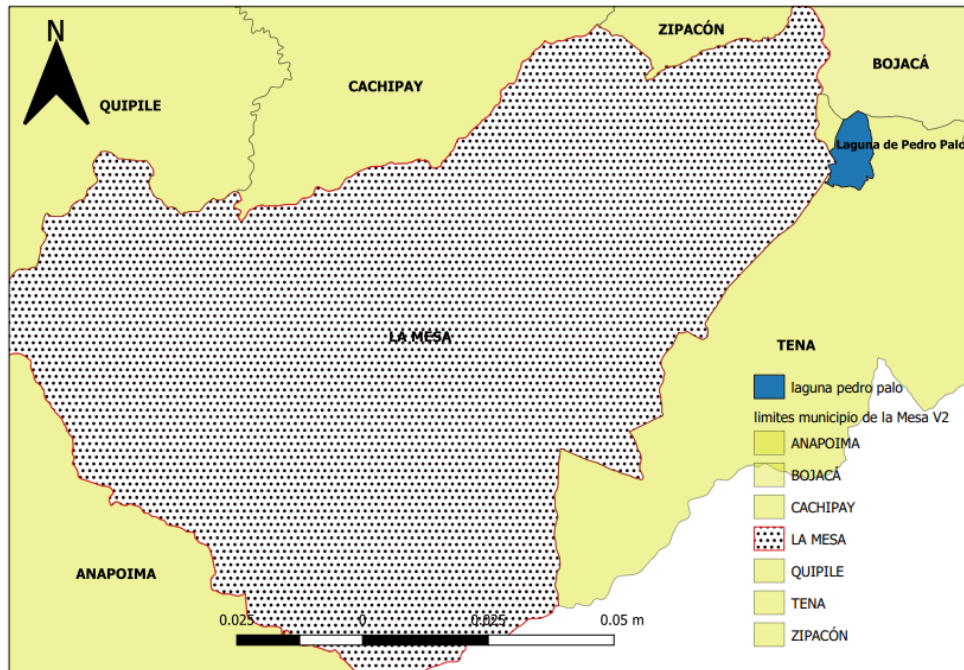
Fuente: Elaboración Propia con información suministrada por el Municipio de La Mesa, Cundinamarca.

6.2.3.3 RESERVA FORESTAL PROTECTORA LAGUNA PEDRO PALO

La reserva forestal protectora laguna Pedro Palo está ubicada entre los municipios de La Mesa (vereda Payacal), Bojacá y Tena tiene un área de 122.5 hectáreas definidos por la resolución No 38 de 1990 del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y el acuerdo No 38

de 1989 de la CAR. La laguna pertenece a la subcuenca del Río Apulo y tiene la característica de ser un sistema endorreico, no posee algún drenaje superficial, además, presenta una precipitación media anual de 1035 mm para un periodo de 23 años y es drenada por las quebradas, la Honda y Campo Hermoso, recibiendo un caudal neto de 42.8 l/s (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022).

ILUSTRACIÓN 3 Mapa ubicación laguna pedro palo.



Fuente: Elaboración Propia con información suministrada por el Municipio de La Mesa Cundinamarca.

6.2.4 GEOLOGÍA

En el municipio está presente la formación geológica grupo Villeta, que es una terminación estratigráfica acuñada por el geógrafo y cartógrafo alemán Alfred Hettner (1859-1941), la clasificación de las formaciones geológicas están especificadas en la plancha Villeta 208 por Acosta & Ulloa (2001) como: “Trincheras, Socotá, El Peñón, Capotes, Hiló, Simijaca, Pacho, Chiquinquirá, frontera y Conejo” (p.23). No obstante, en La Mesa su clasificación se subdivide en 13 formaciones geológicas que son definidas como “estratos rocosos jóvenes,

factor que incide en la estabilidad de sus suelos, los cuales tienden a presentar condiciones de movimientos masales en algunos puntos críticos, detonados por sus condiciones de pendiente y capacidad tanto de campo como portante” (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022).

6.2.5 CLASIFICACIÓN Y USOS DEL SUELO

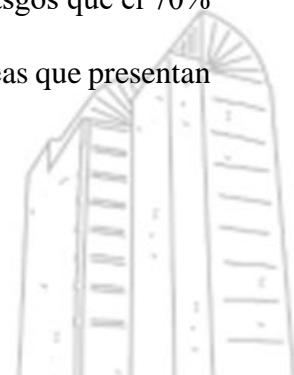
La Mesa está conformada por 5 grandes grupos de suelos entre los cuales se clasifican los suelos; muy superficiales, superficiales, afloramientos rocosos, moderadamente profundos y profundos. Los cuales son explicados por la *Tabla 5*.

TABLA 5 *Clasificación del suelo.*

DESCRIPCIÓN	ÁREA(HA)	% ÁREA MUNICIPAL
CUERPOS DE AGUA	59.06	0.40
URBANO	759.93	5.11
SUELOS MUY SUPERFICIALES	4229.59	28.46
SUELOS SUPERFICIALES	1481.41	9.97
AFLORAMIENTOS ROCOSOS	632.95	4.26
SUELOS MODERADAMENTE PROFUNDOS	2942.39	19.82
SUELOS PROFUNDOS	4755.53	31.99

Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 121).

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial ha clasificado los usos del suelo mediante la metodología Corine Land Cover (CLC) “(..) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas” (Melo & Camacho, 2005). La cual estableció a grandes rasgos que el 70% del suelo del municipio es usado para la actividad agropecuaria, seguido por áreas que presentan



deforestación o degradación ambiental 13.20% y áreas de conservación ambiental 10.67 %. En la *Tabla 6* se presentan los tipos de uso del suelo del municipio.

TABLA 6 *Usos del suelo.*

USO DEL SUELO	DESCRIPCIÓN	% TOTAL DEL MUNICIPIO
CONSERVACIÓN AMBIENTAL	Zonas ubicadas en áreas estratégicas del municipio como rondas hídricas, cuerpos de agua y áreas de protección ambiental.	10.67
AGROPECUARIO	Zonas utilizadas para el desarrollo de actividades económicas, el pb de la mesa establece que el 25.68% son pastos limpios empleados para el engorde, la actividad ganadera es mínima.	71.68
FORESTAL	Áreas con plantaciones forestales.	0.05
ÁREAS DE RESTAURACIÓN	Zonas con procesos de degradación forestal o deforestación.	13.2
ÁREAS DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES	Zonas destinadas para el desarrollo industrial.	0.14
SUELO SUBURBANO	Áreas pertenecientes a el entorno urbano y que estén comunicadas por vías primarias o secundarias.	0.05
VIVIENDA CAMPESTRE	Áreas pertenecientes a zonas residenciales en suelo rural.	1.08
RED VIAL, FERROVIARIA	Áreas destinadas para el desarrollo de carreteras y redes ferroviarias.	1.23

Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 154-156).

6.2.6 DESCRIPCIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO

En el municipio destaca en importancia un ecosistema estratégico, llamado bosque seco tropical (*grafico 6*), definido en el libro bosques secos tropicales del instituto Alexander von Humboldt “como un tipo de vegetación dominado por árboles deciduos en el cual al menos el 50% de las especies vegetales presentes son tolerantes a la sequía, la temperatura anual es igual o superior a 25° C” (Pizano & García, 2014, p.40), lo cual explica su capacidad a soportar condiciones de estrés hídrico y la retención de los suelos, Por otro lado, brinda a la población de La Mesa una regulación hídrica, retención de los suelos y aporta legumbres, forrajeras y ornamentales (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 140).

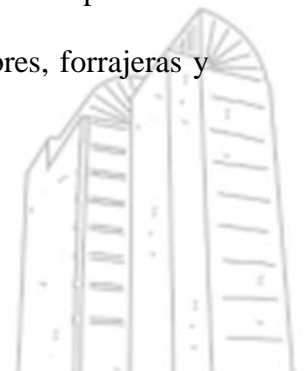
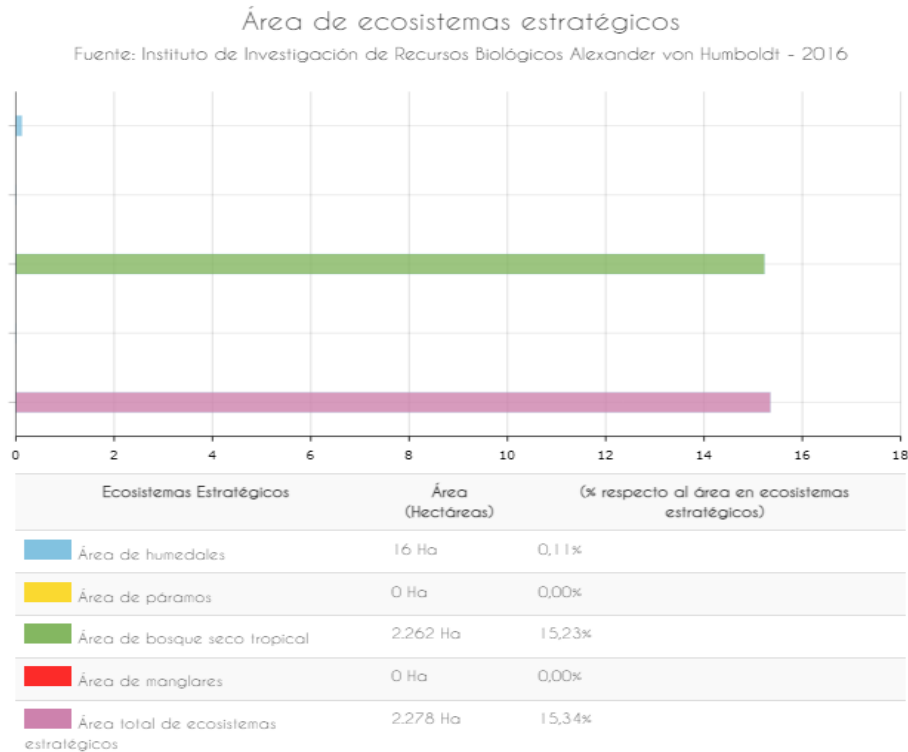


GRÁFICO 6 Bosques secos tropicales en la Mesa.



Fuente: Tomado de 25386 – La Mesa, Cundinamarca.
(Sistema de Estadísticas Territoriales, 2018, p. 10).

La ley 165 de 1994 “*convenio sobre la diversidad biológica*” tiene como objetivo la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los recursos. La cual dio origen a el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) que tiene las funciones de administrar, coordinar y contribuir a las áreas protegidas del territorio nacional. En síntesis, para el municipio de La Mesa el SINAP protege tres zonas de gran importancia por su diversidad biológica.

TABLA 7 Áreas protegidas del municipio

ÁREA PROTEGIDA	CATEGORIA	ACTO ADMINISTRATIVO
TENASUCA DE PEDRO PALO	RESERVA NATURAL DE LA SOCIEDAD CIVIL	RESOLUCIÓN MADS 0017 DE 2006
URIANAKA	RESERVA NATURAL DE LA SOCIEDAD CIVIL	RESOLUCIÓN MADS 0130 DE 2018
LA RESERVA	RESERVA NATURAL DE LA SOCIEDAD CIVIL	RESOLUCIÓN MADS 0033 DE 2021

Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 134).

Las rondas hídricas son fundamentales para la conservación del recurso hídrico que circula por el municipio de La Mesa, por esta razón la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) delimito las siguientes rondas hídricas como protección a las cuencas y subcuencas que cruzan por la región. Las cuales quedan en evidencia en la *Tabla 8*.

TABLA 8 *Rondas hídricas protegidas*

RONDA HÍDRICA	ACTO ADMINISTRATIVO
ZONA DE PROTECCIÓN DEL RÍO APULO	RESOLUCIÓN CAR 0352 DE 2018
ZONA DE PROTECCIÓN LA QUEBRADA CARBONERA	RESOLUCIÓN CAR 2172 DE 2015

Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 138).

6.3 MARCO CONCEPTUAL

6.3.1 EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO

Actualmente la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., suministra los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo al municipio de La Mesa Cundinamarca, se relacionan a continuación algunos datos generales de las actividades provisionadas.

TABLA 9 *Generalidades del prestador del servicio.*

ÍTEM	PRESTADOR
ID	23098
RAZÓN SOCIAL	EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA S.A. E.S.P.
NIT	900126313-7
ESTADO DEL PRESTADOR	OPERATIVO
FECHA DE INICIO ESTADO NUEVO	-
SERVICIOS Y ACTIVIDADES	ACUEDUCTO Captación, aducción, tratamiento, conducción, distribución, almacenamiento y comercialización.
	ALCANTARILLADO Recolección, conducción de residuos líquidos, tratamiento, disposición final y comercialización.
	ASEO Barrido y limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda en árboles en vías y áreas públicas, lavado de áreas públicas y recolección y transporte de residuos no aprovechables.

ÁREA DE OPERACIÓN	LA MESA - CUNDINAMARCA	Veredas zapata, san Javier, el hato, lagunas, laguna verde, san Andrés y el alto del tigre.
	ANAPOIMA - CUNDINAMARCA	Vereda la chica, las mercedes, san judas y san Antonio parte alta.
	TOCAIMA - CUNDINAMARCA	Veredas la salada, colorada, alto de la viga, corinto, Malberto, Vila y Zaragoza.
TIPO DE SOCIEDAD	sociedad anónima de clase oficial y orden departamental	
CLASIFICACIÓN	más de 2.500 suscriptores	
ESTADO DE CERTIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS EN EL SGP 2016	LA MESA	certificado – resolución SSPD 20184010097495 del 23 de julio de 2018.
	ANAPOIMA	certificado – resolución SSPD 20184010114345 del 17 de septiembre de 2018.
AUDITORÍA EXTERNA DE GESTIÓN Y RESULTADOS	EXENTA	

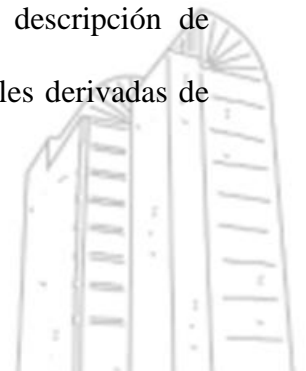
Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 6)

La Infraestructura de acueducto existente en el área urbana y parte del área rural del municipio de La Mesa Cundinamarca, está conformada por líneas de aducción, desarenador, línea de conducción, plantas de tratamiento de agua potable, tanques de almacenamiento y red de distribución.

La conducción por gravedad efectuada por el sistema operativo cuenta con una fuente de abastecimiento superficial denominada quebrada La Honda. “En relación con la concesión de aguas superficiales para esta fuente, la CAR mediante Resolución No. 1546 del 31 de mayo de 2018 otorgó la concesión durante 10 años contados a partir de la ejecutoria de dicho acto administrativo, con un caudal adjudicado de 37,29 l/s.” (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 21).

6.3.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

La **RESOLUCIÓN NO. 1546 DE 31 DE MAYO 2018**. Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales. A continuación, se presenta una breve descripción de acontecimientos técnicos sobre directrices, actuaciones y condiciones generales derivadas de



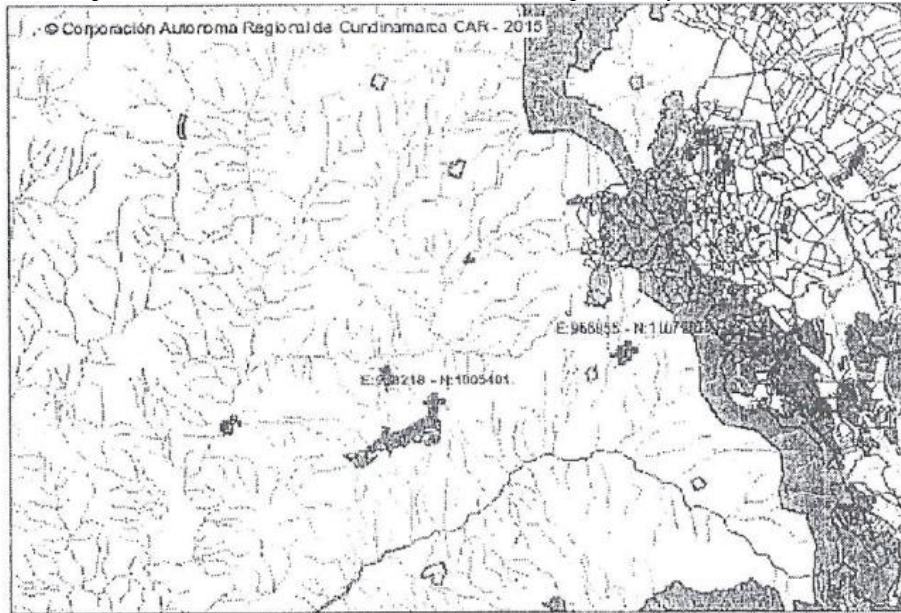
los estudios previos realizados por parte de la autoridad ambiental competente relevantes para el desarrollo del informe final de investigación.

La concesión de aguas superficiales, a fin de derivar de la fuente de uso público denominada Quebrada La Honda, con destino a satisfacer necesidades de abastecimiento de agua potable de índole público del municipio de La Mesa Cundinamarca, inicia su trámite en atención a la solicitud presentada por la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. del dieciocho (18) de julio del año dos mil diecisiete (2017) dirigida a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

Según conceptos técnicos influyentes en la viabilidad de solicitud correspondiente a la concesión de Aguas Superficiales para uso doméstico solicitado por la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., el punto de captación existente se encuentra ubicado en la zona denominada cascada El Tambo sobre la quebrada La Honda, el predio se identifica con el código catastral número 2579700000030016 de propiedad del señor Manuel Bohórquez Zamora, en jurisdicción del municipio de Tena Cundinamarca. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).



ILUSTRACIÓN 4 *Vista preliminar ubicación de elementos de captación y PTAP.*



Fuente: RESOLUCIÓN NO. 1546 DE 31 DE MAYO 2018. *Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.* (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018, p. 8).

La oferta hídrica de la fuente superficial denominada quebrada La Honda corresponde a 90.8 l/s en relación con el aforo realizado, teniendo en cuenta que el 30% corresponde al caudal ecológico y lo concesionado hasta ese momento era de 26.27 l/s (*Tabla 10*) se obtiene como resultado de la evaluación técnica un caudal disponible de 37.29 l/s. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

TABLA 10 *Concesión de aguas superficiales quebrada La Honda.*

NOMBRE	N° EXPEDIENTE	CAUDAL OTORGADO (L/S)
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO VEREDA LA HONDA	31698	0.99
EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA	35345	25.26
JOSÉ VICENTE CASTAÑEDA	42122	0.02
TOTAL		26.27

Fuente: RESOLUCIÓN NO. 1546 DE 31 DE MAYO 2018. *Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.* (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018, p. 16).



TABLA 11 Determinación del caudal requerido “uso doméstico”.

CUADRO RESUMEN DE CAUDALES REQUERIDOS UTILIZANDO MÓDULOS DE CONSUMO EXP. 54074

USOS DEL AGUA	DEMANDA			MÓDULOS DE CONSUMO MENSUAL											
	INDIVIDUOS	ESPECIE	UNIDAD	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DOMESTICO	31302	HAB. PERMANENTES	L/HAB*DÍA		135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
	7794	HAB. TRANSITORIOS			22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
CAUDAL REQUERIDO DOMÉSTICO			L/S	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89
CAUDAL TOTAL REQUERIDO			L/S	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89	50.89
CAUDAL A ASIGNAR (CAUDAL PROMEDIO TOTAL REQUERIDO)			L/S							50.89					
			M3/DÍA							4397					
			M3/MES							131917					
CAUDAL DISPONIBLE			L/S							37.29					
TIEMPO DE BOMBEO			H/DÍA							0					

Fuente: RESOLUCIÓN NO. 1546 DE 31 DE MAYO 2018. *Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.* (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018, p. 16).

Según lo dispuesto en la resolución, el caudal ofertado no supe la totalidad de las necesidades hídricas requeridas por la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. que ascienden a 50.89 l/s, existiendo así un déficit de 13.6 l/s. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

TABLA 12 Cuadro resumen de caudales.

	USOS	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (M3/MES)
CAUDAL OTORGADO	CONSUMO DOMÉSTICO	37.29	96.656
CAUDAL REQUERIDO	CONSUMO DOMÉSTICO	50.89	131.917

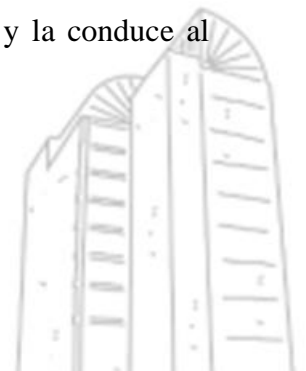
Fuente: RESOLUCIÓN NO. 1546 DE 31 DE MAYO 2018. *Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.* (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018, p. 17).

Como medida de compensación en la zona de ronda del cuerpo de agua se plantarán 500 árboles de especias nativas. Es una de las obligaciones a las que se debe someter la entidad beneficiaria. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2018).

6.3.3 CAPTACIÓN

6.3.3.1 BOCATOMA

Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).



6.3.3.2 BOCATOMA LATERAL

La captación ejecutada en la fuente superficial es realizada bajo la operatividad de una bocatoma lateral definida por Rocha (2003) como: “estructuras hidráulicas construidas sobre un río con el objeto de captar, es decir extraer, una parte o la totalidad del caudal de la corriente principal.” (p.2). Por otro lado “La toma lateral es utilizada en los ríos relativamente pequeños o quebradas, en donde la profundidad del cauce no es muy grande.” (López, 2000, p. 75).

“Una desventaja de este tipo de bocatomas es cuando la corriente arrastra mucho material en épocas de lluvias, éste se deposita en el pie del muro transversal, llegando a tapar completamente la rejilla y el desagüe.” (López, 2000, p 76). En ese sentido, la empresa prestadora del servicio declara que, en relación con el mantenimiento de la obra de captación, se ejecutan labores dirigidas a la limpieza entre dos o tres veces por semana, su frecuencia está determinada por las condiciones climáticas que se presenten en el municipio.

6.3.3.3 BOCATOMA DE FONDO

La bocatoma de fondo hace su captación por medio de una rejilla, que a su vez está en la dirección en el sentido transversal a la corriente del río. La captación del agua se hace mediante una rejilla ubicada en la parte superior de una presa, la cual deberá estar en sentido perpendicular al flujo, el ancho de esta presa puede ser igual o menor que el ancho del río. Esta captación se efectúa por medio de una rejilla de fondo cuyos barrotes se colocan en la dirección de la corriente. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

Es preciso mencionar que, en el municipio de Tena Cundinamarca, más específicamente en el sector el Tambo cuya fuente superficial es denominada Quebrada La Honda, existen dos estructuras de captación como lo indica el prestador del servicio.



TABLA 13 *Relación de estructuras de captación.*

ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN						
TIPO	ABASTECIMIENTO			UBICACIÓN		ALTITUD M.S.N.M.
				LATITUD	LONGITUD	
BOCATOMA DE FONDO	MUNICIPIO DE ANAPOIMA CUNDINAMARCA Y MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA.	74°22'17''O	4'40'4''N			1718
BOCATOMA LATERAL	MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA	74°22'35''O	4'39'51''N			1601

Fuente: Propia – Información Suministrada por Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. visita marzo de 2022.

El sistema de acueducto cuenta con una caja de repartición ubicada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de La Mesa Cundinamarca, a la cual llegan los dos caudales captados por las dos obras de captación citadas en la *Tabla 14*.

El 40% de 25.26 l/s, es decir 10.104 l/s son destinados para el abastecimiento del municipio de La Mesa Cundinamarca y el 60 % correspondiente a 15.156 l/s son proporcionados al municipio de Anapoima Cundinamarca. Así mismo, el caudal captado por la bocatoma lateral de 37.29 l/s es consignado únicamente para el municipio de La Mesa Cundinamarca. (Zapata, 2019).

