

Maestría en Ingeniería Civil
Énfasis Ingeniería Ambiental

**Solución de Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales para
El Municipio de Mesetas Departamento del Meta**

Manuel Salazar Cuevas

Bogotá D.C 15 de diciembre del 2022



**Solución de Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales para
El Municipio de Mesetas Departamento del Meta**

**Tesis para Optar al Título de Magíster en Ingeniería Civil, con
Énfasis en Ingeniería Ambiental.**

**Jairo Alberto Romero Rojas
Director**

Jurado

María Paulina Villegas de Brigard

Héctor Matamoros Rodríguez

Bogotá D.C 15 de diciembre del 2022

La tesis de maestría titulada “**Solución de Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales para El Municipio de Mesetas Departamento del Meta**”, presentada por Manuel Salazar Cuevas, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en ingeniería Ambiental

Director del trabajo de Grado
Jairo Alberto Romero Rojas

Jurados

María Paulina Villegas de Brigard

Héctor Matamoros Rodríguez

Fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado

Bogotá, D.C., día ____ mes ____ del año ____.

Agradecimientos

A mi familia por apoyarme, darme tiempo y el espacio necesario para lograr mi superación profesional, a mis hijos por el ejemplo de estar siempre avanzando académicamente en su vida profesional y al Doctor Jairo Alberto Romero Rojas por su apoyo y compartir su conocimiento de forma incondicional

Resumen

El municipio de Mesetas no cuenta con un sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas por la población del casco urbano, ocasionando contaminación en la fuente hídrica río Güejar, por esta razón, se hace necesario establecer alternativas de sistemas de tratamiento y seleccionar la más adecuada, para que con base en esta se realice los, diseños e ingeniería de detalle definitiva, para su respectiva construcción, considerando aspectos de viabilidad técnica, económica, ambiental, e institucional, para lograr que el sistema de tratamiento seleccionado puedan ser implementado de forma exitosa.

Se realizó una recopilación de información como PSMV, PGRMV, EOT, caracterizaciones del vertimiento y demás información que permiten hacer un análisis real de la situación actual, se estableció: una población, caudal de diseño y constituyentes de entrada y salida; teniendo en cuenta los datos del DANE se realizó un estudio a la tasa de crecimiento que ha venido teniendo el municipio, se proyectó la población de diseño tomando como referencia la población existente en el mes de enero del año 2022 como suscriptores en el servicio de acueducto en la empresa de servicios públicos domiciliarios.

A partir de esta proyección poblacional, se siguió los lineamientos regidos por la normativa, la resolución 0330 de 2017 y la resolución 799 de 2021 donde realizó la proyección del caudal de diseño a un período de diseño de 25 años, por temas de ejecución de la obra, se toma hasta el año 2049 como período de diseño; la población para el año 2022 es de 5.616 habitantes y la población objetivo o beneficiada para el período de diseño es de 8.485 habitantes; el caudal de diseño (QMM) de 35,09 l/s aplicando la resolución 799 de 2021

Se optó por evaluar alternativas de tratamiento para las aguas residuales, a partir de la experiencia que cuenta el departamento., se involucraron tecnologías de tratamiento cuya aplicación ya se tienen en el departamento; con registros de buena operación, alcance en las eficiencias exigidas, de fácil operación y costos de operación acordes con su función, permitiendo proyectos sostenibles.

Los sistemas de tratamiento analizados, fueron tecnologías que logran eficiencias en remoción de carga de DBO, DQO y SST mayores al 95%, para poder cumplir con los requerimientos exigidos en los objetivos de calidad para el Río Guejar

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	16
2. Justificación	17
3. Antecedentes.....	17
4. Objetivos.....	19
4.1. Objetivo General.....	19
4.2. Objetivos Específicos	19
5. Marco Institucional	20
6. Marco Legal.....	20
7. Metodología.....	21
7.1 Revisión Y Análisis de la Información Existente:.....	21
7.2. Muestreo y Aforo del Vertimiento y de la Fuente Receptora	23
7.3. Definición de los Requisitos de Tratamiento o Parámetros de Diseño:	23
7.4. Dimensionamiento y Selección de 5 Alternativas de Sistemas de Tratamiento que Permitan Cumplir los Requisitos de Vertimiento.....	23
7.5. Selección de los Factores de Evaluación y Ponderación de su Importancia en la Selección de la Alternativa para la PTARM.....	24
7.6. Elaboración y Aplicación de una Matriz de Evaluación de los 5 Sistemas de Tratamiento Propuestos, de Acuerdo con los Factores Seleccionados Previamente....	24
8. Información General del Municipio	25
8.1. Localización.....	25
8.2. Demografía.....	26
8.3. Clima.	27
8.4. Hidrografía.....	27
8.5. Ecología	27
8.6. Áreas de Manejo Especial de la Macarena – AMEM.	28

8.7.	Clasificación y Zonificación del Municipio	29
8.7.1.	Suelo Urbano.....	29
8.7.2.	Suelo de Expansión Urbana	29
8.8.	Economía.	30
8.8.1.	Agricultura	30
8.8.2.	Pecuario.	30
8.10.	Educación	31
8.11.	Conflicto Armado Interno de Colombia.....	31
8.12.	Vías de Comunicación	33
8.13.	Servicios Públicos Domiciliarios	33
8.13.1.	Acueducto.....	33
8.13.2.	Alcantarillado.	34
8.13.3.	Aseo.....	35
8.13.4.	Energía eléctrica	35
8.13.5.	Gas Natural.....	35
8.13.6.	Telecomunicaciones	35
9.	Parámetros de Diseño PTARM Mesetas.....	35
9.1.	Período de Diseño	36
9.2.	Población	36
9.2.1.	Tendencia actual de crecimiento	37
9.3.	PROYECCIÓN DE POBLACIÓN.....	40
9.3.1.	Proyección por censos DANE.....	42
9.3.2.	Proyección poblacional a partir del total de viviendas	44
9.3.3.	Población proyectada por el PSMV	45
9.4.	Dotación Neta.....	46
9.5.	Caudales de Diseño	47

9.6.	Población Flotante	48
9.7.	Caudal de Agua Residual (Q_{AR})	49
9.8.	Caudal De Infiltración (Q_{INF}).....	50
9.9.	Caudal Medio Diario (QMD).....	50
9.10.	Caudal Máximo Horario (QMH)	51
9.11.	Caudal Máximo Diario (QMD)	51
9.12.	Caudal Máximo Mensual (QMM).....	51
10.	Constituyentes de Entrada y Salida a la PTAR	54
10.1.	Constituyentes de Entrada	54
10.2.	Constituyentes de Salida y Cumplimiento de Norma de Vertimiento Resolución 0631 De 2015.....	56
10.3.	Constituyentes de Salida y Cumplimiento de los Objetivos de Calidad para el Rio Guejar. 57	
11.	Parámetros de Diseño PTAR Mesetas Según Resolución 330 de 2017 y Resolución 799 de 2021	57
11.1.	ÁREA DISPONIBLE	59
12.	Alternativas del sistema de PTAR	60
12.1.	Planteamiento de Alternativas PTAR Mesetas	63
12.2.	Criterios de Selección de Alternativas a Estudiar.	63
12.2.1.	Generalidades.....	64
12.3.	Categorías de Tratamiento.....	65
12.4.1.	Tratamiento preliminar	66
12.4.	Descripción de Procesos Biológicos de las Alternativas.....	70
12.4.1.	Tecnología Aerobia Filtro Percolador	72
12.4.2.	. Tecnología aerobia de lodos activados	74
12.5.3.	Tecnología Anaerobia Reactor UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket)	

12.5.4.	Tecnología Anaerobia RAP (Reactor Anaerobio de flujo Pistón)	80
12.5.5.	Tecnología lagunas de estabilización.....	82
12.5.6.	Sedimentador secundario	83
12.5.7.	Tanque de contacto de cloro.....	84
12.5.8.	Lechos de secado de lodos.....	84
12.6.	Alternativas de Tecnologías y Sistemas de Tratamiento	84
12.6.1.	Alternativa N. 1. Filtros Percoladores (FP) + Sedimentación Secundaria + Desinfección + lechos de secado.....	84
12.6.2.	Alternativa N. 2. Lodos Activados (LAC) + Sedimentación secundaria + Desinfección + Lechos de secado	88
12.6.3.	Alternativa N. 3. Reactor Anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + Reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP) + Sedimentación secundaria + Lechos de Secado. 92	
12.6.4.	Alternativa N. 4. Reactor Anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + Lodos Activados (LAC) + Sedimentación secundaria + Lechos de Secado.	96
12.6.5.	Alternativa N. 5. Lagunas de estabilización	99
13.	Dimensionamiento de las Unidades del Sistema de Tratamiento de las Alternativas	101
13.1.	Cálculos del Tratamiento Preliminar para Todas las Alternativas	101
13.1.1.	Vertedero de excesos	101
13.1.2.	Canal de aproximación	104
13.1.3.	Sistema de cribado grueso y fino	104
13.1.4.	Desarenador	106
13.1.5.	Pozo de bombeo inicial	107
13.2.	Dimensionamiento del Tratamiento Secundario	107
13.2.1.	Alternativa 1 filtros percoladores + sedimentación + deshidratación de lodos	108

13.2.2.	Alternativa 2 Lodos activados + sedimentación + deshidratación de lodos	113
13.2.3.	Alternativa 3 reactor UASB + RAP + sedimentación + desinfección + lodos lechos de secado.....	120
13.2.4.	Alternativa 4 reactor UASB + LAC + sedimentación + deshidratación de lodos	129
13.2.5.	Alternativa 5 Lagunas de Estabilización	140
13.3.	Sistema De Desinfección	149
14.	Áreas Necesarias para la Construcción de Alternativas	150
15.	Costos de Inversión	151
13.1.	Inversión Tratamiento Preliminar.....	151
13.2.	Inversión Alternativa 1 Filtros Percoladores	152
13.3.	Inversión Alternativa 2 Lodos Activados.....	153
13.4.	Inversión Alternativa 3 UASB + RAP	155
13.5.	Inversión Alternativa 4 UASB + LAC	156
13.6.	Inversión Alternativa 5 Lagunas de Estabilización.....	158
13.7.	Resumen y Comparativo de Inversión de Alternativas	158
14.	Costos de Operacion	159
14.1.	Resumen de los Costos de Operación de Alternativas.....	163
15.	Matriz De Evaluación De Alternativas Tecnológicas	164
15.1.	Aspectos Técnicos (0-30).....	164
15.1.1.	Tecnología apropiada (0-15)	164
15.1.2.	Exigencias operativas y de mantenimiento (0-15)	165
15.2.	Aspectos Sociales y Ambientales (0-20)	166
15.2.1.	Afectación Antrópica (0-10).....	166
15.2.2.	Afectación Biótica y Abiótica (0-10).....	166
15.3.	Aspectos Económicos y Financieros (0-50).....	167

15.3.1.	Inversión Inicial (0-20).....	167
15.3.2.	Costos de Operación (0-25).....	167
15.3.3.	Costos de Mantenimiento (0-5).....	168
16.	Selección de la Alternativa Tecnológica.....	168
16.1.	Matriz de Evaluación.....	168
17.	Conclusiones y Recomendaciones.....	170
18.	Referencias.....	172
19.	LISTA DE ANEXOS.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales res 0330 y 0799.....	22
Tabla 2.	Zona de Expansión urbana.....	30
Tabla 3.	Población para el casco urbano municipio de Mesetas.....	36
Tabla 4.	Promedio tasas de crecimiento K.....	40
Tabla 5.	<i>Proyección poblacional método geométrico.....</i>	43
Tabla 6.	Tabla resumen del promedio habitacional.....	44
Tabla 7.	Suscriptores de alcantarillado.....	44
Tabla 8.	Proyección poblacional por suscriptores, método geométrico.....	45
Tabla 9.	Población proyectada por el PSMV.....	46
Tabla 10.	Caudales de Diseño para PTAR con caudales superiores a 30 L/s.....	47
Tabla 11.	Factores pico para caudales de Tratamiento de aguas residuales.....	48
Tabla 12.	Población flotante con proyecciones DANE y Suscriptores.....	49
Tabla 13.	Qmd proyectados al año 2049 por suscriptores.....	50
Tabla 14.	QMH proyectado al año 2049 por suscriptores.....	51
Tabla 15.	QMD proyectado al año 2049 por censos DANE y suscriptores.....	51
Tabla 16.	QMM proyectado al año 2049 por censos DANE y suscriptores.....	52
Tabla 17.	QMM resolución 799 de 2021 proyecciones DANE y suscriptores.....	52
Tabla 18	Población y caudales de diseños año por año.....	53
Tabla 19.	Constituyentes a la Entrada de la PTAR.....	54

<i>Tabla 20. Constituyentes típicos de Agua Residual Doméstica</i>	55
Tabla 21. Parámetros máximos permisibles de vertimiento, resolución 0631 de 2015.	56
Tabla 22 Constituyentes de entrada y salida de la PTAR de Mesetas.....	57
Tabla 23 Parámetros de diseño PTARM	58
Tabla 24 Descripción de Procesos de Tratamiento Biológicos	71
Tabla 25. Ventajas y Desventajas Alternativa filtros percoladores	87
Tabla 26 Procesos de Lodos Activados Ventajas y Limitaciones.....	91
Tabla 27 Ventaja y desventajas alternativa 3.....	96
Tabla 28 Dimensionamiento estructura de alivio	103
Tabla 29 Dimensionamiento canal de aproximación	104
Tabla 30 Dimensionamiento rejillas gruesa y delgada	105
Tabla 31 Diseño rejilla fina	105
Tabla 32 Cálculo de desarenador con tres canales	106
Tabla 33 Dimensionamiento pozo de bombeo inicial.....	107
Tabla 34 Dimensionamiento filtro percolador.....	109
Tabla 35 Dimensionamiento sedimentador secundario.....	110
Tabla 36 Dimensionamiento espesador de lodos	111
Tabla 37 Dimensionamiento lechos de secado.....	112
Tabla 38 Dimensionamiento reactor aerobio.....	114
Tabla 39 Dimensionamiento sedimentador secundario.....	117
Tabla 40 Dimensionamiento espesador de lodos	118
Tabla 41 Dimensionamiento lechos de secado.....	119
Tabla 42 Dimensionamiento reactor UASB	121
<i>Tabla 43 Dimensionamiento reactor anaerobio RAP</i>	123
Tabla 44 Dimensionamiento sedimentador secundario.....	126
Tabla 45 Dimensionamiento lechos de secado.....	127
Tabla 46 Producción de Biogás reactor UASB	128
Tabla 47 Dimensionamiento reactor UASB con LAC.....	130
Tabla 48 Dimensionamiento reactor aerobio.....	132
Tabla 49 Dimensionamiento sedimentador secundario.....	135
Tabla 50 Dimensionamiento espesador de lodos	136

Tabla 51 Dimensionamiento lechos de secado.....	137
Tabla 52 Producción de Biogás reactor UASB	138
Tabla 53 Resumen general de dimensionamiento alternativas 1,2,3 y 4	140
Tabla 54 Dimensionamiento laguna anaerobia	142
Tabla 55 Dimensionamiento laguna facultativa	144
Tabla 56 Dimensionamiento laguna de maduración	146
Tabla 57 dimensiones y volúmenes de las lagunas facultativas	147
Tabla 58 Dimensionamiento tanque de contacto de cloro	149
Tabla 59 Inversión tratamiento preliminar.....	151
Tabla 60 Inversión obra civil alternativa 1 Filtros percoladores.....	152
Tabla 61 inversión equipamiento alternativa 1 Filtros percoladores.....	152
Tabla 62 inversión componente eléctrico Alternativa 1 Filtros percoladores.....	153
Tabla 63 Inversión obra civil alternativa 2 Lodos activados	153
Tabla 64 inversión equipamiento alternativa 2 Lodos activados	154
Tabla 65 Inversión componente eléctrico alternativa 2 Lodos activados.....	154
Tabla 66 Inversión obra civil alternativa 3 UASB + RAP	155
Tabla 67 Inversión equipamiento alternativa 3 UASB + RAP	155
Tabla 68 Inversión Componente eléctrico alternativa 3 UASB + RAP.....	156
Tabla 69 Inversión obra civil alternativa 4 UASB + LAC.....	156
Tabla 70 Inversión equipamiento alternativa 4 UASB + LAC.....	157
Tabla 71 Inversión componente eléctrico alternativa 4 UASB + LAC	157
Tabla 72 Inversión obra civil alternativa 5 Lagunas de Estabilización	158
Tabla 73 Resumen general de inversión de las 4 alternativas.....	159
Tabla 74 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 1 Filtros percoladores	160
Tabla 75 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 2 Lodos activados.....	160
Tabla 76 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 3 UASB + RAP	161
Tabla 77 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 4 UASB + LAC	161
Tabla 78 Costos de productos químicos para las alternativas 1,2,3, y 4.....	162
Tabla 79 Producción y costos de manejo de lodos para alternativas 1,2,3 y 4.....	162
Tabla 80 Costos de personal y control para las 4 alternativas	162
Tabla 81 Resumen general de costos de operación para las 4 alternativas.....	163

Tabla 82 Diferencias en costos de operación por alternativas	163
Tabla 83 Evaluación y calificación matriz de alternativas	169

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapa de Diagnóstico.....	25
Figura 2. Localización Espacial del municipio de Mesetas, Meta	26
Figura 3. Ubicación de Áreas de Manejo Especial de la Macarena - AMEM.....	28
Figura 4. Áreas Protegidas en el AMEM	29
Figura 5. Metodología fase de alternativas PTAR mesetas	62
Figura 6. Diagrama de procesos Alternativa 1. Filtros Percoladores.....	85
Figura 7. Diagrama de procesos Alternativa 2. Lodos Activados	88
Figura 8. Diagrama de procesos Alternativa 3. UASB + RAP	93
Figura 9. Diagrama de procesos Alternativa 4. UASB + LAC	97
Figura 10. Diagrama de procesos lagunas de estabilización	100
Figura 11. Corte reactor UASB.....	122
Figura 7. Corte reactor UASB con LAC	131

INDICE GRAFICAS

<i>Grafica 1. Población intercensal DANE para el casco urbano del municipio de Mesetas ...</i>	<i>37</i>
<i>Grafica 2 Correlación de Población por el método geométrico,</i>	<i>41</i>
<i>Grafica 3. Correlación de población por el método geométrico.....</i>	<i>41</i>
<i>Grafica 4 Correlación de población por el método exponencial</i>	<i>42</i>
<i>Grafica 5 Proyección crecimiento poblacional método geométrico</i>	<i>44</i>

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vertimiento de las aguas residuales sobre el rio Güejar	18
Ilustración 2 predio de ubicación de la PTARM	59
Ilustración 3 Tratamiento preliminar	66
Ilustración 4 Rejilla tipo manual	68
Ilustración 5 Rejilla mecánica.....	68
Ilustración 6 Esquema de filtro percolador	74
Ilustración 7 Disposición y distribución de flujo Filtro percolador	74
Ilustración 8 Tratamiento de lodos activados	75

Ilustración 9 Reactor UASB.....	79
Ilustración 10 implantación alternativa 1 Filtros percoladores.....	113
Ilustración 11 Planta general Alternativa 2 Lodos activados.....	120
Ilustración 12 Planta General alternativa 3 UASB + RAP	129
Ilustración 13 Planta general alternativa 4 UASB + LAC	139
Ilustración 14 Planta general alternativa 5 Lagunas de estabilización.....	148
Ilustración 15 Metodología a seguir en la fase de diseños.....	171

1. Introducción

La mayoría de los municipios de Colombia se han asentado cerca a fuentes hídricas que le sirven como fuente de abastecimiento de agua para su consumo y, a su vez, para realizar las descargas de las aguas servidas a través de sus alcantarillados, ocasionando gran contaminación de estas fuentes. Para mitigar los impactos ambientales negativos, desde mediados del siglo pasado se han realizado y creado: políticas, programas y normas, para que cada uno de los municipios desarrolle y adopte proyectos dirigidos a la descontaminación de sus fuentes hídricas a través sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El municipio de Mesetas con una población de 4.449 habitantes en el casco urbano según censo del DANE 2018 y proyección al 2023, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, su vertimiento de aguas servidas es descargado directamente al río Guejar, fuente hídrica con excelentes condiciones ambientales que en la actualidad es aprovechado turísticamente.

La ejecución del trabajo de grado se realizará en tres fases: Fase I Diagnóstico; Fase II – Dimensionamiento de alternativas y Fase III - análisis para tener la más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales; para que con base en este trabajo se desarrollen los diseños definitivos e ingeniería de detalle de la solución por parte del municipio de Mesetas

La fase de diagnóstico hace énfasis en los aspectos referentes al tratamiento de aguas residuales y contiene la evaluación de la situación actual de los vertimientos de las aguas residuales producidas por la zona urbana de Mesetas, se presenta el uso, calidad y estado de la corriente receptora de los vertimientos del alcantarillado, y se efectúa un balance de la contaminación de la misma, indicándose los agentes que causan dicho efecto.

El presente informe de diagnóstico hace énfasis en los aspectos referentes al tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales que necesita el municipio, y contiene la evaluación del área de estudio, la proyección adecuada de la oferta y la demanda y la recolección de información secundaria proveniente de entidades tales como: la alcaldía municipal, DANE, páginas web, la empresa de servicios públicos del municipio y primaria obtenida en las visitas de campo a la zona de estudio y los levantamientos topográficos.

2. Justificación

El municipio de Mesetas enfrenta serios problemas de origen hídrico debido a la inadecuada disposición de las aguas servidas, reflejándose en la contaminación del río Güejar. Es incuestionable el deterioro de la calidad del agua del río Güejar, y resulta urgente su recuperación ya que el vertido de las aguas servidas a la corriente, pone en riesgo la calidad del río. Para mantener la calidad del cuerpo de agua dentro de límites aceptables, según las normas existentes, reducir los índices de morbilidad en la población, y satisfacer los objetivos para uso del río Güejar, se justifica plenamente la identificación, evaluación y diseño de la solución para tratamiento de los vertimientos de las aguas servidas en el casco urbano de Mesetas.

Es ineludible que en la formulación de proyectos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas municipales, se efectúe un análisis minucioso de las aguas residuales y el diseño de cada una de las estructuras a construir, el cual debe realizarse bajo un contexto integral del manejo del recurso hídrico, considerando aspectos de viabilidad técnica, económica, ambiental e institucional, de tal manera que el sistema de tratamiento que se ha seleccionado pueda ser implementado de forma exitosa y se garantice su sostenibilidad.

Que el proyecto a implementar con base en las alternativas planteadas, se seleccione la más adecuada para su diseño final y que se enmarque en un proyecto de desarrollo sostenible y pueda ser operado de forma adecuada por la administración municipal o la empresa de servicios públicos operadora

3. Antecedentes

El Municipio de Mesetas, con una población de 4.546 habitantes en el casco urbano según censo del DANE 2018 y proyección al 2023, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, su vertimiento de aguas servidas es descargado directamente al río Güejar, fuente hídrica con excelentes condiciones ambientales que en la actualidad es utilizada en actividades turísticas y deportes como rafting y kayak.

Ilustración 1 Vertimiento de las aguas residuales sobre el río Güejar



El vertimiento se realiza directamente al río Güejar aguas abajo del puente sobre la vía que conduce al municipio de San Juan de Arama.

Para los años 2018 y 2019, 2022 el municipio de Mesetas realizó caracterizaciones del vertimiento aguas residuales y estudios de topografía para el área de la PTAR.

Actualmente, el municipio se encuentra adelantando acciones para lograr la aprobación del sitio de construcción de la planta y cuenta con el concepto de determinantes ambientales expedidos por CORMACARENA.

Es importante tener: viabilidad técnica, económica, ambiental, e institucional, para lograr que el sistema de tratamiento que se seleccione pueda ser implementado de forma exitosa, sea sostenible, se ha optado por evaluar alternativas de tratamiento para las aguas residuales, a partir de la experiencia que cuenta el departamento del Meta, involucrando tecnologías de tratamiento cuya aplicación ya se tienen, de buena operación, eficiencias exigidas y costos de operación acordes con su función, permitiendo proyectos sostenibles.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Elaborar el diseño conceptual de la planta de tratamiento de aguas residuales PTARM, para el municipio de Mesetas departamento del Meta, realizando un diagnóstico, dimensionamiento de alternativas del sistema de tratamiento más adecuado y con base en este, evaluar, analizar y seleccionar la mejor alternativa de tratamiento, basados en aspectos técnicos, ambientales, económicos, sociales, institucionales, legales y de desarrollo sostenible.

4.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar las aguas residuales afluentes a la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTARM) del municipio de Mesetas, que permita definir los parámetros de diseño, realizar la proyección poblacional del municipio de Mesetas, tomando datos censales de fuentes oficiales como el DANE, PSMV y la empresa de servicios públicos domiciliarios
2. Identificar las normas de vertimiento existentes para el municipio de Mesetas y los requerimientos de eficiencia de la PTARM, conforme con los parámetros técnicos establecidos por los objetivos de calidad del río y la normatividad ambiental correspondiente al área del proyecto.
3. Generar mínimo 5 alternativas de PTARM para el municipio de Mesetas, teniendo en cuenta las tecnologías disponibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y manejo de los subproductos, que permitan satisfacer las eficiencias requeridas para vertimiento.
4. De acuerdo con las condiciones de evaluación: desarrollo sostenible, impacto ambiental, costos de capital, operación y mantenimiento, elegir la mejor alternativa para el diseño conceptual con base en una matriz que permita la evaluación y calificación de cada una de las alternativas seleccionadas.
5. Elaborar Analizar, evaluar, calificar y definir cuál es la mejor alternativa para desarrollar los diseños definitivos de la PTAR de Municipio de Mesetas

5. Marco Institucional

En los estudios y diseños para la optimización y ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales del casco urbano del municipio de Mesetas, se han identificado entes responsables involucrados en el estudio, los cuales se mencionan a continuación:

1. Gobernación del departamento del Meta
2. Municipio de Mesetas (Entidad responsable).
3. Aguas de Mesetas (Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios de Mesetas S.A. E.S.P. Entidad prestadora y operadora del servicio).
4. Comisión de Regulación de Agua Potable – CRA (Entidad reguladora).
5. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD (Entidad de control, inspección y vigilancia).
6. Corporación para el Desarrollo Sostenible de La Macarena –CORMACARENA (Autoridad ambiental competente).
7. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT)
8. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS)
9. Juntas de acción comunal y veedurías (participación comunitaria).

6. Marco Legal

Los estudios para la identificación de la problemática del saneamiento ambiental de las aguas residuales para el municipio de Mesetas, se presentan dentro de la perspectiva de la utilización racional de los recursos naturales y de la disposición adecuada de los residuos líquidos. La evaluación, dimensionamiento y el diseño del sistema de saneamiento se regirá por los parámetros de la normatividad del ámbito nacional y regional:

1. Constitución Política de Colombia 1991. Artículos 78, 79, 80 y 82.
2. Código Colombiano de Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974).
3. Ley 99 de 1993.
4. Código Sanitario Nacional (Ley 9 de 1979).
5. Ley 142 de 1994.
6. Decreto 1541 de 1978.
7. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR10

8. Ley 388 de 1997.
9. Decreto 3930 de 2010
10. Resolución 0631 de 2015. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
11. Resolución 0330 de 2017 Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio
12. Resolución 0799 De 2021 Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio
13. EOT Esquema de Ordenamiento territorial del municipio de Mesetas
14. Objetivos de calidad del Río Guejar
15. PSMV municipio de Mesetas
16. PSGRMV municipio de Mesetas
17. Decreto 1076 del 2015 Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
18. Resolución 1256 (reusó AR) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
19. Resolución 699 De 2021 parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo

7. Metodología

La metodología para la elaboración del trabajo de grado “Solución de alternativa de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Mesetas departamento del Meta “, es la establecida por el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, resolución 0330 y 0799. La metodología desarrollada está dirigida a cumplir con los objetivos específicos del estudio correspondiente a la Fase I de Diagnóstico: (i) Recopilación, validación y análisis de la información secundaria; (ii) Uso, calidad y estado de la corriente receptora de los vertimientos del alcantarillado, y balance de la contaminación; (iii) Determinación de parámetros de diseño para el tratamiento de las aguas servidas; y (iv) Diagnóstico de la situación actual de saneamiento del casco urbano del municipio de Mesetas

7.1 Revisión Y Análisis de la Información Existente:

Búsqueda y análisis de la información que permita establecer los parámetros de diseño, para lo cual se debe contar con:

- Censos DANE, Catastro de suscriptores

- Caracterización de las aguas residuales del municipio
- Esquema de ordenamiento territorial (EOT)
- Plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV)
- Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guejar (POMCA),
- Plan maestro de acueducto y alcantarillados (PMAA)
- Localización de la PTARM

La información anterior permitirá establecer la población beneficiada actual y futura del proyecto a 25 años, de acuerdo con la resolución 0330 del 2017 y 0799 del 2021, la cobertura del servicio de alcantarillado, las áreas de desarrollo y de incidencia en el cálculo de los caudales de infiltración. Con el análisis de esta información se obtendrán las bases fundamentales para calcular el caudal de diseño, Caudal medio diario Qmd, Caudal máximo horario QMH, Caudal máximo Diario QMD y Caudal máximo Mensual (QMM), los cuales se deben tener en cuenta para el dimensionamiento de las diferentes estructuras de acuerdo con lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 1 Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales res 0330 y 0799

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR.	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de referencia. • Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos. • Sistemas lagunares.
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de gras y sedimentadores primarios y secundarios). • Desarrollo de estrategias operativas. • Conductores de interconexión de unidades de proceso.
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día identificado en los registros estudiados.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de tanques de regulación. • Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos. • Dimensionamiento de dosificación química.

Caudal	Descripción	Aplicación
CONTINUACION TABLA 1		
Caudal máximo Mensual	Caudal promedio diario para el mes con mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamiento de Biorreactores. • Dimensionamiento del almacenamiento de químicos.

Fuente. Resolución 0799 de 2021

7.2. Muestreo y Aforo del Vertimiento y de la Fuente Receptora

Para esta actividad se utilizará la información de caracterizaciones realizadas por el municipio para la elaboración del PSMV y caracterizaciones de los últimos tres años que se realizaron para los cálculos de las tasas retributivas.

7.3. Definición de los Requisitos de Tratamiento o Parámetros de Diseño:

Con base en la información analizada se determinará los parámetros de diseño

- Caudal de diseño.
- Constituyentes de entrada (DBO, DQO; SST, G&A, y demás parámetros establecidos en la resolución 631 del 2015).
- Eficiencias que debe obtener la PTARM.

7.4. Dimensionamiento y Selección de 5 Alternativas de Sistemas de Tratamiento que Permitan Cumplir los Requisitos de Vertimiento.

Para esta fase del proyecto se analizaron cinco alternativas de tratamiento cuya tecnología y procesos, pueden cumplir con las eficiencias requeridas para lograr verter con lo exigido por la autoridad ambiental. Las alternativas son las siguientes:

- Filtros percoladores (FP)
- Lodos activados (LAC)
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB o FAFA) más reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP)
- Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) más lodos activados (LAC)

➤ Lagunas de estabilización

Las anteriores alternativas llevarán su tratamiento preliminar, sedimentación, desinfección, manejo de lodos y subproductos como biogás. En esta fase se describen sus ventajas y desventajas enmarcadas dentro de las eficiencias, confiabilidad del proceso, comparación de áreas ocupadas, costos de operación e inversión y demás variables, que nos permitan analizar, evaluar y calificar estas alternativas, para seleccionar la más adecuada y solucionar el problema del tratamiento de las aguas residuales del municipio de Mesetas.

7.5. Selección de los Factores de Evaluación y Ponderación de su Importancia en la Selección de la Alternativa para la PTARM.

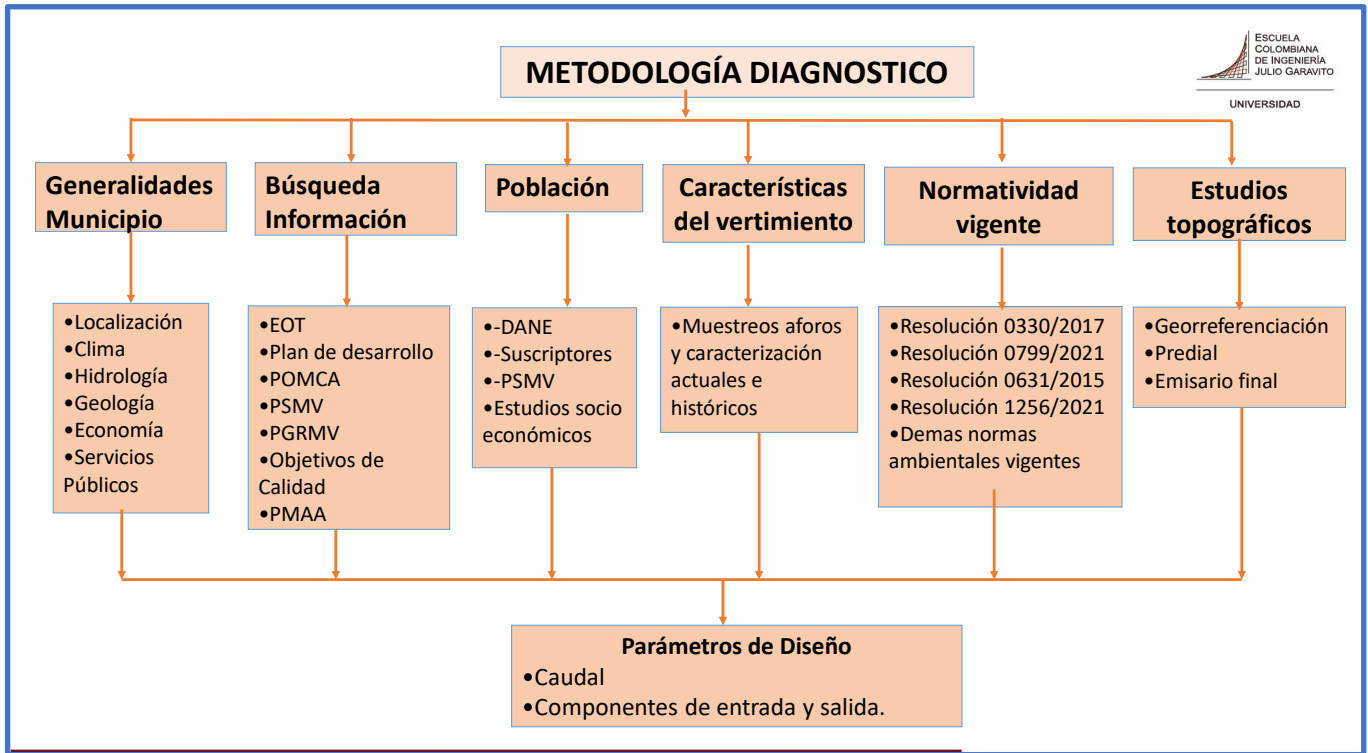
En esta fase se definirán los aspectos relevantes para la definición de las alternativas a dimensionar:

- Aspectos tecnológicos.
- Aspectos Ambientales.
- Reúso y Aprovechamiento de subproductos.
- Áreas de ocupación.
- Aspectos culturales.
- Desarrollo Sostenible.
- Capacidad y disponibilidad de pago de tarifas.

7.6. Elaboración y Aplicación de una Matriz de Evaluación de los 5 Sistemas de Tratamiento Propuestos, de Acuerdo con los Factores Seleccionados Previamente.

Como producto final de la fase de Alternativas se obtendrá el dimensionamiento de todas las unidades de tratamiento que conforman cada sistema, y con base en ello poder obtener los diferentes componentes de la matriz de evaluación para analizar y seleccionar la alternativa más adecuada para el dimensionamiento de la planta de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Mesetas.

Figura 1. Etapa de Diagnóstico



Como producto final de la fase de diagnóstico se obtienen los parámetros de diseño necesarios para realizar el dimensionamiento de las diferentes alternativas para dar solución al problema del tratamiento de las aguas residuales para el municipio de Mesetas y contaminación hídrica al río Güejar.

8. Información General del Municipio

8.1. Localización.

El municipio de Mesetas se encuentra localizado en la parte occidental de la región del Piedemonte del departamento del Meta, con una ubicación geostacionaria a 3° 20'7" latitud norte y 74° 0.2' 19" longitud este, a 138 km de Villavicencio; limita por el norte con el municipio de Lejanías; por el sur con los municipios de Uribe y la Macarena; por el oriente con San Juan de Arama y por el Occidente con Uribe.

Figura 2. Localización Espacial del municipio de Mesetas, Meta



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

8.2. Demografía

La cabecera municipal del municipio de Mesetas cuenta con 5 barrios, el Centro, El Prado, Villa Lucía, Jaime Pardo Leal y El Jardín, se presenta confusión en la identificación de Provienda, que al parecer es una urbanización del barrio Pardo Leal, así mismo sobre las urbanizaciones que han sido desarrolladas en las zonas de expansión urbana (Villa Sofía y Villa de los Ángeles) y que no están incorporadas al perímetro urbano, lo que implica la no incorporación a los barrios actuales.

El sector rural se encuentra constituido por 65 veredas; Villa Lucía, Payandesal, La Paz, El Paraíso, Las Brumas, El Palmar, Horizonte, La Marina, San Miguel, El Trique, La Argentina, Cafetales, Las Flores, La Cristalina, La Cascada, Guaimaral, La Libertad, Brisas del Duda, Montebello, Bajo Andes, El Cairo, La Cominera, El Gobernador, El Turpial, El Diamante, El Sinaí, La Frontera, El Mirador, Alto Andes, Puerto Nariño, Las Mercedes, San Fernando, San Isidro, Ondas del Cafre, Nueva Esperanza, Santa Elena, La Florida, El Piñal, Jardín de las Peñas, El Jazmín, Buenavista, Nuevo Porvenir, La Guajira, La Unión, Morrobello, Las Rosas, La Reforma, Montañitas, Los Alpes, Oriente, Buenos Aires, Las Brisas, Bajo Cuncia, La Floresta, Alto Cafre, La Barrialosa, Guacamayas, Palmeras, El Porvenir, Manantial,

Betania, La Cabaña, San Antonio, Los Naranjos y Las Colinas. (Equipo de Gobierno municipal de Mesetas, 2020)

8.3. Clima.

La temperatura de Mesetas oscila entre los 20 y 25 °C, altura de 827 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una extensión total de 2.448 kilómetros cuadrados que corresponde a 2,31% del total departamental y al 0,17% del total nacional.

8.4. Hidrografía

El Municipio cuenta con una oferta hídrica representativa en la región, compuesta por diversos ríos y caños, se extiende en la vertiente de la Orinoquia y la Amazonia; entre los principales ríos está El Güejar, Lucía, Cafre, Duda, Guape, Papamene y Santo Domingo. El Río Güejar y Río Guape cuentan con sus respectivos planes de ordenamiento - POMCA.

8.5. Ecología

El municipio de Mesetas cuenta con una estructura ecológica principal donde confluyen las ecorregiones Andina, Amazónica y Orinoquia caracterizada por vegetación de bosque natural medianamente intervenido y en donde se desarrollan actividades productivas como cultivo del café, caña panelera, plátano y ganadería. (Equipo de Gobierno municipal de Mesetas, 2020).

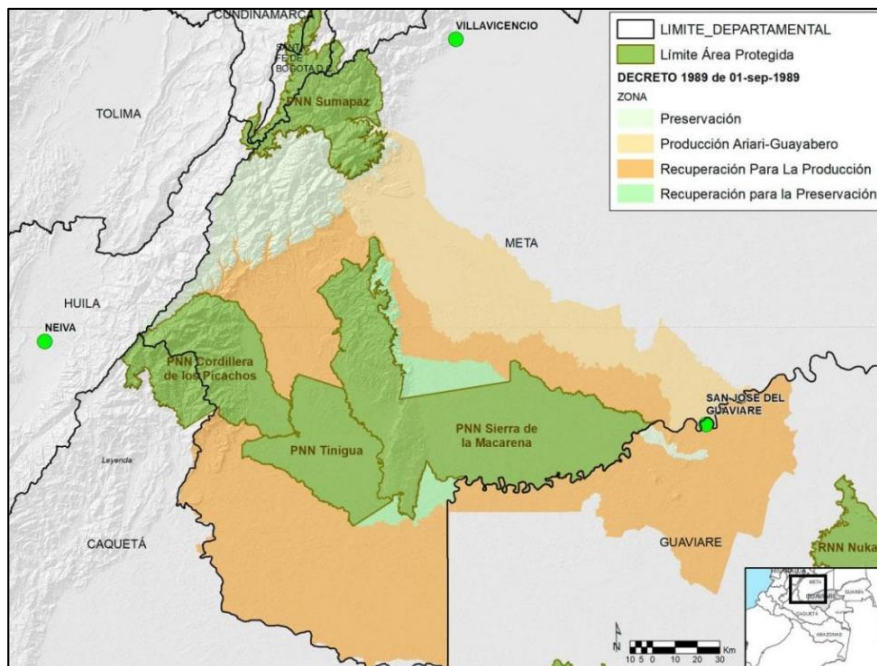
De acuerdo con lo establecido en el EOT de Mesetas, se reconocen las diferentes figuras de protección presentes en el municipio, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015, el Decreto 1077 de 2015 y el Código de Recursos Naturales (Decreto Ley 2811 de 1974). Dichas figuras se agrupan en las siguientes categorías:

- Estructura Ecológica
- Zonas de importancia ambiental en áreas urbanas
- Zonas con pendientes iguales o mayores de 100%
- Suelos de protección para la prestación de servicios públicos domiciliarios y disposición de residuos sólidos
- Suelos agrológicos clases III y clase VIII

8.6. Áreas de Manejo Especial de la Macarena – AMEM.

El Área de manejo Especial de la Macarena (AMEM) consiste en una serie de reservas forestales protectoras, resguardos indígenas, zonas de Reserva campesina y cuatro Parques Naturales Nacionales (Macarena, Picachos, Sumapaz y Tinigua) la cual fue creada mediante Decreto Ley 1989 para garantizar la permanencia de la riqueza natural de estos lugares.

Figura 3. Ubicación de Áreas de Manejo Especial de la Macarena - AMEM



Fuente. Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible – FCDS.

El AMEM cuenta con 3'871.790 hectáreas y administrativamente cubre la totalidad de los municipios de El Castillo, El Dorado, La Macarena, Lejanías, Puerto Concordia, Puerto Rico, Mesetas, San Juan de Arama, La Uribe y Vistahermosa; y parcialmente los municipios de: Guamal, Granada, Fuente de Oro, Puerto Lleras y San Luis de Cubarral. (Fundación para la Conservación el Desarrollo Sostenible - FCDS , 2011)

En la Figura 4, se presentan las áreas protegidas en el AMEM en el que el municipio de Mesetas hace parte.

Figura 4. Áreas Protegidas en el AMEM

Áreas protegidas	Extensión del área protegida (Ha)	Porcentaje en el departamento del Meta	Municipios
Parque Natural Nacional Sierra de la Macarena	605.798	100%	Mesetas, Puerto Concordia, Puerto Rico, San Juan de Arama, Vistahermosa y La Macarena
Parque Natural Nacional Tinigua	215.507	100%	Uribe y La Macarena
Parque Natural Nacional Cordillera de los Picachos	205.352	53,6%	Uribe
Parque Natural Nacional Sumapaz	154.960	76,7%	Acacias, Guamal , Cubarral, El Castillo, Lejanías y Uribe
Distrito de Manejo Integrado Macarena Norte	360.000	100%	Mesetas, San Juan de Arama, Vistahermosa y Puerto Rico
Distrito de Manejo Integrado macarena Sur	52.220	100%	La Macarena
Distrito de Manejo Integrado Ariari-Guayabero	1.853.411,56	79,59%	Cubarral, El Castillo, Lejanías, Mesetas, Granada, Vistahermosa, Puerto Lleras, Fuente de Oro, San Juan de Arama, Puerto Rico y la Macarena

Fuente. (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura - Agencia de Desarrollo Rural, 2019)

8.7. Clasificación y Zonificación del Municipio

8.7.1. Suelo Urbano

Se considera como suelo urbano el área de terreno ocupado por asentamiento poblacional con historia y tradiciones que condicionan o caracterizan el uso que de ella realicen, a través de las diversas actividades que definen su cultura social. Según el grado de desarrollo y organización de cada asentamiento, se podrá definir si el área ocupada tiene el carácter urbano o no urbano, según si posea infraestructura de servicios públicos domiciliarios, estructura vial y de transporte, equipamiento y espacio público urbano.

