FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO DEL CENTRO POBLADO DEL CORREGIMIENTO DE PALERMO EN EL MUNICIPIO DE PAIPA

PRODUCTO 7.1

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

CONSULTOR

T&M INGENIERIA Y SOLUCIONES AMBIENTALES S.A.S.

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 619 DE 2023

ALCALDE
GERMAN RICARDO CAMACHO BARRERA

INTERVENTOR
ANDRES FELIPE RUIZ PIDIACHE

JUNIO
2024

CONTROL DE CAMBIOS

Fecha	Versión	Revisado por:	Aprobado por:
20/06//2024	02	ANDRES FELIPE RUIZ	INTERVENTOR
Firma:			

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS 7
2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS 7
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 8
3.1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO 8
3.2. DIVISIÓN POLÍTICA 8
3.3. ASPECTOS HÍDRICOS 9
3.4. CLIMATOLOGÍA 9
3.4.1. Precipitación 9
3.5. ASPECTOS ECONÓMICOS 10
3.5.1. Sectores generadores de aguas residuales 10
4. UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – PTAR. 11
5. SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y CARACTERIZACION DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL 12
5.1. CONDICIONES SANITARIAS ACTUALES 12
6. CAUDAL DE DISEÑO AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS 13
6.1. ESTUDIO POBLACIÓN Y DEMANDA 13
6.2.1. Caudal doméstico (Q_D) 20
6.2.2. Caudal medio diario ($Q_{MEDIO\ DIARIO}$) 21
6.2.3. Caudal máximo horario ($Q_{MÁXIMO\ HORARIO}$) 21
6.2.4. Caudal por conexiones erradas (Q_{CE}) 21
6.2.5. Caudal de infiltraciones (Q_{INF}) 22
6.2.6. Caudal de diseño aguas servidas domésticas 22
7. ANALISIS DE VARIABLES MULTICRITERIO 22
7.1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS 23
7.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO 23
7.3. MODELOS DE DECISIÓN MULTIOBJETIVO 23
7.4. METODOLOGÍA TOPSIS 24
8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL 24
8.1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS 30
8.2. CRITERIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES 31

8.3. OPERACIONES Y/O PROCESOS UNITARIOS POSIBLES DE IMPLEMENTAR PARA LA DEPURACIÓN DEL VERTIMIENTO 33
8.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO ACTUALMENTE DISPONIBLES EN COLOMBIA 36
8.4.1. SEDIMENTADORES PRIMARIOS 36
8.4.2. TRATAMIENTO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TQA) 38
8.4.3. LODOS ACTIVADOS 38
8.4.4. ZANJONES DE OXIDACIÓN 39
8.4.5. FILTROS PERCOLADORES 40
8.4.6. REACTORES BIOLÓGICOS SECUENCIALES – SBR 40
8.4.7. BIODISCOS 41
8.4.8. REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (U.A.S.B.) 41
8.4.9. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO A PISTÓN (R.A.P.) 42
8.4.10. FILTRA ANAEROBIO 42
8.4.11. TECNOLOGÍAS MIXTAS ANAEROBIAS 43
8.4.12. TECNOLOGÍAS MIXTAS ANAEROBIAS AEROBIAS 43
8.4.13. RESUMEN DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TRATAMIENTOS PROPUESTOS 44
8.5. ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS COMPLEMENTARIOS A LA METODOLOGÍA TRATAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES 49
8.5.1. PARÁMETROS PARA EVALUACIÓN MATRICIAL DE ALTERNATIVAS 50
8.5.2. ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES 50
8.5.3. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS 51
8.5.4. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN FINAL DE LA ALTERNATIVA 52
8.6. MÉTODO DE ANÁLISIS 59
8.7. RESULTADOS 59
9. CONCLUSIONES 59

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.Estación Meteorológicas para el corregimiento de Palermo. 10
Tabla 2. Cantidad de usuarios residentes 14
Tabla 3. Datos históricos de población en Paipa, Boyacá 14
Tabla 4. Tasa de crecimiento DANE - Palermo 16
Tabla 5. Días festivos para estimación de la población flotante 17

Tabla 6. Habitantes actuales 17
Tabla 7. Proyecciones de población área urbana Corregimiento Palermo 19
Tabla 8. Escala de Saaty 24
Tabla 9. Análisis 1 de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del vertimiento 1 del centro poblado de Palermo, Paipa – Boyacá 26
Tabla 10. Normas de vertimientos 32
Tabla 11. Ventajas y Desventajas de los Tratamientos Citados 44

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización corregimiento de Palermo. 8
Ilustración 2. Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR del corregimiento de Palermo 11

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de los procesos antrópicos, la gestión de aguas residuales se presenta como un desafío crucial debido a su impacto significativo en el medio ambiente y la salud pública. La disposición inadecuada de aguas residuales domésticas puede generar cambios físicos, químicos y microbiológicos en los cuerpos de agua, comprometiendo así la calidad de vida de las comunidades y la integridad de los recursos hídricos.

Ante esta realidad, se hace imperativa la implementación de soluciones eficientes y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. El proyecto de construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) no solo responde a una necesidad ambiental y normativa, sino que también representa un compromiso con la mejora de las condiciones de vida de la población y la preservación del entorno natural.

Este informe tiene como propósito principal presentar un análisis exhaustivo de las diversas alternativas para el diseño y construcción de la PTAR, con el fin de identificar la solución más adecuada. El análisis abarca aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales, buscando no solo la viabilidad del proyecto, sino también su sostenibilidad a largo plazo.

La metodología empleada en este estudio incluye la evaluación comparativa de diferentes opciones de diseño, considerando tecnologías de tratamiento, costos de implementación y operación, y su impacto ambiental. Además, se revisaron documentos previos asociados al alcantarillado, como el Plan Maestro y el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), para asegurar que las alternativas propuestas sean coherentes con las políticas y normativas existentes.

En conclusión, este informe busca proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas, permitiendo seleccionar la alternativa más favorable para la

implementación del proyecto de la PTAR. La alternativa elegida deberá cumplir con los requisitos normativos y técnicos, además de aportar beneficios significativos en términos de calidad de vida, protección ambiental y desarrollo sostenible.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este informe es presentar un análisis detallado de las diversas alternativas para el diseño y construcción de la PTAR. Este análisis abarca aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales, con el fin de identificar la solución más eficiente, económicamente viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en la región de interés.

2.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar información sobre las condiciones geográficas, hidrológicas y climáticas del área de estudio, así como los aspectos socioeconómicos y culturales que puedan influir en la implementación y operación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.
- Determinar los factores de incidencia de cada alternativa, mediante el análisis de las características propias de cada propuesta analizada, para conocer las incidencias positivas y negativas en la renovación planteada.
- Analizar las diferentes variables en conjunto, mediante la aplicación de matrices comparativas que permitan determinar cuál de las variables es las idónea.
- Recomendar la alternativa más adecuada para la implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del corregimiento de Palermo en el municipio de Paipa, Boyacá, justificando la selección con base en los criterios técnicos, económicos, ambientales, sociales y de mitigación de riesgos evaluados, para mejorar y garantizar que los vertimientos cumplan los parámetros establecidos en la Resolución 0631 del 2015.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO

El Corregimiento de Palermo está ubicado a 32 km de la cabecera municipal de Paipa. Su cabecera municipal se encuentra en las coordenadas 4978695.977E y 2209713.396N, a una elevación promedio de 2245 msnm. Presenta una temperatura promedio de 16°C., con una precipitación media anual: 23.78 mm, abarca una extensión aproximada de 167 hectáreas.

A continuación, se muestra su área de influencia.

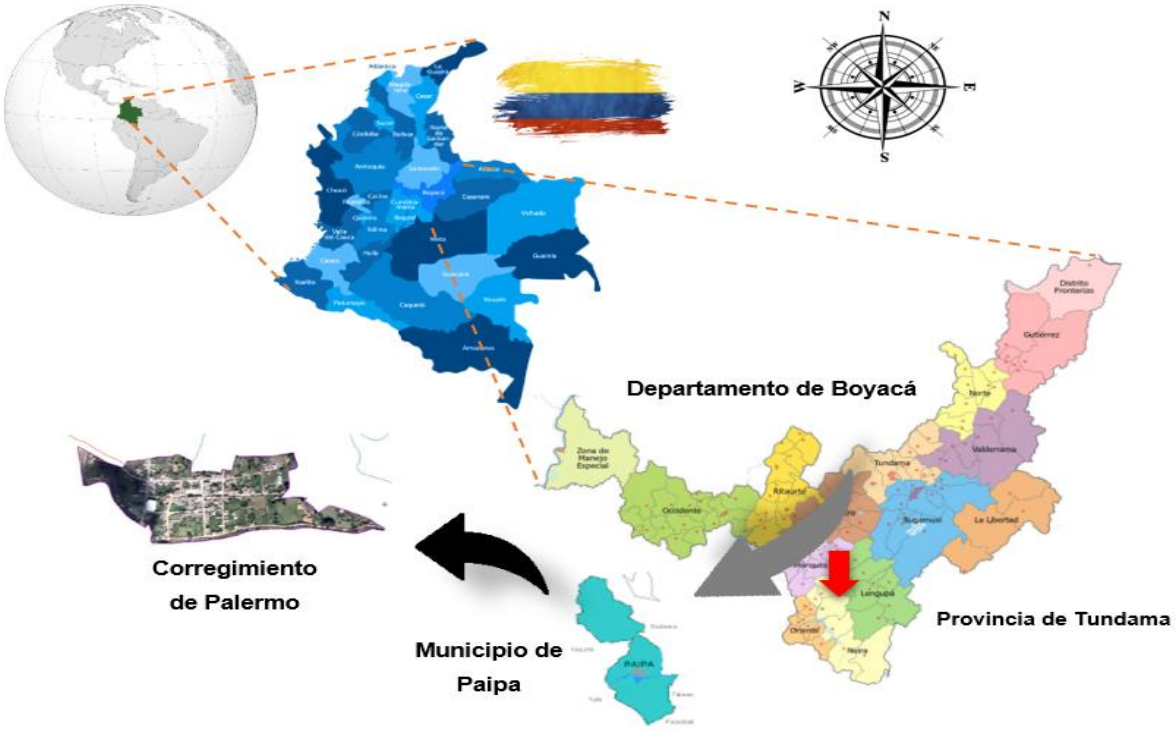


Ilustración 1. Localización corregimiento de Palermo.
Fuente: Grupo Consultor

3.2. DIVISIÓN POLÍTICA

Actualmente el corregimiento de Palermo cuenta con 8 veredas que son:

- Peña Amarilla
- San Pedro
- El Retiro
- Curial
- Peña Blanca
- El Fical
- Guacamayas
- Centro (Palermo)

3.3. ASPECTOS HÍDRICOS

La quebrada La Venta forman parte de la subcuenca de la Río Palermo, y desemboca en el Río Palermo, el cual recibe el agua del vertimiento directo del caudal residual y de aguas lluvias del área urbana del corregimiento de Palermo ocasionando contaminación a la fuente hídrica y al ecosistema presente en este, especialmente añadiendo contaminación de tipo orgánica dadas las características de las aguas servidas. El río Palermo desemboca en el Río Huertas, el cual a su vez llega al Río Suarez.