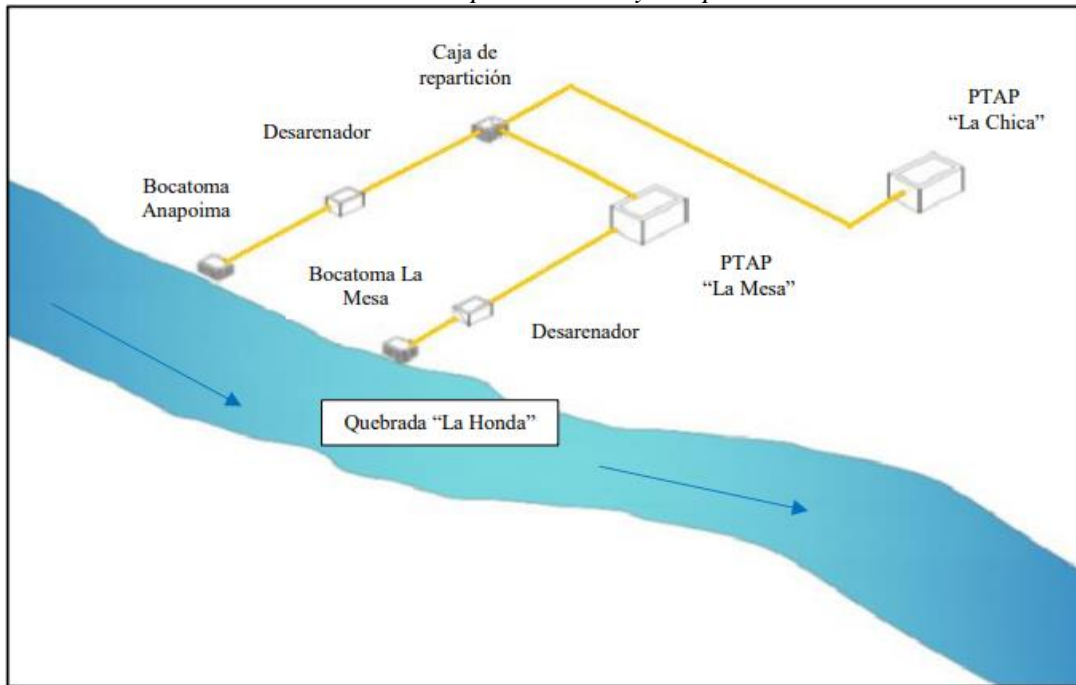
TABLA 14 *Caudales adjudicados y valor porcentual por municipio.*

CAUDAL (L/S)	MUNICIPIO	PORCENTAJE	RESOLUCIÓN
37.29	MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA.	100%	RESOLUCIÓN NO. 1546 31 MAY 2018.
25.26	MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA.	40%	RESOLUCIÓN NO. 0881 23 MAR 2012.
	MUNICIPIO DE ANAPOIMA CUNDINAMARCA.	60%	

Fuente: consulta – Proyecto Integrador Diagnóstico de la PTAP del Municipio de La Mesa Cundinamarca. (Zapata, 2019).



ILUSTRACIÓN 5 *Suministro de abastecimiento para la Mesa y Anapoima.*



Fuente: Proyecto Integrador: Diagnóstico de la PTAP del Municipio de La Mesa, Cundinamarca (Zapata, 2019, p. 76).

6.3.4 ADUCCIÓN

De acuerdo con lo determinado por la Resolución número 0330 del año 2017, se define como aducción al componente a través del cual se transporta agua cruda, mediante sistemas de flujo libre o presión desde la cámara de derivación de la bocatoma hasta el desarenador. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). El tramo de la línea de aducción hasta el tanque desarenador tiene una longitud de 380 metros, posteriormente por medio de un tramo de tubería de 8.59 km, el líquido es conducido hasta la planta de tratamiento. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019).



TABLA 15 Estructura de aducción-reporte Sistema Único de Información.

MUNICIPIO	NOMBRE	TIPO DE LA ADUCCIÓN	LONGITUD DE LA ADUCCIÓN (KM)	CAUDAL DE DISEÑO (L/S)	TIPO DE DIÁMETRO	TIPO DE MATERIAL	FECHA DE INSTALACIÓN	FECHA DE INICIO DE OPERACIONES
LA MESA	EL TAMBO	POR GRAVEDAD TRANSPORTE A PRESIÓN	0.376	45	DE 8 Y 10 PULG	CLORURO DE POLIVINIL O (PVC)	03-01-1977	03-01-1977

Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 24)

López (2000) indica “Para efectos de diseño del acueducto, se designa como una conducción el medio de transporte del caudal de diseño de la bocatoma al desarenador, del desarenador al tanque de almacenamiento y de este a la red de distribución” (p. 141).

6.3.5 DESARENADOR

Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). La remoción de partículas de diferentes diámetros es la función que tiene el desarenador. El proceso de sedimentación puede llevarse a cabo mediante coagulación con químicos, lo que resulta en una aglomeración y sedimentación en un menor tiempo (López, 2000). Se relaciona a continuación una clasificación del material en función del diámetro de partículas:

TABLA 16 Clasificación del material en suspensión según su tamaño.

MATERIAL	DIÁMETRO (MM)
GRAVILLA	
GRUESA	>2.00
FINA	2.00-1.00
ARENA	
GRUESA	1.00-0.50
MEDIA	0.50-0.25
FINA	0.25-0.10
MUY FINA	0.10-0.05
FANGO	
GRUESO Y MEDIO	0.05-0.01
FINO	0.01-0.005
ARCILLA	



GRUESA Y MEDIA	0.005-0.001
FINA	0.001-0.0001
COLOIDAL	<0.0001

Fuente: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados (López, 2004, p. 153).

Actualmente los dos desarenadores existentes se ubican en la zona de captación y aguas abajo de la captación de la quebrada La Honda respectivamente.

6.3.6 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)

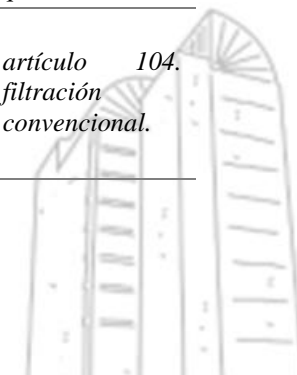
Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas vigentes de calidad de agua potable para consumo humano. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

El día treinta (30) de marzo del año 2022 se realiza una visita técnica con el objetivo de hacer el reconocimiento de las instalaciones del acueducto municipal, entre los elementos de la obra pública se encuentra la planta de tratamiento de agua potable. El conjunto de obras, equipos y materiales que implican los procesos que conducen al cumplimiento de las normas vigentes de la calidad de agua potable están en constante funcionamiento. Se relacionan en el siguiente diagrama los procesos que se derivan del tratamiento de agua potable.



TABLA 17 *Procesos en planta de tratamiento de agua potable.*

ELEMENTO		MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	FUNCIONES EN LA PTAP	NORMATIVIDAD RESOLUCIÓN 0330 08 JUN 2017.
CAJA DE REPARTICIÓN.		Concreto	un	1	Distribuciones de los caudales para los municipios de la Mesa y Anapoima	-
CÁMARA DE AQUIETAMIENTO		Concreto	un	1	Paso controlado del agua de la bocatoma de los municipios de la Mesa y Anapoima.	-
CANALETA PARSHALL		Fibra de vidrio	un	1	Aforo de los caudales de la PTAP. mezclar cal viva e hidratada.	-
COAGULACIÓN O MEZCLA RÁPIDA MECÁNICA (MECÁNICA E HIDRÁULICA)	HÉLICES	Madera	un	2	Mezclar coagulante tipo a granular (sulfato de aluminio)	<i>artículo 111. coagulación</i>
	RESALTO HIDRÁULICO	Concreto	un	1	Mezclar coagulante tipo a granular (sulfato de aluminio)	
FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA - HIDRÁULICA)	HIDRÁULICA (TIPO COX)	Concreto	un	2	Controlar gradientes y tiempos de retención.	<i>artículo 102. floculación convencional.</i>
	SEDIMENTADOR CONVENCIONAL	Concreto	un	1	Sedimentar partículas floculentas.	<i>artículo 113. sedimentación.</i>
SEDIMENTACIÓN (CONVENCIONAL Y ALTA TASA)	SEDIMENTADOR ALTA TASA	Concreto	un	2	Sedimentación de partículas floculentas mediante panales.	<i>artículo 122. instrumentación y control de sistemas de potabilización.</i>
		Tubos tipo panal				<i>artículo 132. manejo y calidad de los productos químicos.</i>
FILTRACIÓN		Concreto	un	3	Mediante arena, grava y antracita: remoción de material suspendido, sobrante de la sedimentación. remoción de microorganismos, resistentes a la desinfección.	<i>artículo 104. filtración convencional.</i>



CLORACIÓN	Cloro gaseoso	un	variable	Eliminar virus para el posterior suministro de agua.	<i>artículo 121. desinfección.</i>
ALMACENAMIENTO	Concreto	m3	-	Almacenamiento de agua para venta o emergencia en tanques de 400 m3. Almacenamiento de agua filtrada para luego desinfectar en tanque de 240 m3.	<i>artículo 79. requisitos de diseño de los tanques de almacenamiento .</i>
TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA LAVADO DE FILTROS	Concreto	un	1	Almacenar agua para lavado de filtros.	<i>artículo 79. requisitos de diseño de los tanques de almacenamiento .</i>
CUARTO DE BOMBAS	-	un	2	Conducir el agua filtrada al tanque de cloración de la PTAP.	-
ANÁLISIS DE AGUA	-	-	-	Realización de pruebas de laboratorio para análisis de agua: -Turbidímetro. -pH-metro. -Test de jarras.	<i>artículo 101. requisitos para la selección de tecnologías y procesos unitarios de tratamiento.</i>

Fuente: Proyecto Integrador: Diagnóstico de la PTAP del Municipio de La Mesa, Cundinamarca (Zapata, 2019).



6.3.7 INFRAESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO Y COMPENSACIÓN.

Dado que el consumo de agua de la población no es fijo, sino que, por el contrario, varía con la hora del día, y dado que el suministro es teóricamente de caudal constante (caudal máximo diario), es necesario construir una piscina de un tanque regulador para que atenúe las demandas horarias. La función básica de la estructura es almacenar agua durante los momentos en que la demanda es menor que la oferta, de modo que durante los períodos en que la demanda es mayor que la oferta, la escasez se repone con la reserva de agua original. (López, 2000)

6.3.7.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Depósito de agua en un sistema de acueducto, cuya función es suplir las necesidades de demanda en los momentos pico, permitiendo la recuperación del volumen en las horas de bajo consumo, para poder suministrar sin problemas en las máximas demandas. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

6.3.7.2 TANQUE DE COMPENSACIÓN.

Depósito de agua en un sistema de acueducto con capacidad de almacenamiento muy baja, cuya función es actuar como un regulador de presión o quiebre de presión en sistemas de bombeo. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).



ILUSTRACIÓN 6 Localización de infraestructura de almacenamiento y compensación.



Fuente: Contrato N° 052-2011, optimización de la red de distribución de acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa – Cundinamarca. (Empresas Públicas de Cundinamarca S.A. E.S.P, 2013, [plano n° 1/18].)

TABLA 18 Localización de infraestructura de almacenamiento y compensación.

ZONA	NOMBRE	OPERATIVIDAD	LATITUD	LONGITUD	CAPACIDAD (M3)
ZONA 1	TANQUE PTAP LA MESA CUNDINAMARCA.	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN	4°38'41.39''	74°26'43.79''	272
ZONA 2	TANQUE COLEGIO DEPARTAMENTAL	REGULARIZACIÓN DEL SERVICIO	4°38'10.90''	74°27'13.18''	355
ZONA 3	TANQUE PLAZA DE TOROS	REGULARIZACIÓN DEL SERVICIO	4°37'38.05''	74°27'50.95''	500

Fuente: Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. – Visita marzo de 2022.

La función de los dos tanques de regularización del servicio existentes es recibir el agua que se trata en la planta, almacenar y hacer el suministro a la zona 2 y la zona 3 según corresponda en atención a la continuidad indicada.

6.3.8 RED DE DISTRIBUCIÓN URBANA

Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras cuya función es el suministro de agua potable desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento a los consumidores del área de servicio. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

La conexión entre el tanque de almacenamiento y la red de distribución se realiza a través de una tubería conocida como "línea matriz", que conduce el agua hasta los puntos de entrada de

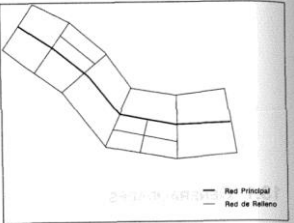
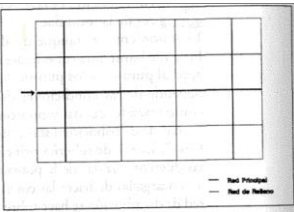
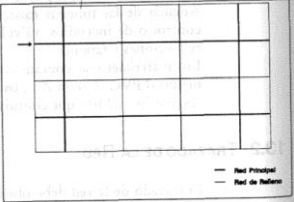
la red de distribución. Su diseño está sujeto a las condiciones de operación de la red de distribución tales como recorrido, caudal y presión de operación (López, 2000).

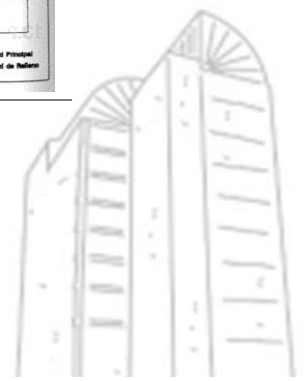
La red de distribución está conformada por tuberías "principales" y "de relleno". La red de conducciones principales se encarga de hacer la distribución del agua a las diferentes áreas de la población, mientras que las conducciones de relleno se encargan de realizar las conexiones domiciliarias. El diámetro de la red de relleno es fijo según las normas vigentes (generalmente 3" y bajo condiciones especiales se puede bajar a 2" previa justificación); el diseño o cálculo de la red de distribución se realiza sobre la red principal (López, 2000).

6.3.8.1 TRAZADO DE LA RED

López (2000) refiere que hidráulicamente, es posible establecer redes abiertas, redes cerradas o redes mixta, dependiendo de las condiciones anteriores. A continuación, se relacionan algunos trazados típicos de redes:

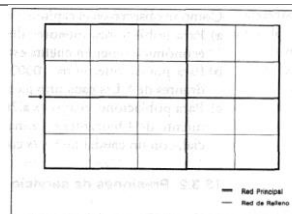
TABLA 19 *Relación de tipos de trazados de redes de distribución.*

TIPO DE RED	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
DE MAYOR A MENOR DIÁMETRO	Este trazado puede ser implementado en zonas de intervención donde solo existe una calle principal. una de las principales características hidráulicas de esta red es que la tubería principal se proyecta como una red abierta.	
EL ÁRBOL	Este esquema tiene la particularidad de que presenta un tronco principal de la que derivan varias ramificaciones. las tuberías principales son de red abierta.	
EN PARILLA	Las tuberías principales conforman la forma de una malla en medio de la población y de ella se desprenden varias ramificaciones. la red del centro es una red cerrada y se trata de una red mixta.	



EN MALLAS

Es un trazado de red de distribución muy usual. consta de varias mallas proximas a una red de relleno.



Fuente: Elaboración Propia - Consulta: Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados (López, 2000).

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2019) reporta que el municipio de La Mesa Cundinamarca cuenta con una red de distribución conformada por una extensión de 42.5 km aproximadamente, las tuberías existentes son entre 1 a 10 pulgadas.

TABLA 20 Sectorización hidráulica de la red de distribución.

SECTOR	SUSCRIPCIONES RESIDENCIALES	SUSCRIPTORES RESIDENCIALES
0	522	0
1	1589	16
2	3753	439
3	3475	77

Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 30).

El Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios, reporta la información suministrada por el prestador en el año 2017 y se relaciona a continuación la distribución de redes:

TABLA 21 Redes de acueductos.

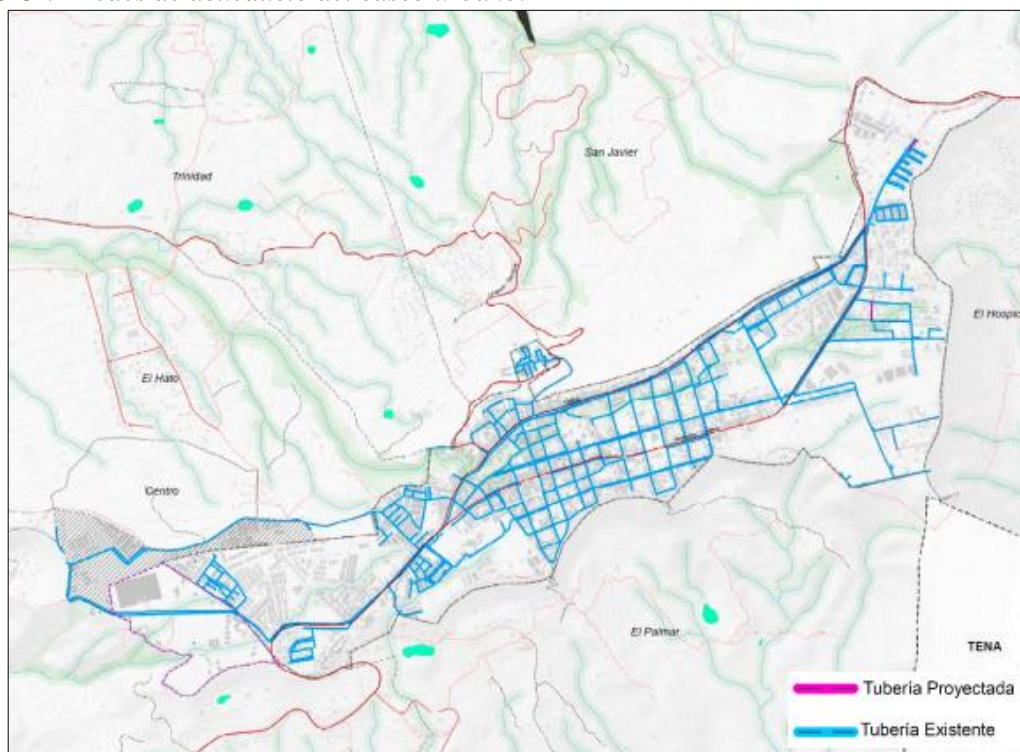
EMPRESA	MUNICIPIO	TIPO DE PROCESO	CLASE DE DUCTO	DIÁMETRO NOMINAL (PULGADAS)	LONGITUD EN METROS	MATERIAL TUBERÍA
Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.	La Mesa Cundinamarca	red menor	tubería	1	3732.46	PVC cloruro de polivinilo
		red menor	tubería	1.5	599.66	PVC cloruro de polivinilo
		red menor	tubería	2	14733.54	PVC cloruro de polivinilo
		red menor	tubería	3	4986.55	AC asbesto cemento
		red menor	tubería	3	19639.3	PVC cloruro de polivinilo
		red menor	tubería	4	2136.43	PVC cloruro de polivinilo

red primaria o matriz	tubería	6	720	PVC cloruro de polivinilo
red primaria o matriz	tubería	6	1391	AC asbesto cemento
red primaria o matriz	tubería	10	640	PVC cloruro de polivinilo
red primaria o matriz	tubería	10	1966	AC asbesto cemento

Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 30).

Según afirma el prestador del servicio, la frecuencia mínima de mantenimiento preventivo se realiza quincenalmente para elementos tales como la red, los puntos de muestreo, hidrantes y válvulas de purga. Así mismo, los tanques son sometidos a limpieza semestralmente (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019).

ILUSTRACIÓN 7 *Redes de acueducto del casco urbano.*



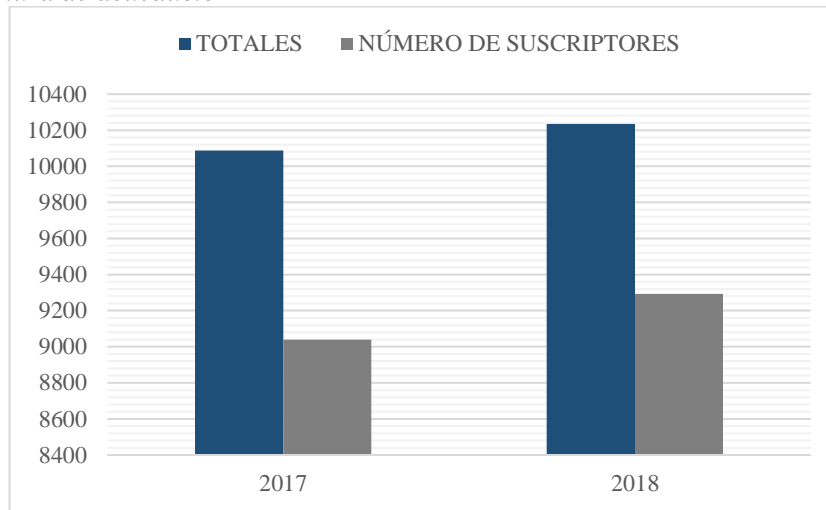
Fuente: Tomado de “Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de La Mesa, Cundinamarca”. (Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca, 2022, p. 345).



6.3.8.2 COBERTURA DE ACUEDUCTO

La cobertura del acueducto de La Mesa Cundinamarca presenta un crecimiento directamente proporcional al tiempo, pues en el año 2017 se observa una cobertura de un 89.6 %, así mismo, en el año 2018 este factor asciende a un 90.8 %.

GRÁFICO 1 Cobertura de acueducto



Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 47).

6.3.8.3 ÍNDICE DE CONTINUIDAD

La frecuencia con la cual se presta el servicio de acueducto (bajo condiciones óptimas de caudal en las fuentes) del municipio de La Mesa Cundinamarca se relaciona a continuación:

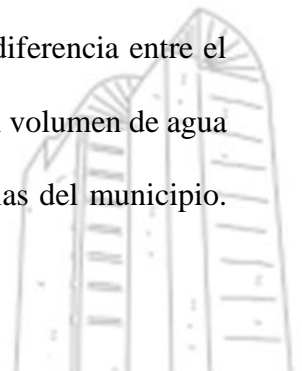
TABLA 22 Frecuencia del servicio de acueducto.

ZONA	FRECUENCIA (BAJO CONDICIONES ÓPTIMAS DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO)
LA MESA CUNDINAMARCA (ZONA URBANA)	2 días por semana de 12 horas cada vez
LA MESA CUNDINAMARCA (ZONA RURAL)	1 vez por semana de 10 horas aproximadamente cada vez

Fuente: Tomado de Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2019, p. 48).

6.3.9 PERDIDAS DE AGUA EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO

Las pérdidas de agua en el sistema de acueducto se definen como la diferencia entre el volumen de agua tratada y medida a la salida de las plantas potabilizadoras y el volumen de agua entregado a la población y que ha sido medido en las acometidas domiciliarias del municipio.



Cabe mencionar que las pérdidas se clasifican en dos grupos: físicas o técnicas y comerciales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

6.3.9.1 PERDIDAS TÉCNICAS EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO

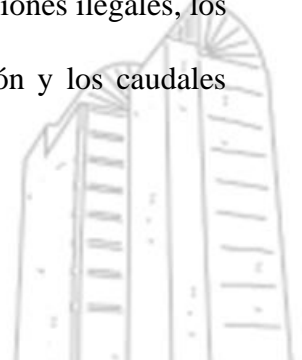
Corresponden a las fugas de agua tanto detectables como no detectables (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Las pérdidas técnicas abarcan las fugas en elementos tales como tuberías, accesorios y en estructuras, como reboses en tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento, etc.; generalmente estas pueden ser visibles y no visibles. Los datos existentes en el municipio y en la entidad prestadora del servicio sobre pérdidas de agua en el sistema desde la planta potabilizadora y consumos requeridos para las operaciones en la red de distribución; son indispensables en la determinación del porcentaje de pérdidas físicas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010). Ahora bien, “se establece como porcentaje de pérdidas técnicas aceptables para todos los componentes del sistema de acueducto un máximo del 25%, como un indicador de la eficiencia funcional y operativa del sistema de acueducto” (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018, p. 54).