En el casco urbano, el municipio cuenta con cinco barrios de estratificación económica entre media y baja-baja que acogen a 3.800 habitantes aproximadamente (PSMV, 2018). Estos barrios son: Centro, El Prado, Villa Lucia, Jaime Pardo Leal y El Jardín con un área aproximada de 73.46 Ha.

8.7.2. Suelo de Expansión Urbana

Lo componen los terrenos o áreas destinadas al crecimiento físico del área urbana, en estrecha relación con su dinámica poblacional y las actividades que desarrollan los

habitantes del Municipio, el cual se habilitará de manera programada, salvo que el titular del predio no considere su desarrollo, por lo cual la Secretaría de planeación o quien haga sus veces, podrá permitir el desarrollo de otra zona de expansión urbana, siempre y cuando se cuente con la posibilidad de dotación de infraestructura para el sistema vial, de transporte, de servicios públicos domiciliarios, áreas libres, parques y equipamiento colectivo de interés público o social, las cuales se desarrollarán y se diseñarán a través de instrumentos de planificación específicos como los planes parciales.

En el municipio existe una zona de 43,2 Ha que cumple con los requerimientos necesarios para ser clasificada como suelo de expansión (PSMV, 2018) – ver Tabla 2.

Tabla 2. Zona de Expansión urbana

Área	Suelos	Servicios Públicos	Demanda	Observaciones	Destinación
Sector noroccidental del casco urbano municipal	Altos, estables y libres de inundaciones	Fácil acceso a las redes de acueducto y alcantarillado	Buena demanda de los predios	Distante del área central del casco urbano municipal. Distante de equipamientos públicos (matadero, relleno sanitario y plaza de mercado)	Construcción para viviendas

Fuente. PSMV, 2018.

8.8. Economía.

8.8.1. Agricultura

La diversidad de clima, fuentes hídricas y tener altura superior a la de otros municipios del Ariari, en el año 2009, Mesetas batió récord por la siembra del café colombiano con el precio internacional más alto en la historia. De igual forma, cuentan con cultivos de yuca, plátano, maíz y algunos frutos.

8.8.2. Pecuario.

Mesetas cuenta con la crianza de ganadería de doble propósito la cual aprovechan para obtener y comercializar carnes y lácteos como principal negocio de la región.

8.9. Turismo

Mesetas es un municipio muy famoso por las atracciones turísticas que se pueden realizar,

especialmente para los amantes de la naturaleza y aventura. Dentro de las actividades turísticas que se pueden realizar en este municipio se encuentran:

- Rafting en el río Güejar
- Tubbing por el cañón del Cafre
- Senderismo para llegar a la Cascada la Encantada
- Recorrer las cascadas de Sierra Mágica

El municipio está impulsando las fincas hacia el eco turismo, con el fin de enseñar a visitantes nacionales o internacionales sobre el proceso de producción del café y ordeñanza de vacas; adicional a eso, aprovechar fuentes naturales como cascadas, ríos, cuerpos de agua que se encuentran en el municipio y las que fueron mencionadas previamente.

8.10. Educación

El municipio de Mesetas presenta un total de 5 centros educativos de los cuales 1 se encuentra ubicado en el área urbana del municipio y 4 en el área rural. Un total de 53 sedes educativas de las cuales 2 se encuentran ubicadas en el área urbana del municipio y pertenecen al Centro Educativo Los Fundadores, 51 Sedes se encuentran distribuidas en el área rural en los 4 Centros Educativos de Río Cafre con 13 Sedes Educativas, Río Duda con 13 Sedes Educativas, Río Güejar con 12 sedes educativas y Jardín de Peñas con 13 sedes educativas. Las 5 Sedes, para el año 2019, contaban con 2.071 estudiantes, de acuerdo a reportes realizados por el SIMAT. (*Equipo de Gobierno municipal de Mesetas, 2020*).

8.11. Conflicto Armado Interno de Colombia

Según el análisis cartográfico del posconflicto en el departamento del Meta, la presencia del conflicto armado en Colombia se inicia a través de corrientes migratorias, denominadas en esa fecha con el nombre de *columnas en marcha* entre los años 1955 y 1964. Como primera corriente migratoria se encuentra la producida con el desplazamiento forzado de comunidades campesinas, tras operativos realizados por la fuerza pública, las cuales fueron asentadas en las cuencas de los ríos Duda, Ariari y Guayabero; la segunda corriente se produce como consecuencia de políticas gubernamentales para ampliar la densidad rural, relacionada con la explotación de los recursos naturales, principalmente asociados a la minería, el petróleo y la ganadería, asentándose en los departamentos de Arauca,

Casanare y Meta. Cabe resaltar que las principales actividades productivas de esta región obedecen a la agricultura, la ganadería y la industria petrolera, pues en Puerto Gaitán opera Campo Rubiales, uno de los territorios de explotación petrolera más importantes de Colombia. La tercera corriente estuvo asociada a la siembra de cultivos ilícitos como marihuana y coca produciendo una migración de personas provenientes de todo el país trasladando conflictos externos en términos ideológicos y económicos sobre el uso y tenencia de la tierra.

Bajo estas circunstancias, se da origen a la creación de las FARC, así como a respuestas estatales e ilegales que buscaban contrarrestar su acción y dominio en la región. La presencia de las FARC, desde la década de los sesenta, crea un desarrollo económico ilícito, a partir del cultivo de coca, tráfico de armas y drogas.

En el año 1982, la sede del secretariado de las FARC se ubica en el municipio de Uribe donde ocurre la firma de un acuerdo que fracasó; desde ese momento, Meta ha tenido que sufrir el hostigamiento de diversos grupos paramilitares, de narcotraficantes y del asentamiento de los frentes 7, 27 y 40 de las FARC; así mismo, en los años 1991-1992 ocurrieron intentos de negociación los cuales no fueron exitosos. Para los años 1998-2002 se establece la zona de distensión que incluyó 4 municipios; Uribe, Mesetas, La Macarena y Vistahermosa contribuyendo al fortalecimiento de las FARC atacando poblaciones aledañas como Puerto Lleras y Puerto Rico.

En los años 2002-2006 se intensifica el conflicto armado por la confrontación entre la guerrilla, los paramilitares y las fuerzas estatales. Según el informe 'Diagnóstico Departamental del Meta' de la Agencia de la ONU para los Refugiados (ACNUR), entre 2003 y 2006, este departamento registró una tasa promedio de 90 homicidios por cada cien mil habitantes; ocupando el segundo lugar a nivel nacional, después de Arauca. Los pobladores de esta zona afrontaron, durante décadas, el desplazamiento, la desaparición forzada, el secuestro, entre otros hechos victimizantes; posteriormente se realizan operaciones militares cerrando el cerco de seguridad a los máximos comandantes de las FARC, eliminando comandantes como "El Mono Jojoy", "Raúl Reyes" y Alfonso Cano".
(*Secretaría de Víctimas, derechos humanos y Paz - Gobernación del Meta, 2016*)

El 24 de noviembre de 2016, en el Teatro Colón de Bogotá, el presidente Juan Manuel Santos y el máximo jefe de las Farc, Rodrigo Londoño, firmaron el Acuerdo Final que daría

por terminada la confrontación entre este grupo armado y el Gobierno Nacional, luego de más de 50 años; una de las zonas veredales transitorias de normalización, pactadas en los acuerdos, está ubicada justamente en el municipio de Mesetas, en la vereda La Guajira Buenavista, a la que llegaron, en febrero de 2017, 463 hombres y mujeres pertenecientes al Bloque Oriental, que operaba en esta región.

8.12. Vías de Comunicación

Aéreas: No cuenta con comunicación aérea

Terrestres: El municipio está comunicado vía terrestre por la carretera que de Villavicencio conduce a Granada, con una extensión de 85 Kilómetros y de allí al punto La Y, en un tramo de 25 Kilómetros de carretera de primer orden. De este punto a la cabecera municipal hay una distancia de 28 kilómetros en vía carretable de tercer orden; con un puente sobre el río Güejar en buenas condiciones.

De la cabecera municipal parte una vía de tercer orden que comunica a Mesetas con La Uribe y las inspecciones de Puerto Nariño y La Julia en un tramo de unos 85 Kilómetros entre Mesetas y La Uribe, y 30 kilómetros entre La Uribe, La Julia y Puerto Nariño.

Actualmente el municipio cuenta con un sistema vial conformado por carreteras de carácter: Nacional, Regional, Urbano.

Por el municipio Cruza la vía Nacional 65A-02, la cual empieza en la Uribe (K0+000) al punto Ye en Granada (109+0800), la cabecera se encuentra a la altura del Kilómetro 56.

8.13. Servicios Públicos Domiciliarios

Los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de Mesetas, son prestados por la Empresa de Servicios Públicos de Mesetas – AGUAS DE MESETAS.

8.13.1. Acueducto.

El acueducto de Mesetas presta el servicio en el municipio; según el PSMV del año 2018, se reportó una cobertura del 66% en el servicio de acueducto para el año 2015, mientras que para el año 2018 se reportó una cobertura del 100%.

El municipio se abastece de una fuente superficial que se encuentra en uso permanente

durante todo el año, esta fuente de captación es la quebrada Agua Linda, la cual pertenece a la cuenca del río Güejar y se encuentra protegida por coberturas de bosque secundario y rastrojo alto en la zona de captación, además de plantaciones forestales establecidas por compensación del permiso de concesión de agua superficial; esta fuente es utilizada para uso doméstico y provee un caudal de 12 L/s, según la ficha ambiental de Cormacarena.

De acuerdo con la certificación de la empresa de servicios públicos para marzo del 2022 se cuenta con 1.748 suscriptores de acueducto

8.13.2. Alcantarillado.

La alcaldía de Mesetas es la encargada en operar la prestación del servicio de alcantarillado en el municipio, este alcantarillado sanitario fue construido en el año 1980 en tubería de Gres con diámetros de 6" a 12" y posteriormente ha tenido optimizaciones y ampliaciones en material Gres y PVC.

El sistema de alcantarillado sanitario es de tipo convencional, fue construido exclusivamente para recolectar y transportar las aguas residuales del casco urbano; no obstante, según el ajuste del PSMV del año 2018, se identificó que el barrio nuevo María Camila presenta conexiones de aguas lluvias a la red sanitaria; los tramos del emisario final que descarga las aguas residuales, realizan este vertimiento directo al río Güejar sin realizar un tratamiento previo; cabe resaltar que este sistema de alcantarillado dispone de un solo punto de vertimiento. Según reporte de la empresa de servicios públicos de Mesetas, actualmente se cuenta con 1.713 suscriptores al servicio de alcantarillado.

Así mismo, el municipio de Mesetas cuenta con un alcantarillado pluvial y dispone de cinco descargas sobre el río Lucía y una sobre el caño Santa Bárbara, este alcantarillado inició su construcción en el año 2009 y posteriormente tuvo reformas en los años 2011, 2013 y 2015.

Actualmente el municipio cuenta con la aprobación del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento – PSMV para el año 2010 y posteriormente se ajusta para el año 2018.

De acuerdo con la certificación de la empresa de servicios públicos para marzo del 2022 se cuenta con 1.726 suscriptores de alcantarillado

8.13.3. Aseo

La cobertura de servicio de aseo es del 100% y se presta en el casco urbano y en los centros poblados cercanos del municipio. El servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos del municipio de Mesetas lo presta la Administración local mediante el empleo de una volqueta de seis metros cúbicos de capacidad, que recorre el casco urbano dos veces por semana, realizando 4 viajes para transportar los residuos orgánicos y 6 para el transporte de los inorgánicos de lunes a viernes (PSMV, 2018). quien realiza la disposición final de los residuos sólidos generados en el municipio en el relleno sanitario La Guaratara ubicado en el municipio de Granada.

8.13.4. Energía eléctrica

El casco urbano de Mesetas está interconectado eléctricamente con el resto del país y tiene una cobertura urbana del 100%; con el inconveniente de presentar baja tensión, problema que representa una limitante del desarrollo de industrias.

8.13.5. Gas Natural

Algunos de los habitantes de la cabecera urbana municipal, cuentan con instalación de redes de gas natural para satisfacer la demanda energética doméstica, generalmente la de preparación de los alimentos. El resto de la población, al carecer de redes para satisfacer esta necesidad, recurren a la compra de los cilindros en los camiones repartidores que provienen de los municipios de Villavicencio y Granada (PSMV, 2018).

8.13.6. Telecomunicaciones

La cabecera urbana municipal cuenta con los servicios de radioteléfono y teléfono, manejados a través de SAI, tenderos y empresas privadas, también Internet por antena, telefonía celular con cobertura del 100% del casco urbano para comunicaciones por voz, mensajes de texto y navegación por datos móviles (PSMV, 2018).

9. Parámetros de Diseño PTARM Mesetas

De acuerdo con la resolución 330 y 799 se determinan los parámetros de diseño para realizar los dimensionamientos de las diferentes alternativas y el diseño final de la alternativa seleccionada.

9.1. Período de Diseño

De acuerdo con el artículo 40 de la resolución 330, el período de diseño debe ser de 25 años para todos los componentes del sistema de acueducto, alcantarillado y aseo.

En este trabajo se adopta un período adicional de 2 años que cubre el tiempo requerido para llevar a cabo las actividades de diseño definitivo e ingeniería de detalle para que el municipio de inicio a las obras. El periodo de diseño total de las obras será de 27 años, año de horizonte 2.049.

9.2. Población

En cumplimiento de la resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, artículo 8 Numeral 2, se adopta como línea base la información suministrada por el DANE durante los censos de 1985, 1993, 2005 y 2018, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.

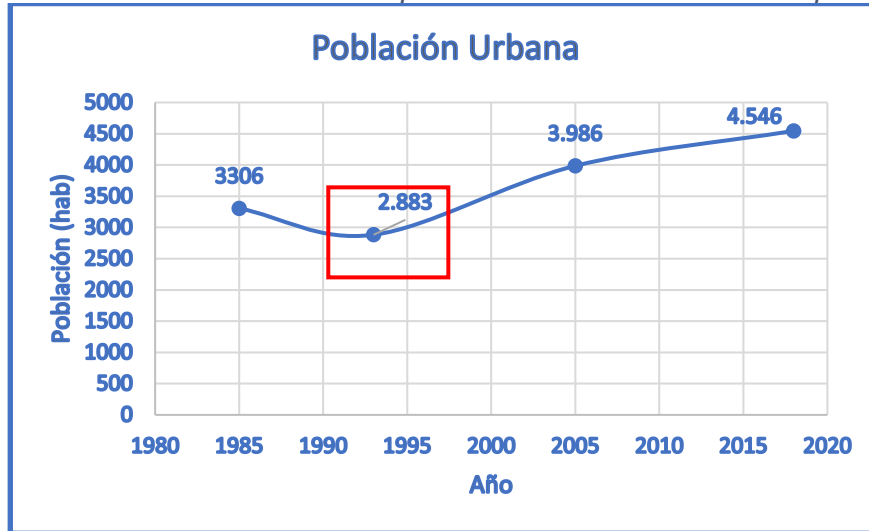
Tabla 3. Población para el casco urbano municipio de Mesetas.

AÑO	ΔT	POBLACIÓN CENSOS DANE		
	Años	URBANA	RURAL	TOTAL
1985	12	3.306	14.368	17.674
1993	20	2.883	8.675	11.558
2005	32	3.986	6.484	10.470
2018	45	4.546	6.613	11.159

Fuente: DANE

Como se observa en la Tabla 2, entre 1.985 y 1.993, existe un decrecimiento poblacional de 6.116 habitantes en todo el municipio de Mesetas; de los cuales, 423 habitantes corresponden al casco urbano y 5.693 habitantes corresponden a la zona rural; probablemente debido al conflicto armado interno de Colombia.

Grafica 1. Población intercensal DANE para el casco urbano del municipio de Mesetas



El crecimiento de población del municipio de Mesetas es de aproximadamente 400 habitantes por cada censo realizado; no obstante, se realizan las proyecciones de población por otros modelos matemáticos.

9.2.1. Tendencia actual de crecimiento

La resolución 0330 de 2017, no hace referencia a métodos específicos de proyección de población; por ello, es necesario recurrir al RAS 2017, en el cual se recomienda calcular la población utilizando cualquiera de los siguientes modelos matemáticos: aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población.

A continuación, se determinan las tasas de crecimiento mediante los métodos matemáticos establecidos por el RAS 2000, con los censos realizados por el DANE para los años 2005 y 2018, en que hubo tasa de crecimiento positiva de población.

➤ **Método Aritmético:**

Corresponde a un crecimiento lineal de la forma $Y=mx + b$, para cuya definición se cita textualmente lo expuesto en el RAS.

El método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

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

Donde:

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.

Aplicando el método aritmético, se obtiene una tasa de crecimiento correspondiente a **43** habitantes por año. En el *anexo 1* se encuentran las memorias de cálculo de proyección de poblaciones.

$$m = \frac{P_{UC} - P_{CI}}{T_{UC} - T_{CI}} = \frac{4.546 - 3.986}{2018 - 2005} = 43 \text{ hab/año}$$

➤ **Método Geométrico:**

Este método corresponde a una curva potencial de la forma $Y = a^x$ donde (a) corresponde a un factor que trae intrínseco la tasa de crecimiento poblacional. En el *anexo 1* se encuentran las memorias de cálculo de proyección de poblaciones.

El método geométrico es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

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

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

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_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

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

$$r = \left(\frac{4.546}{3.986}\right)^{\frac{1}{(2018-2005)}} - 1$$

$$r = 0,010 * 100 = 1.02 \%$$

Según el método geométrico, la tasa de crecimiento del municipio de Mesetas corresponde a un 1.02 %.

➤ **Método Exponencial:**

Este método corresponde a una curva exponencial de la forma $Y=a*e^{K*x}$ donde (K) representa la tasa de crecimiento poblacional. En el *anexo 1* se encuentran las memorias de cálculo de proyección de poblaciones.

El método exponencial requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la proyección del DANE. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada para este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} * e^{Kx(T_f-T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

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

Donde:

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.

Teniendo los censos poblacionales a partir del año 1.973, se realizan los cálculos respectivos para cada año; cabe resaltar que el año 1993 no se tiene en cuenta, toda vez que presenta un decrecimiento en la población.

$$k_1 = \frac{\ln(2.883 \text{ Hab}) - \ln(3.306 \text{ Hab})}{1993 - 1985} = -0.017$$

$$k_2 = \frac{\ln(3.986 \text{ Hab}) - \ln(2.883 \text{ Hab})}{2005 - 1993} = 0,027$$

$$k_3 = \frac{\ln(4.546 \text{ Hab}) - \ln(3.986 \text{ Hab})}{2018 - 2005} = 0,01$$

La Tabla 4 presenta la tasa de crecimiento promedio, a partir de los cálculos previamente hallados.

Tabla 4. Promedio tasas de crecimiento K

Tasa crecimiento K	
K1	-0,017
K2	0,027
K3	0,010
PROMEDIO	0,007

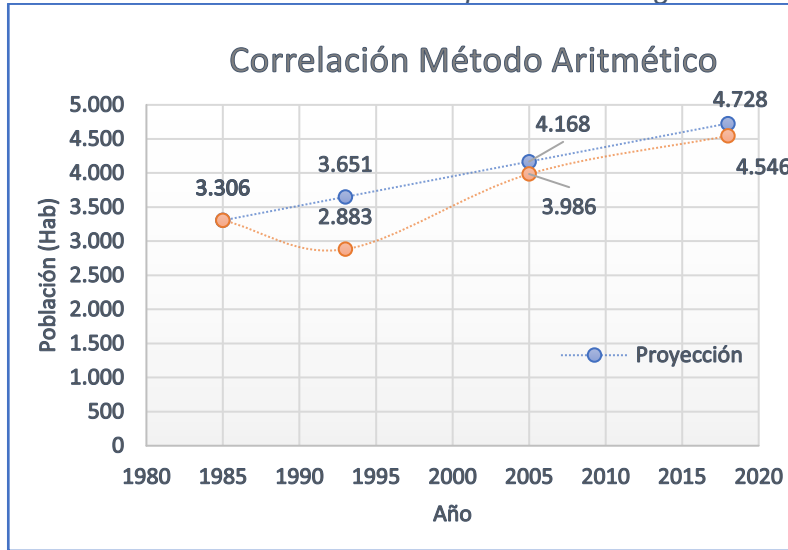
De acuerdo con lo anterior, se obtiene que el municipio de Mesetas cuenta con una tasa de crecimiento promedio de 0,007, correspondiente a 0,67% anual.

9.3. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

No existe un criterio claro para la selección del método de crecimiento de la población, sin embargo, se evalúa a partir de las correlaciones desarrolladas por cada método de proyección.

Inicialmente se proyecta la gráfica de correlación por el método aritmético, tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

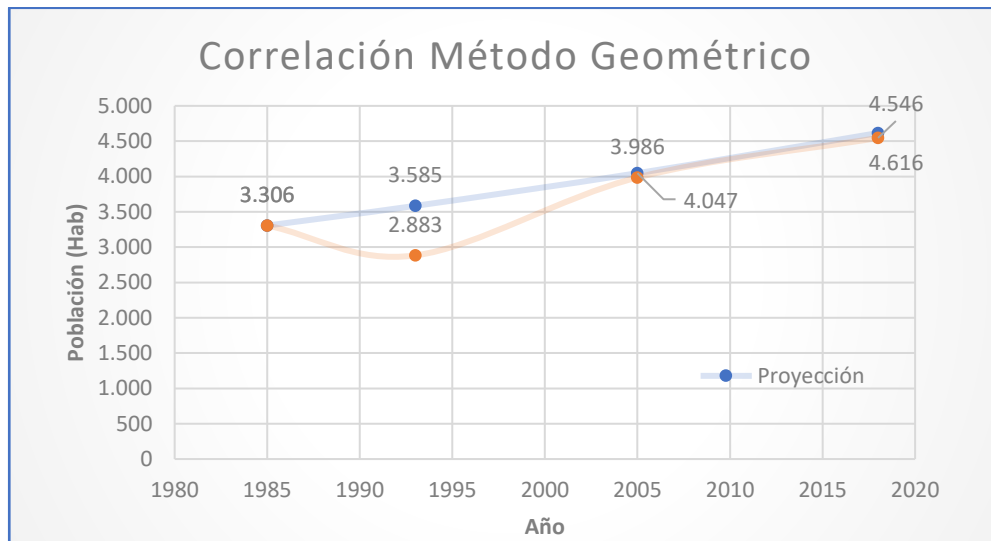
Grafica 2 Correlación de Población por el método geométrico,



La correlación existente entre los valores obtenidos por el DANE y los adoptados por el cálculo de la población, presentan un $R^2 = 0,79$

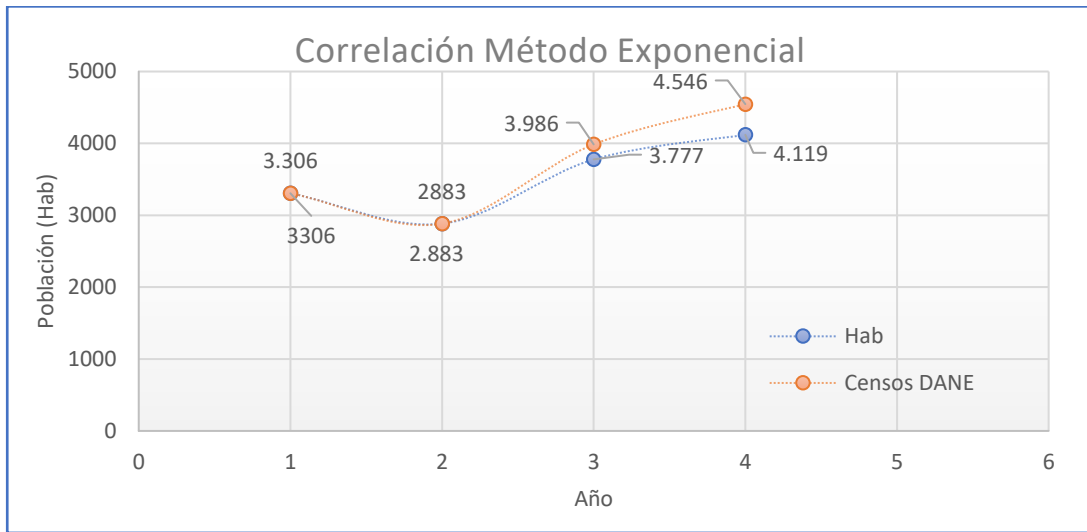
En la Grafica 3 se proyecta la correlación de población por el método geométrico, dando como resultado un R^2 igual a 0,81.

Grafica 3. Correlación de población por el método geométrico.



Finalmente, en la Grafica 4 se hace la correlación de la población proyectada con la intercensal DANE por el método exponencial, mostrando un R^2 equivalente a 0,99.

Grafica 4 Correlación de población por el método exponencial



Si bien es cierto que en las correlaciones el valor de R^2 que esté más cercano a 1 será el mejor ajuste de la proyección; se selecciona la tasa de crecimiento por el método geométrico ya que este método representa el promedio de las correlaciones y tiene en cuenta los últimos censos, sin que exista un valor sobredimensionado ni tampoco muy crítico en términos de crecimiento poblacional bajo.

9.3.1. Proyección por censos DANE

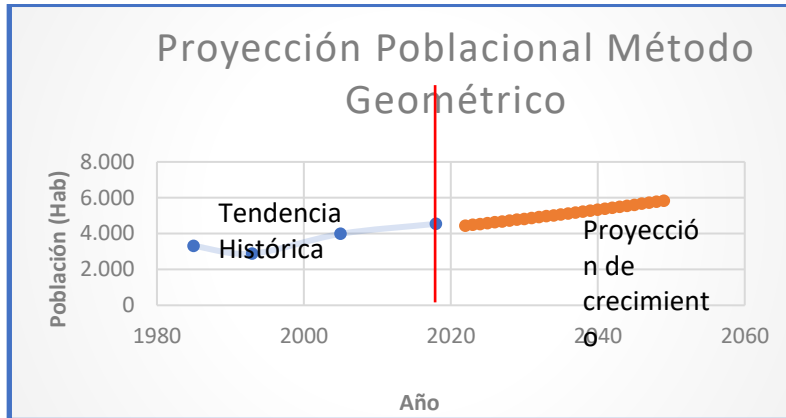
En la *Tabla 5* se presenta la proyección poblacional del municipio de Mesetas con un período de diseño de 25 años, más el período adicional de 2 años que cubre el tiempo requerido para llevar a cabo las actividades de diseño, proceso licitatorio, adjudicación e inicio de las obras. Se obtiene una población de diseño de **5.831** habitantes para el año 2.049, periodo de diseño total de las obras de 27 años.

Tabla 5. Proyección poblacional método geométrico

Año	Período de diseño	Población
2022	0	4.438
2023	1	4.483
2024	2	4.529
2025	3	4.575
2026	4	4.621
2027	5	4.668
2028	6	4.716
2029	7	4.764
2030	8	4.812
2031	9	4.861
2032	10	4.910
2033	11	4.960
2034	12	5.011
2035	13	5.062
2036	14	5.113
2037	15	5.165
2038	16	5.217
2039	17	5.270
2040	18	5.324
2041	19	5.378
2042	20	5.433
2043	21	5.488
2044	22	5.544
2045	23	5.600
2046	24	5.657
2047	25	5.715
2048	26	5.773
2049	27	5.831

En la Grafica 5 se presenta la proyección del crecimiento poblacional que se espera tener en el municipio de Mesetas, así como también la tendencia histórica que ha presentado con base en los datos censales obtenidos por el DANE.

Grafica 5 Proyección crecimiento poblacional método geométrico



9.3.2. Proyección poblacional a partir del total de viviendas

$$\text{Promedio habitacional} = \frac{\text{Total habitantes 2018}}{\text{Total viviendas 2018}}$$

$$\text{Promedio habitacional} = \frac{11.159 \text{ hab}}{3.404 \text{ hab}} = 3.3 \text{ hab/vivienda}$$

La Tabla 6 representa el resumen del promedio habitacional según las estadísticas del DANE en el año 2018.

Tabla 6. Tabla resumen del promedio habitacional.

Estadísticas DANE 2018	
Total, Habitantes 2018	11.159
Total, Viviendas 2018	3.404
Habitantes por Vivienda 2018	3,3

Fuente. DANE, modificado por el autor

Teniendo en cuenta que para este año el número de suscriptores de alcantarillado es de 1.713, se obtiene un resultado de 5.616 habitantes para el año de 2022. (Tabla 6).

Tabla 7. Suscriptores de alcantarillado

Suscriptores Alcantarillado	No Habitantes por vivienda	Total, habitantes
1.713	3,3	5.616

Fuente. Empresa de Servicios Públicos de Mesetas

Una vez se tiene el dato inicial de población que corresponde a los suscriptores inscritos en el mes de enero del año 2022 (Tabla 6), se procede a realizar la proyección poblacional aplicando la tasa de crecimiento del método geométrico e incluida en la tabla 7. se encuentran las memorias de cálculo de proyección de poblaciones.

Tabla 8. Proyección poblacional por suscriptores, método geométrico.

Proyección Poblacional Método Geométrico	
Año	Población Proyectada
2022	5616
2023	5673
2024	5730
2025	5789
2026	5847
2027	5907
2028	5967
2029	6027
2030	6089
2031	6151
2032	6213
2033	6276
2034	6340
2035	6404
2036	6470
2037	6535
2038	6602
2039	6669
2040	6737
2041	6805
2042	6874
2043	6944
2044	7015
2045	7086
2046	7158
2047	7231
2048	7304
2049	7379

Según la proyección de población a partir de suscriptores se tiene que para el año 2.049 habrá 7.379 habitantes.

9.3.3. Población proyectada por el PSMV

El PSMV del año 2018, determina una proyección poblacional a partir del promedio de los

métodos utilizados, contemplando como año cero el 2020 y el periodo de diseño el año 2045. La población proyectada y flotante que ellos contemplan se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Población proyectada por el PSMV

AÑO		ARITMETICO	EXPONENCIAL	GEOMETRICO	PROMEDIO	P FLOTANTE	TOTAL
0	2020	3983	3994	3940	3972	199	4182
1	2021	4074	4095	3984	4051	204	4278
2	2022	4165	4199	4028	4131	208	4374
3	2023	4257	4305	4073	4212	213	4470
4	2024	4348	4414	4119	4294	217	4565
5	2025	4439	4525	4165	4376	222	4661
6	2026	4531	4639	4212	4461	227	4757
7	2027	4622	4756	4259	4546	231	4853
8	2028	4713	4877	4307	4632	236	4949
9	2029	4805	5000	4355	4720	240	5045
10	2030	4896	5126	4404	4809	245	5141
11	2031	4987	5256	4453	4899	249	5237
12	2032	5079	5388	4503	4990	254	5333
13	2033	5170	5524	4553	5083	259	5429
14	2034	5261	5664	4604	5176	263	5524
15	2035	5353	5807	4656	5272	268	5620
16	2036	5444	5954	4708	5369	272	5716
17	2037	5535	6104	4760	5467	277	5812
18	2038	5627	6258	4814	5566	281	5908
19	2039	5718	6416	4868	5667	286	6004
20	2040	5809	6578	4922	5770	290	6100
21	2041	5901	6745	4977	5874	295	6196
22	2042	5992	6915	5033	5980	300	6292
23	2043	6083	7090	5089	6087	304	6387
24	2044	6175	7269	5146	6197	309	6483
25	2045	6266	7452	5204	6307	313	6579

9.4. Dotación Neta.

Acorde con el artículo 43 de la resolución 0330, la dotación adoptada no podrá ser superior a 140 L/hab/día para poblaciones cuya altura sobre el nivel del mar sea inferior a 1.000 m.s.n.m; como se mencionó previamente, el municipio de Mesetas tiene una altura de **827** m.s.n.m.

9.5. Caudales de Diseño

Para el dimensionamiento del diseño hidráulico de un sistema de tratamiento de agua residual doméstica, se deben tener en cuenta los caudales contemplados en la tabla 22 de la sección 1. Consideraciones técnicas generales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales que establece la resolución 0330 de 2017.

Tabla 10. Caudales de Diseño para PTAR con caudales superiores a 30 L/s.

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	Caudal de referencia Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos Sistemas lagunares
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados	Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de gras y sedimentadores primarios y secundarios) Desarrollo de estrategias operativas Conductores de interconexión de unidades de proceso
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día identificado en los registros estudiados	Dimensionamiento de tanques de regulación Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos Dimensionamiento de dosificación química
Caudal máximo mensual	Máximo volumen en un mes, identificado en los registros estudiados	Dimensionamiento de Biorreactores Dimensionamiento del almacenamiento de químicos.

Fuente. Resolución 0799 de 2021

Para el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales deberán utilizarse datos históricos de factores máximos del área de influencia del proyecto, de plantas de tratamiento de aguas residuales similares en tamaño y condiciones, o en su defecto, emplear los siguientes factores pico.

Tabla 11. Factores pico para caudales de Tratamiento de aguas residuales

Rango de caudales medios (L/s)	Factor máximo horario	Factor máximo diario	Factor máximo mensual
0-10	4	3	1.7
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 90 L/s se interpolan linealmente			
90	2.9	2.1	1.5
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 90 l/s y 700 L/s se interpolan linealmente.			
Mayor 700	2	1.5	1.2

Fuente. Adoptado Resolución 0799 de 2021

Únicamente el caudal medio de diseño en Tiempo Seco, según lo definido en el numeral tercero del artículo 134 de esta resolución, será afectado por el factor pico definido en la tabla anterior, más un caudal de infiltración, el cual se debe estimar de acuerdo con lo establecido en el numeral 6 del artículo en cita.”

A continuación, se hallarán los caudales de diseño con base a la población proyectada a partir de los datos intercensales obtenidos por el DANE y de igual forma, según los suscriptores que se encuentran en la base de datos de la empresa prestadora del servicio público de alcantarillado para el mes de enero del año 2022

9.6. Población Flotante

Teniendo en cuenta que el municipio de Mesetas es conocido por la gran variedad de actividades turísticas paisajísticas, naturales y de aventura, en los últimos años ha tenido bastante acogida por diferentes turistas que viajan hasta allí para vivir estas experiencias, se ha visto un incremento de población flotante, especialmente para fines de semana, festivos y vacaciones, donde la población migratoria supera la población del municipio; por esta razón, se contempla un aumento de población flotante del 15%.

$$P_{flot.} = P * 0.15$$

La Tabla 12 muestra la población flotante de ambas proyecciones. En el *anexo 2* se encuentran las memorias de cálculo de los caudales para el período de diseño.

Tabla 12. Población flotante con proyecciones DANE y Suscriptores

Año	Proyección Geométrica DANE	Población flotante proyección DANE	Proyección Geométrica Suscriptores	Población flotante con Suscriptores
2022	4.438	5.104	5616	6.458
2023	4.483	5.156	5673	6.524
2024	4.529	5.208	5730	6.590
2025	4.575	5.261	5789	6.657
2026	4.621	5.314	5847	6.724
2027	4.668	5.368	5907	6.793
2028	4.716	5.423	5967	6.862
2029	4.764	5.478	6027	6.932
2030	4.812	5.534	6089	7.002
2031	4.861	5.590	6151	7.073
2032	4.910	5.647	6213	7.145
2033	4.960	5.704	6276	7.218
2034	5.011	5.762	6340	7.291
2035	5.062	5.821	6404	7.365
2036	5.113	5.880	6470	7.440
2037	5.165	5.940	6535	7.516
2038	5.217	6.000	6602	7.592
2039	5.270	6.061	6669	7.669
2040	5.324	6.123	6737	7.747
2041	5.378	6.185	6805	7.826
2042	5.433	6.248	6874	7.905
2043	5.488	6.311	6944	7.986
2044	5.544	6.375	7015	8.067
2045	5.600	6.440	7086	8.149
2046	5.657	6.506	7158	8.232
2047	5.715	6.572	7231	8.315
2048	5.773	6.638	7304	8.400
2049	5.831	6.706	7379	8.485

Así las cosas, la población final proyectada para el año 2.049 es de **6.706** habitantes para los datos censales del DANE y **8,485** habitantes para la proyección con suscriptores.

9.7. Caudal de Agua Residual (Q_{AR})

Este caudal de agua residual, también conocido como caudal medio de tiempo seco, se

calcula como se define en el *artículo 134* de la resolución 0330.

$$Q_{AR} = \frac{D_{neta} * Población * CR}{86.400} = \frac{140 \frac{L}{hab} \cdot día * 8,485 \text{ hab} * 0.85}{86.400 \text{ s/día}} = 11,69 \text{ L/s}$$

El caudal de agua residual o de tiempo seco proyectado al año 2.049 con los suscriptores, corresponde a 11,69 L/s

9.8. Caudal De Infiltración (Q_{INF})

El caudal de infiltración se calcula con base en un factor de 0,1 L/s ha, aplicado al área de aferencia de infiltración del alcantarillado.

Con base en el artículo 166 de la resolución 0330 del 2017, el área de infiltración corresponde al área de aferencia de infiltración del alcantarillado; la consultoría toma el 30% del área de la cabecera que es de 73,46 Ha según POT, es decir 22 Ha como área de infiltración.

$$Q_{inf} = A_{inf} * 0,1 \frac{L}{s} ha$$

$$Q_{inf} = 23 \text{ ha} * 0,1 \frac{L}{s} ha = 2,31 \text{ L/s}$$

El caudal de infiltración proyectado al año 2.049 será de 2,31 L/s.

9.9. Caudal Medio Diario (QMD)

El caudal medio diario es igual al valor obtenido de caudal de agua residual o de tiempo seco más el caudal de infiltración.

$$Q_{md} = Q_{AR} + Q_{inf}$$

Los Qmd se presentan en la Tabla 13, para el año 2.049.

Tabla 13. Qmd proyectados al año 2049 por suscriptores

AÑO 2049	Q _{AR} (L/s)	Q _{INF} (L/s)	Qmd (L/s)
Proyección suscriptores	11,69	2.31	14,00

9.10. Caudal Máximo Horario (QMH)

El caudal máximo horario se obtiene a partir del caudal de agua residual con el factor de mayoración de máximo horario interpolado, más el caudal de infiltración.

$$Q_{MH} = (Q_{AR} * K_{QMH}) + Q_{INF}$$

Los QMH que se presentan en la Tabla 14, corresponden a la proyección del año 2.049.

Tabla 14. QMH proyectado al año 2049 por suscriptores

AÑO 2049	Q _{AR} (l/s)	K _{QMH} (l/s)	Q _{INF} (l/s)	QMH (l/s)
Proyección suscriptores	11,69	3.83	2.31	47,08

9.11. Caudal Máximo Diario (QMD)

El caudal máximo diario se obtiene a partir del caudal de agua residual con el factor de mayoración de máximo diario interpolado, más el caudal de infiltración.

$$Q_{MD} = (Q_{AR} * K_{QMD}) + Q_{INF}$$

Los QMD que se presentan en la Tabla 15, corresponden a la proyección del año 2.049.

Tabla 15. QMD proyectado al año 2049 por censos DANE y suscriptores

AÑO 2049	Q _{AR} (L/s)	K _{QMD} (L/s)	Q _{INF} (L/s)	QMD (L/s)
Proyección suscriptores	11,69	2.86	2.31	35,74

9.12. Caudal Máximo Mensual (QMM)

El caudal máximo mensual se obtiene a partir del caudal de agua residual con el factor de mayoración de máximo mensual interpolado, más el caudal de infiltración.

$$Q_{MM} = (Q_{AR} * K_{QMM}) + Q_{INF}$$

Los QMM que se presentan en la Tabla 16, corresponden a la proyección del año 2.049.

Tabla 16. QMM proyectado al año 2049 por censos DANE y suscriptores

AÑO 2049	Q_{AR} (l/s)	K_{QMM} (l/s)	Q_{INF} (l/s)	QMM (l/s)
Proyección suscriptores	11,69	1.67	2.31	21,83

Ahora bien, con la entrada en vigencia de la resolución 799 del 9 de diciembre del año 2021, el artículo 166, caudal de diseño, realiza una modificación de la resolución 0330, mencionando que, ***“los procesos y unidades de plantas de tratamiento de aguas residuales, excepto sistemas lagunares, para localidades con caudales de diseño iguales o menores a 30 L/s, se proyectarán con un caudal de tres (3) veces el caudal medio correspondiente al valor de tiempo seco.”***

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el caudal de diseño tanto para las proyecciones DANE como de suscriptores no supera los 30 L/s, lo que hace aplicable este artículo de la norma; por lo tanto, el Caudal máximo mensual (QMM) corresponde a los valores que se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17. QMM resolución 799 de 2021 proyecciones DANE y suscriptores

AÑO 2049	Q_{AR} (L/s)	QMM (L/s)
Proyección Censos DANE	9.24	27.72
Proyección suscriptores	11,69	35,07

En la Tabla 18 presentan los caudales de diseño anuales proyectados al período de diseño que corresponde al año 2049, a partir de suscriptores y tasas de crecimiento del DANE

Tabla 18 Población y caudales de diseños año por año

Caudal de Diseño														
Año	P Geo Mesetas	P Flo (15%)	P Total	Q tiem seco (L/s)	Área Inf. (Ha)	Q Inf. (L/s)	Qmd Total (L/s)	K TABLA 23 RES 0330			CAUDALES DE DISEÑO			RES 799-21
								QMH	QMD	QMM	QMH (L/s)	QMD (L/s)	QMM (L/s)	QMM (L/s)
2022	5616	842	6.458	8,89	22	2,20	11,09	3,86	2,89	1,68	36,52	27,89	17,14	26,67
2023	5673	851	6.524	8,99	22	2,20	11,19	3,86	2,89	1,68	36,90	28,18	17,3	26,97
2024	5730	860	6.590	9,08	22	2,20	11,28	3,86	2,89	1,67	37,25	28,44	17,36	27,24
2025	5789	868	6.657	9,17	22	2,20	11,37	3,86	2,89	1,67	37,60	28,7	17,51	27,51
2026	5847	877	6.724	9,26	22	2,20	11,46	3,86	2,89	1,67	37,94	28,96	17,66	27,78
2027	5907	886	6.793	9,36	22	2,20	11,56	3,86	2,88	1,67	38,33	29,16	17,83	28,08
2028	5967	895	6.862	9,45	22	2,20	11,65	3,86	2,88	1,67	38,68	29,42	17,98	28,35
2029	6027	904	6.932	9,55	22	2,20	11,75	3,86	2,88	1,67	39,06	29,7	18,15	28,65
2030	6089	913	7.002	9,64	22	2,20	11,84	3,86	2,88	1,67	39,41	29,96	18,3	28,92
2031	6151	923	7.073	9,74	22	2,20	11,94	3,85	2,88	1,67	39,70	30,25	18,47	29,22
2032	6213	932	7.145	9,84	22	2,20	12,04	3,85	2,88	1,67	40,08	30,54	18,63	29,52
2033	6276	941	7.218	, 994	23	2,31	12,25	3,85	2,88	1,67	40,58	30,94	18,91	29,82
2034	6340	951	7.291	10,04	23	2,31	12,35	3,85	2,88	1,67	40,96	31,23	19,08	30,12
2035	6404	961	7.365	10,14	23	2,31	12,45	3,85	2,88	1,67	41,35	31,51	19,24	30,42
2036	6470	970	7.440	10,25	23	2,31	12,56	3,85	2,87	1,67	41,77	31,73	19,43	30,75
2037	6535	980	7.516	10,35	23	2,31	12,66	3,85	2,87	1,67	42,16	32,01	19,59	31,05
2038	6602	990	7.592	10,46	23	2,31	12,77	3,84	2,87	1,67	42,48	32,33	19,78	31,38
2039	6669	1.000	7.669	10,56	23	2,31	12,87	3,84	2,87	1,67	42,86	32,62	19,95	31,68
2040	6737	1.010	7.747	10,67	23	2,31	12,98	3,84	2,87	1,67	43,28	32,93	20,13	32,01
2041	6805	1.021	7.826	10,78	23	2,31	13,09	3,84	2,87	1,67	43,71	33,25	20,31	32,34
2042	6874	1.031	7.905	10,89	23	2,31	13,20	3,84	2,87	1,67	44,13	33,56	20,5	32,67
2043	6944	1.042	7.986	11,00	23	2,31	13,31	3,84	2,87	1,67	44,55	33,88	20,68	33,00
2044	7015	1.052	8.067	11,11	23	2,31	13,42	3,84	2,87	1,67	44,97	34,2	20,86	33,33
2045	7086	1.063	8.149	11,22	23	2,31	13,53	3,83	2,86	1,67	45,28	34,4	21,05	33,66
2046	7158	1.074	8.232	11,34	23	2,31	13,65	3,83	2,86	1,67	45,74	34,74	21,25	34,02
2047	7231	1.085	8.315	11,45	23	2,31	13,76	3,83	2,86	1,67	46,16	35,06	21,43	34,35
2048	7304	1.096	8.400	11,57	23	2,31	13,88	3,83	2,86	1,67	46,62	35,4	21,63	34,71
2049	7379	1.107	8.485	11,69	23	2,31	14,00	3,83	2,86	1,67	47,08	35,74	21,83	35,07

10. Constituyentes de Entrada y Salida a la PTAR

Para determinar las características del afluente y del efluente se tomó el histórico de caracterizaciones que han sido realizadas en el vertimiento sobre el río Guejar. Para los parámetros de salida de la PTAR se tendrán en cuenta los establecido en la resolución 631 y los objetivos de calidad dados por CORMACARENA tomando los más exigentes.

