

**PROYECTO INTEGRADOR: DIAGNÓSTICO DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE
LA MESA, CUNDINAMARCA**

**Angie Tatiana Zapata La Rotta
Estudiante**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
ABRIL 2019**

**PROYECTO INTEGRADOR: DIAGNÓSTICO DE LA PTAP DEL MUNICIPIO DE
LA MESA, CUNDINAMARCA**

**Angie Tatiana Zapata La Rotta
Estudiante**

**Jorge Humberto Benavides Santamaría
Director Académico**

**Oscar Baquero Ángel
Par Académico**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
ABRIL 2019**

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	17
2. ABSTRAC	18
3. INTRODUCCIÓN	19
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
4.1. ANTECEDENTES	20
5. JUSTIFICACIÓN	22
6. OBJETIVOS	23
6.1. OBJETIVO GENERAL	23
6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	23
7. MARCO REFERENCIAL	24
7.1. MARCO TEÓRICO	24
7.1.1. <i>Información general del Municipio de La Mesa, Cundinamarca.</i>	24
7.1.2. <i>Marco estratégico de la cuenca.</i>	27
7.1.3. <i>Climatología.</i>	28
7.1.4. <i>Geología general.</i>	29
7.1.5. <i>Usos del suelo.</i>	31
7.1.6. <i>Vías y Transporte.</i>	31
7.1.7. <i>Servicios públicos.</i>	32
7.2. ESTADO DEL ARTE	34
8. REFERENCIA TEÓRICA	38
8.1. ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA	38

8.1.1.	<i>Características físicas del agua para el consumo humano.....</i>	<i>38</i>
8.1.2.	<i>Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.</i>	<i>39</i>
8.1.3.	<i>Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.....</i>	<i>40</i>
8.1.4.	<i>Características microbiológicas.</i>	<i>41</i>
8.2.	PURIFICACIÓN DEL AGUA.....	41
8.2.1.	<i>Procesos y Operaciones unitarias.....</i>	<i>42</i>
8.2.2.	<i>Aireación.</i>	<i>44</i>
8.2.3.	<i>Mezcla rápida.....</i>	<i>44</i>
8.2.4.	<i>Floculación.....</i>	<i>46</i>
8.2.5.	<i>Sedimentación.....</i>	<i>47</i>
8.2.6.	<i>Filtración.....</i>	<i>49</i>
9.	MARCO CONCEPTUAL	50
10.	MARCO LEGAL	55
11.	CRONOGRAMA.....	56
12.	ESTUDIO DE POBLACIÓN Y DEMANDA DE AGUA	57
12.1.	POBLACIÓN MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA.....	57
12.1.1.	<i>Población según censos.....</i>	<i>57</i>
12.1.2.	<i>Proyección de población futura.....</i>	<i>58</i>
12.1.3.	<i>Comparación de proyección de población Vs. Proyección del DANE.....</i>	<i>68</i>
12.2.	ESTUDIOS DE DEMANDA DE AGUA	69
12.2.1.	<i>Definición del período de diseño.</i>	<i>69</i>
12.2.2.	<i>Asignación de la dotación neta.</i>	<i>69</i>
12.2.3.	<i>Proyección de demandas de agua.....</i>	<i>70</i>
13.	DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP	75

13.1.	PUNTOS DE CAPTACIÓN	75
13.1.1.	<i>Bocatoma</i>	75
13.2.	DESARENADOR	76
13.3.	CAJA DE REPARTICIÓN.....	77
13.4.	PTAP.....	77
13.4.1.	<i>Caja de repartición</i>	78
13.4.2.	<i>Conducción de Anapoima- PTAP La Mesa</i>	79
13.4.3.	<i>Cámara de Aquietamiento</i>	80
13.4.4.	<i>Canaleta Parshall</i>	81
13.4.5.	<i>Mezcla rápida (Mecánica e hidráulica)</i>	81
13.4.6.	<i>Floculación (Mezcla lenta-hidráulica)</i>	83
13.4.7.	<i>Sedimentación (Convencional y Alta tasa)</i>	83
13.4.8.	<i>Filtración</i>	85
13.4.9.	<i>Cloración</i>	86
13.4.10.	<i>Almacenamiento</i>	87
13.4.11.	<i>Tanque de almacenamiento para lavado de filtros</i>	87
13.4.12.	<i>Cuarto de Bombas</i>	88
		89
13.4.13.	<i>Análisis de agua</i>	89
13.4.14.	<i>PTAP Compacta de 10 l/s</i>	90
13.5.	ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP.....	91
13.5.1.	<i>Cámara de Aquietamiento</i>	91
13.5.2.	<i>Canaleta Parshall</i>	92
13.5.3.	<i>Floculación (hidráulica)</i>	94
13.5.4.	<i>Sedimentación</i>	95
13.5.5.	<i>Filtros</i>	98

13.6.	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL A TRATAR EN LA PTAP	99
13.7.	EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP	99
13.7.1.	<i>Cámara de Aquietamiento.</i>	99
13.7.2.	<i>Canaleta Parshall.</i>	101
13.7.3.	<i>Mezcla rápida (hidráulica).</i>	104
13.7.4.	<i>Mezcla rápida (mecánica).</i>	107
13.7.5.	<i>Floculación (hidráulica).</i>	109
13.7.6.	<i>Sedimentación.</i>	112
5.7.6	<i>Filtros.</i>	115
13.8.	PUNTOS CRÍTICOS EN LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO	116
13.8.1.	<i>Válvulas de la Caja de Repartición.</i>	116
13.8.2.	<i>Tanque de lavado de filtros.</i>	117
13.8.3.	<i>Aforador.</i>	117
13.8.4.	<i>Mezcla rápida (hidráulica) – Vertedero.</i>	118
13.8.5.	<i>Tanque de Tolva.</i>	119
13.8.6.	<i>Mezcla rápida (mecánica) – Paletas.</i>	120
13.8.7.	<i>Floculación (hidráulica).</i>	120
13.8.8.	<i>Sedimentación.</i>	120
13.8.9.	<i>Filtros.</i>	121
13.8.10.	<i>Tanques de almacenamiento.</i>	122
14.	PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA DETERMINAR PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA DE LA PTAP	123
15.	DIAGNOSTICO DE LA PTAP	125
15.1.	CONSECIÓN DEL AGUA PARA EL MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA	125
15.1.1.	<i>Proyección de población.</i>	125

15.1.2.	<i>Cálculo del caudal.....</i>	129
15.1.3.	<i>Conclusiones.....</i>	130
15.2.	CONSECIÓN DEL AGUA PARA EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA, CUNDINAMARCA	131
15.3.	SUMINISTRO DE AGUA	132
15.4.	POBLACIÓN	135
15.4.1.	<i>Población según censos.....</i>	136
15.4.2.	<i>Proyección de población futura.....</i>	137
15.4.3.	<i>Definición del período de diseño.</i>	140
15.4.4.	<i>Proyección de demandas de agua.....</i>	142
15.5.	PATOLOGÍA DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS	144
15.5.1.	<i>Muro de la habitación de bombas-filtros.....</i>	144
15.5.2.	<i>Vertedero (Mezcla Rápida- mecánica).</i>	146
15.5.3.	<i>Canal (Mezcla rápida- mecánica – Sedimentador 3).....</i>	147
15.5.4.	<i>Tanque de distribución.....</i>	148
15.6.	PRUEBAS DE LABORATORIO	152
15.6.1.	<i>Turbiedad.....</i>	152
15.6.2.	<i>Alcalinidad.....</i>	154
15.6.3.	<i>Equipo de pH y Temperatura.....</i>	154
15.6.4.	<i>Calidad de agua.....</i>	156
15.6.5.	<i>Ensayo de Jarras.....</i>	158
15.7.	PREDISEÑO DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	161
15.7.1.	<i>Lodo producido por Floculador y Sedimentador.....</i>	161
15.7.2.	<i>Diseño de Lechos de Secado de Lodos Floculadores-Sedimentadores.....</i>	164
15.7.3.	<i>Lodo producido por Filtros.....</i>	165
15.7.4.	<i>Diseño de Lechos de Secado para Filtros.....</i>	167
15.8.	SEGURIDAD INDUSTRIAL	168

15.8.1.	<i>Cerramiento</i>	168
15.8.2.	<i>Señalización</i>	168
15.8.3.	<i>Rutas de evacuación</i>	169
15.8.4.	<i>Botiquín y extintores</i>	169
15.8.5.	<i>Zona de bienestar</i>	169
15.8.6.	<i>Clasificación de residuos</i>	169
15.8.7.	<i>Barandas de Seguridad</i>	170
15.8.8.	<i>Baños</i>	170
15.8.9.	<i>Almacenamiento</i>	170
15.8.10.	<i>Dotación</i>	170
15.8.11.	<i>Trabajo en alturas</i>	171
16.	ALTERNATIVAS	172
16.1.	PRIMER ALTERNATIVA	172
16.2.	SEGUNDA ALTERNATIVA	173
16.3.	TERCERA ALTERNATIVA.....	173
17.	HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE LA PTAP	174
17.1.	TOLVA	174
17.2.	MOTOR FLOCULADOR MECÁNICO	175
17.3.	CLORADOR	176
17.4.	BOMBAS FILTROS ANTIGUA	177
17.5.	BOMBAS DE FILTROS NUEVAS.....	178
17.6.	BOMBA DE AIRE PARA LAVADO DE FILTROS.....	179
18.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	180
18.1.	CAPTACIÓN- CAJA DE REPARTICIÓN.....	180
18.1.1.	<i>Inspección preliminar</i>	180

18.1.2.	<i>Operación</i>	181
18.1.3.	<i>Operación diaria</i>	181
18.1.4.	<i>Monitoreo</i>	181
18.1.5.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	181
18.2.	COAGULACIÓN- MEZCLA RÁPIDA	182
18.2.1.	<i>Inspección preliminar</i>	183
18.2.2.	<i>Operación</i>	183
18.2.3.	<i>Operación diaria</i>	183
18.2.4.	<i>Monitoreo</i>	184
18.2.5.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	184
18.3.	FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA)	185
18.3.1.	<i>Inspección preliminar</i>	185
18.3.2.	<i>Operación</i>	186
18.3.3.	<i>Operación diaria</i>	186
18.3.4.	<i>Monitoreo</i>	186
18.3.5.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	187
18.4.	SEDIMENTACIÓN	187
18.4.1.	<i>Inspección preliminar</i>	187
18.4.2.	<i>Operación</i>	187
18.4.3.	<i>Operación diaria</i>	187
18.4.4.	<i>Monitoreo</i>	188
18.4.5.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	188
18.5.	FILTRACIÓN	189
18.5.1.	<i>Inspección preliminar</i>	189
18.5.2.	<i>Operación diaria</i>	189
18.5.3.	<i>Monitoreo</i>	189

18.5.4.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	190
18.6.	TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	190
18.6.1.	<i>Inspección preliminar</i>	190
18.6.2.	<i>Operación diaria</i>	190
18.6.3.	<i>Monitoreo</i>	190
18.6.4.	<i>Actividades de mantenimiento</i>	191
19.	CONCLUSIONES	192
20.	BIBLIOGRAFÍA	196

TABLAS

TABLA 1 FORMACIONES GEOLÓGICAS DEL MUNICIPIO LA MESA.....	29
TABLA 2 VALORES ADMISIBLES PARA LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA.....	38
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN RECONOCIDO EFECTO ADVERSO EN LA SALUD HUMANA.....	39
TABLA 4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS QUE TIENEN IMPLICACIONES SOBRE LA SALUD HUMANA.....	40
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.	41
TABLA 6 ESTÁNDARES PARA FUENTES DE AGUAS CRUDAS.....	42
TABLA 7 PROCESOS DE PURIFICACIÓN DE AGUA.	43
TABLA 8 CLASIFICACIÓN DE FILTROS.	49
TABLA 9 CENSOS POBLACIONALES MUNICIPIO LA MESA.....	57
TABLA 10 PROYECCIÓN POBLACIONAL MÉTODO EXPONENCIAL.....	59
TABLA 11. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN AÑO 2043 POR LOS MÉTODOS: ARITMÉTICO, GEOMÉTRICO Y EXPONENCIAL.	66
TABLA 12 DOTACIÓN NETA MÁXIMA POR HABITANTE SEGÚN LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA.	70
TABLA 13. PROYECCIÓN DE CAUDALES	74
TABLA 14. VARIABLES DE LA CÁMARA DE AQUIETAMIENTO.....	91
TABLA 15. DIMENSIONES DE LA CÁMARA DE AQUIETAMIENTO	92
TABLA 16. VARIABLES DE LA CANALETA PARSHALL.....	93
TABLA 17. DIMENSIONES DE LA CANALETA PARSHALL.....	93
TABLA 18. VARIABLES DEL FLOCULADOR (HIDRÁULICO).....	94
TABLA 19. DIMENSIONES DEL FLOCULADOR (HIDRÁULICO).....	95
TABLA 20. VARIABLES DEL SEDIMENTADOR CONVENCIONAL.....	96
TABLA 21. DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR CONVENCIONAL	96
TABLA 22. VARIABLES DEL SEDIMENTADOR	97
TABLA 23. VARIABLES DEL SEDIMENTADOR DE ALTA TASA.....	97

TABLA 24. DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	97
TABLA 25. VARIABLES DE FILTROS.....	98
TABLA 26. DIMENSIONES DEL FILTRO	98
TABLA 27. VARIABLES PARA CÁLCULOS DE CÁMARA DE AQUIETAMIENTO	100
TABLA 28. VARIABLES PARA CÁLCULOS DE VERTEDERO (MEZCLA RÁPIDA-HIDRÁULICA)	104
TABLA 29. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DEL MEZCLADOR MECÁNICO.	107
TABLA 30. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DEL FLOCULADOR COX.....	109
TABLA 31. VARIABLES PARA CÁLCULOS DE SEDIMENTADOR CONVENCIONAL.....	112
TABLA 32. VARIABLES PARA CÁLCULOS DE SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	114
TABLA 33. VARIABLES PARA LOS CÁLCULOS DE LOS FILTROS.	115
TABLA 34. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.	126
TABLA 35. CÁLCULO DE TASA DE CRECIMIENTO POBLACIONAL	127
TABLA 36. VEREDAS MUNICIPIO LA MESA.....	134
TABLA 37. USUARIOS QUE ABASTECE LA PTAP.....	136
TABLA 38. CENSOS CASCO URBANO DANE 2005.....	136
TABLA 39 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN MÉTODO EXPONENCIAL.....	138
TABLA 40. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN CASCO URBANO.....	141
TABLA 41. DEMANDA DE AGUA.	143

FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA.	26
FIGURA 2. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA SAN JOAQUÍN.	28
FIGURA 3. VÍAS PRIMARIAS, SECUNDARIAS MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA.	32
FIGURA 4. SUMINISTRO DE ABASTECIMIENTO PARA LOS MUNICIPIOS DE LA MESA Y ANAPOIMA.	76
FIGURA 5. ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP LA MESA, CUNDINAMARCA	78
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA SEGÓN LAS CONCESIONES.	132
FIGURA 7. VEREDAS MUNICIPIO LA MESA.	135

FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1. CAJA DE REPARTICIÓN (TATIANA ZAPATA, 2019).....	79
FOTOGRAFÍA 2. REPARTICIÓN ANAPOIMA- LA MESA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	79
FOTOGRAFÍA 3. CONDUCCIÓN DE ANAPOIMA- PTAP LA MESA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	80
FOTOGRAFÍA 4. CÁMARA DE AQUIETAMIENTO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	80
FOTOGRAFÍA 5. CANALETA PARSHALL (TATIANA ZAPATA, 2019).	81
FOTOGRAFÍA 6. PALETAS MEZCLA RÁPIDA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	82
FOTOGRAFÍA 7. VERTEDERO MEZCLA RÁPIDA HIDRÁULICA (TATIANA ZAPATA, 2019).	82
FOTOGRAFÍA 8. FLOCULADORES TIPO COX (TATIANA ZAPATA, 2019).	83
FOTOGRAFÍA 9. SEDIMENTADOR CONVENCIONAL (TATIANA ZAPATA, 2019).	84
FOTOGRAFÍA 10. SEDIMENTADOR DE ALTA TASA (TATIANA ZAPATA, 2019).	85
FOTOGRAFÍA 11. FILTROS (TATIANA ZAPATA, 2019).	86
FOTOGRAFÍA 12. CLORACIÓN (TATIANA ZAPATA, 2019).	86
FOTOGRAFÍA 13. TANQUES DE ALMACENAMIENTO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	87
FOTOGRAFÍA 14. TANQUE AÉREO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	88
FOTOGRAFÍA 15. CUARTO DE BOMBAS (TATIANA ZAPATA, 2019).	89
FOTOGRAFÍA 16. ANÁLISIS DEL AGUA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	90
FOTOGRAFÍA 17. PTAP CONVENCIONAL (TATIANA ZAPATA, 2019).....	90
FOTOGRAFÍA 18. CAUDALÍMETRO (TATIANA ZAPATA, 2019).	92
FOTOGRAFÍA 19. VÁLVULAS DE LA CAJA DE REPARTICIÓN (TATIANA ZAPATA, 2019).	116
FOTOGRAFÍA 20. ESCAPE TUBERÍA ENTRADA Y SALIDA TANQUE AÉREO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	117
FOTOGRAFÍA 21. RESALTO HIDRÁULICO - PUNTO DE MAYOR TURBULENCIA (TATIANA ZAPATA, 2019).	118
FOTOGRAFÍA 22. VERTEDERO DE SALIDA DE CANALETA PARSHALL (TATIANA ZAPATA, 2019).	119
FOTOGRAFÍA 23. TANQUE DE TOLVA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	119

FOTOGRAFÍA 24. REBOSE DE SEDIMENTADOR DE ALTA TASA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	121
FOTOGRAFÍA 25. PRESENCIA DE FLOC EN FILTROS (TATIANA ZAPATA, 2019).	122
FOTOGRAFÍA 26. FORMATO DE CONTROL DE ENSAYO DE JARRAS (TATIANA ZAPATA, 2019).	124
FOTOGRAFÍA 27. CUARTO DE BOMBAS (TATIANA ZAPATA, 2019).....	144
FOTOGRAFÍA 28. CUARTO DE BOMBAS (TATIANA ZAPATA, 2019).....	145
FOTOGRAFÍA 29. VERTEDERO MEZCLA RÁPIDA HIDRÁULICA (TATIANA ZAPATA, 2019).	146
FOTOGRAFÍA 30. EXPOSICIÓN DE AGREGADO GRUESO (TATIANA ZAPATA, 2019).	147
FOTOGRAFÍA 31. FISURAS DEL CANAL DE SEDIMENTACIÓN (TATIANA ZAPATA, 2019).....	147
FOTOGRAFÍA 32. ABOMBAMIENTO PAREDES DE FILTROS (TATIANA ZAPATA, 2019).	148
FOTOGRAFÍA 33. CORROSIÓN INDUCIDA POR CLORUROS (TATIANA ZAPATA, 2019).....	148
FOTOGRAFÍA 34. EQUIPO HANNA INSTRUMENTS PARA MEDIR TURBIEDAD CON SUS RESPECTIVAS MUESTRAS PATRÓN (TATIANA ZAPATA, 2019).	153
FOTOGRAFÍA 35. TURBIDÍMETRO PORTÁTIL (TATIANA ZAPATA, 2019).	153
FOTOGRAFÍA 36. SULFATO DE ALUMINIO E INDICADOR NARANJA DE METILO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	154
FOTOGRAFÍA 37. EQUIPO HANNA PARA PH Y TEMPERATURA (TATIANA ZAPATA, 2019).....	155
FOTOGRAFÍA 38. INDICADOR UNIVERSAL PARA PH (TATIANA ZAPATA, 2019).	155
FOTOGRAFÍA 39. ENSAYO DE JARRAS. DOSIS OPTIMA JARRA N° 5 (TATIANA ZAPATA, 2019).....	160
FOTOGRAFÍA 40. NATA DE EXCESO DE SULFATO DE ALUMINIO (TATIANA ZAPATA, 2019).....	160
FOTOGRAFÍA 41. TOLVA FADIPARTES LTDA (TATIANA ZAPATA, 2019).	174
FOTOGRAFÍA 42. MOTOR DE MEZCLADOR DE PALETAS (TATIANA ZAPATA, 2019).	175
FOTOGRAFÍA 43. CLORADOR - EJECTOR (TATIANA ZAPATA, 2019).....	176
FOTOGRAFÍA 44. BOMBA LOHER & SOHNE (TATIANA ZAPATA, 2019).	177
FOTOGRAFÍA 45. BOMBAS NUEVAS DE FILTROS VOGES (TATIANA ZAPATA, 2019).	178
FOTOGRAFÍA 46. BOMBA DE AIRE PUMPOWER (TATIANA ZAPATA, 2019).	179

DEDICATORIA

Querido abuelito!!

Aunque la circunstancias no te permitieron acompañarme en este momento,

gracias por inculcar la semilla de persistencia.

Te llevo presente en mi pensamiento y corazón.

Con amor, Tatiana.

1. RESUMEN

En los procesos de tratamiento para potabilización del agua, se utilizan productos químicos que consumen la alcalinidad, generando reducción del pH que hace necesario realizar el ajuste o estabilización del pH del agua cruda.

Dentro de las técnicas de evaluación del proceso de estabilización del pH y coagulación, los índices y estadísticas son el método más factible permitiendo predecir el comportamiento del agua en el sistema de distribución del agua; sin embargo, al no existir estos datos, es necesario conocer las aplicaciones y limitaciones de cada uno para su correcta aplicación.

Este Proyecto de Grado tuvo como finalidad evaluar los procesos físico-químico, hidráulico y biológico de la PTAP La Mesa, Cundinamarca dando un diagnóstico en donde se establecen alternativas de solución en cada uno de sus puntos críticos y sugiriendo un estudio de Patología. Se realizó el levantamiento topográfico del predio y las unidades de la PTAP obteniendo planos actualizados. Asimismo, se añadió algunas consideraciones para el cumplimiento de Seguridad Industrial.

Palabras Claves: Proceso físico químico, proceso hidráulico, proceso biológico, PTAP, pH, alcalinidad, coagulación.

2. ABSTRAC

In the treatment processes for water purification, chemical products that consume the alkalinity are used, generating pH reduction that makes it necessary to adjust or stabilize the pH of the treated water.

Within the techniques of evaluation of the process of stabilization of pH and coagulation, the indexes and statistics are the most feasible method allowing to predict the behavior of water in the water distribution system; However, as these data do not exist, it is necessary to know the applications and limitations of each one for its correct application.

The purpose of this Degree Project was to evaluate the physical-chemical, hydraulic and biological processes of the PTAP La Mesa, Cundinamarca, giving a diagnosis in which alternative solutions are established in each of its critical points and suggesting a pathology study. The topographic survey of the property and the units of the PTAP were carried out, obtaining updated plans. Also, some considerations for the compliance of Industrial Safety were added.

Keywords: Physical-chemical process, hydraulic process, biological process, PTAP, pH, alkalinity, coagulation.

3. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua de las fuentes de abastecimiento para el suministro municipal depende de las condiciones climáticas, usos del suelo lo que las hace diferentes una de otra. A lo largo de la historia, se ha buscado ofrecer las mejores características para el consumidor, reduciendo agentes patógenos y controlando contaminantes químicos por medio de una serie de operaciones y procesos unitarios como el tratamiento convencional que involucra la coagulación, la floculación, la sedimentación, la filtración, la desinfección y la estabilización de pH (Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008).

Los niveles de alcalinidad de las fuentes de abastecimiento y la adición de productos químicos que se requieren en los procesos de potabilización influyen principalmente en el comportamiento de pH, el cual afecta la calidad del agua cruda y los costos en el mantenimiento del sistema de distribución del agua, debido a que valores extremos pueden ocasionar agresividad, corrosión o incrustación en las tuberías, los cuales reflejan en la formación de la biopelícula, reducción de diámetro en la red, entre otros (Di Bernardo & Sabogal Paz, 2008).

En el presente estudio se realizaron alternativas para la optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del municipio de La Mesa, Cundinamarca – Colombia, mediante el diagnóstico de los procesos y operaciones realizadas en la planta, con el fin de ampliar la cobertura de agua tratada para la futura población.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4.1.ANTECEDENTES

Los operarios de la planta actualmente no cuentan con un manual de procedimientos adecuados para la correcta operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento del sistema potabilización del municipio La Mesa. Debido a esto, varios aspectos técnico - operativos en la planta se desarrollan basado en el conocimiento empírico y la experiencia de los Ingenieros de la E.S.P, aspecto por el cual puede estarse presentando anomalías en los procesos, como la desatención a la normativa de seguridad industrial, operación indebida de las unidades de tratamiento de la planta, pérdidas económicas por el uso inadecuado de aditivos químicos, procedimientos desorientados para el mantenimiento de los equipos. Es por tal motivo la importancia de contar con la información técnica que presenta para establecer un manual de operación que detalle los procesos y el mantenimiento respectivo de los equipos y unidades presentes en las PTAP del municipio La Mesa, Cundinamarca.

El municipio La Mesa, Cundinamarca, presenta actualmente un crecimiento económico por el auge de los proyectos turísticos, por lo cual es importante contar con la infraestructura necesaria para el abastecimiento de agua potable tanto de los habitantes del municipio como de la población flotante. Por lo anterior, el Municipio y La Empresa de Servicio Público ha identificado una problemática en la P.T.A.P. de La Mesa por falta de información técnica del

funcionamiento, equipos, dosificaciones, tratamiento de lodos y la topografía misma de la planta, lo cual hace difícil optimización de su funcionamiento y operación.

Actualmente el Municipio La Mesa, distribuye el agua una vez por semana en el casco urbano y cada quince días en la zona rural. En los próximos 3 años la ciudad de Bogotá abastecerá a los Municipios de Anapoima y La Mesa en los horarios de 11:00 p.m. – 4:00 a.m. puesto que en los intervalos de estos tiempos la ciudad no utiliza este servicio. Para la estimación de este proyecto se quiere distribuir el servicio de agua potable cuatro veces a la semana en el caso urbano y dos veces a la semana en la zona rural repartiendo un total de 185 l/s.

Expuesto lo anterior, la Empresa Aguas del Tequendama en conjunto con la Universidad Santo Tomás suscribieron un convenio de cooperación con el fin de realizar un diagnóstico de la P.T.A.P. en el cual se realizará el levantamiento topográfico de la PTAP, junto la elaboración de las memorias de los componentes de la planta y prediseño de las estructuras de manejo de los lodos generados al lavar los filtros. Adicionalmente se realizará el registro e inventario de los equipos en funcionamiento existentes.

5. JUSTIFICACIÓN

La propuesta de mejoramiento de la PTAP La Mesa, Cundinamarca pretende no solo mejorar la calidad de agua potable distribuida dentro del casco urbano sino también elevar la calidad de vida de los habitantes de esta zona del municipio. Este proyecto me permite evaluar mis conocimientos y habilidades adquiridas en el proceso de formación profesional por medio de metodologías para la construcción de nuevos conocimientos y soluciones buscando poseer competencias profesionales que me permitan obtener los mejores desempeños laborales para así medir mi nivel de progreso por medio de enseñanza-aprendizaje.

6. OBJETIVOS

6.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar la actualización técnica para el mantenimiento y operación para la PTAP La Mesa, Cundinamarca y el Prediseño del manejo de lodos de la planta.

6.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico de los procesos, sistemas y unidades que operan en las PTAP del municipio La Mesa, Cundinamarca.
- Establecer lineamientos respecto a los parámetros adecuados en la operación y mantenimiento de la planta dentro del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- Elaborar el Manual de Operación de equipos para las PTAP del municipio La Mesa, Cundinamarca.
- Prediseñar las estructuras de manejo de lodos generados por limpieza de filtros.
- Realizar el levantamiento topográfico de la PTAP.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1.MARCO TEÓRICO

7.1.1. Información general del Municipio de La Mesa, Cundinamarca.

El municipio de La Mesa posee una superficie de 148 km^2 , distribuidos en 2.75 km^2 para el casco urbano y el resto 145.25 km^2 para el área rural. Se localiza al suroeste de Bogotá, a una distancia de 76 kilómetros, comunicado por una vía completamente pavimentada. Asimismo, se comunica por vías en buen estado, con los municipios de Tena, Cachipay, Anolaima, El Colegio, Apulo, Tocaima, Viotá, Girardot y Quipile (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 4).