3.4. CLIMATOLOGÍA

La clasificación se hace de acuerdo con los parámetros considerados por la subdirección de agronomía del IGAC. Se basa en el análisis de los parámetros hidrometereológicos que definen el clima, tales como el módulo pluviométrico anual, temperatura y humedad natural. Como resultado se obtiene el mapa de isoyetas, el cual se elaboró con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del IDEAM.

3.4.1. Precipitación

En el presente proyecto se hará uso de los datos suministrados por las estaciones ubicadas en el corregimiento de Palermo, pertenecientes al IDEAM (Instituto de

hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), las cuales se relacionan a continuación:

Tabla 1.Estación Meteorológicas para el corregimiento de Palermo.

Nombre	Categoría	Latitud	Longitud	Elevación	Código
Palermo	Pluviométrica	5.899527	-73.19619	2200	24010870

Fuente: Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos, IDEAM, 2023.

La precipitación es toda forma de agua que se deposita sobre la superficie terrestre y que proviene de la humedad atmosférica". Proviene en los tres estados: líquido, sólido y gaseoso. El estado de precipitación que se analiza es el líquido. Es muy importante establecer, comprender y analizar la medida de la precipitación en un espacio geográfico dado y en un tiempo dado, ya que con base en ella se planifica de una manera más acertada las actuaciones del hombre en aspectos que abarcan desde el agropecuario, industrial, obras civiles e incluso el turismo que es un aspecto en surgimiento.

En el documento referente al estudio hidrológico se realizará el respectivo análisis de la precipitación en el corregimiento de Palermo y se proyectará las curvas intensidad – duración – frecuencia, necesarios para conocer el aporte del caudal pluvial que será manejado en el alcantarillado proyectado.

3.5. ASPECTOS ECONÓMICOS

Las actividades económicas de los habitantes del Corregimiento de Palermo que generan empleo se centran en las actividades de dos sectores principalmente: Residencial y comercial

3.5.1. Sectores generadores de aguas residuales

Sector Doméstico

El sector doméstico es el principal aportante de aguas residuales. No se identifican en el municipio zonas con vocación netamente comercial o institucional, se encuentran zonas de uso mixto.

La disposición de las aguas servidas de las casas urbanizadas en el centro urbano, se realizan sin tratamiento alguno a la fuente receptora ubicada en el Río Palermo (Chontales).

4. UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – PTAR.

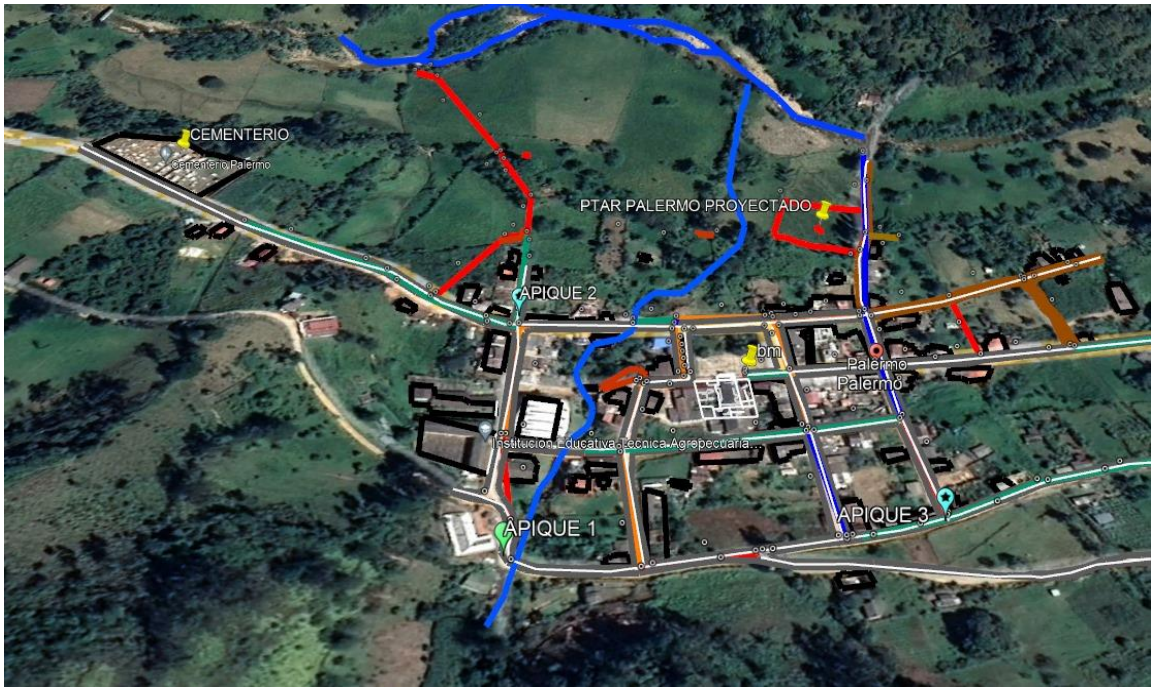


Ilustración 2. Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR del corregimiento de Palermo
Fuente: Grupo Consultor

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR- quedaría ubicado al margen Noreste del municipio, al frente del matadero municipal, está contaría con vías de acceso y facilitaría el vertimiento aguas abajo del flujo residual.

Estaría ubicada en coordenadas 1144123N 1098099.81E, aproximadamente a una altitud de 2246 m.s.n.m.
La ubicación de esta PTAR fue establecida contemplando las características topográficas, geológicas e hidrológicas de la zona, para así garantizar su eficiencia constructiva.

5. SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y CARACTERIZACION DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

5.1. CONDICIONES SANITARIAS ACTUALES

En el Corregimiento de Palermo existe un alcantarillado combinado lo que quiere decir que además de las aguas residuales del corregimiento también en este se recogen las aguas lluvias de escorrentía. Su capacidad en cuanto a diámetro es suficiente para los usuarios.

En la actualidad carece de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR, las aguas residuales son desembocadas directamente y sin algún tratamiento básico previo en el Río Palermo (Chontales), en cual se ubica al frente del casco urbano.

5.2. CARACTERÍSTICAS DEL VERTIMIENTO

El corregimiento de Palermo presenta dos vertimientos que reúnen el 100% de las aguas residuales domésticas generadas en el área urbana y el agua pluvial recolectada. El Vertimiento N°1 descarga en un diámetro 8” PVC las aguas recolectadas del costado oriental del corregimiento principal en el Río Palermo

(Chontales) y el Vertimiento N°2 realiza la descarga por medio de un diámetro de 16” PVC, dicho vertimiento se encuentra cercano al matadero municipal y también descarga sobre la misma fuente hídrica.

El impacto ambiental sobre la fuente hídrica es significativo debido a que no existe un tratamiento previo a su vertimiento, se evidencia malos olores, vegetación característica de áreas donde existen contenidos de materia orgánica elevados y paisajísticamente es desagradable, además de estar contaminando el afluente.

5.3. CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL

Para efectuar los estudios y diseños de la planta de tratamiento de agua residual del corregimiento es necesario calcular tanto el caudal de diseño como realizar la caracterización de las aguas residuales con el objeto de definir la remoción de carga contaminante y plantear las unidades de tratamiento requeridas según los objetivos de calidad de la fuente receptora, así como el cumplimiento de la Resolución 631 de 2015.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió por parte del Grupo Consultor a efectuar los muestreos puntuales, dicho proceso se encuentra en realización por parte del ente encargado por tanto no se anexa en esta entrega.

6. CAUDAL DE DISEÑO AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS

6.1. ESTUDIO POBLACIÓN Y DEMANDA

La evaluación del crecimiento de la población a lo largo de un período de diseño determinado es un elemento fundamental tanto para definir la complejidad del sistema de alcantarillado aquí considerado, así como también para realizar el planeamiento y diseño detallado de cualquiera de los elementos que componen el sistema de alcantarillado.

Los datos históricos y comportamiento de la tasa de crecimiento, se tiene en cuenta el Censo por parte del DANE realizados en años anteriores (1993, 2005, 2018), debido a que los censos de los años 1973 y 1985, no representan el actual desarrollo del corregimiento; las proyecciones de población fueron realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985 - 2005; así como los análisis sobre el comportamiento de las variables determinantes de la evolución demográfica, las hipótesis y algunos comentarios sobre sus resultados.

Partiendo de los datos suministrados en el PRODUCTO 1. ESTUDIOS PRELIMINARES se encuentra el dato de la cantidad de usuarios del sistema de alcantarillado del centro poblado de Palermo del municipio de Paipa, Boyacá

Tabla 2. Cantidad de usuarios residentes

Cantidad de usuarios residentes	188 Suscriptores
Tipo de usuarios	Rural
Municipio	Paipa
Personas por hogar (DANE 2023)	3.1 Hab.
Total hab. Existentes	583 Hab.

Fuente: Producto 1. Estudios preliminares

El centro poblado de Palermo puede entrar dentro de los esquemas diferenciales que menciona la norma 0844 del 2018, por lo tanto, se escogerá una tasa de 0.5% en un horizonte de 25 años. Las proyecciones de población se realizarán con base en la densidad (personas/hogar) suministrada por el DANE de 3.1 hab/suscriptor.