6.3.9.2 PERDIDAS COMERCIALES EN EL SISTEMA DE ACUEDUCTO

Aquellas pérdidas debidas a volúmenes consumidos no facturados, volúmenes no contabilizados por defectos en los micromedidores, consumos a través de conexiones ilegales entre otras (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Las pérdidas comerciales están directamente relacionadas al funcionamiento comercial y técnico de la empresa prestadora del servicio. Estas pérdidas abarcan las conexiones ilegales, los suscriptores que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación y los caudales



dejados de medir por imprecisión o mal funcionamiento de operación de los micromedidores domiciliarios. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

En caso de que la demanda de agua se haya calculado con base en la proyección de suscriptores, dicho porcentaje debe incluirse en el cálculo del caudal de diseño. En aquellos casos en que la demanda se haya calculado con base en la proyección de la población o número de habitantes, las pérdidas comerciales no deben tenerse en cuenta para el cálculo de los caudales de los sistemas de acueducto. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010, p. 36).

Del mismo modo, el porcentaje admisible de perdidas comerciales en la red será de 7% siendo éste el valor máximo, esto para fines de diseño de un nuevo sistema de acueducto o elementos nuevos en un acueducto existente (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

6.3.9.3 ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA

Este indicador de perdidas (IANC) corresponde a la suma de las perdidas comerciales y las perdidas técnicas representando así el total de pérdidas de agua en porcentaje (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

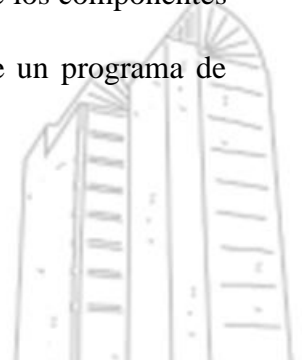
$$IANC (\%) = \frac{AP - AF}{AP} * 100$$

Donde,

AP= Volumen en m^3 de agua potable medido a la salida de la(s) planta(s) de tratamiento durante el periodo de análisis.

AF= Volumen en m^3 que la empresa prestadora facturo durante el periodo de análisis.

En todo municipio en el que se proyecte una ampliación o expansión de los componentes del sistema de acueducto, se debe aplicar el desarrollo e implementación de un programa de



reducción del nivel de pérdidas técnicas y comerciales cuando el IANC sea superior a los límites de las normas vigentes en relación (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010).

Los programas de agua no contabilizada requieren de la elaboración de un estudio y análisis técnico por componentes del sistema, así mismo, debe realizarse un diagnóstico sobre los aspectos institucionales, legales, administrativos, financieros y comerciales que deriven en la elaboración de un balance de aguas para obtener formulación del plan de reducción de pérdidas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

6.3.9.4 ECUACIÓN GENERAL DE ENERGÍA

El teorema de Bernoulli indica la aplicación de la ley de conservación de la energía de flujo de fluidos en una tubería, esta ecuación hace posible la resolución de problemas en los cuales se presentan pérdidas y adiciones de energía (Robert, 1996).

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g_n} = H$$

Existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli, por tanto, el balance de energía debe considerarse para dos puntos del fluido.

“Es apropiado referirse a las formas resultantes como la *energía poseída por el fluido por unidad de peso de fluido que fluye en el sistema.*” (Robert, 1996, p. 157). Pues como afirma el autor, es el resultado de dividir una expresión de la energía entre el peso del elemento del fluido.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g_n} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g_n}$$

Donde,

Z= Altura o elevación potencial sobre el nivel de referencia.

P= Presión manométrica en Newtons por metro cuadrado.

γ = Densidad del fluido.



V = Velocidad media del flujo

g_n = Aceleración de la gravedad.

H = Altura total.

6.3.9.5 PERDIDAS DE ENERGÍA DEBIDO A LA FRICCIÓN

En el trayecto del fluido por un conducto, tubo o accesorio, se presentan fricciones internas que pueden representar pérdidas de energía. Como se indica en la ecuación general de la energía, como resultado, las pérdidas de energía se disminuye la presión entre dos puntos del sistema de flujo (Robert, 1996). “La fricción es proporcional a la cabeza de velocidad del flujo y al cociente de la longitud entre el diámetro de la corriente de flujo, para el caso de contactos y tubos.” (Robert, 1996, p. 237).

Lo anterior se manifiesta en la ecuación de Darcy:

$$h_L = f x \frac{L}{D} x \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

h_L = Pérdida de la energía debido a la fricción.

L = Longitud de la corriente de flujo.

D = Diámetro del conducto.

v = Velocidad de flujo promedio.

F = Factor de fricción.

Para fines del cálculo correspondientes a pérdidas de energía en secciones largas y rectas de conductos cerrados, tanto para flujo laminar y turbulento, usualmente se puede recurrir a la ecuación de Darcy (Robert, 1996).

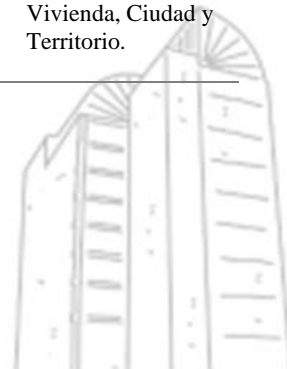


6.4 MARCO LEGAL

TABLA 23 Marco legal

	MARCO LEGAL	ENTIDAD
RESOLUCIÓN 2115 DEL 2007	Este decreto describe que el agua potable o agua para consumo humano, es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad de agua en Colombia, es apta para consumo humano (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
DECRETO 1575 DE 2007.	Protección y control de la calidad de agua (MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL , 2007)	Ministerio de Salud y Protección Social.
RESOLUCIÓN 0811 DE 2008.	Características, instrumentos básicos y frecuencias del control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008)	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
RESOLUCIÓN NÚMERO 0571 DE 14 AGOSTO DE 2019	Se establecen los estándares de servicio con condición diferencial, abarcando aspectos como la calidad del agua (suministro de agua sin riesgo en red de distribución), mediciones, continuidad tanto en redes de distribución como en pilas públicas y planes de gestión correspondientes (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2019)	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
RESOLUCIÓN NÚMERO 0330 DE 8 JUNIO DEL 2017.	Donde se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
RESOLUCIÓN NÚMERO 622 DE 2020.	Dando lugar a la vigilancia sanitaria a la calidad de agua suministrada en la red de distribución en zona rural. (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020)	Ministerio de Salud y Protección Social. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
DECRETO 1898 DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 2016	Referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
DECRETO 302 DEL 2000	Por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)	Ministerio de Desarrollo Económico.
DECRETO 475 DE 2015	Establece el mecanismo departamental para la evaluación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico a financiar con recursos que no provienen de la nación, y se determinan los requisitos y procedimientos para la presentación, viabilización y aprobación de proyectos. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015).	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
RESOLUCIÓN 549 DE 2017	Adopta los criterios y actividades mínimas que los prestadores de servicios públicos de acueducto deberán tener en cuenta para la elaboración de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y establece disposiciones relacionadas con la autorización sanitaria (solicitud, emisión, no otorgamiento, seguimiento y control, responsabilidad del prestador del servicio). (Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).	Ministerio de Salud y Protección Social. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

Fuente: Elaboración Propia



7 CAPITULO II – RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1 TRABAJO DE CAMPO

7.1.1 PRIMERA VISITA TÉCNICA- MARZO 30 DEL 2022

Esta visita técnica se dividió en dos partes, primero se realizó una visita guiada en la PTAP - La Mesa por parte del ingeniero Luis Carlos Murcia y el operario encargado en ese momento, durante el recorrido se identificaba de manera visual y deductiva el estado de la infraestructura y el conjunto procesos que realizaban para potabilizar el agua. Se recopiló mediante un barrido fotográfico la cámara de quietamiento, canaleta Parshall, cámaras de floculación y sedimentación, cuarto de cloro, tanques de equilibrio, laboratorio, un antigua PTAB compacta y los insumos o elementos empleados para efectuar el tratamiento del agua. La segunda parte fue la reunión con el ingeniero Luis Murcia donde nos relató desde su experiencia como era y es el comportamiento de la comunidad con la PTAP y la red de distribución de agua potable y nos identificó mediante los planos suministrados por la ERAT los puntos de interés.

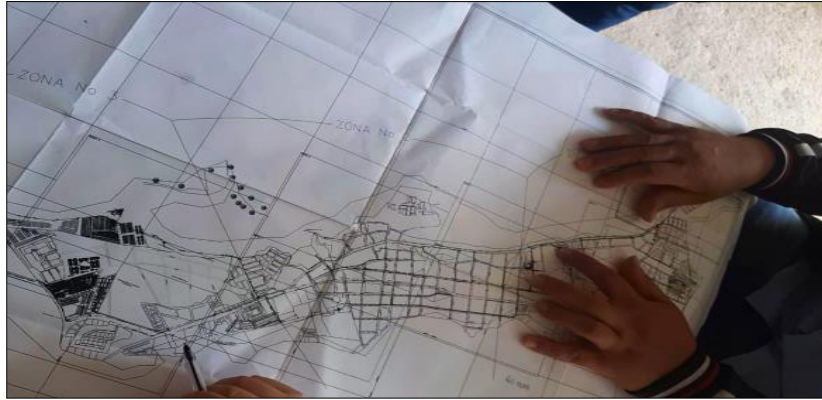
ILUSTRACIÓN 8 Recorrido PTAP



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 9 *Identificación RDAP*



Fuente: Elaboración propia

ILUSTRACIÓN 10 *Antigua PTAP- la Mesa*



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 11 Hidroxicloruro y sulfato de aluminio



Fuente: Elaboración propia

7.1.2 SEGUNDA VISITA - MAYO 2 DEL 2022

En esta segunda visita se realizaron encuestas en la población para conocer e identificar la percepción de la comunidad con respecto al servicio de distribución y la calidad del agua potable. Debido a que el casco urbano está sectorizado en tres grandes zonas, fue necesario encuestar a 23 personas de forma aleatoria en cada sector, con el fin de tomar una muestra representativa total, en el desarrollo de la encuesta fue necesario preguntar de forma respetuosa a él transeúnte si era residente y pertenecía a el área a cubrir. Durante el registro y llenado de las encuestas la población expresaba sus opiniones acerca de la red y la calidad del agua, con frecuencia comentaban “*el servicio de agua aquí no es continuo y en temporadas de sequía el servicio es aún peor*” y “*la presión del agua es muy deficiente*”. Al completar un total de 70 personas encuestas se dio por finalizada la actividad.



ILUSTRACIÓN 12 Encuestas a la población



Fuente: Elaboración propia

ILUSTRACIÓN 13 Recomendaciones de la comunidad



Fuente: Elaboración propia



7.2 OPERACIÓN DE PLANTA Y CALIDAD DEL AGUA

7.2.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)

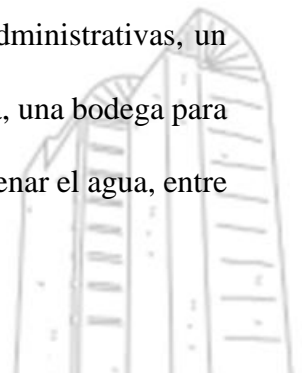
7.2.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) está ubicada en la sección más alta del casco urbano del municipio de La Mesa, con dirección Diagonal 8ª Cr 1ª en el barrio Quintas de San Pablo. Para llegar a su ubicación desde Bogotá se debe conducir por la vía Bogotá-Mosquera, hasta la intersección entre la calle 8 y la diagonal 4 en el municipio de La Mesa, allí se debe realizar un giro a la izquierda (sentido Bogotá-La Mesa) y dirigirse por la diagonal 8ª hasta la PTAP, al lado derecho de la planta se ubica la oficina de Aguas del Tequendama.

El tipo de PTAP presente en La Mesa es convencional, debido a que emplea procesos convencionales para la potabilización del agua, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Estas etapas están organizadas y su separación se puede identificar con facilidad y su construcción se realizó con concreto y no con prefabricados removibles.

La PTAP- La Mesa es la planta que tiene mayor capacidad de tratamiento en todo el municipio, además, es la encargada de tratar y abastecer a todo el casco urbano de La Mesa. Fue diseñada para potabilizar caudales de hasta 75 l/s. pero en la actualidad la planta trata un promedio de 48 l/s, caudales que son captados en la quebrada La Honda y que fueron concesionados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) en las resoluciones 0881 del 2012 y 1546 del 2018. Cabe mencionar, que estos caudales pueden aumentar o disminuir según la disponibilidad del recurso hídrico en la fuente de abastecimiento.

En su planta física la PTAP contiene distintas zonas de operación relacionadas con todas las actividades para el tratamiento del agua. Posee sus respectivas oficinas administrativas, un laboratorio para realizar los ensayos de caracterización fisicoquímicos del agua, una bodega para almacenar los insumos, zonas de monitoreo, las zonas para potabilizar y almacenar el agua, entre



las cuales se destaca un tanque de quietamiento, canaleta Parshall, tanques de coagulación-floculación, cámaras de sedimentación, cámara con filtros, cuarto de bombeo, zona de desinfección y tanques de reserva y almacenamiento.

7.2.1.2 TRATAMIENTOS PRELIMINARES

En la etapa de tratamientos preliminares, el agua cruda es transportada por aducción desde la quebrada La Honda mediante una bocatoma lateral, hasta un desarenador, que se encarga de remover las partículas de material sólido y altamente abrasivas como; arenas, arcillas, gravas finas o materia orgánica que podría afectar el proceso del tratamiento del agua en la PTAP. Luego es conducida a una cámara de repartición, donde el caudal es distribuido con una proporción del 40% para La Mesa y un 60 % para el municipio de Anapoima.

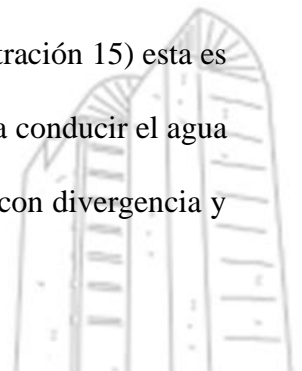
Al llegar el caudal a la PTAP es aforado mediante un macromedidor (Ilustración 14) que se encarga de medir el volumen de agua que está ingresando. Debido a la conducción por gravedad el agua llega con mucha energía y puede presentar un flujo turbulento, lo que ocasionaría una lectura incorrecta del caudal de ingreso en el caudalímetro.

ILUSTRACIÓN 14 Macromedidor de entrada



Fuente: Elaboración propia

Para evitar este tipo de flujo poseen una cámara de quietamiento (Ilustración 15) esta es de sección rectangular y cumple la función de disipar la energía hidráulica para conducir el agua a una canal de entrada (Ilustración 16). La canaleta Parshall es una estructura con divergencia y



convergencia geométrica que emplea el efecto Venturi, para medir mediante un caudalímetro (Ilustración 17) el volumen de agua que ingresa a la PTAP y emplear el flujo turbulento ocasionado por la reducción de su área para la dispersión del coagulante.

ILUSTRACIÓN 15 *Tanque de quietamiento*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 16 *Canaleta Parshall*



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 17 Caudalímetro



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3 ETAPA DE COAGULACIÓN

Primero un operario de la PTAP La Mesa, toma una muestra del agua cruda para realizar el ensayo de turbiedad empleando un turbidímetro (Ilustración 18 y 19), según los UNT (unidades nefelométricas de turbidez) evalúan la dosificación del sulfato de aluminio, si se registran valores por debajo de 10 UNT se estandariza la dosificación con la relación 10 mg/ml y para el caso contrario, el especialista realiza el ensayo de jarras para determinar la dosificación exacta de sulfato de aluminio.

ILUSTRACIÓN 18 Toma de muestras



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 19 *Ensayo de turbiedad, pH y color*



Fuente: Elaboración propia

Además, realizan el ensayo de pH para identificar si es necesario agregar un alcalinizante (CAL viva) para regular el nivel de pH. Y el ensayo de color para identificar si es necesario utilizar algún tipo de polímero para clarificar el agua. El cuarto de dosificación está ubicado en cercanías a la zona de aforo, para evitar una extensa conducción del sulfato que pueda afectar las condiciones de la tubería. Allí se tienen dos tanques con capacidad de 500 litros, se agrega la dosificación del sulfato de aluminio que debe ser diluido con agua por un tiempo aproximado de 5 minutos, para luego ser conducido a la garganta de la canaleta Parshall (Ilustración 20) mediante una tubería que tiene en su salida un dispersor que realiza la distribución de forma rápida y aprovechando un flujo turbulento en la canaleta Parshall permite mezclarse y cubrir la mayor cantidad de agua posible (Ilustración 21). Se evidenció a la presencia de un coagulante llamado Quimifloc o hidroxiclorigenato que es más concentrado y lo utilizan como reactivo alternativo a él sulfato de aluminio.



ILUSTRACIÓN 20 Tanques 500 litros



Fuente: Elaboración propia

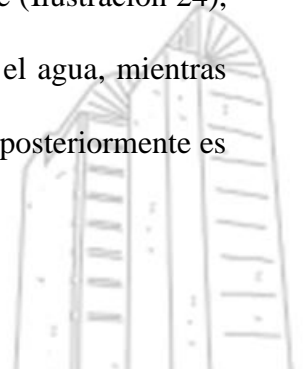
ILUSTRACIÓN 21 Dispersión rápida



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.4 ETAPA DE FLOCULACIÓN

Se utiliza un floculador tipo COX (Ilustración 22), esta conserva una similitud con un floculador hidráulico de flujo vertical, su procedimiento consta, primero conducir el agua por un canal que mantiene un flujo constante donde el ingreso es controlado por un vertedero (Ilustración 23) allí el agua es depositada en dos 2 cámaras rectangulares ubicados en serie (Ilustración 24), cada una de ellas cuenta con 6 módulos en bloque que reciben y almacenan el agua, mientras realizan un movimiento lento y controlado en la profundidad del módulo, que posteriormente es



conducido a el siguiente modulo, de este modo se garantiza un movimiento ascendente y descendente del agua.

El floculador mecánico no se pudo observar a simple vista, pero se identificó el sector donde está ubicado, allí únicamente se logró apreciar el motor, se indicó que utiliza un sistema de hélices verticales en madera que controlan la mezcla del coagulante con el agua cruda.

ILUSTRACIÓN 22 *Floculador tipo COX*



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23 *Entrada a floculador tipo COX*



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 24 *Formación de flóculos*



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.5 ETAPA DE SEDIMENTACIÓN

En la PTAP de La Mesa en la actualidad utilizan dos tipos de tanque de sedimentación, una unidad de sedimentación convencional y dos unidades de alta tasa. Para el caso del tanque convencional (Ilustración 25) se clasifica como sedimentador tipo III, la cual tiene la característica de sedimentar los flóculos en bloque o área a una velocidad constante. Sus dimensiones son diferencialmente mayores a la del tanque de alta tasa. Sin embargo, se indicó que este tanque va a ser modificado para que funcione y opere de la misma manera que los tanques de alta tasa, al momento de la visita se mencionó que está próximo a iniciar las obras. Los tanques de sedimentador de alta tasa con módulos plásticos de tipo panal con canaleta dentada (ilustración 26) trabajan simultáneamente y son de proporciones menores a el tanque convencional, se destaca por sedimentar las partículas en un tiempo menor al de tipo convencional, aprovechando la inclinación de 60 grados en los módulos plásticos, la acumulación de los lodos no atasca el sistema y no frena la operación.



ILUSTRACIÓN 25 Sedimentador convencional



Fuente: Elaboración propia

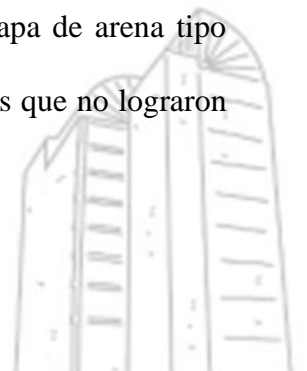
ILUSTRACIÓN 26 Sedimentador de alta tasa



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.6 ETAPA DE FILTRACIÓN

Después de realizar la sedimentación, el agua es conducida por una canaleta dentada a una cámara de aireación (Ilustración 27) donde se busca aumentar sus niveles de oxígenos disueltos, mediante el rebose del agua, allí cae y es conducida a tres baterías de filtro con una altura aproximada de 1.10 metros, donde el agua cruza por un lecho filtrante con tres capas de agregados distintos, primero una capa de gravas con distintos tamaños, una segunda capa de arena tipo cuarzo y una tercera capa de antracita. Que se encargan de retener los flóculos que no lograron sedimentarse.



El retrolavado lo realizan según los niveles de turbiedad presentados en la planta, no se establece un periodo de lavado, solo se indicó que en general cada 15 o 20 días realizan esta operación de lavado y su tiempo de duración es de aproximadamente 15 minutos, empleando agua filtrada de la propia PTAP que es almacenada en un tanque de reserva elevado (ilustración 28). Además, se informó que realizan el cambio de filtros cada tres años. Cuando el agua es filtrada es conducida por un drenaje para realizar su etapa de desinfección.

ILUSTRACIÓN 27 Aireador



Fuente: Elaboración propia

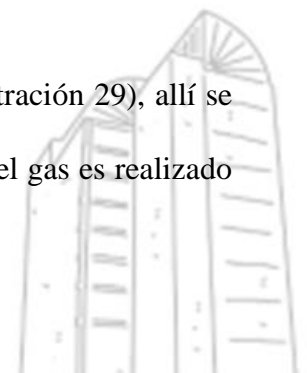
ILUSTRACIÓN 28 Tanque para retrolavado de filtros



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.7 ETAPA DE DESINFECCIÓN

El proceso de desinfección tiene comienzo en el cuarto de cloro (Ilustración 29), allí se utilizan cilindros de cloro gaseoso (Ilustración 30), el control del contenido del gas es realizado



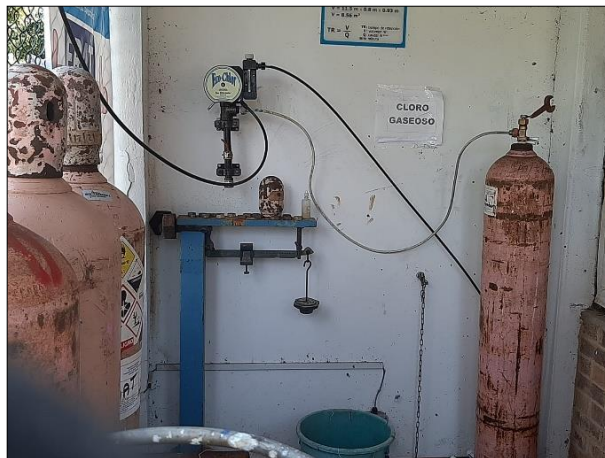
bajo vigilancia del operario, quien identifica mediante el caudal del rotámetro y una estimación estandarizada de entre 5 a 6 días el contenido del gas, este tiempo puede variar según los niveles de turbiedad del agua. Los tanques están comunicados con un inyector que se encarga de impulsar el cloro gaseoso a la tubería, donde por difusión con el agua se desinfecta.

ILUSTRACIÓN 29 Cuarto de cloro



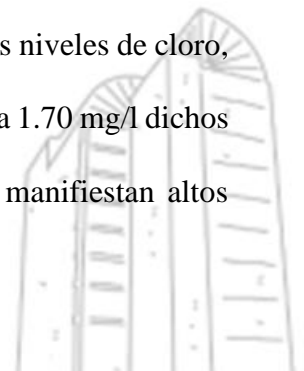
Fuente: Elaboración propia

ILUSTRACIÓN 30 Cilindros de cloro e inyector



Fuente: Elaboración propia

En el sector de cloración (ilustración 31 y 32) se desprenden tres tuberías correspondientes a cada tipo de filtro, allí el agua es clorada y se toma una muestra para medir los niveles de cloro, según manifestó el operario encargado, se suele dejar en un rango de 1.40 mg/l a 1.70 mg/l dichos niveles, debido a el malestar de la comunidad cercana a la planta, quienes manifiestan altos



niveles de cloro en el agua. En dicho sector se toman los parámetros de salida del agua. Donde se vuelven a medir los niveles de turbiedad, pH y color.