La Mesa es cabecera y capital de la Provincia del Tequendama y se ubica a 1198 m.s.n.m, con una latitud Norte de $4^{\circ}38'06''$ y longitud Oeste de $74^{\circ}27'58''$ del meridiano de Greenwich. Limita por el norte con los municipios de Cachipay y Zipacón, por el sur con los municipios del Colegio y Anapoima, por el occidente con los municipios de Anapoima y Quipile y por el oriente con los municipios de Tena y Bojacá (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 4).

La división político-administrativa consta de cuarenta y dos (42) veredas por Juntas de Acción Comunal, catorce (14) veredas catastrales, tres (3) inspecciones municipales, dieciséis (16) barrios y doscientas quince (215) manzanas en su casco urbano (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 5) como lo muestra la **Figura 1**.

En los últimos años se ha incrementado la vocación turística del municipio, que junto con la agropecuaria y el comercio son sus principales renglones económicos. El cultivo del café y de los frutales, son fuentes de ingresos de la población campesina, que van a la par con la producción ganadera de la zona (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004)

El municipio dentro de sus fortalezas presenta un clima aceptable para la actividad turística-recreativa, lo que ha propiciado una buena demanda debido a la calidad en la prestación de los mismos, por lo cual el municipio proyecta un mejoramiento en la infraestructura para la prestación de los servicios públicos y de saneamiento, para disminuir su impacto sobre los ecosistemas por el uso inadecuado del suelo y otros recursos (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 6).

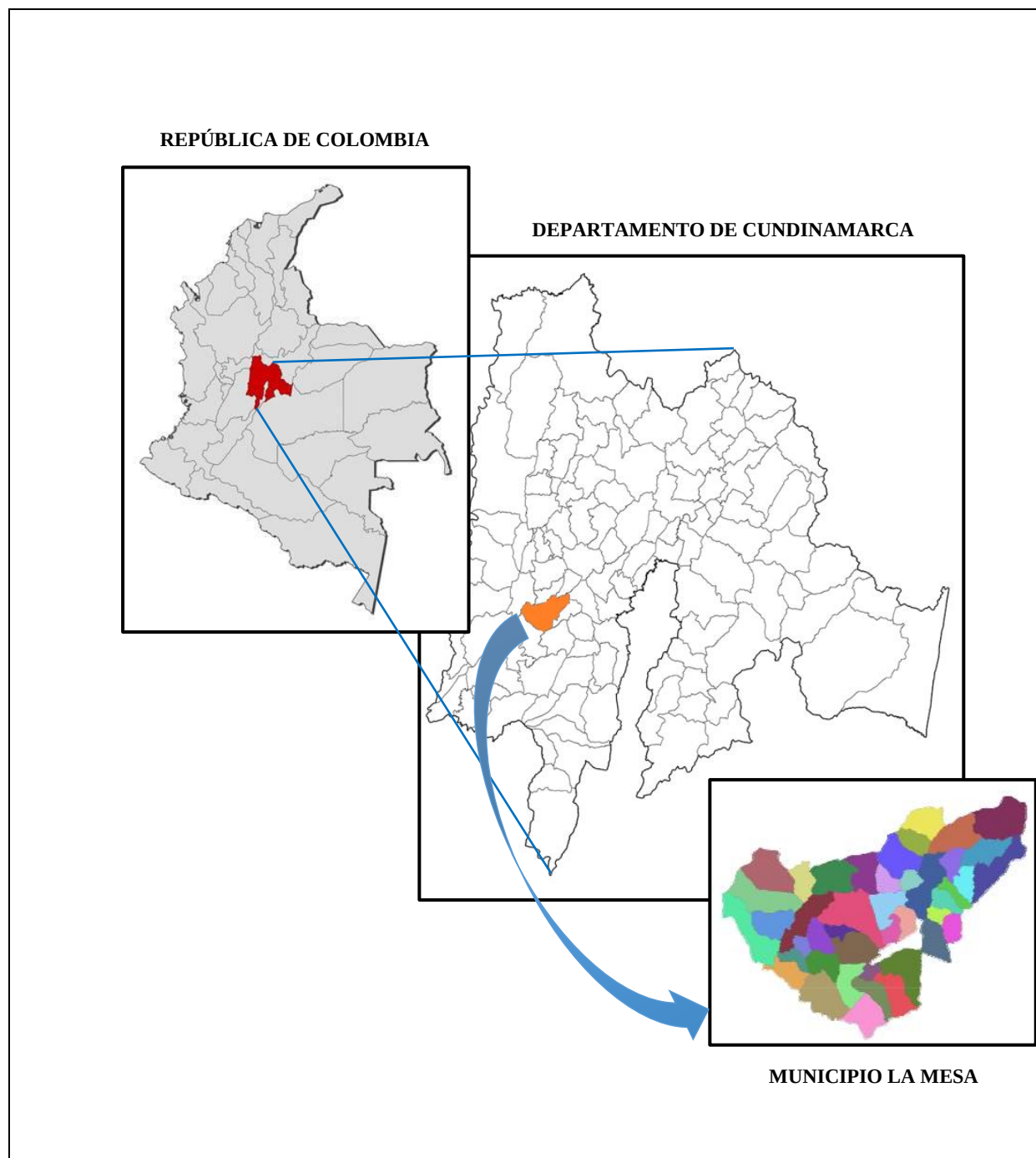


Figura 1. Ubicación geográfica Municipio La Mesa, Cundinamarca.

Nota: Adaptado de (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004). Recuperado de <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/Documentos%20PDF/lamesacundinamarcapbotr2004.pdf>

7.1.2. Marco estratégico de la cuenca.

El municipio tiene una incidencia en el contexto Regional de la cuenca del Río Bogotá, por los recursos naturales presentes hacia los sectores altos de la misma, que han sido intervenidos en un alto porcentaje y principalmente el recurso agua, el cual ha sido contaminado por los Municipios aledaños al cauce del Río Bogotá y por la Capital del país (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 8).

El municipio se localiza en la parte baja de la cuenca del río Bogotá. La zona está conformada por cuatro subcuencas que comprende catorce municipios que drenan hacia el río Bogotá. Las corrientes principales son el río Apulo, el río Calandaima y el Bogotá; pertenece a la cuenca denominada como N° 16 según la CAR (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 8).

El recurso hídrico para el municipio no ha podido ser utilizado por su contaminación originándose graves crisis en el suministro de agua potable, no solamente para La Mesa, sino para los municipios ribereños de la zona del Tequendama (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 8).

Cualquier acción encaminada a la recuperación de esta importante fuente hídrica se calcula, para un periodo mínimo de 20 años y los municipios requieren de acciones inmediatas para solucionar la problemática actual (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 8).

7.1.3. Climatología.



Figura 2. Estación Climatológica San Joaquín.

Nota: Recuperado de: (IDEAM). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

El área municipal presenta tres pisos térmicos diferenciados: un piso cálido con un área aproximada de 7200 *Ha*, un piso térmico medio con 7300 *Ha* y un piso térmico frío de 100 *Ha*. La distribución de la lluvia es de régimen bimodal, que se caracteriza por épocas lluviosas en los meses de febrero-mayo y septiembre-noviembre y dos épocas de menos lluvia en los meses de diciembre-enero, y junio-agosto. Sin embargo, hacia la zona occidental, el mes más lluvioso es el de noviembre y el de menos lluvia es julio (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 17). Actualmente la estación climatológica San Joaquín del IDEAM brinda información de las precipitaciones y temperatura de manera instantánea como lo muestra la **Figura 2**, lo que permite tener histórico de estadísticas hasta la fecha (IDEAM).

7.1.4. Geología general.

En cuanto a la estratificación, se encuentran depósitos aluviales, originados por descongelación glacial. El área de La Mesa es una gran terraza aluvial, depositada en forma discordante sobre las lutitas de la formación Socotá. También se encuentran recientes depósitos aluviales sobre el cauce del río Apulo y algunos cauces de las quebradas que lo circundan (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 24).

Los depósitos de coluvión se originaron por desintegración de los escapes rocosos o por diferencias litológicas. Dentro de estos depósitos se pueden reconocer algunos deslizamientos activos, en la medida en que son socavados por los ríos y quebradas. En la **Tabla 1** se pueden observar las formaciones geológicas que se encuentran en el municipio de La Mesa (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 24).

Tabla 1

Formaciones Geológicas del municipio La Mesa.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	LOCALIZACIÓN
Formación Conejo (Kscn): sucesión de arcillolitas y lodolitas, algo calcáreo gris con esporádicas capas medias de limolita, arenita de cuarzo de grano fino y biomicrítica.	Noreste de la inspección de la Esperanza y veredas Anatoli, Buenavista y Payacal.
Formación Pacho (Kslp): sucesión alternante de lodolitas y limolitas con capas de arenitas finas.	Vereda Guayabal
Formación Socota (Kls): compuesta por lodolitas y limolitas silíceas con terminación ondulosa.	Norte de la inspección de San Javier y al noroeste del municipio.

Grupo Guadalupe, Formación Arenisca Dura (Ksgd): arenita de cuarzo de grano fino, en capas delgadas a muy gruesas con intercalaciones de limolitas silíceas.	Se ubica en límites con el municipio de Tena.
Formación Frontera (Ksf): parte inferior, limolita calcárea con capas medias y delgadas de micrita con concreciones de diferentes tamaños.	Inspección de la Esperanza y oriente del casco urbano.
Formación Simijaca (Kss): compuesta por arcillolitas y lodolitas negras a gris oscuras, con intercalaciones de arenita de cuarzo de grano fino.	Noroeste de la inspección La Esperanza, veredas Campo Santo, San Pablo y Alto Grande.
Formación Capotes (Kic): compuesta de limolitas y arcillolitas negras con niveles de concreciones.	En el municipio se localizan al oriente del casco urbano de La Mesa, veredas Guayabal y Zapata.
Grupo Trincheras, miembro Anapoima (Kitra): compuesta Lodolita negra, silícea y calcárea, con concreciones de tamaños variables e intercalaciones de calizas y arenitas de cuarzo.	Parte central y noroeste del municipio.
Grupo Trincheras, Miembro el Tigre (Kitrt): compuesta por Lodolita negra con intercalaciones de micrita y arenita de cuarzo en capas medias y delgadas.	Sureste de la inspección de San Joaquín.
Depósitos Aluviales (Qal)	Se ubica a lo largo del cauce de los ríos Apulo y Curí.
Depósitos Fluvio-Glaciales (Qf)	Se localizan dispersos en sentido oriente-occidente.

Nota: Recuperado del PBOT (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, págs. 25,26,27)

7.1.5. Usos del suelo.

Los usos del suelo del municipio de La Mesa son utilizados en las actividades de cultivos como caña panelera, pastos, plátano, cítricos, maíz, mango y cultivo de flores. Los pastos naturales y manejados ocupan un alto porcentaje del territorio municipal, donde la ganadería ocupa un lugar en los recursos económicos del municipio. Otros cultivos presentes son los frutales y los misceláneos de clima cálido y medio, que han ido reemplazando al cultivo del café, como principal económico de la zona. Otras actividades como minería cuenta con la explotación de agregado (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 35)

7.1.6. Vías y Transporte.

La red vial del municipio, cuenta en la actualidad con 56 vías veredales con una longitud de 169.7 km que comunican 43 veredas como lo muestra la **Figura 3**. Asimismo, estas vías conducen a las inspecciones de San Joaquín, San Javier y La Esperanza. Las vías veredales se encuentran con recebo afirmado, pero en épocas de invierno y por ser un terreno con pendientes altas, tienen a deteriorarse, lo que perjudica el desplazamiento de los productos agrícolas y pecuarios para su comercialización en los centros urbanos y de acopio, como también perjudica el desplazamiento de los estudiantes (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004, pág. 82).

Actualmente el Consorcio DEVISAB es el encargado de la construcción de la concesión Anapoima-Mosquera que comprende de una longitud de 14.6 kilómetros donde han realizado obras de drenaje, estabilización de taludes, muros de contención, empedramiento, construcción de

cunetas, excavaciones, rellenos de material granular, instalación de capa asfáltica y señalización.

Dentro de las obras cabe destacar la construcción de calzadas en voladizo buscando no afectar los taludes geotécnicamente inestables. (Consortio DEVISAB)

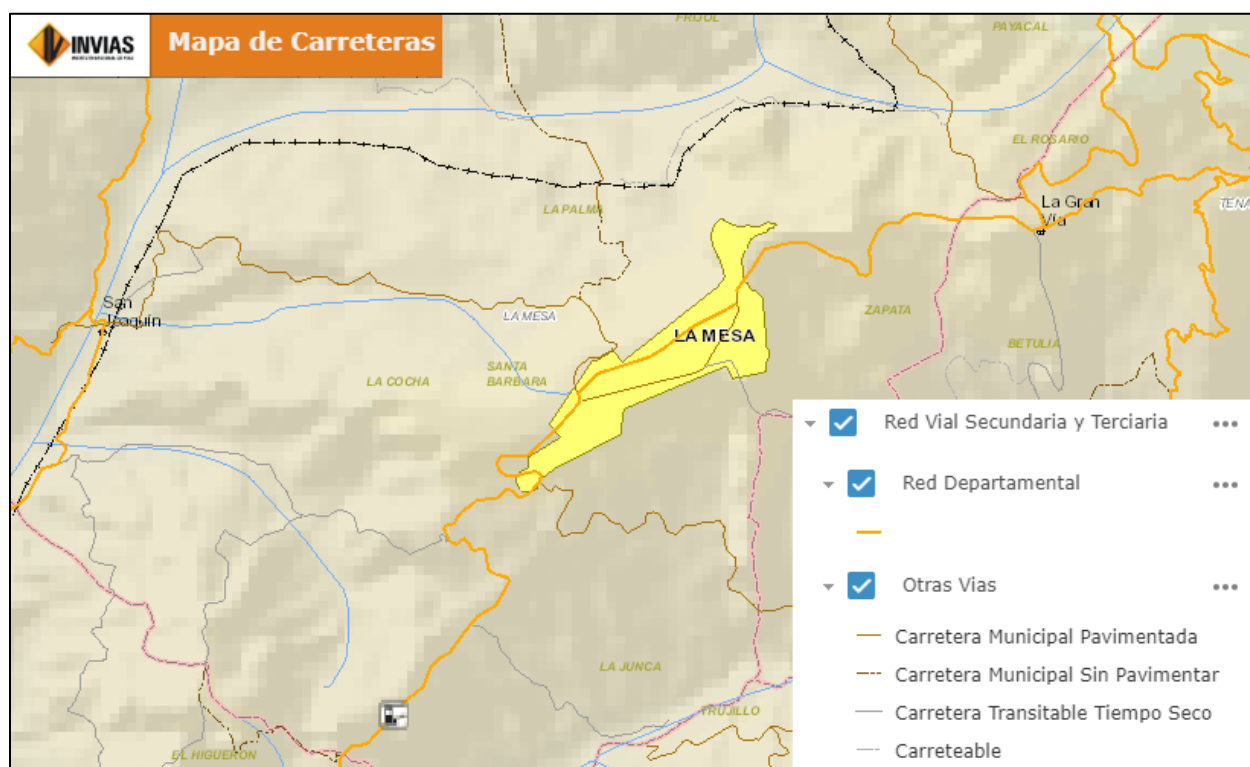


Figura 3. Vías primarias, secundarias Municipio La Mesa, Cundinamarca.

Nota: Recuperado de “Vías de transporte Departamento de Cundinamarca”, Gobernación de Cundinamarca.

Recuperado de <https://www.gifex.com/America-del-Sur/Colombia/Cundinamarca/Carreteras.html>

7.1.7. Servicios públicos.

- Energía eléctrica: El Grupo Enel- Codensa distribuye y comercializa su servicio en el municipio de La Mesa y sus veredas. (Grupo Enel)

- Gas domiciliario: El Grupo Vanti - Gas Natural Fenosa, distribuye y comercializa su servicio en el municipio desde el año 2008. (Grupo Vanti)
- Servicio de aseo: La Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., realiza la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, barrido y limpieza de las áreas públicas, procurando el mejor uso social y económico de los recursos disponibles, en beneficio de la comunidad mediante la utilización de procesos adecuados a las condiciones locales (ERAT).
- Acueducto: La Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., capta, almacena, trata y realiza el control de calidad, con el fin de conducir distribuir y comercializar agua potable cumpliendo con lo establecido en las normas descritas en el Decreto 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social, mediante las cuales fija los criterios para garantizar que la calidad del agua sea apta para el consumo humano (ERAT).
- Alcantarillado: La Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., realiza la recolección de residuos líquidos en los Municipios de La Mesa y Anapoima por medio de tuberías y conductos, evacuando aguas residuales o de lluvia. Es decir, recolecta, conduce, trata y dispone las aguas servidas y aguas lluvias en los términos y condiciones fijados por las normas que rigen la prestación de este servicio (ERAT).

7.2.ESTADO DEL ARTE

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río. Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos. Cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva, y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes diferentes de agua.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos.

Por ejemplo, en Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal. Para aclarar el agua los egipcios en el año 1500 a.C utilizaban el Alum o también conocida como el Alumbre, sustancia química compuesta por sulfato o aluminio. En Persia la gente buscaba recursos subterráneos. El agua pasaba por los agujeros de las rocas a los pozos.

Alrededor del año 3000 a.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán) utilizaba instalaciones y necesitaba un suministro de agua muy grande. En esta ciudad existían servicios de baño público, instalaciones de agua caliente y baños.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

El agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Ellos utilizaban recursos de agua subterránea, ríos y agua de escorrentía para su aprovisionamiento. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua.

El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas.

Los acueductos son los sistemas utilizados para el transporte del agua. A través de los acueductos el agua fluye por miles de millas. Los sistemas de tuberías en las ciudades utilizan

cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos.

Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar.

Desde el año 500 al 1500 d.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua. Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría. Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores.

El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Paisley, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 Paris empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimenta durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consisten en arena, carbón y su capacidad es de seis horas.

En 1880 Pasteur explicó cómo organismos microscópicos podían transmitir enfermedades a través del agua. En el siglo XX se descubrió que la turbiedad del agua no era solo un problema

estético; las partículas en las fuentes del agua tales como la materia fecal, podría servir de refugio a los patógenos. Así como la filtración se mostró como un método de tratamiento efectivo para reducir la turbiedad, desinfectantes como el cloro jugaron un gran papel en la reducción del número de brotes epidémicos en los comienzos del siglo XX.

En 1827 el inglés James Simplón construye un filtro de arena para la purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública.

En 1908 se empleó el cloro por primera vez como un desinfectante primario del agua potable de New Jersey. Otro desinfectante como el ozono, también empezó a emplearse por estas fechas en Europa.

En el año de 1994 en Colombia se crea la Ley 142 de 1994 Nivel Nacional por la cual se reglamentan los servicios públicos, uno de los pilares de esta ley es mejorar la calidad y eficiencia de los servicios además se crean organismos encargados de vigilar la prestación de los servicios públicos, es así, como poco a poco los niveles de calidad han ido mejorando en el país.

8. REFERENCIA TEÓRICA

8.1. ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA

Los valores aceptables de concentración de diferentes componentes del agua que representan riesgos para la salud humana, están estipulados por la (Resolución Número 2115, 2007) y son los siguientes:

8.1.1. Características físicas del agua para el consumo humano.

El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Valores admisibles para las características físicas del agua.

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino	15
	Cobalto (UPC)	
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades	2
	Nefelométricas de turbiedad (UNT)	

Nota: Recuperado de (Resolución Número 2115, 2007, pág. 2)

- **Conductividad:** Según el (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3), es el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm.

- **Potencial de hidrógeno:** Según el (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3), es el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0.

8.1.2. Características químicas de sustancias que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación en la **Tabla 3** (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3):

Tabla 3

Características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo Total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02

Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Nota: Recuperado de (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3)

8.1.3. Características químicas de sustancias que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en la **Tabla 4** (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3):

Tabla 4

Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana	Expresadas como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO_2^-	0,1
Nitratos	NO_3^-	10
Fluoruros	F^-	1,0

Nota: Recuperado de (Resolución Número 2115, 2007, pág. 3)

8.1.4. Características microbiológicas.

Según (Resolución Número 2115, 2007, pág. 6) Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm^3 como se muestra en la **Tabla 5**.

Tabla 5
Características microbiológicas.

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/ 100 cm^3	0 UFC/ 100 cm^3
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm^3	< de 1 microorganismo en 100 cm^3
Sustrato Definido	0 microorganismos en 100 cm^3	0 microorganismos en 100 cm^3
Presencia- Ausencia	Ausencia en 100 cm^3	Ausencia en 100 cm^3

Nota: Recuperado de (Resolución Número 2115, 2007, pág. 6)

8.2.PURIFICACIÓN DEL AGUA

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 15), ninguna fuente de agua posee las mismas características, por ende el tipo de tratamiento requerido para purificarla será único para esta. También menciona que mediante un estudio de ingeniería enfocado a la calidad de la fuente, se

puede diseñar una planta de tratamiento eficiente y económica, además se es necesario emplear criterios generales de tratamiento, según la calidad de la fuente puesto que no existe formula que determine el tipo de planta necesitado para tratar un agua, los estándares para determinar la calidad de la fuente se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6
Estándares para fuentes de aguas crudas.

PARÁMETRO	FUENTE EXCELENTE Requiere solamente desinfección como tratamiento	FUENTE BUENA Requiere tratamiento usual tal como filtración y desinfección	FUENTE POBRE Requiere tratamiento especial o adicional y desinfección
OD Promedio mg/L	4,0-7,5	4,0-6,5	4,0
Cloruros mg/L máx	<50	50-250	>250
Color-unidades	0-20	20-150	>150
Turbiedad- unidades	0-10	10-250	>250

Nota: Adaptado de (Romero Rojas, 1999)

8.2.1. Procesos y Operaciones unitarias.

Una planta de tratamiento convencional tiene procesos y operaciones unitarias, estas se encargan de purificar el agua, las más comunes se presentan en la **Tabla 7**.

Tabla 7*Procesos de purificación de agua.*

PROCESO	PROPÓSITO
TRATAMIENTO PRELIMINAR	
Cribado	Remoción de desechos grandes que puedan obstruir o dañar los equipos de planta.
Pre - sedimentación	Remoción de grava, arena, limo y otros materiales sedimentables.
Aforo	Medida del agua cruda por tratar
TRATAMIENTO PRINCIPAL	
Aireación	Remoción de olores y gases disueltos; adición de oxígeno para mejorar sabor.
Coagulación/floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables.
Ablandamiento	Remoción de dureza
Filtración	Remoción de sólidos fino, floculo en suspensión y la mayoría de los microorganismos.
Desinfección	Exterminio de organismos patógenos.

Nota: Adaptado de (Romero Rojas, 1999)

A continuación, se presentan definiciones más completas para los procesos y operaciones de una PTAP:

8.2.2. Aireación.

En general, según (Romero Rojas, 1999, pág. 29) la aireación es definida como un “proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella”

Según el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), la aireación se recomienda en los siguientes casos:

- Para transferir oxígeno al agua y aumentar el oxígeno disuelto.
- Disminuir la concentración del dióxido de carbono (CO_2).
- Disminuir la concentración del sulfuro de hidrógeno (H_2S)
- Remover el metano (CH_4).
- Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Remover compuestos orgánicos volátiles (COV).

8.2.3. Mezcla rápida.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 96) esta es una operación utilizada para dispersar los coagulantes de manera uniforme en todo el caudal que pasa por un punto determinado de la planta, existen varios tipos de coagulantes, así como: Alumbre, Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico, Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso y los

Polielectrolitos, siendo de estos el más utilizado por economía y efectividad en alumbre. La función del coagulante es promover la formación de los “flocs”

Existen dos tipos:

8.2.3.1.Mezcladores Rápidos Mecánicos.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 53), este proceso usualmente utiliza tanques. Además, menciona que los tanques de mezcla rápida mecánica se proyectan de sección circular o cuadrada, estos en general consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza cualquiera.

8.2.3.2.Mezcladores Rápidos Hidráulicos.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 53) se definen como los mezcladores que “se utilizan cuando se dispone suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada.

Algunas de las ventajas son:

- No requiere equipo mecánico.
- Menos costo de operación con respecto al mecánico.

A continuación se encuentran varios parámetros establecidos por el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) para el diseño de mezcladores:

- El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2,5 y 4,5.
- El número de Froude debe estar entre 1,7 y 2,5 o entre 4,5 y 9,0.

- Tiempo de detención (td) menor de 60 s.
- Gradiente medio de velocidad (G) entre 500 s^{-1} y 2000 s^{-1}
- La planta debe contar por lo menos con dos unidades.

8.2.4. Floculación.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 79) el proceso de floculación consiste en la aglomeración de partículas para formar los “flocs”, mediante una mezcla lenta, para incrementar la formación de estas partículas más pesadas, sin romper las mismas.

Existen floculadores de tipos hidráulicos y mecánicos. Los más empleados son los hidráulicos, pues no requieren el uso de un motor, lo que implica más gastos económicos en la planta de tratamiento.

Existen dos tipos:

8.2.4.1. Floculadores hidráulicos.

Este se divide en floculadores hidráulicos de flujo horizontal y vertical. El floculador de flujo horizontal según (Romero Rojas, 1999, pág. 80) “consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques”. Mientras que el floculador de flujo vertical el agua fluye de arriba hacia abajo, cumpliendo la misma función.

8.2.4.2. Floculadores mecánicos.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 80) “consiste en introducir potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos y el tipo de agitador mecánico más usado es el

de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten un movimiento rotatorio al así como cierta turbulencia interna”.

A continuación se encuentran varios parámetros establecidos por el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) para el diseño de floculadores.

- El gradiente de velocidad debe estar entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1} de acuerdo con la obtenida en la prueba de jarras y el tiempo de detención entre 20 y 40 minutos, debe determinarse de acuerdo con las pérdidas hidráulicas.
- La distancia de los extremos de las paletas a los muros, al piso y a la superficie libre del agua, debe estar entre 0,15 m y 0,30 m.

8.2.5. Sedimentación.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 119) se define como “la operación por la cual se remueven las partículas salidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento”. Existen dos formas de usar la sedimentación, la sedimentación simple y sedimentación siguiente a la coagulación.

Existen dos tipos de sedimentación:

8.2.5.1. Sedimentación tipo 1.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 120) se define “la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. En estas condiciones se dice que la sedimentación es no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido”.

8.2.5.2.Sedimentación tipo 2.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 121) Consiste en la “sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión”.

A continuación se encuentran varios parámetros establecidos por el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) para el diseño de sedimentadores:

- **Tiempo de detención:** La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.
- **Carga superficial:** Debe estar entre $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$ y $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2.\text{día})$.
- **Velocidad del flujo:** El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.
- **Altura del agua:** La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m.
- **Pendiente longitudinal:** La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%.
- **Descarga de lodos:** Debe existir un dispositivo de descarga apropiado de lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo seis horas.
- **Dimensiones:** Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8 y la relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25: 1.

8.2.6. Filtración.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 193) como función principal tiene la de remover “el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos”.

En la **Tabla 8** se muestra la clasificación de filtros

Tabla 8
Clasificación de filtros.

Según la velocidad de filtración	Según el medio filtrante	Según el sentido del flujo	Según la carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 <i>m³/m²/día</i>	Arena (h= 60-75 cm)		
	Antracita (h=60-75 cm)	Ascendentes	
	Mixtos:		Por gravedad
	Antracita (35-50 cm)	Descendentes	
	Arena (20-35 cm)		Por presión
	Mixtos:		
	Arena, Antracita, Granate	Flujo mixto	
Lentos 7-14 <i>m³/m²/día</i>		Descendente	
	Arena (h=60-100 cm)	Ascendente	Por gravedad
		Horizontal	

Nota: Adaptado de (Arboleda Valencia, 2004)

9. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentara la definición de conceptos que se utilizaran a lo largo de este proyecto, según la (Resolución Número 2115, 2007).

- **Agua cruda:** Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento. Agua dura Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.
- **Agua potable:** Agua que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.
- **Alcalinidad:** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio ($CaCO_3$).
- **Análisis microbiológico del agua:** Son los procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.
- **Análisis básicos:** Es el procedimiento que se efectúa para determinar turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y *Escherichia coli*.