10.1. Constituyentes de Entrada

Para la caracterización del agua del vertimiento se tomó la información de caracterizaciones de la muestra compuesta tomada en el año 2018 por el laboratorio certificado contratado por el PSMV y la caracterización realizada por la empresa de servicios públicos. En la Tabla 19 se presentan los constituyentes del vertimiento actual.

Tabla 19. Constituyentes a la Entrada de la PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	PGRMV abril 2016	PSMV marzo 2018	Tecno ambiental 2022	Promedio	Máximos	Mínimos
DBO	mg O ₂ / L	127	284	288,00	233,00	288	127
DQO	mg O ₂ / L	202	536	798,00	512,00	798	202
FÓSFORO TOTAL	mg P / L		2,48	7,80	5,14	7,8	2,48
GRASAS Y ACEITES	mg / L	16,8	57,0	5,92	26,57	57	5,92
HIDROCARBUROS TOTALES	mg / L		3,5	9,00	6,25	9	3,5
NITRATOS	mg N-NO ₃ / L	0,4	1,1	<0,5	0,75	1,1	0,4
NITRITOS	mg N-NO ₂ / L	< 0,02	< 0,02	<0,2	0,00	0	0
NITRÓGENO AMONICAL	mg N-NH ₃ / L	2,4	9,5	18,00	9,97	18	2,4
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	mg N / L		24	40,00	32,00	40	24
ORTOFOSFATOS	mg P - PO ₄ / L		3,86	3,65	3,76	3,86	3,65
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	m L / L		3,5	4,00	3,75	4	3,5
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg / L	99	119,0	104,00	107,33	119	99
TENSOACTIVOS	mg / L		4,4	4,80	4,60	4,8	4,4
TEMPERATURA	°C	25,5		26,50	26,00	26,5	25,5
COLIFORMES FECALES	NPM / 100 mL	241960	14800000		7.520.980	14800000	241960
COLIFORMES TOTALES	NMP / 100 mL	241960	68900000		34.570.980	68900000	241960

Si se comparan los parámetros del cuadro anterior con los de Metcalf & Eddy (*Tabla 20*), el afluente corresponde a un agua residual media con tendencia a un agua residual fuerte,

Tabla 20. Constituyentes típicos de Agua Residual Doméstica

Contaminantes	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales	mg/L	350	720	1200
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos En Suspensión	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos Sedimentables	mL/L	5	10	20
DBO	mg/L	110	220	400
Carbono Orgánico Total	mg/L	80	160	290
Demanda Química De Oxígeno	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno Total	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoniaco Libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo Total	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfato	mg/L	20	30	50
Alcalinidad	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150

Fuente. Metcalf & Eddie, Ingeniería de Aguas Residuales

Como constituyentes de entrada a la PTAR se tomarán los máximos ya que estos son los que se presentan en épocas de verano, porque hay pocos caudales de infiltración y la fuente receptora tiene los caudales mínimos, ocasionando el escenario más crítico en la contaminación al río Guejar

10.2. Constituyentes de Salida y Cumplimiento de Norma de Vertimiento Resolución 0631 De 2015.

La norma de vertimiento depende de la carga orgánica.

$$Carga = \frac{35,07 \frac{L}{s} \times 86,40 \times 288 \text{ mg/L}}{1,000,}$$

Carga = 872,65 kgDBO/d

Para la carga anterior la norma corresponde a los valores de la tabla 21.

Tabla 21. Parámetros máximos permisibles de vertimiento, resolución 0631 de 2015.

CONSTITUYENTES DE SALIDA		
Parámetro	Unidad	Las aguas residuales de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, con una carga mayor o igual a 625 kg/día DBO5 y menor de 3000 kg/día DBO
DBO	mg O ₂ / L	90
DQO	mg O ₂ / L	180
Grasas Y Aceites	mg / L	20
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	N.E.
pH	UN	6 a 9
Sólidos Suspendidos	mg / L	90
Sólidos	ml / L	5
Temperatura	°C	40
Sustancias Activas al	mg / L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos Totales	mg / L	Análisis y Reporte
Ortofosfatos	mg / L	Análisis y Reporte
Fósforo Total	mg / L	Análisis y Reporte
Nitratos	mg / L	Análisis y Reporte
Nitritos	mg / L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal	mg / L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total	mg / L	Análisis y Reporte

Fuente. Resolución 0631 de 2015.

10.3. Constituyentes de Salida y Cumplimiento de los Objetivos de Calidad para el Rio Guejar.

De acuerdo al resolucio No PS.GJ. 1.2.6.21 2505 Objetivos de calidad para el rio Guejar el vertimiento no debe alterar las condciones del rio de acuerdo a esto los parametros establecidos en los objetivos de calidad son los siguientes

Tabla 22 Constituyentes de entrada y salida de la PTAR de Mesetas

PARAMETROS	UNIDAD	ENTRADA	OBJETIVOS DE
DBO	mg/L	288	15
DQO	mg/L	798	<30
pH	U de pH	6 - 8	4,5 -9
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	40	Análisis y reporte
Nitratos	mg/L	2,39	<30
Nitrógeno amoniacal	mg/L	40	<5
SST	mg/L	119	<25
Fósforo	mg/L	5	0,02
A y G	mg/l	57	<2
Fósforo Total (P)	mg/L	7,8	0,02
Coliformes fecales	NPM / 100 ml	14.800.000	1.000
Coliformes totales	NMP / 100 ml	68.900.000	5.000
Conductividad	µs/cm		750

Teniendo en cuenta las constituyentes de entrada y que los parámetros de salida, los más restrictivos son los establecidos en los objetivos de calidad, observamos que el sistema de tratamiento a diseñar deberá tener unas eficiencias de remoción de DBO y DQO mayores al 95%

11. Parámetros de Diseño PTAR Mesetas Según Resolución 330 de 2017 y Resolución 799 de 2021

De acuerdo con los análisis y cálculos anteriores; los parámetros de diseño para la PTARM del municipio de Mesetas se presentan en la tabla 22.

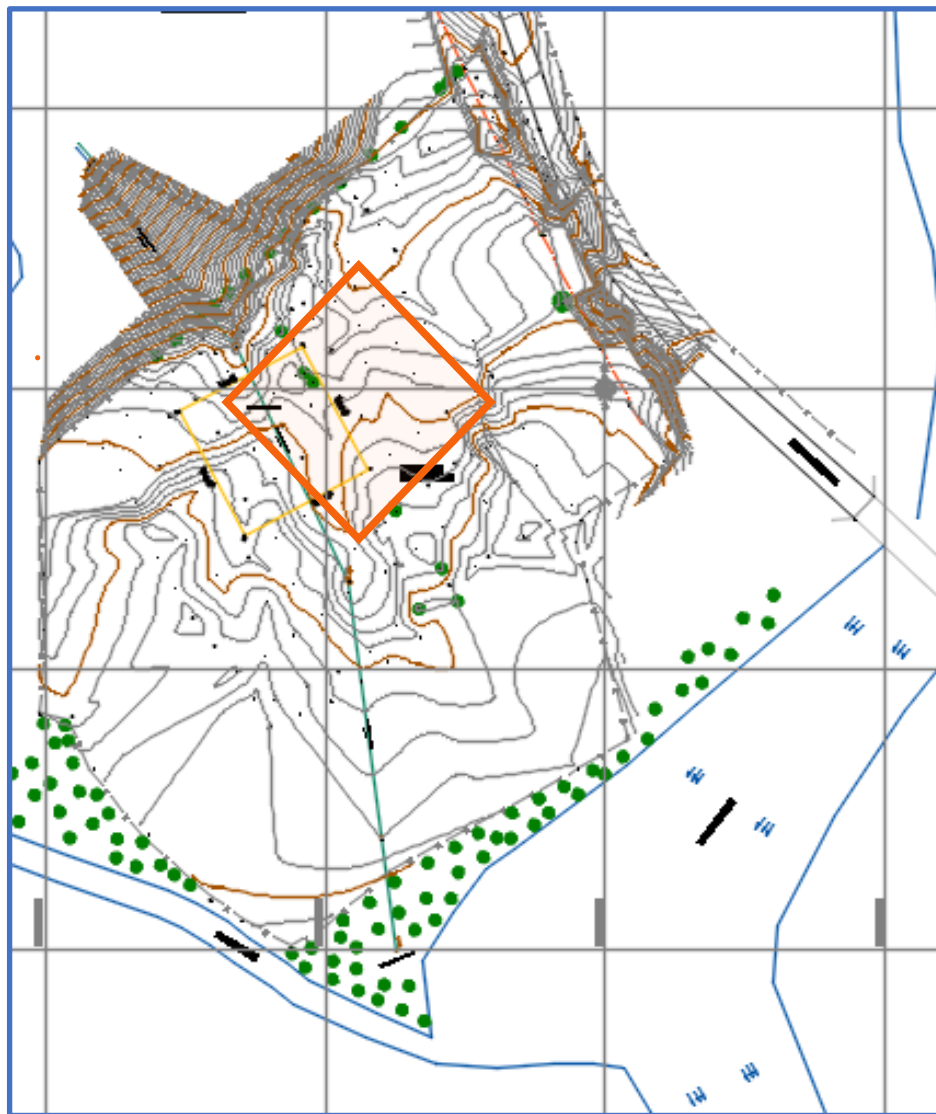
Tabla 23 Parámetros de diseño PTARM

MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO SEGÚN RESOLUCIÓN 330 DEL 2017, 799 DEL 2021				
PARAMETROS DE DISEÑO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR		FORMULA
POBLACION SERVIDA SUSCRIPTORES	HAB 2022	5616	P_U	
POBLACION TOTAL 2049		8485		
CAUDAL DOMÉSTICO QD (L/S)	L/s	11,70	QD	$QD = \frac{CR * Pf * DNeta}{86400}$
CAUDAL MEDIO DIARIO DE DISEÑO	L/s	14,00	Q_{mdD}	$Q_{mdD} = Q_{md} + Q_{INF}$
CAUDAL MÁXIMO HORARIO	L/s	47,10	Q_{MH}	$Q_{MH} = Q_{mdD} * F_{MH}$
CAUDAL MÁXIMO DIARIO	L/s	35,75	QMD	$QMD = Q_{mdD} * F_{MD}$
CAUDAL RESOLUCION 0799 < 30 L/S (3 X Qmd seco)	L/s	35,09	QMM	$QMM = Q_{md} * 3$
DBO AFLUENTE	mg/L	288,00		
CARGA DBO	Kg/dia	873,16		$C_{DBO} = \frac{(Q_{mdD} * Co * 24)}{1000}$
DQO AFLUENTE	mg/L	798,00		
CARGA DQO	Kg/dia	1505,37		$C_{DQO} = \frac{Q_{mdD} * Co * 24}{1000}$
SST AFLUENTE	mg/L	119,00		
CARGA SST	Kg/dia	224,49		$C_{SST} = \frac{Q_{mdD} * Co * 24}{1000}$
N AFLUENTE	mg/L	40,00		
CARGA N	Kg/dia	75,46		$C_N = \frac{Q_{mdD} * Co * 24}{1000}$
P AFLUENTE	mg/L	7,80		
CARGA P	Kg/dia	9,43		$C_P = \frac{Q_{mdD} * Co * 24}{1000}$
TEMPERATURA	°C	24,00		

11.1. ÁREA DISPONIBLE

El predio para el cual se obtubieron la s determinantes ambientales y para el cual el municipio esta adquiriendo, se realizaron los respectivos estudios topograficos del cual se presenta como anexo, el area disponible y que adquirira el municipio sera de una hectarea 10,000 m²

Ilustración 2 predio de ubicación de la PTARM



12. Alternativas del sistema de PTAR

El proceso de diseño de la planta de tratamiento de agua residual PTAR contempla dentro de su proceso, el dimensionamiento y análisis de alternativas. Aquí se aborda la identificación, planteamiento y análisis de aspectos técnicos, institucionales, económicos, financieros, ambientales y legales necesarios para evaluar y comparar varias alternativas de solución, escoger la alternativa más conveniente para realizar el diseño definitivo de la alternativa seleccionada.

Una vez definidos los parámetros de diseño conceptuados en el diagnóstico para la PTAR del municipio de Mesetas, con base en estos se encuentra la mejor tecnología de tratamiento, que solucione el problema de la forma más adecuada del tratamiento de las aguas residuales generadas por la población del casco urbano,

Para esta fase del proyecto se analizaron cinco alternativas de tratamiento cuya tecnología y procesos, pueden cumplir con las eficiencias requeridas para lograr verter con lo exigido por la autoridad ambiental. Las alternativas son las siguientes:

1. Filtros percoladores (FP)
2. Lodos activados (LAC)
3. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB o FAFA) más reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP)
4. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) más lodos activados (LAC)
5. Lagunas de estabilización (LE)

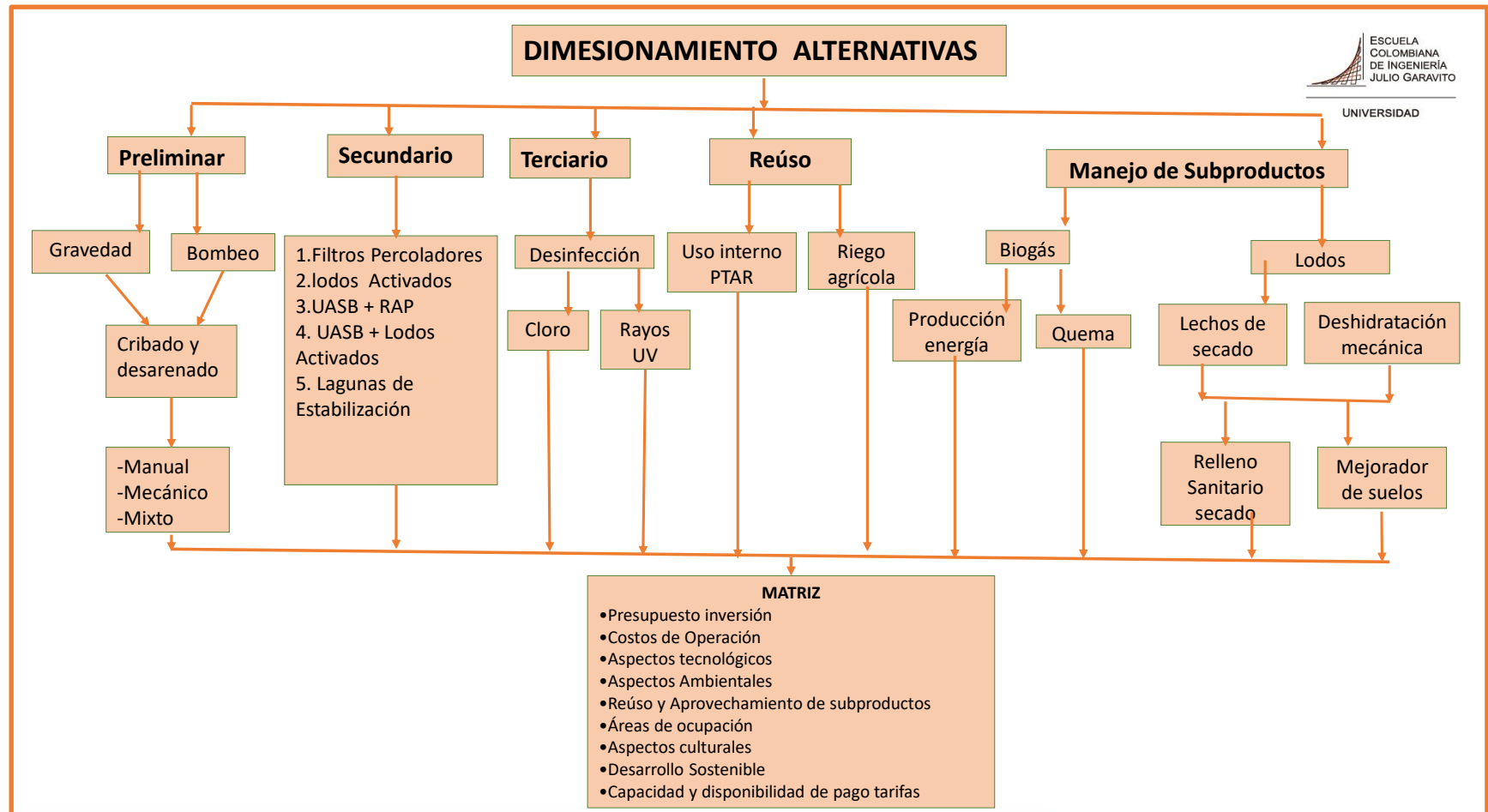
Las anteriores alternativas llevaran su tratamiento preliminar, el cual es único para las cinco alternativas y caudal de diseño QMH 47,10 L/s el tratamiento secundario para las alternativas 1,2,3,y 4 estará compuesto por dos módulos cada uno para la mitad del caudal máximo mensual QMM de 35,09 l/s, sedimentación para el QMH , desinfección para el QMD 35,75 L/s , manejo de lodos y subproductos como biogás En esta fase se describen sus ventajas y desventajas enmarcadas dentro las eficiencias, confiabilidad del proceso, comparación de áreas ocupadas, costos de operación e inversión y demás variables, que nos permitan analizar, evaluar y calificar estas alternativas, para seleccionar la más adecuada y solucionar el problema del tratamiento de las aguas residuales del municipio de Mesetas

Los dimensionamientos, cálculos y diseños planteados responden a dar solución a la problemática identificada en la fase de diagnóstico, y buscar el sistema de tratamiento más adecuado, considerando las características del municipio, de las aguas residuales, particularidades de la comunidad, y que la solución del problema se acorde con la infraestructura necesaria y los recursos disponibles.

Que el proyecto a implementar con base en las alternativas planteadas, se seleccione la más adecuada para su diseño final y que se enmarque en un proyecto de desarrollo sostenible y pueda ser operado de forma adecuada por la administración municipal o la empresa de servicios públicos operadora

Como producto final de la fase de Alternativas se obtendrá el dimensionamiento de todas las unidades de tratamiento que conforman cada sistema, y con base en ello poder obtener los diferentes componentes de la matriz de evaluación para analizar y seleccionar la alternativa más adecuada para el diseño final de la planta de tratamiento de las aguas residuales del municipio de Mesetas

Figura 5. Metodología fase de alternativas PTAR mesetas



12.1. Planteamiento de Alternativas PTAR Mesetas

Se presentan en este capítulo, las alternativas de diseño para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales –PTAR para el municipio de Mesetas, cuyo propósito es solucionar la problemática actual de saneamiento del centro urbano municipal y mitigar la contaminación hídrica que se está realizando al Río Güejar. Para cumplir con esta finalidad, se adoptaron procesos tecnológicos actualizados y de eficiencias conocidas a nivel nacional y regional, ajustados a las condiciones particulares del área en estudio.

12.2. Criterios de Selección de Alternativas a Estudiar.

Para la selección de alternativas que se van a tener en cuenta dentro del dimensionamiento, análisis la evaluación, se consideraron criterios importantes en términos técnicos, ambientales, económicos y desarrollo sostenible, los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ Tecnologías que logren eficiencias mayores al 95%
- ✓ Lograr eficiencias en el tratamiento que cumplan con los objetivos de calidad exigidos a la fuente receptora (DBO <15 mg/l y DQO <30 mg/l)
- ✓ Tecnologías que ocupan pocas áreas por las restricciones de predios disponibles
- ✓ Costos de operación moderados a las exigencias y eficiencias del tratamiento
- ✓ Sistemas de tratamiento probados a nivel departamental y nacional
- ✓ Sistemas de tratamiento ya implementados en algunos municipios del departamento (Filtros percoladores FP: Cumaral, Violetas, Acacías y Puerto Gaitán; Lodos activados LAC: Puerto López; UASB + reactor anaerobio de flujo a pistón RAP: San Martín, Castilla La Nueva, San Lorenzo, Restrepo sector Caño Seco, Chichimene, Internado Granja Iracá; UASB + LAC: Guamal, Centro Penitenciario de Acacías.
- ✓ Sistemas de tratamiento con de fácil operación y mantenimiento
- ✓ Sistemas de baja vulnerabilidad a fenómenos naturales
- ✓ Permiten incluir manejos paisajísticos para mitigar el impacto visual
- ✓ Tecnologías de Desarrollo Sostenible
- ✓ Permite incorporar las tecnologías en la economía naranja (Energía y Abono)

12.2.1. Generalidades

Para el presente proyecto analizaremos cada uno de los procesos aplicables a esta clase de tratamiento que cumplan con lograr eficiencias en remoción de carga de DBO, DQO, SST superiores al 95%.

El tratamiento biológico de las aguas residuales se realiza mediante procedimientos aerobios o anaerobios, ya sea que el proceso de digestión se efectúe en presencia de oxígeno o no; por otra parte, dependiendo del lugar que ocupe la biomasa en los digestores, se determina un tratamiento biológico en medio suspendido o en lecho fijo.

Los procesos de tratamiento estudiados, son los que se indican a continuación, el análisis permitirá dar la solución óptima, según su funcionalidad, economía e importancia ambiental, todas ellas deben cumplir con las eficiencias exigidas por la autoridad ambiental

De acuerdo con el proceso utilizado, una PTAR debe contar con las siguientes unidades de procesos de tratamiento

- ✓ Pretratamientos: estructura de alivio, cribado, desarenado, (pozo de bombeo si fuese necesario)
- ✓ Tratamiento secundario (Procesos anaerobio o aerobios seguido de sedimentadores secundarios)
- ✓ Tratamientos terciarios (desinfección)
- ✓ Manejo de subproductos (lodos y biogás)

Para los dimensionamientos de cada una de las unidades anteriores se tendrá en cuenta los caudales de acuerdo con la Resolución 0330 de 2017 y 0799 del 2021.

De acuerdo con lo anterior se plantea que el tratamiento preliminar será único y el mismo para las cinco (5) alternativas, estará compuesto por tres canales de cribado y desarenado cada uno para la mitad del caudal máximo horario de 47,10 L/s

Para cada una de las alternativas el tratamiento secundario se realizará a través de dos módulos cada uno para un caudal de 17,60 L/s que la suma de los dos nos da el caudal máximo mensual de (QMM) 35,20 L/s, para el dimensionamiento de las lagunas de estabilización se usará el Qmd de 14,00 L/s

El sistema de deshidratación de lodos resultantes del proceso será uno solo después de

las unidades de espesamiento de cada módulo. El sistema de quemado de biogás será también único para la producción de biogás producido por los dos módulos.

Para los análisis de costos de inversión hay obras comunes para cada módulo de la PTAR tales como obras de cerramiento, paisajismo, manejo de aguas lluvias, alcantarillado de llegada, línea de flujo del agua tratada hasta el río Guejar

Las tecnologías de tratamiento estudiadas, son las que se indican a continuación, con base en las cuales se ha de realizar el análisis para la recomendación final de la solución óptima, según su funcionalidad, economía, aplicación regional, y consideración de algunos aspectos de importancia ambiental:

las alternativas a dimensionar y analizar son las siguientes

- Alternativa 1: filtros percoladores (FP) + sedimentación secundaria + desinfección + manejo de lodos lechos de secado.
- Alternativa 2: Lodos Activados + sedimentación secundaria + desinfección + manejo de lodos lechos de secado.
- Alternativa 3: Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + reactor anaerobio de flujo pistón (RAP) + sedimentación secundaria + desinfección + manejo de lodos lechos de secado.
- Alternativa 4: Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + Lodos Activados + desinfección + manejo de lodos lechos de secado.
- Alternativa 5 Lagunas de Estabilización

Para el dimensionamiento de estas alternativas se presenta como anexo 4, archivo en Excel con los diseños de cada una de las unidades que conforman los sistemas de tratamiento

12.3. Categorías de Tratamiento

Para todas las alternativas se consideró que el emisario final que actualmente se encuentra a la entrada del predio de la PTAR, sea prologado y conducido mediante un alcantarillado de 12" y longitud de 50 m hasta el sitio definitivo de la PTAR y como descole del agua

tratada será conducida nuevamente al alcantarillado existente

De acuerdo con la tecnología a implementar, en el dimensionamiento de la PTAR, pueden ser previstas 4 categorías de tratamiento de aguas residuales: preliminar, primario, secundario y terciario.

Un pretratamiento adecuado del agua residual antes del sistema secundario o biológico es esencial para una operación exitosa del sistema de tratamiento a largo plazo. El tratamiento preliminar debe eliminar residuos gruesos y finos, arenas, por ello en el sistema contemplado para el presente proyecto se incluye:

- Estructura de alivio y by pas
- Cribado (cribado medio, cribado fino)
- Desarenador, eliminación de arenas
- Pozo de bombeo inicial

La forma en que se disponen estos tipos de tratamiento es la que se describe enseguida.

7.4.1. Tratamiento preliminar

Esta fase del tratamiento se incluirá en cada una de las alternativas pre dimensionadas para poder establecer los costos de inversión en este sistema esta unidad de tratamiento será común para cualquiera de la alternativa seleccionada.

Ilustración 3 Tratamiento preliminar



Fuente: PTAR san Martín Meta

El tratamiento preliminar que ha de adaptarse a la tecnología contará básicamente con los siguientes elementos, aunque pueden incluirse elementos suplementarios:

- Cámara de bypass
- Rejillas manuales y automáticas
- Desarenadores
- Medidor de flujo (vertedero sutor).
- Pozo de bombeo inicial

Cada uno de estos elementos tiene en general, la configuración que se indica a continuación:

- **Cámara de Alivio y by pass:** Cámara de donde se derivarán hacia tratamiento únicamente el caudal de aguas residuales definido como tal. Los excedentes provenientes de lluvia serán desviados hacia el Descole de la PTAR.
- **Rejillas:** Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas.

Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o flotantes. Las rejillas, por lo general, son la primera unidad de una planta de tratamiento.

El cribado es la operación de separar sólidos o material del agua residual a través de mecanismos que actúen con el principio de la coladera. Uno muy común son las rejillas; si le damos un paso de 2" a las rejillas y dejamos pasar aguas residuales a través de ellas, ocurre que las partículas mayores a 2" quedarán atrapadas en la misma, y podrán ser retiradas ya sea manual o mecánicamente.

Dependiendo de la separación de las barras (o el paso que se le dé a los sólidos) así se clasifican en cribas gruesas o finas.

Las cribas gruesas suelen tener un paso de 10 a 50 mm y suelen ser la primera unidad de tratamiento antes de que el agua llegue a la estación de bombeo.

Una criba gruesa muy común es la rejilla de barras que es instalada en un canal abierto para permitir la limpieza. Otra configuración es su construcción en forma de jaula o

canasta. La misma permite ser extraída para permitir retirar los sólidos que han quedado atrapados dentro de ella.

Para limpiar este tipo de rejillas se puede disponer de mecanismos manuales o automáticos.

Rejilla de limpieza manual, es donde el operador levanta el rastrillo girando una manivela y luego retira los sólidos atrapados manualmente.

Rejilla de limpieza automática, donde el sistema mediante un cable de acero o una cadena lleva a cabo el rastrillado de la rejilla y deposita automáticamente los sólidos en un recipiente.

Ilustración 4 Rejilla tipo manual



Fuente: PTAR Castilla la nueva

Ilustración 5 Rejilla mecánica



Fuente: Estruaguas S.A

➤ **Desarenador**

Para el presente proyecto se han dimensionado para la modulación del desarenador en varios canales, para lo cual se tuvo en cuenta los siguientes parámetros de diseño establecidos en el RAS Desarenadores en los cuales se establecen los siguientes parámetros de diseño en el dimensionamiento de las diferentes alternativas

Relación largo ancho mínimo 5:1

Velocidad mínima del agua 0,2 m/s a 0,4 m/s

Numero de desarenadores un mínimo de tres unidades cada unidad debe tener la capacidad para operar a la mitad de los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza.

Tasa de desbordamiento superficial entre 700 y 1600 m³/m²/día.

Tiempo de retención hidráulico 20 segundos y 3 minutos.

Estructuras de control de caudal vertederos tipo Sutro o proporcional y canaleta Parshall al final de todo el sistema

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se realizó la el dimensionamiento para, 3 canales

Para cada alternativa se dimensionó para los caudales máximo horario (QMH) Caudal Medio diario y caudal mínimo diario esto con el fin de poder observar el comportamiento hidráulico en los desarenadores dependiendo el caudal de entrada a ellos y tratando que cumpla en todo momento, estos parámetros para poder tener un sistema de desarenado eficiente.

La primera alternativa se dimensionó para una tasa de desbordamiento superficial 1000 m³/m²/día. Con base en esto, cada canal de desarenado cumple con la relación largo ancho y las velocidades mínimas. Además, se calculó el vertedero proporcional para cada uno de los canales que nos permiten observar la velocidad mínima y el aforo permanente de caudales en cada canal.

- **Canaleta Parshall** o vertedero Sutro: Se instalará con el doble objetivo de medir los caudales influentes a la planta y como sección de control para mantener constante la

velocidad del flujo aguas arriba. El dimensionamiento de esta canaleta está referenciado en los manuales de hidráulica para diferentes anchos de garganta y caudales determinados. En reemplazo de esta, puede colocarse un vertedero Sutro o proporcional, que permite también controlar la velocidad aguas arriba del medidor. Este proyecto empleará una canaleta Parshall de $W=3''$.

- **Pozo de Bombeo** inicial: Deberá tener un tiempo de retención adecuado, para proveer un caudal constante, o de volumen constante, para igualar características del influente como acidez, alcalinidad y pH. El volumen debe estimarse y diseñarse para lograr mezcla adecuada y amortiguar la concentración de las cargas afluentes. Es indispensable en los procesos que requieran de mínima variabilidad en el influente para nuestro caso se ha tomado un tiempo de retención de 5 minutos el cual fue calculado de acuerdo a los arranques por hora del sistema de bombeo para el caudal máximo horario de 47,10 l/s el volumen del tanque tendrá un volumen de 14,00 m³ Esta unidad de tratamiento contará además con 3 bombas sumergibles dos funcionando y una cuarta en Stand by cada una con capacidad de 23,60 L/s, de tal forma que cada una de ellas será capaz de alimentar cada uno de los módulos de tratamiento y dependiendo el caudal máximo operan las bombas adicionales hasta lograr evacuar el caudal máximo horario

12.4. Descripción de Procesos Biológicos de las Alternativas

El tratamiento biológico de las aguas residuales se realiza mediante procedimientos anaerobios o aerobios ya sea que el proceso de digestión se efectúe en presencia de oxígeno o no; por otra parte, dependiendo del lugar que ocupe la biomasa en los digestores, se determina un tratamiento biológico en medio suspendido o en lecho fijo.

Tabla 24 Descripción de Procesos de Tratamiento Biológicos

PROCESO	DEFINICIÓN
<i>Funciones Metabólicas</i>	
Procesos Aeróbicos	Procesos biológicos de tratamiento que ocurren en presencia de oxígeno.
Procesos Anaeróbicos	Procesos biológicos de tratamiento que ocurren en ausencia de oxígeno.
Procesos Anóxicos	Procesos en donde el nitrato es convertido biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno (desnitrificación).
Procesos Facultativos	Procesos biológicos en donde microorganismos pueden realizar sus procesos metabólicos en ausencia o presencia de oxígeno molecular.
<i>Procesos de Tratamiento</i>	
Procesos de Crecimiento Suspendido	Proceso biológico de tratamiento en donde microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica lo realizan manteniéndose suspendidas dentro del líquido.
Procesos de Crecimiento Adherido	Proceso biológico de tratamiento en donde microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica en otros lo realizan manteniéndose adheridos en algún medio inerte como rocas o materiales plásticos (procesos de biopelículas).
Procesos Combinados	Procesos en donde se involucra la combinación de sistemas de tratamiento de crecimiento suspendido y adherido
<i>Funciones de Tratamiento</i>	
Remoción biológica de nutrientes	Procesos aplicados para la remoción de nitrógeno y fósforo mediante procesos de tratamiento biológicos.
Remoción biológica de fósforo	Procesos aplicados para la remoción de fósforo mediante la acumulación de biomasa y subsecuente la separación de sólidos.
Remoción de DBO Carbonácea	Conversión biológica de materia orgánica carbonácea en biomasa y diferentes productos finales gaseosos. Durante la

PROCESO	DEFINICIÓN
	conversión se asume que el nitrógeno presente en los diferentes componentes es transformado en amoniaco.
Nitrificación	Proceso biológico que en dos fases primero es convertido el amoniaco en nitrito y luego en nitrato.
Desnitrificación	Proceso biológico en donde el nitrato es reducido a nitrógeno y otros productos gaseosos finales.

Fuente. (Metcalf & Eddy, 2003)

A continuación, se realiza una breve descripción de los diferentes procesos aerobios y anaerobios que se tendrán en cada una de las alternativas.

➤ **Tratamientos Aerobios**

-Filtros percoladores

-Lodos Activados por aireación extendida

Laguna facultativa

Laguna de maduración

➤ **Tratamientos Anaerobios**

-Reactor anaerobio de flujo ascendente UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

-Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)

Lagunas anaerobias

Para el dimensionamiento de las diferentes unidades se tomó los caudales de acuerdo con la resolución 0330 y 0799 como caudal Máximo Mensual (QMM) de diseño 35,09 L/s para lo cual se dimensionaron dos módulos de 17,60 L/s y las conexiones hidráulicas entre unidades de proceso para todas las alternativas, se diseñó para QMH que es de 47,10 L/s., Para el sistema lagunar el Qmd de 14,00 L/s

12.4.1. Tecnología Aerobia Filtro Percolador

El sistema de filtro percolador consiste en transportar el agua a la parte superior de un tanque que dentro de él contiene un material de empaque donde crecen microorganismos que retiene la materia orgánica disuelta, es importante que este material sea lo suficientemente poroso para garantizar el flujo de aire de forma natural. El material ideal debe ser inerte, resistente, durable, y de bajo costo, por lo general se utilizan materiales

naturales (materiales pétreos) y sintéticos (Piezas de plástico de diversas geometrías).

El lecho de material grueso, compuesto por materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales en forma de distribución pareja. En la superficie del medio percolador se encuentra adherida una población bacteriana en forma de película delgada, el agua desciende por medio del filtro gracias al sistema de distribución y el material orgánico queda atrapado en el filtro formando una comunidad bacteriana que la degrada, el flujo recorre toda la superficie del filtro y se dirige a la salida del tanque. Las aguas residuales, a medida que estas percolan hacia el fondo del tanque, transcurrido cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende por la fuerza hidráulica del medio filtrante, hasta su sedimentación en un clarificador secundario en forma de lodo. La recirculación parcial o total de las aguas por el filtro aumenta su eficiencia y representa una solución para mantener viva la población bacteriana en los días y horarios en los cuales el caudal influente es muy pequeño o nulo.

Esta tecnología es muy utilizada en el tratamiento de aguas residuales por demandar una operación sencilla y su flexibilidad para recibir cargas orgánicas variables durante el día.

Los parámetros de diseño para este tipo de planta son:

- Carga hidráulica 10 – 75 m³/m²/d
- Carga volumétrica 0,6 – 3,2 kg DBO₅/m³-día
- Profundidad 1,5 – 12 m
- Tipo de medio de soporte Relleno plástico
- Recirculación 0 – 200%
- Eficiencia de remoción DBO₅ 65 – 95%

En los últimos años en Colombia y en el departamento del Meta, se ha implementado la tecnología de filtros percoladores; los filtros percoladores es una de las más adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales de Mesetas, por sus buenas remociones de carga orgánica y de sólidos en el efluente final, y no requiere de un proceso biológico adicional por las bondades del clima local

La ventaja principal de estos sistemas se encuentra en que no necesitan un sistema de aireación, por lo cual los gastos de operación disminuyen. Un filtro percolador funcionando adecuadamente puede llegar a tener eficiencias de remoción de contaminantes del orden

del 70% a 95% en función de la carga del sistema.

Ilustración 6 Esquema de filtro percolador

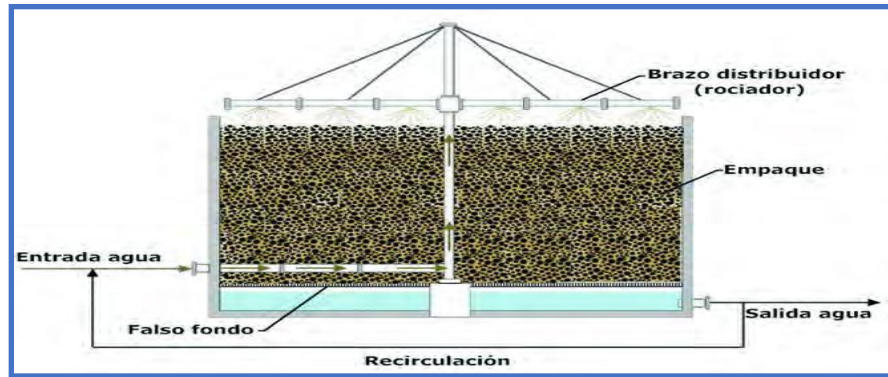


Ilustración 7 Disposición y distribución de flujo Filtro percolador



Fuente PTAR Cumaral Meta

12.4.2. . Tecnología aerobia de lodos activados

Para nuestro caso realizaremos la descripción de un proceso aerobio de lodos activados ya que dentro de nuestras alternativas propuestas se está considerado este tratamiento a través de la tecnología ORBAL y zanjón de oxidación procesos aerobios de lodos activados.

Este proceso es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de aguas residuales y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos es devuelto al tanque de aireación. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son usados para su crecimiento. A medida que los microorganismos crecen y son mezclados en el tanque de aireación, se aglutinan y forman una masa activa de microorganismos.

Ilustración 8 Tratamiento de lodos activados



Se utiliza para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, con tiempos de retención hidráulicos de 12–36 horas, edad de lodos prolongada (10–30 días), y con recirculación de más de 95% de lodos; buscando asegurar una producción mínima de lodo en exceso y un alto grado de mineralización en el lodo producido, que permite deshidratarlo y secarlo en lechos de secado.

El sistema de aireación está constituido en este tipo de tratamiento por equipos mecánicos superficiales o sumergibles colocados a través del tanque de aireación, los cuales imparten dentro del agua el oxígeno suficiente para mantener los sólidos en suspensión y la degradación o transformación de la materia orgánica contaminante.

La concentración de sólidos suspendidos en el tanque de aireación es 3.000 a 5.000 mg/L, y para prevenir una concentración excesiva se dispone el lodo sobre lechos de secado cuando la concentración excede los valores mencionados. El tanque de aireación adecuadamente diseñado y operado provee remociones promedio de DBO y sólidos suspendidos mayores del 95% en aguas residuales municipales.

En el sistema de lodos activados se lleva a cabo básicamente, biológicos. Una pequeña porción de la materia orgánica sufre directamente una oxidación química, pero la mayor parte de la materia orgánica es estabilizada por la actividad bioquímica de los microorganismos previamente formados en el sistema.

El sustrato, como en todo proceso biológico, debe contener los nutrientes disponibles para proporcionar un régimen alimenticio apropiado a los microorganismos.

Los lodos son menos reactivos y tienen una DBO menor que lodos producidos por procesos que tienen factores de carga grande. Por consiguiente, los sólidos perdidos en el efluente del tanque de sedimentación final pueden tener una DBO más baja que la misma cantidad perdida en el efluente de otros procesos.

El aire necesario para el proceso puede suministrarse por (sopladores), a través de difusores colocados cerca del fondo del tanque o por equipos mecánicos que agiten y aireen la masa de agua desde la superficie (aireadores).

Existen varios métodos o diseños de reactores para el proceso de lodos activados: método convencional, completamente mezclados, aireación decreciente, aireación escalonada, estabilización por contacto, y aireación extendida o prolongada.

Se evaluará el método por aireación extendida debido a que este garantiza una elevada eficiencia en la remoción de DBO y relativamente áreas pequeñas de construcción. Por otro lado, el método implica la concentración de altos contenidos de lodos activados, para someterlos a grandes cargas volumétricas de sustratos. Consecuentemente exige grandes aportes de aire para mantener aerobio el sistema, y por ende requerimientos de energía eléctrica y operación cuidadosa.

Los procesos con base en tratamiento aerobio, a considerar en el análisis corresponden a lodos activados en sus distintas modificaciones que tienen como base este proceso.

Este proceso es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de aguas residuales y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos es devuelto al tanque de aireación. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son usados para su crecimiento. A medida que los microorganismos crecen y son mezclados en el tanque de aireación, se aglutinan y forman una masa activa de microorganismos llamada "LODO ACTIVADO".

El sistema de aireación está constituido en este tipo de tratamiento por equipos mecánicos superficiales o sumergibles colocados a través del tanque de aireación, los cuales imparten dentro del agua el oxígeno suficiente para mantener los sólidos en suspensión y la degradación o transformación de la materia orgánica contaminante.

En el sistema de lodos activados se lleva a cabo básicamente procesos biológicos. Una pequeña porción de la materia orgánica sufre directamente una oxidación química, pero la mayor parte de la materia orgánica es estabilizada por la actividad bioquímica de los microorganismos previamente formados en el sistema.

Los lodos son menos reactivos y tienen una DBO menor que lodos producidos por procesos que tienen factores de carga grande. Por consiguiente, los sólidos perdidos en el efluente del tanque de sedimentación final pueden tener una DBO más baja que la misma cantidad perdida en el efluente de otros procesos.

El aire necesario para el proceso puede suministrarse por (sopladores), a través de difusores colocados cerca del fondo del tanque o por equipos mecánicos que agiten y aireen la masa de agua desde la superficie (aireadores).

Existen varios métodos o diseños de reactores para el proceso de lodos activados: método convencional, completamente mezclados, aireación decreciente, aireación escalonada, estabilización por contacto, y aireación extendida o prolongada.

Para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de Mesetas, la tecnología de lodos activados es una de la más adecuada por garantizar altas remociones en el efluente final, brindar gran confiabilidad al sistema y por su aplicación generalizada para el tratamiento de este tipo de aguas. Sin embargo, considerando los altos consumos de energía requeridos por el proceso de aireación por esta tecnología se estudiarán variaciones de Lodos

Activados, para disminuir la incidencia de la energía eléctrica en los costos de operación del sistema de tratamiento.

12.5.3. Tecnología Anaerobia Reactor UASB (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket)

Los métodos anaerobios de tratamiento de aguas residuales, aunque conocidos desde muchas décadas atrás, sólo recientemente se han comenzado a aplicar y gozan de una creciente aceptación. Ello puede explicarse primero, por los trabajos del doctor Lettinga, en la década de los 70's en la Universidad de Wageninge – Holanda, desarrollando el denominado UASB; y segundo por los innegables éxitos que se han logrado en los resultados de las plantas diseñadas con esta tecnología.