Una vez finalizado el proceso de cloración el agua es conducida a un tanque de equilibrio en concreto con una capacidad de 400 m³ (Ilustración 33), este tiene como función almacenar el agua potabilizada y regular el caudal que se suministra a la población. Además, se presenta un segundo tanque de 240 m³ que se utiliza para almacenar el agua utilizada en el retrolavado.

ILUSTRACIÓN 31 Llegada tubería zona de cloración



Fuente: Elaboración propia

ILUSTRACIÓN 32 Tubería retrolavado y cloración



Fuente: Elaboración propia



ILUSTRACIÓN 33 Tanques de almacenamiento

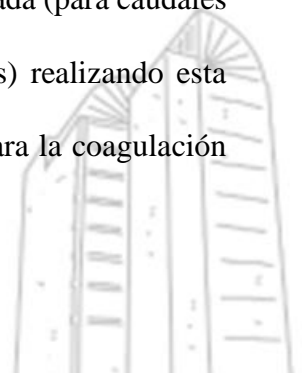


Fuente: Elaboración propia

7.2.2 ANALISIS OPERACIÓN PTAP-LA MESA

Con base en la visita y lo expresado por los encargados de la operación en la PTAP, se puede deducir que cumple con lo establecido en la resolución 0330 del 2017, su operación agrupa los procesos principales que toda planta de tratamiento debe realizar, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Aunque no es competencia de esta investigación analizar a detalle el diseño y funcionamiento de las estructuras encargadas de tratar el agua, si se evidencia un buen estado de la cámara de quietamiento, aunque se expone en palabras de los operarios que esta cámara presenta deficiencias para disminuir el flujo turbulento del agua al cruzar por la Parshall, causando un error de lectura en el caudal de entrada a la PTAP estos valores difieren con las lecturas en el macromedidor de entrada a la planta.

Las distancias entre el proceso de coagulación y floculación son relativamente cercanas, permitiendo una correcta formación de los flóculos, cumpliendo con lo establecido en el artículo 111 de la resolución 0330 del 2017. La PTAP implementa de acuerdo con el artículo 112 de la resolución 0330 del 2017, los dos tipos de floculadores según el caudal de entrada (para caudales inferiores a 250 l/s se pueden emplear floculadores hidráulicos y mecánicos) realizando esta operación en un tiempo de entre los 20 a 40 minutos. El reactivo utilizado para la coagulación

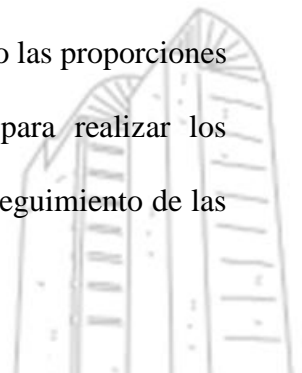


(sulfato de aluminio) es el coagulante estándar y más utilizado para este proceso, para regular el pH del agua utilizan cal viva, para clarificar el agua utilizan polímeros, estos tres materiales son los adecuados para mejorar los parámetros básicos del agua, se resalta que los operarios tienen conocimiento en el manejo e interpretación de las muestras.

La implementación de los dos sedimentadores de alta tasa permite eliminar las partículas suspendidas en el agua con mayor velocidad a diferencia del tipo convencional, añadiendo la nueva adecuación del antiguo sedimentador convencional a el de tasa alta, la PTAP va a mejorar sustancialmente los tiempos de sedimentación y va a eliminar con mayor eficiencia las partículas suspendidas mejorando aún más la calidad de agua entregada a la comunidad, una reducción en los tiempos de lavado de lodos y un aumento en la capacidad de tratar el agua.

El proceso de filtración cumple con la cantidad mínima de filtros (3) según lo establece la resolución 0330 en el artículo 114; empleando tres capas de material (grava, arena y antracita) que garantizan una adecuada retención de las partículas. El proceso de desinfección con cloro gaseoso también se considera el adecuado para eliminar la presencia de microorganismos. Los operarios realizan el correspondiente seguimiento a las muestras de agua en la entrada y salida de la PTAP, según lo indica la resolución 0330 en el artículo 122.

En resumen, ERAT realiza los adecuados procesos en la PTAP y cumple con lo establecido en las resoluciones, garantizando un adecuado proceso de tratamiento del agua potable para el casco urbano. Poseen la infraestructura básica para una PTAP convencional y esta implementado mejoras para aumentar su eficiencia operacional. Los aspectos que se deben mejorar en la PTAP son de control, para el caso de la canaleta Parshall que está registrando caudales de entrada distintos a los reportados por los macromedidores alterando las proporciones de dosificación, periodos establecidos y sujetos a criterio del personal para realizar los retrolavados en los filtros, un regular control por parte de los operarios en el seguimiento de las



balas de cloro gaseoso, el cual debe ser pesado y vigilado para evitar fugas y un agotamiento de este recurso para garantizar una continua desinfección del agua. Periodos entre los 6 meses de limpieza del tanque de equilibrio pueden afectar las condiciones del agua entregada a la comunidad.

7.2.3 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA- IRCA

Para controlar y vigilar la calidad del agua conducida por la red de distribución a la población atendida, ERAT tiene a disposición 11 estaciones o puntos específicos para recolectar muestras que son sometidas a un análisis físico químico para identificar las variaciones en los parámetros del agua después de ser potabilizada en la PTAP, con el fin de identificar si el agua presenta algún riesgo en la salud de la población, debido a la conducción por las tuberías o por un erróneo proceso en la potabilización. Para realizar este seguimiento, ERAT realiza toma muestras de laboratorio que son enviadas diariamente a un laboratorio en Bogotá que analiza estas muestras y reporta el índice de riesgo para la calidad de agua potable (IRCA), para posteriormente reportarlas ante el Instituto Nacional de Salud, cumpliendo con la resolución 2115 del 2017 artículo 22. Que establece que para poblaciones entre los 10.001 y 20.000 habitantes se deben reportar 4 muestras quincenales.

Se puede definir el IRCA como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. La resolución 2115 del 2007 en su artículo 15 clasifica los niveles de riesgo en la salud IRCA (tabla 24)



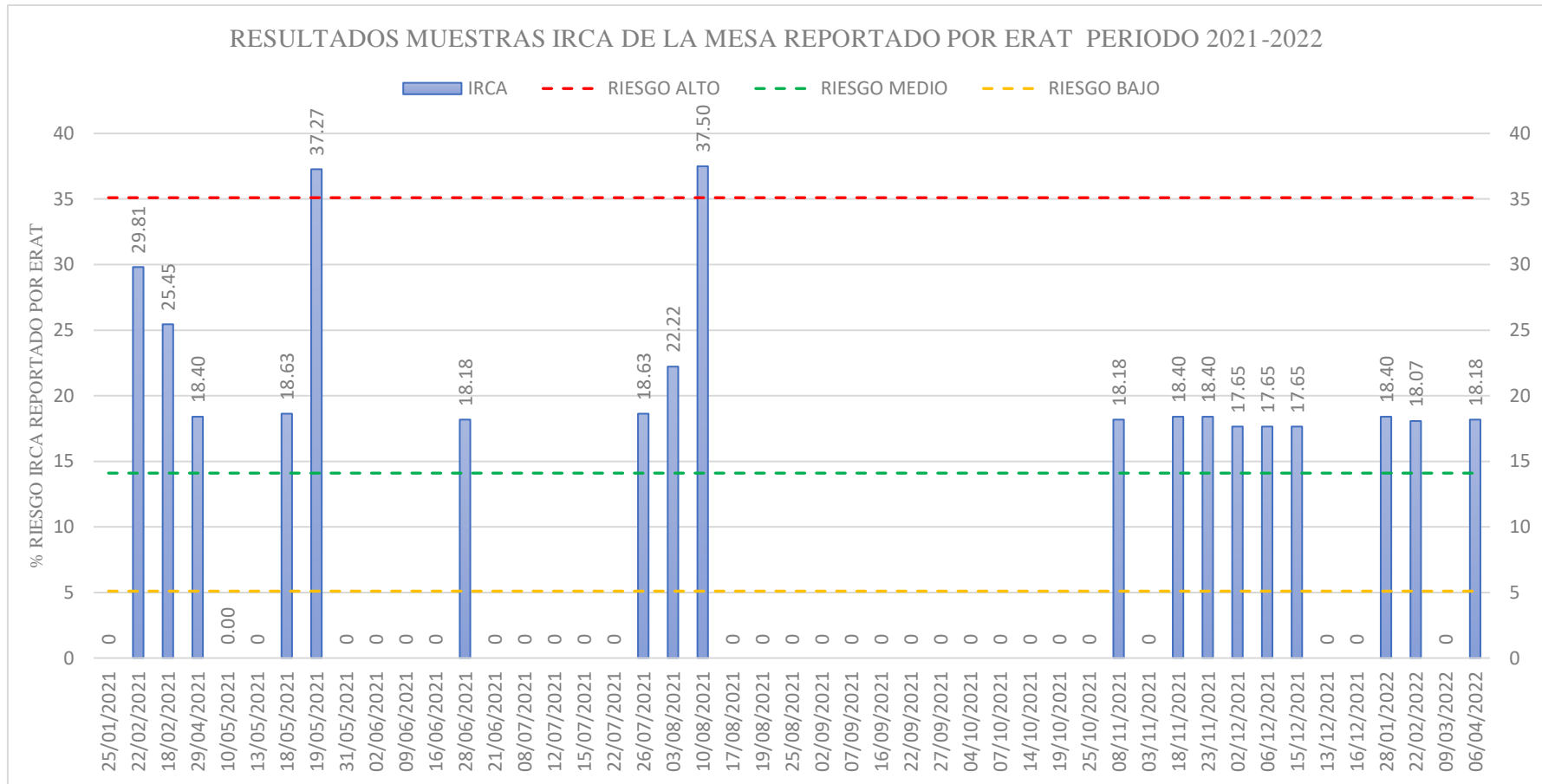
TABLA 24 Clasificación IRCA

CLASIFICACIÓN IRCA (%)	NIVEL DE RIESGO	IRCA POR MUESTRA (NOTIFICACIONES QUE ADELANTARÁ LA AUTORIDAD SANITARIA DE MANERA INMEDIATA)	IRCA MENSUAL (ACCIONES)
80.1 -100	INVARIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo con su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y Gobernador	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: Adaptado de Resolución 2115 del 2007. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible 2007, p. 9).



GRÁFICO 7 Resultados IRCA 2021-2022



Fuente: Elaboración propia, adaptado de
Resultados muestras por persona prestadora-SIVICAP (Instituto Nacional de Salud, 2022).



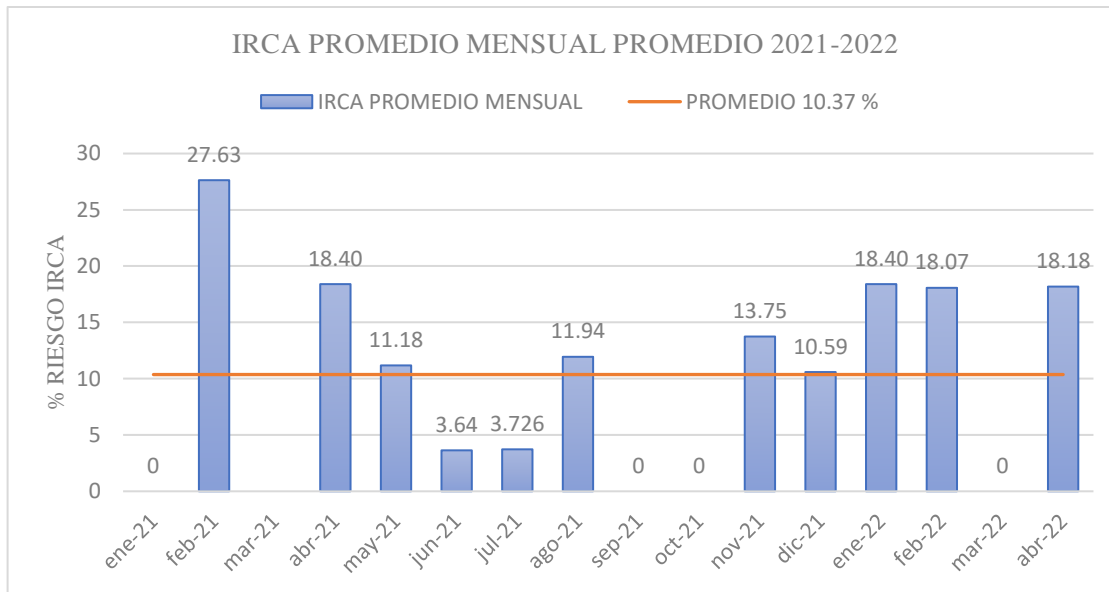
Para la construcción de la gráfica anterior se trabajó con los informes entregados por ERAT a el instituto nacional de salud, para el periodo comprendido entre enero del 2021 hasta abril del 2022. Durante este rango de fechas se realizaron 47 muestras en los distintos puntos de medición del sector urbano del municipio de La Mesa. De esta gráfica se evidencia que para las fechas 18 de mayo y 10 de agosto del 2021 el IRCA fue el más alto de todo el periodo de estudio presentado un riesgo alto para la salud. Por lo tanto, ERAT debió informar a las autoridades competentes (tabla 24) estos resultados y realizar la gestión correspondiente para mitigar este resultado.

Se logra apreciar una variación considerable a medida que las cifras aumentan, para posteriormente decaer a valores de 0 % y nuevamente aumentar estas cifras. Esto puede deberse a factores como zona de medición, cambios repentinos en la calidad del agua o un seguimiento menos contante en periodos sin riesgo. No obstante, esta variación no se ha presentado en lo que se lleva recorrido del año 2022, más bien estos valores tienden a ser similares y cuasi constantes entre un rango del 17% al 18% ubicados en una zona de riesgo medio.

De la totalidad de las muestras presentadas, se identifica que el 61.1 % de las muestras realizadas durante este periodo de análisis, no presentaron riesgo para la salud (entre 0% y 5%). Mientras que un 34.04 % se situaron en zona de riesgo medio y un 4.25 % en riesgo alto. En síntesis, 6 de cada 10 muestras realizadas por ERAT entre enero del 2021 y abril del 2022 no presentaron riesgo para la salud.



GRÁFICO 8 Resultados IRCA promedio mensual periodo 2021-2022

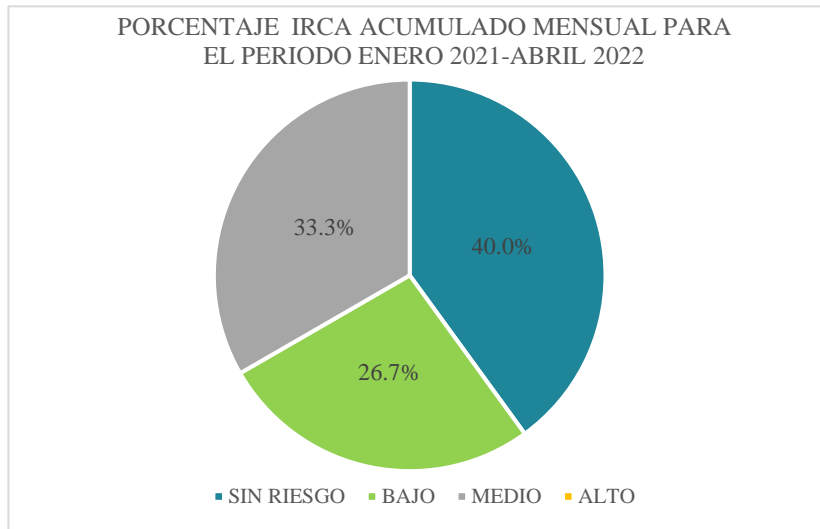


Fuente: Elaboración propia, adaptado de Resultados muestras por persona prestadora-SIVICAP (Instituto Nacional de Salud, 2022).

Los resultados promedio mensual, es el resultado de todas las muestras realizadas en un mes para obtener su promedio. Para este caso, el valor IRCA promedio mensual se ubicó en un 10.37%, indicando que en promedio el riesgo de la calidad del agua potable es bajo. Sin embargo, se presentan meses con valores altos y meses con cifras del 0 %, como es el caso de febrero del 2021, el mes con el promedio más alto (27.23%) y septiembre-octubre con el promedio más bajo (0%). Es de interés expresar que para los meses de abril y noviembre el promedio mensual aumento las cifras de los meses anteriores llevando los resultados por encima de la media para que posteriormente de forma paulatina se volvieran disminuir, esto de cierta forma se puede relacionar con los cambios en los regímenes de lluvias que tienen inicio en estos meses. Puesto que en temporadas secas como junio-julio el IRCA disminuyo muy por debajo de la media, de la misma forma que agosto y septiembre.



GRÁFICO 9 Porcentaje de muestras mensuales ubicadas en riesgos IRCA 2021 -2022



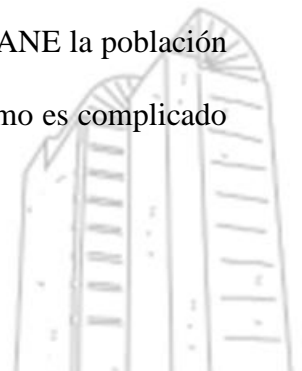
Fuente: Elaboración propia, adaptado de Resultados muestras por persona prestadora-SIVICAP (Instituto Nacional de Salud, 2022).

La gráfica 9 presenta el porcentaje de muestras mensuales que se ubicaron en riesgo alto, medio, bajo y sin riesgo. Se concluye que del promedio mensual IRCA, el 40 % de las muestras no tuvieron algún riesgo en la salud, mientras que un 33.3 % de las pruebas arrojaron una alerta de riesgo medio y un 26.7 % riesgo bajo. Aunque no se presenta una predominancia en los resultados, si se puede decir que casi un 77 % del promedio mensual IRCA tienen un riesgo bajo o nulo para la población. Indicando que más de la mitad de los meses la calidad del agua potable no sobrepasara un riesgo medio para la salud de la comunidad.

7.2.4 ENCUESTAS

7.2.4.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para conocer cuál es la percepción de la comunidad sobre la operación de la red y la calidad del agua potable, se planteó realizar una encuesta que midiera la satisfacción de las personas con respecto al servicio de la red de distribución. Según datos del DANE la población actual que reside en la parte urbana del municipio es de 22.168 habitantes, como es complicado



caracterizar toda la población del casco urbano de La Mesa. Se optó por realizar una muestra representativa que permita expresar los resultados para toda la población.

Para que la muestra representativa tenga validez, primero se debió calcular la cantidad de personas encuestadas necesarias para que los resultados reflejen con veracidad la población urbana. Para esto se empleó la ecuación del cálculo del tamaño de muestra para una población finita:

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + z^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño de población

Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC)

e = error de estimación máximo aceptado

p = probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = (1-p) = probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

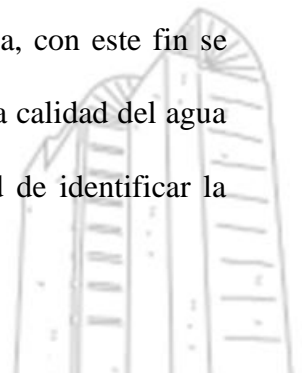
Para obtener el tamaño de la muestra, se estableció un nivel de confianza del 90%, que tiene como relación un parámetro estadístico de 1.645, además, se estimó un margen de error del 10 % sujeto a la veracidad en las respuestas por parte de la población. Como se desconoce la probabilidad de que el estudio sea exitoso, se asignó una probabilidad de que ocurra del 50 % y una probabilidad de que falle del 50 %, reemplazando los valores se obtiene:

$$n = \frac{22168 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2(22168 - 1) + 1.645^2 * 0.5 * 0.5} = 67.45 \text{ personas}$$

Para que la muestra tenga validez en la población se debe encuestar un total de 68 personas


7.2.4.2 PROCEDIMIENTO DE LA ENCUESTA

El procedimiento para realizar la encuesta consta de formular un tipo de preguntas que permitan caracterizar la percepción general de las personas del sector urbano de La Mesa, con este fin se planteó dos bloques de preguntas, primero 4 preguntas enfocadas en identificar la calidad del agua que recibe la población, el segundo bloque de tres preguntas tiene la finalidad de identificar la



percepción del servicio de la red por parte de ERAT y un tercer bloque para identificar si los pobladores emplean algún sistema para mejorar el agua, a continuación, se presenta el formato entregado a los habitantes de La Mesa. Debido a que la red de distribución esta sectorizada en tres áreas, se repartieron 23 encuestas en cada una de las zonas, con el fin de identificar la operación en general y por sector. Cabe mencionar que todas las encuestas se realizaron de forma aleatoria y Solo se preguntó a las personas residentes del sector a encuestar (véase anexo 3).