- **Análisis físico y químico del agua:** Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas.
- **Calidad del agua:** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.
- **Capacidad hidráulica:** Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.
- **Capacidad máxima:** Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica.
- **Carbón activado:** Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua.
- **Caudal de diseño:** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
- **Clarificación:** Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.
- **Coagulación:** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.
- **Coagulantes:** Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.
- **Coliformes:** Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO_2) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas

y presentan actividad enzimática de la β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.

- **Color aparente:** Es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0,45 micras.
- **Desarenador:** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.
- **Densidad:** Relación existente entre la masa de un cuerpo y el volumen ocupado por éste.
- **Desinfección:** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.
- **Dosificación:** Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua. Dosis óptima Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.
- **Dureza:** Característica del agua debida a la presencia de varias sales.
- **Eficiencia de remoción:** Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.
- **Efluente:** Flujo proveniente de un sistema hidráulico.
- **Filtración lenta:** Proceso de filtración a baja velocidad.
- **Filtración rápida:** Proceso de filtración a alta velocidad. Floculación Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

- **Parámetros de diseño:** Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento.
- **pH óptimo:** Valor de pH que produce la máxima eficiencia en un proceso determinado.
- **Período de diseño:** Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.
- **Tratamiento o potabilización:** es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.
- **Valor aceptable:** Es el establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua para consumo humano no representa riesgos conocidos a la salud.
- **DQO:** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.
- **DBO:** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Las siguientes definiciones de conceptos fueron tomados de (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004):

- **Cretáceo:** Formación geológica de hace 140 millones de años.

- **Fallamiento:** Rotura de las capas geológicas.
- **Estratigrafía:** Diferentes capas de los suelos formados geológicamente.
- **Lutitas:** Formación de suelos de tipo erosionales.
- **Arcillolitas:** Formación de suelo de tipo arcilloso o gredoso.
- **Lodolitas:** Arcillas cuyo origen son los lodos.

10. MARCO LEGAL

- CENSO 2005; DANE(Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005).
- Productos Químicos para uso industrial. Sulfato de Aluminio para Tratamiento de Agua (NTC 531, 2015).
- Procedimiento para el Ensayo de Coagulación - Floculación en un recipiente con Agua o método de Jarras(NTC 3909, 1996).
- PBOT (Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca, 2004).
- RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016).
- RAS (Resolución Número 0330, 2017).
- Concesión Anapoima, Cundinamarca (Resolución Número 0881, 2012).
- Concesión La Mesa, Cundinamarca(Resolución Número 1546, 2018).
- Límite permisible de Cloro Residual- Agua para consumo humano (Resolución Número 2115, 2007).

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta el cronograma actualizado del desarrollo del Proyecto. Cabe aclarar que entre los meses de Julio 2018-Enero 2019 me encontré desarrollando la práctica estudiantil con El Grupo Energía Bogotá.

Nº	ACTIVIDADES A REALIZAR:	AÑO 2018																AÑO 2019																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S

	Desarrollo del proyecto Año 2018
	Desarrollo Práctica Estudiantil GEB
	Desarrollo del Proyecto Año 2019

12. ESTUDIO DE POBLACIÓN Y DEMANDA DE AGUA

12.1. POBLACIÓN MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA

La población actual (año 2018) en el Municipio de La Mesa, Cundinamarca es de **45.834** habitantes en su totalidad (población urbana, rural y flotante), dato obtenido de la proyección de población con información suministrada del (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005) **ANEXO 1**.

12.1.1. Población según censos.

La información de la población del municipio de La Mesa, Cundinamarca como lo muestra la **Tabla 9**, se obtuvo a partir de la base de datos censales otorgados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005) que se encuentra en la biblioteca virtual de esta entidad.

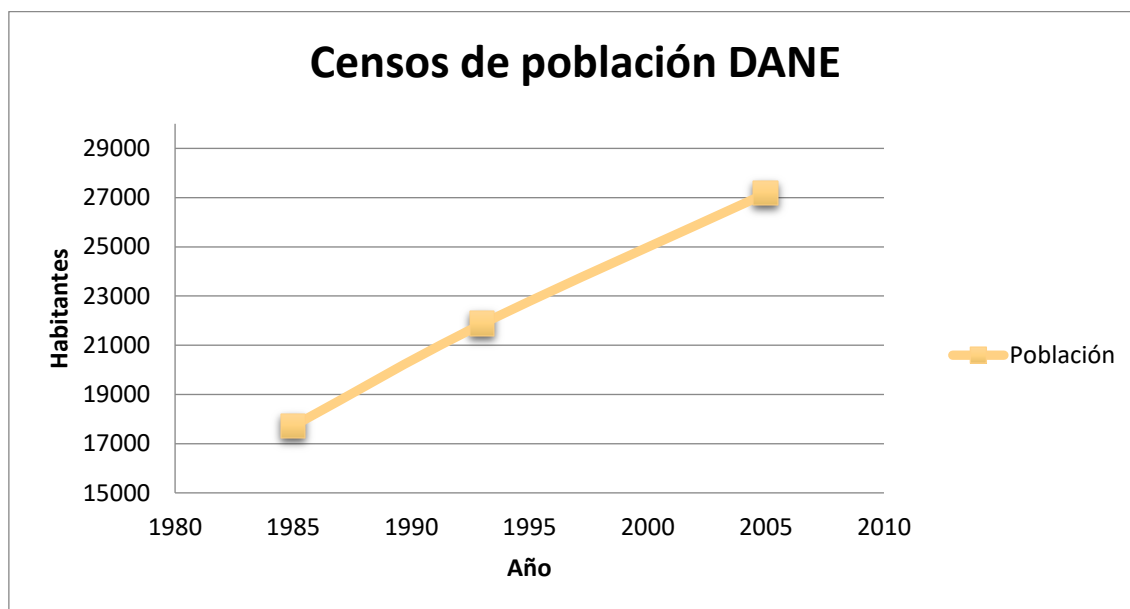
Tabla 9
Censos poblacionales Municipio La Mesa

AÑO	Habitantes (Urbana- Rural)
1985	17.718
1993	21.867
2005	27.165

Nota: Recuperado de (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005)

La **Gráfica 1** refleja el comportamiento que tuvo la población en el tiempo, mostrando puntos ascendentes en los años 1985 y 1993, lo que describe que el municipio de La Mesa se ha

encontrado en constante desarrollo por sus actividades turístico-recreativa, agropecuaria y comercial.



Gráfica 1. Censos de población DANE

Nota: Elaboración propia.

12.1.2. Proyección de población futura.

El cálculo de la proyección de población futura se realizó utilizando los métodos aritmético, geométrico y exponencial, de acuerdo con lo establecido en el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016).

Se seleccionó el método exponencial conforme a los parámetros definidos en el título B, numeral 2.4.3.4 que establece una población en apreciable desarrollo y abundantes áreas de expansión que para el caso particular del municipio La Mesa aplica. A continuación, la **Tabla 10** presenta los resultados:

Tabla 10
Proyección poblacional método exponencial

Año	P. Exponencial		Población	POBLACIÓN
	K	POBLACION	Flotante	TOTAL
2018	0,022	36.849	8.985	45.834
2019	0,022	38.935	9.185	48.120
2020	0,022	39.809	9.389	49.198
2021	0,022	40.702	9.597	50.299
2022	0,022	41.616	9.810	51.425
2023	0,022	42.549	10.027	52.577
2024	0,022	43.504	10.250	53.754
2025	0,022	44.480	10.477	54.957
2026	0,022	45.478	10.710	56.188
2027	0,022	46.499	10.948	57.446
2028	0,022	47.542	11.190	58.732
2029	0,022	48.609	11.439	60.047
2030	0,022	49.699	11.693	61.392
2031	0,022	50.814	11.952	62.766
2032	0,022	51.954	12.217	64.172
2033	0,022	53.120	12.488	65.609
2034	0,022	54.312	12.765	67.078
2035	0,022	55.531	13.049	68.579
2036	0,022	56.777	13.338	70.115
2037	0,022	58.051	13.634	71.685
2038	0,022	59.353	13.937	73.290
2039	0,022	60.685	14.246	74.931
2040	0,022	62.046	14.562	76.609
2041	0,022	63.439	14.885	78.324
2042	0,022	64.862	15.216	80.078
2043	0,022	66.317	15.553	81.871

Nota: Elaboración propia.

Donde el valor de **K** resulta de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Dónde:

P_{cp} : Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} : Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

L_n : Logaritmo natural o neperiano.

Reemplazando la anterior ecuación:

$$K = \frac{\ln (21.867) - \ln(17.718)}{1993 - 1985} = 0,026$$

$$K = \frac{\ln (27.165) - \ln(21.867)}{2005 - 1993} = 0,018$$

Se promedian los anteriores valores de K, para un valor promedio de $K = 0,022$

A continuación, se presenta el incremento poblacional por el método exponencial:



Gráfica 2. Proyección Año 2043.

Nota: Elaboración propia.

La **Gráfica 2** presenta un comportamiento ascendente de la población en el transcurso de los años, teniendo un incremento de la tasa poblacional (K) del 2,2 % lo que significa que la población se encuentra en pleno proceso de transición demográfica en actividades turístico-recreativa, agropecuaria y comercial deduciendo una alta posibilidad de expansión y oportunidad de sustento.

La población flotante fue suministrada por el municipio de La Mesa del censo 2005 donde tenía 6.755 habitantes. La CAR expone bajo la (Resolución Número 1546, 2018) el cálculo de la población futura para un periodo de diseño (n) de 10 años. La tasa de crecimiento poblacional es calculada por el método exponencial **ANEXO 2**. Con base a lo anterior se realizó la proyección

de población flotante para un período de diseño de 25 años con los datos del censo 2005 mediante la siguiente ecuación:

$$P_F = P_1(1 + r)^n$$

Donde:

P_F : Población futura flotante

P_1 : Población Actual

r : Tasa de crecimiento poblacional

n : Período de diseño

Reemplazando la anterior ecuación:

$$P_{F(2018)} = 6755(1 + 0,022)^{13} = 8.985 \text{ habitantes}$$

$$P_{F(2043)} = 6755(1 + 0,022)^{38} = 15.553 \text{ habitantes}$$

Según la (Resolución Número 0330, 2017) que modifica algunos aspectos del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), el periodo de diseño para cualquier proyecto de acueducto, alcantarillado y aseo sin tener en cuenta la población será de 25 años (capítulo 1 artículo 40); es por esto que la proyección de la población se realizará hasta el año 2043 a partir del año 2018.

La proyección de población se calcula por los siguientes métodos:

12.1.2.1. Método Aritmético.

Según el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), la ecuación para calcular la población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección es la siguiente:

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

Dónde:

P_f : Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

12.1.2.2. Método Geométrico.

Según el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016)

la ecuación para calcular la tasa de crecimiento anual es la siguiente:

$$r = \left[\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right]^{\left[\frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right]} - 1$$

Dónde:

r : Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información.

La ecuación para calcular la población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección es la siguiente:

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Dónde:

P_f : Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{uc} : Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

r : Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

12.1.2.3. Método Exponencial.

Según el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016)

la ecuación para calcular la tasa de crecimiento poblacional es la siguiente:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Dónde:

P_{cp} : Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} : Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

L_n : Logaritmo natural o neperiano.

La ecuación para calcular la población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección es la siguiente:

$$Pf = Pci * e^{kx(Tf-Tci)}$$

Dónde:

P_f : Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

P_{ci} : Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información.

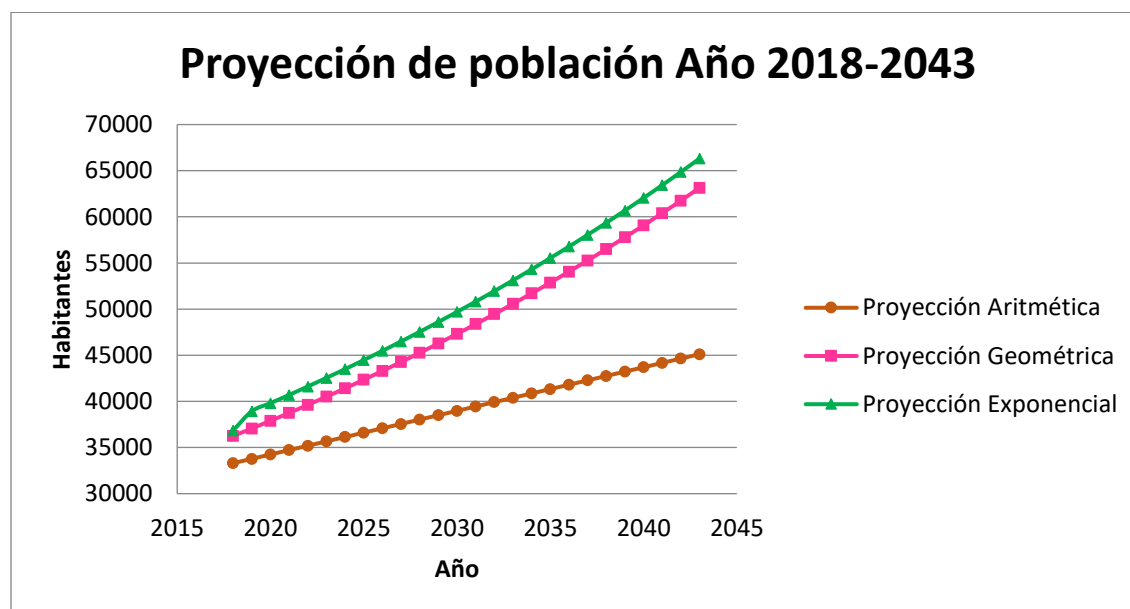
Tabla 11.*Proyección de población Año 2043 por los métodos: Aritmético, Geométrico y Exponencial.*

Año	P.	P. Geométrica		P. Exponencial	
	Aritmética	R	POBLACION	K	POBLACION
2018	33.306	0,022	36.252	0,022	36.849
2019	33.778	0,022	37.066	0,022	38.935
2020	34.250	0,022	37.898	0,022	39.809
2021	34.723	0,022	38.749	0,022	40.702
2022	35.195	0,022	39.618	0,022	41.616
2023	35.667	0,022	40.508	0,022	42.549
2024	36.140	0,022	41.417	0,022	43.504
2025	36.612	0,022	42.347	0,022	44.480
2026	37.084	0,022	43.297	0,022	45.478
2027	37.557	0,022	44.269	0,022	46.499
2028	38.029	0,022	45.263	0,022	47.542
2029	38.501	0,022	46.279	0,022	48.609
2030	38.974	0,022	47.317	0,022	49.699
2031	39.446	0,022	48.379	0,022	50.814
2032	39.918	0,022	49.465	0,022	51.954
2033	40.391	0,022	50.576	0,022	53.120
2034	40.863	0,022	51.711	0,022	54.312
2035	41.336	0,022	52.872	0,022	55.531
2036	41.808	0,022	54.058	0,022	56.777
2037	42.280	0,022	55.272	0,022	58.051
2038	42.753	0,022	56.512	0,022	59.353
2039	43.225	0,022	57.781	0,022	60.685
2040	43.697	0,022	59.078	0,022	62.046
2041	44.170	0,022	60.404	0,022	63.439
2042	44.642	0,022	61.760	0,022	64.862
2043	45.114	0,022	63.146	0,022	66.317

Nota: Elaboración propia.

La **Tabla 11** muestra los resultados de las proyecciones de población durante los 25 años por los métodos aritmético, geométrico y exponencial a partir del año 2018.

Asimismo, en la **Gráfica 3** se muestra el comportamiento poblacional, con su método respectivamente.



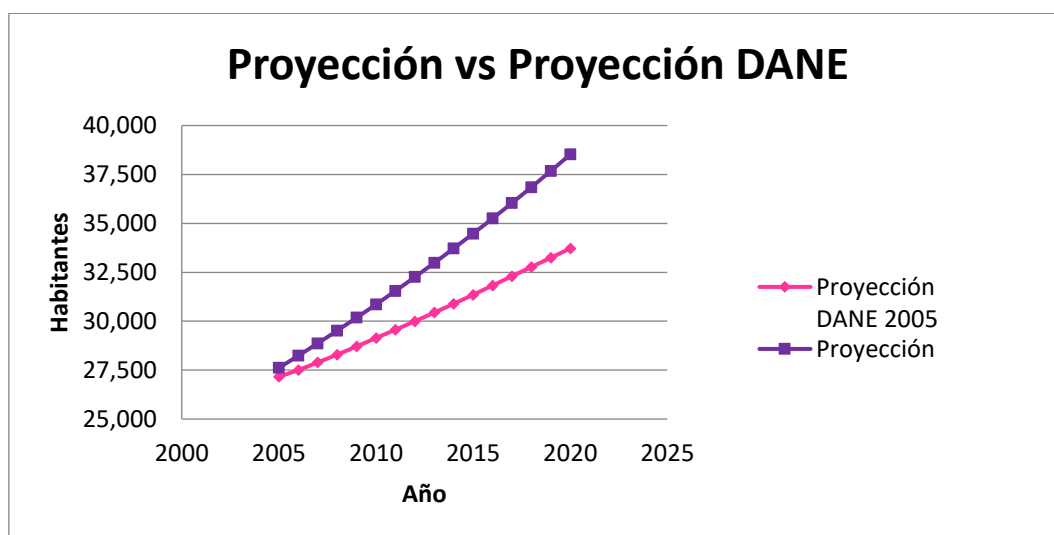
Gráfica 3. Proyección de población 2018-2043 por los métodos Aritmético, Geométrico y Exponencial.
Nota: Elaboración propia.

Según la **Gráfica 3** los métodos de población aritmético, geométrico y exponencial presentan su particularidad en el transcurso de los 25 años. Se descarta el método aritmético conforme a los parámetros del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), título B, numeral 2.4.3.4 que supone una población en crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y emigración lo que exonera al Municipio de La Mesa por su elevada actividad turístico-recreativa, agropecuaria y comercial.

El método Geométrico y Exponencial presenta similitud ya que se adecúan mejor a la dinámica que ha experimentado el municipio y tienen en cuenta la tasa de crecimiento anual y poblacional lo que sus resultados durante los 25 años hacen confidencial el estudio de población para el Municipio de La Mesa.

12.1.3. Comparación de proyección de población Vs. Proyección del DANE.

La **Gráfica 4** refleja la metodología estadística expuesta por el RAS descrito anteriormente. La proyección presentada por el DANE no describe la metodología que utiliza para realizar sus cálculos por lo cual se desestima las proyecciones estimadas por la entidad.



Gráfica 4. Proyección de población Vs. Proyección del DANE.

Nota: Elaboración propia.

12.2. ESTUDIOS DE DEMANDA DE AGUA

Según la (Resolución Número 0330, 2017) en el artículo 40 se debe hacer uso de la información histórica de los consumos de agua potable los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto, siempre y cuando los datos sean consistentes. La mayoría de habitantes del municipio de La Mesa no cuentan con micromedidores en sus viviendas, sólo aquellas personas en las que viven en conjunto residenciales. Al tener esta inconsistencia en la información, se optó por utilizar el valor de dotación neta según la altura sobre el nivel del mar establecido en el presente artículo.

12.2.1. Definición del período de diseño.

De acuerdo a la (Resolución Número 0330, 2017) que modifica algunos parámetros del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), el periodo de diseño para cualquier proyecto de acueducto, alcantarillado y aseo sin tener en cuenta la población será de 25 años según el capítulo 1 artículo 40, es por esto que la proyección de la población se realizará hasta el año 2043 a partir del 2018.

12.2.2. Asignación de la dotación neta.

Con base a la resolución más reciente, (Resolución Número 0330, 2017) que modifica la (Resolución Número 2320, 2009) que adopta el RAS se eliminan los niveles de complejidad, adoptándose la siguiente **Tabla 12:**

Tabla 12

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m.	120
1000 – 2000 m.s.n.m.	130
< 1000 m.s.n.m.	140

Nota: Recuperado de (Resolución Número 0330, 2017, pág. 32)

La dotación neta máxima para el municipio de La Mesa corresponde a **130 L/hab * día**, ya que posee una altitud promedio de 1998 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), posicionándose entre el rango entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.

12.2.3. Proyección de demandas de agua.

12.2.3.1. Asignación dotación bruta.

De acuerdo con (Resolución Número 0330, 2017, pág. 34) artículo 44, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

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

Dónde:

d_{bruta} : dotación bruta

d_{neta} : dotación neta

%p: porcentaje de pérdidas máximas admisibles

El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%.

La dotación bruta para esta planta de tratamiento es de **173,33 L/hab * día** .

(Ver ANEXO 1).

12.2.3.2. Determinación del caudal medio diario (Q_{md}).

El caudal medio diario(Q_{md}), corresponde al promedio de los consumos diarios de caudal en un período de un año, proyectado al horizonte de diseño, teniendo en cuenta la población proyectada a 25 años que es de **81.871 habitantes** (Año 2043), el cual debe calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{\# \text{ de habitantes} * d_{bruta}}{86400}$$

Dónde:

Q_{md} : caudal medio diario

d_{bruta} : dotación bruta, dada en L/hab/día

El caudal medio diario para este proyecto (a 25 años) es de **164,25 L/s**.

(Ver ANEXO 1).

12.2.3.3. Determinación del caudal máximo diario (Q_{MD}).

El caudal máximo diario (Q_{MD}), corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1$$

Dónde:

Q_{MD} : caudal máximo diario

Q_{md} : caudal medio diario

k_1 : coeficiente de consumo máximo diario

De acuerdo con la (Resolución Número 0330, 2017, pág. 34) artículo 47, el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 será igual a 1,2 obteniéndose de poblaciones mayores a 12.500 habitantes como es el caso del municipio de La Mesa.

El caudal máximo diario y para el diseño de la planta de tratamiento es de **197,10 L/s**.
(Ver ANEXO 1).

12.2.3.4. Determinación del caudal máximo horario (Q_{MH}).

El caudal máximo horario (Q_{MH}), corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula multiplicando el caudal máximo diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_2 , como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{MH} = Q_{MD} * k_2$$

Dónde:

Q_{MH} : caudal máximo horario

Q_{MD} : caudal de máximo diario

k_2 : coeficiente de consumo máximo horario

De acuerdo con la (Resolución Número 0330, 2017, pág. 35) artículo 47, el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 será igual a 1.5 obteniéndose de poblaciones mayores a 12.500 habitantes como es el caso de La Mesa.

El caudal máximo horario para este proyecto es de **246,37 L/s**.

(Ver ANEXO 1).

En la **Tabla 13** se establece el caudal de diseño para cada uno de los años de operación de la PTAP que se encuentran dentro del periodo de diseño de 25 años, empleando la metodología explicada anteriormente. Los resultados se ilustran con más detalle en el **ANEXO 1**.

Tabla 13.
Proyección de Caudales

AÑO	POBLACIÓN	D _{neta} (l/hab*día)	P%	D _{bruta} (l/hab*día)	Q _{md} (l/hab*día)	k1	QMD	k2	QMH
2018	45.834	130	0,25	173,3	91,95	1,2	110,34	1,5	137,93
2019	48.120	130	0,25	173,3	96,54	1,2	115,84	1,5	144,81
2020	49.198	130	0,25	173,3	98,70	1,2	118,44	1,5	148,05
2021	50.299	130	0,25	173,3	100,91	1,2	121,09	1,5	151,36
2022	51.425	130	0,25	173,3	103,17	1,2	123,80	1,5	154,75
2023	52.577	130	0,25	173,3	105,48	1,2	126,57	1,5	158,22
2024	53.754	130	0,25	173,3	107,84	1,2	129,41	1,5	161,76
2025	54.957	130	0,25	173,3	110,25	1,2	132,31	1,5	165,38
2026	56.188	130	0,25	173,3	112,72	1,2	135,27	1,5	169,08
2027	57.446	130	0,25	173,3	115,25	1,2	138,30	1,5	172,87
2028	58.732	130	0,25	173,3	117,83	1,2	141,39	1,5	176,74
2029	60.047	130	0,25	173,3	120,47	1,2	144,56	1,5	180,70
2030	61.392	130	0,25	173,3	123,16	1,2	147,80	1,5	184,74
2031	62.766	130	0,25	173,3	125,92	1,2	151,10	1,5	188,88
2032	64.172	130	0,25	173,3	128,74	1,2	154,49	1,5	193,11
2033	65.609	130	0,25	173,3	131,62	1,2	157,95	1,5	197,43
2034	67.078	130	0,25	173,3	134,57	1,2	161,48	1,5	201,85
2035	68.579	130	0,25	173,3	137,58	1,2	165,10	1,5	206,37
2036	70.115	130	0,25	173,3	140,66	1,2	168,80	1,5	210,99
2037	71.685	130	0,25	173,3	143,81	1,2	172,57	1,5	215,72
2038	73.290	130	0,25	173,3	147,03	1,2	176,44	1,5	220,55
2039	74.931	130	0,25	173,3	150,32	1,2	180,39	1,5	225,49
2040	76.609	130	0,25	173,3	153,69	1,2	184,43	1,5	230,54
2041	78.324	130	0,25	173,3	157,13	1,2	188,56	1,5	235,70
2042	80.078	130	0,25	173,3	160,65	1,2	192,78	1,5	240,97
2043	81.871	130	0,25	173,3	164,25	1,2	197,10	1,5	246,37

Nota: Elaboración propia.

13. DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL LAS ESTRUCTURAS

HIDRÁULICAS DE LA PTAP

La PTAP de La Mesa, Cundinamarca es una planta tipo convencional en donde se realizaron visitas técnicas y se caracterizó el punto de captación, en las cuales se logró recopilar información que después permitió elaborar un diagnóstico detallado de su estado actual.

13.1. PUNTOS DE CAPTACIÓN

La quebrada La Honda es la fuente hídrica para el abastecimiento del municipio de La Mesa, ubicada en el municipio de Tena en la vereda Cativa.

Las captaciones se distribuyen de la siguiente manera:

- Bocatoma para el Municipio de La Mesa
- Bocatoma para los Municipios de La Mesa y Anapoima

13.1.1. Bocatoma.

La captación de acueducto del municipio de La Mesa se ubica en la quebrada la Honda en la vereda Laguneta del municipio de Tena, sector conocido como el Tambo. Está conformada por dos bocatomas: la primera estructura corresponde a una bocatoma de fondo que abastece a los municipios de La Mesa y Anapoima. La segunda estructura se encuentra aguas abajo de esta captación, correspondiente a una bocatoma lateral exclusiva del municipio de La Mesa. Ésta se encuentra a una elevación de 1.546 m.s.n.m.

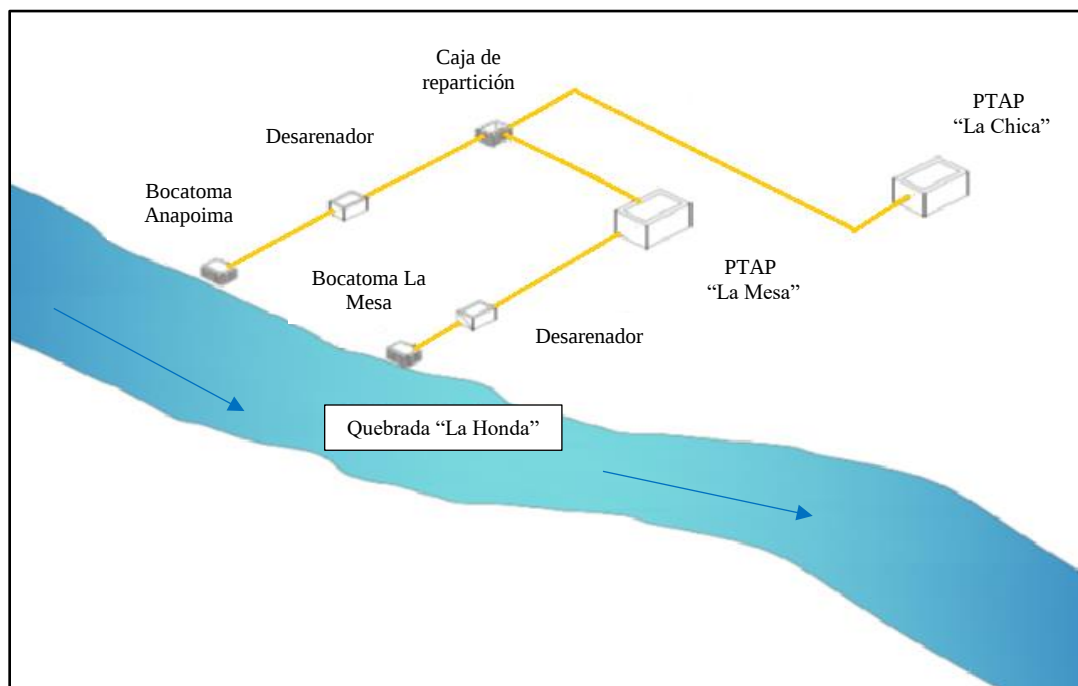


Figura 4. Suministro de abastecimiento para los Municipios de La Mesa y Anapoima.