La digestión anaeróbica es la degradación de material orgánico a través de bacterias anaerobias en la ausencia de oxígeno para producir lodo, dióxido de carbono y gas metano. En el proceso ocurre en 4 etapas básicas:

- **Hidrólisis**: compuestos orgánicos insolubles son hidrolizados por enzimas excretadas por las bacterias ácidas.
- **Formación de ácidos**: Los compuestos hidrolizados son convertidos en ácidos orgánicos tales como ácido láctico, ácido butírico, ácido propiónico y ácido acético a través de bacterias ácido-formadoras.
- **Acetogénesis**: Los compuestos orgánicos de la etapa anterior son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.
- **Metanogénesis**: Las bacterias metano-formadoras convierten los productos de la etapa anterior en metano.

Las tecnologías con los reactores de flujo ascendente poseen como grandes ventajas una considerable economía por requerir instalaciones con áreas más reducidas que otros sistemas, demandar menores cantidades de energía y generar pequeñas cantidades de lodos, además de la sencillez de su operación.

Esta tecnología también ofrece la posibilidad de aprovechar los gases ricos en metano producidos en el proceso de tratamiento, para su uso en operaciones secundarias como estufas o en calentamiento del agua. Las principales desventajas de la tecnología se refieren a que el medio es corrosivo, es sensible a la contaminación con oxígeno, tiene

riesgo de salud por H_2S , y la presencia de olores desagradables.

Ilustración 9 Reactor UASB



Fuente: PTAR Guamal Meta

La planta dimensionada empleando esta tecnología, deberá contar con las categorías de tratamiento preliminar, secundario y manejo y disposición de lodos excedentes. Para efectuar el tratamiento biológico de las aguas residuales se considerará un reactor UASB de forma rectangular en concreto armado con separador de gases, líquidos y sólidos (SGLS), biogás con metano (CH_4). Se instalará un sistema de incineración del metano. En cuanto a los gases de H_2S , saldrá mezclado con el biogás el cual también será quemado.

Este proceso de tratamiento logra eficiencias entre el 50% a 70 % lo que indica que está sola unidad de tratamiento no logra las eficiencias exigidas, por lo tanto, se hace necesario la complementación con otro sistema ya sea anaerobio o aerobio. Las aguas tratadas en el reactor pasarán a una segunda unidad de proceso para luego pasar a un sedimentador secundario para extraerle los flóculos sedimentables.

Los lodos producidos serán enviados hacia los lechos de secado donde serán deshidratados para su disposición final. Las aguas drenadas de los lodos serán retornadas

al reactor anaerobio. Así mismo, los lodos generados en el sedimentador secundario se enviarán a los lechos de secado.

El control del proceso, especialmente durante la fase de arranque del reactor es de gran importancia para garantizar altas eficiencias en la remoción de la materia orgánica. La operación es muy simple pero conceptualmente es bastante compleja, por lo tanto, en el arranque debe emplearse personal especializado, debido a las complicadas relaciones bioquímicas entre los diferentes organismos que efectúan el tratamiento anaerobio, las cuales se establecen lentamente con el paso del tiempo, por tanto, un arranque puede tardar hasta 60 días.

Los parámetros de diseño para una planta UASB, tienen los siguientes valores típicos:

- Carga volumétrica 1 – 6 kg DQO/m³/d
- Tiempo de detención 6 – 14 h
- Tasa de sobre flujo 0,7 m/h
- Inclinação de sedimentadores > 45°
- Altura del reactor 5,5 – 7,0 m
- Eficiencia de remoción DBO₅ 50 – 70%

Es importante aclarar que para este proceso la temperatura influye en la eficiencia del sistema, pero de acuerdo con las caracterizaciones realizadas se debe tener en cuenta la temperatura del agua que esta entre 24 y 27 °C, para lo cual los microorganismos del sistema operarán en las fases mesofílicas.

Para el manejo de los lodos se ha considerado tratarlos con lechos de secado, teniendo en cuenta que este tipo de procesos (anaerobios), presenta una baja síntesis celular, es decir una poca producción de lodos, y que los mismos son razonablemente estables, por lo que pueden ser dispuestos fácilmente.

12.5.4. Tecnología Anaerobia RAP (Reactor Anaerobio de flujo Pistón)

Con esta tecnología se aprovecha la ventaja cinética del flujo pistón, en este sistema el agua atraviesa varias cámaras, rellenas parcialmente con un medio plástico de alta porosidad para efectuar la degradación de la materia orgánica entre cámaras.

Las ventajas principales de la tecnología corresponden a la generación de pocos lodos razonablemente estables, a que los requerimientos nutricionales son bajos y al escaso

consumo de energía eléctrica. Como desventajas se reseñan su limitado rango de temperatura para su funcionamiento, alta producción de olores desagradables, requerimientos de concentraciones altas de alcalinidad, a lo agresivo del medio y a bajas eficiencias de remoción.

La PTAR correspondiente a esta tecnología contará con los mismos elementos de tratamiento que la alternativa UASB, cambiando sólo el reactor, y el arranque del reactor es similar al UASB.

Los parámetros de diseño para este tipo de planta tienen la siguiente caracterización:

- Carga volumétrica 1 – 18 kg DQO/m³/d
- Tiempo de detención 8 – 10 h
- Velocidad hidrodinámica 3 m/h
- Tasa de sobre flujo 0,7 m/h
- Material del lecho soporte polipropileno
- Área de contacto del lecho 100 m²/m³ del lecho
- Altura del reactor 4 – 5 m
- Eficiencia de remoción DBO₅ 65 – 80%

En lo particular para Mesetas, puede emplearse ya que el factor de la temperatura no afectará el normal funcionamiento de la tecnología RAP; aunque es recomendable que se emplee acompañado de otro tratamiento secundario.

La tecnología permite realizar el tratamiento con la utilización del proceso de tipo biológico en forma anaerobia empleando el sistema RAP, en el cual se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de los microorganismos, en ausencia de oxígeno. El proceso de remoción de la materia orgánica se produce cuando la película biológica adherida al soporte se apropia de los nutrientes y realiza las reacciones bioquímicas de acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. El producto de estas reacciones es principalmente metano y agua; responsable de estas reacciones es un complejo de bacterias que en una simbiosis ejecutan sus operaciones y entregan subproductos en pasos escalonados hasta el producto final.

El flujo entrará al reactor por el fondo siendo distribuido uniformemente, El medio filtrante está conformado por material de relleno plástico (film medio). El efluente de los reactores

anaerobios RAP debe ser enviado hacia los sedimentadores secundarios, donde se alcanza la eliminación de los sólidos suspendidos presentes en éste antes de su evacuación final en la fuente receptora. El tiempo de retención hidráulico en el reactor varía entre 6 y 12 horas, y la eficiencia de remoción de DBO₅ se estima entre 65 y 80%.

Los lodos producidos en el sedimentador secundario son extraídos y vertidos en los lechos de secado para realizar su deshidratación; estos lodos alcanzan un alto grado de digestión por lo cual pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios, o darles uso para la estabilización de suelos dedicados a la agricultura, sin ningún tipo de riesgo sanitario.

Las ventajas de la tecnología es que resiste altas cargas orgánicas, tasa baja de síntesis celular y por consiguiente poca producción de lodos, además de ser muy estables, y por su escaso requerimientos de energía eléctrica; entre sus desventajas se presentan la sensibilidad a las variaciones en la temperatura, la corrosividad del medio, el requerimiento de buena alcalinidad.

12.5.5. Tecnología lagunas de estabilización

Una laguna de estabilización contiene principalmente algas y bacterias en suspensión. El oxígeno liberado por las algas, a través del metabolismo fotosintético, es usado por las bacterias en la descomposición aeróbica de la materia orgánica. A la vez, los nutrientes y el dióxido de carbono producidos por la actividad bacterial son usados por las algas.

Las lagunas anaeróbicas son lagunas en las que dominan condiciones anaeróbicas en toda la laguna y tienen cargas orgánicas tan altas que no poseen zona aerobia, excepto, posiblemente, en su superficie. Típicamente son usadas como lagunas primarias para aguas residuales domésticas y municipales, así como para tratamiento de aguas residuales con DBO mayores de 1.000 mg/L. La profundidad de este tipo de lagunas oscila entre 2,5 y 5 m, y su diseño es prácticamente empírico. Básicamente, se diseñan con criterios de carga orgánica volumétrica y/o tiempo de retención. Teniendo en cuenta los riesgos de la generación de olores malolientes, se prefiere localizarlas lejos de núcleos habitacionales importantes, a una distancia mayor de 200 m.

En lagunas facultativas la capa superior debe ser predominantemente aeróbica y actuar como barrera contra el agua anaeróbica con contenido de H₂S. La combinación de la actividad bacterial, aeróbica y anaeróbica, da origen a este tipo de lagunas.

Las lagunas aeróbicas son lagunas en las cuales la estabilización de la materia orgánica se hace en condiciones aeróbicas. Existen dos tipos de lagunas de estabilización aeróbicas. El primer tipo es el de las lagunas cuyo objetivo es maximizar la producción de algas, en las cuales la profundidad se limita al intervalo entre 15 y 45 cm. El segundo tipo es el de las lagunas cuyo objetivo principal es maximizar la producción de oxígeno y se usan profundidades hasta de 1,5 m; pero para mantenerlas aeróbicas se requiere mezcla con bombas, aireadores o difusores. En lagunas aeróbicas deben predominar condiciones aerobias en toda la profundidad de la laguna.

Los estudios realizados sobre tratamiento de aguas residuales, por lagunas de estabilización, han considerado como factores de influencia importante sobre el proceso, entre otros, los siguientes: fotosíntesis, pH, profundidad, nutrientes, sedimentación de lodos, vientos, sulfuros, oxígeno disuelto, radiación solar, temperatura, tiempo de retención, infiltración y evaporación, geometría de la laguna, DBO y sólidos suspendidos.

Si una laguna de estabilización logra producir biomasa sedimentable, fácil de retener, el efluente será de muy buena calidad. En general, se puede suponer que una sola laguna pequeña deja escapar cantidades grandes de biomasa y que varias lagunas, en serie, permiten una mayor sedimentación de biomasa y, por lo tanto, un efluente con remoción mayor de sólidos suspendidos

12.5.6. Sedimentador secundario

El líquido biológicamente tratado mediante bacterias aerobias o anaerobias, pasa a un tanque circular o rectangular, de decantación, con barredores de lodos o tolvas de pirámides tronco-cónicas invertidas. El agua se clarifica debido a la sedimentación gravitatoria de los lodos que han escapado del tratamiento. Este lodo es colectado en las tolvas desde donde se extraen por presión hidrostática hacia los lechos o para otros fines. El agua clarificada se recoge mediante rebose sobre una canaleta construida en PRFV, para ser conducida y dispuesta en la corriente receptora superficial. El vertedero ha sido diseñado para una carga hidráulica inferior a 140 m³/ml-día (metro lineal de vertedero). Tanto en el ingreso como en la salida se dispondrán baffles para evitar que los sobrenadantes escapen con el efluente tratado.

12.5.7. Tanque de contacto de cloro

Posteriormente el agua clarificada continúa a un tanque provisto de baffles, con tiempo de detención de 30 minutos, el cual a la entrada se dosificará hipoclorito mediante un sistema de cloro, para la eliminación de los coliformes y organismos patógenos, y permitir el uso establecido por la autoridad regional.

12.5.8. Lechos de secado de lodos

Para la deshidratación, reducción y disposición de los lodos excedentes se ha previsto la construcción de lechos de secado; los lodos se retirarán esporádicamente del sedimentador secundario, por gravedad, hacia un pozo de bombeo de lodos, desde donde se bombearán hacia celdas de lechos de secado para forjar su deshidratación. Los lechos de secado son celdas que poseen un medio filtrante en arena y grava fina, donde el lodo se deshidratará dejando una capa de material sólido que se retira mediante trabajo manual y el líquido percolado (lixiviado), se reintegra nuevamente al proceso desde el inicio del mismo.

12.6. Alternativas de Tecnologías y Sistemas de Tratamiento

Con las diferentes tecnologías de tratamiento descritas anteriormente, se presentan a continuación las diferentes alternativas de tecnologías de tratamiento que se plantean como solución a la problemática de contaminación de la corriente receptora en Mesetas.

Con la definición de las diferentes alternativas se busca contar las posibilidades tecnológicas presentes, con el fin de recomendar la alternativa con mayor relación costo/beneficio económico, técnico y considerando aspectos ambientales, para la población de Mesetas. El planteamiento de los escenarios indicados, corresponden a las tecnologías que tienen aplicación exitosa a nivel regional y nacional, y se realiza en varios escenarios, combinaciones de los procesos con el propósito de lograr las eficiencias requeridas para el presente proyecto, y obtener una reducción apreciable en los costos de operación y mantenimiento y en los de inversión inicial.

12.6.1. Alternativa N. 1. Filtros Percoladores (FP) + Sedimentación Secundaria + Desinfección + lechos de secado.

La alternativa 1 consiste en la utilización de una tecnología aerobia en medio fijo. El sistema admite considerables variaciones en las cargas influentes al sistema de tratamiento, tanto

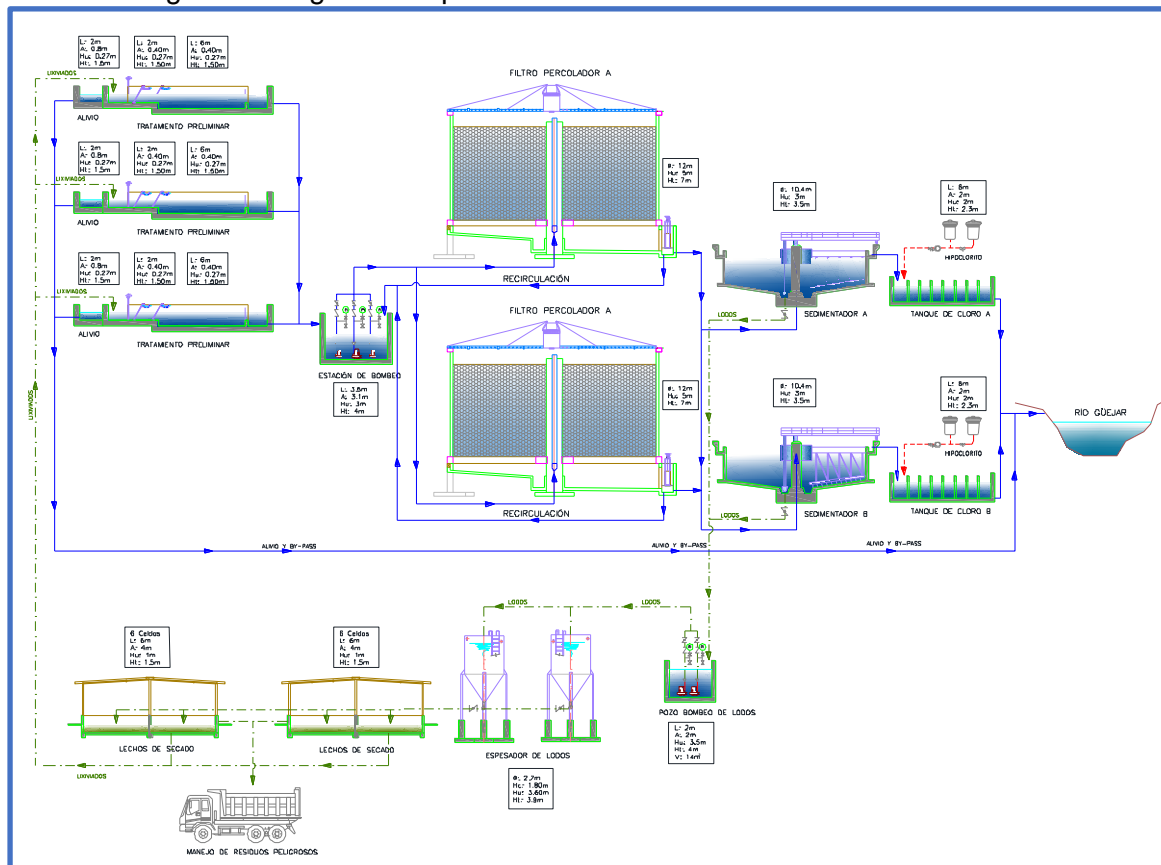
orgánicas como hidráulicas.

Esta alternativa tecnológica constará de las siguientes unidades de tratamiento:

- ✓ Estructura de alivio, By-pass o paso directo
- ✓ Canal de entrada
- ✓ Rejas gruesas
- ✓ Desarenadores
- ✓ Canaleta Parshall
- ✓ Bombeo inicial y de recirculación
- ✓ Filtro percolador
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Pozo bombeo de lodos y recirculación
- ✓ Deshidratación de lodos con espesamiento y Lechos de secado

El diagrama de procesos para este tipo de escenario tecnológico es el que se presenta en la Figura 6.

Figura 6. Diagrama de procesos Alternativa 1. Filtros Percoladores



La Alternativa 1, consiste en la utilización de una tecnología aerobia en medio fijo. El sistema admite considerables variaciones en las cargas influentes al sistema de tratamiento, tanto orgánicas como hidráulicas.

La ventaja principal del sistema propuesto dentro del presente escenario es la aceptación de altas variaciones de caudales y de contaminantes, lo que garantiza un influente con las remociones requeridas. La tecnología aerobia con filtros percoladores, en medio fijo, alcanza las eficiencias de remoción requeridas, y soporta cargas de choque (punta), sin desestabilizar el proceso.

La alternativa se encuentra acorde con la tecnología de punta aerobia, y corresponde al sistema más eficiente y fiable en lo que respecta a eficiencias en remoción de carga, con la ventaja que los consumos de energía y la producción de lodos son menores que en un sistema aerobio de lodos activados y, además como proceso admite variaciones de carga que es algo propio de este tipo de aguas residuales domésticas municipales.

Las aguas residuales provenientes del emisario final entran a la estructura de tratamiento preliminar en donde, por facilidad en la construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejillas gruesas, los desarenadores y la unidad de medición de flujos, lo que hace que el diseño de la estructura esté gobernado por el cálculo de la estructura de control (canaleta Parshall o vertedero sutor). Seguidamente se dispondrá de un pozo de bombeo (tanque de igualación y homogenización), desde donde se bombeará el agua hacia el tratamiento secundario.

En las rejillas gruesas se retendrán los sólidos gruesos existentes en el agua residual (troncos, trapos, etc.), en el desarenador se eliminarán los sólidos finos con el objeto de reducir la formación de depósitos de arenas en el interior de tuberías, canales y conducciones. La canaleta Parshall permitirá establecer los caudales influentes al sistema de tratamiento.

De esta estructura preliminar, las aguas llegan al tanque de igualación, que impulsará el agua residual hacia el filtro percolador; este último contará con un medio permeable plástico, al cual se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual. El sistema de bombeo estará conformado por bombas sumergibles.

En el filtro percolador se suceden las reacciones bioquímicas de conversión de material

orgánico y coloidal a material sedimentable, gracias a la película biológica que se crea sobre un material de relleno plástico allí colocado para proceder a la descomposición de la materia orgánica. El oxígeno consumido por los microorganismos que descomponen el agua residual se obtiene del aire inducido de manera natural en la medida en que pasa a través del filtro y su sistema de drenaje (falso fondo). La distribución del flujo se hará de manera uniforme sobre el relleno mediante sistema de riego o de distribución fijo.

El 50% del caudal efluente de los filtros es enviado hacia el pozo de bombeo y recirculado nuevamente hacia el filtro percolador. Del filtro percolador el agua se hace circular hacia el clarificador, donde se logra la eliminación de los sólidos en suspensión que son arrastrados intermitentemente en el filtro.

Los lodos derivados de los clarificadores serán deshidratados a través de un espesamiento de lodos y luego a los lechos de secado.

Para un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento, se ha previsto que las unidades de proceso tengan la capacidad de tratar la totalidad del influente, en caso de sacar alguna unidad de operación, por causas de labores de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Tabla 25. Ventajas y Desventajas Alternativa filtros percoladores

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alternativa No. 1: Filtros Percoladores	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menor requerimiento de área. ▪ Menor costo de inversión inicial. ▪ Razonables costos de O&M. ▪ Facilidad para ampliación en su capacidad. ▪ Requiere escasa infraestructura institucional. ▪ Admite altas cargas orgánicas, de sólidos e hidráulicas. ▪ Generación de empleo. ▪ Mineralización de los compuestos biodegradables. ▪ Ausencia de olores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exige supervisión especializada en la construcción. ▪ Requiere de energía para operar. ▪ Eliminación de patógenos por desinfección. ▪ Demanda insumos para la O&M. ▪ Afecta la calidad visual del paisaje. ▪ Generación de moscas. ▪ Demanda de personal calificado para el mantenimiento. ▪ Mayor producción de lodos. ▪ Presencia de moscas.

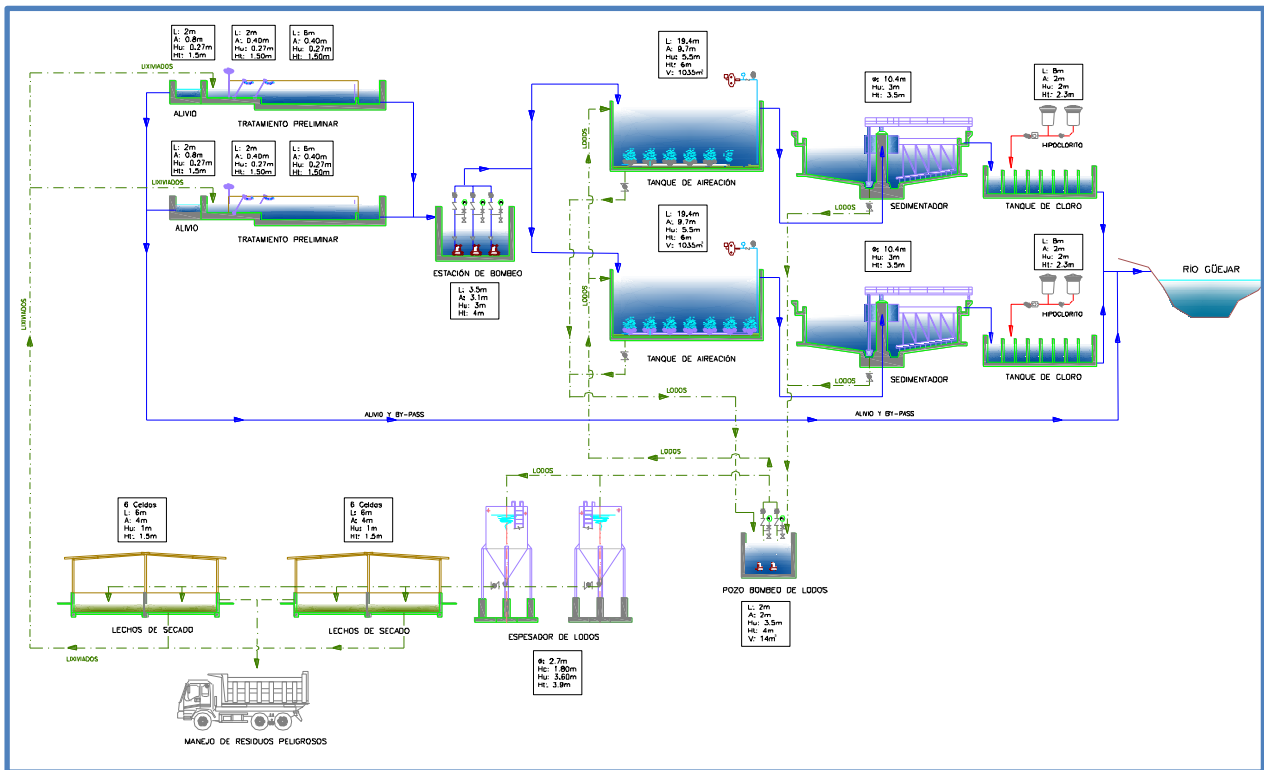
12.6.2. Alternativa N. 2. Lodos Activados (LAC) + Sedimentación secundaria + Desinfección + Lechos de secado

La alternativa 2, Consiste en la utilización de una tecnología aerobia a través de un sistema de lodos activados por aeración extendida. Esta tecnología es la de mayor aplicación en el mundo y la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas son diseñadas y construidas bajo esta tecnología

El sistema propuesto admite variaciones en las cargas orgánicas influentes al sistema de tratamiento, como consecuencia de las bondades que ofrece la tecnología es la capacidad de lograr altas eficiencias en remoción de carga y arranques y estabilización del proceso en tiempos cortos, por ser un proceso totalmente aerobio y ser responsable de la remoción de carga superior al 95% se hace necesario la implantación de equipos para el suministro de oxígeno que requieren el consumo de energía.

El diagrama de procesos para este tipo de escenario tecnológico es el que se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Diagrama de procesos Alternativa 2. Lodos Activados



Esta alternativa tecnológica constará de las siguientes unidades de tratamiento:

- ✓ Estructura de alivio, By-pass o paso directo
- ✓ Canal de entrada
- ✓ Rejas gruesas y finas
- ✓ Desarenadores
- ✓ Vertederos Sutro
- ✓ Reactor de lodos activados
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Bombeo de lodos y recirculación
- ✓ Cloración para desinfección
- ✓ Deshidratación por espesamiento y lechos de secado

La ventaja principal del sistema propuesto dentro de la presente alternativa es que es la tecnología más probada en el mundo con resultados exitosos, está sola unidad de tratamiento logran alta remoción de carga contaminante (>95%), es un proceso estable y seguro; la principal desventaja es que para lograr el proceso aerobio se hace necesario la utilización de equipos con requerimientos de energía un poco más altos que las restantes alternativas planteadas

En general, el tratamiento de las aguas residuales domésticas, para el presente caso, consta de cuatro fases, a saber: (i) Tratamiento preliminar; (ii) Tratamiento secundario; (iii) Manejo de los lodos;

Las aguas residuales provenientes del emisario final entran a la estructura de tratamiento preliminar en donde, por facilidad en la construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejas (gruesas y finas), los desarenadores y la unidad de medición de flujos. Seguidamente se dispondrá de un pozo de bombeo, desde donde se bombeará el agua hacia el tratamiento secundario.

El efluente proveniente del tratamiento preliminar será conducido a dos tanques de aeración que tendrán un volumen de con tiempos de retención calculado con una relación F: M de 0.10 Kg DBO/Kg-MLSS-d, una concentración de MLSS de 3,5 a 4,0 Kg/m³ y Carga Volumétrica de 0,3 a =0,6 Kg DBO/m³-d

En esta unidad se inyectará aire mediante sopladores de capacidad de trasferir el aire con potencia de 1 HP por 1,5 Kg de O₂ requerido con una presión de 9 psi y para lo cual se usarán sopladores con la mitad del caudal de forma que se tendrán dos sopladores en funcionamiento y un en stand by, para la incorporación de aire en el fondo del tanque se utilizarán difusores de burbuja fina circulares de 12" con capacidad de 7 m³/h y eficiencia de transferencia de oxígeno

El proceso aeróbico consiste en favorecer el desarrollo de una colonia bacteriana en un depósito de aeración alimentado con el efluente a tratar. La masa biológica así desarrollada, utiliza la DBO del efluente crudo y los nutrientes para la síntesis de materia celular viviente. De esta manera, se procede a una eliminación biológica de la contaminación por asimilación de la masa bacteriana. La mezcla del efluente con la colonia bacteriana es denominada licor mixto.

El pre diseño del tratamiento biológico se basó en el sistema de lodos activados por aeración extendida por las siguientes razones:

- Se aseguran eficiencias satisfactorias en remoción de carga orgánica, obteniéndose una calidad del efluente que cumpla con las normas ambientales.
- Confiabilidad.
- Sencillez de operación.
- La disposición de lodos no se hace rápidamente. En este caso se pretende suministrarle al sistema menor tiempo de retención y mayor oxigenación para hacer efectivo la degradación del material orgánico.
- Estabilización del lodo biológico

El "licor mixto" producido en el proceso de aeración, es enviado a continuación hacia el sistema de clarificado y tanque de desinfección

Mientras el efluente es recuperado superficialmente para su disposición final, los lodos son parcialmente evacuados por gravedad hacia un pozo de lodos y devueltos por bombeo hacia el tanque de aeración con el fin de mantener en el mismo una concentración suficiente. De esta forma, la masa biológica en el tanque de aeración crece constantemente de forma que es necesario extraer periódicamente una porción de este lodo activado para enviarlo hacia el sistema de deshidratación de lodos.

Los lodos derivados de los clarificadores serán llevados hacia un pozo de lodos para hacer

parcialmente la recirculación de estos hacia el proceso aerobio y los lodos excedentes serán deshidratados

Tabla 26 Procesos de Lodos Activados Ventajas y Limitaciones

PROCESO	VENTAJAS	LIMITACIONES
Convencional	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso conocido. • Adaptable a diferentes esquemas de operación incluido diseño del selector y procesos anóxicos/aeróbicos. • Remoción de Amoníaco. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de Biodigestor para estabilización de los lodos. • Puede ser difícil hacer coincidir el suministro de oxígeno con la demanda de oxígeno en el arranque.
Alta Tasa	<ul style="list-style-type: none"> • Los tanques de aireación requieren un menor volumen que los reactores convencionales. • Menor requerimiento de energía para la aireación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor estabilidad en el tratamiento y por lo tanto una menor calidad del efluente. • Producción de lodos alta. • Requerimiento de Biodigestor para la estabilización de los lodos. • No es adecuado para desarrollar procesos de nitrificación.
Aireación Extendida	<ul style="list-style-type: none"> • Alta calidad en el efluente tratado. • Diseño y operación relativamente sencillas. • Lodo estabilizado y baja producción de biosólidos. • No se requiere de la instalación de biodigestores por la alta edad de lodo que manejan. • Capaces de tratar cargas altas de contaminantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto requerimiento de energía. • Tanques de aireación relativamente grandes.
Zanjón de Oxidación	<ul style="list-style-type: none"> • Alta calidad en el efluente tratado. • Capaces de tratar cargas altas de contaminantes. • Adaptables para remoción de nutrientes. • Procesos de alta confianza y operación simple. • Menor uso de energía que los reactores de aireación extendida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras grandes, por lo cual requieren de mayor espacio. • Baja relación de A/M pueden causar "bulking". • Dificultad en la expansión de la planta. • Mayor dificultad de construcción que los reactores de aireación extendida.

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

12.6.3. Alternativa N. 3. Reactor Anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + Reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP) + Sedimentación secundaria + Lechos de Secado.

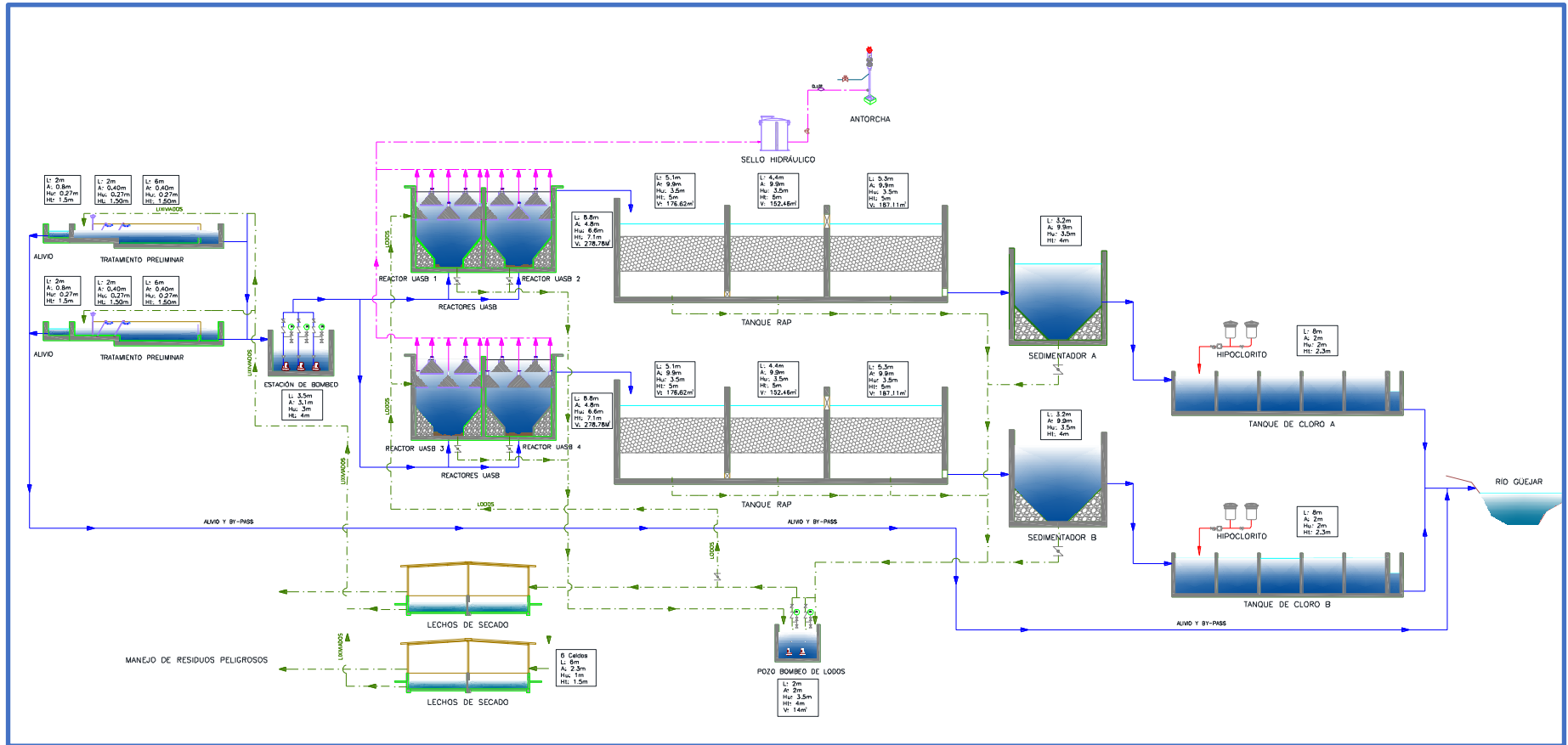
La alternativa 3, consiste en la utilización de una tecnología de tipo mixta, con proceso anaerobio-anaerobio, en medio suspendido (UASB), y medio fijo (RAP). El sistema propuesto admite variaciones en las cargas orgánicas influentes al sistema de tratamiento, como consecuencia de las bondades que ofrece la tecnología anaerobia para atenuar picos contaminantes y presentar mínimos volúmenes de lodos secundarios.

Esta alternativa tecnológica constará de las siguientes unidades de tratamiento:

- ✓ Estructura de alivio, By Pass
- ✓ Canal de entrada
- ✓ Rejas gruesas y finas
- ✓ Desarenadores
- ✓ Canaleta Parshall o vertedero Sutro
- ✓ Reactores UASB y RAP
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Pozo bombeo de lodos y recirculación
- ✓ Antorcha para manejo de gases
- ✓ Lechos de secado de lodos
- ✓ Desinfección

El diagrama de procesos para este tipo de escenario tecnológico es el que se presenta en la Figura 8

Figura 8. Diagrama de procesos Alternativa 3. UASB + RAP



Fuente. Propia

La ventaja principal del sistema propuesto dentro de la presente alternativa es la alta remoción lograda (>90%), y la baja producción de lodos; la principal desventaja es la falta de un tanque de alimentación que permita la regulación del caudal al sistema.

La tecnología corresponde a un tratamiento de tipo mixto anaerobio-anaerobio, consistente en reactores UASB seguidos de reactores RAP; enseguida se presenta una descripción de los procesos y de las unidades de tratamiento que conforman el sistema de tratamiento.

El sistema es eficiente y fiable en lo que respecta a eficiencias en remoción de carga, con la ventaja que los consumos de energía y la producción de lodos son menores que en un sistema aerobio. Esta tecnología resulta ser un sistema de tratamiento de bajo costo de mantenimiento, de elevado rendimiento y gran flexibilidad, y permite adaptarse a las variaciones estacionales del caudal y de la carga contaminante de los vertimientos de las aguas residuales domésticas municipales.

En general, el tratamiento de las aguas residuales domésticas, para el presente caso, consta de cuatro fases, a saber: (i) Tratamiento preliminar; (ii) Tratamiento secundario; (iii) Manejo de los lodos; y (iv) Manejo de gases.

Las aguas residuales provenientes del emisario final entran a la estructura de tratamiento preliminar en donde, por facilidad en la construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejillas (gruesas y finas), los desarenadores y la unidad de medición de flujos. Seguidamente se dispondrá de un pozo de bombeo (tanque de igualación y homogenización), desde donde se bombeará el agua hacia el tratamiento secundario (con lo anterior se logra una regulación del caudal influente).

En las rejillas gruesas y finas se retendrán los sólidos gruesos existentes en el agua residual (troncos, trapos, etc.), en el desarenador se eliminarán los sólidos finos con el objeto de reducir la formación de depósitos de arenas en el interior de tuberías, canales y conducciones. La canaleta Parshall permite establecer los caudales influentes al sistema de tratamiento.

Luego, el agua residual es enviada a el reactor UASB conformado por tres zonas: zona de mezcla zona degradación o digestión de la materia orgánica y zona de separación gas, líquido sólido SGSL, esta unidad anaerobia que opera como reactor anaerobio de descomposición inicial de la materia orgánica. En este reactor se alimenta el agua residual

mediante un sistema de distribución uniforme que hace contacto con el lecho de lodo donde se realiza la degradación de la materia orgánica; el flujo ascendente compuesto por agua, lodo y gas será separado a través de un separador SGLS especialmente diseñado que se encuentra ubicado transversalmente en el reactor. Este sistema de separación de fases conduce a la formación de un lecho de lodo significativo en las proximidades del cabezal de entrada, produciéndose un contacto excelente entre la biomasa y el substrato en el lecho de lodo y una actividad de saturación por gas inmediata.

Las burbujas de gas aumentan de tamaño y transportan partículas de lodo hacia arriba, a través del líquido, hasta llegar a la superficie donde estallan para luego asentarse nuevamente y con lentitud en el lecho de lodo. Estas partículas atraviesan muchos ciclos ascendentes y descendentes durante su permanencia en el reactor, logrando un buen contacto con el agua residual. El sistema de recolección de gas incluye un colector sobre el reactor que es conducido hacia un sistema de incineración mediante una antorcha automática.

El agua después del UASB descrito, pasa a 3 recintos (RAP), conformados por un medio de relleno donde se permitirá el crecimiento microbiano para la degradación de la materia orgánica y así complementar el proceso de depuración.

Mediante la formación de una película bacterial sobre una capa fija plástica, se consigue la formación de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de colonias microbianas de tipo anaerobio que se fijan al material de relleno, capaces de degradar la materia orgánica que contiene el agua residual. El desecho fluye hacia arriba a través del filtro (filtración ascendente) y hacia abajo (filtración descendente), entra en contacto con el medio y dado que las bacterias son retenidas y no se lavan con el efluente, se pueden obtener tiempos de retención celular del orden de los 100 días, por lo que se hace este sistema atractivo para tratar desechos de baja concentración a temperatura ambiente.

El líquido biológicamente tratado mediante bacterias anaerobias, pasa a un tanque de decantación con tolvas tronco-cónicas. El agua clarificada fluye a través de un sistema de vertederos de orificio sumergido que conducen hacia la salida a través de un vertedero, cuyo diseño está especialmente calculado para que la velocidad ascensional sea entre 0,5 y 1 m/h, permitiendo de esta forma que los flóculos por su mayor peso sedimenten en el fondo. Las paredes laterales tendrán la suficiente inclinación para facilitar el deslizamiento

de los mismos.

Los lodos derivados de los clarificadores serán deshidratados por medio de lechos de secado.

Para un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento, se ha previsto que las unidades de proceso tengan la capacidad de tratar la totalidad del influente, en caso de sacar alguna unidad de operación, por causas de labores de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Tabla 27 Ventaja y desventajas alternativa 3

Alternativa No. 3: UASB + RAP	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidad constructiva. ▪ Menor requerimiento de área. ▪ Relativos costos de inversión inicial. ▪ Menor costo de O&M. ▪ Facilidad para ampliación en su capacidad. ▪ Requiere escasa infraestructura institucional. ▪ Admite altas cargas orgánicas y de sólidos. ▪ Alta generación de empleo. ▪ Poca producción de lodos. ▪ Escasa afectación del paisaje. ▪ Producción de Biogás para generación de energía 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere energía para bombeo de lodos. ▪ Eliminación de patógenos por desinfección. ▪ Demanda insumos para la O&M. ▪ Agresión del recurso suelo (excavaciones). ▪ Generación de malos olores. ▪ Sensible a la contaminación con oxígeno. ▪ Medio corrosivo. ▪ Requiere temperatura > 22 °C. ▪ Arranque lento del sistema.

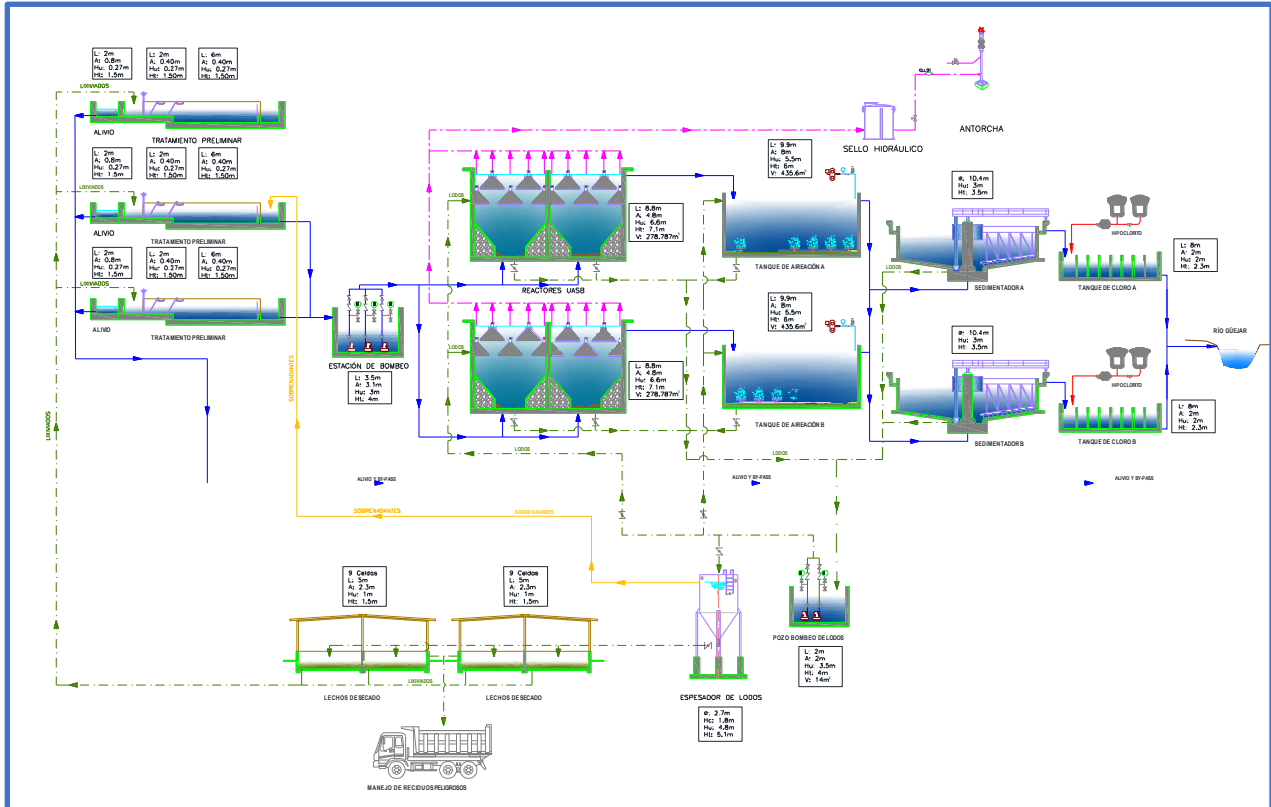
12.6.4. Alternativa N. 4. Reactor Anaerobio de flujo ascendente (RAFA o UASB) + Lodos Activados (LAC) + Sedimentación secundaria + Lechos de Secado.