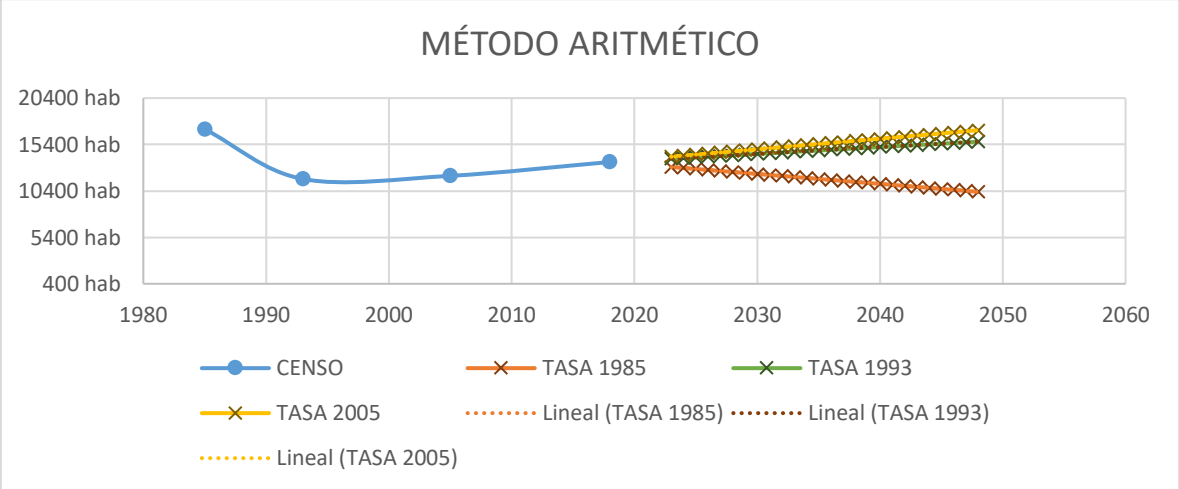
Tabla 3. Datos históricos de población en Paipa, Boyacá

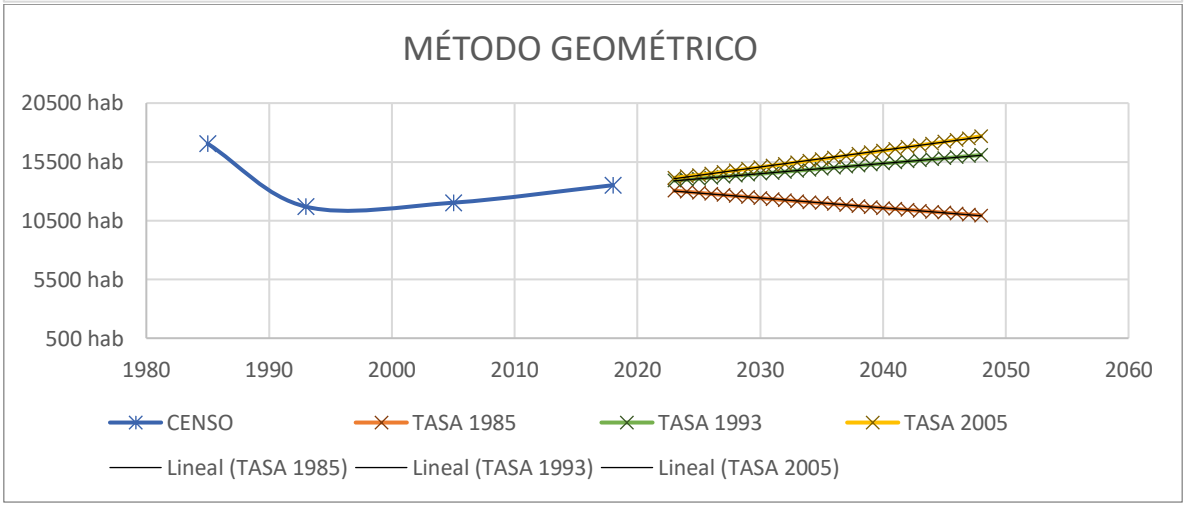
ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA	
DEPARTAMENTO	BOYACÁ
MUNICIPIO	PAIPA
PERSONAS POR HOGAR URBANO	3,03
PERSONAS POR HOGAR RURAL	3,1

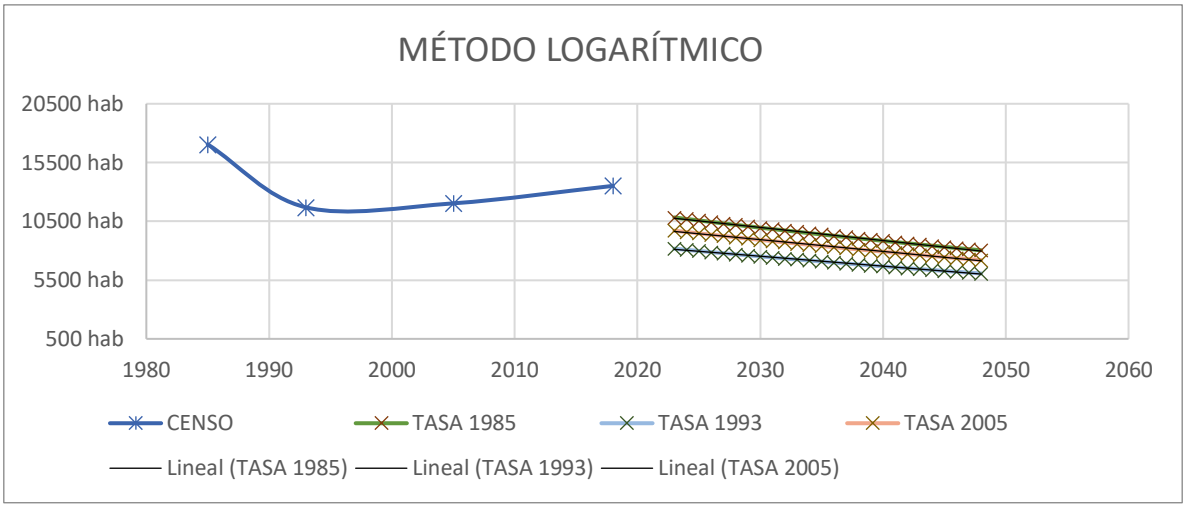
POBLACIÓN DANE	CABECERA	RESTO	DEPARTAMEN	COLOMBIA
CENSO 1985	6671 hab	17046 hab	1209739 hab	30062190 hab
CENSO 1993	10391 hab	11688 hab	1174031 hab	33109840 hab
CENSO 2005	15246 hab	12028 hab	1211186 hab	42090502 hab
CENSO 2018	20021 hab	13514 hab	1217376 hab	48258494 hab
POBLACIÓN ESCOGIDA	RESTO			
POBLACIÓN DANE	1985	1993	2005	2018
POBLACIÓN ESCOGIDA	17046 hab	11688 hab	12028 hab	13514 hab

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

Gráfica 1. Proyección de la población con diferentes metodologías.







Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Tasa de crecimiento DANE - Palermo

Censos	Datos Población	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL
1993	11,688			
2005	12,028	28.33	0.0024	0.0024
2023	13,514	82.56	0.0065	0.0065
	PROMEDIO	55.44	0.004	0.004
			0.44%	0.44%

Fuente: Información estadística DANE. Censos de población municipal 1973 hasta 2018.

De acuerdo con el comportamiento señalado por los censos de la población rural del municipio de Paipa, presenta desde el año 1993 al año 2018, hay una taza de crecimiento de **0.44%**. Sin embargo, al tratarse de un centro poblado de un municipio turístico como es Paipa, se realiza el análisis de otros datos, para identificar la tasa de crecimiento más cercana a la realidad del corregimiento.

6.1.1. Población Flotante

Una vez obtenido la tasa, se realiza el cálculo de la población flotante, para esto se toma en cuenta lo descrito en el PRODUCTO 1. PRELIMINARES:

"Paipa es un municipio turístico y el corregimiento de Palermo, no es la excepción, por factores como las festividades y encuentros que allí se celebran, entre los cuales tenemos: Semana Santa, con afluencia de personas especialmente del jueves al domingo; en junio, se celebra en un fin de semana el festival de la regañona y queso palermano: fiestas patronales del 1 al 4 de septiembre y los aguinaldos palermanos, con un gran evento el 31 de diciembre en la que se congregan más de 1000 personas a participar también en el desfiles de muñecos de año viejo. Teniendo en cuenta esta información, es traducida a cifras, para de esta manera realizar el cálculo del porcentaje de población flotante que se registra en la proyección de población y caudales.

Tabla 5. Días festivos para estimación de la población flotante

CALCULO DE POBLACION FLOTANTE	
DESCRIPCION	
VACACIONES	90
SEMANA SANTA	5
DIA DEL CAMPESINO	1
FESTIVIDAD DE LA VIRGEN DEL CARMEN	2
FESTIVOS FIESTA PATRIAS	4
PLAZA DE MERCADO	48
FIESTAS VIRGEN	3
FIESTA SEÑOR DIVINA MISERICORDIA	2
AGUINALDOS PALERMO	6
DIÁS LIBRES TOTALES	161
TASE DE POBLACION	44,11%

Fuente: Producto 1. Estudios preliminares

6.1.2. Población actual corregimiento Palermo

Para el presente estudio se contó con la población que va a ser beneficiada correspondiente a los usuarios del alcantarillado.

Tabla 6. Habitantes actuales

NOMBRE	CANTIDAD DE VIVIENDAS	HABITANTES POR VIVIENDA	CANTIDAD DE HABITANTES actuales
Palermo	188	3.1	**583**

Fuente: Consultoría, 2023

Con una población inicial de 583 habitantes, se realiza el análisis de proyección a 25 años por los diferentes métodos de crecimiento, a fin de obtener la población futura.

6.1.3. Cálculo proyección población

Finalmente, utilizando el método geométrico que es el que más se ajusta a la tendencia de crecimiento poblacional se realiza la proyección de la población y el cálculo de la demanda proyectada.