Nota: Elaboración propia.

No se logró obtener registro fotográfico de las bocatomas de la quebrada La Honda, por su difícil acceso y poca seguridad.

13.2. DESARENADOR

Existen dos desarenadores hechos en concreto reforzado:

- El primero se encuentra ubicado en el punto de captación de la quebrada La Honda.
- El segundo se encuentra ubicado aguas abajo de la captación.

13.3. CAJA DE REPARTICIÓN

La caja de repartición se ubica en la PTAP La Mesa donde llega la conducción de La Mesa en donde:

- 37,29 l/s para el Municipio de La Mesa.
- 25,26 l/s donde el 40% es decir, 10,1 l/s corresponde al Municipio de La Mesa y el 60 % es decir, 15,2 l/s corresponde al Municipio de Anapoima.

13.4. PTAP

Se realizaron cuatro visitas técnicas a la Planta de Tratamiento de La Mesa, en las cuales se identificaron las unidades de tratamiento, también se realizó un reporte del funcionamiento de las mismas y de los materiales con las que fueron construidas.

La Planta de Tratamiento de La Mesa funciona las 24 horas del día y cuenta con la permanencia de cuatro operarios; tres operarios con turnos de 8 horas y un operario de relevo.

El proceso de tratamiento que realiza la PTAP La Mesa se resume en el siguiente diagrama:

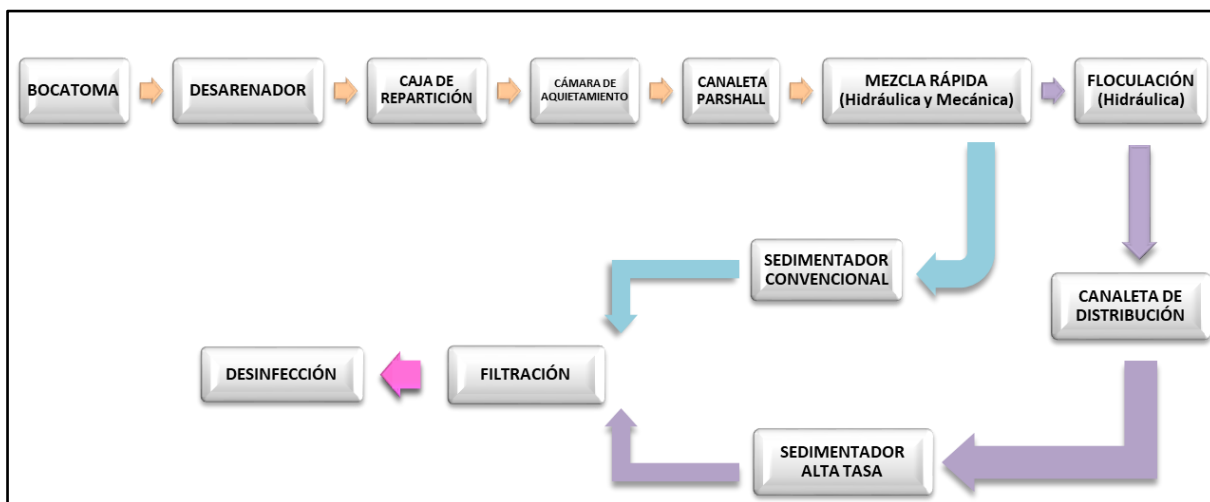


Figura 5. Estructuras hidráulicas de la PTAP La Mesa, Cundinamarca

Nota: Elaboración propia.

13.4.1. Caja de repartición.

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones en la PTAP:**
 - Repartir el caudal para los municipios de La Mesa y Anapoima proveniente de la Bocatoma de Anapoima.



Fotografía 1. Caja de repartición (Tatiana Zapata, 2019).



Fotografía 2. Repartición Anapoima- La Mesa (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.2. Conducción de Anapoima- PTAP La Mesa.

- **Material:**
 - Polietileno
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones de la PTAP**
 - Conducir el 40% del caudal para la PTAP La Mesa



Fotografía 3. Conducción de Anapoima- PTAP La Mesa (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.3. Cámara de Aquietamiento.

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones de la PTAP**
 - Paso controlado del agua de la Bocatoma de La Mesa y Anapoima, Cundinamarca.



Fotografía 4. Cámara de Aquietamiento (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.4. Canaleta Parshall.

- **Material:**
 - Fibra de vidrio
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones de la PTAP:**
 - Aforo de los caudales de la PTAP
 - Mezclar Cal Viva E Hidratada



Fotografía 5. Canaleta Parshall (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.5. Mezcla rápida (Mecánica e hidráulica).

13.4.5.1. Mecánica (Hélices).

- **Material:**
 - Madera
- **Número de unidades:**
 - Dos unidades
- **Funciones de la PTAP:**
 - Mezclar del coagulante Tipo A Granular [Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$].



Fotografía 6. Paletas mezcla rápida (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.5.2. Hidráulica (Resalto hidráulico).

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones de la PTAP:**
 - Mezclar del coagulante Tipo A Granular [Sulfato de Aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$].



Fotografía 7. Vertedero mezcla rápida hidráulica (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.6. Floculación (Mezcla lenta-hidráulica).

13.4.6.1. Hidráulica (Tipo Cox).

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**
 - Dos unidades - Doce cámaras
- **Funciones de la PTAP:**
 - Controlar gradientes y tiempos de retención



Fotografía 8. Floculadores tipo Cox (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.7. Sedimentación (Convencional y Alta tasa).

13.4.7.1. Sedimentador convencional.

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**

- Una unidad
- **Funciones de la PTAP:**
 - Sedimentar partículas floculentas



Fotografía 9. Sedimentador Convencional (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.7.2. Sedimentador Alta tasa.

- **Material:**
 - Concreto
 - Tubos tipo panal
- **Número de unidades:**
 - Dos unidades
- **Funciones de la PTAP:**
 - Sedimentación de partículas floculentas mediante panales



Fotografía 10. Sedimentador de Alta Tasa (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.8. Filtración.

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**
 - Tres unidades
- **Medio**
 - Arena, grava y antracita
- **Funciones de la PTAP:**
 - Remoción de material suspendido, sobrante de la sedimentación.
 - Remoción de microorganismos, resistentes a la desinfección



Fotografía 11. Filtros (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.9. Cloración.

- **Medio:**
 - Inyección Cloro gaseoso
- **Funciones de la PTAP:**
 - Eliminar algunos parásitos y virus para el posterior suministro de agua.



Fotografía 12. Cloración (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.10. Almacenamiento.

- **Medio:**
 - Tanques de almacenamiento
- **Material:**
 - Concreto
- **Funciones de la PTAP:**
 - Almacenamiento de agua para venta o emergencia en tanques de 400 m^3
 - Almacenamiento de agua filtrada para luego desinfectar en tanque de 240 m^3



Fotografía 13. Tanques de Almacenamiento (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.11. Tanque de almacenamiento para lavado de filtros.

- **Material:**
 - Concreto
- **Número de unidades:**

- Una unidad
- **Funciones de la PTAP:**
 - Almacenar agua para el lavado de filtros



Fotografía 14. Tanque aéreo (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.12. Cuarto de Bombas.

- **Número de unidades:**
 - Dos unidades
- **Funciones de la PTAP:**

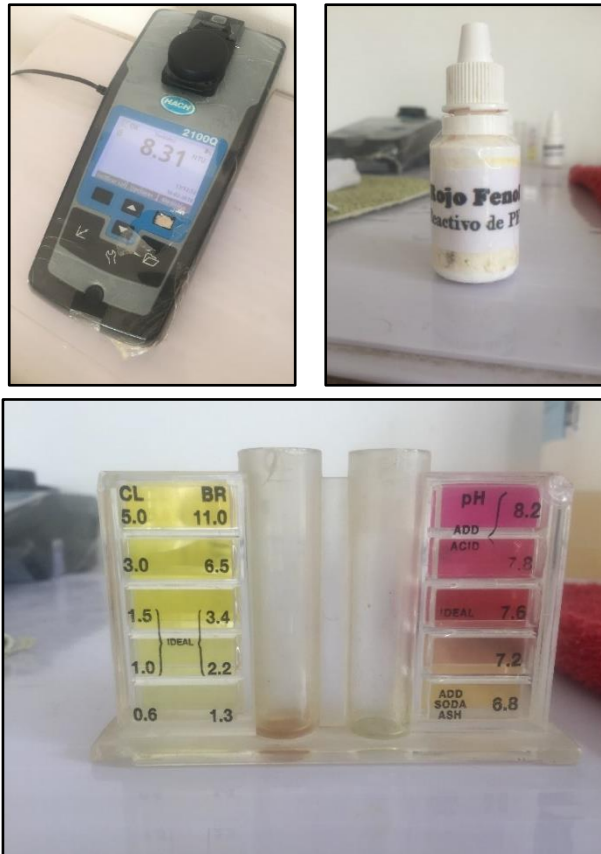
- Conducir el agua filtrada al tanque de cloración de la PTAP



Fotografía 15. Cuarto de bombas (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.13. Análisis de agua.

- **Medio:**
 - Laboratorio para análisis de agua
- **Herramientas:**
 - Turbidímetro
 - pH-metro
 - Test de jarras
- **Funciones de la PTAP:**
 - Analizar el agua cruda, sedimentada y tratada, con el fin de obtener parámetros de turbiedad, potencial de hidrogeno, temperatura y color.
 - Realizar el ensayo de jarras para determinar la dosis óptima a aplicar de coagulante.



Fotografía 16. Análisis del agua (Tatiana Zapata, 2019).

13.4.14. PTAP Compacta de 10 l/s.

- **Material:**
 - Fibra de vidrio
- **Número de unidades:**
 - Una unidad
- **Funciones de la PTAP:**
 - Fuera de servicio aproximadamente 10 años



Fotografía 17. PTAP convencional (Tatiana Zapata, 2019).

13.5. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP

Se presentan las dimensiones de las unidades hidráulicas de la PTAP, las cuales fueron producto de mediciones hechas manualmente y rectificadas en el plano de la PTAP, suministrado por ERAT S.A. E.S.P.

A continuación, se presenta:

13.5.1. Cámara de Aquietamiento.

Por lo que refiere a la Cámara de Aquietamiento, las variables que se midieron para comprobar que los parámetros de diseños fueran los correctos son las siguientes:

Tabla 14.
Variables de la Cámara de Aquietamiento

Variable		Significado
B		Base de la cámara de aquietamiento (m)
L		Longitud de la cámara de aquietamiento (m)
h		Altura de la cámara de aquietamiento (m)

Nota: Elaboración propia.

Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 15.*Dimensiones de la Cámara de Aquietamiento*

Variable	Resultado
B	1,30 m
L	0,87 m
h	0,90 m

Nota: Elaboración propia.

13.5.2. Canaleta Parshall.

La medición del caudal se efectúa con la reglilla, la cual está ubicada en un costado de la canaleta Parshall. Esta mide el caudal según, la altura del agua. En la siguiente imagen se muestra la regla medidora de caudal:

**Fotografía 18.** Caudalímetro (Tatiana Zapata, 2019).

La canaleta Parshall de esta PTAP, trabaja con un caudal de:

- Caudal aforado: 45 l/s

Con el fin de verificar que los parámetros de diseño estuvieran en los rangos establecidos como lo indica el libro de (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 357) , se midieron las siguientes variables correspondientes a una garganta de 9" $\approx 0,23$ m:

Tabla 16.
Variables de la Canaleta Parshall

Variable	Significado
B	Sección de divergencia (m)
C	Ancho sección de convergencia (m)
D	Ancho sección de divergencia (m)
E	Sección de la garganta (m)
G	Sección de convergencia (m)

Nota: Elaboración propia.

Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 17.
Dimensiones de la Canaleta Parshall

Variable	Resultado
B	86,40 m
C	38,00 m
D	57,50 m
E	61,00 m
G	45,70 m

Nota: Elaboración propia.

13.5.3. Flocculación (hidráulica).

En la PTAP existen dos estructuras de flocculadores tipo Cox, cada uno constituido por 6 cámaras que se comunican por medio de ventanas superiores e inferiores para el paso del agua.

El sistema de entrada al flocculador, es un canal rectangular que distribuye el caudal a las dos estructuras.

Tabla 18.
Variables del Flocculador (Hidráulico)

Variable	Significado
NC	Número de cámaras
L	Longitud de la cámara (m)
A	Ancho de la cámara (m)
P	Profundidad de la cámara (m)
BD	Borde libre (m)
S	Pendiente de la cámara (%)
SC	Separación entre cámaras (m)

Nota: Elaboración propia.

Debido a que los flocculadores presentan dimensiones iguales, las variables que se presentan a continuación corresponden a una sola unidad. Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 19.
Dimensiones del Floculador (Hidráulico)

Variable	Resultado
NC	6 unidades
L	1,90 m
A	1,90 m
P	3,03 m
BD	0,30 m
S	0,1 %
SC	2,00 m

Nota: Elaboración propia.

13.5.4. Sedimentación.

El proceso de sedimentación se realiza mediante un sedimentador convencional y un sedimentador de alta tasa, estos están ubicados en paralelo.

7.1.5.1. Sedimentador convencional.

El agua llega mediante un canal rectangular proveniente de la mezcla rápida mecánica. En el sedimentador convencional, se midieron las siguientes variables:

Tabla 20.
Variables del Sedimentador Convencional

Variable	Significado
B	Base del sedimentador (m)
L	Longitud del sedimentador (m)
H	Profundidad del sedimentador (m)

Nota: Elaboración propia.

Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 21.
Dimensiones del Sedimentador Convencional

Variable	Resultado
B	4,25 m
L	16,00 m
H	3,65 m

Nota: Elaboración propia.

7.1.5.2. Sedimentador de alta tasa.

El sistema de entrada es mediante un canal rectangular proveniente de los floculadores. El sistema del floculador es en módulos tipo panal. La salida del agua sedimentada se hace mediante dos canaletas en PRFV, en vertederos triangulares. El material de los módulos es en lámina calibre 40, inclinados 60° con la horizontal.

En el sedimentador de alta tasa, se midieron las siguientes variables:

Tabla 22.
Variables del Sedimentador

Variable	Significado
B	Base del sedimentador (m)
L	Longitud del sedimentador (m)
H	Profundidad del sedimentador (m)

Nota: Elaboración propia.

Los módulos del sedimentador de alta tasa, tiene las siguientes variables:

Tabla 23.
Variables del Sedimentador de Alta Tasa

Variable	Significado
e	Separación entre tubos (m)
Lt	Longitud del tubo (m)
θ	Inclinación de tubos

Nota: Elaboración propia.

Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 24.
Dimensiones del Sedimentador de Alta Tasa

Variable	Resultados
B	4,00 m
L	6,75 m
H	3,40 m

e	0,06 m
Lt	1,20 m
θ	60°

Nota: Elaboración propia.

13.5.5. Filtros.

El sistema de filtración de la PTAP está compuesto por grava, arena y antracita. Según la información suministrada por la Empresa Regional Aguas del Tequendama clasifican los filtros como rápidos. En los filtros se midieron las siguientes variables:

Tabla 25.
Variables de Filtros

Variable	Significado
L	Longitud del filtro (m)
B	Ancho del filtro (m)

Nota: Elaboración propia.

Las dimensiones son las siguientes:

Tabla 26.
Dimensiones del Filtro

Variable	Resultados
L	4,00 m
B	3,35 m

Nota: Elaboración propia.

13.6. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL A TRATAR EN LA PTAP

La PTAP del municipio de La Mesa en la actualidad trata un caudal entre 40 l/s y 90 l/s, debido a que no existe un adecuado control de los caudales a la entrada de la planta ni regulación de los mismos. Es de resaltar que en la actualidad la planta no cuenta con la capacidad de atender la totalidad de la demanda de agua del municipio, motivo por el cual la Empresa Regional Aguas del Tequendama planeó la distribución mediante un plan de sectorización el cual también está en función de la época del año (Tiempo lluvioso y seco). Para efectos de verificación del funcionamiento actual de la planta, inicialmente se realiza los cálculos para el caudal concesionado de operación de la planta (47,4 l/s), teniendo en cuenta que el rango debe estar entre 40 l/s y 90 l/s .

13.7. EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP

La evaluación de las estructuras hidráulicas de la PTAP se realizarán con el caudal concesionado por (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, equivalente a 47,4 l/s. Cabe resaltar que el vertedero que se encuentra a la salida de la canaleta Parshall divide el caudal de entrada, es decir; el 15% del caudal de entrada toma camino a las unidades hidráulicas de mezcla rápida mecánica- sedimentador convencional y el 85% restante toma camino a las unidades hidráulicas de floculadores tipo cox – sedimentadores de alta tasa.

13.7.1. Cámara de Aquietamiento.

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 79) los cálculos para establecer, si la cámara de aquietamiento cumple con los requerimientos de funcionamiento, son los siguientes:

Tabla 27.*Variables para cálculos de Cámara de Aquietamiento*

Variable	Resultado
Q	0,0474 m ³
B	1,30 m
L	0,87 m
h	0,90 m

Nota: Elaboración propia.**13.7.1.1. Tiempo de retención.**

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{1,30 \text{ m} * 0,87 \text{ m} * 0,90 \text{ m}}{0,0474 \text{ m}^3/\text{s}} = 21,47 \text{ s} = 0,36 \text{ min}$$

13.7.1.2. Velocidad ascensional.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0474 \text{ m}^3/\text{s}}{1,30 \text{ m} * 0,87 \text{ m}} = 0,042 \text{ m/s}$$

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 79) los criterios de evaluación de:

- El tiempo de retención se debe encontrar entre 30 y 60 s.

No cumple: 21,47 s < 30 s

- Velocidad ascensional se debe encontrar entre 4 y 10 cm/s

Cumple: 4 cm/s < 4,12 cm/s < 10 cm/s

13.7.2. Canaleta Parshall.

Según (Pérez Parra, 1981) los cálculos para establecer, si la canaleta Parshall cumple con los requerimientos de funcionamiento, son los siguientes:

13.7.2.1. Garganta de la canaleta: $W = 9'' \approx 0,23 \text{ m}$.

$$W_a = \frac{2}{3}(D - W) + W = \frac{2}{3}(0,57\text{m} - 0,23\text{m}) + 0,23\text{m} = 0,46 \text{ m}$$

13.7.2.2. Cálculo de h_a .

$$Q = 4W * h_a^{1522 * W^{0,026}}$$

Donde:

W : ancho de garganta (pie)

h_a : Altura lámina de agua a la entrada de la canaleta (pie)

Q : Caudal (pie/s)

$$Q = 4 \left(\frac{1 \text{ pie}}{0,3048\text{m}} * 0,23\text{m} \right) * h_a^{1522 * \frac{0,23}{0,3048}^{0,026}} = 3,02 * h_a^{1,511}$$

13.7.2.3. Cálculo h_a

$$Q = 47,4 \text{ l/s} * 1\text{m}^3/1000 \text{ l} * 1 \text{ pie}^3/0,3048^3\text{m}^3 = 1,67 \text{ pie}^3/\text{s}$$

$$h_a = \left(\frac{Q}{1,969} \right)^{1/1,511} = \left(\frac{1,67 \text{ pie}^3/\text{s}}{1,969} \right)^{1/1,511} = 0,896 \text{ pie} * \frac{0,3048 \text{ m}}{1 \text{ pie}} = 0,27 \text{ m}$$

13.7.2.4. Cálculo de V_a

$$V_a = \frac{Q}{W_a * h_a} = \frac{0,0474 \text{ m}^3/\text{s}}{0,46 \text{ m} * 0,27 \text{ m}} = 0,38 \text{ m/s}$$

13.7.2.5. Cálculo de la energía (Sección 1-1) por medio de Bernoulli.

$$E_1 = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N = \frac{0,38^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 (9,81 \text{ m}/\text{s}^2)} + 0,27 \text{ m} + 0,11 \text{ m} = 0,39 \text{ m}$$

13.7.2.6. Cálculo de la energía (Sección 2-2) por medio de Bernoulli.

Aplicando Bernoulli: $E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + h_2$

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2} = \frac{0,0474 \text{ m}^3/\text{s}}{0,23 * h_2}$$

$$E_1 = E_2 \text{ (Despreciando pérdidas por fricción entre 1 y 2)}$$

$$0,39 \text{ m} = \frac{0,0474^2}{0,23^2 * h_2^2 * 2 * 9,81} + h_2 \rightarrow 0,39 \text{ m} = \frac{2,1647 * 10^{-3}}{h_2^2} + h_2$$

$$2,1647 * 10^{-3} = 0,39 \text{ m} - h_2 * h_2^2$$

$$0 = 2,1647 * 10^{-3} + h_2^3 - 0,39 \text{ m} h_2^2$$

$$h_2 = 0,44 \text{ m}$$

13.7.2.7. Cálculo de h_b

$$h_b = h_2 - N = 0,44 \text{ m} - 0,11 \text{ m} = 0,33 \text{ m}$$

13.7.2.8. Chequeo de grado de sumergencia “S”.

$$S = \frac{h_b}{h_a} = \frac{0,33 \text{ m}}{0,27 \text{ m}} = 1,22 \rightarrow > 0,60$$

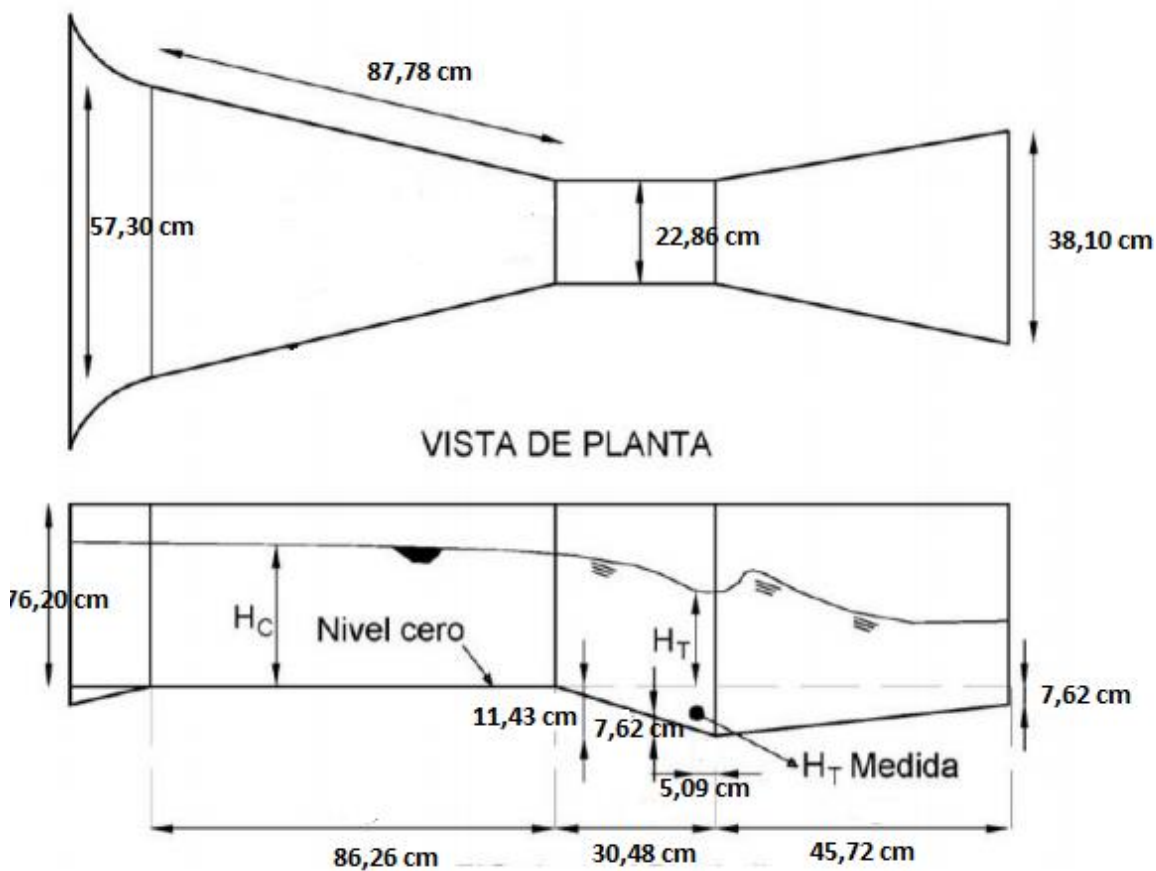
Nota: La canaleta no trabaja con descarga libre, por lo tanto, trabaja ahogada.

13.7.2.9. Ecuación de resalto hidráulico.

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right)$$

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2} = \frac{0,0474 \text{ m}^3/\text{s}}{0,23 \text{ m} * 0,44 \text{ m}} = 0,47 \text{ m/s}$$

$$F_2^2 = \frac{V_2^2}{h_2 * g} = \frac{0,47^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{0,44 \text{ m} * 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,05 \rightarrow \sqrt{0,05} = 0,23$$



El título C “Sistemas de potabilización” del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) la canaleta Parshall de la PTAP:

- **No cumple** con la aplicación del coagulante Sulfato de Aluminio Tipo A, ya que debería mezclarse en el punto de mayor turbulencia de la canaleta Parshall y no a la salida; siendo así, no se distribuye de manera uniforme en toda la masa del agua.
- El Número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0
No cumple: $0,23 < 1,7$
- La relación de Ha/W debe estar en el rango de 0.4 – 0.8.
No cumple: $0,8 < 1,22$. La canaleta trabaja ahogada, por lo tanto su gradiente tampoco cumple.
- **Cumple:** con la reglilla que permite tener un histórico estadístico del caudal que entra a diario a la PTAP.

13.7.3. Mezcla rápida (hidráulica).

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 117) para establecer si la mezcla rápida (hidráulica) cumple con los requerimientos de funcionamiento, se evaluará el 15% del caudal de entrada como se había explicado anteriormente.

Tabla 28.
Variables para cálculos de Vertedero (Mezcla rápida-hidráulica)

Variable	Significado
Q	$0,00711 \text{ m}^3/\text{s}$
B	1,30 m
L	1,25 m

g	9,81 m/s ²
μ	1,03*10 ⁻³ (N * m/s ²)
γ	9789 (N/m ³)

Nota: Elaboración propia.

13.7.3.1. Caudal unitario:

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{0,00711 \text{ m}^3/\text{s}}{1,30 \text{ m}} = 0,0055 \text{ m}^2/\text{s}$$

13.7.3.2. Profundidad crítica de flujo:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(0,0055 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9,81 \text{ m} / \text{s}^2}} = 0,015 \text{ m}$$

13.7.3.3. Altura en la sección 1:

$$h_1 = Y_c * \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{L}{hc}} + 1,5} = 0,015 \text{ m} * \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{1,25 \text{ m}}{0,015 \text{ m}}} + 1,5} = 0,0020 \text{ m}$$

13.7.3.4. Velocidad en la sección 1:

$$V_1 = \frac{q}{h_1} = \frac{0,0055 \text{ m}^2/\text{s}}{0,0020 \text{ m}} = 2,75 \text{ m/s}$$

13.7.3.5. Número de Froude:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{2,75 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \text{ m/s}^2 * 0,0020 \text{ m}}} = 20$$

13.7.3.6. Altura del agua en la sección 2:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) = \frac{0,0020 \text{ m}}{2} \left(\sqrt{1 + 8(20^2)} - 1 \right) = 0,05 \text{ m}$$

13.7.3.7. Velocidad en la sección 2:

$$V_2 = \frac{q}{h_2} = \frac{0,0055 \text{ m}^2/\text{s}}{0,05 \text{ m}} = 0,11 \text{ m/s}$$

13.7.3.8. Longitud del resalto:

$$L_J = 6(h_2 - h_1) = 6(0,05 \text{ m} - 0,0020 \text{ m}) = 0,288 \text{ m}$$

13.7.3.9. Pérdida de energía en el resalto:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2} = \frac{(0,05 \text{ m} - 0,0020 \text{ m})^3}{4 * 0,0020 \text{ m} * 0,05 \text{ m}} = 0,28 \text{ m}$$

13.7.3.10. Velocidad media en el resalto:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{2,75 \text{ m/s} + 0,11 \text{ m/s}}{2} = 1,43 \text{ m/s}$$

13.7.3.11. Tiempo de retención hidráulico de la mezcla:

$$t = \frac{L_J}{V_m} = \frac{0,288 \text{ m}}{1,43 \text{ m/s}} = 0,20 \text{ s}$$

13.7.3.12. Gradiente de velocidad:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * t}} = \sqrt{\frac{9789 \text{ N/m}^3 * 0,28 \text{ m}}{1,03 * 10^{-3} \text{ N * m/s}^2 * 0,20 \text{ s}}} = 3647,66 \text{ s}^{-1}$$

13.7.3.13. Criterios.

Según (Arboleda Valencia, 2004) y (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) Título C, para mezcladores hidráulicos:

- El gradiente de velocidad desde estar entre 1000 y 2000 s^{-1} .