La alternativa 4, Cconsiste en la utilización de una tecnología de tipo mixta, con proceso anaerobio-aerobio como lo es el reactor UASB + LAC. El sistema propuesto admite variaciones en las cargas orgánicas influentes al sistema de tratamiento, como consecuencia de las bondades que ofrece la tecnología anaerobia y aerobia para atenuar picos contaminantes y presentar mínimos volúmenes de lodos secundarios y adema puede

lograr con facilidad eficiencias en remoción de carga mayores al 95%.

El diagrama de procesos para este tipo de escenario tecnológico es el que se presenta en la Figura 9.

Figura 9. Diagrama de procesos Alternativa 4. UASB + LAC



Esta alternativa tecnológica constará de las siguientes unidades de tratamiento:

- ✓ Estructura de alivio, By pass
- ✓ Canal de entrada
- ✓ Rejas gruesas y finas
- ✓ Desarenadores
- ✓ Vertederos Sutro
- ✓ Reactor UASB
- ✓ Reactor de lodos activados
- ✓ Sedimentador secundario
- ✓ Bombeo de lodos y recirculación
- ✓ Cloración para desinfección

- ✓ Antorcha para manejo de gases
- ✓ Deshidratación por espesamiento y lechos de secado

La ventaja principal del sistema propuesto dentro del presente escenario es la alta remoción lograda (>95%) y la producción razonable de lodos; pero al carecer de un tanque de igualación y homogenización de caudales, que regule los caudales influentes al sistema, el reactor anaerobio (UASB), operará de forma deficiente en las situaciones de caudales mínimos, que ocasiona el asentamiento del manto de lodos en el fondo del reactor, y el taponamiento del distribuidor del mismo.

El sistema es eficiente y fiable en lo que respecta a eficiencias en remoción de carga, con la ventaja que los consumos de energía y la producción de lodos son menores que en un sistema aerobio. Esta tecnología resulta ser un sistema de tratamiento de bajo costo de mantenimiento, de elevado rendimiento y gran flexibilidad y permite adaptarse a las variaciones estacionales del caudal y de la carga contaminante de los vertimientos de las aguas residuales domésticas municipales.

En general, el tratamiento de las aguas residuales domésticas, para el presente caso, consta de cuatro fases, a saber: (i) Tratamiento preliminar; (ii) Tratamiento secundario; (iii) Manejo de los lodos; y (iv) Manejo de gases.

Las aguas residuales provenientes del emisario final entran a la estructura de tratamiento preliminar en donde, por facilidad en la construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejillas (gruesas y finas), los desarenadores y la unidad de medición de flujos. Seguidamente el efluente será conducido hacia el tratamiento secundario.

En las rejillas gruesas y finas se retendrán los sólidos gruesos existentes en el agua residual (troncos, trapos, etc.), en el desarenador se eliminarán los sólidos finos con el objeto de reducir la formación de depósitos de arenas en el interior de tuberías, canales y conducciones. El fluido pasa hacia un pozo de bombeo inicial y posteriormente a la estructura de afora la Canaleta Parshall que permite establecer los caudales influentes al sistema de tratamiento.

Luego, el agua residual es conducida al reactor UASB + LAC en donde se da el proceso anaerobio y aerobio. El clarificado es conducido hacia un tanque de desinfección donde se aplicará hipoclorito de sodio y lograr la eliminación de organismos patógenos este tanque

tiene un tiempo de retención de 30 minutos del caudal de diseño.

Los lodos derivados de los clarificadores serán llevados hacia un pozo de lodos para hacer la recirculación de estos hacia el proceso aerobio y los lodos excedentes serán llevados a un espesador de lodos y finalmente a los lechos de secado.

Para un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento, se ha previsto que las unidades de proceso tengan sistemas de bypass para poder tratar el influente, en caso de sacar alguna unidad de operación, por causas de labores de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

El dimensionamiento del sistema aerobio se realiza considerando los siguientes criterios de diseño:

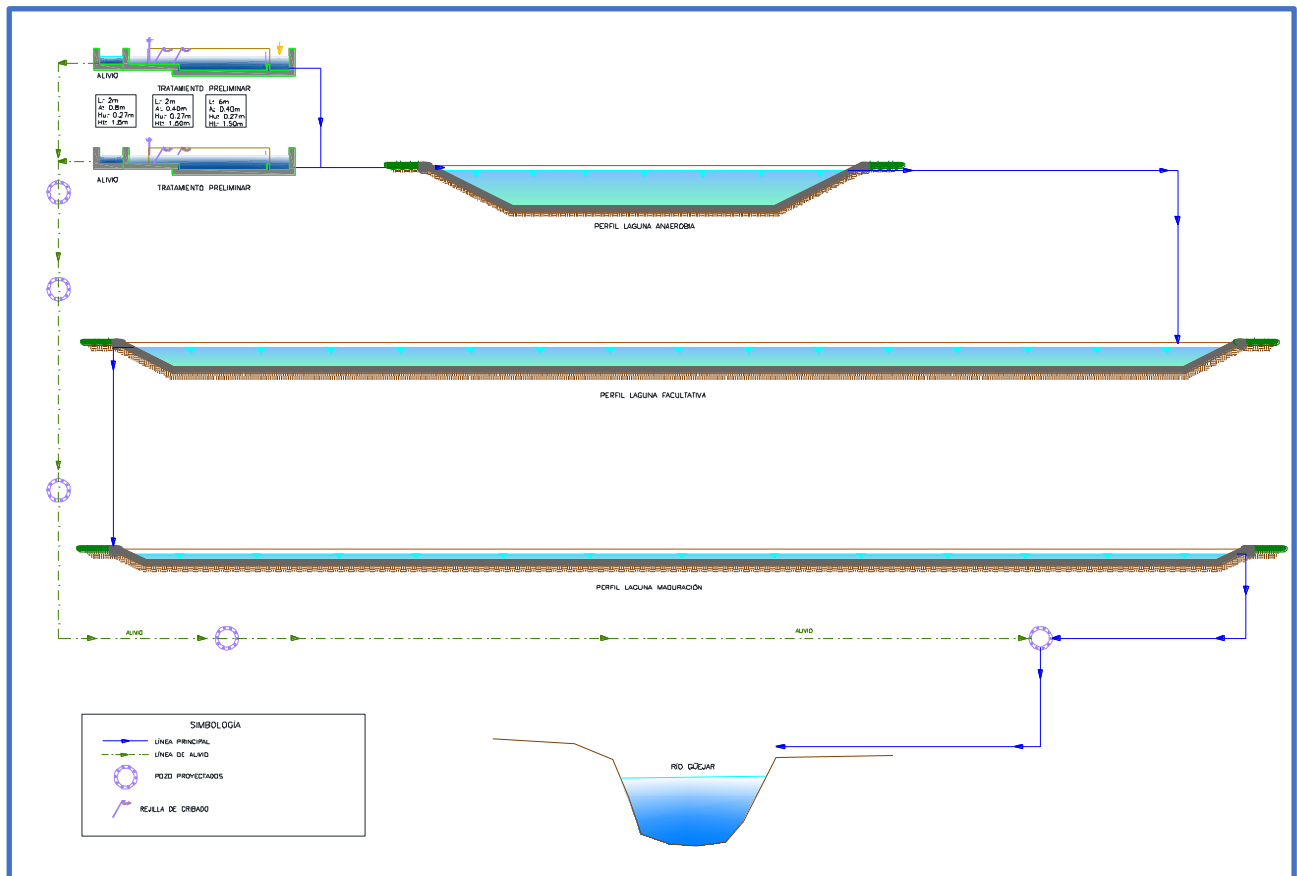
- Carga másica: 0.15 kg DBO/kg-MLSS-D
- Concentración de lodos activados 4.00 Kg/m³
- Edad de lodo: 15 días
- Carga volumétrica: 0.6kg DBO/m³-día
- Tasa O₂ respiración MO: 0.5 kg O₂/kg DBO
- Tasa O₂ respiración MO: 0.1 kg O₂/kgMLSS-día
- Tasa O₂ para oxidar N: 3.5 kg O₂/kg N

12.6.5. Alternativa N. 5. Lagunas de estabilización

La alternativa 5, Cconsiste en la utilización de una tecnología con unas de las mayores aplicaciones en Latinoamérica para municipios con pequeñas poblaciones cuyo sistema lagunar estará conformado por una laguna anaerobia seguida de una facultativa y al final una de maduración para lograr unas eficiencias por arriba del 95%. Es importante anotar que para el diseño de este sistema se debe realizar con el caudal medio en tiempo seco es decir 14,00 L/s (RAS artículo 166, Tabla 22)

El diagrama de procesos para este tipo de escenario tecnológico es el que se presenta en la Figura 10. Diagrama de procesos lagunas de estabilizaciónFigura 10. Diagrama de procesos lagunas de estabilización

Figura 10. Diagrama de procesos lagunas de estabilización



Esta alternativa tecnológica constará de las siguientes unidades de tratamiento:

- ✓ Estructura de alivio
- ✓ Canal de entrada
- ✓ Rejas gruesas y finas
- ✓ Desarenadores
- ✓ Vertederos Sutro
- ✓ Laguna anaerobia
- ✓ Laguna facultativa
- ✓ Laguna de maduración

La ventaja principal del sistema propuesto dentro del presente escenario es la alta remoción lograda (>95%) y la producción de lodos permitirá hacer desalajo de ellas en un periodo superior a los 5 años

Esta tecnología resulta ser un sistema de tratamiento de bajo costo de mantenimiento, de elevado rendimiento y gran flexibilidad y permite adaptarse a las variaciones estacionales del caudal y de la carga contaminante de los vertimientos de las aguas residuales domésticas municipales, pero su gran desventaja es la ocupación de grandes áreas

Las aguas residuales provenientes del emisario final entran a la estructura de tratamiento preliminar en donde, por facilidad en la construcción y operación se unirá en una única estructura, a las cámaras de llegada y salida, las rejillas (gruesas y finas), los desarenadores y la unidad de medición de flujos. Seguidamente el efluente será conducido hacia el tratamiento secundario.

13. Dimensionamiento de las Unidades del Sistema de Tratamiento de las Alternativas

Para el dimensionamiento de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento de cada una de las alternativas, realizaremos los dimensionamientos de acuerdo al sentido de flujo de cada sistema, se presenta como anexo el archivo en Excel con todos los cálculos hidrosanitarios, para cada una de las unidades que conforman cada alternativa

Hay unidades de tratamiento que son iguales para cada una de las alternativas como es el tratamiento preliminar y la unidad de desinfección de tal forma realizaremos este dimensionamiento en la parte inicial y final

13.1. Cálculos del Tratamiento Preliminar para Todas las Alternativas

Los dimensionamientos de esta unidad de tratamiento se realizan de acuerdo al capítulo 6 parámetros de diseño de este documento, para el tratamiento preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Mesetas todos los cálculos de esta unidad son para el Caudal máximo horario 47,10 L/s (QMH) dividido en tres unidades dos en funcionamiento y una tercera en proceso de limpieza y mantenimiento

13.1.1. Vertedero de excesos

La capacidad de la PTAR es para la operación con los caudales de tiempo seco, los

caudales excesos ocasionados en época de lluvias, se dispone de una cámara de control de caudales para evitar que a la PTAR ingresen caudales superiores a los de diseño. En consecuencia, el caudal de diseño del vertedero de excesos es igual al del caudal máximo horario de tiempo seco, teniendo en cuenta que el caudal que pasa en las estructuras de alivio de los interceptores es igual a 2 veces el caudal máximo horario.

Se dimensionaron con base en tres métodos

Los aliviaderos de tipo lateral consisten en un vertedero que debe dimensionarse adecuadamente para cumplir la función de impedir que se viertan aguas negras antes de que hayan llegado a determinado punto de dilución.

Mediante la ecuación de Manning se establece el tirante del canal de entrada y el tirante de salida para el vertedero.

13.1.1.1. Coleman – Smith Y Dempster

$$L = 1.417 * WV * h_0^{0.1} * \left[\frac{1}{\sqrt{h_1}} - \frac{1}{\sqrt{h_0}} \right]$$

Definición de las variables:

L = Longitud del vertedero (m).

W = Ancho promedio del canal (m).

Si el canal es circular, W = diámetro (D).

V = Velocidad de llegada (m/s).

h₁ = Altura de la lámina de agua, aguas abajo (m).

h₀ = Altura de la lámina de agua, aguas arriba (m).

13.1.1.2. Gomez Navarro

$$L = \frac{Q_v}{0.75 * h_0^{\frac{3}{2}}}$$

Q_v = Caudal a verter

L = longitud del vertedero

H₀ = altura de la lámina de agua a la entrada

Resolviendo para las anteriores formulas y teniendo en cuenta que el vertedero será dividido en dos y verterá a lado y lado del canal.

13.1.1.3. Engels

$$L = 0.51 \cdot (Q^{1.1} / H^{1.87})$$

Definición de las variables:

L = Longitud del vertedero (m).

Q = Caudal por verter (m³/s).

H= Altura de la lámina de agua, aguas arriba (m).

Como se puede observar, existe gran diversidad de fórmulas y criterios de diseño, los cuales en ningún caso están errados, pero que permiten observar un amplio horizonte de diseño.

Tabla 28 Dimensionamiento estructura de alivio

Tabla de Cálculo de estructura de alivio por vertederos laterales de Pared Gruesa				
Parámetros	Simbolo	Unidades	Vertedero	Vertedero 2 caras
Longitud según Engels	L	m	5,10	2,55
Longitud del vertedero Gomez Navarro	L	m	6,98	3,49
Longitud del vertedero Smith, Coleman y Dempster	L	m	2,97	1,48
Promeio l	L	m	5,02	2,51
Velocidad llegada	V		3,35	
Diámetro de llegada	Do	m	0,300	
Altura lámina Inicio	ho	m	0,112	
Altura lámina final	h1	m	0,052	
Caudal de diseño Aliviadero	Qv	m ³ /h	702,57	
Caudal que sigue (QMH)	Qs	m ³ /h	150,12	
Área Colect. Llegada	Ao	m	0,07	
Área Colect. Que sigue	A1	m	0,03	
Diámetro que sigue	D1	m	0,30	
Caudal total	Qt	m ³ /h	852,69	
Ancho medio del canal de vertimiento	W	m	0,60	
Relación de caudales	Q/Q0		0,20	
Relación de caudal contra tubo lleno	Qv/Q		0,82	
RESUMEN DE LA ESTRUCTURA				
Longitud		m	2,51	
Ancho del Canal entrada		m	0,60	
Ancho del Canal salida		m	0,60	
Ancho promedio del Canal		m	0,60	
Ancho del desborde	2	m	0,30	
Ancho muros canal	2	m	0,15	
Ancho total canal		m	1,5	
Altura canal		m	0,05	
Placa de fondo del canal		m	0,15	
Altura a fondo		m	0,50	
Diametro de salida de alivio		pulg	12,00	

13.1.2. Canal de aproximación

Con base en la ecuación de Manning se calculó el canal de aproximación a las rejillas para la verificación de velocidades

Tabla 29 Dimensionamiento canal de aproximación

I. DISEÑO DEL CANAL DE APROXIMACION		
Q	47,10	L/s
n	0,013	Coficiente de rugosidad
b	0,800	Ancho del canal (m)
s	0,010	Pendiente del canal m/m
h	0,012	Altura de lamina
v	0,397	Velocidad de aproximación
Area	0,010	m ²
Perimetro	0,824	m ²
Radio H	0,012	m
Q	0,047	m ³ /s
h (interando)	0,012	m
Caudal	0,047	m ³ /s

Este canal tendrá una longitud de 1,00 m y un ancho de 0,80 m

13.1.3. Sistema de cribado grueso y fino

A continuación, se presentan los cálculos del cribado fino con base en la ecuación de El cálculo de las pérdidas de energía cuando pasa el caudal máximo esperado en la entrada de la PTAR se calcula usando la fórmula de Kirschmer y se presenta a continuación:

Fórmula de Kirschmer:

$$H_f = K * \left(\frac{t}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

- H_f = pérdida de carga en m
- K = factor de forma
- a= Espaciamiento entre barrotes en m
- t = Ancho de la barra en la dirección del flujo en m
- Ø= Angulo con la horizontal
- v= Velocidad aguas arriba en m/s
- g= Aceleración de la gravedad en m/s²

El diseño de la rejilla manual consiste en establecer, para condiciones propias de la misma (dimensiones, condiciones de limpieza, espacio entre barras, inclinación de las rejillas, forma y espesor de las barras), las pérdidas obtenidas cuando el agua pasa a través de ellas.

Se realizan dos cribados con diferente diámetro las barras para tener una separación entre barras diferente.

El diseño de las rejillas manuales son las siguientes

Tabla 30 Dimensionamiento rejillas gruesa y delgada

2. DISEÑO DE LA REJILLA GRUESA		
$H_f = K * (t / a)^{4/3} * \text{sen}(\varnothing) * V^2/2g$		
Q	0,024	m ³ /sg
K	2,420	Factor de forma de las barras
t	0,005	Ancho de la barra en la dirección del flujo (m)
a	0,020	separación entre barras (m)
∅	60,000	ángulo con la horizontal
V	0,397	Velocidad de aproximación del canal (m)
H _f	0,002	Perdidas con rejilla limpia
L	0,014	Longitud mojada de la rejilla
x	0,005	Espesor de la barra
b	0,400	Ancho de la rejilla (m)
# barras	16,153	
# espacios	17,153	
H _{f2}	0,010	Perdidas con rejilla sucia (m)

Tabla 31 Diseño rejilla fina

3. DISEÑO DE LA REJILLA FINA		
$H_f = K * (t / a)^{4/3} * \text{sen}(\varnothing) * V^2/2g$		
Q	0,024	m ³ /sg
K	2,420	Factor de forma de las barras
t	0,005	Ancho de la barra en la dirección del flujo (m)
a	0,010	separación entre barras (m)
∅	60,000	ángulo con la horizontal
V	0,397	Velocidad de aproximación del canal (m)
H _f	0,006	Perdidas con rejilla limpia
L	0,014	Longitud mojada de la rejilla
x	0,005	Espesor de la barra
b	0,400	Ancho de la rejilla (m)
# barras	27,096	
# espacios	28,096	
H _{f2}	0,010	Perdidas con rejilla sucia (m)

13.1.4. Desarenador

Se selecciona una estructura de sección rectangular con 3 módulos en paralelo de los cuales uno se mantiene en reserva para permitir el retiro de las arenas durante cualquier evento.

A continuación, se presenta el dimensionamiento del desarenador teniendo que como estructura de control y regulación de las velocidades se realiza a través de una canaleta Parshall

Los parámetros más importantes a tener en cuenta de acuerdo a la resolución 0330 será la velocidad en los canales desarenados y la tasa de desbordamiento superficial

Tabla 32 Cálculo de desarenador con tres canales

MUNICIPIO DE MESETAS META							
DISEÑO SEGÚN RESOLUCIÓN 330 DEL 2017, 799 DEL 2021							
DESARENADOR CON 3 CANALES							
NOTA	Las celdas con el fondo en color gris, corresponden a valores de entrada; y las respuestas se presentan en las celdas de color rojo.						
I. DISEÑO DE LA CANALETA PARSHALL							
<i>Ecuaciones para las Canaletas Parshall</i>							
Q_{med}	7,00 l/s	0,25 cfs				Q_{min}	Q_{max}
Q_{max}	23,55 l/s	0,83 cfs	$W = 3"$	$Q = 0,992 H_a^{1,547}$	0,85	53,80 L/s	
Q_{min}	3,50 l/s	0,12 cfs	$W = 6"$	$Q = 2,06 H_a^{1,58}$	1,42	110,44 L/s	
			$W = 9"$	$Q = 3,07 H_a^{1,53}$	2,55	252,02 L/s	
W	3 plg		$W = 12'$ a 8'	$Q = 4 W H_a^{1,522W^{0,02}}$	3,11	3.950,20 L/s	
			$W = 10'$ a 50'	$Q = (3,6875 W + 2,5) H_a^{1,6}$			
Resultados							
H_a med	0,407 ft	0,124 m					
H_a max	0,892 ft	0,272 m					
H_a min	0,260 ft	0,079 m					
z	0,150 ft	0,046 m					
H_a-z	0,742 ft	0,226 m					
II. DISEÑO DEL DESARENADOR							
				Carga Superficial	1000 m ³ /m ² /día		
				Chequeos de B y L para Q_{min}			
A_{sup}	2,03 m ²			Calculados	Asumidos		
B (ancho)	0,35 m	0,40 m		OK	OK	V	0,26017
L (long.)	5,87 m	6,00 m		OK	Disminuya L	L CANAL	8,00
VERIFICACION AREA		2,4 m ²		Velocidad < 0,3 m/s			
LONGITUD REJILLAS		2 m					

Las dimensiones seleccionadas son las siguientes:

Longitud: $L = 6,00 \text{ m}$

Ancho: $B = 0.40 \text{ m}$

Profundidad lámina de agua: $H_d = 0,27 \text{ m}$

La carga hidráulica máxima superficial es de: $1000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$

La velocidad de operación es de: $0,30 \text{ m/s}$

13.1.5. Pozo de bombeo inicial

Al efluente una vez les sea retirado los sólidos gruesos y las arenas, pasará al pozo de bombeo inicial el cual tendrá la función de almacenar el agua para homogenizar, para de este ser bombeando a las estructuras de tratamiento secundario para lo cual se adopta un tiempo de retención de 3 minutos, considerando la recirculación.

Tabla 33 Dimensionamiento pozo de bombeo inicial

Tiempo de detención	5,0 min
Caudal=	2,83 m^3/min
Volumen=	14,2 m^3
Altura lamina de agua	2,00 m
Altura total	3,00 m
Ancho=	2,70 m
Largo=	2,70 m
Anchos muros	0,30 m

En este tanque se instalarán 3 bombas sumergibles con capacidad de 23,60 l/s y 17 m.c.a cada una, para que alimenten los 2 módulos de tratamiento y una 3ª bomba se reserva en caso de mantenimiento de una de ellas, o en su defecto para alternarlas.

13.2. Dimensionamiento del Tratamiento Secundario

A continuación, se realizan los dimensionamientos de las unidades de tratamiento secundario y biológico para cada una de las alternativas como anexo se presenta un archivo en Excel con las respectivas hojas de cálculo de cada una de las unidades de proceso que conforman el sistema de tratamiento

Tabla 34 Dimensionamiento filtro percolador

DISEÑO GENERAL					
MUNICIPIO DE MESETAS META					
FILTRO PERCOLADOR CON RELLENO PLÁSTICO TIPO CASCADE FILTERPACK 100 m²/m³ DE RELLENO					
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	ECUACION	COMENTARIO
Numero de modulos	UN	2,00			
DBO in	mg/l	288,00	Si	mg/l	
Caudal maximo mensual	l/s	35,09	QMM	l/s	
Caudal horario	m ³ /h	126,33	Qh	QMM*3,6	
Carga organica influente	kg DBO ₅ /d	873,16	Lt	Si*Qd/1000	
Caudal diario	m ³ /d	3031,82	Qd	Qh*24	
Si influente	mg DBO ₅ /l	288,00	S	Lt/Qd*1000	
Temperatura del agua	°C	24,00	T	°C	
Carga volumetrica percolador	kg DBO/(m ³ .d)	0,70	Cp		bajas 1 a 2 mediac 2 a 5 altas 5 a 8
Altura del filtro	m	5	Hf		
Volumen del relleno total	m ³	1247	V	Cp/Lt	Lt/Cp
Cantidad de tanques		2			
Diametro tanque	m	13,00	D	m	
Area del tanque		132,73	A		
Lado tanque (si cuadrado)		11,52			
Velocidad irrigacion	m ³ /(m ² .d)	18,23	Vi	m ³ /(m ² .d)	Menor a 40 m ³ /m ² .d
Carga hidráulica sin recirculación	l/m ² .s	0,141	q	l/m ² .s	
Carga hidráulica Con recirculación	l/m ² .s	0,397	q	l/m ² .s	
Kc20		0,21	Kc		factor de referencia
K20		0,167	K	$Kc*(6.1/Hf)^{0.5}*(150/Si)^{0.5}$	coef. de tratabilidad
Eficiencia	%	92,28	E (%)	$(100-E*(-(K*Hf*1.035^{(T-20)/q^{0.5}})*100))$	
Se Concentracion de DBO a la salida	mg DBO ₅ /l	22,24		Si-(E*Si/100)	
Alimentacion	%	150	Re		
Caudal + recirculación	m ³ /d	4547,73	Qt	Qd*Re/100	
Carga hidráulica con recirculación	m ³ /m ² -h	0,71	qT	(Qt/24/A)	0,37 a 1.65
Capacidad Pozo de recirculación	m³	32,00	Vp	QT/24/60*15	
H Util	m	3			
Area	m ²	10,70			
Longitud	m	3,50			
Ancho	m	3,10			

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa de filtro percolador tendrá las

siguientes dimensiones

Numero de filtros	2
Diámetro del tanque	13 m
Altura total del tanque	7,00 m
Altura del relleno	5,00 m
Volumen total de relleno	1247 m ³

Luego del tratamiento Biológico se contará con el sistema de sedimentación

13.2.1.2. Dimensionamiento Sedimentador secundario

Para el dimensionamiento del sedimentador se realizar para el caudal máximo horario de acuerdo a la resolución 0330 y 0799 en nuestro caso serán dos sedimentadores cada uno para la mitad del caudal

Tabla 35 Dimensionamiento sedimentador secundario

MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO SEDIMENTACION				
CRITERIOS DE DISEÑO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL HORARIO	l/S	47,10		
N DE SEDIMENTADORES	UN	2,00		
CAUDAL HORARIO	m ³ /hr	84,78	Qhp	
CONCENTRACION DE LA BIOMASA	Kg/m ³	4,00		
CARGA SUPERFICIAL TEORICA	m ³ /m ² -hr	1	So	ENTRE 0.5 Y 1.0
CARGA SUP. VOL.LODOS	m ³ /m ² -hr	0,4	SL	
TIEMPO DE RETENCION	hr	3	TRS	
VELOCIDAD HORIZONTAL	m/hr	54	vh	MUCHO MENOR DE ESTE VALOR
TASA RETORNO	%	50	Re	
INDICE VOL.LODOS	m ³ /Kg SS	0,1	SVI	$(1.2*Re)/[(M/10)+(Re*M)1000]/1000$
DESARROLLO				
AREA 1	m ²	84,80	A1s	Qhp/So
AREA 2	m ²	84,80	A2s	Qhp*M*SVI/SL
AREA TANQUE SED.	m ²	84,80	As	MAYOR DE ARRIBA
VOLUMEN TANQUE SED.	m ³	254,30	Vs	Qhp*TRS
PROFUNDIDAD MEDIA	m	3,00	Hms	Vs/As
L MINIMA VERTEDERO	m	5,66	Lmv	As/(5*Hms)
SI TANQUE CIRCULAR				
DIAMETRO TANQUE SED.	m	10,40	Ds	$(4*As/3)^{0.5}$
LONGITUD VERTEDERO SALIDA	m	32,70	Lvs	$2*PI*D_s/2$
CHEQUEO VERTEDERO SALIDA				O.K.
CARGA SUPERFICIAL REAL	m ³ /m ² -hr	1,00	Sor	$PI*D_s^2/4$
CHEQUEO CARGA SUPERFICIAL				O.K.

Nuestros sedimentadores tendrán las siguientes dimensiones

Diámetro Interno:	10,40 m
Diámetro externo	12,40 m
Altura lámina de agua	3,00 m
Altura total	3,50 m
Pendiente del fondo del sedimentador	7%

13.2.1.3. Dimensionamiento deshidratación de lodos

A continuación, se presenta la producción de lodos para todo el sistema de tratamiento a través de espesamiento de lodos y lechos de secado antes de pasar a los lechos de secado se contará con dos espectadores de lodos

Tabla 36 Dimensionamiento espesador de lodos

DISEÑO ESPESADOR DE LODOS		
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
FLUJO LODOS		
CANTIDAD	kg/d	413,84
VOLUMEN	GPM	0,08
L. DIGERIDOS		413,84
ESPEZADOR	N	2,00
CARGA LODOS	kg/m ² -seg	0,00
CARGA LODOS	KG/M2-D	35,42
AREA ESP	m ²	5,84
DIAMETRO	m	2,73
LADO INFERIOR	m	0,30
DIAMETRO REAL	m	2,70
ALTURA CONO	m	1,80
VOLUMEN CONO	m ³	3,44
ALTURA CILINDRO	m	1,80
H TOTAL CILINDRO	m	2,10
BORDE LIBRE + SOBRN.	m	0,30
ALTURA TOTAL ESPESADOR	m	3,90
VOLUMEN ESPEZADOR	m ³	13,74

Tabla 37 Dimensionamiento lechos de secado

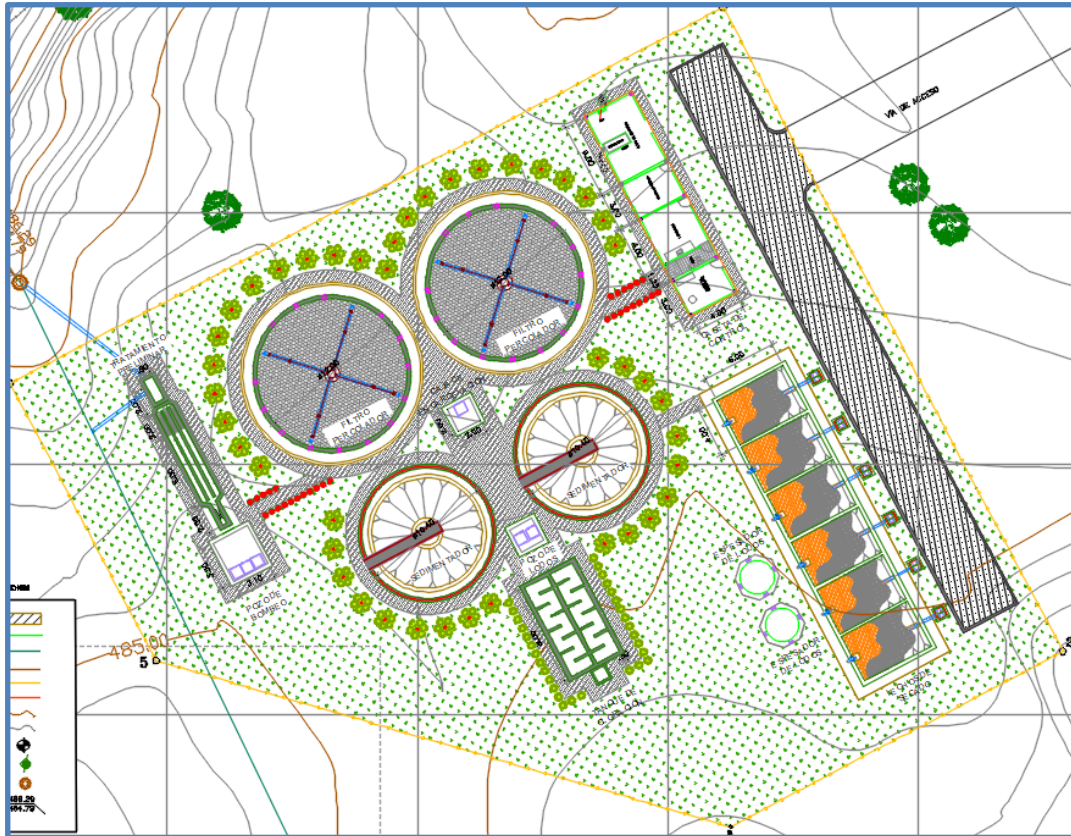
DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO DESHIDRATACIÓN DE LODOS AEROBIOS				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA O ECUACION
CAUDAL AR	m ³ /hr	126,33	Q	
DBO in	ppm	288,00	DBO IN	
DBO out	ppm	15,00	DBO OUT	
DBO in	Kg/d	873,16	DBO in	$DBO\ in = DBO\ in\ X\ Q$
DBO out	Kg/d	45,48	DBO out	$DBO\ out = DBO\ out\ X\ 0,1$
DBO removida	Kg/d	827,69	DBO Remov	$DBO\ rem = DBO\ out - DBO\ in$
Factor prod. lodos	lodos/DBO remov.	0,50	F-LOD	$LOD = F - LOD\ x\ DBO\ Remo$
Producción de Lodos	Kg/d	413,84	LOD	
TOTAL LODOS	Kg/d	413,84	TOTAL LOD	
FLUJO LODOS	GPM	0,076	Q LODOS	
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /h	0,01724	VOL. LODOS/TANQUE	$V\ Lodos/ tanque = (Q\ lodos * \frac{3,7853}{1000}) * 60$
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /d	0,414	VOL. LODOS/TANQUE	
VOLATILES	%	0,100	% VOLATILES	
DESTRUIDOS	%	0,100	% DESTRUIDOS	
LODOS NETOS	m ³ /d	0,414	LODOS NETOS	$Lodos\ netos = Vol.\ Lodos/ tanque * (1 - \frac{Volatiles}{100} * \frac{Destruidos}{100})$
LODOS DEL ESPESADOR				
% SOLIDOS	%	3,0	%S	
LODOS PRODUCIDOS	m ³ /d	13,79	LODOS P	$LODOS\ P = \frac{LODOS\ NETO}{\%S}$
TIEMPO DE BOMBEO	horas	8,000	TIEMPO B	
TASA DE BOMBEO	m ³ /h	1,724	TB	$TB = \frac{LODOS\ P}{TIEMPO\ B}$
LECHOS SECADO LODOS				
TIEMPO DE SECADO	días	5	TS	
VOLUMEN LODOS TOTAL	m ³	68,97	VLT	$VLT = LODOS\ P\ X\ TS$
PROFUNDIDAD TORTA	m	0,5	PRO	
AREA LECHOS	m ²	137,95	A L	$AL = VLT / PRO$
LADO 1 CELDA 1	m	6	LA 1 C 1	
LADO 2 CELDA 1	m	4	LA 2 C 2	
AREA TOTAL CELDA 1	m ²	24	AT C1	$AT\ C1 = LA\ 1\ C\ 1\ X\ LA\ 2\ C\ 2$
NUMERO DE CELDAS		5,75	NC	
NUMERO DE CELDAS REAL		6,00	NCR	$NC = A\ L / AT\ C1$

Los lechos de secado tendrán las siguientes dimensiones

Numero de celdas	6
Longitud de la celda	6,00 m
Ancho de la celta	4,00 m
Altura útil, material de filtrado y lodos	1,00 m
Altura Total	1,50 m

Techo En estructura de acero y teja traslucida

Ilustración 10 implantación alternativa 1 Filtros percoladores



Área ocupada 3174 m²

13.2.2. Alternativa 2 Lodos activados + sedimentación + deshidratación de lodos

13.2.2.1. Dimensionamiento Tanque de aireación

Para el dimensionamiento de este reactor se tuvo en cuenta los parámetros de diseño y los cálculos realizados con base en las fórmulas y conceptos teóricos de los lodos activados por aireación extendida y prácticos los cuales se presentan en el anexo 4

A continuación, se presenta el diseño de la unidad de tanque de aeración y requerimientos de aire el cual se suministrará a través de sopladores y difusores

Se calculará el sistema para los a parámetros de aireación extendida en un primer lugar aparecen los parámetros de diseño, luego las dimensiones del tanque de aireación y de final la cantidad de aire a suministrar y la potencia de los equipos

Tabla 38 Dimensionamiento reactor aerobio

DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO REACTOR AEROBIO DE LODOS ACTIVADOS				
PARAMETROS DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	ECUACION
CAUDALES				
Q DE DISEÑO PTAR	l/s	35,09		
Q DE DISEÑO PTAR	m ³ /hr	126,33		
Q HORA. PICO PROYECT.	l/s	47,10		
NUMERO DE MODULOS	UN	2,00		
CAUDALES POR MODULO				
Q DE DISEÑO PTAR	l/s	17,55		
Q DE DISEÑO PTAR	m ³ /hr	63,20		
Q HORA. PICO PROYECT.	l/s	23,55		
Q HORA. PICO PROYECT.	m ³ /hr	84,78		
DBO5	mg/L	288,00		
CARGA DBO5	Kg/d	436,84		
N AFLUENTE	mg/L	40,00		
CARGA N	Kg/día	60,67		
P AFLUENTE	mg/L	7,80		
CARGA P	Kg/día	11,83		
CARGAS				
DBO5 TOTAL	Kgr/DIA	436,84	LT	$LT = \frac{q * P}{1000}$
REDUCCION DE LA DBO	%	95,00	Eb	
CARGA MASICA	Kg DBO/Kg-MLSS-D	0,1	Ls	
CONC.LODOS ACTIVADOS	Kg/m3	4,00	M	
CARGA NITROGENO	g N/ca-día	9,35	n	
N-NH4 TOTAL	Kg NH4-N/día	60,67	LN	$LN = \frac{n * Pp}{1000}$
CARGA HORARIA N-NH4	Kg N-NH4/hr	2,53	LNd	$LNd = \frac{LN}{10}$
DESARROLLO				
REMOCION EN PRIMARIO	%/100	0,05	rp	
CARGA AL TANQUE AIR.	Kg DBO/DIA	415,00	L	$L = LT - rp * i$
PESO SECO LODOS	Kg	4149,96	WL	$WL = L/L_s$
PRODUCCION DE LODOS	Kg MLSS/DIA	278,58	PL	$PL = 1,2 * (LS^{0.23}) * (Eb/100) * L$
PESO SOLIDOS	%	0,5	PS	
PESO DE AGUA	%	99,5	PA	
DENSIDAD LODOS	Kg/m ³	5	DL	$DL = (PS/100) * 1000$
VOLUMEN LODOS	m ³ MLSS/DIA	55,72	VL	$VL = PL/DL$
N LODO EXCESO	Kg N/día	11,14	NLex	$NLex = PL * 6/100$
EDAD DEL LODO	DIAS	15,0	Le	$Le = WL/PL$

Continuación Tabla 38 dimensionamiento reactor aerobio

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
TIPO AIREACION	EXTENDIDA			
VOLUMEN EFECTIVO TANQUE	m ³	1037,00	VT	$VT = WL/M$
t AIREACION REAL	HORAS	16,41	TTAT	$TTAT = VT / Qhp$
t AIREACION TEORICO	HORAS	16,41	TTAR	VT / Qhp Si > 18 o < 24
CARGA VOLUMETRICA	Kg DBO/m ³ -d	0,40	CV	$CV = L/VT$
PROF. LAMINA AGUA	m	5,5	H	
NUMERO DE TANQUES	UNIDAD	1		
AREA POR TANQUE AIR.	m ²	188,55	AT	$AT = \frac{VT}{H}$
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
ALTURA TOTAL	m	6	HT	$HT = H + BL$
DIAMETRO	m	15,50	r	$r = HT/2$
GEOMETRIA DEL TANQUE				
SI TANQUE CUADRADO:				
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
ALTURA TOTAL	m	6	HT	$HT = H + BL$
LADO DEL TANQUE	m	13,73	l	$l = AT^{0.5}$
SI TANQUE RECTANGULAR:				
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
RELACION LARGO/ANCHO		2	lt:w	
ANCHO DEL TANQUE	m	9,70	wt	$wt = \frac{AT}{i:w}$
LONGITUD DEL TANQUE	m	19,40	lt	$lt = wt * (lt:w)$
SI TANQUES CONCENTRICOS CON SEDIMENTADOR:				
AREA TOTAL	m ²	273,32	ATC	$ATC = A_s + A_t$
DIAMETRO TOTAL	m	18,65	DTC	$DTC = \left(4 * \frac{ATC}{3/4}\right)^{0.5}$
ANCHO TANQUE AIR.	m	4,13	WTA	$WTA = (DTC - D_s)/2$

Continuación Tabla 38 dimensionamiento reactor aerobio

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
OXIGENACION				
TASA O2 RESPIRACION M.O.	KgO2/KgDBO	0,5	a	
TASA O2 RESP. ENDOGENA	KgO2/KgMLSS-día	0,1	KRE	
O2 NITRIFICACION	Kg N/día	49,53	LNOX	$LNOX = LN - NLex$
TASA O2 PARA OXIDAR N	KgO2/KgN	3,5	ON	
HORAS MAXIMA CARGA	HORAS	24	hMAX	
CARGA MASICA HORARIA	factor (1/HORAS)	0,04	hhr	$hhr = \frac{1}{hMAX}$
CONSUMO O2 LODOS ACT.				
O2 RESPIR. SUSTRATO (M.O)	KgO2/hr	8,21	O2S	$O_{2s} = hhr * a * Eb/100$
O2 RESPIRACION ENDOGENA	KgO2/hr	17,29	O2E	$O_{2E} = \left(\frac{1}{24}\right) * KRE * W$
O2 NITRIFICACION	KgO2/hr	7,22	O2N	$O_{22N} = hhr * ON * LNO$
CONSUMO TOTAL O2 L.ACTIV.	KgO2/hr	32,73	OL-h	$OL-h = O2S + O2E + O2N$
CAPACIDAD OXIGENACION				
CONC.O2(10°C)	g/m3	11,3	CL10	VER TABLAS T=26°C
CONC.O2 ACTUAL(14°C)	g/m3	7	CLT	6 para 2500 msnm y 8 a 0 msnm
CONC.O2 EN TANQUE	g/m3	2	CL	
FACTOR USO O2 LODOS	-	0,9	A	VER TABLAS
FACTOR CORRECCION TEMP.		0,8299	B	VER TABLAS
CAPACIDAD DE OXIGENACION	KgO2/hr	68,20	COh	$COh = \left(\frac{OLh}{A}\right) * \left[\frac{CL10}{CLT - CL}\right] *$
CWTR	KG O2/BHP-HR	1,50		SOPLADOR
POTENCIA	HP	45,47		
DEMANDA DE HP		45,00	HP	
PARAMETRO UNIDAD VALOR SIMBOLO FORMULA				
SUMINISTRO DE AIRE				
SUMERGENCIA DIFUSORES	m	5,5	Di	
CONCENTR. O2 EN AIRE	KgO2/m3 aire	0,28	CA	
RAZON FLUJO AIRE ESPECIF.	m3 aire/hr-m tubo	50	f	
RAZON ABSORCION ESPECIF.	%	5,4	n'	
RAZON DE ABSORCION	%	29,7	n	$n = Di * n'$
CANTIDAD DE AIRE OXIG.	m3 aire/hr	820,16	AR	$AR = (COh * 100)/(n * CA)$
AIRLIFT				
TASA RETORNO LODOS	%	20	Re	
CAUDAL DE RETORNO	m3/hr	16,96	QRe	$QRe = Qhp * Re/100$
FACTOR AIRE RETORNO		1	fre	
CANT. AIRE AIRLIFT	m3/hr	0,00	AAL	$AAL = QRe * fre$
AIRE TOTAL REQUERIDO	m3/hr	820,16	ART	$ART = (AR + AAL) * fre$
AIRE TOTAL REQUERIDO	CFM	483	ART	
TUBERIA OXIGENACION				
LONG.TEORICA TUBERIA OXIG.	m	16,40	Lta	$Lt = \left(\frac{AR}{f}\right)$
LONG.TOTAL TUBERIA OXIG.	m	16,50	Ltt	
VELOCIDAD POR TUBERIA	m/s	15	vt	
DIAMETRO TUBERIA	in	1,159	dt	$dt = \left[4 * \left(\frac{AR}{3600}\right) / (PI * vt)\right]^{0.5} \left(\frac{100}{12}\right)$
CAPACIDAD TEORICA SOPLADOR				
DENSIDAD AIRE	Kg/m3	1,2	da	
POTENCIA TEORICA	HP	43,17	P	$P = \left(\frac{ART}{3.6}\right) * (Di + 1,7) * da / (76 * 0.$

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa de lodos tendrá las siguientes Dimensiones

Numero de Tanques	2
Longitud del tanque	19,40 m
Ancho del tanque	9,70 m
Altura total del tanque	6,00 m
Altura lámina de agua	5,50 m
Volumen total del tanque	1.040 m ³
Tiempo de retención	16 horas
Volumen de aire requerido	820 N m ³ /h
Potencia del soplador	50 HP
Numero de difusores por Tanque	120 UN de 12"

Luego del tratamiento Biológico se contará con el sistema de sedimentación

13.2.2.2. Dimensionamiento Sedimentador secundario

Para el dimensionamiento del sedimentador se realizar para el caudal máximo horario de acuerdo a la resolución 0330 y 0799 en nuestro caso serán dos sedimentadores cada uno para la mitad del caudal

Tabla 39 Dimensionamiento sedimentador secundario

MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO SEDIMENTACION				
CRITERIOS DE DISEÑO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL HORARIO	l/S	47,10		
N DE SEDIMENTADORES	UN	2,00		
CAUDAL HORARIO	m ³ /hr	84,78	Qhp	
CONCENTRACION DE LA BIOMASA	Kg/m ³	4,00		
CARGA SUPERFICIAL TEORICA	m ³ /m ² -hr	1	So	ENTRE 0.5 Y 1.0
CARGA SUP. VOL.LODOS	m ³ /m ² -hr	0,4	SL	
TIEMPO DE RETENCION	hr	3	TRS	
VELOCIDAD HORIZONTAL	m/hr	54	vh	MUCHO MENOR DE ESTE VALOR
TASA RETORNO	%	50	Re	
INDICE VOL.LODOS	m ³ /Kg SS	0,1	SVI	$(1.2*Re)/[(M/10)+(Re*M)1000]/1000$
DESARROLLO				
AREA 1	m ²	84,80	A1s	Qhp/So
AREA 2	m ²	84,80	A2s	Qhp*M*SVI/SL
AREA TANQUE SED.	m ²	84,80	As	MAYOR DE ARRIBA
VOLUMEN TANQUE SED.	m ³	254,30	Vs	Qhp*TRS
PROFUNDIDAD MEDIA	m	3,00	Hms	Vs/As
L MINIMA VERTEDERO	m	5,66	Lmv	As/(5*Hms)
SI TANQUE CIRCULAR				
DIAMETRO TANQUE SED.	m	10,40	Ds	$(4*As/3)^{0.5}$
LONGITUD VERTEDERO SALIDA	m	32,70	Lvs	$2*PI*Ds/2$
CHEQUEO VERTEDERO SALIDA				O.K.
CARGA SUPERFICIAL REAL	m ³ /m ² -hr	1,00	Sor	$PI*Ds^2/4$
CHEQUEO CARGA SUPERFICIAL				O.K.