Método Geométrico

Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante, ampliamente utilizada para saneamiento básico rural y sectores urbanos menores a los 60000 habitantes, que generan un desarrollo mediano y que poseen áreas de expansión importantes las cuales pueden ser dotadas, sin mayor dificultad, de la infraestructura de servicios públicos. El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de esta. La ecuación que se emplea es:

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

Donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

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

$$r = K_1^{K_2} - 1$$

Tabla 7. Proyecciones de población área urbana Corregimiento Palermo

AÑOS	AÑO	Tasa de Crecimiento %	POBLACIÓN				
			POBLACIÓN RESIDENTE MÉTODO GEOMÉTRICO (Hab)	POBLACIÓN FLOTANTE (hab.)	TOTAL POBLACIÓN RESIDENTE (hab.)	POBLACIÓN ESTUDIANTIL MÉTODO GEOMÉTRICO	POBLACIÓN TOTAL
0	2024	0.00	583	257	840	110	950
1	2025	2.50	598	264	861	113	974
2	2026	2.50	613	270	883	117	999
3	2027	2.50	628	277	905	120	1025
4	2028	2.50	644	284	927	123	1051
5	**2029**	2.50	660	**291**	951	127	1078
6	2030	2.50	676	298	974	131	1105
7	2031	2.50	693	306	999	135	1133
8	2032	2.50	710	313	1024	139	1162
9	2033	2.50	728	321	1049	143	1192
10	**2034**	2.50	746	**329**	1075	147	1222
11	2035	2.00	761	336	1097	151	1248
12	2036	2.00	776	342	1119	156	1274
13	2037	2.00	792	349	1141	160	1301
14	2038	2.00	808	356	1164	165	1329
15	**2039**	2.00	824	**363**	1187	170	1357
16	2040	2.00	840	371	1211	175	1386
17	2041	2.00	857	378	1235	180	1415
18	2042	2.00	874	386	1260	185	1445
19	2043	2.00	892	393	1285	190	1476
20	**2044**	1.00	901	**397**	1298	196	1494
21	2045	1.00	910	401	1311	202	1513
22	2046	1.00	919	405	1324	208	1532
23	2047	1.00	928	409	1337	214	1551
24	2048	1.00	937	413	1351	220	1571
25	**2049**	1.00	947	**418**	1364	226	1591

Fuente: Grupo Consultor

En resumen, teniendo en cuenta la población actual, la población estimada para el periodo de diseño 25 años y el nivel de complejidad, se tiene:

Tabla 7. Población futura a 25 años Palermo, Paipa

Cantidad de habitantes Corregimiento Palermo	
Año Actual 2024 (hab.)	Año Proyectado 2049 (hab.)
950	1591

Fuente: Consultoría

6.2. CONTRIBUCIÓN DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS

El volumen de aguas residuales aportadas al sistema de alcantarillado del corregimiento de Palermo está integrado por aguas residenciales domésticas, ya

que en el área urbana no existen zonas de vocación industrial y las zonas comerciales están localizadas en áreas donde predomina el uso residencial. A continuación, se efectuará el cálculo del caudal que se aplicará para efectuar las proyecciones de carga contaminante y diseñar las pre-alternativas de tratamiento de aguas residuales.

El caudal de aguas servidas que entra al sistema de alcantarillado es hallado mediante la sumatoria de los siguientes aportes:

$$Q_{DISEÑO} = Q_{MAX.HORARIO} + Q_{CON.ERRADAS} + Q_{INFILTRACIONES}$$

Donde:

$$Q_{MAX.HORARIO} = F_{MAYORACIÓN} \; x \; Q_{MEDIO.DIARIO}$$

$$Q_{MEDIO.DIARIO} = Q_{DOMESTICO} + (Q_{INDUSTRIAL} + Q_{COMERCIAL} + Q_{INSITUCIONAL})$$

A continuación, se desarrolla cada componente:

6.2.1. Caudal doméstico (Q_D)

Es el aporte correspondiente a las zonas con uso residencial y se calcula mediante la ecuación:

$$Q_D = (C_R * P * D_{NETA}) /86400$$

Donde:

Q_D = Caudal de aguas residuales domésticas (L/s)
C_R = Coeficiente de retorno (adimensional)
P = Número de habitantes proyectados al período de diseño (hab).
D_{NETA} = Demanda neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab/día).

El Coeficiente de retorno se determina según la resolución 330 articulo 134 define que el coeficiente de retorno es 0.85

Q_D = (0.85 * 1591 hab. * 120 L/hab/día) /86400

Q_D = 1.88 L/s

6.2.2. Caudal medio diario ($Q_{MEDIO\ DIARIO}$)

El Caudal medio diario para el periodo de diseño (25 años) es de:

$$Q_{MEDIO.DIARIO} = Q_{DOMESTICO} + (Q_{INDUSTRIAL} + Q_{COMERCIAL} + Q_{INSITUCIONAL})$$

En el área urbana del corregimiento de Palermo se presenta sólo consumo de tipo institucional, del cual se tiene:

El caudal medio diario correspondiente a:

$$Q_{MEDIO.DIARIO} = Q_{DOMESTICO} + (Q_{COMERCIAL} + Q_{INSITUCIONAL})$$

$Q_{MEDIO.DIARIO}$ = 1.88 L/s

$Q_{MEDIO.DIARIO}$ = 1.88 L/s

6.2.3. Caudal máximo horario ($Q_{MÁXIMO\ HORARIO}$)

$$Q_{MAX.HORARIO} = F_{MAYORACIÓN} \times Q_{MEDIO.DIARIO}$$

Según la resolución 330 artículo 134, define que el factor de mayoración corresponde a **1.4** hasta **3.8**, teniendo en cuenta que este factor es esencial para el cálculo del caudal máximo horario

Teniendo en cuenta la población servida proyectada que corresponde a 665 habitantes se tiene un factor de mayoración de 2.0, de lo cual se tiene que:

$Q_{MAX.HORARIO}$ = 2.0 x 1.88 L/s

$Q_{MAX.HORARIO}$ = 3.76 L/s

6.2.4. Caudal por conexiones erradas (Q_{CE})

Corresponde al aporte de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes y patios. Considerando que la resolución 330 en el artículo 314, menciona que el caudal máximo es de 0.20 L/s*ha, se opta por el valor sugerido en la normativa.

El área urbana del corregimiento de Palermo es de 13.47 Hectáreas:

Q_{CE} = 0.20 L/s/ha * 13.47 Ha

Q_{CE} = 2.69 L/s

6.2.5. Caudal de infiltraciones (Q_{INF})

Corresponde a la entrada de aguas subsuperficiales a las redes del sistema de alcantarillado a través de fisuras en los colectores, juntas deficientemente construidas, uniones de colectores con pozos de inspección y demás estructuras.

Para determinar este porcentaje se tiene en cuenta la resolución 330 artículo 314.que estima que el valor debe estar entre 0.1 y 0.3

De acuerdo con las condiciones del alcantarillado y al nivel de complejidad se asume una infiltración baja 0.20 L/s-Ha, dando un incremento por infiltración de 2.69 L/s.

Q_{INF} = 2.69 L/s

6.2.6. Caudal de diseño aguas servidas domésticas

El caudal de aguas servidas que entra al sistema de alcantarillado es hallado mediante la sumatoria de los caudales antes calculados así:

$Q_{DISEÑO} = Q_{MAX.HORARIO} + Q_{CON.ERRADAS} + Q_{INFILTRACIONES}$

$Q_{DISEÑO}$ = 3.76 L/s + 2.69 L/s + 2.69 L/s

$Q_{DISEÑO}$ = 9.1445 L/s

7. ANALISIS DE VARIABLES MULTICRITERIO

Para el análisis de las variables posibles, se hace desde el multicriterio de evaluación, y para ello se tienen en cuenta varias determinantes que permitan evaluar cada alternativa de forma integral, permitiendo ver los pros y los contras a la hora de tomar una decisión que afecta a un entorno o comunidad.

Ahora bien, los modelos de decisión permiten tener una descomposición equilibrada de todas las partes de un problema para conocer su funcionamiento, en este caso identificar

la idoneidad de una propuesta objeto de estudio. Lo que permite este análisis es la toma de una decisión consciente y aterrizada que soluciona un problema existente.

Lo anteriormente se resume en lo que se conoce como la Teoría de la Decisión, esta busca identificar la forma como las personas toman decisiones de acuerdo a un grupo de variables o posibilidades previamente definidas, esto está presente en diferentes disciplinas. (Bravo & Martínez, 2020)

7.1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El presente análisis de variables se adaptó a las características propias del actual proyecto, para tal fin se indago la información cualitativa y cuantitativa de las alternativas a manejar. De acuerdo a esto el tipo de análisis es multivariable ya que depende de varias variantes que cambian de acuerdo a la forma y el tiempo en que se observen.

7.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO

El análisis multicriterio es una metodología que permite evaluar y comparar alternativas en función de múltiples criterios o dimensiones de análisis. En lugar de considerar un solo criterio para la toma de decisiones, como el costo o la eficiencia técnica, el análisis multicriterio incorpora diversos factores relevantes para el problema en cuestión. Estos criterios pueden incluir aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales y de mitigación de riesgos, de acuerdo con el artículo 5 de la Resolución 0799 del 2021.

Una de las ventajas principales del análisis multicriterio es su capacidad para manejar la complejidad inherente a los problemas de toma de decisiones, al proporcionar un marco estructurado para la ponderación y comparación de criterios divergentes. Esto permite una evaluación más completa y equilibrada de las alternativas, teniendo en cuenta múltiples perspectivas y consideraciones.

7.3. MODELOS DE DECISIÓN MULTIOBJETIVO

Los modelos de decisión multiobjetivo son una extensión del análisis multicriterio que se centran en la optimización de múltiples objetivos simultáneamente. En lugar de buscar una única solución óptima, como en los enfoques de optimización un criterio, los modelos de decisión multiobjetivo buscan identificar conjuntos de soluciones que representen compromisos entre los diferentes objetivos en conflicto.