No cumple: $3647,66 \text{ s}^{-1} > 2000 \text{ s}^{-1}$

- El número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0

No cumple: El resultado es 20

Estas son las limitaciones para la metodología de cálculo dadas por (Richter, 1981):

- Relación P/hc la menor posible, para reducir la pérdida de energía en la caída libre de la lámina vertedora.
- Para el vertedero rectangular pueda ser utilizado como aforador, la relación P/hc debe ser mayor de 3.

Cumple:

$$\frac{L}{hc} = \frac{1,25 \text{ m}}{0,015 \text{ m}} = 83 > 3$$

13.7.4. Mezcla rápida (mecánica).

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 111) los cálculos para establecer, si la mezcla rápida- mecánica cumple con los requerimientos de funcionamiento, son los siguientes:

Tabla 29.

Variables para el cálculo del mezclador mecánico.

Variable	Significado
Q	$0,00711 \text{ m}^3/\text{s}$
K	1,70
d	0,0270 m
N	17s
ρ	$998,4 \text{ Kg}/\text{m}^3$
μ	$1,03 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}/\text{s}^2$

B	2,80 m
L	3,00 m
h	3,30 m

Nota: Elaboración propia.

13.7.4.1. Potencia teórica requerida.

$$P = K * \rho * N^3 * d^5$$

$$P = 1,70 * 998,4 \text{ Kg/m}^3 * (17 \text{ s})^3 * (0,0270 \text{ m})^5 = 0,11 \text{ kg} * \text{m}^2 * \text{s}^{-3}$$

13.7.4.2. Gradiente de velocidad.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu * V}} = \sqrt{\frac{0,11 \text{ kg} * \text{m}^2 * \text{s}^{-3}}{1,03 * 10^{-3} \text{ N} * \text{m/s}^2 * 27,72 \text{ m}^3}} = 2,05 \text{ s}^{-1}$$

Según el (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) en el título C la unidad de mezcla rápida mecánica:

- Debe tener un gradiente medio de velocidad entre 500 s^{-1} y 2000 s^{-1}

No cumple: $2,05 \text{ s}^{-1} < 500 \text{ s}^{-1}$

- La planta debe contar por lo menos con dos unidades.

No cumple: Cuenta con una unidad.

- Punto aplicación: Los productos químicos que se adicionan deben ser introducidos en la parte inferior de la turbina del agitador.

No cumple: Aplican los productos en la superficie de la estructura.

13.7.5. Floculación (hidráulica).

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 166) los cálculos para establecer, si la floculación hidráulica cumple con los requerimientos de funcionamiento, se evaluará el 85% del caudal de entrada como se había explicado anteriormente. A continuación, se presentan las variables:

Tabla 30.
Variables para el cálculo del floculador cox.

Variable	Resultado
Q	$0,04029 \text{ m}^3/\text{s}$
NC	6 unidades
L	1,90 m
A	1,90 m
P	3,03 m
BD	0,30 m
S	0,1 %
SC	2,00 m

Nota: Elaboración propia.

Como las dos unidades de floculación presentan las mismas dimensiones, y le corresponde el 85% del caudal de entrada, es decir $40,29 \text{ l/s}$, se supone que a cada unidad de floculación le corresponde la mitad de este caudal.

Se despeja la ecuación para hallar el Gradiente (G):

$$A = \left(\frac{\left(\frac{Q}{2 \text{ orificios}} \right)^3}{116 * G^2 * v} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$(A)^{\frac{7}{2}} = \left(\left(\frac{\left(\frac{Q}{2 \text{ orificios}} \right)^3}{116 * G^2 * v} \right)^{\frac{2}{7}} \right)^{\frac{7}{2}} \rightarrow (A)^{\frac{7}{2}} = \frac{Q^3}{116 * G^2 * v}$$

$$G^2 = \frac{Q^3}{v * 116 * A^{\frac{7}{2}}} \rightarrow G = \sqrt{\frac{Q^3}{v * 116 * A^{\frac{7}{2}}}}$$

13.7.5.1. Floculador Cox 1- Orificio de la cámara 1-2.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}} \right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,081 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 7,52 \text{ s}^{-1}$$

13.7.5.2. Floculador Cox 1- Orificio de la cámara 2-3.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}} \right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,09 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 6,25 \text{ s}^{-1}$$

13.7.5.3. Floculador Cox 1- Orificio de la cámara 3-4.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}} \right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,105 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 4,77 \text{ s}^{-1}$$

13.7.5.4. Floculador Cox 1- Orificio de la cámara 4-5.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}}\right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,12 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 3,78 \text{ s}^{-1}$$

13.7.5.5. Floculador Cox 1-Orificio de la cámara 5-6.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}}\right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,135 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 3,08 \text{ s}^{-1}$$

13.7.5.6. Floculador Cox 1- Orificio de la cámara 6.

$$G = \sqrt{\frac{\left(\frac{0,020145 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \text{ orificios}}\right)^3}{1,03 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} * 116 * (0,15 \text{ m}^2)^{\frac{7}{2}}}} = 2,56 \text{ s}^{-1}$$

Según (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015, pág. 166) los criterios de evaluación para el floculador tipo cox son:

- Número de cámaras entre 8 y 10.

Cumple: 6 cámaras.

- Gradiente de mezcla entre 20 y 60 s^{-1}

No cumple: Los valores entre cámara y cámara son inferiores a 20 s^{-1}

13.7.6. Sedimentación.

- ***Sedimentador convencional.***

Los cálculos para establecer si el sedimentador convencional cumple con los requerimientos de funcionamiento, son los siguientes:

Tabla 31.
Variables para cálculos de Sedimentador Convencional

Variable	Resultado
Q	$0,00711 \text{ m}^3/\text{s}$
B	4,25 m
L	16,00 m
H	3,65 m

Nota: Elaboración propia.

13.7.6.1. Área del sedimentador:

$$A_s = B * L = 4,25 \text{ m} * 16,00 \text{ m} = 68 \text{ m}^2$$

13.7.6.2. Velocidad teórica de sedimentación:

$$V_o = \frac{Q}{A_s} = \frac{0,426 \text{ m}^3/\text{min}}{68 \text{ m}^2} = 0,0063 \text{ m}/\text{min}$$

13.7.6.3. Carga superficial:

$$CS = V_o = \frac{Q}{A_s} = \frac{614.30 \text{ m}^3/\text{día}}{68 \text{ m}^2} = 9.03 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

13.7.6.4. Velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Q}{(B * H)} = \frac{0,00711 \text{ m}^3/s}{(4,25 \text{ m} * 3,65 \text{ m})} = 0,0005 \text{ m/s} \rightarrow 0,05 \text{ cm/s}$$

13.7.6.5. Tiempo de retención:

$$t = \frac{A_s * h}{Q} = \frac{68 \text{ m}^2 * 3,65 \text{ m}}{0.426 \text{ m}^3/min} = 582,63 \text{ min} \approx 9,71 \text{ h}$$

13.7.6.6. Criterios:

Según el (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016),

Título C, se estipula que un sedimentador de flujo horizontal debe constar de:

- Un tiempo de retención entre 2h y 4h:

No cumple: 9,71h > 4h

- Una carga superficial entre $15 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$ y $30 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$:

No cumple: $9.03 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día} < 15 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$

- Una velocidad horizontal máximo 1 cm/s

Cumple: $0,05 \text{ cm/s} < 1 \text{ cm/s}$

- **Sedimentador de Alta tasa**

Los cálculos para establecer si el sedimentador de alta tasa cumple con los requerimientos de funcionamiento, son los siguientes:

Tabla 32.
Variables para cálculos de Sedimentador de Alta Tasa

Variable	Resultados
Q	$0,020145 \text{ m}^3/\text{s}$
B	4,00 m
L	6,75 m
H	3,40 m

Nota: Elaboración propia.

13.7.6.7. Carga superficial:

$$CS = \frac{Q}{A_s} = \frac{1740.5 \text{ m}^3/\text{día}}{4\text{m} * 6,75\text{m}} = 64,46 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$$

13.7.6.8. Área horizontal neta:

Para una separación de $e = 6 \text{ cm}$, un ángulo de inclinación de 60° y una altura para el tubo del módulo de panel de $Lt = 1,20\text{m}$. El área horizontal superficial neta del decantador de módulo de panel es:

$$A_h = Bn * L = (4\text{m} - 1,20\text{m} * \cos(60^\circ)) * 6,75\text{m} = 22,95\text{m}^2$$

Donde:

Bn : Ancho neto de sedimentación

13.7.6.9. Velocidad teórica de sedimentación:

$$V_o = \frac{Q}{A_s * \sin(60^\circ)} = \frac{1,2 \text{ m}^3/\text{min}}{27\text{m}^2 * \sin(60^\circ)} = 0,05 \text{ m/min}$$

13.7.6.10. Tiempo de retención:

$$t = \frac{A_s * h}{Q} = \frac{27m^2 * 3,40 m}{1,2 m^3/min} = 76,5 min$$

13.7.6.11. Criterios:

Según el (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016),

Título C, se estipula que un sedimentador de flujo horizontal debe constar de:

- Un tiempo de detención entre 15min y 20min:

No cumple: 76,5 min > 20min

- Una carga superficial entre $120 m^3/m^2 * día$ y $300 m^3/m^2 * día$:

No cumple: $64,46 m^3/m^2 * día < 120 m^3/m^2 * día$

5.7.6 Filtros.

Se halla la carga superficial de los filtros para evaluar su funcionamiento.

Tabla 33.

Variables para los cálculos de los filtros.

Variable	Resultados
Q	$0,0474 m^3/s$
L	4,00 m
B	3,35 m

Nota: Elaboración propia.

5.7.6.1. Carga superficial.

$$CS = \frac{Q}{\sum Af} = \frac{Q}{Af1 + Af2 + Af3} = \frac{4095,4 m^3/día}{14,84m^2 + 13,4m^2 + 13,4m^2} = 98,35 m^3/m^2 * día$$

Según (Arboleda Valencia, 2004) los parámetros de diseño para el filtro:

- Carga superficial debe estar entre $235 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$ y $350 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$:

No cumple: $98,35 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día} < 235 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}$

13.8. PUNTOS CRÍTICOS EN LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO

De acuerdo a la evaluación del estado y funcionamiento de las estructuras hidráulicas de la PTAP, se identificaron los puntos críticos tanto en su estructura, funcionamiento y manejo. A continuación, se presenta:

13.8.1. Válvulas de la Caja de Repartición.

Las válvulas de la caja de repartición requieren cambio ya que se encuentran averiadas y deterioradas. Además, se encuentran colmatadas de vegetación al igual que las tapas.



Fotografía 19. Válvulas de la Caja de Repartición (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.2. Tanque de lavado de filtros.

El tanque de lavado de filtros presenta un constante escape por medio de la tubería que funciona como entrada y salida del agua.



Fotografía 20. Escape tubería entrada y salida Tanque aéreo (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.3. Aforador.

En la canaleta Parshall se puede visualizar que la flauta que distribuye el coagulante no se encuentra ubicado en el punto de mayor turbulencia de la estructura. Esta anomalía dificulta la mezcla homogénea del Sulfato de Aluminio tipo A, ya que en esta sección divergente se crean las variaciones de flujo crítico, hipercrítico, supercrítico.

Adicionalmente, el número de Froud no se encuentra entre los rangos que especifica el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) propiciando que la canaleta trabaje ahogada



Fotografía 21. Resalto hidráulico - Punto de mayor turbulencia (Tatiana Zapata, 2019).

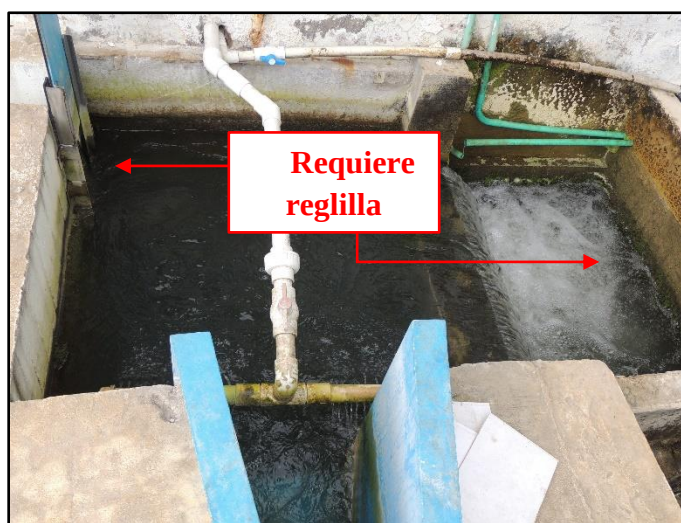
13.8.4. Mezcla rápida (hidráulica) – Vertedero.

En la mezcla rápida (hidráulica), se puede analizar que la caída que genera el resalto hidráulico, es insuficiente para generar una mezcla entre la solución de Sulfato de Aluminio y la masa de agua, puesto que su gradiente hidráulico no se encuentra entre el rango 1000 y 2000 s^{-1} .

Se debe agregar que el resalto no va ser oscilante, pues el número de Froude no se encuentra entre 2,5 y 4,5 como lo estipula el (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) en el Título C.

Es indispensable que el vertedero tenga una reglilla para medición del caudal, puesto que en este punto se encuentra una cámara de derivación en donde el caudal de entrada se divide en 2; el 15% toma camino a las estructuras hidráulicas de mezcla rápida mecánica- sedimentador

convencional y el 85% restante, toma camino a las estructuras hidráulicas de floculadores tipo cox-sedimentadores de alta tasa.



Fotografía 22. Vertedero de salida de Canaleta Parshall (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.5. Tanque de Tolva.

Las paredes del tanque de la tolva presentan parches de Sulfato de Aluminio seco, lo que altera la dosificación del reactivo y produciría a su vez, taponamiento en los orificios de la flauta.



Fotografía 23. Tanque de tolva (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.6. Mezcla rápida (mecánica) – Paletas.

La mezcla rápida (mecánica) es ineficiente debido a que solo funciona una unidad. La velocidad en las que giran las paletas corresponde a 0,17 RPS la cual no es ajustable, de manera que no se puede obtener una velocidad óptima para flocular el agua. Asimismo, la entrada del agua por la parte de arriba dificulta que las paletas tengan mayor área de contacto con la masa de agua coagulada impidiendo la formación de vórtice.

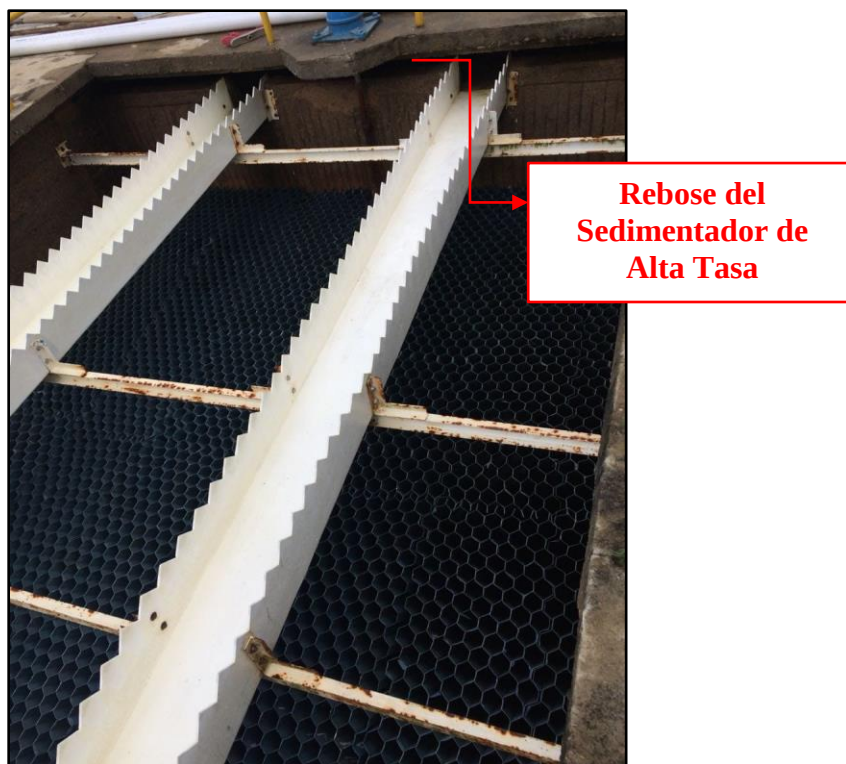
13.8.7. Floculación (hidráulica).

Al realizarse la aplicación de coagulante en la salida de la canaleta Parshall, y transportar el 85% del caudal de entrada, se pierde el proceso de coagulación ya que este recorrido trabaja a presión.

Adicionalmente, los gradientes de estas unidades se encuentran inferiores a 20 s^{-1} causando la formación de flocs débiles.

13.8.8. Sedimentación.

La estructura de los sedimentadores de alta tasa, presentan una anomalía en el canal de la agua sedimentada-filtración, debido a que presenta un rebose aparte de los canales en lámina PRFD que transportan el agua sedimentada. Además, los canales de recolección de agua sedimentada, no se encuentran nivelados a lo largo de la estructura facilitando el traspaso de más coloides al canal de los filtros.



Fotografía 24. Rebose de Sedimentador de alta tasa (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.9. Filtros.

Expuesto el problema de los sedimentadores de alta tasa, los filtros presentan una gran cantidad de sedimentos, adhiriéndose a las paredes y canales provocando bolas de barro en el interior del lecho filtrante. A largo plazo, provoca el endurecimiento del medio filtrante y dificultad en el lavado de filtros.



Fotografía 25. Presencia de floc en filtros (Tatiana Zapata, 2019).

13.8.10. Tanques de almacenamiento.

Los tanques de almacenamiento no poseen macromedidores e inyección de cloro, lo que dificulta llevar el control del almacenamiento y la extracción de agua. Además, las válvulas se encuentran en la intemperie propiciando a que se oxiden y se deterioren.

14. PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA DETERMINAR PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA DE LA PTAP

Las pruebas de tratabilidad que realiza la PTAP de La Mesa no son eficientes en consecuencia que los operarios de la PTAP fallan especialmente en:

- Manejo de la prueba de jarras: preparan soluciones madre y determinan la dosis óptima de acuerdo a su criterio y experiencia.
- Manejo de velocidades y tiempos en correspondencia con las características de las PTAP.
- Naciones matemáticas: trasladan los valores, hallados en la prueba de jarras, a la operación de la PTAP.

En la siguiente fotografía, se puede evidenciar el diligenciamiento de datos de acuerdo a una prueba de jarras realizada después de dos meses del inicio del año 2019. Invierten los tiempos del ensayo de jarras, confundiendo la mezcla lenta con la mezcla rápida. Además, no tienen en cuenta que en la cámara de aquietamiento aplican solución desproporcionada de Cal Hidratada y que a su vez, se debe tener presente en el ensayo de jarras para hallar la dosis óptima de coagulante.

ERAT  **FORMATO DE CONTROL DE ENSAYO DE JARRAS**

Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.

CÓDIGO: FPTAP-19
VERSIÓN: 2
FECHA: 20/05/2018

PTAP	La Mesa	Quien realiza el ensayo:	Jairo Acuña
Fecha	20 II 2019	Hora	11 AM.

Características	Unidades	Agua Cruda	Jarra optima
TURBIEDAD	1700	15.3	2
PH	7.2	7.2	
CONDUCTIVIDAD			
T°		22.3	

Solución Patrón	Tipo Granulado		Concentración	Tipo Líquido		Concentración
	gramos	Volumen de agua	mg/L	ml	Volumen de agua	ml/L
				100 ml	2.11 L	104/1

N° de Jarra	ml de Solución Patrón Aplicada X c/d Jarra (ml)	Calidad del floc Producido		PH en C/d Jarra	UNT en C/d Jarra
		En Suspensión	Flotante		
1-	10	B / R / M	B / R / M	6.8	7.93
2-	20	B / R / M	B / R / M	6.8	4.00
3-	40	B / R / M	B / R / M	6.8	8.69
4-	60	B / R / M	B / R / M	6.8	9.20
5-	80	B / R / M	B / R / M	6.8	7.92
6-	100	B / R / M	B / R / M	6.8	8.77

Proceso	Tiempo en Minutos	Velocidad (RPM)
Mezcla lenta	2 m.	40
Mezcla rápida	15 m.	100

Observaciones Generales	V°B
Se determinó que para una turbiedad de 17. los centímetros del cilindro en ml es de 20 ml. Con un PH neutro y una conductividad de 22.3. Influencia de	

Fotografía 26. Formato de control de ensayo de jarras (Tatiana Zapata, 2019).

15. DIAGNOSTICO DE LA PTAP

15.1. CONSECIÓN DEL AGUA PARA EL MUNICIPIO LA MESA, CUNDINAMARCA

Por medio de la (Resolución Número 1546, 2018) de la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, autoriza el uso de la fuente “Quebrada de la Honda” a la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., con destino a satisfacer las necesidades de uso doméstico a las personas inscritas en su censo de usuarios, perteneciente al municipio de La Mesa, Cundinamarca.

La (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, estudia la demanda hídrica solicitada con una vigencia de diez (10) años, para determinar la tasa de crecimiento promedio poblacional de conformidad con el censo DANE de 2005. **(Ver ANEXO 2, pág 5)**

15.1.1. Proyección de población.

Para el municipio de La Mesa, Cundinamarca, según el CENSO DANE 2005, se tiene la siguiente información:

Tabla 34.
Proyección de población.

Censo DANE 2005 TOTAL	Proyección: Censo DANE 2020 TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL
27.165	33.718	0,014406829

Nota: Adaptado de (Resolución Número 1546, 2018, pág. 5)

La información de la población es extraída del Censo DANE de 2005, en donde la misma entidad realiza una proyección de población hasta el año 2020. (**Ver ANEXO 4**).

La CAR, calcula la Tasa de crecimiento poblacional por medio del método exponencial, de la siguiente forma:

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Dónde:

P_{cp} : Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} : Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

L_n : Logaritmo natural o neperiano.

Reemplazando:

$$k = \frac{\ln 27.501 - \ln 27.165}{2006 - 2005} = 0,012293$$

En la **Tabla 39** se presentan los resultados:

Tabla 35.*Cálculo de Tasa de crecimiento poblacional.*

Proyección de población Año2020	TOTAL	TASA DE CRECIMIENTO
Censo DANE 2005	(habitantes)	POBLACIONAL
2005	27.165	0,012293
2006	27.501	0,014189
2007	27.894	0,014167
2008	28.292	0,014666
2009	28.710	0,014832
2010	29.139	0,014548
2011	29.566	0,014472
2012	29.997	0,014693
2013	30.441	0,014610
2014	30.889	0,014814
2015	31.350	0,014975
2016	31.823	0,014878
2017	32.300	0,014477
2018	32.771	0,014240
2019	33.241	0,014248
2020	33.718	-----
PROMEDIO TASA DE CRECIMIENTO		0,014406829
POBLACIONAL		

Nota: Adaptado de (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005).

Obtenido el resultado del Crecimiento poblacional: 0,014406829, el documento de la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR realiza la proyección de población a diez (10) años de la población actual (27.130 habitantes) y población transitoria (6.755 habitantes) por medio del método geométrico de la siguiente forma:

$$P_F = P_1(1 + r)^n$$

Donde:

P_F : Población Futura

P_1 : Población Actual

r : Tasa de Crecimiento Geométrico

n : Período de diseño

Reemplazando:

$$P_F = P_1(1 + r)^n$$

$$P_F = 27.130 (1 + 0,014406829 \%)^{10}$$

$$P_F = 27.130 (1,00594337)^{10}$$

$$P_F = 27.130 (1,061048721)$$

$$P_F = 27.130 (1,153776376)$$

$$P_F = 31.302 \text{ habitantes}$$

La (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR presenta inconsistencias en su cálculo de la población futura que se describen a continuación:

- La población actual es de 27.165 habitantes y no 27.130 habitantes
- La sumatoria de $1 + 0,014406829$ es igual a 1,014406829 y no 1,00594337
- El resultado de $(1,153776376)$ es inequivalente al procedimiento ya que no se sabe de qué operación sale.
- Por lo tanto, el resultado del presente cálculo es ERRONEO, el cual debería ser de 31.342 habitantes atendiendo las anteriores observaciones.

Del mismo modo, el cálculo de la población futura respecto a la población transitoria presenta mismas inconsistencias que a continuación se pueden observar:

$$P_F = P_1(1 + r)^n$$

$$P_F = 6.755 (1 + 0,014406829 \%)^{10}$$

$$P_F = 6.755 (1,00594337)^{10}$$

$$P_F = 6.755 (1,061048721)$$

$$P_F = 6.755 (1,153776376)$$

$$P_F = 7.794 \text{ habitantes}$$

El resultado del presente cálculo es ERRONEO, el cual debería ser de 7.794 habitantes atendiendo las anteriores observaciones.

15.1.2. Cálculo del caudal.

Para determinar el caudal requerido para consumo doméstico transitorio y permanente, la CAR lo realiza mediante los módulos de consumo mensual (**ANEXO 2, Pág 16**) como se presenta en el siguiente cálculo:

- Caudal doméstico permanente:

$$Q_{\text{permanente}} = 31.302 \text{ habitantes} * 135 \text{ l/hab} * \text{día} * \text{día} / 86.400 \text{ seg}$$

$$Q_{\text{permanente}} = 48,91 \text{ l/seg}$$

- Caudal doméstico transitorio:

$$Q_{\text{transitorio}} = 7.794 \text{ habitantes} * 135 \text{ l/hab} * \text{día} * \text{día} / 86.400 \text{ seg}$$

$$Q_{\text{transitorio}} = 1,98 \text{ l/seg}$$

- Caudal doméstico promedio requerido:

$$Q_{doméstico} = 48,91 \text{ l/seg} + 1,98 \text{ l/seg}$$

$$Q_{doméstico} = 50,89 \text{ l/seg}$$

Teniendo en cuenta el aforo que realizó la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, se obtuvo como oferta hídrica del cuerpo de agua de la quebrada La Honda, un caudal de 90,8 l/s. **(Ver ANEXO 2, pág 17)**

Calculando el caudal ecológico que corresponde al 30% de la fuente, es decir, 27,24 l/s y lo concesionado hasta el momento 26,27 l/s, una vez descontado el caudal aforado, se obtiene un caudal disponible de 37,29 l/s.

Este caudal disponible no supe las necesidades hídricas requeridas por la Empresa Regional Aguas del Tequendama, ya que requiere 50,89 l/s en donde existe un déficit de 13,6 l/s.

15.1.3. Conclusiones.

Respecto al preliminar análisis, se destaca:

- La inconsistencia en el desarrollo de los cálculos de la proyección de la población.
- La solicitud de la concesión desde el año 2005-2015 cuando en realidad debe ser del año 2018-2028 de acuerdo a la presente resolución otorgada el 31 de mayo de 2018.

- El déficit del caudal doméstico requerido por parte de la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. ya que no supe la necesidad del Municipio La Mesa, Cundinamarca.

15.2. CONSECIÓN DEL AGUA PARA EL MUNICIPIO DE ANAPOIMA, CUNDINAMARCA

Por medio de la (Resolución Número 0881, 2012) de la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, autoriza el uso de la fuente “Quebrada de la Honda” a la Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P., con destino a satisfacer las necesidades de uso doméstico a los usuarios pertenecientes al municipio de Anapoima, Cundinamarca.

La (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR, estudia la demanda hídrica solicitada con una vigencia de diez (10) años para determinar el caudal ofertado por la fuente hídrica.