ILUSTRACIÓN 34 Formato encuesta

ENCUESTA PARA LA POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE LA MESA					
		Universidad Piloto De Colombia -Empresa Regional Aguas de Tequendama S.A. E.S.P			
NOMBRE:		FECHA:			
¿Cantidad de personas que viven en su hogar?					
1. Responda las siguientes preguntas					
MARQUE CON UNA X		MALA	REGULAR	NORMAL	EXCELENTE
¿Qué tan seguro se siente de tomar agua de la llave?					
¿Cómo percibe sensorialmente (sabor,olor y color) el agua que llega a su hogar?					
¿Tiene conocimiento o ha escuchado de las enfermedades que transmite la contaminación del agua?					
¿Cómo calificaría el servicio del agua potable?					
2. Responda las siguientes preguntas según la frecuencia que usted considere?					
MARQUE CON UNA X		1 DIA	2 DIA	3 - 7 DIAS	SEMANAS(CUANTAS)
¿Con que frecuencia realizan un seguimiento a los contadores de hogar?					
¿Con que frecuencia recibe el suministro del servicio?					
¿Con que frecuencia se suspende el servicio del agua?					
3. responda SI o NO a las siguientes preguntas					
MARQUE CON UNA X		SI		NO	
¿Tiene instalado en su casa algún tipo de filtro para tratar el agua?					
¿Usa algún elemento o producto químico para tratar el agua de su casa?					
¿Prefiere comprar el agua en bolsa o botellón para su consumo?					
OBSERVACIONES					

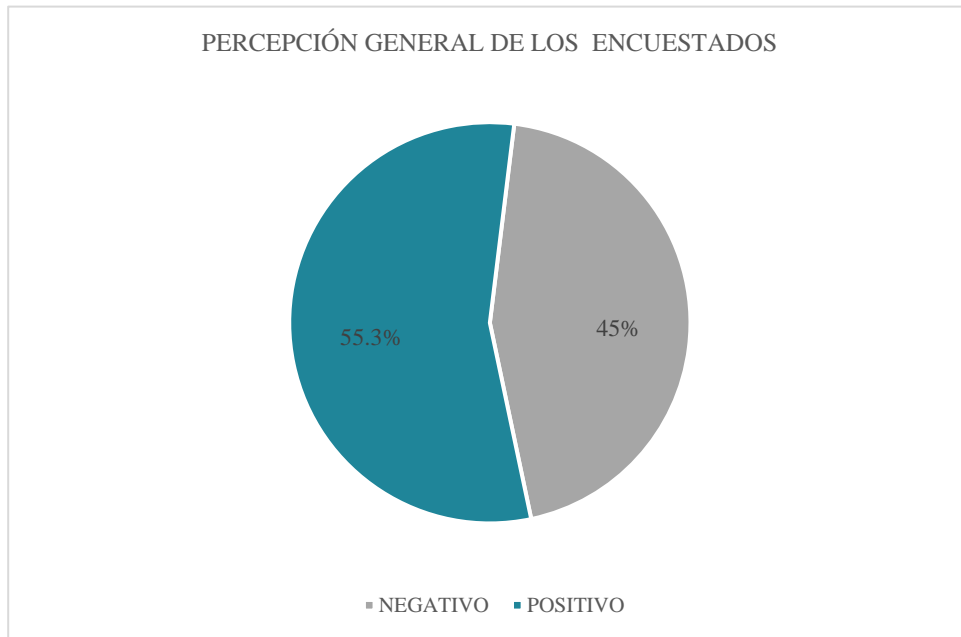
Fuente: Elaboración propia



7.2.4.3 ANÁLISIS ENCUESTAS

La encuesta mide la satisfacción de las personas con respecto al servicio de la red, se clasifico la percepción positiva entre el rango de respuestas (normal y excelente) y negativo (regular y malo), teniendo en cuenta ese criterio se presenta la siguiente gráfica:

GRÁFICO 10 *Percepción general de los encuestados sobre el servicio*

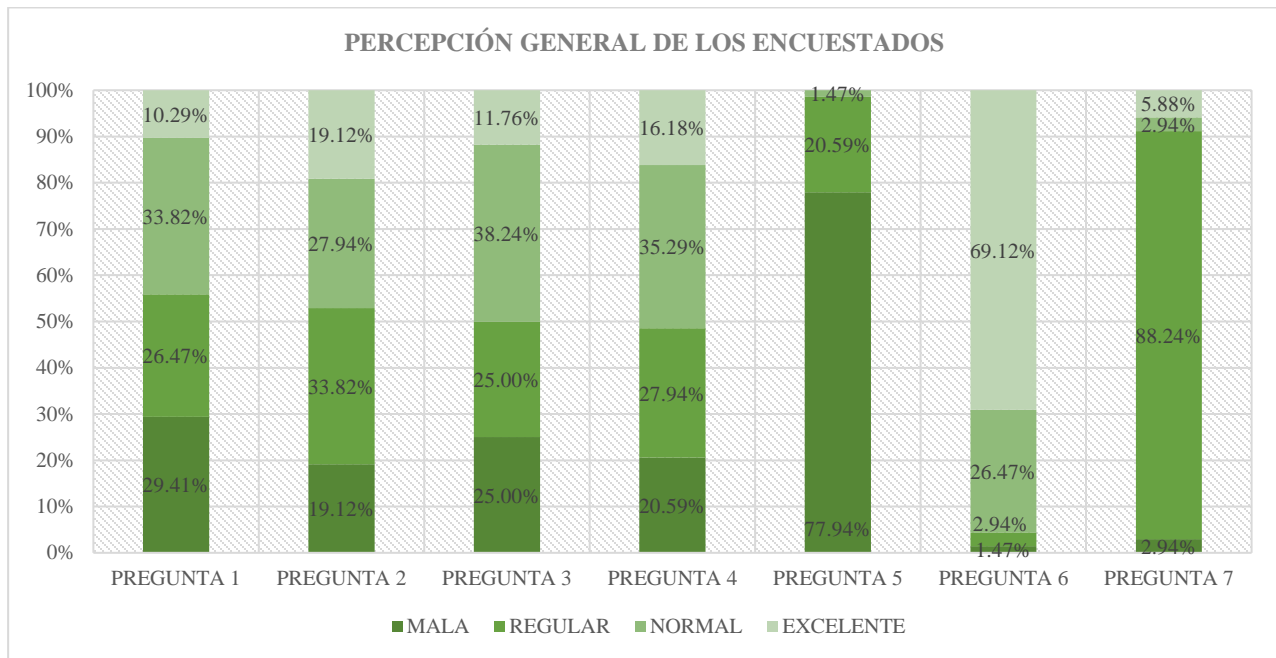


Fuente: Elaboración propia

La percepción de los encuestados y en general de la población del casco urbano del municipio de La Mesa es positiva con un 55.3 % de favorabilidad. No obstante, la percepción negativa solo tiene una diferencia del 10 %, por lo cual se evidencia que en general la población tiene una opinión dividida acerca de la calidad del agua y la operación de la red.



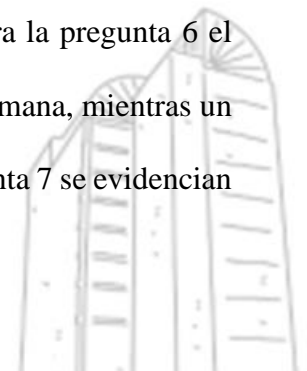
GRÁFICO 11 *Percepción por pregunta de los encuestados*



Fuente: Elaboración propia

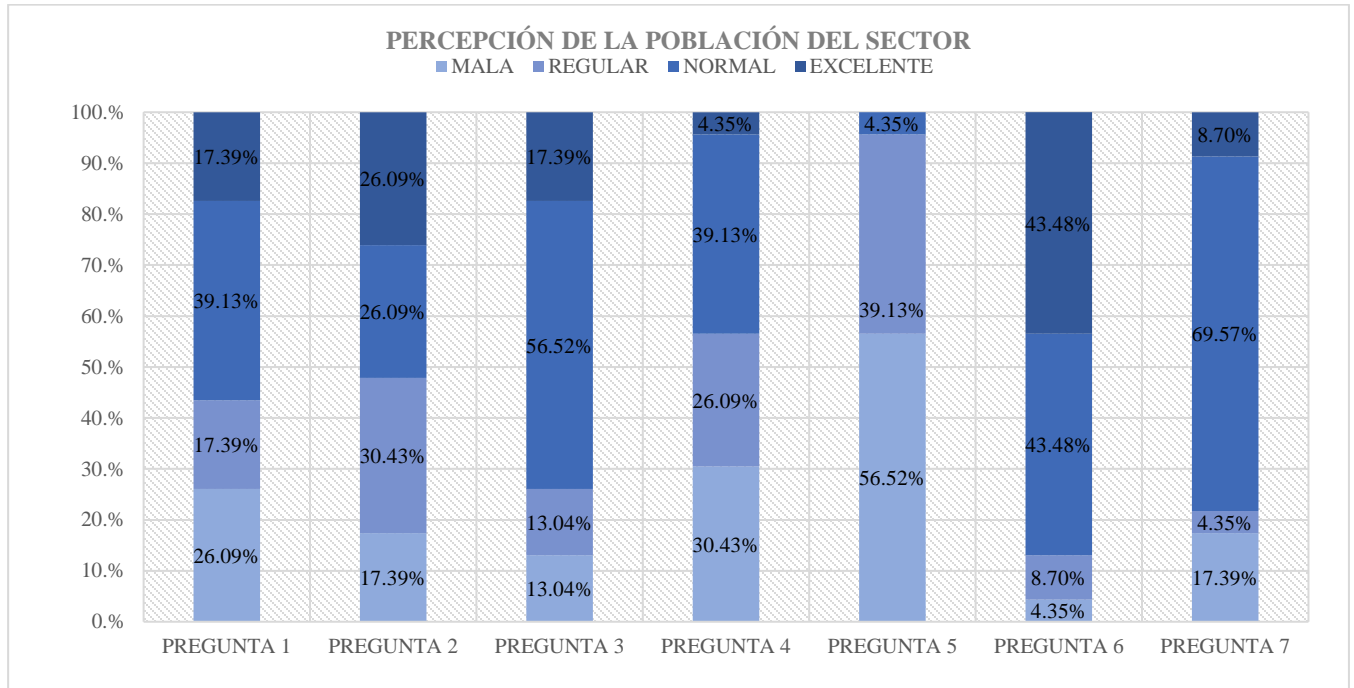
En respuesta a la primera pregunta, alrededor del 56 % de los encuestados tiene una mala o regular percepción de beber del agua de la llave y un 44% se siente con confianza de beber agua de la llave. Esta respuesta tiene una relación directa con la segunda pregunta, pues más de la mitad (52.94%) de las personas perciben (olor, color y sabor) del agua como mala o regular, un 50 % de los encuestados conoce o relaciona las enfermedades transmitidas por la calidad del agua. La calificación del servicio de la red por parte de las personas está dividida entre casi un 50 % como mala o regular y un 50 % de percepción positiva con una predominancia del 38.24 % en normal.

Para interpretar las preguntas 5 se debe entender que mala es que nunca o una sola vez se ha realizado el seguimiento a los contadores del hogar, regular dos veces, normal entre 3 a 7 veces y excelente como más de 7 veces. En general un 77.94 % de las personas nunca o solo una vez a recibido un mantenimiento o seguimiento de los contadores de su hogar. Para la pregunta 6 el 69.12 % de los encuestados recibe el servicio del agua constantemente cada semana, mientras un 26.47 % recibe el agua entre 3 a 7 días por semana. Sin embargo, para la pregunta 7 se evidencian



cortes repentinos del suministro del agua entre el rango de 3 a 7 veces por semana, que pueden estar ocasionados por acciones directas de la red o por consecuencias ajenas a la operación.

GRÁFICO 12 Percepción por pregunta de los encuestados, sector 1



Fuente: Elaboración propia

En el caso del sector 1, un 56.52 % de los encuestados tiene la percepción normal o excelente sobre tomar agua de la llave, a su vez para la pregunta dos un 52.18 % de los encuestados tiene una percepción organoléptica normal o excelente del agua. Estos resultados pueden explicar la buena recepción de las personas que viven relativamente cerca de la PTAP, a una buena calidad del agua potable. No obstante, los valores negativos ocupan un importante porcentaje en la percepción del agua y la confianza del suministro entregado. Se mantiene la tendencia de los encuestados que manifiestan no tener más de un seguimiento a los contadores de sus hogares (95.65%). La percepción en la frecuencia del suministro del agua para este sector (86.96%) es positiva, tienden a tener entre 3 a 7 días continuos el servicio del agua. el porcentaje de personas que manifiestan que el suministro del agua ha sufrido cortes es del (21.74%).

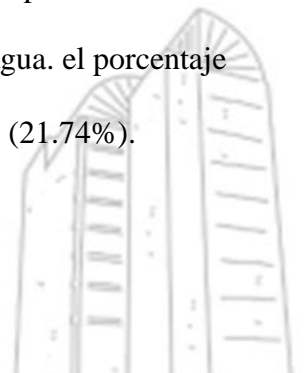
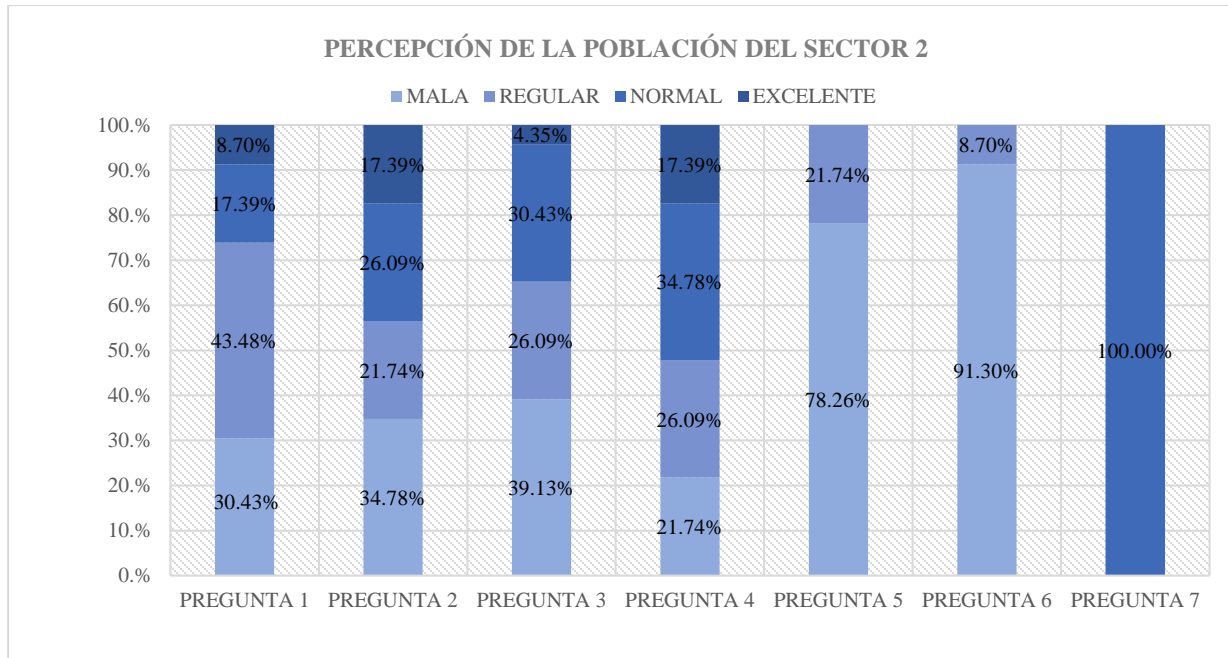


GRÁFICO 13 Percepción por pregunta de los encuestados, sector 2

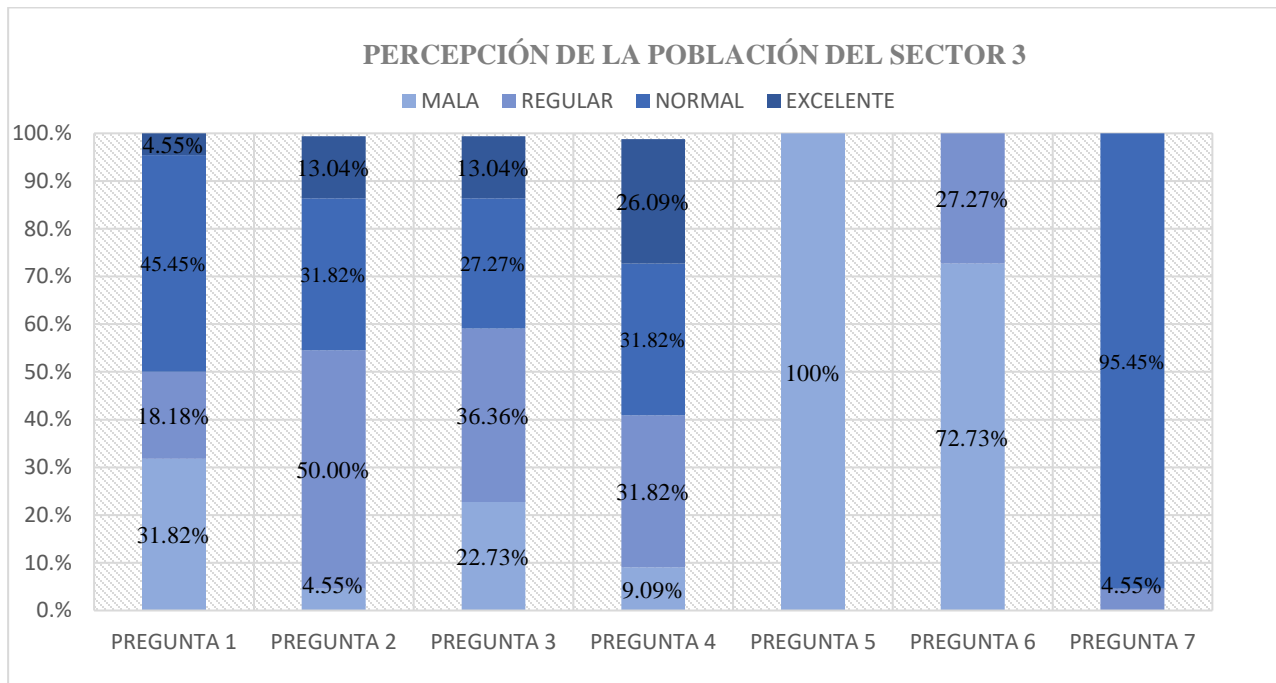


Fuente: Elaboración propia

En el caso del sector 2, un 73.91% de los encuestados tiene la percepción regular o mala sobre tomar agua de la llave, relacionando lo anterior a la pregunta dos se registró que un total de 56.52% de los encuestados tiene una percepción organoléptica negativa sobre el agua, aquí se evidencia un aumento del 10 % con respecto a la zona 1. Se evidencia una reducción en la tendencia de los encuestados que manifiestan no tener más de un seguimiento a los contadores de sus hogares (78.26%). La percepción en la frecuencia del suministro del agua para este sector (91.30%) es positiva, mayor a lo reportado en la zona 1. Por ende, los tiempos tienden a ser de entre 3 a 7 días continuos el servicio del agua. Para este sector la población no presentó haber sufrido de cortes de agua.



GRÁFICO 14 *Percepción por pregunta de los encuestados, sector 3*



Fuente: Elaboración propia

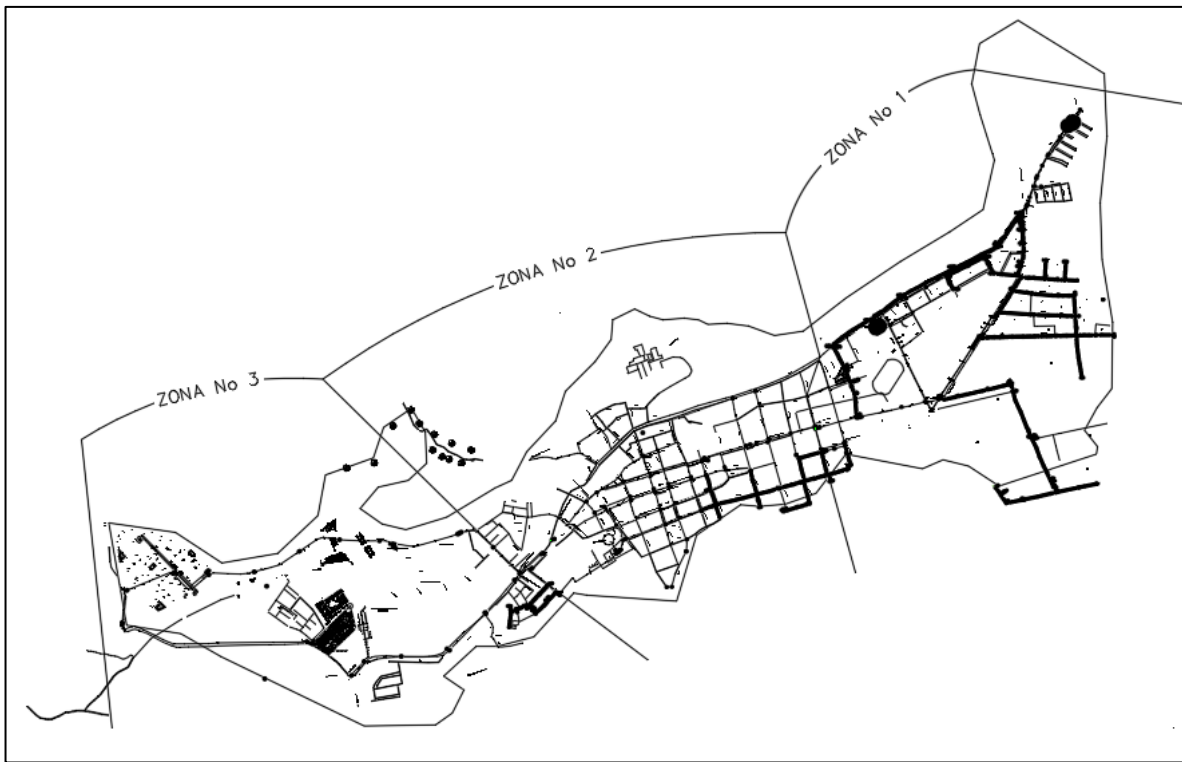
En el caso del sector 3, un 50.0% de los encuestados tiene una percepción normal o excelente sobre tomar agua de la llave, a su vez para la pregunta dos un 44.86 % de los encuestados tiene una percepción organoléptica normal o excelente del agua. a medida que se va alejando de la PTAP, la percepción organoléptica positiva del agua ha disminuido en casi un 8 % con respecto a el sector 1. La tendencia de los encuestados que manifiestan no tener más de un seguimiento a los contadores de sus hogares (95.65%). La percepción en la frecuencia del suministro del agua para este sector (27.27%) es positiva, una reducción de aproximadamente 64.03 %, con respecto a el sector 2, esto se puede interpretar que para el sector 3, la percepción sobre la calidad del agua potable y las frecuencias de operación de la red presentan las tasas más bajas de favorabilidad.



7.2.5 RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

La configuración de red existente en el municipio de La Mesa Cundinamarca es la combinación de redes malladas y redes ramificadas, el sistema de distribución resultante se denomina red mixta. Este tipo de infraestructura es común en redes de distribución de agua potable, el sistema de distribución municipal se encuentra zonificado en tres áreas operativas como se especifica en la ilustración 35.

ILUSTRACIÓN 35- Zonas de operación en el casco urbano.



FUENTE: CONTRATO N° 052-2011, OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA – CUNDINAMARCA. (EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P, 2013, [PLANO N° 1/18].)

Como se indica en el artículo 58 de la resolución número 0330 del año 2017, todas las redes deben aplicar el concepto de sectorización hidráulica a fin de lograr racionalización en el servicio. Las áreas de impacto en dirección a la operatividad se relacionan en la tabla 25.

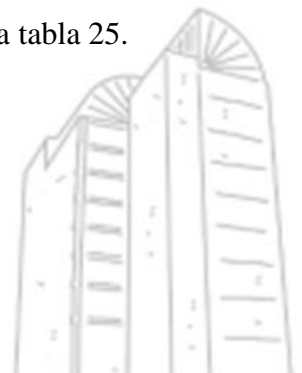


TABLA 25 Áreas zonificadas.

ZONA	ÁREA (HA)	PERÍMETRO (KM)	LATITUD	LONGITUD
ZONA 1	127.96	7.24	4°38'17.49'' N	74°27'0.98'' O
ZONA 2	96.6	5.24	4°37'45.68'' N	74°27'47.47'' O
ZONA 3	85.6	4.90	4°37'22.25'' N	74°28'22.60'' O

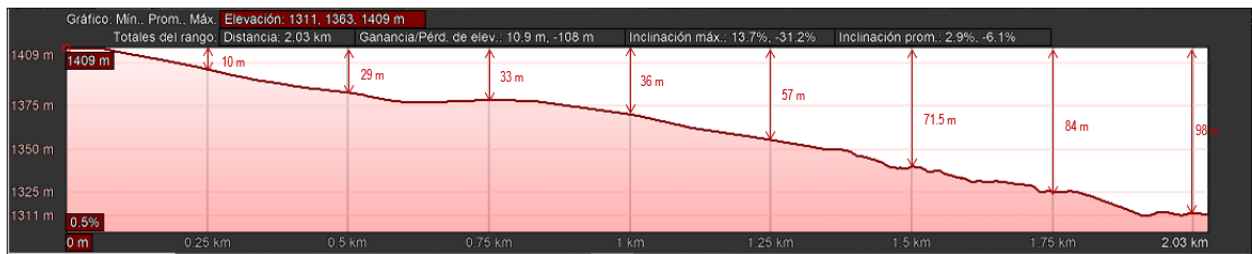
Fuente: Elaboración Propia, consulta sistema de información geográfica Google Earth.

7.2.5.1 PERFILES DE ELEVACIÓN

A fin de verificar las condiciones generales de campo, se obtiene información mediante la utilización de sistemas de información satelital que permiten visualizar la configuración topográfica de la zona de estudio. En ese sentido, en el flujo de procesos demarcados para alcanzar los objetivos del trabajo de investigación, se generarán levantamientos planimétricos y parcialmente altimétricos.

Para obtener perfiles altimétricos por zona, se trazan rutas en dirección a las tuberías de la red matriz, para posteriormente conocer el valor de las pendientes y tener una noción general de las diferencias altimétricas por zona.

ILUSTRACIÓN 36 - Perfil de elevación zona 1.