En lugar de buscar una solución única, los modelos de decisión multiobjetivo generan conjuntos de soluciones que representan diferentes compromisos entre los objetivos, proporcionando a los tomadores de decisiones una gama de opciones para elegir. Este tipo

de análisis se emplea como complemento a la aplicación de modelos de asignación – localización, para la selección final entre las variantes calculadas. (Gonzales, 2020)

El análisis multicriterio surge a partir de la denominada Teoría de la Decisión, la cual indaga respecto a la forma en la cual las personas toman decisiones dentro de u conjunto de posibilidades previamente establecidas. Dichos estudios tuvieron su origen en la psicología y la economía, fundamentalmente en la necesidad de estas disciplinas por conocer los mecanismos cognitivos involucrados en la toma de decisiones en el contexto de la lógica del consumo. (Bravo & Martínez, 2020)

7.4. METODOLOGÍA TOPSIS

El método TOPSIS, desarrollado por Hwang y Yoon en 1981, este método intenta elegir alternativas que simultáneamente tienen la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más alejada de la solución ideal negativa. (Majid Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, Morteza Yazdani, Joshua Ignatius 2012).

El procedimiento a detalle del método TOPSIS propuesto por Hwang y Yoon es el siguiente: Para el correcto análisis de variables se hace desde la ponderación de criterios teniendo en cuenta el peso e importancia de las misma para poder determinar si grado de incidencia en la alternativa de solución. Para tal fin es que se emplea la escala de calificación Saaty que consiste en lo siguiente:

Tabla 8. Escala de Saaty

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIO
1	Igual importancia	A y B tienen la misma Importancia
3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
5	Importancia grande	A es más importante que B.
7	Importancia muy grande	A es mucho más importante que B
9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B.

Fuente: Adaptado de Saaty, Thomas.1994

De acuerdo a la evaluación se escoge la alternativa más idónea que corresponda a las necesidades planteadas, después de esto se procede con el diseño de la línea de tubería que sería la aducción que integra el sistema de acueducto. Este diseño responde a lo establecido a la RAS 2017.

8. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS: PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El estudio de factibilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el corregimiento de Palermo del municipio de Paipa, Boyacá, se divide en tres etapas fundamentales. En la primera fase, se realiza un análisis detallado de las condiciones

actuales del sistema de tratamiento de aguas residuales en el municipio. Esto incluye una evaluación detallada de la calidad del agua residual, teniendo en cuenta factores como la composición química, turbidez y otros parámetros relevantes.

La segunda etapa del estudio se centra en la selección de tecnologías de tratamiento apropiadas, considerando tanto los requisitos específicos del municipio como los objetivos de calidad del vertimiento. Esta fase sienta las bases para el diseño de las alternativas de PTAR que se presentarán más adelante.

La tercera y última fase del estudio implica la propuesta de alternativas de PTAR, el análisis de los costos estimados de inversión y operación para cada opción y la aplicación de un análisis multicriterio. Este análisis permite evaluar y comparar las alternativas desde una perspectiva integral, considerando factores técnicos, económicos, sociales y ambientales. En conjunto, estas tres fases metodológicas respaldan un proceso riguroso y fundamentado para seleccionar la mejor alternativa de tratamiento de aguas residuales en el corregimiento de Palermo.

El sistema de alcantarillado cuenta con vertimientos al norte sobre el río Chontales. Por lo tanto, sobre estos vertimientos se han tomado las muestras para la caracterización de las aguas y así poder proyectar los procesos requeridos en las plantas de tratamiento.

Los resultados de las tomas de muestras y los análisis de laboratorio en los vertimientos norte y sur han proporcionado una visión esclarecedora de la calidad del agua residual en el Corregimiento de Palermo del municipio de Paipa, Boyacá. Se han evaluado diversos parámetros críticos, incluyendo el pH, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos sedimentables, coliformes fecales y totales, fosforo total, nitratos, nitritos, nitrógeno total, DQO, DBO5 y SST. Estos análisis han permitido comparar los resultados con los valores aceptables de acuerdo con la Resolución 0631 de 2015, que establece los estándares de calidad para el vertimiento de aguas residuales.

Los resultados han resaltado áreas en las que se incumplen los estándares, particularmente en parámetros críticos como la DQO, DBO_5, Grasas y aceites y Coliformes totales en algunos ensayos. La presencia de niveles superiores a los límites permitidos pone de manifiesto la necesidad de tomar medidas correctivas para asegurar la adecuada depuración de las aguas residuales antes de su vertimiento. Estos resultados son de vital importancia, ya que no solo respaldan la formulación de las alternativas de tratamiento, sino que subrayan la necesidad apremiante de proteger el entorno ambiental y salvaguardar la salud pública en Palermo. Estos hallazgos son un factor determinante para la planificación y ejecución de un sistema de tratamiento de aguas residuales efectivo y sostenible en el municipio.

Los valores obtenidos y los valores máximos permisibles según la Resolución 0631 de 2015 se detallan a continuación:

Tabla 9. Análisis 1 de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del vertimiento 1 del centro poblado de Palermo, Paipa – Boyacá

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO 1	VALOR OBTENIDO 2	VALOR OBTENIDO 3	VALOR OBTENIDO 4	VALOR OBTENIDO 5	VALOR OBTENIDO 6	PROMEDIO	VALOR MÁX. ACEPTABLE (RESOLUCIÓN 0631 DE 2015)
Caudal (Aforo) (A)	L/s	3,77	4,91	4,91	4,91	1,57	3,33	3,9	N.E.
Oxígeno Disuelto (A)	mg O_2/L	6,54	7,26	7,04	7,06	4,42	3,26	5,93	N.E.
DQO Total (A)	mg O_2/L	93	37	<15	<15	49	245	106	180
DBO_5 Total (A)	mg O_2/L	80	9	<2	<2	16	119	56	90
Sólidos Suspendidos Totales (A)	mg SST/L	42	89	<10	<10	27	72	57,5	90
Sólidos Sedimentables (A)	ml SSL/L	0,2	0,4	<0,1	<0,1	1,2	2	0,95	5
Grasas y Aceites (A)	mg AyG/L	9	<8	11	12	23	13	13,6	20
Detergentes (S.A.A.M) (A)	mg SAAM/L	0,8	0,29	0,23	<0,2	1,25	1,77	0,868	N.E.

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO 1	VALOR OBTENIDO 2	VALOR OBTENIDO 3	VALOR OBTENIDO 4	VALOR OBTENIDO 5	VALOR OBTENIDO 6	PROMEDIO	VALOR MÁX. ACEPTABLE (RESOLUCIÓN 0631 DE 2015)
Hidrocarburos Totales (HT) (A)	mg HT/L	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	N.E.
Ortofosfatos (A)	mg P - PO_4^{3-}/L	0,17	0,153	<0,035	<0,035	0,462	1,073	0,4645	N.E.
Fósforo Total (A)	mg P/L	0,41	0,5	<0,2	<0,2	0,84	1,8	0,8875	2
Nitratos - N (A)	mg NO_3^-/L	1,39	1,07	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	1,23	10
Nitritos - N (A)	mg NO_2^-/L	0,096	0,153	<0,02	<0,02	0,028	<0,02	0,1	1
Nitrógeno Amoniacal (A)	mg NH_3 - NH_4^+/L	1,51	2,02	0,56	0,62	3,53	7,9	2,69	2
Nitrógeno Total (A)	mg N/L	15,68	7,94	<6	<6	11,23	24,6	14,8625	N.E.
Nitrógeno Kjeldahl (A)	mg N/L	14,19	6,72	<6	<6	11,2	24,53	14,16	N.E.
Coliformes Totales (A)	NMP/100 mL	3.500.000	94.000	36.000	17.000	540.000	210.000	732833,3	1000

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO 1	VALOR OBTENIDO 2	VALOR OBTENIDO 3	VALOR OBTENIDO 4	VALOR OBTENIDO 5	VALOR OBTENIDO 6	PROMEDIO	VALOR MÁX. ACEPTABLE (RESOLUCIÓN 0631 DE 2015)
Coliformes Fecales (A)	NMP/100 mL	21x10⁴	9,40E+04	2,80E+04	1,20E+04	2,40E+05	1,70E+05	108800	N.E.
E. Coli (A)	UFC/100 cm^3	26x10⁴	1,50E+07	2500	800	36000	680	3007996	N.E.
Coliformes Termotolerantes (A)	NMP/100 mL	21x10⁴	9,40E+04	2,80E+04	1,20E+04	2,40E+05	1,70E+05	108800	N.E.
Alcalinidad Total (A)	mg $CaCO_3$/L	100	35,2	9,2	9,6	96,8	92,4	57,2	N.E.
Cloruros (A)	mg Cl^-/L	6,54	6	<6	<6	11,28	11,8	8,905	N.E.
Fósfatos (A)	mg P/L	0,41	0,468	<0,035	<0,035	1,416	3,29	1,396	N.E.
Nitrógeno Orgánico Total (A)	mg N/L	12,68	4,7	3,17	3,11	7,67	16,63	7,99	N.E.
Sulfatos (A)	mg SO4 2-/L		15,72	8,76	9,26	15,79	17,66	13,438	N.E.
Sulfuros	mg SO 2-/L		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0.5	N.E.

PARÁMETRO	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO 1	VALOR OBTENIDO 2	VALOR OBTENIDO 3	VALOR OBTENIDO 4	VALOR OBTENIDO 5	VALOR OBTENIDO 6	PROMEDIO	VALOR MÁX. ACEPTABLE (RESOLUCIÓN 0631 DE 2015)
Dureza total (A)	mg $CaCO_3$/L		36,4	14,48	14	73,2	86,4	44,896	N.E.
Color	UPC		35,48	9,58	11	12,07	20,2	17,666	N.E.
Turbidez	UNT		110	1,2	1,4	5,4	26	28,8	N.E.
Acidez total (A)	mg $CaCO_3$/L		11,8	<10	<10	16,8	16,6	15,07	N.E.
Dureza Cálcica (A)	mg $CaCO_3$/L		30,2	11,2	10	55,8	54,4	32,32	N.E.

Fuente: Resultados de análisis físicos, químicos y microbiológicos del vertimiento en el centro poblado de Palermo, Paipa – Boyacá.

De acuerdo con los resultados obtenidos y la carga de DBO5 calculada, se concluye lo siguiente:

La carga de DBO5 es:

$$\mathrm{DBO_5}\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}\right] \times \mathrm{Q}\left[\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{día}}\right] \rightarrow \left(\frac{56 \times 1000}{1000000}\right)\frac{kg}{L} \times \left(\frac{7.62x86400}{1000}\right)\frac{m^3}{día}$$

$$\mathrm{WDBO_5} = 36.87\ kg/día$$

Según el Artículo 8 de la Resolución 0631 de 2015, los vertimientos con cargas contaminantes bajas pueden cumplir con los requisitos sin necesidad de tratamiento secundario o terciario, siempre y cuando no representen un riesgo significativo para el cuerpo de agua receptor.