Nuestros sedimentadores tendrán las siguientes dimensiones

Diámetro Interno:	10,40 m
Diámetro externo	12,40 m
Altura lámina de agua	3,00 m
Altura total	3,50 m
Pendiente del fondo del sedimentador	7%

13.2.2.3. Dimensionamiento deshidratación de lodos

A continuación, se presenta la producción de lodos para todo el sistema de tratamiento a través de espesamiento de lodos y lechos de secado antes de pasar a los lechos de secado se contará con dos espectadores de lodos

Tabla 40 Dimensionamiento espesador de lodos

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
FLUJO LODOS		
CANTIDAD	kg/d	413,84
VOLUMEN	GPM	0,08
L. DIGERIDOS		413,84
ESPESADOR	N	2,00
CARGA LODOS	KG/M2-D	35,42
AREA ESP	m ²	5,84
DIAMETRO	m	2,73
LADO INFERIOR	m	0,30
DIAMETRO REAL	m	2,70
ALTURA CONO	m	1,80
VOLUMEN CONO	m ³	3,44
ALTURA CILINDRO	m	1,80
H TOTAL CILINDRO	m	2,10
BORDE LIBRE + SOBRN.	m	0,30
ALTURA TOTAL ESPESADOR	m	3,90
VOLUMEN ESPEZADOR	m ³	13,74

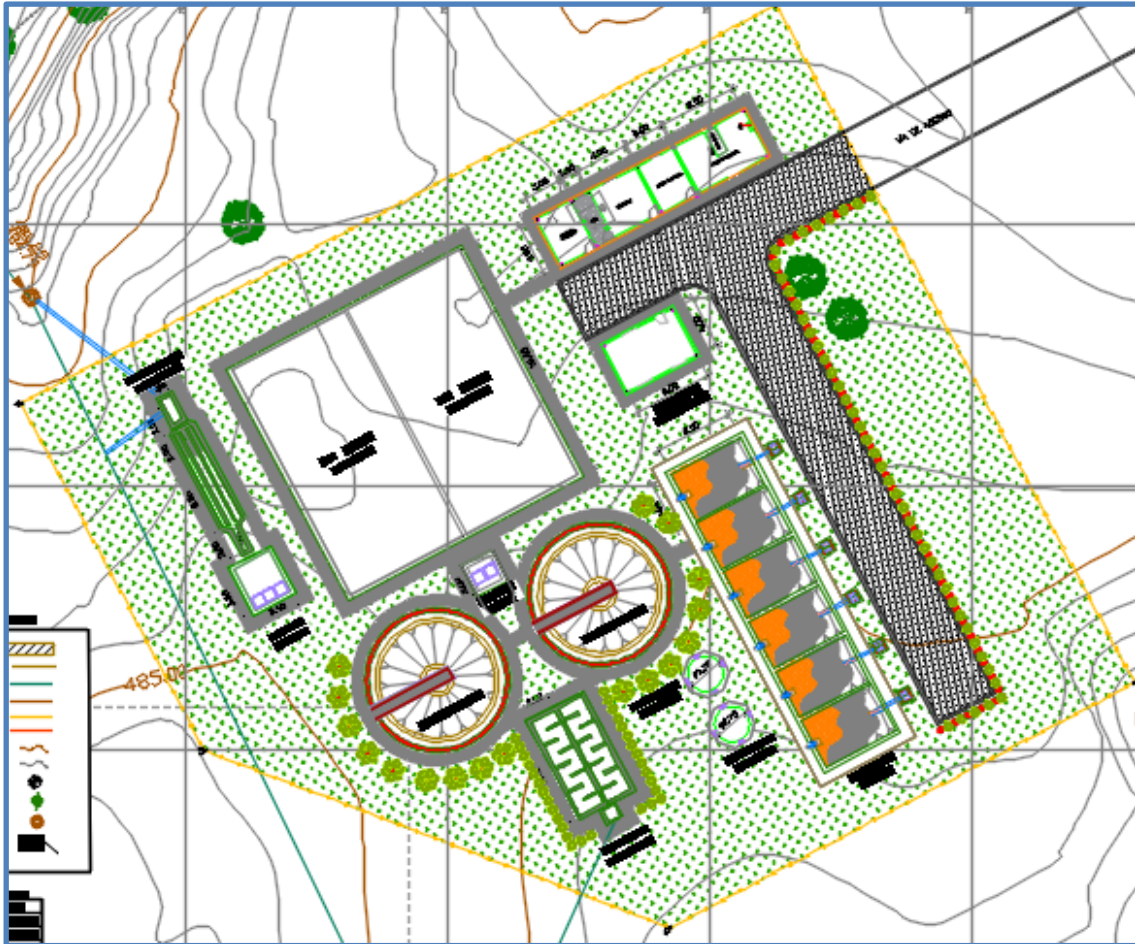
Tabla 41 Dimensionamiento lechos de secado

DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO DESHIDRATACIÓN DE LODOS AEROBIOS				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA O ECUACION
CAUDAL AR	m ³ /hr	126,33	Q	
DBO in	ppm	288,00	DBO IN	
DBO out	ppm	15,00	DBO OUT	
DBO in	Kg/d	873,16	DBO in	$DBO\ in = DBO\ in\ X\ Q$
DBO out	Kg/d	45,48	DBO out	$DBO\ out = DBO\ out\ X\ 0,1$
DBO removida	Kg/d	827,69	DBO Remov	$DBO\ rem = DBO\ out - DBO\ in$
Factor prod. lodos	lodos/DBO remov.	0,50	F-LOD	$LOD = F - LOD\ x\ DBO\ Remo$
Producción de Lodos	Kg/d	413,84	LOD	
TOTAL LODOS	Kg/d	413,84	TOTAL LOD	
FLUJO LODOS	GPM	0,076	Q LODOS	
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /h	0,01724	VOL. LODOS/TANQUE	$V\ Lodos/ tanqu = (Q\ lodos * \frac{3,7853}{1000}) * 60$
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /d	0,414	VOL. LODOS/TANQUE	
VOLATILES	%	0,100	% VOLATILES	
DESTRUIDOS	%	0,100	% DESTRUIDOS	
LODOS NETOS	m ³ /d	0,414	LODOS NETOS	$Lodos\ netos = Vol.\ Lodos/ tanque * (1 - \frac{Volatiles}{100} * \frac{Destruidos}{100})$
LODOS DEL ESPESADOR				
% SOLIDOS	%	3,0	%S	
LODOS PRODUCIDOS	m ³ /d	13,79	LODOS P	$LODOS\ P = \frac{LODOS\ NETO}{\%S}$
TIEMPO DE BOMBEO	horas	8,000	TIEMPO B	
TASA DE BOMBEO	m ³ /h	1,724	TB	$TB = \frac{LODOS\ P}{TIEMPO\ B}$
LECHOS SECADO LODOS				
TIEMPO DE SECADO	días	5	TS	
VOLUMEN LODOS TOTAL	m ³	68,97	VLT	$VLT = LODOS\ P\ X\ TS$
PROFUNDIDAD TORTA	m	0,5	PRO	
AREA LECHOS	m ²	137,95	A L	$AL = VLT / PRO$
LADO 1 CELDA 1	m	6	LA 1 C 1	
LADO 2 CELDA 1	m	4	LA 2 C 2	
AREA TOTAL CELDA 1	m ²	24	AT C1	$AT\ C1 = LA\ 1\ C\ 1\ X\ LA\ 2\ C\ 2$
NUMERO DE CELDAS		5,75	NC	
NUMERO DE CELDAS REAL		6,00	NCR	$NC = A\ L / AT\ C1$

Los lechos de secado tendrán las siguientes dimensiones

Numero de celdas	6
Longitud de la celda	6,00 m
Ancho de la celta	4,00 m
Altura útil, material de filtrado y lodos	1,00 m
Altura Total	1,50 m
Techo	En estructura de acero y teja traslucida

Ilustración 11 Planta general Alternativa 2 Lodos activados



Área de ocupación 3,450m²

13.2.3. Alternativa 3 reactor UASB + RAP + sedimentación + desinfección + lodos lechos de secado

13.2.3.1. Dimensionamiento reactor anaerobio UASB

Se diseñarán dos reactores UASB por cada módulo del tren de tratamiento en general serán 4 reactores UASB

Geometría Rectangular

Material construcción Concreto reforzado 4.000 psi

Separados SGSL En polipropileno

Se calculará el sistema para los a parámetros establecidos en la resolución 0330 y 0799

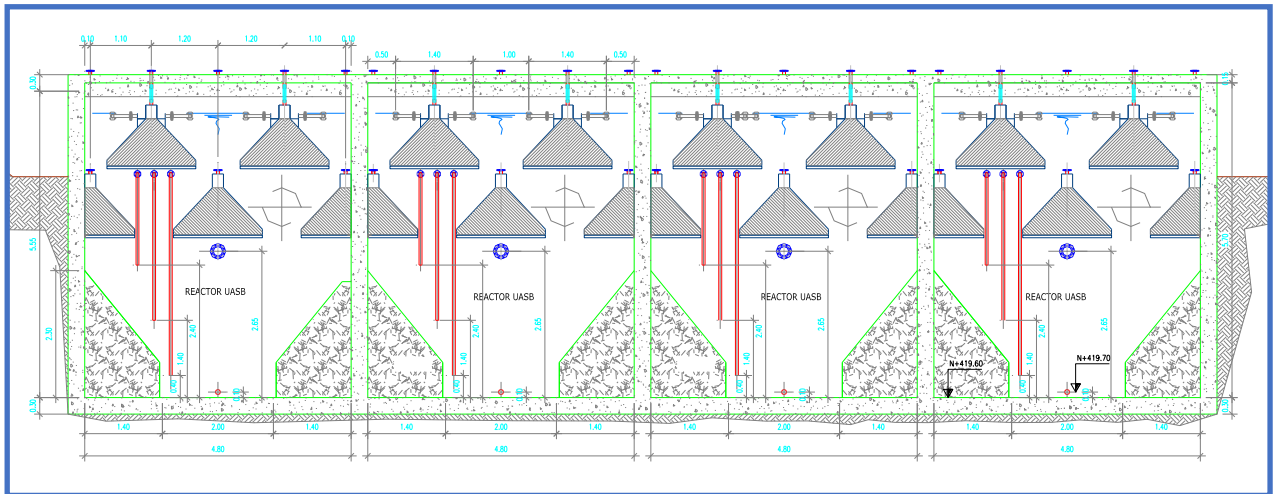
Tabla 42 Dimensionamiento reactor UASB

DISEÑO SEGÚN RESOLUCIÓN 330 DEL 2017, 799 DEL 2021						
DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)						
PARAMETRO	N MOD	UNIDAD	PARA	UASB	SIMBOLO	FÓRMULA
NUMERO DE MODULOS		un		4,00		
Q DE DISEÑO MODULO		l/s		8,80		
Q DE DISEÑO MODULO		m ³ /h		31,68	Q_D	
TIEMPO RETENCIÓN		h	6 - 8	8,00	T_R	
VOLUMEN		m ³		253,44	V	$V = T_R \times Q_D$
H TOTAL		m		7,00	H	
PROFUNDIDAD LAMINA DE AGUA		m		6,60	$P_{l\ Agua}$	
AREA TRANSVERSAL MODULO	1	m ²	28,68	28,68	A_{Tr}	$A_{Tr} = N_{modu} \times 21.7$
ANCHO MODULO REACTOR	1	m	4,8	4,80	A_r	$A_r = N_{modu} \times 4.8$
LONGITUD REACTOR		m		8,00	L_r	$L_r = V / (P_{l\ Agua} \times A_r)$
LONGITUD AJUSTADA		m		8,80	L_{Ajust}	$L_{Ajust} = V / A_{Tr}$
AREA DE CONTACTO		m ²		42,24	$A_{contact}$	$A_{contact} = A_r \times L_{Ajust}$
VOLUMEN REAL		m ³		252,40	V_{real}	$V = L_{Ajust} \times A_{Tr}$
DQO AFLUENTE		mg/l		798,00	DQO AFLUE	
CARGA DQO		KgDQO/dia		606,74	C DQO	$C_{DQO} = DQO_{AFLUE} \times Q_D$
TEMPERATURA		°C		24,00	T	
VELOCIDAD ASCENCIONAL		m/h	0,5 - 1,0	0,75	$V_{ascensional}$	$V_{ascensional} = A_{contact} / Q_D$
CARGA VOLUMETRICA		kg DBO/m ³	0,5 a 2	2,39	C_{vol}	$C_{vol} = C_{DQO} / V$
EFICIENCIA DEL REACTOR		%		0,56	$E_{reactor}$	$E_{reactor} = \frac{1 - T_R^{-0.4}}{1}$

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa el UASB tendrá las siguientes dimensiones

Numero de Tanques	4
Longitud del tanque	8,80 m
Ancho del tanque	4,80 m
Altura total del tanque	7,00 m
Altura lámina de agua	6,60 m
Volumen total del tanque	253,00 m ³
Tiempo de retención	8 horas

Figura 11. Corte reactor UASB



13.2.3.2. Dimensionamiento reactor anaerobio RAP

Se diseñará un reactor RAP por cada módulo del tren de tratamiento y cada uno de ellos contará con tres cámaras denominados RAP 1 RAP 2 Y RAP 3 en general serán 2 reactores RAP

Geometría	Rectangular
Material construcción	Concreto reforzado 4.000 psi
Material filtrante de soporte	En polipropileno
Área de contacto	100 m ² /m ³ de relleno

Se calculará el sistema para los a parámetros establecidos en la resolución 0330 y 0799

Tabla 43 Dimensionamiento reactor anaerobio RAP

DISEÑO SEGÚN RESOLUCIÓN 330 DEL 2017, 799 DEL 2021					
REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO A PISTON					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	FLUJO DESCENDENTE	SIMBOLO	FÓRMULA
NUMERO DE MODULOS	un		2,00		
CAUDAL A TRATAR	l/s		35,09		
CAUDAL A TRATAR MODULO	m ³ /h		63,16	Q	
CONCENTRACION DQO	mg/L		351,12	DBO AFLU	DBO AFLUEN= DQO AFLUE x Q _D
CARGA DBO	Kg/d		532,27	C DBO	C DBO AFLUEN= DQO AFLUE x Q _D
TEMPERATURA	oC	10 A 35	24,00	T	
CARGA VOLUMETRICA EN EL RELLENO	kg DQO /m ³ .dia	0.5 - 3	3,00	C _{vol}	
CARGA ORGANICA (ACT. METANOGENICA)*	kg DQO/Kg SSV.día	0.5 - 1.3	0,50	C _{orga}	Prod _{Lodos} = DQO x Eficie 1
PRODUCCIÓN DE LODOS	kg SS/ Kg DQO rev.	12% DQO REMOVIDA	27,23	Prod _{Lodos}	
VOLUMEN REACTOR LECHO FIJO	m ³		177,42	V _{r fijo}	V _{r fijo} = DQO /Carga _{vol}
ALTURA UTIL DE RELLENO	m		3,50	H _{relleno}	
ALTURA FASEMEZ CLA Y CLARIFICADO	m		1,50	H _{mezclad -clarift}	
ALTURA TOTAL TK	m		5,00	H _{Total}	H _{Total} = H _{relleno} + H _{mezclad -clarift}
AREA TANQUE	m ²		50,69	A _{Tanque}	A _{Tanque} = V _{r fijo} /H _{relleno}
ANCHO	m		9,90	Ancho	
LONGITUD	m		5,10	L1	
AREA REAL TANQUE	m ²		50,49	A _{TK CIRCU}	
CAUDAL DE RECIRCULACION	%		1,00	%Q _R	
VELOCIDAD ASCENCIONAL TK	m ³ /m ² /hora	0.5 - 2.0	1,26	V _{ASCE}	V _{ASCE} = Q / A _{Tanque}
VELOCIDAD ASCENCIONAL SIN RECIRCULACION	m ³ /m ² /hora	0.5 - 2.0	1,25	V _{ASCE}	V _{ASCE} = Q / A _{Tanque}
CAUDAL DE ACIDIFICACION/RECIRCULACION	m ³ /h		63,79	Q _R	Q _R = Q x (1 + %Q _R /100)
TIEMPO DE RETENCION	horas	2.5 - 10	4,01	T _R	T _R = (V _{r fijo} / Q) + (A _{Tanque} x H _{mezclad -clarift} / Q)
TIEMPO DE RETENCION + RECIRCULACION	horas		4,01		
EFICIENCIA	%		43%	EF 1	EF = $\frac{1 - T_R^{-0.4}}{1}$

RAP 2					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	FLUJO ASCENDENTE	SIMBOLO	FÓRMULA
CAUDAL A TRATAR	m ³ /h		63,16	Q	
CONCENTRACION DQO	mg/L		201,41	$[DQO]$	$[DBO] = DBO AFLU \times (1 - EF1)$
CARGA DQO	Kg/d		305,32	$C DQO$	$C DBO = Q \times [DQO]$
TEMPERATURA	oC	10 A 35	24,00	T	
CARGA VOLUMETRICA	kg DQO /m ³ .día	0.5 - 3	2,00	C_{vol}	
PRODUCCIÓN DE LODOS	kg SS/ Kg DQO rev.	12% DQO REMOVIDA	14,32	$Prod_{Lodos}$	$Prod_{Lodos} = DBO \times Eficie\ 2$
VOLUMEN REACTOR LECHO FIJO	m ³		152,66	$V_{2r\ fijo}$	$V_{2r\ fijo} = DQO / Carga_{vol}$
ALTURA UTIL DE RELLENO	m		3,50	$H_{relleno}$	
ALTURA FASEMEZ CLA Y CLARIFICADO	m		1,50	$H_{mezclad -clarifi}$	
ALTURA TOTAL TK	m		5,00	H_{total}	$H_{total} = H_{relleno} + H_{mezclad -clarifi}$
AREA TANQUE	m ²		43,62	A_{tanque}	$A_{tanque} = V_{r\ fijo} / H_{relleno}$
ANCHOTK RECTANGULAR	m		9,90	$Ancho_{REC}$	
LONGITUD	m		4,40	L 2	$L\ 2 = \frac{A_{tanque}}{Ancho}$
VELOCIDAD ASCENCIONAL	m ³ /m ² /hora	0.5 - 2.0	1,45	V_{ASCE}	$V_{ASCE} = Q / A_{tanque}$
TIEMPO DE RETENCION	horas	2.5 - 10	3,45	T_{R2}	$T_{R2} = \left(\frac{V_{r\ fijo}}{Q} \right) + \left(\frac{A_{tanque} \times H_{mezclad -clarifi}}{Q} \right)$
EFICIENCIA	%		39%	EF 2	$EF2 = \frac{1 - T_R^{-0.4}}{1}$
RAP 3					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	FLUJO DESCENDENTE	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL A TRATAR	m ³ /h		63,16	Q	
CONCENTRACION DQO	mg/l		122,69	$[DQO]$	$[DBO] = Q \times (1 - EF1)$
CARGA DQO	Kg/d		185,99	$C DQO$	$C DBO = Q \times [DQO]$
TEMPERATURA	oC	10 A 35	24,00	T	
CARGA VOLUMETRICA	kg DQO /m ³ .día	0.5 - 3	1,00	C_{vol}	
CARGA ORGANICA (ACT. METANOGENICA)*	kg DQO/Kg SSV.día	0.5 - 1.3	0,50		
CONCENTRACION DE BIOMASA	kg SS/m ³	3 - 30	20,00		
PRODUCCIÓN DE LODOS	kg SS/ Kg DQO rev.	12% DQO REMOVIDA	9,76	$Prod_{Lodos}$	$Prod_{Lodos} = DQO \times Eficie\ 2$
VOLUMEN REACTOR LECHO FIJO	m ³		185,99	$V_{3r\ fijo}$	$V_{3r\ fijo} = DQO / Carga_{vol}$
ALTURA UTIL DE RELLENO	m		3,50	$H_{relleno}$	
ALTURA FASE MEZ CLA Y CLARIFICADO	m		1,50	$H_{mezclad -clarifi}$	
ALTURA TOTAL TK	m		5,00	H_{total}	$H_{total} = H_{relleno} + H_{mezclad -clarifi}$
AREA TANQUE	m ²		53,14	A_{tanque}	$A_{tanque} = V_{r\ fijo} / H_{relleno}$
ANCHOTK RECTANGULAR	m		9,90	$Ancho_{REC}$	
LONGITUD	m		5,40	L 3	$L\ 3 = \frac{A_{tanque}}{Ancho}$
VELOCIDAD ASCENCIONAL	m ³ /m ² /hora	0.5 - 2.0	1,19	V_{ASCE}	$V_{ASCE} = Q / A_{tanque}$
TIEMPO DE RETENCION	horas	2.5 - 10	4,21	T_{R3}	$T_{R3} = \left(\frac{V_{r\ fijo}}{Q} \right) + \left(\frac{A_{tanque} \times H_{mezclad -clarifi}}{Q} \right)$
EFICIENCIA	%		44%	EF 3	$EF3 = \frac{1 - T_R^{-0.4}}{1}$

RESUMEN GENERAL RAP					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	DIMENSIONES	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL A TRATAR	m ³ /h		63,16	Q	
CONCENTRACION DQO A LA SALIDA DEL RAP	mg/l		69,06	[DQO S - RAP]	DQO S=[DQO S - RAP] X Q
CARGA DQO A LA SALIDA	Kg/d		104,69	DQO S	
TEMPERATURA	oC	10 A 35	24,00	T	
EFICEINCA ESPERADA DEL SISTEMA	%		80%	EF TRATA	$EF\ TRATA = 1 - \frac{[DQO\ S - RAP]}{DBO\ AFLU}$

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa el RAP tendrá las siguientes dimensiones

Numero de Tanques	2
Longitud del tanque	9,90 m
Ancho del RAP 1	5,10 m
Ancho del RAP 2	4,40 m
Ancho del RAP 3	5,40 m
Altura total del tanque	5,50 m
Altura lámina de agua	5,00 m
Altura del relleno plástico	3,50 m
Altura falso fondo	1,00 m
Volumen total del tanque por modulo	739,00 m ³
Tiempo de retención	11,70 horas

13.2.3.3. Dimensionamiento Sedimentador secundario

Para el dimensionamiento del sedimentador se realizar para el caudal máximo horario de acuerdo a la resolución 0330 y 0799 en nuestro caso serán dos sedimentadores cada uno para la mitad del caudal

Tabla 44 Dimensionamiento sedimentador secundario

MUNICIPIO DE MESETAS META					
DISEÑO SEDIMENTADOR MODULO					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	DIMENSIONES	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL A TRATAR	m ³ /h		63,16	Q	
TASA DE SEDIMENTACION	m ³ /m ² /hora	1 y 2	2,00	T	
AREA TANQUE	m ²		31,58	A	$A = \frac{Q}{T}$
LONGITUD TOTAL EFECTIVA	m		3,20	LS	$LS = \frac{A}{AN\ TANK}$
ANCHO TANQUE	m		9,90	AN TANK	
ALTURA SEDIMENTADOR	m		3,50	HS	
TIEMPO SEDIMENTACION	hr		1,75	TS	$TS = \frac{AXHS}{Q}$
RESUMEN GENERAL RAP + SEDIMENTADOR					
PARAMETRO	UNIDAD	PARAMETROS	DIMENSIONES	SIMBOLO	FORMULA
DQO EFLUENTE	mg/l		69,06	DBO EFLU	
EFICIENCIA TOTAL UASB+RAP	%		91,00%	EFI GLOBAL	$EF\ GLOBAL = 1 - \frac{[DQO\ EFLUENTE]}{DBO\ AFLU}$
LONGITUD RAP	m		14,90	L RAP	$L\ RAP = L1 + L2 + L3$
LONGITUD TOTAL EFECTIVA RAP +SEDIMENTADOR	m		18,10	L RAP+ SED	$L\ TOT = LRAP + LS$
TIEMPO DE RETENCION TOTAL	hr		13,42	TR TOTAL	$TR\ TOTAL = T1 + T2 + T3 + TS$
VOLUMEN TOTAL DE RELLENO	m ³		516,00	V TOTAL RELLENO	$V\ TOTAL\ RELLENO = V1 + V2 + V3$
ANCHO EFECTIVO	m		9,90	ANCH EF	
AREA EFECTIVATANQUE	m ²		179,20	AREA EF	$AREA\ EF = ANCH\ EF * L\ RAP + SED$

Nuestros sedimentadores tendrán las siguientes dimensiones

Longitud: 9,90 m

Ancho 3,20 m

Altura lámina de agua 3,50 m

Altura total 4,00 m

Numero de tolvas en el fondo 3 unidades Fondo tronco piramidal

13.2.3.4. Dimensionamiento deshidratación de lodos

A continuación, se presenta la producción de lodos para todo el sistema de tratamiento a través solo lechos de secado ya que la producción de lodos es baja

Tabla 45 Dimensionamiento lechos de secado

DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO DESHIDRATACIÓN DE LODOS ANAEROBIO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA O ECUACION
CAUDAL AR	m ³ /hr	126,33	Q	
DBO in	ppm	288,00	DBO IN	
DBO out	ppm	15,00	DBO OUT	
DBO in	Kg/d	873,16	DBO in	$DBO\ in = DBO\ in\ X\ Q$
DBO out	Kg/d	45,48	DBO out	$DBO\ out = DBO\ out\ X\ 0,1$
DBO removida	Kg/d	827,69	DBO Remov	$DBO\ rem = DBO\ out - DBO\ in$
Factor prod. lodos	lodos/BDO remov.	0,10	F-LOD	$LOD = F - LOD\ x\ DBO\ Remo$
Producción de Lodos	Kg/d	82,77	LOD	
FLUJO LODOS	GPM	0,015	Q LODOS	
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /h	0,00341	VOL. LODOS/TANQUE	$V\ Lodos/tanque = (Q\ lodos * \frac{3,7853}{1000}) * 60$
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /d	0,082	VOL. LODOS/TANQUE	
VOLATILES	%	0,100	% VOLATILES	
DESTRUIDOS	%	0,100	% DESTRUIDOS	
LODOS NETOS	m ³ /d	0,082	LODOS NETOS	$Lodos\ netos = Vol.\ Lodos/tanque * (1 - \frac{Volatiles * Destruidos}{100})$
% SOLIDOS	%	1,0	%S	
LODOS PRODUCIDOS	m ³ /d	8,18	LODOS P	$LODOS\ P = \frac{LODOS\ NETO}{\%S}$
TIEMPO DE BOMBEO	horas	8,000	TIEMPO B	
TASA DE BOMBEO	m ³ /h	1,022	TB	$TB = \frac{LODOS\ P}{TIEMPO\ B}$
LECHOS SECADO LODOS				
TIEMPO DE SECADO	días	5	TS	
VOLUMEN LODOS TOTAL	m ³	40,88	VLT	$VLT = LODOS\ P\ X\ TS$
PROFUNDIDAD TORTA	m	0,5	PRO	
AREA LECHOS	m ²	81,76	AL	$AL = VLT / PRO$
LADO 1 CELDA 1	m	6	LA 1 C 1	
LADO 2 CELDA 1	m	2,3	LA 2 C 2	
AREA TOTAL CELDA 1	m ²	13,8	AT C1	$AT\ C1 = LA\ 1\ C\ 1\ X\ LA\ 2\ C\ 2$
NUMERO DE CELDAS		5,92	NC	
NUMERO DE CELDAS REAL		6,00	NCR	$NC = AL / AT\ C1$

Los lechos de secado tendrán las siguientes dimensiones

Numero de celdas	6
Longitud de la celda	6,00 m
Ancho de la celda	2,30 m
Altura útil, material de filtrado y lodos	1,00 m
Altura Total	1,50 m
Techo	En estructura de acero y teja translucida

Lodo secundario excedente. Se entiende como lodo secundario excedente, todos los sólidos que lleguen al sistema de tratamiento y pasen por el tratamiento primario. Dichos sólidos pasarán por las unidades de tratamiento y serán recolectados en el sedimentador secundario.

13.2.3.5. Sub productos generación de Biogás

Biogás La materia orgánica es convertida por las bacterias anaeróbicas en biogás y pequeña cantidad de lodo excedente. De la cantidad total de DQO afluente al reactor 70% - 75% es convertido en biogás (CH₄ y CO₂), el 1% - 2% en lodo anaeróbico y el 15% - 25% pertenece al efluente.

A continuación, se presenta los cálculos de la producción de biogás para el reactor UASB tanto para la alternativa 3 y 4

Tabla 46 Producción de Biogás reactor UASB

MUNICIPIO DE MESETAS META				
PRODUCCION DE BIOGAS				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL	m ³ /h	126,33	Q	
DQO	mg/L	798,00	DQO	
Eficiencia de remocion	%	56,00	E	
C DQO	Kg/d	2.419,39	C DQO	$CDQO = \frac{DQO \times Q \times 24}{1000}$
BIOGAS	m ³ /d	687,82	Biogas	$Biogas = CH_4/0,75$
BIOGAS	m ³ /h	28,66	Biogas	
METANO	m ³ /d	515,87	CH ₄	$CH_4 = (Q * 24) * (DQO/1000) * (E/100) * 0,35 * ((T + 273,15)/273,15)$
METANO	m ³ /h	21,49	CH ₄	
TEMPERATURA	°C	24,00	T	Tempertura del afluente
CAPACIDAD DE LA ANTORCHA	m ³ /h	37,00		

Composición del biogás

- 70 - 80% Metano (CH₄)
- 19 - 28% CO₂
- 1 - 2% Otros Gases Saturado con agua

Poder Calorífico (PCI): 5.500 Kcal. /Nm³

Equivalencias Energéticas = 2.490 Kg/d: bunker C

Ilustración 12 Planta General alternativa 3 UASB + RAP



Área Proyecto 2655 m²

13.2.4. Alternativa 4 reactor UASB + LAC + sedimentación + deshidratación de lodos

13.2.4.1. Dimensionamiento reactor anaerobio UASB

Se diseñarán dos reactores UASB por cada módulo del tren de tratamiento en general serán 4 reactores UASB

Geometría	Rectangular
Material construcción	Concreto reforzado 4.000 psi
Separados SGSL	En polipropileno

Se calculará el sistema para los a parámetros establecidos en la resolución 0330 y 0799

Tabla 47 Dimensionamiento reactor UASB con LAC

DISEÑO SEGÚN RESOLUCIÓN 330 DEL 2017, 799 DEL 2021						
DISEÑO REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)						
PARAMETRO	N MOD	UNIDAD	PARA	UASB	SIMBOLO	FÓRMULA
NUMERO DE MODULOS		un		4,00		
Q DE DISEÑO MODULO		l/s		8,80		
Q DE DISEÑO MODULO		m ³ /h		31,68	Q_D	
TIEMPO RETENCIÓN		h	6 - 8	8,00	T_R	
VOLUMEN		m ³		253,44	V	$V = T_R \times Q_D$
H TOTAL		m		7,00	H	
PROFUNDIDAD LAMINA DE AGUA		m		6,60	$P_{l\ Agua}$	
AREA TRANSVERSAL MODULO	1	m ²	28,68	28,68	A_{Tr}	$A_{Tr} = N_{modu} \times 21.7$
ANCHO MODULO REACTOR	1	m	4,8	4,80	A_r	$A_r = N_{modu} \times 4.8$
LONGITUD REACTOR		m		8,00	L_r	$L_r = V / (P_{l\ Agua} \times A_r)$
LONGITUD AJUSTADA		m		8,80	L_{Ajust}	$L_{Ajust} = V / A_{Tr}$
AREA DE CONTACTO		m ²		42,24	$A_{contact}$	$A_{contact} = A_r \times L_{Ajust}$
VOLUMEN REAL		m ³		252,40	V_{real}	$V = L_{Ajust} \times A_{Tr}$
DQO AFLUENTE		mg/l		798,00	DQO AFLUE	
CARGA DQO		KgDQO/dia		606,74	C DQO	$C_{DBO} = DQO_{AFLUE} \times Q_D$
TEMPERATURA		°C		24,00	T	
VELOCIDAD ASCENCIONAL		m/h	0,5 - 1,0	0,75	$V_{ascensional}$	$V_{ascensional} = A_{contact} / Q_D$
CARGA VOLUMETRICA		kg DBO/m ³	0,5 a 2	2,39	C_{vol}	$C_{vol} = C_{DQO} / V$
EFICIENCIA DEL REACTOR		%		0,56	$E_{reactor}$	$E_{reactor} = \frac{1 - T_R^{-0.4}}{1}$

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa el UASB tendrá las siguientes dimensiones

Numero de Tanques	4
Longitud del tanque	8,80 m
Ancho del tanque	4,80 m
Altura total del tanque	7,00 m
Altura lámina de agua	6,60 m
Volumen total del tanque	253,00 m ³
Tiempo de retención	8 horas

Tabla 48 Dimensionamiento reactor aerobio

MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO REACTOR AEROBIO DE LODOS ACTIVADOS CON UASB				
PARAMETROS DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	ECUACION
CAUDALES				
Q DE DISEÑO PTAR	l/s	35,09		
Q DE DISEÑO PTAR	m ³ /hr	126,33		
Q HORA. PICO PROYECT.	l/s	47,10		
NUMERO DE MODULOS	UN	2,00		
CAUDALES POR MODULO				
Q DE DISEÑO PTAR	l/s	17,55		
Q DE DISEÑO PTAR	m ³ /hr	63,20		
Q HORA. PICO PROYECT.	l/s	23,55		
Q HORA. PICO PROYECT.	m ³ /hr	84,78		
DBO5	mg/L	126,72		
CARGA DBO5	Kg/d	192,21		
N AFLUENTE	mg/L	40,00		
CARGA N	Kg/día	60,67		
P AFLUENTE	mg/L	5,00		
CARGA P	Kg/día	7,58		
CARGAS				
DBO5 TOTAL	Kgr/DIA	192,21	LT	$LT = \frac{q * P}{1000}$
REDUCCION DE LA DBO	%	90,00	Eb	
CARGA MASICA	Kg DBO/Kg-MLSS-D	0,1	Ls	
CONC.LODOS ACTIVADOS	Kg/m3	4,00	M	
CARGA NITROGENO	g N/ca-día	9,35	n	
N-NH4 TOTAL	Kg NH4-N/día	60,67	LN	$LN = \frac{n * Pp}{1000}$
CARGA HORARIA N-NH4	Kg N-NH4/hr	2,53	LNd	$LNd = \frac{LN}{10}$

DESARROLLO				
REMOCION EN PRIMARIO	%/100	0,05	rp	
CARGA AL TANQUE AIR.	Kg DBO/DIA	182,60	L	$L = LT - rp * i$
PESO SECO LODOS	Kg	1825,98	WL	$WL = L/L_s$
PRODUCCION DE LODOS	Kg MLSS/DIA	116,12	PL	$PL = 1,2 * (LS^{0.23}) * (Eb/100) * L$
PESO SOLIDOS	%	0,5	PS	
PESO DE AGUA	%	99,5	PA	
DENSIDAD LODOS	Kg/m ³	5	DL	$DL = (PS/100) * 1000$
VOLUMEN LODOS	m ³ MLSS/DIA	23,22	VL	$VL = PL/DL$
N LODO EXCESO	Kg N/día	4,64	NLex	$NLex = PL * 6/100$
EDAD DEL LODO	DIAS	15,7	Le	$Le = WL/PL$
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
TIPO AIREACION	EXTENDIDA			
VOLUMEN EFECTIVO TANQUE	m ³	456,00	VT	$VT = WL/M$
t AIREACION REAL	HORAS	7,22	TTAT	$TTAT = VT/Qhp$
t AIREACION TEORICO	HORAS	7,22	TTAR	VT/Qhp SI > 18 o < 24
CARGA VOLUMETRICA	Kg DBO/m ³ -d	0,40	CV	$CV = L/VT$
PROF. LAMINA AGUA	m	5,5	H	
NUMERO DE TANQUES	UNIDAD	1		
AREA POR TANQUE AIR.	m ²	82,91	AT	$AT = \frac{VT}{H}$
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
ALTURA TOTAL	m	6	HT	$HT = H + BL$
DIAMETRO	m	10,27	r	$r = HT/2$
GEOMETRIA DEL TANQUE				
SI TANQUE CUADRADO:				
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
ALTURA TOTAL	m	6	HT	$HT = H + BL$
LADO DEL TANQUE	m	9,11	l	$l = AT^{0.5}$
SI TANQUE RECTANGULAR:				
BORDE LIBRE	m	0,5	BL	
RELACION LARGO/ANCHO		2	lt:w	
ANCHO DEL TANQUE = A UASB	m	9,90	wt	$wt = \frac{AT}{i:w}$
LONGITUD DEL TANQUE	m	8,00	lt	$lt = wt * (lt:w)$
SI TANQUES CONCENTRICOS CON SEDIMENTADOR:				
AREA TOTAL	m ²	167,69	ATC	$ATC = A_s + A_t$
DIAMETRO TOTAL	m	14,61	DTC	$DTC = \left(4 * \frac{ATC}{3/4}\right)^{0.5}$
ANCHO TANQUE AIR.	m	2,11	WTA	$WTA = (DTC - D_s)/2$

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
OXIGENACION				
TASA O2 RESPIRACION M.O.	KgO2/KgDBO	0,5	a	
TASA O2 RESP. ENDOGENA	KgO2/KgMLSS-día	0,1	KRE	
O2 NITRIFICACION	Kg N/día	56,03	LNOX	$LNOX = LN - NLe_x$
TASA O2 PARA OXIDAR N	KgO2/KgN	3,5	ON	
HORAS MAXIMA CARGA	HORAS	24	hMAX	
CARGA MASICA HORARIA	factor (1/HORAS)	0,04	hhr	$hhr = \frac{1}{hMAX}$
CONSUMO O2 LODOS ACT.				
O2 RESPIR. SUSTRATO (M.O)	KgO2/hr	3,42	O2S	$O_{2s} = hhr * a * Eb/100$
O2 RESPIRACION ENDOGENA	KgO2/hr	7,61	O2E	$O_{2E} = \left(\frac{1}{24}\right) * KRE * W$
O2 NITRIFICACION	KgO2/hr	8,17	O2N	$O_{22N} = hhr * ON * LNO$
CONSUMO TOTAL O2 L.ACTIV.	KgO2/hr	19,20	OL-h	$OL-h = O2S + O2E + O2N$
CAPACIDAD OXIGENACION				
CONC.O2(10°C)	g/m3	11,3	CL10	VER TABLAS T=26°C
CONC.O2 ACTUAL(14°C)	g/m3	7	CLT	6 para 2500 msnm y 8 a 0 msnm
CONC.O2 EN TANQUE	g/m3	2	CL	
FACTOR USO O2 LODOS	-	0,9	A	VER TABLAS
FACTOR CORRECCION TEMP.		0,8299	B	VER TABLAS
CAPACIDAD DE OXIGENACION	KgO2/hr	40,02	COh	$COh = \left(\frac{OLh}{A}\right) * \left[\frac{CL10}{CLT - CL}\right] *$
CWTR	KG O2/BHP-HR	1,50		SOPLADOR
POTENCIA	HP	26,68		
DEMANDA DE HP		27,00	HP	
PARAMETRO UNIDAD VALOR SIMBOLO FORMULA				
SUMINISTRO DE AIRE				
SUMERGENCIA DIFUSORES	m	5,5	Di	
CONCENTR. O2 EN AIRE	KgO2/m3 aire	0,28	CA	
RAZON FLUJO AIRE ESPECIF.	m3 aire/hr-m tubo	50	f	
RAZON ABSORCION ESPECIF.	%	5,4	n'	
RAZON DE ABSORCION	%	29,7	n	$n = Di * n'$
CANTIDAD DE AIRE OXIG.	m3 aire/hr	481,21	AR	$AR = (COh * 100)/(n * C)$
AIRLIFT				
TASA RETORNO LODOS	%	20	Re	
CAUDAL DE RETORNO	m3/hr	16,96	QRe	$QRe = Qhp * Re/100$
FACTOR AIRE RETORNO		1	fre	
CANT. AIRE AIRLIFT	m3/hr	0,00	AAL	$AAL = QRe * fre$
AIRE TOTAL REQUERIDO	m3/hr	481,21	ART	$ART = (AR + AAL) * fre$
AIRE TOTAL REQUERIDO	CFM	283	ART	
TUBERIA OXIGENACION				
LONG.TEORICA TUBERIA OXIG.	m	9,62	Lta	$Lt = \left(\frac{AR}{f}\right)$
LONG.TOTAL TUBERIA OXIG.	m	9,70	Ltt	
VELOCIDAD POR TUBERIA	m/s	15	vt	
DIAMETRO TUBERIA	in	0,888	dt	$dt = \left[4 * \left(\frac{AR}{3600}\right) * \left(\frac{100}{PI * vt}\right)\right]^{0.5}$
CAPACIDAD TEORICA SOPLADOR				
DENSIDAD AIRE	Kg/m3	1,2	da	
POTENCIA TEORICA	HP	25,00	P	$P = \left(\frac{ART}{3.6}\right) * (Di + 1,7) * da / (76 * 0.6)$

De acuerdo a los cálculos anterior nuestra alternativa de lodos tendrá las siguientes dimensiones

Numero de Tanques	2
Longitud del tanque	9,90 m
Ancho del tanque	8,00 m
Altura total del tanque	6,00 m
Altura lámina de agua	5,50 m
Volumen total del tanque	456,00 m ³
Tiempo de retención	7,20 horas
Volumen de aire requerido	480 m ³ /h
Potencia del soplador	25 HP
Numero de difusores por Tanque	70 un de 12"

Luego del tratamiento Biológico se contará con el sistema de sedimentación

13.2.4.3. Dimensionamiento Sedimentador secundario

Para el dimensionamiento del sedimentador se realizar para el caudal máximo horario de acuerdo a la resolución 0330 y 0799 en nuestro caso serán dos sedimentadores cada uno para la mitad del caudal

Tabla 49 Dimensionamiento sedimentador secundario

MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO SEDIMENTACION				
CRITERIOS DE DISEÑO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL HORARIO	l/s	47,10		
N DE SEDIMENTADORES	UN	2,00		
CAUDAL HORARIO	m ³ /hr	84,78	Qhp	
CONCENTRACION DE LA BIOMASA	Kg/m ³	4,00		
CARGA SUPERFICIAL TEORICA	m ³ /m ² -hr	1	So	ENTRE 0.5 Y 1.0
CARGA SUP. VOL.LODOS	m ³ /m ² -hr	0,4	SL	
TIEMPO DE RETENCION	hr	3	TRS	
VELOCIDAD HORIZONTAL	m/hr	54	vh	MUCHO MENOR DE ESTE VALOR
TASA RETORNO	%	50	Re	
INDICE VOL.LODOS	m ³ /Kg SS	0,1	SVI	$(1.2*Re)/[(M/10)+(Re*M)1000]/1000$
DESARROLLO				
AREA 1	m ²	84,80	A1s	Qhp/So
AREA 2	m ²	84,80	A2s	Qhp*M*SV/SL
AREA TANQUE SED.	m ²	84,80	As	MAYOR DE ARRIBA
VOLUMEN TANQUE SED.	m ³	254,30	Vs	Qhp*TRS
PROFUNDIDAD MEDIA	m	3,00	Hms	Vs/As
L MINIMA VERTEDERO	m	5,66	Lmv	As/(5*Hms)
SI TANQUE CIRCULAR				
DIAMETRO TANQUE SED.	m	10,40	Ds	$(4*As/3)^{0.5}$
LONGITUD VERTEDERO SALIDA	m	32,70	$2*PI*D_s/2$	
CHEQUEO VERTEDERO SALIDA				O.K.
CARGA SUPERFICIAL REAL	m ³ /m ² -hr	1,00	Sor	$PI*D_s^2/4$
CHEQUEO CARGA SUPERFICIAL				O.K.