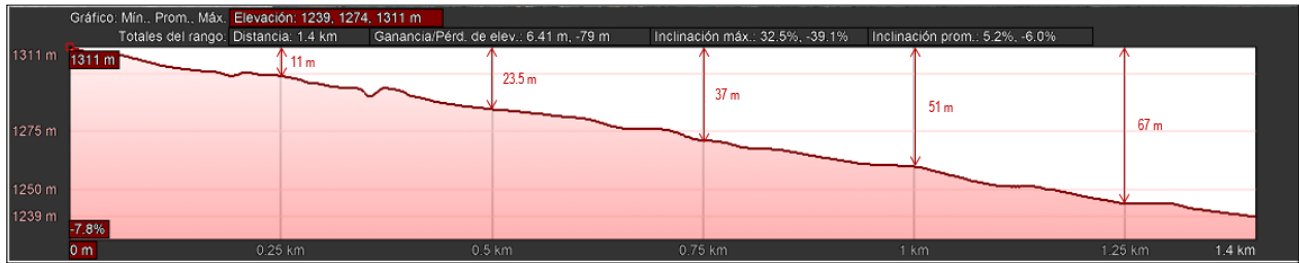


Fuente: Tomado y adaptado de Google Earth Pro.

El perfil de elevación correspondiente a la zona 1 tiene una elevación mínima de 1311 metros y una elevación máxima de 1409 metros, produciendo una diferencia altimétrica de 98 metros, en ese sentido en el tramo de 2.03 kilómetros se presenta una inclinación máxima de 13.7 % y una inclinación promedio de 2.9 %.



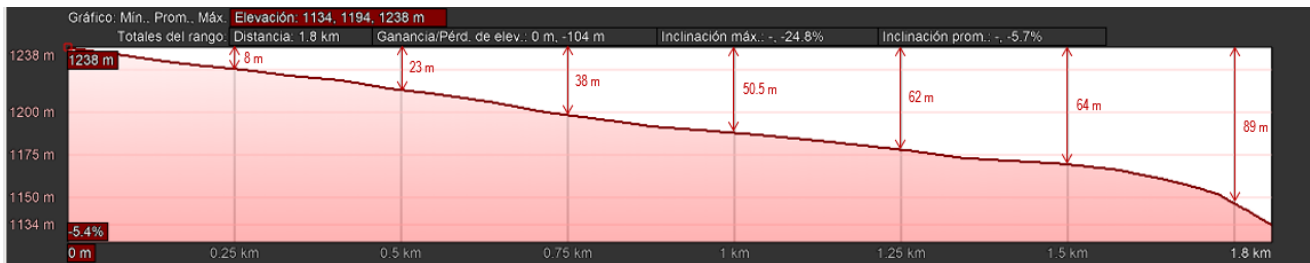
ILUSTRACIÓN 37- Perfil de elevación zona 2.



Fuente: Tomado y adaptado de Google Earth Pro.

El perfil de elevación correspondiente a la zona 2 tiene una elevación mínima de 1239 metros y una elevación máxima de 1311 metros, produciendo una diferencia altimétrica de 67 metros, en ese sentido en el tramo de 1.4 kilómetros se presenta una inclinación máxima de 32.5 % y una inclinación promedio de 5.2 %.

ILUSTRACIÓN 38 - Perfil de elevación zona 3.

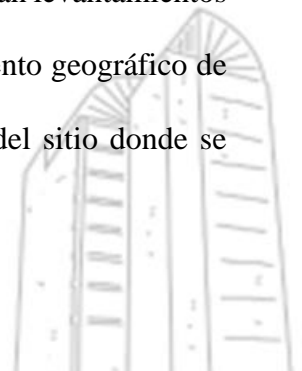


Fuente: Tomado y adaptado de Google Earth Pro.

El perfil de elevación correspondiente a la zona 3 tiene una elevación mínima de 1134 metros y una elevación máxima de 1238 metros, produciendo una diferencia altimétrica de 89 metros, en ese sentido en el tramo de 1.8 kilómetros se presenta una inclinación máxima de 24.8 % y una inclinación promedio de 5.7 %.

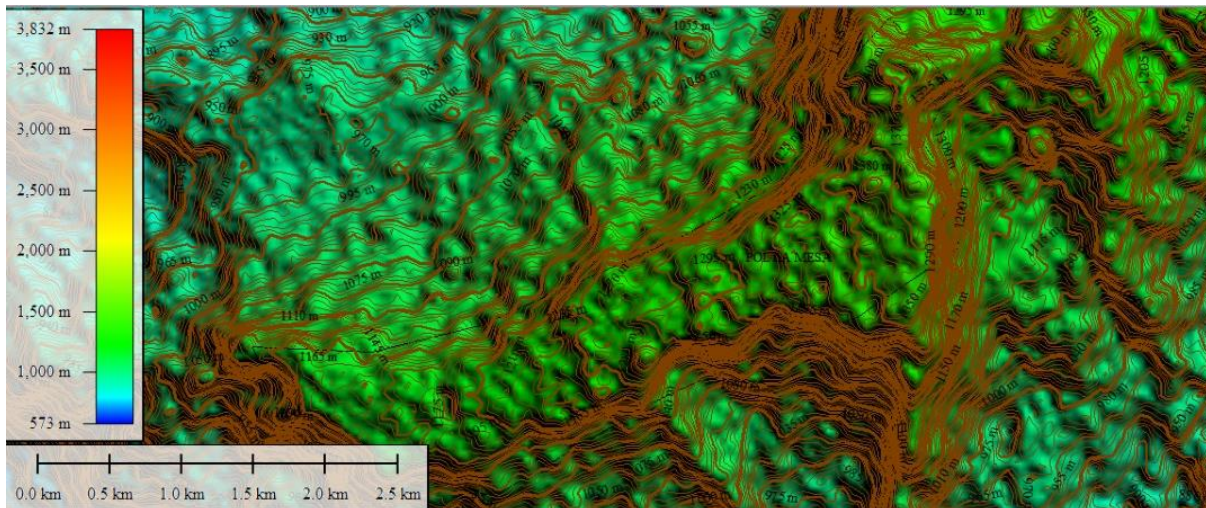
7.2.5.2 TOPOGRAFÍA

Resultado de la carencia de topografía en los planos referentes a la red de distribución del acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa Cundinamarca, se aplican levantamientos topográficos de precisión planimétricos extraídos de sistemas de posicionamiento geográfico de alta precisión, con la finalidad de conocer el reflejo puntual de la realidad del sitio donde se



encuentran las instalaciones hidráulicas de uso público. El Software denominado Global Mapper es un sistema de información geográfica, ejecutado por Blue Marble Geographics. A partir de esta herramienta GIS, es analizado un polígono del casco urbano del municipio obtenido desde el sistema de información geográfica Google Earth Pro en formato Keyhole Markup Language (KML).

ILUSTRACIÓN 39 – Importación de polígono a GLOBAL MAPPER.

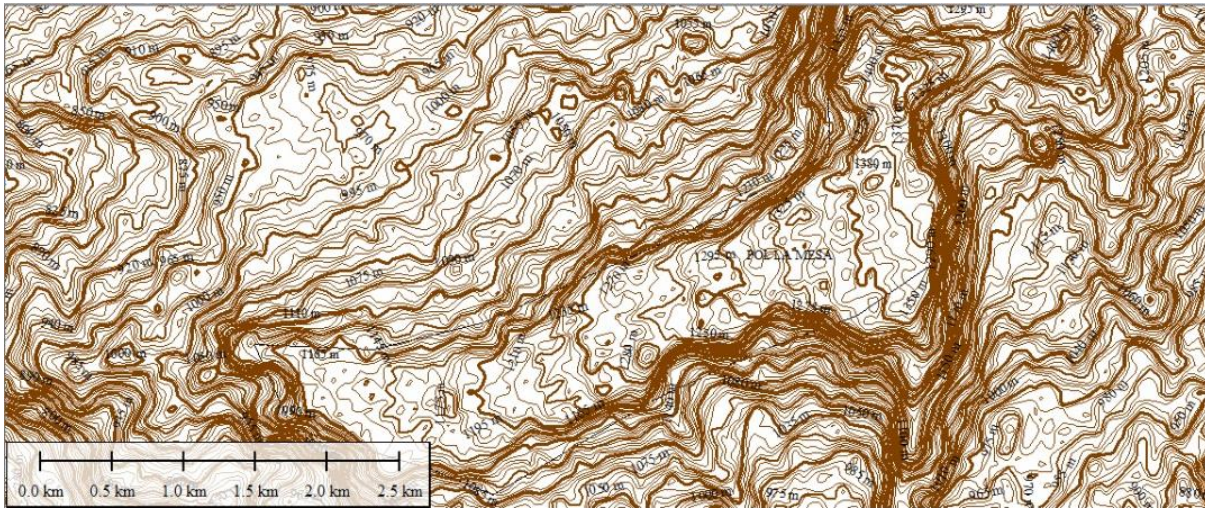


Fuente: Elaboración propia.

Este método que posibilita la representación del relieve dispone de la escala hipsométrica, en la cual se observa que el terreno posee un rango de alturas que oscila entre los 1000 metros y 2000 metros. En el procesamiento cartográfico, se genera el levantamiento topográfico en planta con curvas de nivel cada 5 metros en toda el área del sistema de distribución de agua potable y en las zonas aledañas. Lo anterior con el objeto de conocer a detalle las propiedades altimétricas de la conducción de ramales existentes.



ILUSTRACIÓN 40– Curvas de nivel.

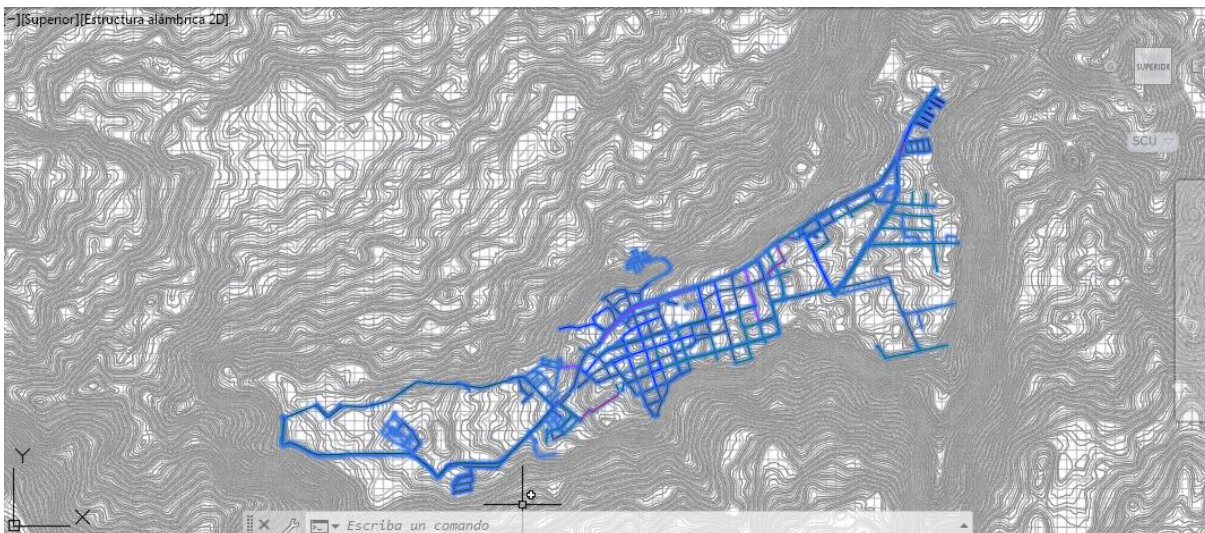


Fuente: Elaboración Propia.

7.2.5.3 ASIGNACIÓN DE ELEVACIONES

Posteriormente, el levantamiento es exportado al software AutoCAD Civil 3D con el propósito de crear una superficie a partir de un objeto (curvas de nivel) y asignar a cada intersección y cambio de dirección de la red suministrada por la empresa prestadora del servicio su debida elevación, optimizando así procesos relacionados con la introducción de datos en EPANET.

ILUSTRACIÓN 41– Asignación de elevaciones a partir de superficie.



Fuente: Elaboración propia.

7.2.5.4 IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN EN EPACAD

El siguiente proceso es ejecutar la exportación del producto en formato Drawing Exchange Format (DXF) al software EpaCAD, que tiene como finalidad convertir la red de AutoCAD en un fichero interpretable por EPANET, EpaCAD reconoce de forma automática los principales elementos y propiedades del trazado.

En la interfaz existen diferentes escenarios que se deben considerar previo al análisis del producto: Pipe Laves Selection, Conversion mode y Connection Tolerance.

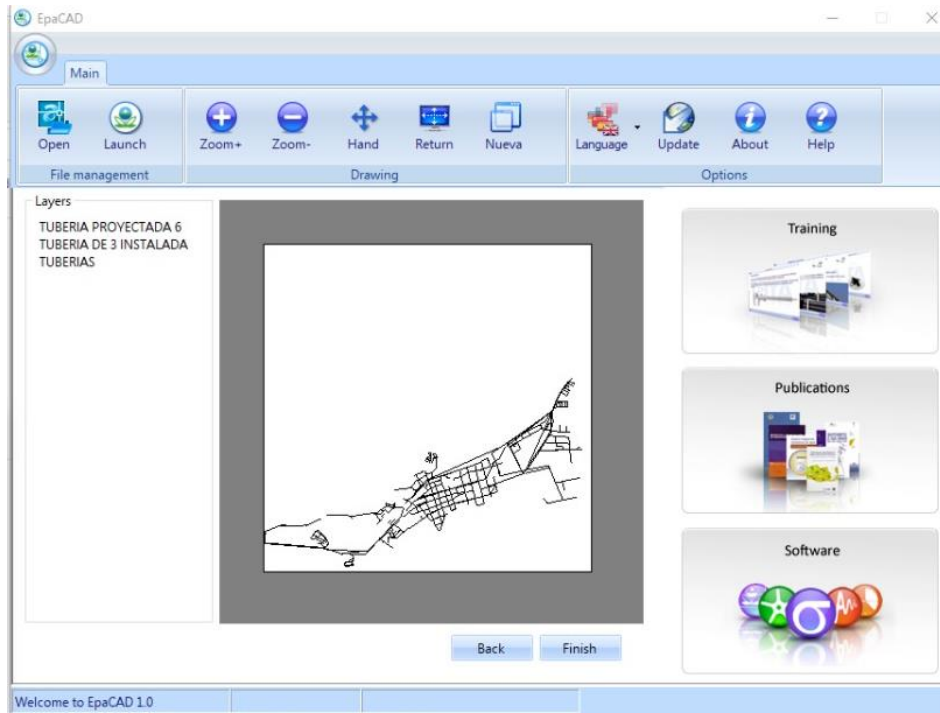
PIPE LAYES SELECTION: Se seleccionan las capas exportadas desde AutoCAD en las que se encuentran los atributos que se van a evaluar en EPANET.

CONVERSION MODE: En esta condición existen dos alternativas de interpretación de segmentos, en *vertex mode* el software interpreta todos los vértices o cambios de dirección de la polilínea como nodo y en *nodes mode* una polilínea se convierte en una tubería con cambio de dirección y el nodo se genera únicamente cuando la polilínea tenga una intersección o sea su punto final. Para el desarrollo del presente trabajo se selecciona la opción de *nodes mode* para evitar exceso de nodos.

CONNECTION TOLERANCE: Se considera un valor de tolerancia de 0.1 a fin de que tuberías que estén mal conectadas tengan una correcta conexión y se reduzcan los errores en el diagnóstico en EPANET.



ILUSTRACIÓN 42– Importación de red a EPACAD.



Fuente: Elaboración propia.

EPANET es un software de modelación de sistemas de distribución de agua potable desarrollado por Environmental Protection Agency, es una herramienta tecnológica para el análisis de infraestructura hidráulica. El simulador del sistema se ejecuta mediante representaciones matemáticas derivadas de principios hidráulicos. A continuación, se presentarán los procedimientos acogidos para conocer los parámetros que se someterán a análisis.

Una vez ejecutado el procedimiento en EpaCAD, el archivo producto con extensión INP es totalmente editable en EPANET, como resultado se generaron 664 conexiones y 738 tuberías.



ILUSTRACIÓN 43– Importación de red a EPANET.



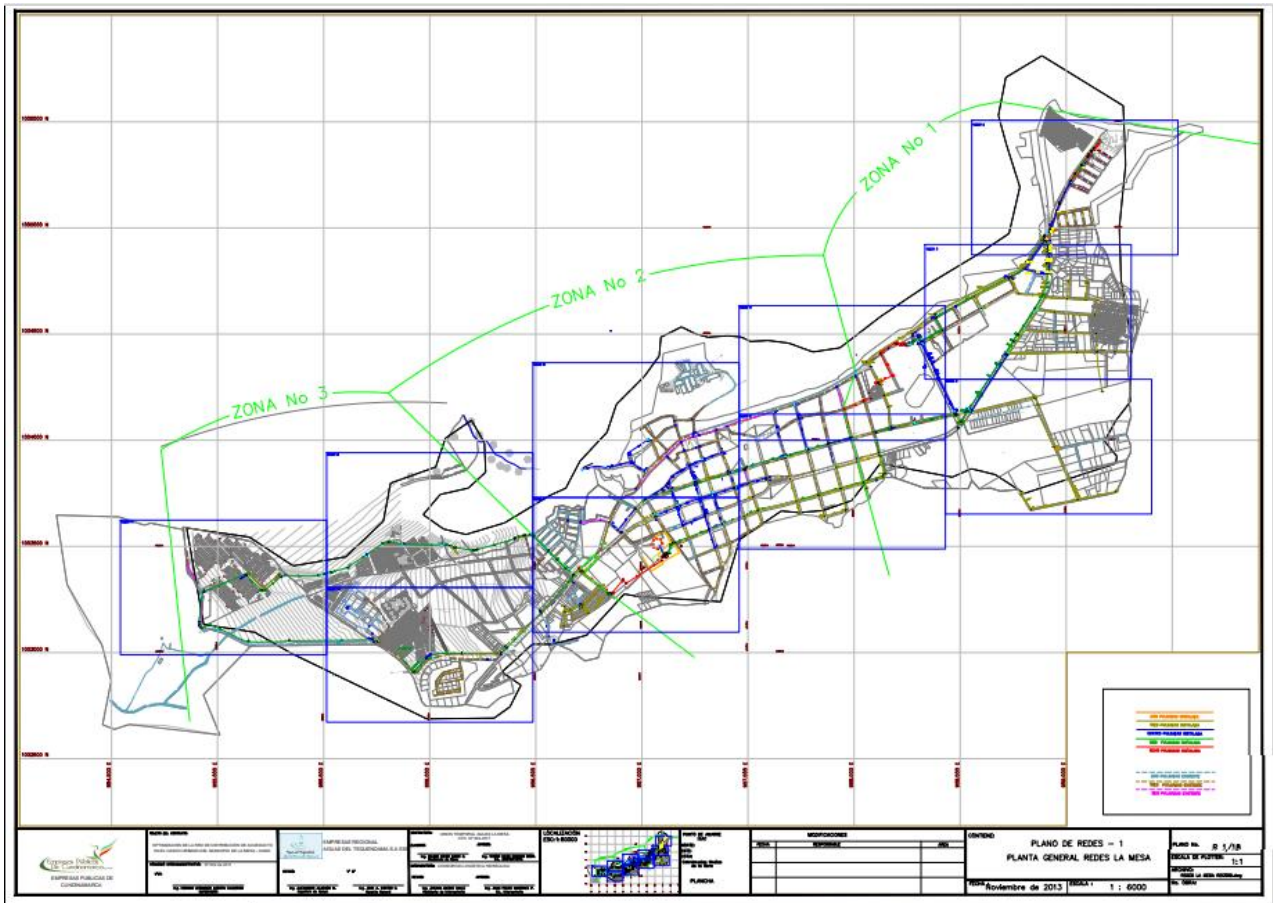
Fuente: Elaboración propia.

7.2.5.5 SIMULACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN

La Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. suministra el trazado de la red resultante de convenio interadministrativo N° 052-2011, con objeto de optimización de la red de distribución de acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa – Cundinamarca como se observa en la Ilustración 44, del cual se obtuvo la información de diámetros, rugosidades, coeficientes de fricción, profundidad de tubería y longitudes.



ILUSTRACIÓN 44-Optimización de la red de distribución de acueducto en el casco urbano del municipio de La Mesa.



FUENTE: CONTRATO N° 052-2011, OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ACUEDUCTO EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA – CUNDINAMARCA. (EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P, 2013, [PLANO N° 1/18].)

Tal como se menciona en el artículo 58 de la resolución número 0330 del año 2017, todos los sistemas de distribución deben contar con una modelación hidráulica, el cual permita analizar el comportamiento frente a diferentes condiciones operativas, de mantenimiento o expansión. EPANET es un software que obedece a tal consideración, pues mediante el mismo se pueden evaluar los parámetros en mención para la toma de decisiones con base en proyecciones técnicas resultantes.

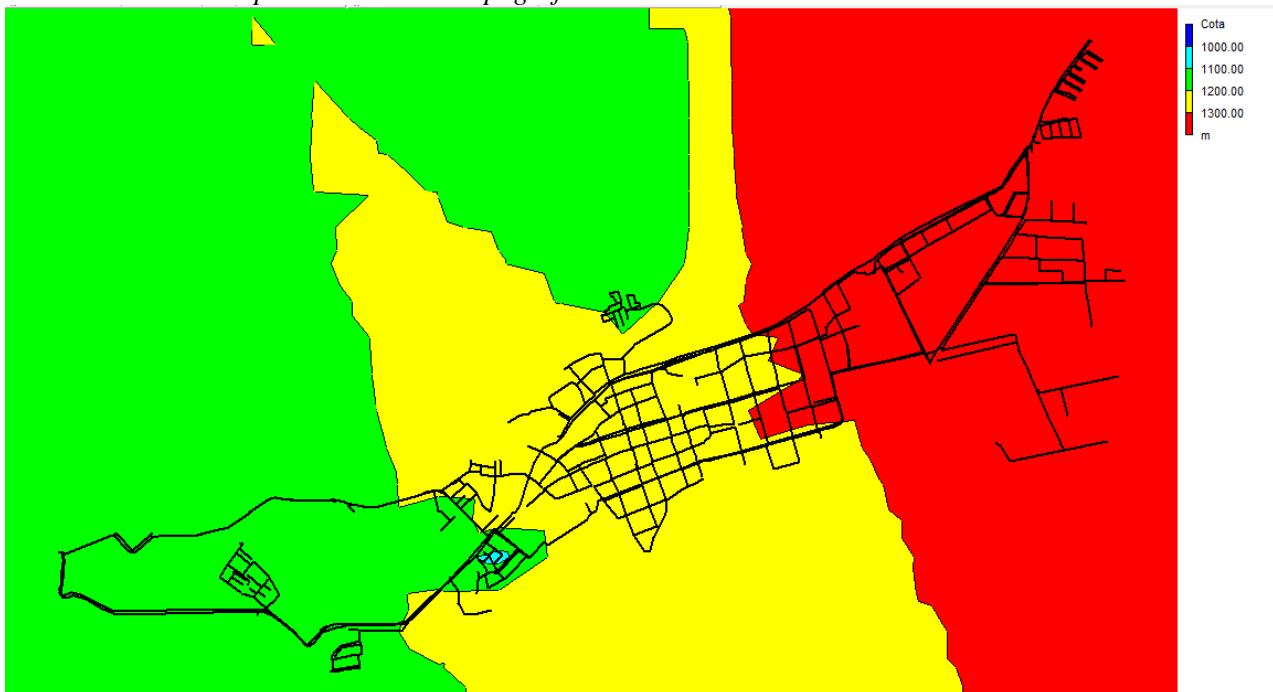
Los resultados de la simulación hidráulica se darán a conocer por sectores, en cada sector se estudian aspectos de gran impacto tales como la velocidad, la presión y pérdidas unitarias. En

ese sentido, los valores numéricos encontrados serán analizados bajo la normatividad vigente con el objeto de generar estrategias que induzcan al mejoramiento de la optimización del servicio público.