Dado que la carga de DBO5 es baja y los demás parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles, se concluye que no se requiere tratamiento secundario ni terciario bajo las condiciones actuales.

Aun así, se debe tener en cuenta que se presentó un pico de contaminantes dando como resultado un DBO_5 de 119 mgO_2/L, por lo tanto, se plantea que el sedimentador primario será suficiente para reducir la carga de DBO_5 que se presentan, tal como nos muestra la tabla dispuesta en el artículo 53 de la Resolución 0799 del 2021:

$$\mathrm{DBO_5}\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}\right] \times \mathrm{Q}\left[\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{día}}\right] \rightarrow \left(\frac{119 \times 1000}{1000000}\right)\frac{kg}{L} \times \left(\frac{7.62x86400}{1000}\right)\frac{m^3}{día}$$

$$\mathrm{WDBO_5} = 78.35\ kg/día$$

8.1. DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

La gestión adecuada de las aguas residuales es una prioridad para el corregimiento de Paipa, con miras a preservar la calidad de los recursos hídricos y cumplir con los estándares regulatorios establecidos por la Resolución 0631 de 2015. En este contexto, se han identificado dos vertimientos principales en la localidad, el primero, que recoge las aguas residuales de la parte oeste del corregimiento, recolectando aguas de la salida de Palermo vía Gambita, y el segundo recolecta aguas residuales y pluviales desde la escuela hasta la

entrada principal al corregimiento, lado este, cada uno con sus propias características y desafíos. Con el objetivo de encontrar la solución más efectiva y sustentable para el tratamiento de las aguas residuales del corregimiento, se han planteado tres alternativas clave. A continuación, se presenta una descripción de cada alternativa incluyendo las tecnologías que se tienen en cuenta para la conformación de alternativas en el numeral 3.3 del presente informe.

8.2. CRITERIOS COMPLEMENTARIOS PARA LA SELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

En este numeral se discuten los elementos básicos para el tratamiento de las aguas residuales. Un agua residual se define como aquel residuo líquido que es recogido mediante una red de alcantarillado para su envío a una PTAR. El tipo y la cantidad de agua residual afluente a la PTAR reflejan la naturaleza del área a la que sirve, el uso que se le ha dado y las condiciones del medio de conducción. Así mismo determina el esquema de tratamiento a seguir y el dimensionamiento de cada una de las unidades de proceso.

El factor que más influye sobre el proceso de depuración del agua residual es su composición. La procedencia de un agua residual es un aspecto determinante de gran parte de sus características físicas, químicas y biológicas.

Según su origen, las aguas residuales pueden ser clasificados en:

- Domésticas o Urbanas
- Industriales
- Agropecuarias
- Origen incontrolado (vertidos ilegales, infiltraciones)
- Pluviales

Las aguas residenciales de origen urbano tienen una composición muy variada debido a la diversidad de factores que la afectan y a la naturaleza de la población residente. La mayor fuente de contaminación que fluye por las alcantarillas sanitarias tiene su origen en los excrementos humanos y animales (heces y orina) y en menor proporción en las aguas resultantes del lavado de ropa, preparación de alimentos y duchas. Por otra parte, las aguas pluviales o de lavado de calles que drenan desde las zonas urbanas aportan también una carga importante de contaminación (arrastre de materia sólida inorgánica en suspensión y materia orgánica soluble e insoluble).

El consumo medio de agua por persona y por día (entre 100 y 140 L/hab-día) determina la cantidad, mientras que la dieta y los usos de la población tributaria caracterizan apreciablemente su composición fisicoquímica (calidad).

Las sustancias contaminantes presentes en un agua residual pueden estar en forma disuelta, de partículas sólidas o agregadas y/o en un estado físico intermedio denominado

coloidal o en suspensión. La mayor parte de los contaminantes presentes en un agua residual doméstica están constituidos por materia orgánica e inorgánica, nutrientes y microorganismos. Una considerable parte de estos componentes se encuentra en forma de partículas, los cuales se miden con la concentración de materia en suspensión (MES).

En general, las aguas residuales contienen un 99.9% de agua. La materia sólida está constituida en un 70% por sustancias orgánicas como proteínas, grasas y carbohidratos; mientras que el 30% restante en materia mineral insoluble como la arena, la arcilla y las gravas.

En el caso de los alcantarillados sanitarios municipales, la calidad del agua residual estará determinada en mayor grado por las mayores contribuciones de los suscriptores (domésticos, industriales, comerciales, institucionales).

En la siguiente tabla se muestra el contenido del artículo 73 del decreto 1594 de 1984 con respecto a las normas de vertimientos de efluentes al alcantarillado público.

Tabla 10. Normas de vertimientos

Artículo 73: Todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir, por lo menos con las siguientes normas:

Referencia	Valor
pH	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C
Ácidos, bases o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables.	Ausentes
Sólidos sedimentables	10 ml/l
Sustancias solubles en hexano	100 mg/l
Referencia	**Usuario Nuevo**
Sólidos suspendidos para desechos domésticos e industriales	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:	
Para desechos domésticos	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 80% en carga
Caudal máximo	1.5 veces el caudal promedio horario
Carga máxima permisible (CMP) de acuerdo a lo establecido en los artículos 74 y 75 del Decreto.	

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

8.3. OPERACIONES Y/O PROCESOS UNITARIOS POSIBLES DE IMPLEMENTAR PARA LA DEPURACIÓN DEL VERTIMIENTO

Las operaciones y/o procesos unitarios que integren los sistemas de tratamiento pueden ser vía fisicoquímica, biológica o combinación de ambos, con el fin de reducir los niveles de contaminación en materia carbónica (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y grasas y aceites (G&A). Los sistemas a implementar deben garantizar la minimización de olores objetables mediante acciones como el cerramiento, el aislamiento de las unidades de proceso y/o la instalación de sistemas adecuados de control de olores cuando se utilicen sistemas anaerobios para la remoción de carga orgánica y en lo posible la disminución de la carga bacteriológica (desinfección). Las operaciones y procesos unitarios pueden incluir, pero no se limitan a:

Tratamiento Preliminar y las Operaciones Físicas Unitarias

El tratamiento preliminar es un proceso mecánico o físico de eliminación de algunos componentes contaminantes de las aguas residuales que provocan problemas de mantenimiento y funcionamiento en los diferentes procesos. Dentro de estas operaciones se encuentran el desbaste para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, el desarenado para la eliminación de la materia gruesa que pueda causar obstrucciones y desgaste en los equipos, la remoción de grasas y aceites.

De esta manera, los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de las fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias. Algunas operaciones físicas unitarias como el desbaste, la sedimentación y flotación se encuentran dentro del tratamiento preliminar; otras como el mezclado, la floculación, la transferencia de gases y la filtración pueden utilizarse como tratamiento preliminar. El objetivo del tratamiento preliminar conduce a:

La remoción de sólidos gruesos y finos (rejillas y desarenado)

La remoción de grasas y aceites (trampa de grasas y aceites con tiempo mínimo de retención de 15 minutos o estructuras tipo CPI (Corrugated Plate Interceptor) en aquellos establecimientos cuyos vertimientos tengan altos contenidos de grasas y aceites y sólidos suspendidos totales, tales como estaciones de servicio con cambios de aceite, etc).

Tratamiento Primario y los procesos Químicos Unitarios

Con el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica residual relacionada con los sólidos suspendidos. De igual manera, es posible precipitar, coagular y flocular una fracción de los contaminantes que se encuentran en forma de coloides o disueltos bajo determinadas condiciones termodinámicas.

El tratamiento primario involucra algunos procesos químicos unitarios con los cuales la eliminación o la conversión de algunos contaminantes se consiguen con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas. Dentro de los procesos químicos unitarios se encuentran fenómenos como la precipitación, la adsorción y la coagulación que conjuntamente con operaciones unitarias como el tamizado, la sedimentación y/o la filtración se logra remover gran parte de los contaminantes del agua. El objetivo del tratamiento conduce a:

La remoción de parámetros de interés sanitario ya sea por precipitación, coagulación y floculación de los contaminantes.

La remoción de sólidos suspendidos totales, DBO5, DQO y G&A.

Dentro de los tratamientos primarios se pueden encontrar:

El tratamiento primario convencional

El tratamiento primario convencional es un tratamiento físico que, mediante la sedimentación, la flotación y opcionalmente la filtración se eliminan sólidos sedimentables, grasas, aceites, material flotante y una porción de la carga orgánica expresada como DBO5, DQO y SST generando lodo.

Por lo general la eficiencia de remoción de SST se encuentra entre un 50% a un 55%, la remoción de DBO5 puede encontrarse entre un 30% a un 35% y la de fósforo entre un 10% a un 20%.

Tratamiento Químicamente Asistido (TQA)

El Tratamiento Químicamente Asistido (TQA) es un proceso con un alto potencial de aplicación para soluciones de tratamiento donde se requieran procesos de relativo bajo costo de construcción y fáciles de operar.

En el TQA mediante el uso de reactivos químicos tales como sales de hierro, sulfato de aluminio, cal y polielectrolitos, al dosificarse antes de los tanques, aumentan la habilidad del agua residual para coagular, flocular y precipitar sólidos en suspensión, metales pesados, fosfatos y agentes patógenos.

En el proceso TQA con dosificaciones bajas se obtienen eficiencias de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) del orden de 75-90% y de DBO5 entre el 45 - 60% y con dosificaciones altas se logra una remoción de fósforo entre el 70 - 90%. Adicionalmente se logra la remoción de algunos metales pesados.

Dentro de las ventajas de este proceso están las mayores cargas de superficie, la eliminación de picos estacionales y los resultados más uniformes. Entre las desventajas se encuentran la cantidad de lodos producidos, en algunos casos los lodos son más difíciles de manejar y los costos de los reactivos químicos.