Debido a que el municipio no presentó la proyección de población, la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) CAR decidió otorgarle el caudal de la Empresa Regional Aguas del Tequendama equivalente a 25,26 l/s. **(Ver Anexo 5, pág 2)**

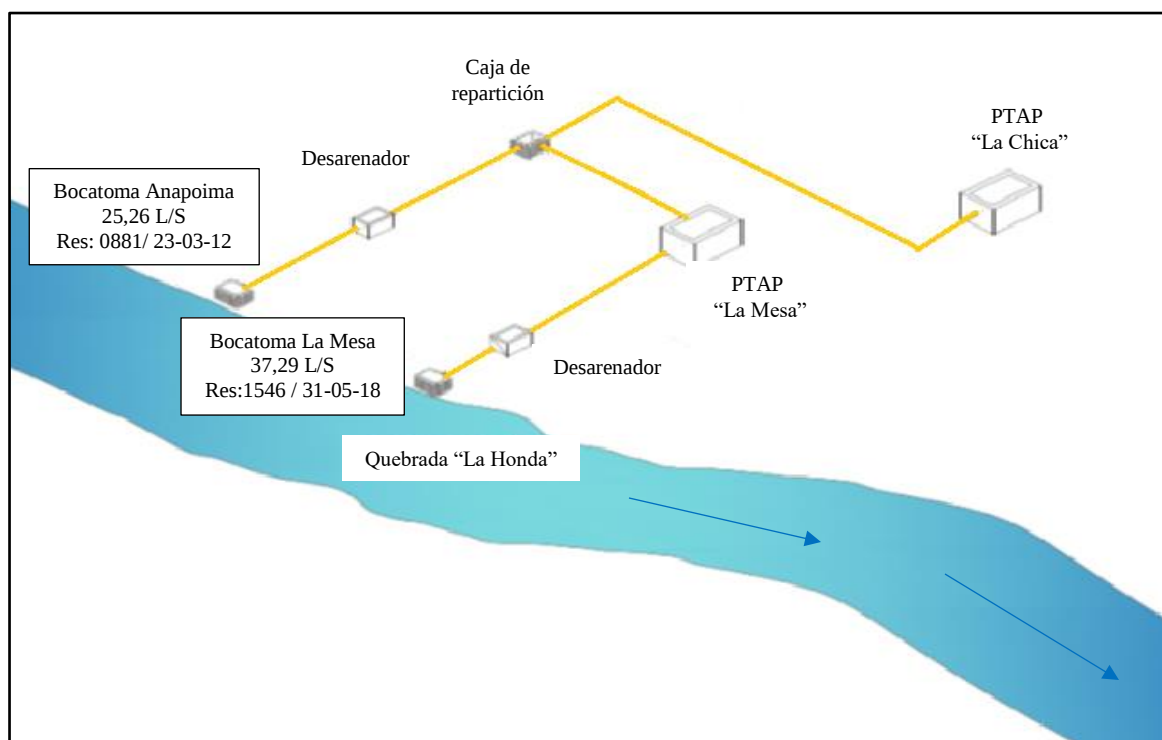


Figura 6. Distribución del agua según las concesiones.

Nota: Elaboración propia.

Concluyendo el análisis de la (Resolución Número 0881, 2012) del municipio de Anapoima y la (Resolución Número 1546, 2018) del municipio de La Mesa, la PTAP tiene un caudal disponible de 47, 4 l/s.

15.3. SUMINISTRO DE AGUA

La Empresa Regional Aguas del Tequendama ERAT, que trata el caudal de la Quebrada la Honda, fija un cronograma sectorizado para distribuirla. Por esta razón cada familia tiene agua cada seis horas, dos-tres veces a la semana tanto en el casco urbano como en algunas veredas y en la inspección de San Javier.

Los horarios son: Diurno (6:00 a.m – 6:00 p.m) y Nocturno (6:00 p.m – 6:00 a.m) todos los días de la semana. Estos horarios aplican cuando el caudal es estable, pero en época de verano cuando el caudal disminuye, la distribución del agua se realiza una vez por semana o hasta a veces cada 15 días. Por esta razón envían carrotanques para la venta de agua cuando no es suficiente.

En la siguiente Tabla se puede estimar el suministro de agua potable por parte de la PTAP en el casco urbano del municipio La Mesa y en algunas veredas incluyendo la Inspección de San Javier, información proporcionada por la Empresa Regional Aguas del Tequendama ERAT S.A. E.S.P.

Tabla 36. Veredas municipio La Mesa.

Nº	Vereda	Suministro de Agua	Nº	Vereda	Suministro de Agua
1.	Laguna parte baja	No aplica	33.	San Esteban	APLICA
2.	Laguna parte alta	No aplica	34.	Alto de Flores	No aplica
3.	Alto del tigre	APLICA	35.	Laguna Verde	No aplica
4.	San Andrés	No aplica	36.	Santa Lucia	No aplica
5.	Calucata	No aplica	37.	Ojo de Agua	No aplica
6.	Hato Norte	APLICA	38.	Hungría	No aplica
7.	La trinidad	APLICA	39.	El Espino	No aplica
8.	San Nicolás bajo	No aplica	40.	Capata	No aplica
9.	San Nicolás	APLICA	41.	La Vega	No aplica
10.	Doima	No aplica			
11.	Guayabal	No aplica			
12.	Zapata	APLICA			
13.	Hospicio	No aplica			
14.	Florián	No aplica			
15.	Honduras	No aplica			
16.	Pavacal	No aplica			
17.	Buenavista	No aplica			
18.	Anatoli	No aplica			
19.	Esperanza	No aplica			
20.	San Lorenzo	No aplica			
21.	Alto de Frisol	No aplica			
22.	San Pablo	No aplica			
23.	Campo Santo	No aplica			
24.	Paraíso	No aplica			
25.	San Javier	APLICA			
26.	Margarita	No aplica			
27.	El Espinal	No aplica			
28.	La Trinita	No aplica			
29.	La Concha	APLICA			
30.	Santa Bárbara	APLICA			
31.	San Martín	No aplica			
32.	El Tigre	No aplica			

La Figura muestra detalladamente el casco urbano y las veredas que la Empresa Regional Aguas del Tequendama ERAT S.A. E.S.P. suministra el servicio de agua potable.

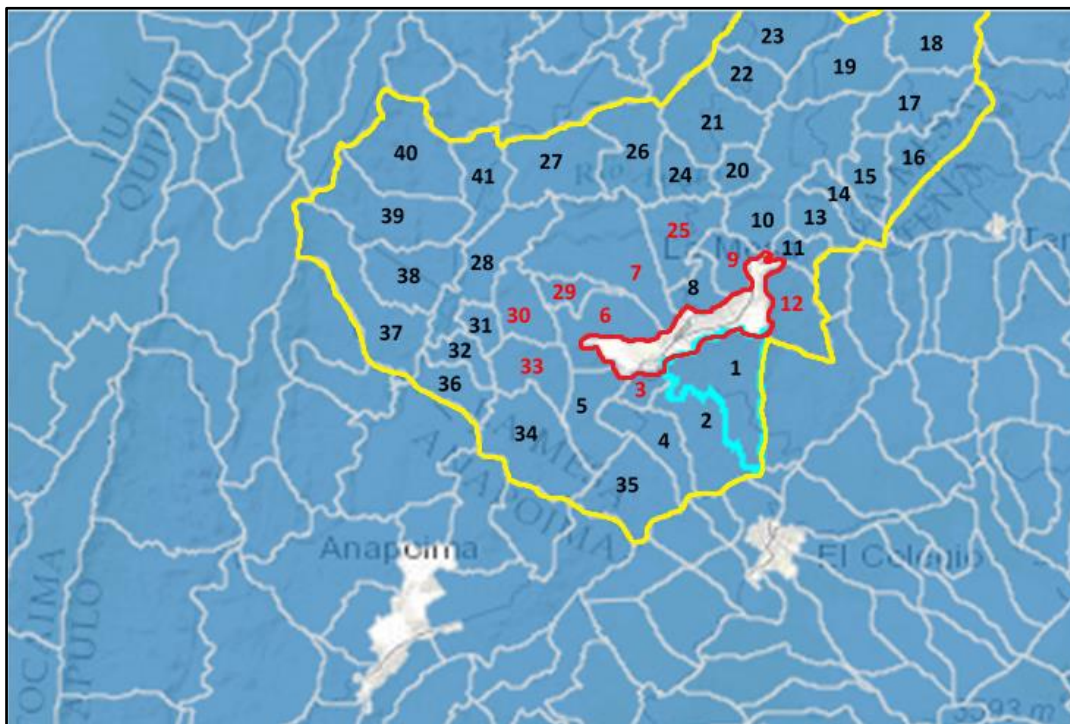


Figura 7. Veredas municipio La Mesa

Nota: Adaptado de Gobernación de Cundinamarca. Adaptado de: <http://www.cundinamarca.gov.co/>

15.4. POBLACIÓN

La Empresa Regional Aguas del Tequendama ERAT S.A. E.S.P. proporcionó información acerca de los usuarios que actualmente demandan el servicio de agua potable (**ANEXO 6**), los cuales son:

Tabla 37.
Usuarios que abastece la PTAP

Ubicación	N° Usuarios
Casco urbano	7095
Inspección San Javier	301
Vereda Zapata	231
Vereda San Nicolás/El cruce	584
Vereda el Palmar	64
Vereda el Hato	97
Vereda Alto del tigre	231
Vereda Santa Bárbara	49
Vereda La Concha	104
Vereda Hato norte	71
Vereda San Esteban	22
Vereda la trinidad	252
TOTAL	9101

Nota: Recuperado de ANEXO 6.

15.4.1. Población según censos.

Para hallar la totalidad de habitantes de acuerdo a la información de los usuarios se realizó una proyección de población a partir de datos censales como lo muestra la Tabla, del casco urbano otorgados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2005) (**ANEXO 4**) que se encuentra en la biblioteca virtual de esta entidad.

Tabla 38.
Censos casco urbano DANE 2005.

AÑO	CENSO
1995	9762
2005	14007

Nota: Elaboración propia.

15.4.2. Proyección de población futura.

El cálculo de la proyección de población futura se realizó utilizando los métodos aritmético, geométrico y exponencial, de acuerdo con lo establecido en el RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016).

Se seleccionó el método exponencial conforme a los parámetros definidos en el título B, numeral 2.4.3.4 que establece una población en apreciable desarrollo y abundantes áreas de expansión que para el caso particular del municipio La Mesa aplica. A continuación, la Tabla presenta los resultados:

Tabla 39*Proyección de población Método exponencial.*

AÑO	P. Exponencial		POBLACION FLOTANTE	TOTAL
	K	POBLACION		
2018	0,036	22397	5356	27753
2019	0,036	23221	5550	28770
2020	0,036	24074	5750	29824
2021	0,036	24959	5957	30917
2022	0,036	25877	6173	32050
2023	0,036	26829	6395	33224
2024	0,036	27815	6626	34441
2025	0,036	28838	6866	35703
2026	0,036	29898	7113	37011
2027	0,036	30997	7370	38367
2028	0,036	32137	7636	39773
2029	0,036	33318	7912	41230
2030	0,036	34543	8198	42741
2031	0,036	35813	8494	44307
2032	0,036	37130	8801	45930
2033	0,036	38495	9118	47613
2034	0,036	39910	9447	49358
2035	0,036	41377	9789	51166
2036	0,036	42899	10142	53041
2037	0,036	44476	10508	54984
2038	0,036	46111	10888	56999
2039	0,036	47806	11281	59087
2040	0,036	49564	11688	61252
2041	0,036	51386	12110	63496
2042	0,036	53276	12547	65823
2043	0,036	55234	13000	68235

Nota: Elaboración propia.

Donde el valor de **K** resulta de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Dónde:

P_{cp} : Población del censo posterior (proyección del DANE).

P_{ca} : Población del censo anterior (habitantes).

T_{cp} : Año correspondiente al censo posterior.

T_{ca} : Año correspondiente al censo anterior.

L_n : Logaritmo natural o neperiano.

Reemplazando la anterior ecuación:

$$K = \frac{\ln (14.007) - \ln(9.762)}{2005 - 1995} = \mathbf{0,036}$$

Teniendo un incremento de la tasa poblacional (K) del 3,6 % lo que significa que la población se encuentra en pleno proceso de transición demográfica en actividades turístico-recreativa, agropecuaria y comercial deduciendo una alta posibilidad de expansión y oportunidad de sustento.

La población flotante fue suministrada por el municipio de La Mesa del censo 2005 donde tenía 6.755 habitantes. La CAR expone bajo la (Resolución Número 1546, 2018) el cálculo de la población futura para un periodo de diseño (*n*) de 10 años. La tasa de crecimiento poblacional es calculada por el método exponencial **ANEXO 2**. Con base a lo anterior se realizó la proyección de población flotante para un período de diseño de 25 años con los datos del censo 2005 mediante la siguiente ecuación:

$$P_F = P_1(1 + r)^n$$

Donde:

P_F : Población futura flotante

P_1 : Población Actual

r : Tasa de crecimiento poblacional

n : Período de diseño

Reemplazando la anterior ecuación:

$$P_{F(2018)} = 6755(1 + 0,036)^{13} * 0,5 = 5.356 \text{ habitantes}$$

$$P_{F(2043)} = 6755(1 + 0,036)^{38} * 0,5 = 13.000 \text{ habitantes}$$

Nota: Para la estimación de la población flotante se tomó inicialmente los valores estimados por la CAR, sin embargo, dado que este valor corresponde a la totalidad de la población (casco urbano y zona rural) y que la planta abastece el casco urbano y algunas veredas, se estableció que la mitad de la población flotante del municipio será beneficiada por la planta.

15.4.3. Definición del período de diseño.

De acuerdo a la (Resolución Número 0330, 2017) que modifica algunos parámetros del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), el periodo de diseño para cualquier proyecto de acueducto, alcantarillado y aseo sin tener en cuenta la población será de 25 años según el capítulo 1 artículo 40, es por esto que la proyección de la población se realizará hasta el año 2043 a partir del 2018.

Tabla 40.*Proyección de población casco urbano.*

Año	P. Aritmética	P. Geométrica		P. Exponencial		POBLACION FLOTANTE	TOTAL	TOTAL SECTORIZADA
		R	POBLACION	K	POBLACION			
2018	19951	0,038	23083	0,037	23083	5445	28528	9509
2019	20394	0,038	23964	0,037	23964	5649	29612	9871
2020	20837	0,038	24877	0,037	24877	5860	30737	10246
2021	21280	0,038	25826	0,037	25826	6079	31905	10635
2022	21723	0,038	26810	0,037	26810	6307	33117	11039
2023	22166	0,038	27833	0,037	27833	6543	34375	11458
2024	22609	0,038	28894	0,037	28894	6788	35681	11894
2025	23052	0,038	29995	0,037	29995	7042	37037	12346
2026	23495	0,038	31139	0,037	31139	7305	38444	12815
2027	23938	0,038	32326	0,037	32326	7578	39905	13302
2028	24381	0,038	33559	0,037	33559	7862	41421	13807
2029	24824	0,038	34838	0,037	34838	8156	42994	14331
2030	25267	0,038	36166	0,037	36166	8461	44628	14876
2031	25710	0,038	37545	0,037	37545	8778	46323	15441
2032	26153	0,038	38977	0,037	38977	9106	48083	16028
2033	26596	0,038	40463	0,037	40463	9447	49910	16637
2034	27039	0,038	42006	0,037	42006	9801	51806	17269
2035	27482	0,038	43607	0,037	43607	10167	53775	17925
2036	27925	0,038	45270	0,037	45270	10548	55818	18606
2037	28368	0,038	46996	0,037	46996	10943	57938	19313
2038	28811	0,038	48788	0,037	48788	11352	60140	20047
2039	29254	0,038	50648	0,037	50648	11777	62424	20808
2040	29697	0,038	52579	0,037	52579	12217	64796	21599
2041	30140	0,038	54583	0,037	54583	12675	67258	22419
2042	30583	0,038	56665	0,037	56665	13149	69813	23271
2043	31026	0,038	58825	0,037	58825	13641	72466	24155

Nota: Elaboración propia.

Respecto a la **Tabla 44**, la columna que se titula población total sectorizada, se refiere a la población total dividida en tres. Este estimativo se realizó puesto que existe incertidumbre a los usuarios que la PTAP abastece, como algunos sectores del casco urbano y también a inspecciones como San Javier. Además, se debe mencionar que el servicio de demanda de agua los usuarios lo disponen entre 2- 3 veces a la semana

15.4.4. Proyección de demandas de agua.

15.4.4.1. Asignación dotación bruta.

La dotación bruta para esta planta de tratamiento es de **173,33 L/hab * día**.

(Ver ANEXO 1).

15.4.4.2. Determinación del caudal medio diario (Q_{md}).

El caudal medio diario para este proyecto (a 25 años) es de **45,63 L/s**.

(Ver ANEXO 1).

15.4.4.3. Determinación del caudal máximo diario (Q_{MD}).

El caudal máximo diario y para el diseño de la planta de tratamiento es de **54,76 L/s**.

(Ver ANEXO 1).

15.4.4.4. Determinación del caudal máximo horario (Q_{MH}).

El caudal máximo horario para este proyecto es de **68,45 L/s**.

(Ver ANEXO 1).

En la **Tabla 45.** se establece el caudal de diseño para cada uno de los años de operación de la PTAP que se encuentran dentro del periodo de diseño de 25 años, empleando la metodología explicada anteriormente.

Los resultados se ilustran con más detalle en el **ANEXO 1.**

Tabla 41. *Demanda de agua.*

AÑO	POBLACIÓN	D _{neto} (l/hab*día)	P%	D _{bruta} (l/hab*día)	Q _{md} (l/hab*día)	k1	QMD	k2	QMH
2018	9251	130	0,25	173,3	18,56	1,2	22,27	1,5	27,84
2019	9590	130	0,25	173,3	19,24	1,2	23,09	1,5	28,86
2020	9941	130	0,25	173,3	19,94	1,2	23,93	1,5	29,92
2021	10306	130	0,25	173,3	20,67	1,2	24,81	1,5	31,01
2022	10683	130	0,25	173,3	21,43	1,2	25,72	1,5	32,15
2023	11075	130	0,25	173,3	22,22	1,2	26,66	1,5	33,33
2024	11480	130	0,25	173,3	23,03	1,2	27,64	1,5	34,55
2025	11901	130	0,25	173,3	23,88	1,2	28,65	1,5	35,81
2026	12337	130	0,25	173,3	24,75	1,2	29,70	1,5	37,13
2027	12789	130	0,25	173,3	25,66	1,2	30,79	1,5	38,49
2028	13258	130	0,25	173,3	26,60	1,2	31,92	1,5	39,90
2029	13743	130	0,25	173,3	27,57	1,2	33,09	1,5	41,36
2030	14247	130	0,25	173,3	28,58	1,2	34,30	1,5	42,87
2031	14769	130	0,25	173,3	29,63	1,2	35,55	1,5	44,44
2032	15310	130	0,25	173,3	30,71	1,2	36,86	1,5	46,07
2033	15871	130	0,25	173,3	31,84	1,2	38,21	1,5	47,76
2034	16453	130	0,25	173,3	33,01	1,2	39,61	1,5	49,51
2035	17055	130	0,25	173,3	34,22	1,2	41,06	1,5	51,32
2036	17680	130	0,25	173,3	35,47	1,2	42,56	1,5	53,20
2037	18328	130	0,25	173,3	36,77	1,2	44,12	1,5	55,15
2038	19000	130	0,25	173,3	38,12	1,2	45,74	1,5	57,17
2039	19696	130	0,25	173,3	39,51	1,2	47,42	1,5	59,27
2040	20417	130	0,25	173,3	40,96	1,2	49,15	1,5	61,44
2041	21165	130	0,25	173,3	42,46	1,2	50,95	1,5	63,69
2042	21941	130	0,25	173,3	44,02	1,2	52,82	1,5	66,03
2043	22745	130	0,25	173,3	45,63	1,2	54,76	1,5	68,45

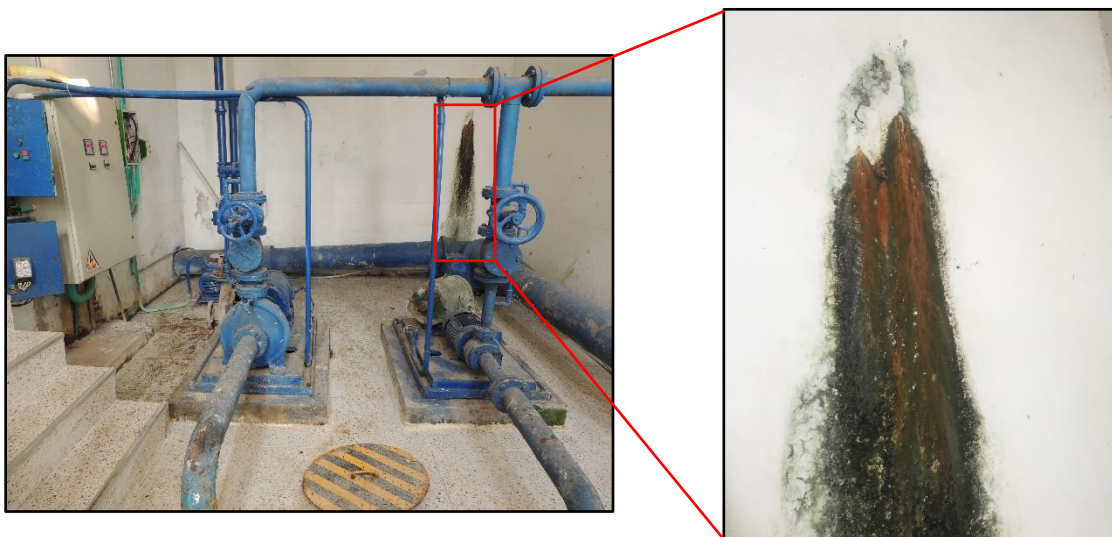
15.5. PATOLOGÍA DE LAS UNIDADES HIDRÁULICAS

Este capítulo está basado en las visitas técnicas que se realizaron a la PTAP para la evaluación de las estructuras hidráulicas. A continuación, se realizó el diagnóstico y sus respectivas recomendaciones para la corrección de humedades de la PTAP La Mesa, Cundinamarca.

15.5.1. Muro de la habitación de bombas-filtros.

Se trata de un muro en concreto reforzado que cumple una doble función: interiormente, es una de las paredes de la habitación de bombas costado norte y, exteriormente, es el muro de los filtros de la PTAP.

El muro permanece la mayor parte de la superficie sumergida, con cambios constantes de altura de agua, generando ciclos de humedad- secado que origina esfuerzos de tensión en el concreto, causándole degradación; asimismo, por la velocidad del agua y el arrastre de partículas en suspensión (especialmente arena), produciendo erosión, haciendo que el muro pierda recubrimiento de mortero protector. Estas dos situaciones repercuten negativamente en el desempeño del muro, incrementando la permeabilidad, disminuyendo la durabilidad y el desempeño.



Fotografía 27. Cuarto de bombas (Tatiana Zapata, 2019).

Si a lo anterior se suma la presión ejercida por el agua sobre la superficie del muro, ésta puede comenzar a filtrar a través de zonas porosas o débiles como lo muestra la Fotografía, manifestándose con humedad permanente y corrosión del acero de refuerzo, situación que atenta contra la resistencia, la durabilidad y estabilidad de la estructura. No se evidencia reparación alguna al exterior del muro, como recuperación del espesor del mortero perdido por la erosión. Las filtraciones son activas con residuos de corrosión del acero de refuerzo.

Como se puede observar en la Fotografía, la estructura de concreto se deteriora por medio de la filtración del agua al interior de la placa, que ocurre paulatinamente a través de la superficie porosa de la estructura. Esto se debe, a que la estructura que se encuentra sobre el muro correspondiente al vertedero donde se realiza la mezcla rápida-mecánica.



Fotografía 28. Cuarto de bombas (Tatiana Zapata, 2019).

15.5.2. Vertedero (Mezcla Rápida- mecánica).

El Vertedero hecho en concreto reforzado cumple doble función: conducir la masa de agua que ha realizado el proceso de la mezcla rápida- hidráulica a la mezcla rápida- mecánica y almacenar la reutilización del agua de los filtros.

El agregado grueso de la estructura, aparece expuesto a causa de la pérdida del recubrimiento de mortero como se muestra en la Figura, típico de estos procesos. El muro permanece la mayor parte de la superficie sumergida, con cambios constantes de altura de agua y adicionalmente a los efectos del Sulfato de Aluminio que atacan los componentes del concreto, haciéndolo reaccionar con los compuestos hidratados del cemento endurecido y eventualmente pueden estimular el aumento de presiones en la pasta de cemento, suficientes para reducir su cohesión y generar agrietamiento y exfoliación.



Fotografía 29. Vertedero mezcla rápida hidráulica (Tatiana Zapata, 2019).

En la Fotografía se puede observar como el concreto se desintegra y deja de funcionar como aglomerante y en consecuencia libera paulatinamente los agregados. La causa es por el ataque químico del Sulfato de Aluminio. Asimismo, fomenta la corrosión del acero de refuerzo, menguando su resistencia y durabilidad.



Fotografía 30. Exposición de agregado grueso (Tatiana Zapata, 2019).

15.5.3. Canal (Mezcla rápida- mecánica – Sedimentador 3).

Los muros del canal se encuentran fisurados en las esquinas provocando filtración como lo evidencia la Fotografía. Además, puede ocasionar el deterioro del mortero generando desprendimiento del conglomerado.



Fotografía 31. Fisuras del canal de sedimentación (Tatiana Zapata, 2019).

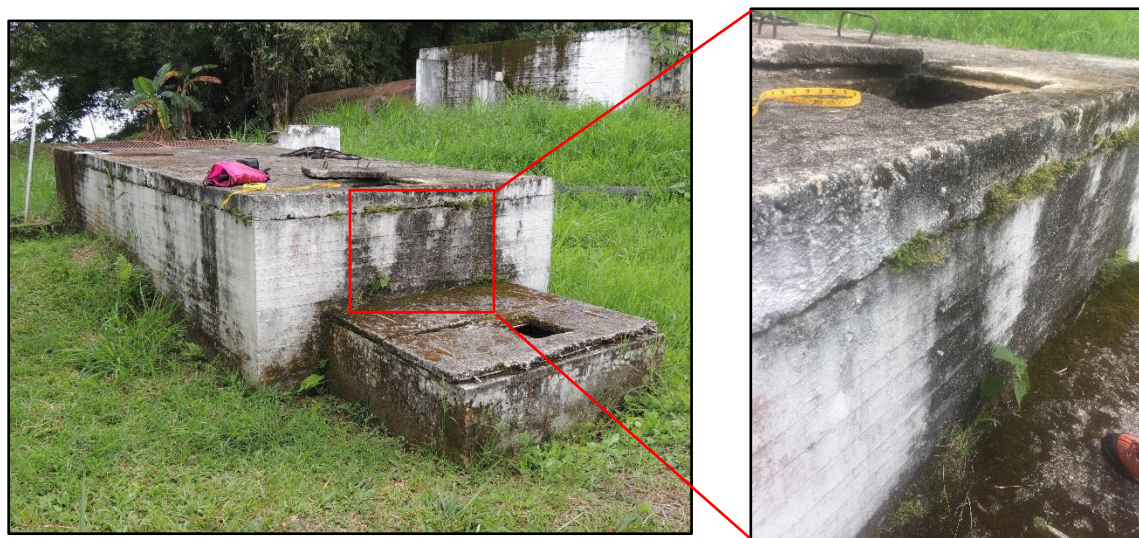
Asimismo, se presenta grietas y fisuras en las paredes de los filtros provocando abombamiento en el concreto como se presenta en la Fotografía.



Fotografía 32. Abombamiento paredes de filtros (Tatiana Zapata, 2019).

15.5.4. Tanque de distribución.

La estructura del Tanque de distribución, se encuentra afectada por la corrosión inducida por los cloruros. En las tapas presenta carbonatación, debido a que el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto como lo muestra la Fotografía



Fotografía 33. Corrosión inducida por cloruros (Tatiana Zapata, 2019).

La PTAP de la Mesa Cundinamarca, fue construida alrededor del año 1970 por el INFOPAL.

En el año 2014 se le realizó una modificación adicionando floculadores tipo cox y sedimentadores de alta tasa, pero no hay registros ni informes en donde le realicen un mantenimiento a las estructuras en concreto. Por esta razón se realizó una investigación y asesoramiento por SIKA COLOMBIA para realizar reparación a las unidades anteriormente mencionadas, que se encuentran constantemente expuestas a viento, sol y lluvia.