Así mismo, los datos correspondientes a las demandas, alturas, presiones, longitudes, diámetros, rugosidades, caudales, velocidades y pérdidas unitarias se presentan debidamente organizados en los anexos (véase anexo 1).

Producto de la asignación de la altimetría en la red se obtiene el diagrama de contorno presentado en la Ilustración 45, en el que se observa que la zona 1 está posicionada por encima de los 1300 metros, la zona 2 y un área de la zona 3 se encuentra en el rango de los 1200 y 1300 metros, finalmente, gran parte de la zona 3 presenta condiciones hipsométricas ubicadas por encima de los 1100 y 1200 metros.

ILUSTRACIÓN 45- Mapa de contorno – topografía.



Fuente: Elaboración Propia

Un concepto cuantitativo elemental para determinar las demandas base es la información correspondiente a las áreas de influencia del sistema de abastecimiento, éstas son determinadas

mediante 214 polígonos en un sistema de información geográfica generados manualmente tomando como referencia la configuración de la red existente, lo anterior se relaciona con la identificación del área aferente de cada nodo de la red de distribución como se observa en la Ilustración 46 y se relacionan minuciosamente en la tabla 26.

ILUSTRACIÓN 46- Polígonos influentes en los nodos del sistema.



Fuente: Google Earth Pro.

TABLA 26- Áreas influentes en los nodos del sistema.

POLÍGONO	LATITUD	LONGITUD	ÁREA (HA)	PERÍMETRO (KM)
P1	4°38'42.02''N	74°26'48.01''O	10.40	1.32
P2	4°38'16.02''N	74°24'38.73''O	4.27	1.11
P3	4°38'42.21''N	74°26'42.18''O	0.60	0.30
P4	4°38'40.55''N	74°26'43.18''O	0.40	0.27
P5	4°38'39.47''N	74°26'44.06''O	0.29	0.24
P6	4°38'38.63''N	74°26'44.98''O	0.25	0.22
P7	4°38'37.54''N	74°26'45.53''O	0.29	0.25
P8	4°38'36.52''N	74°26'46.26''O	0.37	0.25
P9	4°38'35.47''N	74°26'46.92''O	1.35	0.28
P10	4°38'32.94''N	74°26'48.08''O	0.21	0.48
P11	4°38'29.75''N	74°26'49.85''O	0.21	0.19
P12	4°38'29.87''N	74°26'48.65''O	0.21	0.20
P13	4°38'29.86''N	74°26'48.63''O	0.24	0.20
P14	4°38'30.06''N	74°26'47.39''O	0.25	0.21



P15	4°38'30.17''N	74°26'46.10''O	1.18	0.22
P16	4°38'27.29''N	74°26'47.93''O	3.65	0.45
P17	4°38'25.93''N	74°26'47.33''O	0.89	1.12
P18	4°38'19.80''N	74°26'50.63''O	0.86	0.40
P19	4°38'19.60''N	74°26'47.60''O	0.69	0.37
P20	4°38'19.45''N	74°26'45.06''O	1.20	0.34
P21	4°38'18.47''N	74°26'42.11''O	1.66	0.46
P22	4°38'16.65''N	74°26'49.09''O	0.99	0.65
P23	4°38'14.48''N	74°26'53.32''O	1.42	0.41
P24	4°38'16.20''N	74°26'45.56''O	1.64	0.51
P25	4°38'14.48''N	74°26'42.83''O	2.15	0.52
P26	4°38'11.24''N	74°26'52.83''O	1.12	0.77
P27	4°38'11.18''N	74°26'47.67''O	0.95	0.53
P28	4°38'11.07''N	74°26'42.28''O	0.22	0.44
P29	4°38'10.52''N	74°26'40.08''O	8.83	0.19
P30	4°38'5.13''N	74°26'53.85''O	1.23	1.47
P31	4°38'7.81''N	74°26'41.74''O	1.00	0.47
P32	4°38'0.97''N	74°26'59.26''O	1.13	0.68
P33	4°37'59.68''N	74°26'58.87''O	8.37	0.71
P34	4°38'0.39''N	74°26'48.35''O	2.62	1.15
P35	4°37'54.35''N	74°26'43.78''O	3.58	0.69
P36	4°37'51.10''N	74°26'45.99''O	5.28	0.95
P37	4°37'45.39''N	74°26'51.09''O	0.22	1.38
P38	4°38'30.38''N	74°26'52.75''O	0.98	0.32
P39	4°38'24.39''N	74°26'53.88''O	0.41	0.47
P40	4°38'25.24''N	74°26'54.50''O	1.10	0.44
P41	4°38'18.59''N	74°26'54.16''O	0.67	0.44
P42	4°38'19.98''N	74°26'55.91''O	0.17	0.35
P43	4°38'22.06''N	74°26'57.33''O	1.10	0.21
P44	4°38'18.61''N	74°27'0.28''O	0.38	0.48
P45	4°38'20.71''N	74°26'59.93''O	0.55	0.28
P46	4°38'16.35''N	74°27'4.42''O	54.00	0.30
P47	4°38'18.31''N	74°27'5.31''O	0.56	0.27
P48	4°38'14.75''N	74°27'7.46''O	0.34	0.30
P49	4°38'16.57''N	74°27'8.48''O	1.15	0.28
P50	4°38'13.08''N	74°27'4.89''O	0.61	0.55
P51	4°38'13.08''N	74°27'4.89''O	1.00	0.33
P52	4°38'10.25''N	74°27'9.07''O	1.10	0.40
P53	4°38'16.15''N	74°26'56.88''O	9.90	0.44
P54	4°38'8.35''N	74°27'3.03''O	0.21	1.48
P55	4°38'5.28''N	74°27'12.21''O	7.98	1.30
P56	4°37'57.08''N	74°27'12.33''O	3.22	0.91
P57	4°38'12.85''N	74°27'14.12''O	0.43	0.65
P58	4°38'4.50''N	74°27'16.38''O	0.69	0.26
P59	4°38'7.09''N	74°27'17.85''O	0.16	0.34
P60	4°38'9.10''N	74°27'18.98''O	1.23	0.20
P61	4°38'0.11''N	74°27'18.16''O	0.24	0.45
P62	4°38'3.45''N	74°27'18.35''O	0.90	0.21
P63	4°38'4.76''N	74°27'19.73''O	0.45	0.42



P64	4°38'6.04"N	74°27'23.06"O	1.10	0.49
P65	4°38'3.45"N	74°27'22.34"O	1.34	0.42
P66	4°37'59.29"N	74°27'21.02"O	0.96	47.00
P67	4°37'55.24"N	74°27'20.3"O	0.97	0.39
P68	4°37'51.77"N	74°27'19.16"O	0.26	0.39
P69	4°37'49.25"N	74°27'18.67"O	7.77	0.26
P70	4°37'53.70"N	74°27'9.73"O	0.89	1.21
P71	4°38'2.12"N	74°27'25.25"O	1.33	0.38
P72	4°37'58.13"N	74°27'24.46"O	0.99	0.47
P73	4°37'54.24"N	74°27'23.48"O	1.00	0.40
P74	4°37'50.76"N	74°27'22.50"O	0.75	0.40
P75	4°37'47.19"N	74°27'21.82"O	2.00	0.38
P76	4°38'1.65"N	74°27'33.86"O	0.73	2.00
P77	4°38'1.32"N	74°27'28.77"O	1.56	0.35
P78	4°37'57.45"N	74°27'27.91"O	0.97	0.51
P79	4°37'53.34"N	74°27'26.82"O	0.96	0.39
P80	4°37'49.87"N	74°27'25.89"O	1.00	0.39
P81	4°37'46.47"N	74°27'25.00"O	0.29	0.40
P82	4°37'44.03"N	74°27'24.54"O	0.54	0.24
P83	4°38'0.12"N	74°27'32.30"O	1.58	0.31
P84	4°37'56.68"N	74°27'31.42"O	0.99	0.52
P85	4°37'52.55"N	74°27'30.19"O	1.00	0.39
P86	4°37'48.92"N	74°27'29.27"O	0.75	0.40
P87	4°37'45.67"N	74°27'28.29"O	1.50	0.40
P88	4°37'50.33"N	74°27'32.03"O	1.30	0.46
P89	4°37'51.95"N	74°27'33.62"O	0.75	0.35
P90	4°37'49.78"N	74°27'33.29"O	0.15	0.22
P91	4°37'44.87"N	74°27'33.13"O	1.61	0.49
P92	4°37'47.70"N	74°27'33.79"O	1.00	0.54
P93	4°37'55.18"N	74°27'39.40"O	2.51	0.70
P94	4°37'52.25"N	74°27'39.89"O	0.29	0.22
P95	4°37'51.12"N	74°27'36.79"O	0.51	0.29
P96	4°37'50.34"N	74°27'39.30"O	0.42	0.26
P97	4°37'48.87"N	74°27'36.30"O	0.41	0.26
P98	4°37'48.05"N	74°27'38.59"O	0.43	0.26
P99	4°37'45.90"N	74°27'37.87"O	0.42	0.26
P100	4°37'43.56"N	74°27'37.16"O	0.45	0.27
P101	4°37'58.87"N	74°27'43.88"O	1.00	0.43
P102	4°37'56.21"N	74°27'45.45"O	0.76	0.41
P103	4°37'54.51"N	74°27'43.84"O	0.54	0.30
P104	4°37'53.69"N	74°27'46.36"O	0.39	0.25
P105	4°37'52.13"N	74°27'42.87"O	0.82	0.36
P106	4°37'51.29"N	74°27'45.56"O	0.46	0.28
P107	4°37'49.47"N	74°27'42.19"O	0.64	0.33
P108	4°37'48.75"N	74°27'44.74"O	0.34	0.24
P109	4°37'44.99"N	74°27'39.29"O	0.66	0.33
P110	4°37'46.16"N	74°27'43.96"O	0.37	0.24
P111	4°37'44.86"N	74°27'40.60"O	0.62	0.32
P112	4°37'43.83"N	74°27'43.22"O	0.38	0.25



P113	4°37'42.27''N	74°27'39.88''O	0.76	0.35
P114	4°37'39.98''N	74°27'39.98''O	0.12	0.18
P115	4°37'41.27''N	74°27'42.44''O	0.47	0.28
P116	4°37'38.30''N	74°27'41.74''O	0.35	0.25
P117	4°37'57.77''N	74°27'47.72''O	0.51	0.29
P118	4°37'59.83''N	74°27'47.60''O	0.12	0.25
P119	4°37'59.54''N	74°27'52.01''O	0.16	0.30
P120	4°37'57.85''N	74°27'49.15''O	0.74	0.37
P121	4°37'56.46''N	74°27'50.28''O	0.68	0.32
P122	4°37'54.35''N	74°27'49.06''O	0.27	0.25
P123	4°37'52.95''N	74°27'48.20''O	0.37	0.25
P124	4°37'50.16''N	74°27'48.08''O	0.63	0.34
P125	4°37'47.82''N	74°27'47.48''O	0.75	0.36
P126	4°37'45.23''N	74°27'46.66''O	0.75	0.35
P127	4°37'42.77''N	74°27'45.89''O	0.66	0.33
P128	4°37'40.33''N	74°27'45.03''O	0.83	0.36
P129	4°37'37.50''N	74°27'44.12''O	0.81	0.81
P130	4°37'34.86''N	74°27'43.59''O	0.45	0.28
P131	4°37'54.99''N	74°27'51.68''O	0.37	0.26
P132	4°37'53.65''N	74°27'53.91''O	1.10	0.40
P133	4°37'56.43''N	74°27'54.59''O	0.80	0.41
P134	4°37'79.71''N	74°27'52.78''O	2.37	0.75
P135	4°37'48.33''N	74°27'50.97''O	0.10	0.17
P136	4°37'46.01''N	74°27'52.03''O	1.17	0.46
P137	4°37'43.99''N	74°27'49.98''O	0.68	0.33
P138	4°37'43.01''N	74°27'52.27''O	0.37	0.25
P139	4°37'41.72''N	74°27'48.87''O	0.47	0.28
P140	4°37'39.37''N	74°27'47.64''O	0.40	0.27
P141	4°37'35.78''N	74°27'45.57''O	0.32	0.37
P142	4°37'38.81''N	74°27'51.95''O	2.11	0.63
P143	4°37'37.90''N	74°27'57.15''O	2.79	0.68
P144	4°37'41.98''N	74°27'54.87''O	0.63	0.32
P145	4°37'43.65''N	74°27'55.79''O	0.35	0.30
P146	4°37'44.55''N	74°27'57.24''O	0.79	0.37
P147	4°37'41.30''N	74°27'59.07''O	0.50	0.34
P148	4°37'48.39''N	74°28'58.01''O	0.34	0.24
P149	4°37'45.92''N	74°28'0.96''O	1.49	0.57
P150	4°37'44.69''N	74°28'3.51''O	0.10	0.14
P151	4°37'44.37''N	74°28'4.79''O	0.14	0.16
P152	4°37'44.64''N	74°28'6.48''O	0.12	0.14
P153	4°37'45.36''N	74°28'5.48''O	0.26	0.24
P154	4°37'41.75''N	74°28'6.07''O	1.42	0.59
P155	4°37'41.12''N	74°28'1.79''O	1.58	0.52
P156	4°37'50.45''N	74°27'58.04''O	1.29	0.63
P157	4°37'52.97''N	74°27'57.58''O	0.33	0.25
P158	4°37'41.93''N	74°28'9.18''O	0.24	0.24
P159	4°37'41.27''N	74°28'8.48''O	0.23	0.23
P160	4°37'40.56''N	74°28'7.79''O	0.25	0.24
P161	4°37'38.92''N	74°28'6.47''O	0.70	0.33



P162	4°37'37.51''N	74°28'5.07''O	0.20	0.21
P163	4°37'36.91''N	74°28'3.62''O	0.37	0.30
P164	4°37'36.89''N	74°28'2.34''O	0.10	0.20
P165	4°37'35.38''N	74°28'0.03''O	1.67	0.51
P166	4°37'31.67''N	74°28'1.45''O	0.39	0.51
P167	4°37'31.42''N	74°28'0.47''O	0.24	0.24
P168	4°37'29.60''N	74°28'3.92''O	0.24	0.21
P169	4°37'28.41''N	74°28'5.47''O	0.17	0.19
P170	4°37'28.79''N	74°28'6.47''O	0.23	0.26
P171	4°37'31.19''N	74°28'6.06''O	0.31	0.27
P172	4°37'31.92''N	74°28'4.94''O	1.16	0.27
P173	4°37'39.84''N	74°28'9.91''O	0.33	0.23
P174	4°37'38.99''N	74°28'11.04''O	0.21	0.39
P175	4°37'37.20''N	74°28'8.89''O	0.66	0.37
P176	4°37'34.54''N	74°28'7.57''O	0.73	0.45
P177	4°37'28.07''N	74°28'14.54''O	1.10	1.15
P178	4°37'25.25''N	74°28'6.42''O	3.95	0.48
P179	4°37'28.88''N	74°28'7.95''O	0.62	0.34
P180	4°37'26.12''N	74°28'11.05''O	0.59	0.50
P181	4°37'21.37''N	74°28'15.91''O	1.11	0.63
P182	4°37'19.44''N	74°28'19.83''O	1.40	0.69
P183	4°37'19.26''N	74°28'25.04''O	2.13	0.28
P184	4°37'20.75''N	74°28'24.91''O	0.43	0.26
P185	4°37'21.31''N	74°28'25.79''O	0.25	0.40
P186	4°37'18.25''N	74°28'25.36''O	0.62	0.51
P187	4°37'27.99''N	74°28'27.99''O	0.81	0.72
P188	4°37'24.01''N	74°28'29.82''O	1.89	0.50
P189	4°37'27.08''N	74°28'35.16''O	3.29	0.20
P190	4°37'27.85''N	74°28'34.45''O	0.21	0.20
P191	4°37'27.85''N	74°28'34.45''O	0.21	0.17
P192	4°37'30.50''N	74°28'36.20''O	0.10	0.27
P193	4°37'28.93''N	74°28'36.47''O	0.40	0.15
P194	4°37'30.45''N	74°28'39.50''O	0.14	0.15
P195	4°37'29.82''N	74°28'38.12''O	0.11	0.14
P196	4°37'29.26''N	74°28'38.59''O	0.10	0.15
P197	4°37'31.56''N	74°28'38.13''O	0.12	0.18
P198	4°37'32.64''N	74°28'37.26''O	0.21	0.13
P199	4°37'28.19''N	74°28'37.11''O	0.10	0.15
P200	4°37'30.34''N	74°28'59.56''O	0.13	0.55
P201	4°37'35.71''N	74°28'59.26''O	1.76	0.52
P202	4°37'36.67''N	74°28'52.87''O	1.66	0.63
P203	4°37'32.62''N	74°28'41.72''O	2.10	0.65
P204	4°37'34.97''N	74°28'43.16''O	2.15	0.72
P205	4°37'22.35''N	74°28'33.11''O	1.25	0.62
P206	4°37'21.67''N	74°28'40.38''O	2.00	0.87
P207	4°37'21.97''N	74°28'48.93''O	4.97	0.78
P208	4°37'37.96''N	74°28'33.78''O	3.31	0.73
P209	4°37'33.69''N	74°28'32.82''O	2.91	0.69
P210	4°37'30.56''N	74°28'32.29''O	1.94	0.55



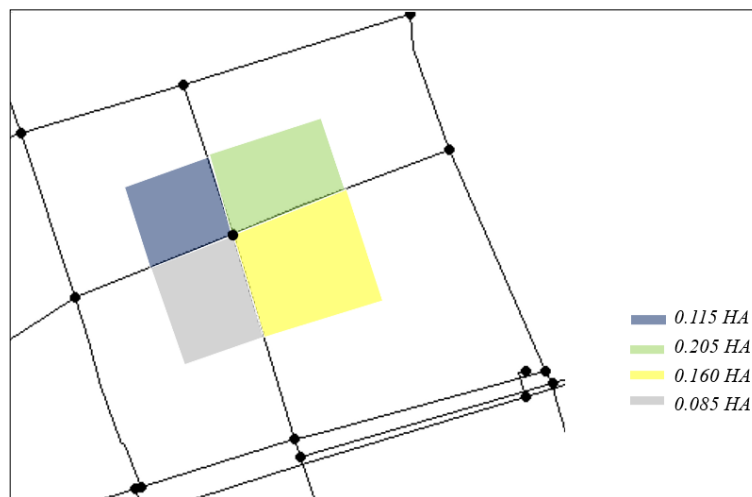
P211	4°37'34.68''N	74°28'25.03''O	1.75	1.15
P212	4°37'37.91''N	74°28'15.60''O	6.30	0.76
P213	4°37'37.21''N	74°28'5.89''O	3.63	1.00
P214	4°37'37.21''N	74°28'5.89''O	5.65	1.70

Fuente: Elaboración propia, Consulta sistema de posicionamiento geográfico Google Earth Pro.

Teniendo en consideración que el caudal tratado en PTAP es de 47.394 l/s y que actualmente el municipio no cuenta con la totalidad requerida de macromedidores instalados en la salida de la planta se toma el 90% del mencionado caudal, es decir 42.654 l/s para fines cuantitativos.

Es así, como en función del área de impacto (309.86 HA), son calculadas las demandas en cada uno de los 634 nodos. A continuación, se presenta el cálculo de la demanda base para un nodo teniendo en consideración las áreas aferentes de los polígonos influentes como se muestra en la Ilustración 47.

ILUSTRACIÓN 47 Cálculo de demanda base en nodo.



Fuente:Elaboración Propia.

$$Db = \frac{0.565 \text{ HA} * 42.654 \text{ L/S}}{309.86 \text{ HA}}$$

$$Db = 0.078 \text{ L/S}$$

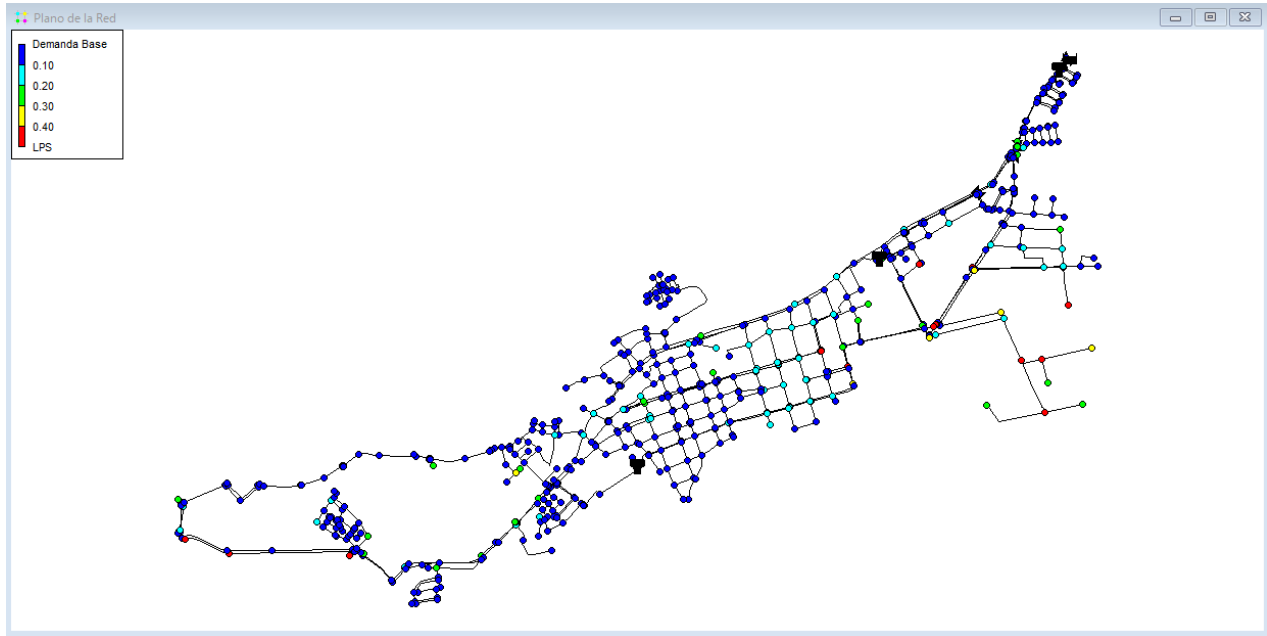
Nota aclaratoria:

El valor de 0.565 ha es la suma de las áreas aferentes indicadas en la Ilustración 46.



No se toma en cuenta los consumos en relación con el uso del suelo debido a que no existe en el municipio actualmente zonas industriales que difieran de manera importante en las demandas. Se observa en la Ilustración 48 las demandas asignadas resultado de los cálculos adoptados por nodo.