Tratamiento secundario y los Procesos Biológicos Unitarios

El objetivo del tratamiento secundario es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables, sustancias tóxicas, metales pesados y otros contaminantes asociados presentes en el agua residual tanto en forma coloidal como en solución. En los procesos biológicos unitarios mediante el uso de bacterias y otros microorganismos, los contaminantes se convierten en gases que se liberan a la atmósfera, tejido celular biológico eliminable por sedimentación (biomasa sedimentable) y materia inerte. Los tratamientos biológicos también se emplean para eliminar el nitrógeno contenido en el agua residual.

De hecho, el tratamiento secundario incorpora operaciones y/o procesos unitarios físicos, químicos o biológicos, o una combinación de ellos, con el fin de reducir los niveles de contaminación en materia de DBO5, SST y G&A.

Entre los sistemas biológicos pueden encontrarse procesos unitarios aerobios, anaerobios o facultativos; sistemas de cultivo en suspensión, de cultivo fijo y sistemas biológicos naturales. La selección y la instalación del tratamiento secundario, se establecerá a partir de las restricciones consideradas en la metodología TRATAMIENTO.

En la implementación de los sistemas de tratamiento biológicos, se debe garantizar la minimización de olores objetables ya sea por el cerramiento y/o la instalación de sistemas adecuados de control de olores principalmente cuando se utilicen sistemas anaerobios de tratamiento.

Con los procesos secundarios biológicos, como lodos activados y sus diversas variantes se alcanzan eficiencias de remoción de DBO5 y SST mayores del 90%. Los sistemas de tratamiento a implementar deben garantizar un vertimiento que en todo momento cumpla con la norma ambiental (Decreto 1594/84).

Desinfección

En razón a las restricciones de calidad de los cuerpos de agua establecidos por la CAS, se deberá determinar la necesidad de incorporar como parte del sistema de tratamiento, una etapa de desinfección final del efluente para asegurar el cumplimiento de la norma microbiológica antes de su vertido a los cuerpos de agua

Tratamiento Terciario

Se refiere al tratamiento adicional necesario para eliminación de sólidos suspendidos y sustancias disueltas que permanecen en el agua residual después del tratamiento secundario. Con este tratamiento se puede remover: nutrientes, tóxicos, compuestos orgánicos volátiles (COV), calcio, magnesio, cloruros, sulfatos y agentes tensoactivos.

Las tecnologías de tratamiento contemplan: filtración, micro tamices, nitrificación - des nitrificación, arrastre por aire, cloración, adsorción sobre carbono, intercambio iónico, ultrafiltración, osmosis inversa, volatilización y arrastre con gas, entre otros

8.4. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO ACTUALMENTE DISPONIBLES EN COLOMBIA

A continuación, se hace una breve descripción de algunas tecnologías disponibles en Colombia para consideración técnica y económica, y su posible implementación por parte de los municipios de la jurisdicción de la CAS.

En este punto es importante anotar que una selección tecnológica inapropiada respecto a las condiciones socioeconómicas y culturales del municipio, han conllevado en algunos casos a problemas administrativos e interinstitucionales o municipales a la hora de transferir y/o asumir la responsabilidad de las instalaciones de depuración, en razón a los costos de operación y mantenimiento de las tecnologías. La selección de la tecnología a implementar por parte del municipio debe fundamentarse entre otros en el criterio de costo-eficiencia, la robustez tecnológica, la resiliencia operativa y el indicador de beneficio-costo.

8.4.1. SEDIMENTADORES PRIMARIOS

cuando las primeras sociedades comenzaron a establecerse y desarrollar infraestructuras básicas para la gestión del agua. En el antiguo Egipto y Mesopotamia, ya se empleaban técnicas rudimentarias de sedimentación para clarificar el agua. Los egipcios, por ejemplo, utilizaban grandes estanques donde el agua se dejaba reposar para permitir que los sólidos en suspensión se asentaran en el fondo antes de utilizar el agua relativamente clara de la superficie.

Con el tiempo, la técnica de sedimentación fue refinándose y se comenzaron a desarrollar dispositivos más específicos para este propósito. Durante la Revolución Industrial en el siglo XIX, la urbanización y el aumento de la población llevaron a una mayor demanda de

sistemas eficientes para el tratamiento de aguas residuales. Fue en este periodo cuando se empezaron a diseñar y construir los primeros sedimentadores primarios con estructuras más definidas y basadas en principios científicos.

A principios del siglo XX, el diseño de sedimentadores primarios se convirtió en una parte fundamental de las plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en Europa y América del Norte. Los avances en la ingeniería civil y ambiental permitieron la construcción de tanques de sedimentación más eficientes y con mayor capacidad. La adopción de normativas ambientales y de salud pública también impulsó la implementación de sedimentadores como una solución estándar en el tratamiento de aguas residuales.

Un sedimentador primario es una unidad de tratamiento en plantas de aguas residuales que se utiliza para la sedimentación primaria, lo que implica la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica en suspensión mediante el asentamiento gravitacional. Este equipo consta de varios componentes clave, incluyendo una cámara de entrada donde el influente se distribuye uniformemente, una zona de sedimentación donde los sólidos se asientan por gravedad, una zona de recolección de lodos en la parte inferior del tanque, y una cámara de salida por donde el efluente clarificado se dirige a las siguientes etapas de tratamiento.

El funcionamiento del sedimentador primario comienza con la entrada de aguas residuales, que se distribuyen de manera uniforme para evitar turbulencias que puedan perturbar el proceso de sedimentación. En la zona de sedimentación, los sólidos más pesados se asientan en el fondo del tanque gracias a la gravedad. Los lodos sedimentados se acumulan en la parte inferior del tanque y son removidos periódicamente. Finalmente, el agua clarificada, con una menor cantidad de sólidos suspendidos y materia orgánica, sale del sedimentador y continúa hacia las siguientes etapas de tratamiento.

El uso de un sedimentador primario ofrece varios beneficios significativos. En términos de eficiencia de remoción de sólidos, se logra una reducción del 30-40% en la DBO5 y la DQO, y del 50-70% en los sólidos suspendidos totales (SST). Además, se alcanza una remoción del 75-85% de sólidos sedimentables. Este proceso también reduce la carga orgánica, disminuyendo la cantidad de sólidos y materia orgánica en suspensión, lo cual alivia la carga en las unidades de tratamiento secundario y mejora la eficiencia general del sistema. Además, simplifica el tratamiento posterior al facilitar el manejo y tratamiento en etapas subsiguientes, como los tratamientos biológicos y químicos, y tiene costos operativos relativamente bajos en comparación con otras unidades de tratamiento.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes asociados con el uso de un sedimentador primario. Este equipo tiene una limitada capacidad para remover contaminantes disueltos y patógenos, siendo más efectivo para sólidos en suspensión. La acumulación de lodos en el fondo del tanque requiere su remoción y tratamiento adecuados, lo que puede implicar costos adicionales. Además, la eficiencia del sedimentador puede verse afectada por variaciones en el caudal y la carga de sólidos del influente, lo que requiere un diseño

cuidadoso y un control operacional constante. Finalmente, el manejo y disposición final de los lodos generados pueden presentar desafíos ambientales, especialmente si contienen contaminantes peligrosos.

8.4.2. TRATAMIENTO QUÍMICAMENTE ASISTIDO (TQA)

Esta tecnología se implementó en Inglaterra hacia el año de 1870. En la práctica actual, la precipitación química se emplea como estrategia para mejorar el rendimiento de las instalaciones de tratamiento primario o del tratamiento secundario de aguas residuales industriales. De igual manera se utiliza como mecanismo para la remoción de fósforo (Tratamiento terciario).

Se utiliza esta tecnología para coagular y flotar mediante aire la contaminación del agua residual cruda con el fin de lograr una mayor eficiencia. Previo al proceso de desarenado se agregan insumos químicos, normalmente polímeros que propician el proceso de Coagulación – flotación. Este sistema se está empleando en la Planta de tratamiento de El Salitre en la ciudad de Bogotá, donde se aplican coagulantes para estimular la coagulación y floculación del agua.

En algunas instalaciones de depuración, se utiliza la flotación para separar partículas (grasas, aceites y sólidos) introduciendo burbujas finas de aire, las partículas que se ubican en la superficie son retiradas por un mecanismo recolector. El grado de eficiencia obtenida con el tratamiento químico asistido depende del tipo de reactivo utilizado y de la dosis que se aplique, por esto se recomienda un análisis de tratabilidad en el laboratorio. Recientemente se desarrolló en Colombia una variante del Tratamiento Químicamente Asistido con el uso del DAF para remover contaminantes del agua en muy corto tiempo. Esta tecnología se encuentra aún en desarrollo y no se cuenta con una completa información de las eficiencias obtenidas con distintas calidades de agua. Los insumos para el TQA de corto tiempo no son de venta libre en el mercado de químicos lo que genera dependencia tecnológica del fabricante.

Por lo general, los insumos químicos que más se utilizan en la tecnología TQA son: Sales de aluminio (alumbre), sales de hierro (Cloruro férrico), cal y polímeros. Su principal aplicación es para lograr una mayor eficiencia en el tratamiento primario, lo que se traduce en una disminución en el tamaño de los reactores biológicos. La tecnología produce una gran cantidad de sólidos que deben ser estabilizados mediante procesos biológicos subsiguientes.

8.4.3. LODOS ACTIVADOS

La tecnología de lodos activados se considera como un sistema adecuado para el tratamiento de los residuos líquidos de origen orgánico ya que es el sistema biológico que a nivel mundial ha sido él más estudiado y cuya eficiencia está ampliamente comprobada. Los lodos activados son un sistema de tratamiento que consiste en el desarrollo de un

cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (lodos de un cultivo) en depósito agitado y aireado, logrando la degradación biológica del agua residual. En este sistema de tratamiento, 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” o licor mixto.

La planta está conformada por un tanque de aireación dotado de un sistema de inyección de aire y un tanque de sedimentación secundaria equipado para la recirculación de lodos por medio de extracción hidráulica. Los excesos de lodo se enviarán una parte a recirculación y el resto a las estructuras de tratamiento y disposición de lodos. En necesario prever el manejo y disposición de lodos en exceso.