Nuestros sedimentadores tendrán las siguientes dimensiones

Diámetro Interno:	10,40 m
Diámetro externo	12,40 m
Altura lámina de agua	3,00 m
Altura total	3,50 m
Pendiente del fondo del sedimentador	7%

13.2.4.4. Dimensionamiento deshidratación de lodos

A continuación, se presenta la producción de lodos para todo el sistema de tratamiento a través de espesamiento de lodos y lechos de secado antes de pasar a los lechos de secado se contará con empesadores de lodos

Tabla 50 Dimensionamiento espesador de lodos

DISEÑO ESPESADOR DE LODOS		
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
FLUJO LODOS		
CANTIDAD	kg/d	206,92
VOLUMEN	GPM	0,04
L. DIGERIDOS		206,92
ESPEZADOR	N	1,00
CARGA LODOS	kg/m ² -seg	0,00
CARGA LODOS	KG/M2-D	35,42
AREA ESP	m ²	5,84
DIAMETRO	m	2,73
LADO INFERIOR	m	0,30
DIAMETRO REAL	m	2,70
ALTURA CONO	m	1,80
VOLUMEN CONO	m ³	3,44
ALTURA CILINDRO	m	3,00
H TOTAL CILINDRO	m	3,30
BORDE LIBRE + SOBRN.	m	0,30
ALTURA TOTAL ESPESADOR	m	5,10
VOLUMEN ESPEZADOR	m ³	20,61

Una vez espesados se espera tener lodos a una concentración de solidos del 3% con base en esto se dimensionan a continuación los lechos de secado

Tabla 51 Dimensionamiento lechos de secado

DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO DESHIDRATACIÓN DE LODOS ANAEROBIO + AEROBIO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	ECUACION
CAUDAL AR	m ³ /hr	126,33	Q	
DBO in	ppm	288,00	DBO IN	
DBO out	ppm	15,00	DBO OUT	
DBO in	Kg/d	873,16	DBO in	$DBO\ in = DBO\ in\ X\ Q$
DBO out	Kg/d	45,48	DBO out	$DBO\ out = DBO\ out\ X\ 0,1$
DBO removida	Kg/d	827,69	DBO Remov	$DBO\ rem = DBO\ out - DBO\ in$
Factor prod. lodos	lodos/BDO remov.	0,25	F-LOD	$LOD = F - LOD\ x\ DBO\ Remo$
Producción de Lodos	Kg/d	206,92	LOD	
TOTAL LODOS	Kg/d	206,92	TOTAL LOD	
FLUJO LODOS	GPM	0,038	Q LODOS	
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /h	0,00862	VOL. LODOS/TANQUE	$V\ Lodos/tanque = (Q\ lodos * \frac{3,7853}{1000}) * 60$
VOL. LODOS/TANQUE	m ³ /d	0,207	VOL. LODOS/TANQUE	
VOLATILES	%	0,100	% VOLATILES	
DESTRUIDOS	%	0,100	% DESTRUIDOS	
LODOS NETOS	m ³ /d	0,207	LODOS NETOS	$Lodos\ netos = Vol.\ Lodos/tanque * (1 - \frac{Volatiles}{100} * \frac{Destruidos}{100})$
LODOS DEL ESPESADOR				
% SOLIDOS	%	3,0	%S	
LODOS PRODUCIDOS	m ³ /d	6,90	LODOS P	$LODOS\ P = \frac{LODOS\ NETO}{\%S}$
TIEMPO DE BOMBEO	horas	8,000	TIEMPO B	
TASA DE BOMBEO	m ³ /h	0,862	TB	$TB = \frac{LODOS\ P}{TIEMPO\ B}$
LECHOS SECADO LODOS				
TIEMPO DE SECADO	días	5	TS	
VOLUMEN LODOS TOTAL	m ³	34,49	VLT	$VLT = LODOS\ P\ X\ TS$
PROFUNDIDAD TORTA	m	0,5	PRO	
AREA LECHOS	m ²	68,97	A L	$AL = VLT / PRO$
LADO 1 CELDA 1	m	5	LA 1 C 1	
LADO 2 CELDA 1	m	2,3	LA 2 C 2	
AREA TOTAL CELDA 1	m ²	11,5	AT C1	$AT\ C1 = LA\ 1\ C\ 1\ X\ LA\ 2\ C\ 2$
NUMERO DE CELDAS		6,00	NC	
NUMERO DE CELDAS REAL		6,00	NCR	$NC = AL / AT\ C1$

Los lechos de secado tendrán las siguientes dimensiones

Numero de celdas	6
Longitud de la celda	5,00 m
Ancho de la celta	2,30 m
Altura útil, material de filtrado y lodos	1,00 m
Altura Total	1,50 m
Techo	En estructura de acero y teja traslucida

13.2.4.5. Sub productos generación de Biogás

Biogás La materia orgánica es convertida por las bacterias anaeróbicas en biogás y pequeña cantidad de lodo excedente. De la cantidad total de DQO afluente al reactor 70% - 75% es convertido en biogás (CH₄ y CO₂), el 1% - 2% en lodo anaeróbico y el 15% - 25% pertenece al efluente.

A continuación, se presenta los cálculos de la producción de biogás para el reactor UASB

Tabla 52 Producción de Biogás reactor UASB

MUNICIPIO DE MESETAS META				
PRODUCCION DE BIOGAS				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL	m ³ /h	126,33	Q	
DQO	mg/L	798,00	DQO	
Eficiencia de remocion	%	56,00	E	
C DQO	Kg/d	2.419,39	C DQO	$CDQO = \frac{DQO \times Q \times 24}{1000}$
BIOGAS	m ³ /d	687,82	Biogas	$Biogas = CH_4/0,75$
BIOGAS	m ³ /h	28,66	Biogas	
METANO	m ³ /d	515,87	CH ₄	$CH_4 = (Q * 24) * (DQO/1000) * (E/100) * 0,35 * ((T + 273,15)/273,15)$
METANO	m ³ /h	21,49	CH ₄	
TEMPERATURA	°C	24,00	T	Tempertura del afluente
CAPACIDAD DE LA ANTORCHA	m ³ /h	37,00		

Nota: El biogás podrá ser utilizado en procesos industriales, sustituyendo al BPF, energía eléctrica o generación de vapor.

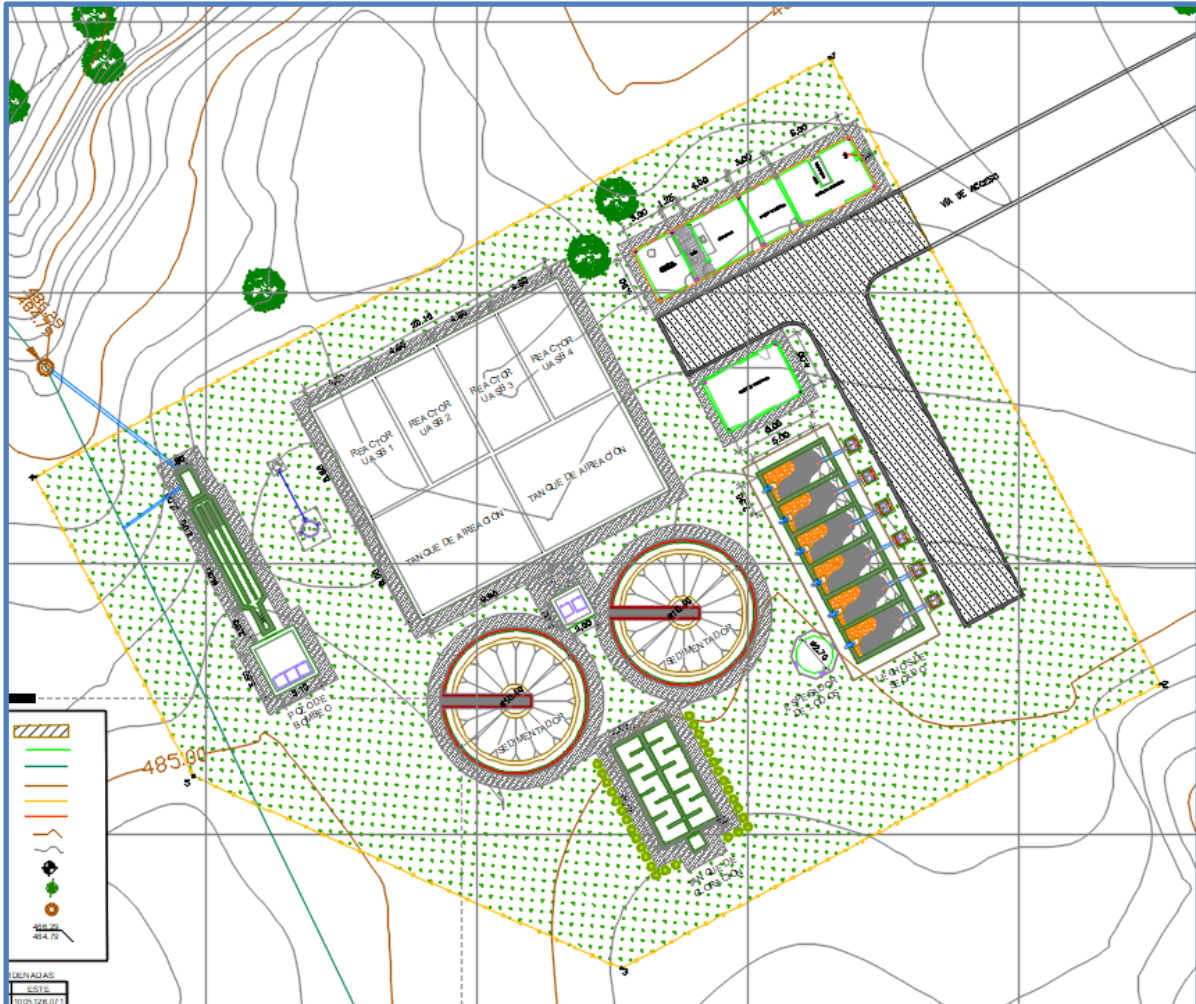
Composición del biogás

- 70 - 80% Metano (CH₄)
- 19 - 28% CO₂
- 1 - 2% Otros Gases Saturado con agua

Poder Calorífico (PCI): 5.500 Kcal. /Nm³

Equivalencias Energéticas = 2.490 Kg/d: bunker C

Ilustración 13 Planta general alternativa 4 UASB + LAC



Fuente: Propia

Área Proyecto 2,877m²

Tabla 53 Resumen general de dimensionamiento alternativas 1,2,3 y 4

DISEÑO GENERAL								
MUNICIPIO DE MESETAS META								
RESUMEN DIMESIONAMIENTO ALTERNATIVAS								
ESTRUCTURA	CANT.	DIAM (m)	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTURA CÓNICA (m)	AITURA UTIL (m)	ALTURA TOTAL (m)	VOLUMEN (m3)
TRATAMIENTO PRELIMINAR								
Cámara de alivio	1,00		2,00	1,00		0,50	1,50	
Canal de rejillas	3,00		2,00	0,40		0,27	1,50	
Desarenador	3,00		6,00	0,40		0,27	1,50	
Pozo de bombeo inicial	1,00		3,50	3,10		3,00	4,00	32,55
PROCESO SECUNDARIO								
Filtro percolador	2,00	13,00				5,00	7,00	
TK lodos activados	2,00		19,40	9,70		5,50	6,00	1034,99
UASB	4,00		8,80	4,80		6,60	7,10	278,78
RAP1	2,00		9,90	5,10		3,50	5,00	176,72
RAP2	2,00		9,90	4,40		3,50	5,00	152,46
RAB 3	2,00		9,90	5,40		3,50	5,00	187,11
TK lodos activados Con UASB	2,00		9,90	8,00		5,50	6,00	435,60
SEDIMENTACION								
Sedimentador FP, LAC, UASB + LAC	2,00	10,40				3,00	3,50	255,00
Sedimentación UASB + RAP	2,00		9,90	3,20		3,50	4,00	110,88
CLORACIÓN								
Tanque contacto de cloro	2,00		8,00	2,00		2,00	2,30	16,00
MANEJO DE LODOS								
Pozo de lodos	1,00		2,00	2,00		3,50	4,00	14,00
ESPEZAMIENTO								
Espesador de lodos FP y LAC	2,00	2,70			1,80	3,60	3,90	13,74
Espesador de lodos UASB + LAC	1,00	2,70			1,80	4,80	5,10	20,61
LECHOS DE SECADO								
FP y LAC	6,00		6,00	4,00		1,00	1,50	72,00
UASB + RAP	6,00		6,00	2,30		1,00	1,50	41,40
UASB + LAC	9,00		5,00	2,30		1,00	1,50	51,75

13.2.5. Alternativa 5 Lagunas de Estabilización

13.2.5.1. Dimensionamiento Lagunas de Estabilización

La selección de lagunas de estabilización como sistema de tratamiento de aguas residuales municipales se hace con base en los siguientes principios de diseño:

- * Las lagunas de estabilización constituyen el proceso de tratamiento biológico más confiable por su resistencia máxima a cargas pico de materiales orgánicos y tóxicos, por su sensibilidad mínima a la operación intermitente y porque requieren una destreza operativa ínfima.
- * Lagunas en serie permiten diseños más suficientes y por lo tanto más económicos.
- * El dinero disponible para tratamiento de aguas residuales es escaso, por lo tanto, las obras de control de polución deben satisfacer los requerimientos de tratamiento a costos de operación y mantenimiento mínimos.

Teniendo en cuenta que es el sistema más económico y que provee un efluente de calidad aceptable podría ser una buena alternativa de tratamiento ya que en el municipio de Mesetas podría tener un terreno disponible, pero debería el municipio adquirir terreno adicional al ya existente

Se dimensionaron tres lagunas una anaerobia, una facultativa y una de maduración con el fin de lograr las eficiencias mayores al 95% y eliminación de coliformes lagunas facultativas

Geometría	Rectangular
Material construcción	lagunas con geotextil y geomembranas

Se calculará el sistema para los a parámetros establecidos en la resolución 0330 y 0799

A continuación, se presenta los dimensionamientos de las tres lagunas cuyos diseños se anexan en el archivo de Excel

Tabla 54 Dimensionamiento laguna anaerobia

DISEÑO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - LAGUNA ANAEROBIA			
MUNICIPIO DE MESETAS META			
DISEÑO - LAGUNA ANAEROBIA.			
PARÁMETROS BÁSICOS.			
Población proy. de Diseño P (hab)		8.485	
Caudal de Diseño Q (m³/d)		1209,33	
Carga Equivalente (g/hab.d - DBO)		41	
Concetracion de DBO (mg/l)		288	
Carga Org. Afluente CO _{afluente} (kg/d - DBO)		348	348,29
Coliformes Afluente CF _{afluente} (NMP/100mL)		2,4E+06	
Temperatura Media T (°C)		24	
<p>La Laguna Anaerobia se dimensiona con la carga orgánica Volumétrica como parámetro de diseño. Utilizando la siguiente expresión aproximada para diseño (deducida según experiencia de lagunas previas₍₁₁₎), la Carga Orgánica Volumétrica es:</p>			
$COV = 16.5 \cdot T - 100$		COV (g/m³.d - DBO)	296
			RAS Entre 100 a 500 artículo 198
Volumen de la Laguna...			
$V = \frac{C_{equivalente} \cdot P}{COV}$		Volumen Laguna V (m³)	1175,32
Tiempo de Retención...			
$\theta = \frac{V}{Q}$		Tiempo Retención q (d)	0,97
			→ NO RAS Tabla E.4.31
Según RAS 2017 (Artículo 198), se toma un Tiempo de retención 1 a 3 días. Luego, se diseña con un tiempo de:			
		Tiempo Retención q (d)	2,0
Volumen corregido por el Tiempo de retención...			
$V = Q \cdot \theta$		Volumen Laguna V (m³)	2418,65
Considerando que el 50% del Volumen Total lo ocupan los lodos, se determina el Período de Desenlode para la laguna.			
Según RAS...			
		Tasa acumulación lodos t _d (m³/hab.año)	0,029
$t = \frac{V_{lodos}}{t_d \cdot P}$		Periodo Desenlode t (años)	4,91
			→ OK RAS E.4.8.5.5

Según tabla RAS se supone una Eficiencia de remoción de la laguna en función de la temperatura de Diseño y el tiempo de Retención.

T (°C)	q (d)	% Remoción
10-15	4-5	30-40
15-20	2-3	40-50
20-25	1-2	50-60
25-30	1-2	60-70

Eficiencia DBO E_1 (%) **55%**

Luego, la DBO del efluente de la laguna será...

$$DBO = \frac{CO_{afuente} \cdot (1 - E_1)}{Q}$$

DBO_{efluente} (mg/L) **129,5**

Luego, la Carga Orgánica del efluente es...

$$CO_{efluente} = CO_{afuente} \cdot (1 - E_1)$$

CO_{efluente} (kg/d - DBO) **157**

Para determinar la Constante de Mortalidad de CF (no se tienen datos experimentales), se asume que el Agua residual tendrá un comportamiento tipo Flujo de Mezcla Completa. Como es la Primera laguna de un tren de lagunas, se recurre a la Ecuación de Marais...

$$K_{b,T} = 2.6 \cdot (1.19)^{T-20}$$

K_b (d⁻¹) **5,2**

Los Coliformes esperados en el efluente son...

$$N_1 = \frac{CF_{afuente}}{1 + K_d \cdot \theta}$$

N_1 (NMP/100mL) **2,1E+05**

Porcentaje remoción CF...

Eficiencia CF (%) **91%** → OK

RAS E.4.2

Según el RAS (artículo 198), la profundidad de las lagunas Anaerobias oscila entre 2.5m y 5m. Por consiguiente...

Profundidad h (m) **4,0**

Determinando el Área a profundidad media...

$$A = \frac{V}{h}$$

Área laguna A (Ha) **0,060**

Por consiguiente, la Carga orgánica Superficial es:

$$COS = \frac{CO_{afuente}}{A}$$

COS (kg/Ha.d) **5753,5** → OK

RAS E.4.8.5.1

Para cumplir con las especificaciones del RAS (Sección E.4.4.7), se deben construir dos lagunas primarias, operadas en paralelo.

Luego: **Número de Lag. Anaerobias** **1**

Área media (m²) **302**

Tabla 55 Dimensionamiento laguna facultativa

DISEÑO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - LAGUNA FACULTATIVA		
MUNICIPIO DE MESETAS META		
DISEÑO - LAGUNA FACULTATIVA.		
PARÁMETROS BÁSICOS.		
Población proy. de Diseño P (hab)		8.485
Caudal de Diseño Q (m³/d)		1209,33
Carga Org. Afluente CO _{afluente} (kg/d - DBO)		129
Coliformes Afluente CF _{afluente} (NMP/100mL)		2,1E+05
Temperatura mes más frío Ta (°C)		24
Temperatura media T (°C)		26
<p>Las Lagunas Facultativas se diseñan con base en las Cargas Orgánicas Superficiales, dependiendo del área geográfica, de temperatura, profundidad y otros factores. Por especificaciones del RAS (Artículo 199), la profundidad de la Laguna debe ser entre 1.0 m y 2.5m. Por facilidades constructivas y permitiendo el desarrollo del proceso facultativo, se asume una profundidad de:</p>		
Profundidad h (m)		2,5
<p>Se compara la Carga Orgánica Superficial Máxima de la laguna esperada, analizando los modelos existentes, de acuerdo a la temperatura de diseño.</p>		
MODELO	EXPRESIÓN	CARGA SUPERFICIAL COS (KG/Ha.d - DBO)
McGarry - Pescod	$COS = 60.3 \cdot (1.0993)^{T_a}$	585
Mara	$COS = 20 \cdot T_a - 120$	360
Yañez	$T' = 8.59 + 0.82 \cdot T_a$	T' = 28,27
	$COS = 357 \cdot (1.085)^{T'-20}$	
Arthur	$COS = 20 \cdot T - 60$	460
Cubillos	$COS = 714.3 \cdot h \cdot (1.085)^{T_a-35}$	728
Mara*	$COS = 350 \cdot (1.107 - 0.002 \cdot T_a)^{T_a-25}$	331
* Para Lagunas con profundidades entre 1m y 2m.		
<p>La Carga Orgánica Superficial de diseño debe ser mucho menor que las máximas antes obtenidas. De acuerdo a Gloyna [2], para un clima tropical, con radiación y temperaturas uniformes, la carga oscila entre 150 a 300 kg/Ha.d - DBO.</p>		
Por consiguiente, se asume un valor de:	COS (kg/ha.d - DBO)	200
ARTICULO 199		
Determinando el Área a profundidad media...		
	$A = \frac{CO_{afluente}}{COS}$	Área laguna A (Ha) 0,647
Volumen de la Laguna...		
	$V = A \cdot h$	Volumen Laguna V (m³) 16182

Tiempo de Retención...	$\theta = \frac{V}{Q}$	Tiempo Retención q (d)	13,4	→ OK
ARTICULO 199				
Considerando que un Tercio del Volumen total lo ocupa lodos generados (menor cantidad que lagunas anaerobias), se determina el Período de Desenlode para la laguna.				
Según RAS...	Tasa acumulación lodos t_d (m³/hab.año)	0,04		
	$t = \frac{V_{lodos}}{t_d \cdot P}$	Período Desenlode t (años)	15,9	→ OK
Determinando la Eficiencia de remoción, de acuerdo con el criterio de McGarry - Pescod.				
	$E_2 = \frac{10.35}{COS} + 0.725$	Eficiencia DBO E_2 (%)	78%	
Según tabla RAS (Artículo 184) para Lagunas Facultativas los valores típicos de Eficiencia en remoción de DBO oscilan entre el 80% y 90%.				
Luego, la DBO del efluente de la laguna será, a partir de la eficiencia obtenida...				
	$DBO = \frac{CO_{afuente} \cdot (1 - E_2)}{Q}$	DBO_{efluente} (mg/L)	24	
La Carga Orgánica del efluente será de:				
	$CO_{efluente} = CO_{afuente} \cdot (1 - E_2)$	CO_{efluente} (kg/d - DBO)	29	
Se determina la Constante de Mortalidad de acuerdo a los modelos de Flujo en pistón. Constructivamente, la laguna Facultativa debe poseer pantallas que conduzcan el agua en una dirección, asimilando el modelo adoptado y mejorando su eficiencia en remoción de Carga Orgánica.				
MODELO	EXPRESIÓN	CTE. MORTALIDAD K_b (d⁻¹)		
Klock	$K_b = 1.10 \cdot (1.075)^{T_s - 20}$	1,47		
Bowles	$K_b = 0.50 \cdot (1.072)^{T_s - 20}$	0,66		
Ramirez	$K_b = 0.41 \cdot (1.15)^{T_s - 20}$	0,72		
Saenz	$K_b = 0.623 \cdot (1.037)^{T_s - 20}$	0,72		
CEPIS	$K_b = 0.447 \cdot (1.18)^{T_s - 20}$	0,92		
De los valores anteriores:		K_b (d⁻¹)	1,6	→ OK
Los Coliformes esperados en el efluente son...				
	$N_2 = \frac{CF_{afuente}}{1 + K_d \cdot \theta}$	N_2 (NMP/100mL)	9,4E+03	
Porcentaje remoción CF...		Eficiencia CF (%)	96%	→ OK
RAS E.4.2				
Revisando la Remoción de DBO total...		Eficiencia DBO (%)	93%	→ OK

Tabla 56 Dimensionamiento laguna de maduración

DISEÑO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - LAGUNA DE MADURACIÓN			
MUNICIPIO DE MESETAS META			
DISEÑO - LAGUNA DE MADURACIÓN.			
La Sección RAS denota que para climas cálidos, es necesaria la construcción de una Laguna de Maduración luego de lagunas Facultativas.			
PARÁMETROS BÁSICOS.			
Población proy. de Diseño P (hab)		8.485	
Caudal de Diseño Q (m³/d)		1209,33	
Carga Org. Afluente CO _{afluente} (kg/d - DBO)		29	
Coliformes Afluente CF _{afluente} (NMP/100mL)		9,4E+03	
Temperatura mes más frío T (°C)		25	
Temperatura media T (°C)		28	
Por especificaciones del RAS (Artículo 200), la profundidad de la Laguna debe ser entre 0.9m y 1.0m. Así mismo se asume un Tiempo de Retención Hidráulica de 6 días.			
Profundidad h (m)		1,0	
Tiempo Retención q (d)		6	
Volumen de la Laguna...			
$V = Q \cdot t$	Volumen Laguna V (m³)	7256	
Determinando el Área a profundidad media...			
$A = \frac{V}{h}$	Área laguna A (Ha)	0,726	
Las Lagunas de Maduración se diseñan principalmente para reducción de Coliformes. No obstante, según criterios del RAS, se determina la Carga Superficial para reducción de DBO (Sección 4.8.8.1).			
$COS = 0.941 \cdot COS_{afluente} - 7.16$	COS (kg/ha.d - DBO)	181	
Considerando que un tercio del volumen total lo ocupa los lodos, se determina el período de desenlode de la laguna.			
Según RAS...	Tasa acumulación lodos t _d (m³/hab.año)	0,04	
$t = \frac{V_{lodos}}{t_d \cdot P}$	Período Desenlode t (años)	7,1	→ NO t > 10 años
Según tabla RAS E.4.2, para Lagunas de Maduración se supone una Eficiencia de Remoción de la laguna entre el 60% y 80% en DBO. Asumiendo por defecto...			
	Eficiencia DBO E ₃ (%)	70%	
La DBO del efluente de la laguna será...			
$DBO = \frac{CO_{afluente} \cdot (1 - E_2)}{Q}$	DBO _{efluente} (mg/L)	7,2	
Luego, la Carga Orgánica del efluente es...			
$CO_{efluente} = CO_{afluente} \cdot (1 - E_2)$	CO _{efluente} (kg/d - DBO)	8,7	
Se utiliza la Constante de Mortalidad de acuerdo a los modelos de Flujo en pistón. Usando el mismo valor de la Laguna facultativa...			
	K _b (d ⁻¹)	1,60	
Los Coliformes esperados en el efluente son...			
$N_3 = \frac{CF_{afluente}}{1 + K_d \cdot \theta}$	N ₃ (NMP/100mL)	8,9E+02	→ NO Dto. 1594/1982
Porcentaje remoción CF...	Eficiencia CF (%)	91%	→ OK

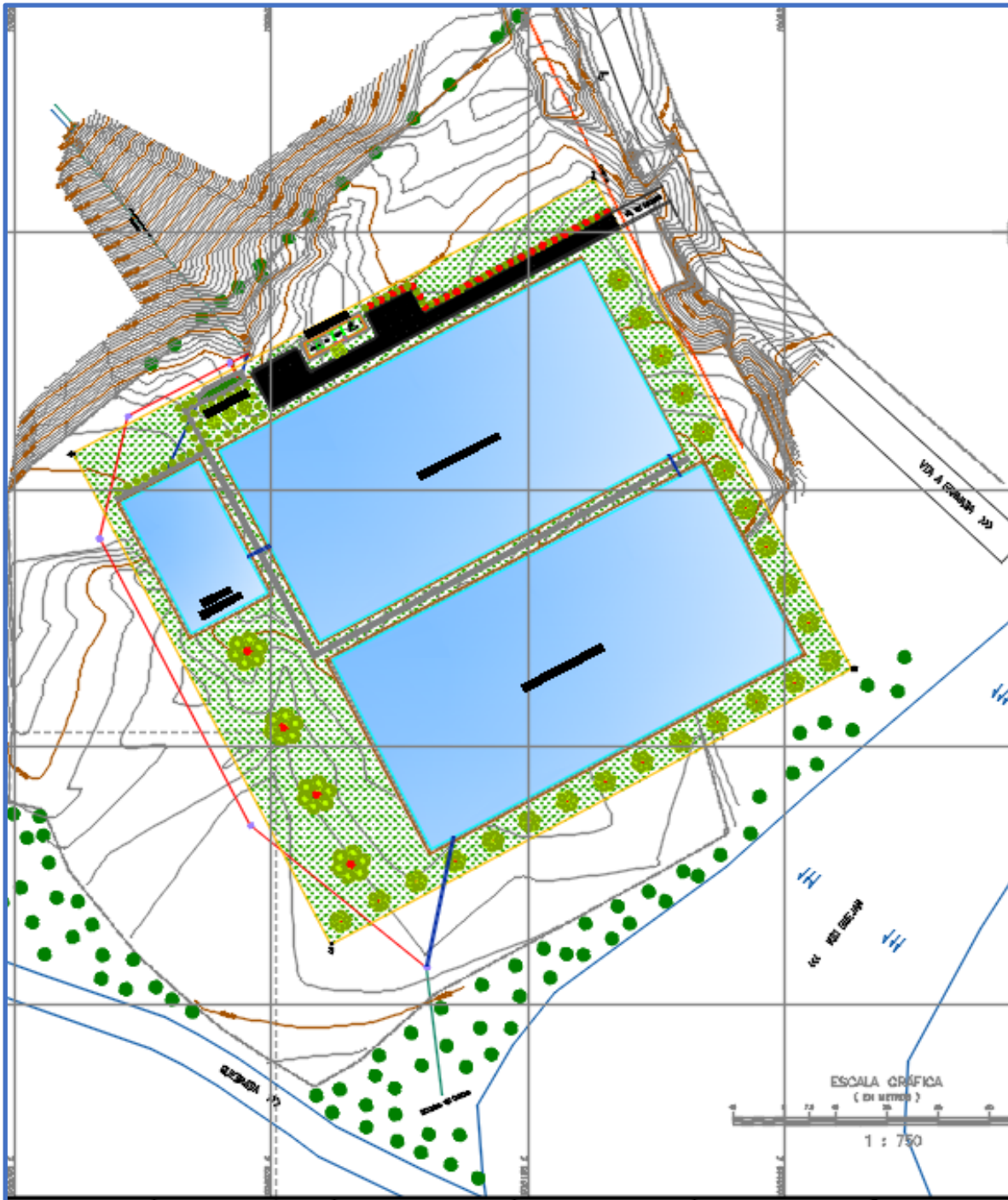
Una vez dimensionadas las tres lagunas se presenta a continuación el resumen de las

dimensiones y características de cada una de ellas

Tabla 57 dimensiones y volúmenes de las lagunas facultativas

DISEÑO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - CÁLCULO VOLUMEN LAGUNAS				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
CÁLCULO VOLUMEN LAGUNAS				
		Dimensiones de las Lagunas.		
		Anaerobia	Facultativa	Maduración
	Número de lagunas	1	1	1
	Profundidad agua h (m)	4,0	2,5	1,0
	Borde libre b (m)	0,5	0,5	0,5
	Profundidad total h (m)	4,5	3,0	1,5
	Area media total (m ²)	0,0605	0,6473	0,7256
	Rel. Largo / ancho	2,0	2,0	2,0
	Talud (1/n)	2,0	2,0	2,0
	Area / laguna (Ha)	0,0605	0,6473	0,7256
Profundidad media	ancho (m)	17,4	56,9	60,2
	largo (m)	34,8	113,8	120,5
	Área corregida (m ²)	605	6473	7256
Base laguna	ancho (m)	9	52	58
	largo (m)	27	109	118
	Área corregida (m ²)	251	5644	6899
Lámina de Agua	ancho (m)	25	62	62
	largo (m)	43	119	122
	Área corregida (m ²)	1086	7351	7621
Cota Terrreno	ancho (m)	27,4	63,9	64,2
	largo (m)	44,8	120,8	124,5
	Área corregida (m ²)	1226	7716	7995
Por cada laguna	Volumen agua (m ³)	2480	16197	7257
	Volumen total* (m ³)	2710	16634	7440

Ilustración 14 Planta general alternativa 5 Lagunas de estabilización



Área Proyecto 27,781 m²

13.3. Sistema De Desinfección

El sistema a implementar para realizar la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales para el municipio de Mesetas, será a través de la aplicación de hipoclorito el cual se dosificará a través de bombas dosificadora, esta unidad de tratamiento es igual para todas las alternativas planteadas.

Los efluentes tratados de la PTAR, por tener en su composición las excretas de los seres humanos, presentan en un rango muy amplio, dependiendo de los cambios climáticos, económicos, estacionales, etc., diferentes organismos vivos, que viven dentro de hombres y animales como virus, huevos de helmintos, coliformes fecales y totales, etc., deben ser analizados según su concentración y según la disposición para determinar el procedimiento a seguir.

A continuación, se presenta el dimensionamiento de esta unidad

Tabla 58 Dimensionamiento tanque de contacto de cloro

DISEÑO GENERAL				
MUNICIPIO DE MESETAS META				
DISEÑO TRATAMIENTO DESINFECCIÓN				
CAMARA CONTACTO CLORO				
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR	SIMBOLO	FORMULA
CAUDAL (QMD)	l/s	35,75	Qc	Qhp/60
Numero de Tanques	UNIDAD	2,00		
CAUDAL	m ³ /min	1,07	Qc	Qhp/60
TIEMPO DE RETENCION	min	30	TRe	
RELACION L/a		4	L/ac	
PROFUNDIDAD	m	2	Hc	
DESARROLLO				
CAPACIDAD TANQUE	m ³	32,20	Vc	Qc*TRe
AREA EFECTIVA	m ²	16,10	Ae	Vc/Hc
ANCHO EFECTIVO	m	2,00	ae	(Ae/(L/ac)) ^{0.5}
LARGO EFECTIVO	m	8,00	le	ae*(L/ac)
CAPACIDAD MEDIO ELIPSE	m ³	12,57	Vce	(PI*ae*Lsd/2)/2

De acuerdo a lo anterior nuestra unidad de desinfección estará compuesta por dos unidades cada uno para cada módulo o tren de tratamiento

Numero de Tanques	2
Longitud del tanque	8,00 m

Ancho del tanque	2,00 m
Altura total del tanque	2,40 m
Altura lámina de agua	2,00 m
Volumen total del tanque	32,00 m ³
Tiempo de retención	30 minutos

Además de lo anterior hay que tener en cuenta lo siguiente

- ✓ Un área para la preparación y dosificación del cloro, mediante una solución líquida de hipoclorito de sodio que incluye tanques en PRFV, agitadores y bombas dosificadoras.

Esta área se ubicará en una pequeña caseta adjunta al tanque sedimentador y se bombeará la solución de cloro hacia el tanque de contacto.

- ✓ El tanque será en concreto reforzado con tabiques divisorios que permitan un flujo cuasi pistón, lográndose un efectivo tiempo de contacto.

14. Áreas Necesarias para la Construcción de Alternativas

Con base en los dimensionamientos de las cinco alternativas se realizaron planos de planta general e implantaciones para poder determinar a las áreas ocupadas por cada uno de los sistemas, los cuales se ilustraron al final del dimensionamiento de cada alternativa, estos planos se presentan como anexos

A continuación, se presentan el cuadro resumen de áreas necesarias por cada una de las alternativas

RESUMEN DE AREAS

ALTERNATIVA 1. (Filtro percolador FP)	Área 3.174 m ²
ALTERNATIVA 2 (Lodos activados LAC)	Área 3,450m ²
ALTERNATIVA 3. (UASB + RAP)	Área 2,655 m ²
ALTERNATIVA 4 (UASB + LAC)	Área 2,877 m ²
ALTERNATIVA 5 (Lagunas de Estabilización LAG-EST)	Área 27,781 m ²

15. Costos de Inversión

Con respecto a los costos de inversión se realizaron presupuestos detallados para cada una de las 5 alternativas teniendo en cuenta que el tratamiento preliminar o primario es igual para las primeras 4 alternativas, así como el proceso de desinfección, se presentan presupuestos para el componente de obra civil con base en los precios establecidos por la gobernación a través de la empresa de servicios públicos del Meta EDESA S.A E.S.P Suministro e instalación de equipos y obra mecánica, obra eléctrica y arranque y puesta en marcha. Estos se presentan en un archivo en Excel como anexo, al final se presentará un cuadro comparativo para todas las cuatro alternativas

13.1. Inversión Tratamiento Preliminar

Tabla 59 Inversión tratamiento preliminar

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES - TRATAMIENTO PRELIMINAR					
ITEM	CAPITULO		COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	ALCANTARILLADO EMISARIO FINAL		\$ 9.739.580,00	1,22	\$ 11.882.287,60
2,00	CÁMARA DE ALIVIO DE CAUDALES		\$ 20.024.935,92	1,22	\$ 24.430.421,83
3,00	ESTRUCTURA PRELIMINAR CRIBADO Y DESARENADO		\$ 82.450.869,70	1,22	\$ 100.590.061,03
4,00	BOMBEO INICIAL		\$ 85.889.450,73	1,22	\$ 104.785.129,89
	TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES				\$ 241.687.900,35

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO EQUIPAMIENTO - TRATAMIENTO PRELIMINAR		
1,00	ESTRUCTURA PRELIMINAR CRIBADO Y DESARENADO	\$ 127.600.000,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS EQUIPAMIENTO - TRATAMIENTO PRELIMINAR	\$ 127.600.000,00

13.2. Inversión Alternativa 1 Filtros Percoladores

Tabla 60 Inversión obra civil alternativa 1 Filtros percoladores

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES				
ITEM	CAPITULO	COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	BOMBEO INICIAL Y RECIRCULACIÓN	\$ 110.711.485,28	1,22	135.068.012
2,00	FILTRO PERCOLADOR	\$ 1.035.473.236,44	1,22	1.263.277.348
3,00	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	\$ 468.620.928,99	1,22	571.717.533
4,00	TANQUE CLORACION	\$ 147.403.017,74	1,22	179.831.682
5,00	POZO DE LODOS	\$ 70.252.583,07	1,22	85.708.151
6,00	ESPESADOR DE LODOS	\$ 49.689.658,31	1,22	60.621.383
7,00	LECHOS DE SECADO	\$ 391.470.652,45	1,22	477.594.196
8,00	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL	\$ 165.666.056,11	1,22	202.112.588
9,00	LINEA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	\$ 22.837.835,00	1,22	27.862.159
10,00	CABEZAL DE DESCARGA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	\$ 34.486.044,50	1,22	42.072.974
11,00	OBRAS DE URBANISMO COMPLEMENTARIAS	\$ 195.642.784,00	1,22	238.684.196
12,00	ALCANTARILLADOS DE BY-PASS Y DESCARGA FINAL	\$ 50.821.866,00	1,22	62.002.677
13,00	VIAS DE ACCESO Y CIRCULACION A LA PLANTA DE TRATAMIENTO	\$ 117.115.817,75	1,22	142.881.298
14,00	CASETA DESINFECCION	\$ 63.656.306,72	1,22	77.660.694
	TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES			3.567.094.892

Tabla 61 inversión equipamiento alternativa 1 Filtros percoladores

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES				
1,00	POZO DE BOMBEO INICIAL		\$	202.091.515,00
2,00	FILTRO PERCOLADOR A CAMARA DISTRIBUCION		\$	1.427.160.000,00
3,00	CAMARA DE DISTRIBUCION A SEDIMENTADOR SECUNDARIO		\$	383.520.000,00
4,00	SEDIMENTADOR A DESINFECCION		\$	82.400.000,00
5,00	POZO DE LODOS Y LINEAS DE LODOS		\$	210.196.779,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES		\$	2.305.368.294,00

Tabla 62 inversión componente eléctrico Alternativa 1 Filtros percoladores

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES					
1,00	TABLERO CCM				\$ 28.500.000
2,00	TABLERO DE CONTROL				\$ 95.000.000
3,00	ACOMETIDAS ELECTRICAS FUERZA Y CONTROL				\$ 142.000.000
4,00	EXTERIORES Y EDIFICIOS				\$ 82.000.000
5,00	PLANTA DE EMERGENCIA				\$ 65.000.000
TOTAL COSTOS DIRECTOS COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 1 - FILTROS PERCOLADORES					\$ 412.500.000

13.3. Inversión Alternativa 2 Lodos Activados

Tabla 63 Inversión obra civil alternativa 2 Lodos activados

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS					
ITEM	CAPITULO		COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	TANQUE AIREACION		\$ 1.555.937.191,04	1,22	\$ 1.898.243.373
2,00	SEDIMENTADOR SECUNDARIO		\$ 468.620.928,99	1,22	\$ 571.717.533
3,00	TANQUE CLORACION		\$ 146.042.259,74	1,22	\$ 178.171.557
4,00	POZO DE LODOS		\$ 70.252.583,07	1,22	\$ 85.708.151
5,00	ESPESADOR DE LODOS		\$ 49.689.658,31	1,22	\$ 60.621.383
6,00	LECHOS DE SECADO		\$ 391.470.652,45	1,22	\$ 477.594.196
7,00	CASETA SOPLADORES		\$ 92.126.422,49	1,22	\$ 112.394.235
8,00	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL		\$ 165.666.056,11	1,22	\$ 202.112.588
9,00	LINEA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA		\$ 20.511.617,00	1,22	\$ 25.024.173
10,00	CABEZAL DE DESCARGA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA		\$ 34.486.044,50	1,22	\$ 42.072.974
11,00	OBRAS DE URBANISMO COMPLEMENTARIAS		\$ 198.392.784,00	1,22	\$ 242.039.196
12,00	ALCANTARILLADOS DE BY-PASS Y DESCARGA FINAL		\$ 50.821.866,00	1,22	\$ 62.002.677
13,00	VIAS DE ACCESO Y CIRCULACION A LA PLANTA DE TRATAMIENTO		\$ 122.647.463,25	1,22	\$ 149.629.905
14,00	CASETA DESINFECCION		\$ 63.656.306,72	1,22	\$ 77.660.694
TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS					\$ 4.184.992.637

Tabla 64 inversión equipamiento alternativa 2 Lodos activados

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS			
1,00	POZO DE BOMBEO INICIAL		\$ 201.860.131,00
2,00	TANQUE DE AIREACION		\$ 906.480.000,00
3,00	TANQUE DE AIREACION A SEDIMENTADOR		\$ 383.520.000,00
4,00	SEDIMENTADOR A DESINFECCION		\$ 82.400.000,00
5,00	POZO DE LODOS Y LINEAS DE LODOS		\$ 200.196.779,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS		\$ 1.774.456.910,00