ILUSTRACIÓN 48- Demandas base



Fuente: Elaboración Propia

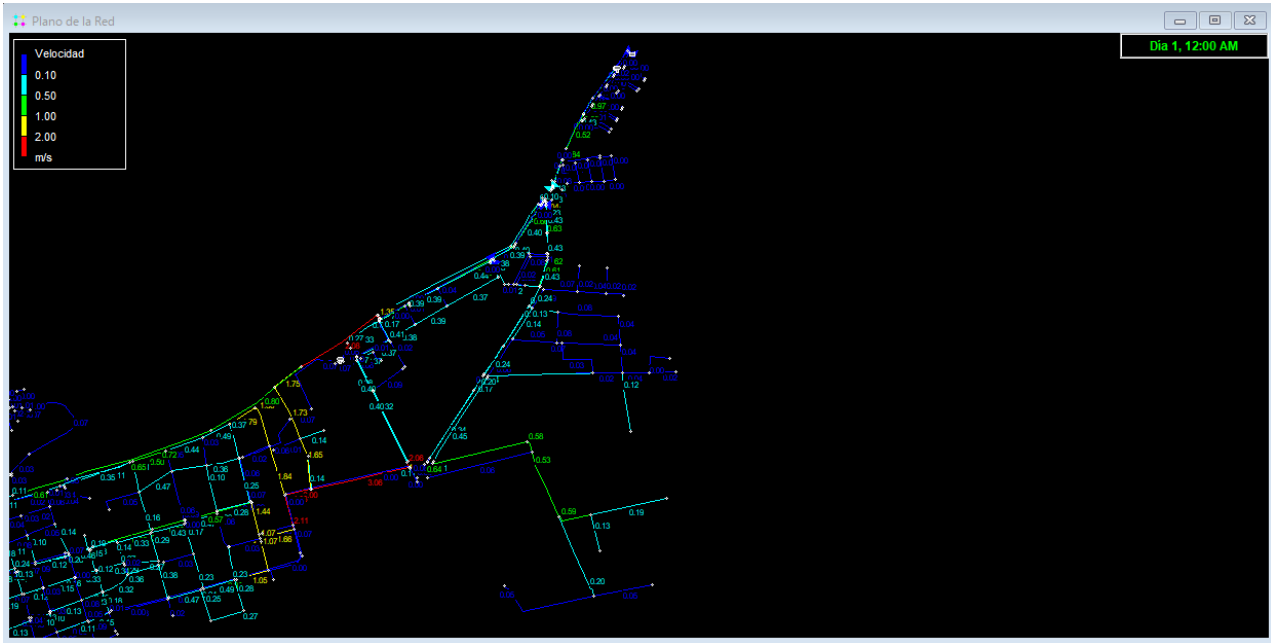
Las instalaciones de conducción existentes ejecutan su funcionamiento por gravedad, como se indica en el artículo 56 de la resolución número 0330 del año 2017, los sistemas de conducción la velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s, mientras que la velocidad máxima no debe superar los límites recomendados por el material de la tubería instalada, en el caso del municipio de La Mesa Cundinamarca, la mayor parte del material empleado es PVC.

PAVCO WAVIN, advierte que para tuberías con este material la velocidad máxima deberá ser de 6.0 m/s, calculado mediante la ecuación físicamente basada de Colebrook – White asumiendo que el comportamiento del flujo es uniforme.



En ese sentido, la mayor parte de las velocidades presentadas en la zona 1 están por debajo de lo establecido, sin embargo, las tuberías cercanas a la zona 2 cumplen con las velocidades dispuestas en la normativa como se observa en la Ilustración 49. En relación con esto, los valores están conforme al criterio de velocidad máxima.

ILUSTRACIÓN 49 Velocidades zona 1.

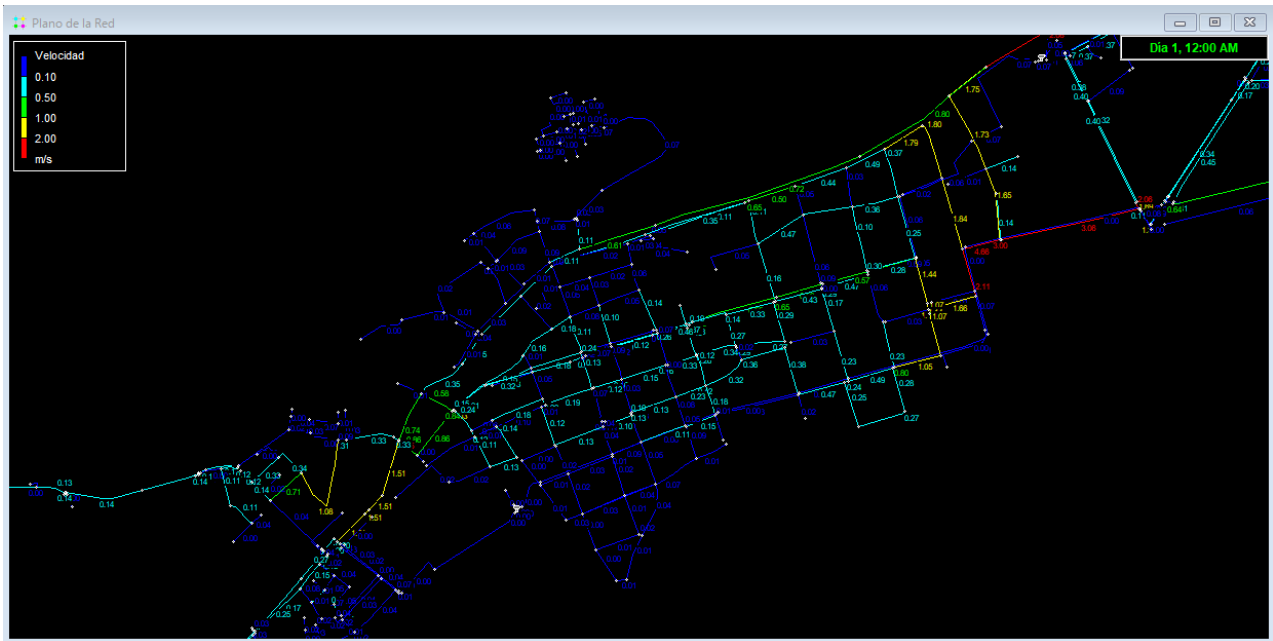


Fuente: Elaboración propia

Las velocidades producto de la simulación en la zona 2 en su mayoría no obedecen al parámetro mínimo de la magnitud física, no obstante, dos de las líneas de conducción principales cumplen con el parámetro mínimo, en ese marco, los valores están conforme al criterio de velocidad máxima como se observa en la Ilustración 50.



ILUSTRACIÓN 50- Velocidades zona 2.



Fuente: Elaboración propia

Las velocidades producto de la simulación en la zona 3 en su mayoría no cumplen la variable mínima de la magnitud física, en ese sentido, los valores están conforme al criterio de velocidad máxima como se observa en la ilustración 51.

ILUSTRACIÓN 51 Velocidades zona 3.



Fuente: Elaboración propia

La Mesa Cundinamarca tiene 31.302 habitantes permanentes y 7.794 habitantes transitorios, en relación con esto, el artículo 61 de la resolución número 0330 del año 2017, señala que las presiones mínimas para poblaciones mayores a 12500 habitantes deben ser mayores a 15 m.c.a., las presiones máximas según se menciona en el artículo 62 de la misma, no debe ser mayor a 50 m.c.a. Los valores obtenidos corresponden a los relacionados en la Ilustración 52 con su respectiva escala.

7.2.5.6 ZONA 1

En el área cercana al tanque de almacenamiento de la zona 1 las presiones están por debajo de lo establecido como presión mínima, sin embargo, en el área restante de la zona 1 estas cumplen con el requerimiento técnico. En cuanto al parámetro de presión máxima, en su mayoría cumple.

7.2.5.7 ZONA 2

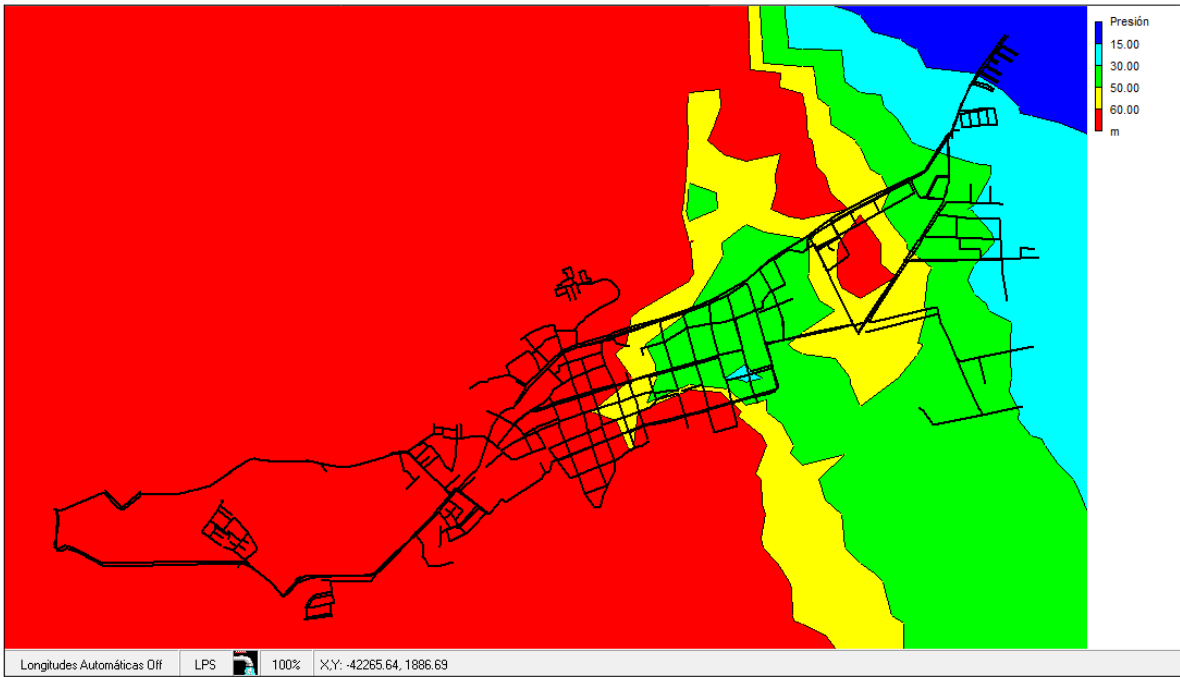
La zona 2 cumple con el parámetro de presión mínima, no obstante, el criterio de presión máxima sobrepasa lo establecido en la parte baja de la zona, el área cercana a la zona 1 cumple con dicha apreciación técnica.

7.2.5.8 ZONA 3

La zona 3 al igual que la zona 2 cumple con el parámetro de presión mínima, sin embargo, mientras que incumple los estándares de presión máxima, esta zona es crítica en función de los valores obtenidos de presión.



ILUSTRACIÓN 52- Grafico de contorno – presión.



Fuente: Elaboración propia



8 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación formativa, se analizó la red de distribución de agua potable en el casco urbano del municipio de La Mesa Cundinamarca, en la infraestructura de uso público se encuentran tanto fortalezas como deficiencias. Las contemplaciones con mayor importancia encontradas durante el flujo de procesos teóricos se relacionan a continuación.

- La simulación de las redes del municipio de La Mesa en el software EPANET, es una herramienta hidráulica a través de la cual se puede predecir el comportamiento frente a condiciones operativas, de mantenimiento o de expansión, de esa manera se pueden tomar mejores decisiones en diferentes procesos involucrados en la planeación, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento en el sistema en relación con el artículo 57 de la Resolución número 0330 del año 2017.
- La zona 3 ha manifestado ser una zona crítica debido a las altas presiones, en esta zona las presiones son inversamente proporcionales a las velocidades encontradas, es decir que la rapidez promedio del fluido en un punto determinado es mínima pero con una fuerza ascendente, en tal caso, es un escenario ideal para que existan pérdidas de agua en cualquier fisura y/o fuga presentada en el área transversal de la tubería, de ese modo, muy probablemente este sector presente un índice de agua no contabilizada importante.
- Mediante el manejo de softwares de sistema de información geográfica y softwares de diseño asistido se determina que las elevaciones manifestadas en la topografía del municipio impactan significativamente en los puntos de consumo ubicados en la zona



3 y parte de la zona 2, causa una situación problemática en el manejo de presiones del sistema.

- En vista de que actualmente no se evidencia la medición de caudales en las líneas de salida de la planta de tratamiento de agua potable, debido a la inexistencia requerida de dispositivos macromedidores, no existen datos puntuales de la demanda horaria en cada uno de los tres sectores, razón por la cual la simulación no comprende de un análisis hidráulico en cada hora del día en que es prestado el servicio.
- Según lo señalado en el artículo 60 de la Resolución número 0330 del año 2017, la profundidad de instalación de las tuberías que conforman la red de distribución no debe exceder de 1.5 metros medidos desde la clave de la tubería hasta la superficie del terreno, ni ser menor de 0.6 metros, con respecto a las instalaciones hidráulicas municipales, estas cumplen con el parámetro de profundidades máximas y mínimas según las especificaciones presentadas en los planos de optimización de la red de distribución de acueducto en el casco urbano.
- Bajo condiciones óptimas en las fuentes de abastecimiento, la frecuencia del servicio de acueducto para la zona urbana del municipio es de dos días por semana de doce horas cada vez, esto ha impactado directamente en la configuración de instalaciones hidráulicas en los hogares a causa del aumento de depósitos destinados al almacenamiento de agua para consumo humano en el municipio.

En términos de la calidad del agua potable conducida por la red de distribución de agua potable y según IRCA para el casco urbano del municipio de la Mesa se construyó un conglomerado de conclusiones fruto del análisis de los procesos en la PTAP, resultados IRCA y encuestas de la comunidad.



- La operación en la PTAP cumple con la resolución 0330 del 2017 y ejecuta los procesos convencionales para potabilizar el agua, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Garantizando que estos procesos proporcionan una calidad del agua aceptable para la población.
- Para el sector urbano del municipio de La Mesa no se registraron porcentajes IRCA invariablemente sanitarios y solo dos muestras presentaron valores altos del 38 %, posteriormente estas cifras se redujeron a el 0 %. Demostrando la gestión realizada por ERAT para disminuir el riesgo de consumo.
- En general el aumento del IRCA mensual se presentó en los meses de febrero, abril, mayo y noviembre, esto tiene una relación directa con las temporadas de lluvias, que altera la calidad del agua.
- La percepción de la población con respecto a la calidad del agua potable difiere en la medida que se aleje de la planta de tratamiento, aunque en general se tiene una visión positiva, la población del sector 3 presenta la mayor inconformidad en términos de la calidad del agua potable y de la frecuencia del servicio.
- Se establece que 6 de cada 10 muestras que se realicen en el casco urbano del municipio de la Mesa no presentarán un riesgo para la salud y un 77 % de las muestras mensuales estarán ubicadas entre sin riesgo o bajo.



9 RECOMENDACIONES

- Es recomendable la actualización del trazado de las instalaciones de suministro de agua potable en el área de prestación del servicio por parte de la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.
- Es necesaria la actualización de las demandas base toda vez que se lleven a feliz término los convenios interadministrativos que signifiquen a la población un aumento de caudal y por ende una mayor frecuencia del servicio de acueducto.
- Una vez se tengan identificadas la totalidad de las líneas de salida en la planta de tratamiento de agua potable y sean instalados los dispositivos macromedidores requeridos, es necesaria la toma de datos de caudal para tener información sobre demandas horarias por sector en el periodo de tiempo destinado al suministro respectivo.
- Es fundamental adelantar un trabajo de campo con el objeto de identificar potenciales conexiones ilegales en la parte baja del municipio, puesto que este indicador está directamente relacionado con el índice de agua no contabilizada.
- Una alternativa para la mitigación de las altas presiones son las válvulas reductoras de presión, este elemento de control hidráulico podría reducir la presión aguas abajo, éstas pueden tener una ubicación basada en un previo análisis del comportamiento frente a condiciones operativas resultantes de la simulación con el software EPANET.
- Se recomienda implementar un formato que permita realizar un seguimiento controlado por parte del personal a cargo, en los retrolavados, que no superen los 5 a 15 días, los pesajes y cambios en las balas de cloro gaseoso y los tiempos para el lavado de los tanques de almacenamiento.

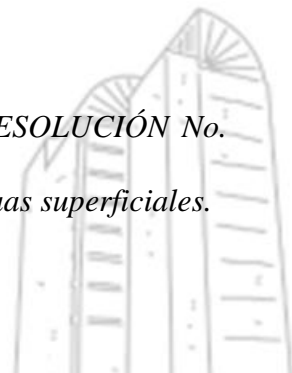


- Proponer antes de las temporadas de lluvias, un plan de mejoramiento del tratamiento del agua en la PTAP para evitar un aumento del IRCA.
- Se recomienda a ERAT con base en los resultados obtenidos en las encuestas realizar un mayor seguimiento a el estado y comportamiento de los medidores domiciliarios de los usuarios en las tres áreas de influencia, disponiendo de un mayor énfasis de seguimiento del servicio en general para la zona 3.



10 BIBLIOGRAFÍA

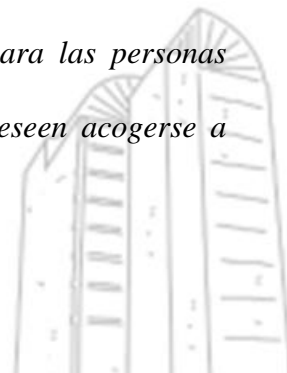
- (1) **Acosta, J., & Ulloa, C. (2001).** Geología de la Plancha 208 Villeta. Recuperado del sitio de internet de INGEOMINAS:<https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010020136/Documento/pdf/0101201361101000.pdf>
- (2) **Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca. (2000).** *Plan Básico de Ordenamiento Territorial.* Recuperado de https://lamesacundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/lamesacundinamarca/content/files/000047/2330_documento-tecnico-pobt.pdf.
- (3) **Alcaldía Municipal de La Mesa Cundinamarca. (2022).** *Revisión, Actualización y Reformulación del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de La Mesa, Cundinamarca.* (Segundo Producto Diagnostico).
- (4) **Alcaldía Municipal de La Mesa. (2006).** *Tablas de Gestión Documental.* Recuperado de <https://www.lamesacundinamarca.gov.co/Transparencia/GestionDocumental/Tablas%20Retenci%C3%B3n%20Documental%20Alcald%C3%ADa%20de%20La%20Mesa%20Parte%201.pdf>.
- (5) **Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2012).** *RESOLUCIÓN No. 0881 DE 23 MAR 2012 – Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.*
- (6) **Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2018).** *Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Bogotá.* Recuperado de <https://www.car.gov.co/vercontenido/3691>.
- (7) **Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2018).** *RESOLUCIÓN No. 1546 DE 31 MAY 2018 – Por la cual se otorga una concesión de aguas superficiales.*



- (8) EMPRESAS PÚBLICAS DE CUNDINAMARCA S.A. E.S.P. (2013).** *Optimización de la red de distribución de acueducto en el casco urbano del municipio de la mesa – Cundinamarca.* [PLANO N° 1/18]. EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA S.A. E.S.P.
- (9) Guzmán, D., Ruiz, J., & Cadena, D. (2014).** *Regionalización de Colombia según la Estacionalidad de la Precipitación Media Mensual, a través Análisis de Componentes (ACP).* Recuperado del sitio de internet Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Regionalizaci%25C3%25B3n%2Bde%2Bla%2Blluvia%2Ben%2BColombia.pdf/92287f96-840f-4408-8e76-98b668b83664>.
- (10) Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014).** *Zonificación Climática.* (140100-05/14. V1). Recuperado de
<http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/I40100-05%20-14%20V1%20Zonificacion%20climatica.pdf>.
- (11) Liévano, A. (2013).** Calidad Biológica de las Aguas Superficiales de la cuenca del Río Apulo. *Universidad El Bosque - Bogotá, volumen 12 (2), 3-4.* Páginas.
- (12) López, R. A. (2000).** *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.* Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- (13) Melo, H., & Camacho, A. (2005).** *Mapa de cobertura de la Tierra. Cuenca Magdalena – Cauca.* Recuperado del sitio de internet de IDEAM:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINA L.pdf>



- (14) Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014).** *Elaboración del Diagnóstico. Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá. Subcuenca Rio Apulo.* Recuperado de <https://www.car.gov.co/vercontenido/47>.
- (15) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007).** *Resolución 2115 de 2007 – Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano.* Recuperado de https://laboratoriodeanalisis.lasalle.edu.co/wcm/connect/LIAC/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resoluci%C3%B3n_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMo0SFe.
- (16) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008).** *Resolución 0811 de 2008 – Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad de agua para consumo humano en la red de distribución.* Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0811-2008>.
- (17) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010).** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, TITULO B. Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- (18) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2019).** *Resolución 0571 de 2019 – Por la cual se reglamenta el plan de gestión para las personas prestadoras de los servicios de acueducto o alcantarillado que deseen acogerse a*



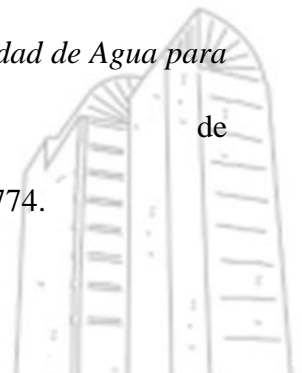
condiciones diferentes en zonas rurales. Recuperado de
<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0571%20-%202019.pdf>.

(19) Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Decreto 0302 de 2000* - Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado. Recuperado de
http://www1.eaaay.gov.co/Normatividad/decreto_302_de_2000.pdf.

(20) Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). *Resolución 0622 de 2020 – Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural, y se dictan otras disposiciones.* Recuperado de
https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%20622%20de%202020.pdf

(21) Ministerio de Salud y Protección Social & Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0549 de 2017 – Por la cual se adopta la guía que incorpora los criterios y actividades mínimas de los estudios de riesgo, programas de reducción de riesgo y planes de contingencia de los sistemas de suministro de agua para consumo humano y se dictan otras disposiciones.* Recuperado de
https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolucion%20No.0549%20de%202017.pdf.

(22) Ministerio de Salud y Protección social. (2007). *Decreto 1575 de 2007 – Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad de Agua para Consumo Humano.* Recuperado de
https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3774.



- (23) **Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010).** *Título B. Sistemas de Acueducto - Reglamento Técnico Del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.* Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- (24) **Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015).** *Decreto 0475 de 2015 - Por el cual se reglamenta el artículo 250 de la Ley 1450 de 2011 y se dictan otras disposiciones.* Recuperado de <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRETO%20475%20DEL%2017%20DE%20MARZO%20DE%202015.pdf>.
- (25) **Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016).** *Decreto 1898 de 2016 - Por el cual se adiciona el Título 7, Capítulo 1, a la Parte 3, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, que reglamenta parcialmente el artículo 18 de la Ley 1753 de 2015, en lo referente a esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en zonas rurales.* Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/1898%20-%202016.pdf>.
- (26) **Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017).** *Resolución número 0330. “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009”.* Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- (27) **Pizano, C., & García, H. (2014).** *El Bosque seco Tropical en Colombia.* Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt en el marco del plan operativo anual 2013 con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- (28) **Robert, L. M. (1996).** *Mecánica de Fluidos Aplicada*. Naucalpan de Juárez, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S.A.
- (29) **Rocha, A. (2003).** *La bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidráulico. Revista de ingeniería civil.* Recuperado de https://www.academia.edu/6432442/LA_BOCATOMA_ESTRUCTURA_CLAVE_EN_UN_PROYECTO_DE_APROVECHAMIENTO_HIDR%C3%81ULICA.
- (30) **Sistema Estadísticas Territoriales. (2018).** 25386 – *La Mesa, Cundinamarca*. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/25386>.
- (31) **Sistema Estadísticas Territoriales. (2022).** 25386 – *La Mesa, Cundinamarca*. Recuperado de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/25386>.
- (32) **Superintendencia de servicios Públicos Domiciliarios. (2018).** *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado*. Recuperado de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Dic/estudio_sectorial_de_los_servicios_publicos_domiciliarios_de_acueducto_y_alcantarillado_28_dic_rev_1.pdf
- (33) **Superintendencia de servicios Públicos Domiciliarios. (2019).** *Evaluación Integral de prestadores de Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.* Recuperado de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- Zapata, A. (2019). Proyecto Integrador: *Diagnóstico de la PTAP del Municipio de La Mesa, Cundinamarca*. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.



11 ANEXOS

ANEXO 1. TABLAS EPANET

ANEXO 2. PLANOS PLAN MAESTRO ACUEDUCTO

ANEXO 3. ENCUESTAS

12 ENTREGABLES

PRODUCTO ENTREGABLE 1. SIMULACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA CON EL SOFTWARE EPANET V.2.0.