Cabe aclarar que es necesario realizar ensayos de patología para verificar la resistencia del concreto, la homogeneidad, la dureza, la permeabilidad, la degradación de sus características como, por ejemplo, pérdida de pH, cambio de color, manchas, hinchamientos, fisuras, permeabilidad, entre otros; en lugares seleccionados de la estructura, para analizarlas y tomar decisiones al respecto, mediante el análisis sistemático de la información que se recolecte.

Dentro de los ensayos que se deben realizar son: esclerómetro, ultrasonido, permeabilidad al agua, gravedad específica, absorción y vacíos en concreto endurecido, reacción álcali-agregados, permeabilidad rápida a los cloruros, medición de corrosión, medición de carbonatación y extracción de núcleos.

ESTRUCTURA	LESIONES	PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS	
Canal (Mezcla rápida-mecánica-Sedimentador 3)	Paredes del canal	La placa muestra infiltración presentando corrosión en el acero y deterioro del concreto.	FIBERSTRAND N	Micro- fibra para reforzamiento, mitigando contracción plástica del concreto
		La placa muestra infiltración presentando corrosión en el acero y deterioro del concreto.	SIKALÁTEX	Mejora características de mortero aportando nivelación para instalación de Impermeabilización
		Presenta juntas de dilatación y filtración de agua	SIKAFLEX 1CSL	Sella juntas de dilatación
		Presenta fisuras y filtración de agua	SIKAFLEX 1ª	Sella fisuras

Nota: Elaboración propia.

ESTRUCTURA	LESIONES	PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS	
Vertedero mezcla rápida mecánica; Tanque de distribución; Muro de la habitación de bombas-filtros	Paredes del tanque – Paredes externas habitación	Presenta fisuras por donde se fuga el agua causando humedad	SIKA INJECTION 101	Impermeabilización con resina de poliuretano de baja viscosidad que forma una espuma mediante la reacción del agua sellando fisuras.
		Caja de inspección que alberga agua donde se presenta filtración al terreno que contiene al muro en referencia.	SIKA 101 MORTERO	Recubrimiento impermeable, elaborado con base en cemento y polímeros modificados
		Presenta fisuras por donde se fuga el agua causando humedad	SIKA INJECTION 306	Impermeabilización con resina poli acrílica de baja viscosidad
		Presenta fisuras y grietas inactivas causando humedad	EUCO 455 GEL	Sella grietas anchas sin fuga de agua
		Presenta fisuras y grietas inactivas causando humedad	SIKADUR 35 HI MOD LV	Resina de ultra baja viscosidad para Inyección a presión en grietas de concreto sin fuga de agua
		El muro está expuesto a residuos de corrosión del acero de refuerzo	SIKATOP ARMATEC 108	Recubrimiento de protección anticorrosivo y adherente.
		Agregado grueso expuesto a cambios constantes de altura de agua, generando ciclos de humedad causando degradación y erosión	SIKATOP 122 PLUS	Mortero cementoso para reparar espesor de superficie expuesta a ambientes agresivos.
		Acero de refuerzo expuesto a cambios constantes de altura de agua	DURAL 452 GEL	Epóxico insensible a la humedad para adherir acero al concreto.
		Aspecto de dejación y falta de mantenimiento	SIKACOLOR C y ESTUKA ACRILÍCO SIKA	Recubrimiento protector y decorativo, con resistencia a la intemperie brindando protección y estética

Nota: Elaboración propia.

15.6. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizaron ensayos físico-químicos en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás para analizar el agua cruda de la PTAP. Es necesario aclarar que se realizaron las pruebas de un día para otro para conservar las propiedades y evitar que las partículas se asienten.

15.6.1. Turbiedad.

Según (Arboleda Valencia, 2004, pág. 21) la turbiedad se debe a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o crecimientos bacterianos.

La turbiedad está principalmente formada por arcillas en dispersión. El termino arcilla comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a la tierra fina (0,002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua.

Estas arcillas se pueden clasificar en Caolinita, Montmorillonita (Bentonita), Illita y Muscovita, las cuales químicamente son silicatos de aluminio y físicamente están constituidas por cristales con una estructura atómica reticular definida.

De acuerdo a lo anterior, se midió la turbiedad del agua con el equipo Marca HANNA Instruments, referencia HI88703 – Turbidimeter. Previo a realizar la medición se calibró con las muestras patrón como lo indica la Fotografía.



Fotografía 34. Equipo HANNA Instruments para medir turbiedad con sus respectivas muestras patrón (Tatiana Zapata, 2019).

Los instrumentos de la Universidad no le realizan mantenimiento frecuente. Por esta razón, dos de las muestras patrón se encontraban dañadas y el laboratorista las remplazó por unas preparadas por sí mismo, conservando las propiedades para lograr la calibración del equipo. En virtud de ello, la medición del equipo posee un margen de error y se utilizó el Turbidímetro de la Fotografía



Fotografía 35. Turbidímetro portátil (Tatiana Zapata, 2019).

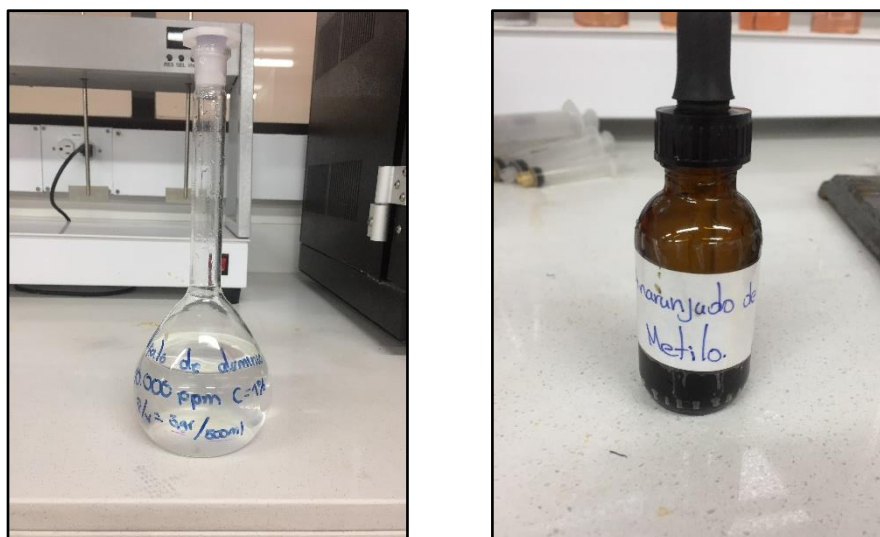
TURBIDIMETRO

Equipo:	TURBIDIMETRO PORTATIL
Modelo:	MICRO TPW
Método:	EPA 180.1
Distribuidor:	YARETH QUÍMICOS LTDA

Se calibró respectivamente, con sus muestras patrón y posteriormente se realizaron las respectivas mediciones.

15.6.2. Alcalinidad.

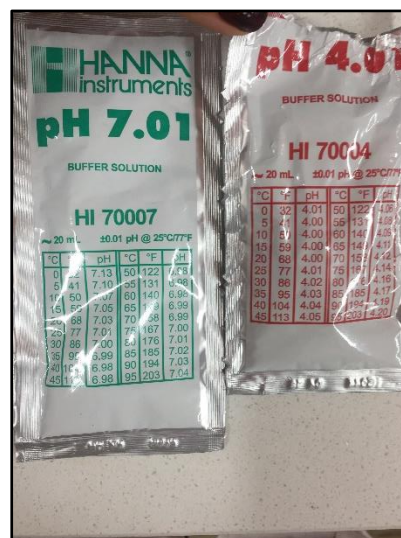
Para realizar las pruebas de alcalinidad de agua cruda y de ensayo de jarras se utilizó el indicador Naranja de Metilo con 0,02 N H_2SO_4



Fotografía 36. Sulfato de Aluminio e indicador naranja de metilo (Tatiana Zapata, 2019).

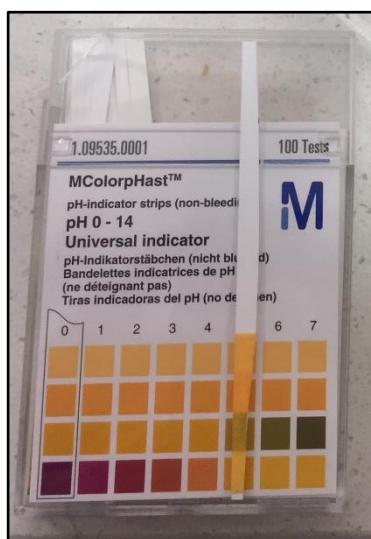
15.6.3. Equipo de pH y Temperatura.

Se halló la temperatura y pH del agua cruda y el del ensayo de jarras por medio del equipo Marca HANNA INSTRUMENTS, referencia HI 2214 pH/ ORP Meter. Se calibró por medio de buffer solution para $pH < 5.0$ y $pH > 5.0$ como lo indica la Fotografía.



Fotografía 37. Equipo HANNA para pH y Temperatura (Tatiana Zapata, 2019).

Sin embargo, el pH se rectificó por medio del Universal Indicator marca MCOLORPHAST como lo indica la Fotografía.



Fotografía 38. Indicador Universal para pH (Tatiana Zapata, 2019).

Los resultados fueron los siguientes:

**RESULTADOS FISICO-
QUIMICOS DEL AGUA CRUDA**

pH:	7,37
Turbiedad:	3,87 NTU
Temperatura:	18,6 °C

Concluyendo los anteriores resultados el agua cruda que trata la PTAP presenta pH de 7,37 lo que indica que es alcalina y tiene presencia de iones de hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos. Teniendo una turbiedad menor a 20 NTU es difícil que haya proceso de coagulación por poseer partículas finas.

De esta manera, no hubo necesidad de realizar ensayo de dureza, ya que este se realiza para aguas con pH menores a 7.0 y se caracteriza por ser blanda, ácida y con color.

15.6.4. Calidad de agua.

Según (Arboleda Valencia, 2004, pág. 12) toda agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua debe cumplir ciertas normas bacteriológicas y físico-químicas para que pueda ser considerada potable.

Desde el punto de vista bacteriológico, se ha establecido que no se debe mostrar la presencia de E.coli. Esta regla no tiene en cuenta los virus entéricos ni los protozoarios que puedan existir en el agua y que son potencialmente peligrosos. La dificultad que entraña el aislarlos y detectarlos hace que, hasta ahora, en el control rutinario de las plantas de tratamiento, no se

hagan pruebas para constatar su presencia, aunque se están dando pasos significativos en ese sentido.

Hoy en día se le da cada vez más mayor importancia no sólo a la eliminación de bacterias y virus en el agua, sino a la desactivación de protozoarios, específicamente amibas, giardias y cristosporidium, que no se destruyen fácilmente con los procesos convencionales de desinfección y requieren, por eso, ser retenidos en la sedimentación y filtración, procesos a los cuales se les está pidiendo en la actualidad una remoción muy alta de partículas entre 1 y 5 μm (turbiedades < 0.5 UNT) para garantizar que los protozoarios no lleguen viables hasta la red de abastecimiento.

Adicionalmente, el agua tratada en las plantas se le exige que sea “biológicamente estable”, quiere decir, que no dé origen a reconocimientos biológicos dentro de las tuberías de distribución, ya que estos crecimientos (biopelículas) sirven de albergue para el desarrollo de coliformes y, a veces, de bacterias patógenas que deterioran la calidad del agua.

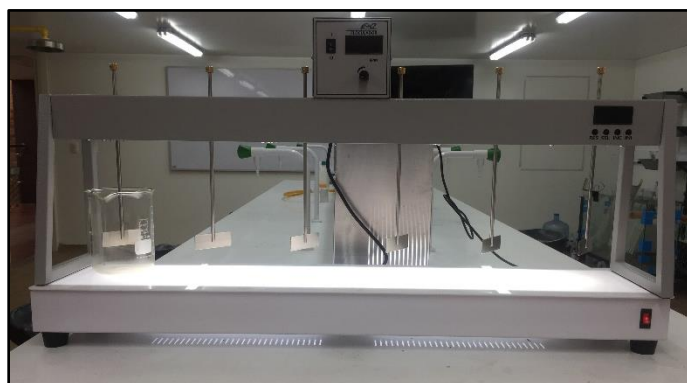
En virtud del anterior análisis, la PTAP de La Mesa realiza muestreo del agua tratada en diferentes sectores del municipio y cumplen estrictamente con la (Resolución Número 2115, 2007) “Agua para consumo humano” y (Resolución Número 2115, 2007) “Valor de Cloro Residual Libre”. **ANEXO 7**

En base de los anteriores resultados, se pretendió realizar ensayos de calidad de agua del agua cruda para analizar las propiedades de la fuente de abastecimiento “Quebrada La Honda”.

La Universidad Santo Tomás actualmente no cuenta con los reactivos para realizar estas pruebas microbiológicas que hubieran sido de vital importancia para la PTAP y para el desarrollo de este Trabajo de Grado.

15.6.5. Ensayo de Jarras

El Ensayo de Jarras se realizó por medio del siguiente equipo:



EQUIPO ENSAYO DE JARRAS	
Marca:	E&Q
Serial:	1612
V.A.C:	110
WATT:	250

Se determinaron las propiedades físico-químicas de cada jarra luego de realizar la mezcla rápida de 100 RPM durante un minuto y luego la mezcla lenta de 30 RPM durante diez (10) minutos. Se asentaron las partículas por veinte (20) minutos y los resultados fueron los siguientes:

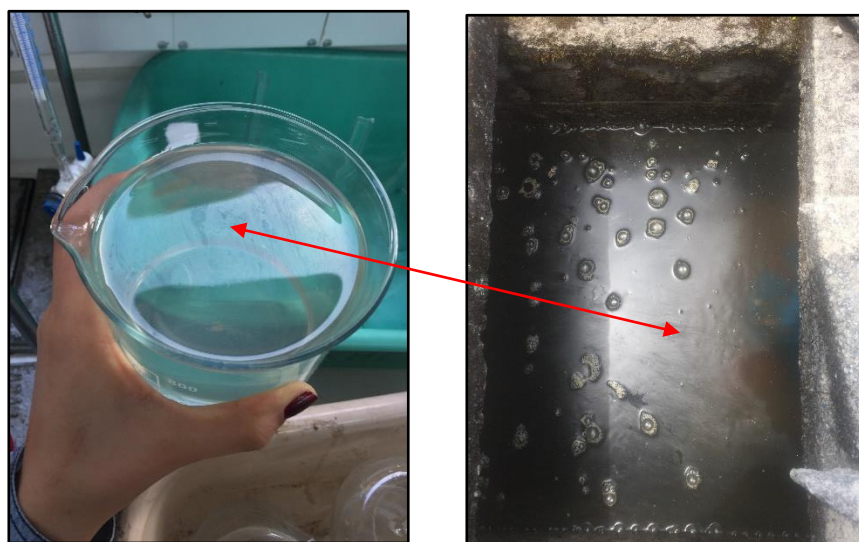
Beaker N°	1	2	3	4	5	6
Dosificación (ml)	5	10	15	20	25	30
Turbiedad (NTU)	4,48	4,67	5,05	6,43	8,20	9,49
pH	5,62	4,63	4,40	4,34	4,40	4,42
Temperatura (°C)	19,6	19,8	20,4	20,4	19,9	19,7
Alcalinidad	17	12	14	14	13	11

Por medio del ensayo de jarras realizado en la Universidad Santo Tomás se pudo verificar que la el agua cruda tomada de la caja de repartición de la PTAP:

- No tiene necesidad de aplicar Cal Hidratada, para reducir el color y aumentar la alcalinidad puesto que en los ensayos físico-químicos se evidenció que posee un pH mayor a 7.0.
- No hay necesidad de aplicar coagulante en este caso Sulfato de Aluminio Tipo A para aglutinar las partículas ya que su turbiedad es menor a 20 NTU.
- La dosis optima que aglutinó las partículas coloidales, corresponde a la jarra N° 5 con una dosificación de 25 *ml/l*, la cual presentó una nata en su superficie luego de treinta minutos de asentamiento de las partículas. En la Fotografía se puede observar que, en el canal de la PTAP, que conduce la mezcla rápida mecánica al sedimentador convencional la superficie de la lámina del agua posee la misma nata. Esto resulta de la aplicación de una alta dosificación de coagulante en donde las partículas se sedimentan en lugar de formar floc y por esta razón pierden velocidad en el recorrido del canal.



Fotografía 39. Ensayo de jarras. Dosis optima jarra N° 5 (Tatiana Zapata, 2019).



Fotografía 40. Nata de exceso de Sulfato de Aluminio (Tatiana Zapata, 2019).

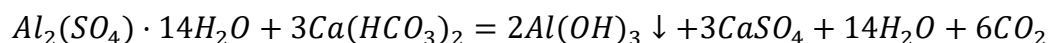
- El Sulfato de Aluminio tipo A en relación con el coloide, presenta una gran ventaja al poseer iones de hidrólisis simples como $Al(OH)^{++}$ que dan inicio a la coagulación. Luego se forman polímeros, para continuar con las reacciones hidrolíticas del coagulante con la alcalinidad y con el agua misma. En base de lo anterior, al aplicar Sulfato de Aluminio tipo A el agua reacciona disminuyendo su pH y aumentando su turbiedad.

- Teniendo en cuenta el anterior análisis, según (Arboleda Valencia, 2004, pág. 55) no se realizó el ensayo con sulfato ferroso y cloruro férrico ya que estos coagulantes se utilizan en agua con pH 4 Y pH 11 en adelante. Estos forman lodos pesados, con presencia de hierro lo que lo hacen corrosivos.
- En conclusión, este ensayo de jarras se realizó con el fin de demostrar que en turbiedades menores a 20 NTU no hay necesidad de aplicar coagulantes para aglutinar las partículas coloidales.

15.7. PREDISEÑO DE TRATAMIENTO DE LODOS

15.7.1. Lodo producido por Floculador y Sedimentador.

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 245) los residuos producidos por la coagulación química se concentran principalmente en el tanque de floculación-sedimentación y filtros. Este lodo se encuentra compuesto del precipitado de aluminio proveniente del coagulante utilizado (y que se recomienda seguir usando), al igual que por el material orgánico e inorgánico removido, tales como arcillas y limos (para los materiales arenosos se asumen que cerca de su totalidad fue removida por el sedimentador externo de la planta). Como en la mayoría de los casos ocurre y debido a la calidad del agua tratada, no hay razones para suponer que los lodos producidos por la planta son inestables o puedan producir problemas de septicidad. Teniendo en cuenta que el coagulante óptimo a utilizar para la floculación del agua es el sulfato de aluminio. Se tiene la siguiente reacción:



De donde se puede deducir que 1mg/l de alumbre produce 0.26mg/l de precipitado. De igual manera se presenta a continuación en la Tabla las características de los lodos de sales de aluminio.

Características de Lodos de Sales de Aluminio	
pH	6 a 8
DBO	30 a 300mg/l^*
DQO	30 a 5000mg/l^*
Sólidos	1% a 2%
Color	Gris a Marrón
Olor	Inodoro
Volumen	20 a 50l/m^3
Conteo Bacterial	Alto
Sedimentabilidad	50% en 8h
Secado	Dos días sobre los lechos de arena para 10% de sólidos

*Se suponen DQO mínimas debido a la calidad del agua

Según (Romero Rojas, 1999, pág. 245), se puede suponer que para aguas coaguladas los sólidos suspendidos en mg/L son aproximadamente iguales a la turbiedad en NTU. De esta forma la cantidad total de lodo se calcula de la manera siguiente:

$$\text{Lodo seco de alumbre} = \text{Turbiedad} + \text{Precipitado de aluminio}$$

$$W = (S + 0.3D)Q \times 10^{-3}$$

Donde:

W : kg de lodo seco de alumbre

S: Turbiedad del agua cruda en UNT

D: Dosis de alumbre en mg/L

Q: Metros cúbicos de agua tratada

Para los parámetros de funcionamiento óptimo de la planta se tomó un caudal de 60 l/s , ya que es caudal promedio con el que la PTAP trabaja. Acontinuación se tienen los siguientes valores:

S	Turbiedad promedio (UNT)	8.0
D	Dosis de alumbre (mg/l)	1.0
Q	Caudal (m ³ /día)	5184

$$W = (8.0 + (0.3) \times (1.0)) \cdot 5184 \times 10^{-3} = 43,03 \text{ kg/día}$$

Tomando en cuenta los valores típicos de los lodos producidos por el alumbre, se supone un material con contenido de sólidos de 2% y densidad relativa igual a 1.01 el volumen del lodo sería:

$$\text{Masa diaria de lodo (humedo)} = \frac{43,03}{0.02} = 2151,4 \text{ kg/día}$$

$$\text{Volumen diario de lodo (humedo)} = \frac{43,03}{1010} = 0,043 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se tienen en cuenta las dimensiones del tanque (área total de sedimentadores y floculadores), el cual posee un área superficial de $158,1 \text{ m}^2$, y se tiene que el incremento semanal de la lámina de lodos será:

$$\text{Incremento lámina de lodos}_{\text{semanal}} = 7 \text{ días} \times \frac{0,043 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{158,1 \text{ m}^2} \approx 2 \text{ mm semanales}$$

De esta forma, se recomienda un lavado del floculador y sedimentador cada 3 meses, tiempo en el que se obtiene una lámina de lodos de aproximadamente 2,4 cm de altura y volumen equivalente de $3,79 \text{ m}^3$. De esta forma el incremento de la lámina de lodos dentro del tanque mensualmente: 8mm.

15.7.2. Diseño de Lechos de Secado de Lodos Floculadores-Sedimentadores.

Para el tratamiento de los lodos se recomienda un método básico de lechos de secado, el cual remueve el exceso de agua por gravedad y concentra los sólidos por medio de filtración. De igual manera el agua decantada se puede disponer para usos de riego.

Los lechos están equipados con una base de arena y grava y una tubería de drenaje. Según recomendaciones, el número mínimo de lechos debe ser dos, con drenaje en tubería perforada de 4", capa de arena de 15 a 25cm de tamaño efectivo de 0.3mm a 1.2mm y lecho de grava de 20 a 30cm de espesor. De esta manera, se proponen 2 unidades de lechos de secado, los cuales poseen los siguientes parámetros.

Lechos para lodos del floculador y sedimentador:

- Periodo de retención: 90 días

- Volumen de diseño: 3,79 m³.
- Número de unidades: 1
- Espesor capa de grava: 20cm
- Espesor capa de arena: 15cm
- Altura efectiva lodos: 2,4cm
- Profundidad total: 60 cm
- El área superficial de los lechos se calcula en función del volumen de lodos y la altura establecida para su disposición:

$$Area_{sup} = \frac{Volumen\ de\ lodos}{Altura\ efectiva\ de\ lodos} = \frac{3,79\ m^3}{0.024m} = 157,92\ m^2$$

Para el área calculado se establecen las siguientes dimensiones:

- ✓ **Largo:** 3,0 m
- ✓ **Ancho:** 3,0 m
- ✓ **Altura:** 0,60 m

15.7.3. Lodo producido por Filtros.

La operación de lavado de filtros genera agua residual de concentración baja de sólidos. Dicha cantidad puede ser del orden del 2% para la calidad del agua a tratar. De igual manera, se presenta a continuación algunas características de los lodos producidos por el agua del lavado de filtros:

Características de Aguas lavado de filtros	
Sólidos suspendidos	0,01% a 0,1%

DBO	2 a 10 <i>mg/l</i>
DQO	28 a 160 <i>mg/l</i>
pH	6,8 a 7,8
Color	Gris- Marrón-Negro
Olor	Inodoro
Conteo Bacterial	Alto
Sedimentabilidad	80% de 2 a 24 horas
Secado	Mediante sedimentación

Para el cálculo de producción de lodos por el filtro se asume una dosificación de floculante menor a la sugerida por los ensayos de jarras en caso de que por motivos económicos se pretenda usar dosificaciones menores a las ideales.

De esta forma se realizarán los cálculos con las turbiedades de salida del floculador de 2.66 UNT correspondientes a una dosis de 0.8*ml/l*.

Si se tiene en cuenta que los resultados de turbiedad obtenidos al final del proceso de potabilización presentan valor promedio de 0.8UNT, se tienen los siguientes cálculos.

- Turbiedad de entrada*: 2,66 *mg/l*
- Turbiedad de salida*: 0,8*mg/l*
- Caudal diario: 5184 m³/día

* Se supone que para aguas coaguladas los sólidos suspendidos en mg/l son aproximadamente iguales a la turbiedad en NTU

$$Eficiencia_{Filtro} = \left(\frac{Turb_{ent} - Turb_{sal}}{Turb_{ent}} \right) = \frac{2,66 - 0,80}{2,66} = 0,70 \rightarrow 70\%$$

Para los valores dados se obtiene una eficiencia estimada del 70% de remoción de sólidos dentro del filtro. Estas cantidades pueden variar en función de la turbiedad de entrada.

$$Cantidad\ retenida: 2,66 - 0,80 = 1,86 mg/L$$

$$Peso\ seco\ retenido\ diario = 1,86 \times 5184 \times 10^3 = 9,6\ kg/día$$

$$Peso\ retenido\ diario_{humedo} = \frac{9,6}{0.02} = 480\ kg/día$$

$$Volumen\ retenido\ diario = \frac{480}{1010} = 0.47\ /día$$

Se recomienda como parte del procedimiento que el lavado de filtros se realice una vez cada 7 días, obteniendo un volumen de lodos producido dentro del filtro de $3,29\ m^3/7\ días$.

15.7.4. Diseño de Lechos de Secado para Filtros.

Lechos para lodos del filtro:

- Periodo de retención: 7 días
- Volumen de diseño: $3,29m^3$
- Número de unidades: 1
- Espesor capa de grava: 20 cm
- Espesor capa de arena: 15 cm
- Altura efectiva lodos: 2,4 cm

- Profundidad total: 60 cm
- El área superficial de los lechos se calcula en función del volumen de lodos y la altura establecida para su disposición:

$$\text{Área}_{sup} = \frac{\text{Volumen de lodos}}{\text{Altura efectiva de lodos}} = \frac{3,29 \text{ m}^3}{0,024 \text{ m}} = 1.37,1 \text{ m}^2$$

Para el área calculado se establecen las siguientes dimensiones:

- ✓ **Largo:** 2,5 m
- ✓ **Ancho:** 2,5 m
- ✓ **Altura:** 0,60 m

15.8. SEGURIDAD INDUSTRIAL

Toda PTAP debe contar con dispositivos que reduzcan la posibilidad de accidentes y que protejan las instalaciones, trabajadores y visitantes. La PTAP de La Mesa debe mejorar con:

15.8.1. Cerramiento

La PTAP debe contar con el cerramiento total del predio. Actualmente se encuentra en medianas condiciones, ya que debe mejorar el cerramiento en las partes laterales y trasera.

15.8.2. Señalización

Es imprescindible la presencia de señalización de: obligación, prohibición, peligro, auxilio, franjas alternas amarilla-negra, luminosas y acústicas, lo cual desempeña un papel de vital

importancia en la comunicación de la información en materia de seguridad de la PTAP. Además, ayudará que el proceso de la ruta de evacuación sea más rápida y fácil.

15.8.3. Rutas de evacuación

Una vez, actualizada la señalización de la PTAP, se podrá realizar alternativas de las posibles rutas de evacuación.

15.8.4. Botiquín y extintores

La PTAP debe contar con la presencia de botiquín de primeros auxilios y extintores que se encuentren vigentes.

15.8.5. Zona de bienestar

Los trabajadores de la PTAP deben contar con lugares específicos en los cuales puedan guardar sus pertenencias, cambiarse de ropa y asearse. El sitio de alimentación para los trabajadores debe ser exclusiva y encontrarse aislada de la zona de tratamiento de agua, almacenamiento de sustancias químicas y laboratorios.

15.8.6. Clasificación de residuos

La PTAP debe contar con clasificación de residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos. Cada recipiente con su respectivo color.

15.8.7. Barandas de Seguridad

Es necesario colocar barandas de seguridad entre las unidades de la PTAP y el tanque de lavado de filtros para evitar accidentes y otros riesgos al personal y visitantes.

15.8.8. Baños

En las instalaciones de la PTAP se debe encontrar separados por géneros los servicios higiénicos.