Tabla 65 Inversión componente eléctrico alternativa 2 Lodos activados

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS			
1,00	TABLERO CCM		\$ 126.500.000,00
2,00	TABLERO DE CONTROL		\$ 122.000.000,00
3,00	ACOMETIDAS ELECTRICAS FUERZA Y CONTROL		\$ 190.000.000,00
4,00	EXTERIORES Y EDIFICIOS		\$ 82.000.000,00
5,00	PLANTA DE EMERGENCIA		\$ 215.000.000,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 2 - LODOS ACTIVADOS		\$ 735.500.000,00

13.4. Inversión Alternativa 3 UASB + RAP

Tabla 66 Inversión obra civil alternativa 3 UASB + RAP

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP				
ITEM	CAPITULO	COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	REACTOR UASB	1.301.035.242,90	1,22	\$ 1.587.262.996
2,00	REACTOR RAP	1.122.890.117,28	1,22	\$ 1.369.925.943
3,00	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	310.655.799,98	1,22	\$ 379.000.076
4,00	TANQUE CLORACION	146.042.259,74	1,22	\$ 178.171.557
5,00	POZO DE LODOS	70.252.583,07	1,22	\$ 85.708.151
6,00	LECHOS DE SECADO	264.019.602,54	1,22	\$ 322.103.915
7,00	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL	131.839.938,36	1,22	\$ 160.844.725
8,00	LINEA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	21.674.726,00	1,22	\$ 26.443.166
9,00	CABEZAL DE DESCARGA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	34.486.044,50	1,22	\$ 42.072.974
10,00	OBRAS DE URBANISMO COMPLEMENTARIAS	179.142.784,00	1,22	\$ 218.554.196
11,00	ALCANTARILLADOS DE BY-PASS Y DESCARGA FINAL	50.821.866,00	1,22	\$ 62.002.677
12,00	VIAS DE ACCESO Y CIRCULACION A LA PLANTA DE TRATAMIENTO	109.616.387,75	1,22	\$ 133.731.993
13,00	CASETA DESINFECCION	63.656.306,72	1,22	\$ 77.660.694
	TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP			\$ 4.643.483.064

Tabla 67 Inversión equipamiento alternativa 3 UASB + RAP

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP			
1,00	POZO DE BOMBEO INICIAL		\$ 201.860.131,00
2,00	REACTOR ANAEROBIO UASB		\$ 778.125.236,00
3,00	REACTOR RAP		\$ 855.653.000,00
4,00	TANQUE DE RAP A SEDIMENTADOR		\$ 76.180.000,00
5,00	SEDIMENTADOR A DESINFECCION		\$ 77.350.000,00
6,00	POZO DE LODOS Y LINEAS DE LODOS		\$ 73.851.113,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP		\$ 2.063.019.480,00

Tabla 68 Inversión Componente eléctrico alternativa 3 UASB + RAP

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP		
1,00	TABLERO CCM	\$ 23.500.000,00
2,00	TABLERO DE CONTROL	\$ 43.000.000,00
3,00	ACOMETIDAS ELECTRICAS FUERZA Y CONTROL	\$ 80.000.000,00
4,00	EXTERIORES Y EDIFICIOS	\$ 82.000.000,00
5,00	PLANTA DE EMERGENCIA	\$ 42.000.000,00
TOTAL COSTOS DIRECTOS COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 3 - UASB+RAP		\$ 270.500.000,00

13.5. Inversión Alternativa 4 UASB + LAC

Tabla 69 Inversión obra civil alternativa 4 UASB + LAC

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LAC				
ITEM	CAPITULO	COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	REACTOR UASB	\$ 1.301.035.242,90	1,22	\$ 1.587.262.996,34
2,00	TANQUE AIREACION	\$ 531.673.110,05	1,22	\$ 648.641.194,26
3,00	SEDIMENTADOR SECUNDARIO	\$ 468.620.928,99	1,22	\$ 571.717.533,37
4,00	TANQUE CLORACION	\$ 146.042.259,74	1,22	\$ 178.171.556,88
5,00	POZO DE LODOS	\$ 70.252.583,07	1,22	\$ 85.708.151,34
6,00	ESPEADOR DE LODOS	\$ 24.844.829,15	1,22	\$ 30.310.691,57
7,00	LECHOS DE SECADO	\$ 235.569.370,39	1,22	\$ 287.394.631,88
8,00	CASETA SOPLADORES	\$ 92.126.422,49	1,22	\$ 112.394.235,43
9,00	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL	\$ 165.666.056,11	1,22	\$ 202.112.588,46
10,00	LINEA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	\$ 21.674.726,00	1,22	\$ 26.443.165,72
11,00	CABEZAL DE DESCARGA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA	\$ 34.486.044,50	1,22	\$ 42.072.974,29
12,00	OBRAS DE URBANISMO COMPLEMENTARIAS	\$ 190.142.784,00	1,22	\$ 231.974.196,48
13,00	ALCANTARILLADOS DE BY-PASS Y DESCARGA FINAL	\$ 50.821.866,00	1,22	\$ 62.002.676,52
14,00	VIAS DE ACCESO Y CIRCULACION A LA PLANTA DE TRATAMIENTO	\$ 111.212.464,25	1,22	\$ 135.679.206,39
15,00	CASETA DESINFECCION	\$ 63.656.306,72	1,22	\$ 77.660.694,20
TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LAC				\$ 4.279.546.493,13

Tabla 70 Inversión equipamiento alternativa 4 UASB + LAC

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LODOS ACTIVADOS			
1,00	POZO DE BOMBEO INICIAL		\$ 201.860.131,00
2,00	REACTOR ANAEROBIO UASB		\$ 778.125.236,00
3,00	TANQUE DE AIREACION		\$ 465.125.036,00
4,00	TANQUE DE AIREACION A SEDIMENTADOR		\$ 383.520.000,00
5,00	SEDIMENTADOR A DESINFECCION		\$ 72.400.000,00
6,00	POZO DE LODOS Y LINEAS DE LODOS		\$ 160.196.779,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS EQUIPAMIENTO DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LODOS ACTIVADOS		\$ 2.061.227.182,00

Tabla 71 Inversión componente eléctrico alternativa 4 UASB + LAC

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LODOS ACTIVADOS			
1,00	TABLERO CCM		\$ 85.500.000,00
2,00	TABLERO DE CONTROL		\$ 90.000.000,00
3,00	ACOMETIDAS ELECTRICAS FUERZA Y CONTROL		\$ 125.000.000,00
4,00	EXTERIORES Y EDIFICIOS		\$ 82.000.000,00
5,00	PLANTA DE EMERGENCIA		\$ 124.000.000,00
	TOTAL COSTOS DIRECTOS COMPONENTE ELECTRICO DE ALTERNATIVA 4 - UASB+LODOS ACTIVADOS		\$ 506.500.000,00

13.6. Inversión Alternativa 5 Lagunas de Estabilización

Tabla 72 Inversión obra civil alternativa 5 Lagunas de Estabilización

RESUMEN GENERAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES LAGUNAS DE ESTABILIZACION					
ITEM	CAPITULO		COSTOS DIRECTOS	F.M. (Mesetas)	COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas)
1,00	LAGUNA ANAEROBIA		\$ 345.007.955,19	1,22	\$ 420.909.705,34
2,00	LAGUNA FACULTATIVA		\$ 1.861.931.157,99	1,22	\$ 2.271.556.012,75
3,00	LAGUNA MADURACION		\$ 1.357.112.211,99	1,22	\$ 1.655.676.898,63
4,00	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL		\$ 165.666.056,11	1,22	\$ 202.112.588,46
5,00	OBRAS DE URBANISMO COMPLEMENTARIAS		\$ 608.142.784,00	1,22	\$ 741.934.196,48
6,00	VIAS DE ACCESO Y CIRCULACION A LA PLANTA DE TRATAMIENTO		\$ 117.115.817,75	1,22	\$ 142.881.297,66
7,00	LINEA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA		\$ 32.429.492,00	1,22	\$ 39.563.980,24
8,00	ALCANTARILLADOS DE BY-PASS Y DESCARGA FINAL		\$ 84.161.588,00	1,22	\$ 102.677.137,36
9,00	CABEZAL DE DESCARGA DE AGUA TRATADA A LA FUENTE RECEPTORA		\$ 34.486.044,50	1,22	\$ 42.072.974,29
	TOTAL COSTOS DIRECTOS + F.M. (Mesetas) OBRAS CIVILES LAGUNAS DE ESTABILIZACION				\$ 5.619.384.791,21

13.7. Resumen y Comparativo de Inversión de Alternativas

Con base en los presupuestos para cada una de las alternativas, en los diferentes componentes se presenta el cuadro resumen de costos de inversión, que nos permitirá dar la respectiva calificación dependiendo los costos de inversión

Tabla 73 Resumen general de inversión de las 4 alternativas

RESUMEN GENERAL DE COSTOS DE INVERSION						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS (QMH)=47,10 L/S (QMM)=35,09 L/S						
CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd) 14,00 L/s						
ITEM	DESCRIPCION	FILTRO PERCOLADOR	LODOS ACTIVADOS	UASB+RAP	UASB+LODOS ACTIVADOS	LAGUNAS DE ESTABILIZACION
1	OBRAS CIVILES - PRELIMINAR	\$ 241.687.900,35	\$ 241.687.900,35	\$ 241.687.900,35	\$ 241.687.900,35	\$ 136.902.770,46
2	OBRAS CIVILES PROCESOS	\$ 3.567.094.892,28	\$ 4.184.992.637,07	\$ 4.643.483.063,80	\$ 4.279.546.493,13	\$ 5.619.384.791,21
3	OBRAS MECANICAS - PELIMINAR	\$ 127.600.000,00	\$ 127.600.000,00	\$ 127.600.000,00	\$ 127.600.000,00	\$ 127.600.000,00
4	OBRAS MECANICAS - PROCESOS	\$ 2.305.368.294,00	\$ 1.774.456.910,00	\$ 2.063.019.480,00	\$ 2.061.227.182,00	
5	OBRAS ELECTRICAS	\$ 412.500.000,00	\$ 735.500.000,00	\$ 270.500.000,00	\$ 506.500.000,00	\$ 82.000.000,00
6	ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	\$ 38.600.000,00	\$ 38.600.000,00	\$ 46.320.000,00	\$ 46.320.000,00	\$ 38.600.000,00
	VALOR COSTO DIRECTO	\$ 6.692.851.086,63	\$ 7.102.837.447,42	\$ 7.392.610.444,15	\$ 7.262.881.575,48	\$ 6.004.487.561,67
	AIU (31%)	\$ 2.074.783.836,86	\$ 2.201.879.608,70	\$ 2.291.709.237,69	\$ 2.251.493.288,40	\$ 1.861.391.144,12
	TOTAL DEL PROYECTO	\$ 8.767.634.923,49	\$ 9.304.717.056,12	\$ 9.684.319.681,84	\$ 9.514.374.863,88	\$ 7.865.878.705,79
	INTERVENTORIA (7%)	\$ 613.734.444,64	\$ 651.330.193,93	\$ 677.902.377,73	\$ 666.006.240,47	\$ 550.611.509,41

Como podemos observar las alternativas 2,3 y 4 tiene unos costos de inversión muy parecidos, La alternativa 5 lagunas de estabilización tiene los costos de inversión menor

14. Costos de Operacion

Para poder determinar los costos de operación de cada una de las alternativas se discriminaron en costos de energía, costos de productos químicos, costos de personal y los costos de manejo de los lodos producidos en cada uno de las alternativas

Con base en esto se determinó los costos de operación mensual, y anual junto con el precio por m³ de agua tratada y al final se pudo determinar las diferencias en costos de operación anuales para cada una de las alternativas, se anexa archivo en Excel con los cálculos de los costos de operación

Tabla 74 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 1 Filtros percoladores

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS									
REALACION DE MOTORES Y CONSUMO ENERGIA									
ALTERNATIVA FILTRO PERCOLADOR									
ITEM	EQUIPO	CAN	DESCRIPCION	HP	VOL	% OPER	CONSUMO KW-H	POT. INST. KW	
1	Bomba sumergible iniciales	3	Bombeo inicial	10,00	460	66	14,76	22,37	
2	Barredor de lodos	1	Sedimentador	2,00	460	100	1,49	1,49	
3	Bombas de impulsión de lodos	2	Poso de lodos	2,00	460	20	0,60	2,98	
4	Dosificación hipoclorito	2	Desinfección	1,00	460	50	0,75	1,49	
	CAUDAL DE LA PLANTA m³/h	126							
	TOTAL DE ENERGIA CONSUMIDA (kW/h)							17,60	28,34
	CONSUMO TOTAL KW /m³ AGUA TRATADA							0,14	
	CONSUMO TOTAL KW /DIA							422,36	
	VALOR ENERGIA POR M3							69,64	
	VALOR KW							500,00	
	VALOR ENERGIA DIA							211.182	
	VALOR ENERGIA MES							6.335.467	

Tabla 75 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 2 Lodos activados

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS									
REALACION DE MOTORES Y CONSUMO ENERGIA									
ALTERNATIVA LODOS ACTIVADOS									
ITEM	EQUIPO	CAN	DESCRIPCION	HP	VOL	% OPER	CONSUMO KW-H	POT. INST. KW	
1	Bomba sumergible iniciales	3	Bombeo inicial	5,00	460	66	7,38	11,19	
2	Sopladores	3	Tanque de aireación	50,00	460	60	67,11	111,86	
3	Barredor de lodos	2	Sedimentador	2,00	460	100	2,98	2,98	
4	Bombas de impulsión de lodos	2	Poso de lodos	2,00	460	40	1,19	2,98	
5	Dosificación hipoclorito	2	Desinfección	1,00	460	50	0,75	1,49	
	CAUDAL DE LA PLANTA m³/h	126,4							
	TOTAL DE ENERGIA CONSUMIDA (kW/h)							79,42	130,50
	CONSUMO TOTAL KW /m³ AGUA TRATADA							0,63	
	CONSUMO TOTAL KW /DIA							1906,01	
	VALOR ENERGIA POR M3							314,25	
	VALOR KW							500,00	
	VALOR ENERGIA DIA							953.005	
	VALOR ENERGIA MES							28.590.138	

Tabla 76 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 3 UASB + RAP

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS								
REALACION DE MOTORES Y CONSUMO ENERGIA								
ALTERNATIVA FILTRO UASB + RAP								
ITEM	EQUIPO	CAN	DESCRIPCION	HP	VOL	% OPER	CONSUMO KW-H	POT. INST. KW
1	Bomba sumergible iniciales	3	Bombeo inicial	5,00	460	66	7,38	11,19
2	Bombas de impulsión de lodos	2	Poso de lodos	2,00	460	10	0,30	2,98
3	Dosificación hipoclorito	2	Desinfección	1,00	460	50	0,75	1,49
CAUDAL DE LA PLANTA m³/h		126,4						
TOTAL DE ENERGIA CONSUMIDA (kW/h)							8,43	15,66
CONSUMO TOTAL KW /m³ AGUA TRATADA							0,07	
CONSUMO TOTAL KW /DIA							202,23	
VALOR ENERGIA POR M3							33,34	
VALOR KW							500,00	
VALOR ENERGIA DIA							101.117	
VALOR ENERGIA MES							3.033.508	

Tabla 77 Costos y consumos de energía eléctrica alternativa 4 UASB + LAC

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS								
REALACION DE MOTORES Y CONSUMO ENERGIA								
ALTERNATIVA UASB + LAC								
ITEM	EQUIPO	CAN	DESCRIPCION	HP	VOL	% OPER	CONSUMO KW-H	POT. INST. KW
1	Bomba sumergible iniciales	3	Bombeo inicial	5,00	460	66	7,38	11,19
2	Sopladores	3	Tanque aireación	25,00	460	60	33,56	55,93
3	Barredor de lodos	2	Sedimentador	2,00	460	100	2,98	2,98
4	Bombas de impulsión de lodos	2	Poso de lodos	2,00	460	40	1,19	2,98
5	Dosificación hipoclorito	2	Desinfección	1,00	460	50	0,75	1,49
CAUDAL DE LA PLANTA m³/h		126,4						
TOTAL DE ENERGIA CONSUMIDA (kW/h)							45,86	74,57
CONSUMO TOTAL KW /m³ AGUA TRATADA							0,36	
CONSUMO TOTAL KW /DIA							1100,65	
VALOR ENERGIA POR M3							181,47	
VALOR KW							500,00	
VALOR ENERGIA DIA							550.327	
VALOR ENERGIA MES							16.509.798	

Tabla 78 Costos de productos químicos para las alternativas 1,2,3, y 4

COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS						
ALTERNATIVAS 1,2,3 y 4						
REACTIVOS PARA UN (1) MES						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CONSUMO DIA	VALOR UNITARIO \$	TIEMPO DIAS	VALOR TOTAL \$
1	COLORO	Kg/d	24,26	4.500,00	30,0	3.275.251,20
VALOR REACTIVOS						3.275.251,20

Tabla 79 Producción y costos de manejo de lodos para alternativas 1,2,3 y 4

COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS						
ALTERNATIVAS 1,2,3,y 4						
PRODUCCION Y MANEJO DE LODOS						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PRODUC DIA	VALOR MANEJO UNITARIO \$	TIEMPO DIAS	VALOR MANEJO TOTAL \$
1	ALTERNATIVA FILTRO PERCOLADOR	m ³ /dia	2,10	45.000,00	30,0	2.835.000,00
2	ALTERNATIVA LODOS ACTIVADOS	m ³ /dia	2,10	45.000,00	30,0	2.835.000,00
3	ALTERNATIVA UASB + RAP	m ³ /dia	0,50	45.000,00	30,0	675.000,00
4	ALTERNATIVA UASB + LAC	m ³ /dia	1,00	45.000,00	30,0	1.350.000,00

Tabla 80 Costos de personal y control para las 4 alternativas

COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS						
ALTERNATIVAS 1,2,3 y 4						
PERSONAL Y LABORATORIO						
I. OPERACIÓN POR UN (1) MES						
ITEM	DESCRIPCION	CANT	SALARIO MENSUAL	FACTOR MULTIPLI.	TIEMPO MESES	VALOR TOTAL
1	OPERARIO	3	1.300.000,00	1,6	1,0	6.240.000,00
2	INGENIERO O TECNOLOGO	1	3.500.000,00	1,6	0,5	2.800.000,00
3	ENSAYOS DE LABORATORIO	1	1.000.000,00	1,0	1,0	1.000.000,00
TOTAL PERSONAL						10.040.000,00

14.1. Resumen de los Costos de Operación de Alternativas

Teniendo en cuenta todos los componentes que intervienen para calcular los costos de operación, se presenta los costos mensuales para cada una de las alternativas, además de los costos por m³ de agua tratada.

Tabla 81 Resumen general de costos de operación para las 4 alternativas

COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO						
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS						
TODAS LAS ALTERNATIVAS						
RESUMEN GENERAL POR MES Y M3 DE AGUA TRATADA						
CAUDAL 35, 10 l/s 0 126,40 m ³ /h						
TECNOLOGIA DE TRATAMIENTO	ENERGIA	QUIMICOS	PERSONAL	MANEJO DE LODOS	TOTAL OPERACIÓN	COSTO OPER POR M3
ALT 1 FILTRO PERCOLADOR	6.335.467	3.275.251	10.040.000	2.835.000	22.485.718	247
ALT 2 LODOS ACTIVADOS	28.590.138	3.275.251	10.040.000	2.835.000	44.740.389	492
ALT 3 UASB + RAP	3.033.508	3.275.251	10.040.000	675.000	17.023.759	187
ALT 4 UASB + LAC	16.509.798	3.275.251	10.040.000	1.350.000	31.175.049	343
ALT 5 LAGUNAS ESTABILIZACION	250.000	0	7.240.000	350.000	7.840.000	86

vemos que la alternativa 5 es la de menor costo de operación seguida por la alternativa 3 que es un sistema totalmente anaerobio

Tabla 82 Diferencias en costos de operación por alternativas

COSTOS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO								
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MESETAS								
TODAS LAS ALTERNATIVAS								
RESUMEN GENERAL POR AÑO, M3 Y DIFERENCIAS COSTOS DE OPERACIÓN								
CAUDAL 35, 10 l/s 0 126,40 m ³ /h								
NOLOGIA DE TRATAMIE	ENERGIA	QUIMICOS	PERSONAL	MANEJO DE LODOS	TOTAL OPERACIÓN MES	COSTO OPER POR M3	TOTAL OPERACIÓN ANUAL	DIFERENCIA OPERACIÓN ANUAL
ALT 1 FILTRO PERCOLADOR	6.335.467	3.275.251	10.040.000	2.835.000	22.485.718	247	269.828.621	110.045.606
ALT 2 LODOS ACTIVADOS	28.590.138	3.275.251	10.040.000	2.835.000	44.740.389	492	536.884.670	377.101.656
ALT 3 UASB + RAP	3.033.508	3.275.251	10.040.000	675.000	17.023.759	187	204.285.106	44.502.091
ALT 4 UASB + LAC	16.509.798	3.275.251	10.040.000	1.350.000	31.175.049	343	374.100.590	214.317.576
ALT 5 LAGUNAS ESTABILIZACION	0	3.275.251	10.040.000	0	13.315.251	146	159.783.014	0

Los costos de operación muestran que la diferencia entre el sistema con menores costos de operación con el de mayor costo de operación pueden dar una diferencia de en costos de operación de \$ 377,101, 656 al año

15. Matriz De Evaluación De Alternativas Tecnológicas

En la selección de la tecnología para el tratamiento de las aguas residuales domésticas municipales, se han considerado, en su orden: aspectos sociales de la comunidad, procesos tecnológicos, aspectos ambientales de la localidad, reúso y el aprovechamiento de subproductos del proceso, manejo de lodos excedentes, costos de inversión y de operación y mantenimiento, tarifas, capacidad y disponibilidad de pago.

Con el objeto de obtener la alternativa óptima se realizó un análisis, considerando factores técnicos, sociales, ambientales y económicos, que permiten comparar integralmente las alternativas y seleccionar el enfoque de manejo más adecuado para el proyecto; los criterios de evaluación para la matriz y la asignación de los puntajes, se indican a continuación. El puntaje de los aspectos anteriores, se asignarán considerando dimensionamiento, cálculos, evaluación de costos (tanto de inversión como de operación), área ocupada, incidencias en el medio ambiente.

15.1. Aspectos Técnicos (0-30)

15.1.1. Tecnología apropiada (0-15)

Área requerida (0-2): Este aspecto es de gran importancia y considera las condiciones topográficas existentes de forma local, para la PTAR. A menor requerimiento de área mayor puntaje. La asignación del puntaje es inversamente proporcional al área de terreno que ocupe la PTAR con la tecnología evaluada.

Características del agua a tratar (0-2): Se valoran las características del agua a tratar frente a la capacidad de la tecnología para aceptar concentraciones contaminantes severas, sin desestabilizar el proceso. El criterio de calificación será: mala para la tecnología que no admite una concentración fuerte (0), media para una concentración típica (1) y buena para la que consiente una concentración fuerte (2).

Complejidad de la tecnología (0-2): A menor complejidad de la tecnología mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta para tecnologías con elevadas exigencias de materiales, equipos y con una operación sofisticada y con escasa experiencia en la región y el país (0), media para tecnologías moderadamente fáciles de operar y de conocida aplicación (1), y baja aplicable a tecnologías de escasos requerimientos de equipos y de operación sencilla, de probada aplicación y experiencia regional (2).

Facilidad de ampliación o compatibilidad con nuevos componentes (0-2): Se evalúa la flexibilidad para la introducción de nuevos componentes que propenderán por mejorar la prestación del servicio con calidad, eficiencia y cobertura. A mayor facilidad o compatibilidad del sistema mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0), media (1) y alta (2).

Eficiencia del tratamiento (0-2): La variable relaciona la alternativa o escenario tecnológico con la suficiencia en la eficiencia lograda en la remoción de las cargas impuestas al sistema. A mayor eficiencia del tratamiento mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0), media (1) y alta (2).

Requerimiento de equipos para mantenimiento y operación (0-2): Este criterio está asociado a la vulnerabilidad, facilidad de operación y mantenimiento de los componentes evaluados. A mayor requerimiento de equipos sofisticados menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto (0), medio (1) y bajo (2).

Vulnerabilidad de la tecnología (0-2): Abarca la existencia de riesgos físicos naturales que pueden afectar parcial o totalmente las estructuras. A mayor vulnerabilidad menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto riesgo (0), mediano riesgo (1) y bajo riesgo (2).

Vida útil (0-1): A mayor vida útil mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0) y mediana (1).

15.1.2. Exigencias operativas y de mantenimiento (0-15)

Facilidad operativa (0-5): El escenario tecnológico apropiado debe estar acorde con el desarrollo de la infraestructura de servicios y así no incurrir en la adopción de sistemas que utilicen procesos demasiado complejos tanto en la construcción como en la operación, los cuales posteriormente pueden ser abandonados, por no contar con el avance tecnológico necesario. A mayor facilidad operativa mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0-1), media (2-3) y alta (4-5).

Facilidad de mantenimiento (0-5): El escenario óptimo debe adaptarse a las condiciones de desarrollo municipal y requerir de equipos complejos, herramientas y personal de fácil consecución, haciendo viable o factible el mantenimiento que se le deba dar al sistema. A mayor facilidad de mantenimiento mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0-1), media (2-3) y alta (4-5).

Requerimientos de energía para la operación y funcionamiento (0-5): Está asociado a la necesidad de energía para el funcionamiento y operación. A mayor requerimiento de energía menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto (0-1), moderado (2-3) y bajo (4-5).

15.2. Aspectos Sociales y Ambientales (0-20)

15.2.1. Afectación Antrópica (0-10)

Calidad de vida (0-3): Está ligado al bienestar que el escenario tecnológico brinda a la población beneficiada y que ocasiona menores inconvenientes en las actividades de la misma población. A mayor calidad de vida mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0), moderada (1-2) y alta (3).

Generación de empleo (0-3): La ejecución de este tipo de obras, generan mano de obra, especialmente la mano de obra no calificada, hecho que redundará en la ayuda directa de la población. A mayor generación de empleo mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: baja (0), moderada (1-2) y alta (3).

Riesgo para la salud (0-4): La variable está asociada a la incidencia del escenario tecnológico en la salud de los moradores de la localidad o del sitio adyacente al predio de la planta. Los riesgos en salud para la población están generados por la presencia de malos olores y por vectores (moscas, mosquitos, ratas, etc.). A mayor riesgo para la salud menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto riesgo (0), mediano riesgo (1-2) y bajo riesgo (3-4).

15.2.2. Afectación Biótica y Abiótica (0-10)

Régimen de vientos (0-1): Esta hace referencia al régimen de vientos debido a la propagación de olores, y a la incidencia que éstos puedan generar en el clima. A régimen de vientos menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto (0) y bajo (1).

Limitaciones climáticas (0-1): Algunas tecnologías poseen limitaciones por diversos factores climáticos que pueden afectar ostensiblemente la eficiencia de la tecnología. A mayores limitaciones climáticas menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0) y baja (3).

Limitaciones ambientales (0-2): A mayor afectación ambiental menor puntaje. La

afectación ambiental está vinculada a la ejecución de las obras y la operación del escenario tecnológico. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1) y baja (2).

Generación de ruidos, olores y contaminación atmosférica (0-2): Se refiere a los evidentes efectos negativos o incomodidades que causan el funcionamiento operación y mantenimiento del sistema. A mayor generación de efectos menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1) y baja (2).

Contaminación de fuentes superficiales (0-2): Las actividades originadas para el funcionamiento, operación y mantenimiento, y que ocasionan la disposición de líquidos o sólidos en suspensión en la fuente superficial contaminándola. A mayor contaminación de fuentes superficiales menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1) y baja (2).

Calidad visual del paisaje (0-1): La calidad visual puede afectarse con la descarga de cargas orgánicas con el escenario de la tecnología que se implante; además de obras que impacten visualmente el aspecto natural del lugar. A mayor afectación del paisaje menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0) y baja (1).

Generación de lodos y sólidos (0-1): Este criterio está asociado con la tecnología y la producción de sólidos y de lodos. A menor producción de sólidos mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0) y baja (1).

15.3. Aspectos Económicos y Financieros (0-50)

15.3.1. Inversión Inicial (0-20)

Valor de lotes (0-5): El máximo puntaje se asignará al escenario de menor costo, y a los otros se asignará de manera proporcional, dependiendo del área ocupada, la cual también dependerá del sitio de localización de la PTAR.

Costos de construcción (0-15): La forma de evaluación es similar al anterior.

15.3.2. Costos de Operación (0-25)

Infraestructura institucional (0-5): A mayor necesidad de infraestructura institucional menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alto (0-1), moderado (2-3) y bajo (4-5).

Insumos químicos, consumo de electricidad, disposición de lodos (0-10): Se evaluará

los costos de energía, productos químicos, manejo de lodos necesarios para el funcionamiento y operación del sistema, valor de la mano de obra necesarios. Con estos costos se calculará el costo de tratamiento por m³, al menor valor se le otorgará la calificación más alta (10), el segundo tendrá una calificación moderada (5) y al de mayor valor una calificación baja (1), lo que indica que la ponderación es inversamente proporcional al valor de consumo de costos de operación.

Requiere de personal calificado (0-2): A menor necesidad de personal calificado mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1) y baja (2).

Requiere de personal no calificado (0-3): A menor necesidad de personal no calificado menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0-1), moderada (2) y baja (3).

Aprovechamiento de subproductos Biogás y Lodos (0-5): Corresponde a la tecnología que proporciona subproductos para el aprovechamiento en la generación de energía y lodos estabilizados para el aprovechamiento como mejoradores de suelos. Los criterios de calificación serán: alta (5), moderada (3) y baja (1).

15.3.3. Costos de Mantenimiento (0-5)

Requiere de personal calificado (0-2): A menor necesidad de personal calificado mayor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1) y baja (2).

Requiere de personal no calificado (0-3): A menor necesidad de personal no calificado menor puntaje. Los criterios de calificación serán: alta (0), moderada (1-2) y baja (3).

16. Selección de la Alternativa Tecnológica

A partir de los análisis efectuados se presenta enseguida la calificación obtenida al valorar los aspectos implicados en la matriz de evaluación.

16.1. Matriz de Evaluación

Con base en los parámetros establecidos en la matriz de evaluación y los diferentes factores calculados analizados y evaluados se presenta la calificación par cada una de las alternativas

Tabla 83 Evaluación y calificación matriz de alternativas

MATRIZ DE EVALUACION MULTICRITERIOS									
PTAR MUNICIPIO DE MESETAS - META									
	Puntaje	Rango	Puntos	Evaluación	Alt. #	Alt. #	Alt. #	Alt. # 4	Alt. # 5
					1	2	3	UASB +LAC	LAG EST
					FP	LAC	UASB + RAP		
ASPECTOS TECNICOS									
Tecnología apropiada									
1	30	0-15	0-2	Area requerida	1	1	1	2	0
			0-2	Características del agua a tratar	2	2	2	2	2
			0-2	Complejidad de la tecnología	1	1	1	1	2
			0-2	Facilidad de ampliación o compatibilidad con nuevos componentes	2	2	2	2	0
			0-2	Eficiencia del tratamiento	1	1,5	1	2	2
			0-2	Requerimiento de equipos para mantenimiento y operación	1	1	1	1,5	2
			0-2	Vulnerabilidad de la tecnología	1	1	1	2	2
			0-1	Vida útil	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Exigencias operativas y de mantenimiento									
0-15		0-5	Facilidad operativa	3	2	4	5	5	
		0-5	Facilidad de mantenimiento	3	2	5	4	5	
		0-5	Requerimientos de energía para la operación y funcionamiento	3	1	5	4	5	
ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES									
Afectación antrópica									
2	20	10	0-3	Calidad de vida	3	3	2	3	1
			0-3	Generación de empleo	3	3	3	3	2
			0-4	Riesgo para la salud	3	3	3	3	2
Afectación biótica y abiótica									
10		0-1	Régimen de vientos	0,5	1	0,5	1	0	
		0-1	Limitaciones climáticas	1	1	1	1	1	
		0-2	Limitaciones ambientales	2	2	1	2	2	
		0-2	Generación de ruidos, olores y contaminación atmosférica	1	0,5	2	1,5	1	
		0-2	Contaminación de fuentes superficiales	1	2	1	2	2	
		0-1	Calidad visual del paisaje	0,5	0,5	1	1	0	
0-1	Generación de lodos y sólidos	0,5	0,5	1	1	1			
ASPECTOS ECONOMICOS Y FINANCIEROS									
Inversión inicial									
0-20		0-5	Valor de los lotes	4	4	4	5	1	
		0-15	Costos de construcción	13	12	11	10	15	
Costos de operación									
0-25		0-5	Infraestructura institucional	5	5	5	5	5	
		0-10	Insumos químicos, consumo de electricidad, disposición de lodos	8	4	7	6	10	
		0-2	Requiere de personal calificado	1	1	1	1	2	
		0-3	Requiere de personal no calificado	2	2	3	2	3	
0-5	Aprovechamiento de subproductos Biogás y Lodos	3	3	5	5	0			
Costos de mantenimiento									
0-5		0-2	Requiere de personal calificado	1	1	1	1	2	
		0-3	Requiere de personal no calificado	3	3	3	3	2	
PUNTAJE TOTAL OBTENIDO					74	66,5	79	82,5	78
ORDEN DE ELEGIBILIDAD					4	5	2	1	3

Fundamentado en los resultados obtenidos en la evaluación matricial se obtiene que la alternativa tecnológica # 4, correspondiente a un tratamiento anaerobio aerobio de tipo mixto (UASB + LAC), es el de mayor opción para realizar el tratamiento de las aguas residuales para el casco urbano del municipio de Mesetas, por ocupar menos área tener costos moderados de inversión y porque su operación y mantenimiento es relativamente baja. Y además da la seguridad que puede cumplir en su vertimiento con los objetivos de calidad establecidos para el río Guejar

Es importante anotar que es el sistema de tratamiento de aguas residuales que mayores eficiencias puede lograr el vertimiento al río Guejar el cual es el futuro desarrollo turístico para el municipio de mesetas es el único sistema de tratamiento que garantizará concentraciones de DBO < 15 mg/l a un costo de inversión y de operación razonable con las eficiencias logradas

El resultado arrojado por el análisis matricial es razonable debido a que el agua residual ingresa al sistema por bombeo y por la topografía existente en el lote de la PTAR, puede efectuarse el manejo de las aguas residuales por gravedad sin requerimientos iniciales de bombeo mayores a 5 m.c.a, no requiriéndose de incorporar ningún bombeo adicional, situación que si aplica para los filtros percoladores;

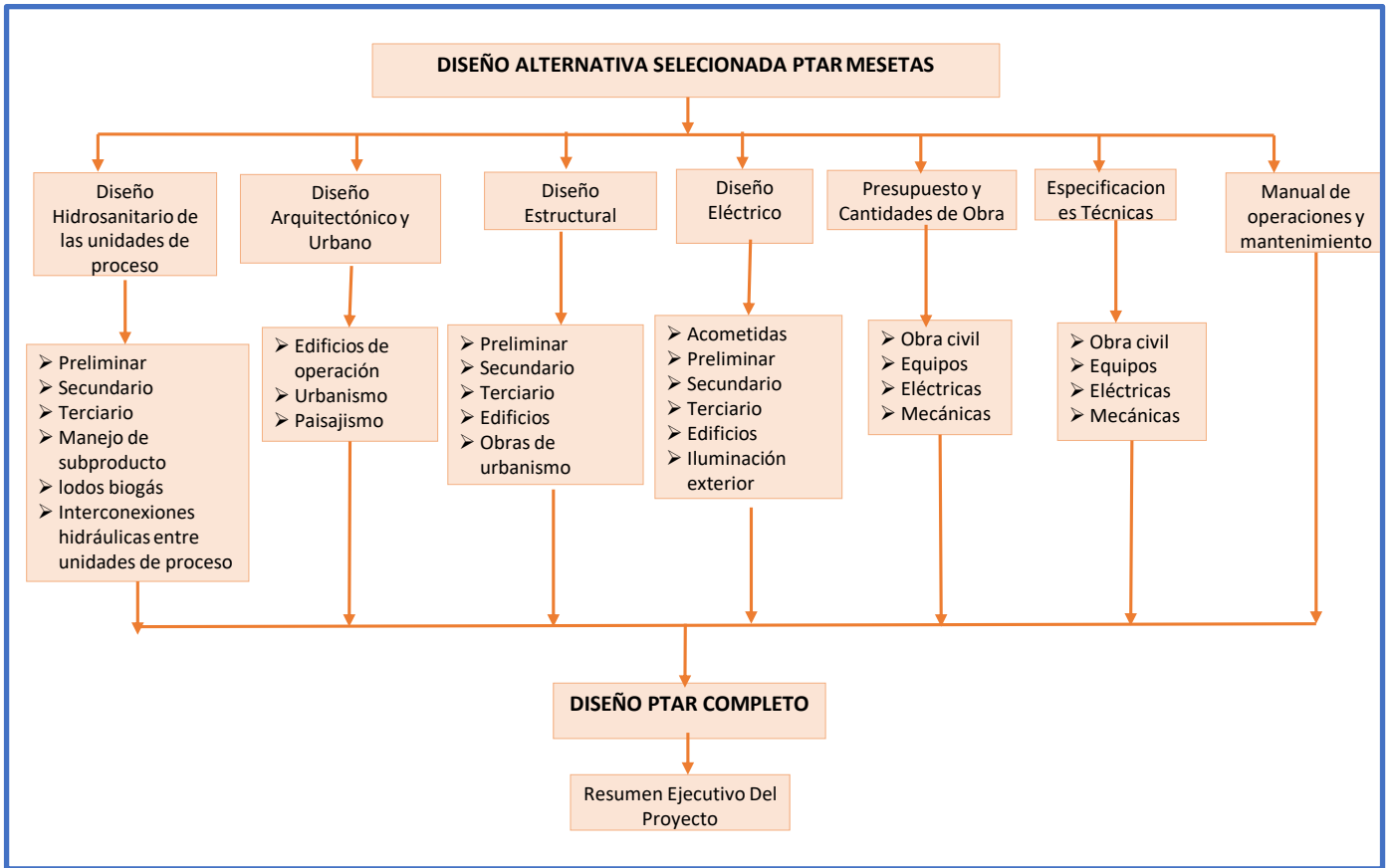
17. Conclusiones y Recomendaciones

El municipio de Mesetas cuenta con un vertimiento de Alcantarillado para lo cual se platea 5 alternativas de tratamiento de aguas residuales, en los cuales se contempla tecnologías aerobias, anaerobias y mixtas. Se realizó la evaluación matricial contemplando los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales que nos proporcionan como mejor alternativa el UASB + Lodos Activados.

Con base en la alternativa seleccionada tratamiento mixto anaerobio aerobia alternativa # 4, reactor anaerobio de flujo ascendente UASB + lodos activados LAC se deben realizar los diseños definitivos e ingeniería de detalle de dicha PTAR con los demás anexos necesarios para realizar la fase de construcción

Para la realización de los diseños definitivo se recomienda realizar la metodología desarrollada en la fase de diagnóstico, y alternativas el cual se muestra a continuación

Ilustración 15 Metodología a seguir en la fase de diseños



18. Referencias

1. Ministerio de vivienda ciudad y territorio MAVDT (2017) Resolución 330 de junio del 2017 reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS
2. Ministerio de vivienda ciudad y territorio MAVDT (2021) Resolución 799 Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017 reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS
3. MAVDT, (1998). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Títulos E, F y G. Bogotá-Colombia.
4. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible MADS (2021) la resolución 1256 del 23 de noviembre de 2021,
5. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015) Resolución 0631 de marzo del 2015 parámetros y valores límites máximos permisibles a los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado publico
6. Municipio de Mesetas (2012) Esquema de Ordenamiento territorial del municipio de Mesetas Meta
7. Municipio de Mesetas (2020) Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) del Municipio de mestas
8. Plan de gestión del riesgo para el manejo de vertimiento del municipio de Mesetas 2017
9. Plan regional monitoreos Cormacarena 2021
10. Plan maestro de acueducto y alcantarillado ESSERE año 2011
11. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2022) <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/saneamiento-de-vertimientos>
12. Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena CORMACARENA (2016) <https://www.cormacarena.gov.co/gestion-de-planificacion/pomcas/>
13. Programa Nacional de Asistencia Técnica Territorial –PAT (2008) <http://ccai-colombia.org/files/primarydocs/2008corm.pdf>

14. Universidad la Salle (2020)
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=3242&context=arquitectura>
15. https://www.sinchi.org.co/files/PUBLICACIONES%20DIGITALES/Zonificaci%C3%B3n%20Ambiental%20y%20Ordenamiento%20de%20la%20Reserva%20Forestal%20de%20la%20Amazonia/1.%20Sistemas%20General%20Zonificacion/light1%20SG_6%20Anexo%203%20Deter_%20amb.pdf
16. https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22687-Ley_388_de_1997.pdf
17. <https://www.sinchi.org.co/zonificacion-ambiental-y-ordenamiento-de-la-reserva-forestal>
18. https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28353/P_MGRD_MesetasMeta_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
19. https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2021/04/1-DTS_DIAGNOSTICO_Mesetas.pdf
20. [https://es.wikipedia.org/wiki/Mesetas_\(Meta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Mesetas_(Meta))
21. <http://www.Mesetas-meta.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
22. https://Mesetasmeta.micolombiadigital.gov.co/sites/Mesetasmeta/content/files/000332/16591_plan-de-desarrollo-economico-y-social-Mesetas-2020--2023.pdf
23. <https://fcds.org.co/lineas-de-tiempo/area-de-manejo-especial-de-la-macarena-amem/#:~:text=El%20%C3%81rea%20de%20Manejo%20Especial,Distritos%20de%20Manejo%20Integrado%2C%20una>
24. James 1984, An Introduction to Water Quality Modelling: Department of Civil Engineering, University of Newcastle upon Tyne, UK.
25. Bloom, Arthur. Geomorphology. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.
26. Cavalcanti, P. Lettinga G. Integrated Application of the UASB Reactor and Ponds for Domestic Sewage Treatment in Tropical Regions. Wageningen University. The Netherlands 2003.
27. Danehy, Robert J., James M. Hassett. "Stream Habitat Quantification by Use of the Froude Number." Stream Notes. January 1996.

28. French, Richard F. Open-Channel Hydraulics. New York: McGraw-Hill, Inc. 1985.
29. Gupta, Ram S. Hydrology and Hydraulic Systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989.
30. Harrelson, Cheryl C., C.L. Rawlins, John P. Potyondy. Stream Channel Reference Sites: An Illustrated Guide to Field Technique. Fort Collins, Colorado: USDA Forest Service, 1994.
31. Metcalf & Edí, Wastewater Engineering. Treatment Disposal, Reuse: McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1991.
32. New York State Department of Environmental Conservation, Division of Water, Bureau of Water Quality Management. Reducing the Impacts of Storm water Runoff from New Development. 1992
33. Steven Chapra. Surface Water Quality Modelling: McGraw-Hill International Editions. Third Edition 1995.
34. W.Wesley Eckenfelder, Jr. Principles of Water Quality Management: CBI Publishing Company, Inc –1980.
35. Jairo Alberto Romero Rojas Tratamiento De Aguas Residuales Teoría y Principios De Diseño tercera edición del 2004
36. Jairo Alberto Romero Rojas (2005) Lagunas de estabilización de aguas residuales
37. Jairo Alberto Romero Rojas (2018) Aguas residuales industriales
38. Álvaro Orozco Jaramillo (2014) Bioingeniería de aguas residuales teoría y diseños Segunda edición

19. LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Proyecciones Poblacionales

Anexo 2. Caudales de Diseño.

Anexo 3. Caracterizaciones Históricas del agua residual.

Anexo 4 Archivo en Excel con los respectivos cálculos de dimensionamiento de las unidades de proceso de todas las alternativas

Anexo 5 Dimensionamiento estructura de alivio

Anexo 6 Presupuestos detallados de inversión para las 5 alternativas

Anexo 7 Costos de operación y mantenimiento de las 5 alternativas

Anexo 8 matriz de evaluación y calificación de las 5 alternativas

Anexo 9 Archivos en Excel con los respectivos cálculos de interconexiones hidráulicas entre unidades de proceso

Anexo 10 Planos de diagrama de proceso, planta general e implantación de cada una de las alternativas