15.8.9. Almacenamiento

Los materiales y sustancias químicas se deben encontrar almacenadas sobre estibas para que no exista ningún indicio de humedad. La zona de almacenamiento se debe encontrar limpia, ventilada y ausente de goteras.

Es de vital importancia que los implementos se encuentren vigentes y lleven un control diario.

15.8.10. Dotación

Los trabajadores y operarios deben contar con elementos de protección personal como: protección respiratoria, guantes industriales, protección auditiva, botas punta de acero, protección visual, casco.

15.8.11. Trabajo en alturas

Para el tanque de lavado de filtros, al encontrarse a una altura superior de 1,20 m es obligatorio que el personal se encuentre certificado en trabajo de alturas y además cuente con los implementos de línea de vida y arneses.

Las anteriores observaciones se realizan para mejorar el Sistema de Gestión de Calidad y Seguridad Industrial.

16. ALTERNATIVAS

16.1. PRIMER ALTERNATIVA

Se debe rediseñar en su totalidad las estructuras hidráulicas de mezcla rápida, floculación mecánica, floculación hidráulica, sedimentación convencional, sedimentación de alta tasa y filtros en vista de que el diagnóstico de la PTAP junto a la evaluación hidráulica que se realizó, las unidades no cumplen con su perfecto funcionamiento. **(ANEXO 3-Memorias de Cálculo)**

- Mezcla rápida (hidráulica): no se realiza en el resalto hidráulico de la Canaleta Parshall, por lo cual se debe optimizar.
- Mezcla rápida (mecánica) / Floculación (mecánica): se debe rediseñar y/o agregar las unidades necesarias para tratar los distintos caudales. Es obligatorio que se pueda ajustar la velocidad.
- Floculación (hidráulica): no cumplen con los gradientes entre las cámaras de compartimiento en vista de que los orificios están sobredimensionados.
- Sedimentación (convencional): se encuentra sobredimensionado, ya que trata caudales muy bajos.
- Sedimentación (alta tasa): se debe reacondicionar el funcionamiento de estas unidades para que el agua vierta por los canales a los filtros. En el diseño original de la PTAP estas unidades eran sedimentadores convencionales y no le realizaron las obras adecuadas.

- Filtros: se deben cambiar las unidades de filtros rápidos por filtros lentos ya que la PTAP trata distintas turbiedades.

16.2. SEGUNDA ALTERNATIVA

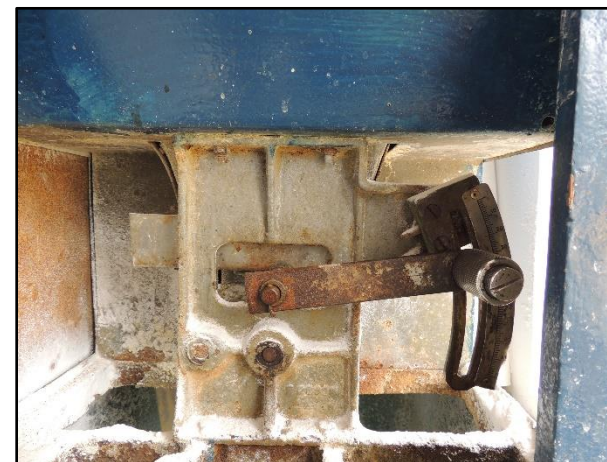
Rehabilitar y poner en funcionamiento la PTAP compacta y disminuir el caudal de la PTAP convencional existente.

16.3. TERCERA ALTERNATIVA

Construir una PTAP que trate menos caudal pero que sea eficiente junto al proyecto de concesión de agua del Acueducto de Bogotá.

17. HOJAS DE VIDA DE LOS EQUIPOS DE LA PTAP**17.1. TOLVA**

TOLVA		
PROVEEDOR:	FADIPARTES LTDA	
Dosificador:	Tolva	
Capacidad:	100	gr
Made:	BOGOTA D.C/ COLOMBIA	



Fotografía 41. Tolva FADIPARTES LTDA (Tatiana Zapata, 2019).

Nota: Realizar limpieza, calibración y lubricación al equipo semestralmente. Evitar que pinten su placa de referencia.

17.2. MOTOR FLOCULADOR MECÁNICO

MOTOR FLOCULADOR MECÁNICO	
PROVEEDOR	FORTIS
MOTORREDUCTOR	
Tipo:	1AF2AF
H.P:	1.8
R.P.M:	35/2,75/2
N°:	3033
Grasa:	MOLY. VEN.10A0
Made:	COLOMBIA



Fotografía 42. Motor de mezclador de paletas (Tatiana Zapata, 2019).

Nota: Realizar limpieza, calibración y lubricación al equipo semestralmente. Evitar que pinten su placa de referencia.

17.3. CLORADOR

CLORADOR	
MARCA	HYDRO INSTRUMENTS
SERIES:	600
VACUUM TO EJECTOR:	MP6-100-CL2
Made:	E.E.U.U.



Fotografía 43. Clorador - Ejector (Tatiana Zapata, 2019).

Nota: Realizar limpieza, calibración y lubricación al equipo semestralmente. Evitar que pinten su placa de referencia.

17.4. BOMBAS FILTROS ANTIGUA

BOMBAS FILTROS	
MARCA	LOHER & SÖHNE
N° Motor:	523991
Tipo:	DC 9-4
Volt:	220/380
Amp:	455/265
kW:	132
PS:	18
cos:	0,8
u/min:	1750
Per/s:	60
Betr. Art:	D8
Isol. Kl:	E
Made:	GERMANY



Fotografía 44. Bomba Loher & Sohne (Tatiana Zapata, 2019).

Nota: Realizar limpieza, calibración y lubricación al equipo semestralmente. Evitar que pinten su placa de referencia.

17.5. BOMBAS DE FILTROS NUEVAS

BOMBAS FILTROS NUEVOS	
MARCA:	VOGES
Motor:	Trifásico
Polaridad:	2,4,6, y 8 polos
Frecuencia:	60 Hz (50 Hz bajo consulta)
Voltaje:	208-230/460, 460 o 575V
Carcasa:	140 hasta 580 carcasa hierro fundido
TCVE:	IP55
Clase de aislamiento:	F (155 °C)
Elevación de Temperatura:	Clase B (80°C)
Eje en acero carbono:	SAE 1045
Dimensiones:	NEMA
Factor de servicio:	1,15
Funcionamiento continuo:	SI
Montaje común:	F1
Made:	BRASIL



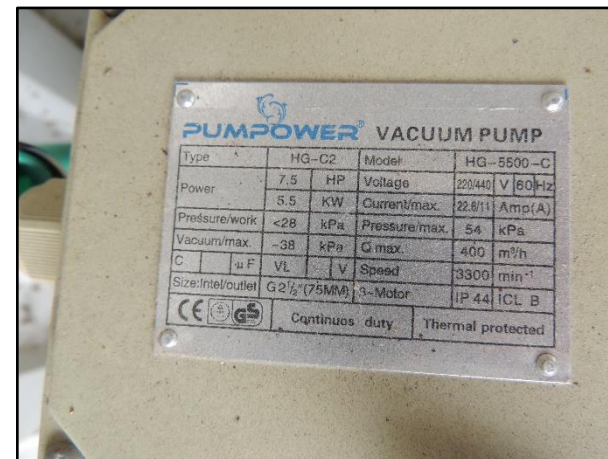
Fotografía 45. Bombas nuevas de filtros VOGES (Tatiana Zapata, 2019).

17.6. BOMBA DE AIRE PARA LAVADO DE FILTROS

BOMBA DE AIRE PARA FILTROS		
MARCA	PUMPOWER-VACUUM PUMP	
Tipo:	HG-C2	
Model:	HG-5500-C	
POWER:	7,5	HP
	5,5	kW
Pressure/work:	<28	kPa
Vacuum/max:	-38	kPa
Voltage:	220/440	V
	60	Hz
Current/max:	22,6/11	Amp (A)
Pressure/max:	54	kPa
Q_{max}:	400	m ³ /h
Speed:	3300	min ⁻¹

Nota: Realizar limpieza, calibración y lubricación al equipo semestralmente.

Evitar que pinten su placa de referencia.



Fotografía 46. Bomba de aire PUMPOWER (Tatiana Zapata, 2019).

18. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Con base al RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) el presente manual corresponde a un conjunto de instructivos que se sugieren para el adecuado manejo de las unidades hidráulicas presentes en la PTAP. Se realizan recomendaciones para la adecuada gestión de operación y mantenimiento, como base para la capacitación de los operarios.

18.1. CAPTACIÓN- CAJA DE REPARTICIÓN

Tiene como objetivo captar la cantidad de agua cruda necesaria de la Quebrada La Honda para ser tratada. El ingreso del agua es por medio de una bocatoma lateral, para ser transportada por la línea de aducción hasta la PTAP La Mesa, Cundinamarca.

18.1.1. Inspección preliminar

- Verificar el estado de la fuente de abastecimiento, es decir, que en su alrededor o aguas arriba no se encuentren residuos sólidos, sanitarios, mineros, industriales, comerciales, radioactivos. A su vez, escombros de construcción y animales en descomposición.
- Verificar que aguas arriba de la fuente no exista descarga de agua sanitaria.
- Revisión del estado de la bocatoma y desarenador
- Verificar que exista suficiente lámina de agua sobre la bocatoma, para que se capte el caudal necesario para el funcionamiento de la PTAP.
- Verificar estado de lodos del desarenador

18.1.2. Operación

- Identificar el caudal que tratará la PTAP en épocas de verano e invierno.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua como: pH, color y turbiedad.
- En caso de suspender la entrada del agua, dar aviso previo a la comunidad del corte del servicio. Este servicio se suspenderá exclusivamente cuando: efectúen labores de lavado, mantenimiento o reparaciones; daños en la conducción, alta turbiedad.

18.1.3. Operación diaria

- Tomar cada hora lectura del caudal de entrada.
- Realizar pruebas de propiedades fisicoquímicas del agua cruda y tratada como: pH, color y turbiedad.
- Realizar registro fotográfico por cada turno de operario.

18.1.4. Monitoreo

El monitoreo debe ser realizado por el supervisor de los operadores de la PTAP, validando que las siguientes actividades se estén ejecutando adecuadamente:

- Comprobar que el operador de la PTAP tome lecturas cada hora del caudal de entrada.
- Tener presente las recomendaciones del fontanero sobre la línea de aducción y conducción.
- Programar actividades de limpieza y mantenimiento.

18.1.5. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se deben realizar cada 30 días:

- Limpiar las rejillas de la bocatoma retirando hojas, troncos o cualquier residuo que obstruya la estructura. Asimismo, remover la arena sedimentada en su interior.
- Limpiar las unidades hidráulicas retirando lodos de las paredes y el piso del desarenador.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas y lubricarlas, de ser necesario.
- Mantener despejada el área adyacente de la tubería de aducción y conducción para facilitar inspección, cada vez que se realice inspecciones visuales.
- Interrumpir el servicio cuando el agua se encuentre turbia o tenga presencia de lodo.
- Detectar fugas, filtraciones y roturas. La filtración del agua produce saturación en el suelo, lo que a su vez causará asentamientos en el terreno y producirá rotura de tuberías.
- Detectar y eliminar conexiones no autorizadas.
- Mantener calibrados los equipos con que se analiza el agua y registrarlos con fecha y hora.

18.2. COAGULACIÓN- MEZCLA RÁPIDA

Tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en estado coloidal y disueltas en partículas que puedan ser removidas por la sedimentación y filtración. Estas partículas se aglutinan y producen flóculos.

Tomando el caudal de entrada y la dosis optima de coagulante obtenida mediante el ensayo de jarros, se aplica esta, en la canaleta Parshall para empezar la mezcla rápida.

18.2.1. Inspección preliminar

- Revisar que el almacenamiento de los químicos se encuentre en un lugar ventilado, fresco y se encuentren sobre camillas.
- Comprobar el funcionamiento de la tolva. Revisar la última fecha de calibración y mantenimiento.
- Revisar el funcionamiento del equipo de ensayo de jarras.

18.2.2. Operación

- De acuerdo a la lectura del caudal de entrada, ajustar la tolva para aplicar la dosis respectiva de coagulante.
- Ubicar la flauta del dosificador en el punto de mayor turbulencia de la canaleta Parshall.
- Verificar que no haya obstrucciones en la tubería que conduce la solución del coagulante hasta la mezcla rápida.
- Registrar las dosis de coagulante de acuerdo a su caudal.

18.2.3. Operación diaria

- Aplicar cada hora la dosis óptima de coagulante y registrar: características físicoquímicas del agua, dosis de coagulante y caudal de entrada.
- Determinar la cantidad de coagulante consumido en el día (24 horas).
- Realizar ensayo de jarras 2-3 veces al día.
- Revisar que la flauta aplique el coagulante en el punto de turbulencia de la canaleta Parshall.

- Realizar registro fotográfico por cada turno de operario.

18.2.4. Monitoreo

El supervisor de los operarios de la PTAP La Mesa debe verificar las siguientes actividades:

- Comprobar estén aplicando la dosis optima de coagulante de acuerdo al resultado del ensayo de jarras y que el dosificador se encuentre ajustado.
- Mantener el gradiente medio óptimo de velocidad en la mezcla rápida mecánica-hidráulica por medio de la diferencia de nivel entre la entrada y la salida; para efectuar esta operación es conveniente tener reglas fijas niveladas en la entrada y salida del de las estructuras. En caso de no ser así, debe ajustarse a los resultados óptimos obtenidos en la prueba de jarras.
- Se debe prever la remoción de lodos acumulados en el fondo de las estructuras de mezcla rápida mecánica-hidráulica.
- Verificar que el nivel del agua siempre cubra las paletas del agitador.
- Fijar y mantener la velocidad de rotación que genera el gradiente óptimo de acuerdo con la calidad del agua cruda.
- Evitar que los motores derramen o adicionen aceite al agua.
- Verificar la dosificación del coagulante esté realizándose por el eyector en el tanque de disolución del dosificador, según el caso.

18.2.5. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se deben realizar cada ocho días:

- Limpieza de equipos de laboratorio y verificar vigencia de los químicos.

- Limpieza de la tolva y canaleta Parshall, eliminando pegostres de coagulante u otra sustancia.
- Verificar que la flauta se encuentre alineada con el punto de turbulencia de la canaleta Parshall. Además, que los orificios no se encuentren tapados.
- Verificar registros y fotografías de aplicación de coagulante, ensayo de jarras, ensayos fisicoquímicos del agua.

Las siguientes actividades se deben realizar cada 30 días:

- Limpieza de las unidades hidráulica por donde transita el agua: cámara de aquietamiento, canaleta Parshall, vertedero. Se debe eliminar lodos, musgo.
- Calibración de los equipos de laboratorio, tolva, turbidímetro.

18.3. FLOCULACIÓN (MEZCLA LENTA)

Tiene como propósito realizar la agitación suave y moderada para formar flóculos pesados para una buena sedimentación. Una vez se aplica el coagulante pasa a la sección de mezcla lenta donde se utiliza los floculadores tipo Cox con flujo ascendente-descendente que permiten la activación de los componentes para formar floc.

18.3.1. Inspección preliminar

- Verificar el adecuado funcionamiento del dosificador, el punto de aplicación del coagulante y la mezcla rápida.
- Observar que no haya ninguna obstrucción en el canal de transporte de mezcla rápida-mezcla lenta.
- Verificar si por el exceso de velocidad de las aguas, los flóculos no se rompen en la entrada de los sedimentadores, si esto sucede se debe disminuir el caudal.

18.3.2. Operación

- Revisar el estado de las cámaras de las dos unidades de floculadores.

18.3.3. Operación diaria

- Verificar la aplicación del coagulante en el sistema de mezcla rápida.
- Aplicar la dosis optima de acuerdo al caudal de entrada con el fin de garantizar un floc adecuado.
- Revisar la formación de floc y la dosis aplicada tomando muestra a la salida del floculador.
- Validar que el tiempo de contacto en la unidad de mezcla lenta sea lo suficiente para la formación de los flóculos, garantizando un buen tamaño.
- Realizar registro fotográfico por cada turno de operario.

18.3.4. Monitoreo

El supervisor de los operarios debe verificar que:

- Los floculadores estén operando bajo el caudal de entrada.
- Se esté aplicando la dosis optima en la mezcla rápida para formación de floc.
- El canal de mezcla rápida-mezcla lenta se encuentre con una velocidad moderada.
- Verificar registros y fotografías de aplicación de coagulante, ensayo de jarras, ensayo fisicoquímico del agua.

18.3.5. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se deben realizar cada 30 días:

- Lavar las unidades de floculadores, eliminando totalmente la acumulación de lodos tanto en paredes como en la profundidad.
- Lavar el canal de mezcla rápida-mezcla lenta eliminando totalmente lodos suspendidos ya que afecta la operación de los floculadores.

18.4. SEDIMENTACIÓN

Tiene como propósito remover los flocs de gran tamaño que se han generado en la unidad de mezcla en la unidad del floculador tipo Cox. En la unidad de sedimentación el floc queda atrapado en los módulos o colmenas de sedimentación para luego ser retirados en la limpieza del sedimentador que se realiza cuando se observa que está sucio por su actividad operativa.

18.4.1. Inspección preliminar

- Verificar el desempeño de los anteriores procesos.
- Verificar funcionamiento de válvulas y canal con vertedero en lámina PRFD

18.4.2. Operación

- Distribución adecuada del caudal en las unidades de sedimentación.
- La altura del lodo decantado no debe alcanzar la zona de entrada a la unidad, pues provocaría un desplazamiento de estos fuera del sedimentador.

18.4.3. Operación diaria

- Verificar los procesos de mezcla en las unidades de mezcla rápida y lenta.
- Determinar la turbiedad de entrada y salida de los sedimentadores.

- Inspeccionar que los sedimentadores estén removiendo el 90% o más de la turbiedad que ingresa.
- Vigilar la fermentación de lodos.
- Observar que los canales con vertedero en lámina PRFD extraigan la misma cantidad de agua.
- Revisar el estado físico y funcionamiento del caudal de entrada de la PTAP, volumen de agua a los sedimentadores, rebose y verificar que no haya fugas.
- Realizar registro fotográfico por cada turno de operario.

18.4.4. Monitoreo

El supervisor de los operadores de la PTAP debe:

- Realizar inspección visual sobre las canaletas.
- Verificar que no existan fugas, daños en la infraestructura hidráulicas.

18.4.5. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se debe realizar cada 30 días:

- Programar lavado de las unidades de sedimentación.
- Al realizar el lavado de los sedimentadores, la zona de depósito de lodos debe quedar completamente limpia al igual que el canal de desagüe. Este lavado se debe realizar de arriba hacia abajo eliminando los lodos de las paredes y panales.
- Lavar los canales con vertedero en lámina PRFD.
- Cerrar las válvulas una vez haya finalizado el lavado de estas unidades.
- Lubricar y limpiar válvulas.

18.5. FILTRACIÓN

Tiene como objetivo remover las impurezas y microorganismos que no fueron eliminados en los procesos anteriores, mediante filtros. Estos filtros están conformados por grava, arena y antracita.

18.5.1. Inspección preliminar

- Disposición del volumen de agua necesario para el lavado de los filtros.
- Inspección visual sobre posibles residuos de floc sobre el lecho filtrante.

18.5.2. Operación diaria

- Mantener el nivel de agua en la caja del filtro, abriendo la válvula de salida a medida que se realice la filtración.
- Registrar cada hora la turbiedad de llegada a los filtros.
- Lavar los filtros a diario.
- Determinar el caudal empleado en cada filtro.
- Realizar registro fotográfico por cada turno de operario.

18.5.3. Monitoreo

El supervisor de los operarios debe verificar que:

- El funcionamiento de los filtros respecto a la calidad del agua y el nivel del agua en los filtros.
- Verificar que los procedimientos de lavado se estén ejecutando de manera adecuada.

18.5.4. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se deben realizar cada 8 días:

- Verificar que las válvulas estén funcionando de forma adecuada.
- Lavar los filtros cada 24 horas
- Turbiedad del afluente y efluente

18.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Tiene como fin almacenar la cantidad de agua requerida por la población en las horas de mayor consumo. El almacenamiento se realiza durante la noche y en horas de menor consumo.

18.6.1. Inspección preliminar

- Provisión de suficiente cloro
- Conocimiento del caudal tratado
- Instrumentos para la recolección de muestras
- Medidores de volumen de salida de agua a la red de distribución
- Verificar el estado y funcionamiento de los tanques

18.6.2. Operación diaria

- Verificar que no existan escapes de agua.
- Verificar el funcionamiento de los medidores de salida.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas.

18.6.3. Monitoreo

El supervisor de los operadores debe verificar:

- Altura del agua de los tanques.
- Concentración de cloro residual.

18.6.4. Actividades de mantenimiento

Las siguientes actividades se deben realizar cada 30 días:

- Limpiar el área circundante y eliminar cualquier foco de suciedad o contaminación.
- Revisar si existen fugas o grietas en los tanques de almacenamiento.
- Limpiar el interior de los tanques eliminando moho, musgo, plantas. Sí el tanque presenta sedimentos, realizar limpieza de ellos.
- Las válvulas de entrada, salida desagüe se deben proteger de la corrosión. Por lo tanto, se debe aplicar pintura anticorrosiva y lubricarlas cuando se requiera

19. CONCLUSIONES

- Con base en los lineamientos del RAS (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) y la (Resolución Número 0330, 2017) se realizó el diagnóstico de la PTAP de La Mesa, concluyendo que algunos de los procesos no cumplen los parámetros de funcionamiento hidráulica de las estructuras. Sin embargo, en los resultados físico-químicos y microbiológicos realizados por la Empresa Aguas del Tequendama, el agua cruda cumple con los estándares de calidad exigidos por los Ministerios de Salud y de Vivienda, Ciudad y Territorio. Estas muestras se toman en puntos establecidos como lo son el Hospital y Los Naranjos.
- Es fundamental realizar limpieza frecuente tanto en las unidades hidráulicas, panales del sedimentador de alta tasa, tuberías para evitar la formación de musgo, moho y plantas que alteran el tratamiento produciendo bacterias y deteriorando las estructuras.
- Por medio de los resultados de los ensayos físico-químicos realizados en la Universidad Santo Tomás, se pudo corroborar que la utilización de Cal Hidratada como alcalinizante no es obligatorio para el tratamiento del agua cruda, puesto que se tomó muestra de la caja de repartición y el pH se encuentra en 7,37. La ubicación del tanque de dosificación de cal en la cámara de aquietamiento impide estudiar el agua cruda de entrada.

- Se debe ajustar la flauta de aplicación de coagulante, debido a que no se realiza la mezcla rápida en el punto de mayor turbulencia en la canaleta Parshall, impidiendo el aglutinamiento de las partículas coloidales.
- Dentro de los ensayos de jarras que se deberían realizar en la PTAP, no se encontró dato alguno, puesto que los operarios no tienen acceso al laboratorio. Realizan la dosis tanto del coagulante como el alcalinizante bajo su experiencia empírica.
- Se debe realzar el muro en la zona de salida de los sedimentadores de alta tasa hacia el canal de conducción a los filtros porque el agua sedimentada tiene paso directo. La entrada del agua sedimentada debe ser exclusivamente por el canal de vertederos.
- Se debe realizar una nueva conexión de llenado del tanque aéreo del lavado de filtros ya que la tubería funciona como llenado y vaciado del tanque, lo cual no permite un adecuado funcionamiento hidráulico del sistema y puede ocasionar un mal funcionamiento del equipo de bombeo con el cual se llena el tanque.
- Se realizó el Manual de Operación y Mantenimiento de acuerdo a la evaluación de los puntos críticos de las estructuras hidráulicas que se encuentran actualmente en la PTAP. Adicionalmente es indispensable que los operarios tengan capacitaciones acerca del funcionamiento de la PTAP y la importancia de realizar estrictamente las

pruebas de laboratorio puesto que es común ver que operan la PTAP bajo su experiencia.

- Las estructuras hidráulicas de concreto de la planta en general presentan un deterioro notable del material. Mediante la inspección visual realizada, se determinó que es prioritario realizar ensayos de patología para verificar los posibles daños y alteraciones del concreto y el acero principalmente por el uso de los coagulantes durante el proceso de tratamiento del agua cruda.
- Las instalaciones de la PTAP deben contar con el cumplimiento de seguridad industrial para mejorar el sistema de gestión de calidad.
- Se debe implementar el sistema de lechos de secado para el tratamiento adecuado de los lodos y la posible reutilización del agua residual del proceso.
- Es necesario instalar y poner en funcionamiento el segundo floculador mecánico que en la actualidad se encuentra fuera de servicio.
- El funcionamiento del circuito compuesto por el floculador mecánico y el sedimentador convencional no presenta un funcionamiento hidráulico adecuado dado que el canal puede generar corto circuitos en el sistema ocasionando que los flocs se puedan romper, bajando la eficiencia al proceso. Por lo anterior, es necesario complementar el presente trabajo mediante estudios del sistema con el método de trazadores.

- El proceso de tratamiento en la planta en términos generales no es el más óptimo, toda vez que la utilización de los reactivos químicos se hacen generalmente de forma empírica, lo cual ocasiona que el funcionamiento hidráulico de la planta no sea adecuado. Por lo anterior, quienes realizan el proceso en términos generales son los filtros y los procesos de cloración.
- Se debe evitar que la disposición de los lodos se haga de la forma que se hace en la actualidad dado que no cumple con criterios ambientales.
- Es necesario implementar macromedidores e inyecciones de cloro en los tanques de almacenamiento de la PTAP.
- Se deben rediseñar los orificios del floculador tipo cox para que cumpla el gradiente en cada una de sus cámaras.
- Se debe realizar pruebas de trazadores para conocer el comportamiento hidráulico de las unidades de mezcla y de sedimentación.
- Es necesario implementar una reglilla en el vertedero para aforar la división del caudal de entrada.
- Se realizó el levantamiento topográfico de la PTAP e incluyendo el prediseño del secado de lodos.

20. BIBLIOGRAFÍA

Arboleda Valencia, J. (2004). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua* (Tercera edición ed.). (M. G. Hill, Ed.) México: Acodal- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Consortio DEVISAB. (s.f.). *Consortio Concesionaria del Desarrollo Vial de la Sabana*.
Obtenido de <http://devisab.com/carriles.html>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (s.f.). CAR. Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). DANE. *Censo Municipio La Mesa, Cundinamarca*. Bogotá, Colombia.

Di Bernardo, L., & Sabogal Paz, L. P. (2008). *Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água* (Vol. 1). (L. LTDA, Ed.)

ERAT. (s.f.). *Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P.* Obtenido de <http://www.aguasdeltequendama.com/nuestros-servicios/>

Grupo Enel. (s.f.). *Grupo Enel-Codensa-Emgesa*. Obtenido de <https://www.enel.com.co/es.html>

Grupo Vanti . (s.f.). *Grupo Vanti - Gas Natural Fenosa*. Obtenido de <http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/1285085318259/inicio.html>

IDEAM. (s.f.). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

Lozano Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). *Potabilización del Agua*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

NTC 3909. (1996). Procedimiento para el Ensayo de Coagulación - Floculación en un recipiente con Agua o método de Jarras. Colombia: ICONTEC.

NTC 531. (2015). NTC Icontec Internacional. *Productos Químicos para Uso Industrial. Sulfato de Aluminio para Tratamiento de Agua*. Colombia: ICONTEC.

Pérez Parra, J. (1981). *Manual de Potabilización del Agua*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional (Sede Medellín).

Plan Básico de Ordenamiento Territorial, La Mesa Cundinamarca. (2004). *Sistema de Documentación e Información Municipal*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/documento%20%20final.pdf>

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2016). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. *Título C "Sistemas de Potabilización"*. Bogotá, Colombia.

Resolución Número 0330. (08 de 06 de 2017). Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Colombia.

Resolución Número 0881. (23 de 03 de 2012). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Colombia.

Resolución Número 1546. (31 de 05 de 2018). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca . Colombia.

Resolución Número 2115. (22 de 06 de 2007). Ministerio de Ambiente, Vvienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

Resolución Número 2320. (27 de 11 de 2009). Ministerio de Amibiente, Vivienda y Desarrollo Territorial . Colombia.

Richter, C. (1981). Método Simplificado de Cálculo de Floculadores Hidráulicos de Tabiques. *Revista ACODAL*(102.103), 31.

Romero Rojas, J. (1999). *Potabilización del Agua* (Tercera edición ed.). (A. G. C.V, Ed.) México D.F, México: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