En cuanto al agua tratada, esta puede ser reutilizada como agua de riego para cultivos. Para que el sistema sea eficiente este debe estar acondicionado con un buen tratamiento que abarque las siguientes operaciones y procesos: desbaste y desarenado, tanque de homogenización

8.4.4. ZANJONES DE OXIDACIÓN

Los Zanjones de Oxidación son prácticamente una variante de los lodos activados, en los cuales se adoptó la modalidad de aireación extendida una vez que el agua residual pasa por rejillas de cribado y/o tamices giratorios para cumplir el pre- tratamiento requerido. El agua pasa a una estructura de canales en concreto donde el agua fluye por un periodo prolongado para aumentar su capacidad de oxidación. Los microorganismos transforman la materia orgánica biodegradable contenida en las aguas residuales (materia orgánica disuelta) a materia estabilizada, CO2 y H2O, además remueve altos porcentajes de sólidos suspendidos.

Los lodos biológicos que se producen se separan en un sedimentador y un porcentaje de ellos se devuelven al tanque de aireación. El oxígeno requerido para llevar a cabo la oxidación biológica es suministrado ya sea por medio de aireadores superficiales colocados sobre un canal alargado y cerrado, a través del cual fluyen las aguas residuales o a través de membranas de micro burbujeo u otro sistema de aireación.

Diferentes tipos de aireadores pueden instalarse en los zanjones de oxidación. Entre los más comunes y utilizados en las plantas construidas en el Departamento de Cundinamarca se encuentran los aireadores de hélice o de cepillos que no tienen alta eficiencia de transferencia, sin embargo, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) ha construido varias plantas que emplean la tecnología de Zanjones de Oxidación y que han mostrado un adecuado desempeño cuando son operadas apropiadamente. Infortunadamente varias de las plantas no han sido operadas continua y apropiadamente por falta de recursos económicos, principalmente para cubrir los costos de energía.

8.4.5. FILTROS PERCOLADORES

Es un sistema de tratamiento de aguas residuales llamado también Biofiltro el cual consiste en poner en contacto el agua residual con la biomasa adherida a un medio de soporte fijo, constituyendo el lecho de oxidación biológica. El aire requerido para la aireación del sistema se toma de la atmósfera mediante tiro natural o tiro forzado. Posteriormente al desbaste grueso y fino de los sólidos, las aguas residuales pasan a través del lecho que produce el desarrollo de un recubrimiento gelatinoso compuesto por bacterias y microorganismos que absorben y utiliza gran parte de los coloides o microorganismos en suspensión y la materia orgánica presentes en las aguas residuales. Parte de este material se utiliza como alimento para producción de nuevas células y otra parte se oxida y forma dióxido de carbono y agua.

La mayoría de estos filtros son estructura cilíndrica de gran diámetro, rellenos de un medio de soporte fabricado de material sintético, con un sistema de distribución del agua residual en la parte superior y sistema de drenaje ubicado en la parte inferior. El medio proporciona una amplia superficie sobre la que se produce el crecimiento de los lodos biológicos que contienen los organismos vivos que descomponen la materia orgánica. El sistema inferior de drenaje está constituido por un fondo inclinado hacia un canal central que recoge el efluente. El sistema de distribución más corriente es un dispositivo giratorio que consta de dos tuberías horizontales que se mantienen a poca distancia por encima del medio soporte mediante una columna central. Los filtros percoladores se han utilizado para el tratamiento tanto de aguas residuales domésticas como de aguas residuales de origen industrial. Esta tecnología es muy eficiente para el tratamiento de las aguas residuales.

8.4.6. REACTORES BIOLÓGICOS SECUENCIALES – SBR

Reactores Biológicos Secuenciales o Sequential Batch Reactor (SBR) es un sistema de tratamiento de aguas residuales donde el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado por medio de reactores discontinuos. Es un sistema de lodos activados que utiliza ciclos de llenado y descarga, de tal forma que el agua residual entra en una tanda al reactor, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y luego se descarga. La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en este reactor. El sistema puede ser optimizado mediante la adición de dos o más reactores en una secuencia de operación predeterminada.

Este sistema ha sido utilizado especialmente para tratar aguas residuales municipales e industriales. La tecnología SBR tiene como ventajas que la homogenización de caudales, la sedimentación primaria, el tratamiento biológico y la sedimentación secundaria puede lograrse en un tanque reactor único. Esta posibilidad incrementa el ahorro potencial de inversión de capital por la eliminación de sedimentadores y otros equipos. Adicionalmente, es un sistema muy flexible en su operación y control y requiere área superficial mínima.

Debido a que este sistema tiene una superficie relativamente pequeña son muy útiles en áreas donde se tienen limitaciones de terreno. Igualmente, los ciclos pueden ser modificados para remoción de nutrientes si fuese necesario. Esta tecnología requiere un nivel mayor de sofisticación de las unidades de programación temporal y controles, especialmente en sistemas de mayor tamaño, que conlleva a un aumento en los costos de mantenimiento. Una vez el reactor se llena esta opera como un sistema convencional de lodos activados, pero sin el flujo continuo de afluente o descarga de efluente. La aireación y la mezcla cesan después de completarse las reacciones biológicas, se sedimenta la biomasa y se remueve el sobrenadante. El exceso de biomasa se purga en cualquier punto de este ciclo. La purga frecuente hace que de un ciclo siguiente se mantenga una relación de masas casi constante entre el sustrato afluente y la biomasa. A continuación del reactor SBR, la tanda de agua residual puede fluir a un tanque de homogenización de caudales en donde el flujo de agua residual a otras unidades de proceso puede ser controlado a una tasa determinada. En algunos casos el agua residual es filtrada para remoción adicional de sólidos y luego desinfectada.

8.4.7. BIODISCOS

Los biodiscos son un sistema de tratamiento de biológico secundario de aguas residuales domésticas e industriales biodegradables, del tipo de reactor de película fija. A este proceso se le conoce como Rotating Biological Contactor (RBC).

El proceso de RBC consiste en un disco grande con los pasos radiales y concéntricos que rotan lentamente en un depósito en hormigón. Durante la rotación, cerca del 40 % del área superficial de los medios están en las aguas residuales. La rotación y la exposición al oxígeno permiten que los organismos se multipliquen y formen una capa delgada de la biomasa. Esta gran población activa causa la degradación biológica de agentes contaminadores orgánicos.

Las actuales construcciones de RBC se pueden adecuar para flujos comprendidos en un intervalo entre 15000 gpd (Galones por día) a 30 MGD (Millones de galones por día).

8.4.8. REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS CON FLUJO ASCENDENTE (U.A.S.B.)

El reactor UASB es un tanque en concreto reforzado en el que se presentan las cámaras de decantación y digestión superpuestas. Es decir, en la misma estructura se sedimentan los lodos y ocurre el proceso microbiológico. Posteriormente al desbaste grueso y fino del agua, el agua residual fluye en forma ascendente a través de un manto de lodos constituido por microorganismos anaerobios. Este manto se mantiene suspendido hidráulicamente por la velocidad vertical del agua. Los gases generados en el proceso ascienden hacia la parte superior del reactor donde son capturados y el metano una vez separado puede utilizarse como combustible.

El reactor U.A.S.B es un sistema compacto que comprende tres procesos: la digestión anaerobia, la sedimentación y la separación del gas. La cámara de digestión corresponde al compartimiento inferior del reactor y ocupa el mayor porcentaje del volumen del mismo. Su función es permitir el incremento de la población bacteriana, creando condiciones dentro del digestor que contribuyan a la formación de flóculos suficientemente pesados para que se mantengan en esta cámara y no sean arrastrados por el agua residual que asciende.

Por otro lado, la sedimentación de lodos tiene como objetivo el concentrar y retornar los sólidos a la cámara de digestión. Esta actividad se realiza en el sedimentador, el cual es una estructura que ocupa el compartimiento superior de la cámara de digestión. En cuanto a la separación Gas-Líquido-Sólidos, esta es una operación que permite la remoción del metano generado durante la digestión anaerobia. Para esto se dispone de una unidad ubicada en la parte superior del reactor que asegura una separación efectiva del biogás, del manto de lodos y del agua residual tratada. Los gases son almacenados en las campanas de gas de donde son conducidos por tuberías hacia el sistema de limpieza y disposición final. Entre las ventajas que ofrece este sistema se puede resaltar que son útiles en la presencia de altas cargas orgánicas, tienen baja producción de lodo en exceso, bajo requerimiento de nutrientes, nulos requerimientos energéticos y la producción utilizable de metano como fuente de energía. Esta tecnología tiene un periodo de arranque mayor al de los lodos activados. Tiene baja remoción de nitrógeno y fósforo y alta sensibilidad del proceso a los cambios de temperatura.

8.4.9. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO A PISTÓN (R.A.P.)

Con esta tecnología se aprovecha la ventaja cinética del flujo a pistón sobre el régimen completamente mezclado. En este sistema el agua atraviesa varias cámaras, rellenas parcialmente con un medio plástico de alta porosidad para efectuar la separación de gas-sólido-líquido entre cámaras, finalmente llega a un separador gas-sólido-líquido (SGLS) convencional que cumple todas las normas del separador para un UASB. La velocidad en las cámaras puede llegar a 3 m/h, pues los lodos tienen una tendencia a granular mejorando la sedimentación.

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, requerimientos de concentraciones altas de alcalinidad y baja eficiencia de remoción.

8.4.10. FILTRA ANAEROBIO

La tecnología permite realizar el tratamiento con la utilización del proceso de tipo biológico en forma anaerobia empleando el sistema de filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA), 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, a cetogénesis 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 en forma uniforme, mediante canales o tuberías instaladas dentro de la unidad. El medio filtrante está conformado por material de relleno plástico (filmmedia). El efluente de los filtros anaerobios debe ser circulado 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 2,5 y 12 horas, y la eficiencia de remoción 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 estable, 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 concentraciones altas de alcalinidad, bajas eficiencias de remoción, y la presencia de olores.

8.4.11. TECNOLOGÍAS MIXTAS ANAEROBIAS

La tecnología mixta anaerobia es un sistema de depuración de bajo costo de operación y mantenimiento que permite adaptarse a las variaciones estacionales del caudal y de la carga contaminante de los vertidos. Esta tecnología combina las bondades de los sistemas anaeróbicos UASB, RAP (Reactor anaeróbico flujo pistón) o FAFA (Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente). La tecnología se caracteriza por la baja producción de lodos y bajos requerimientos de área para su construcción. Esta tecnología ya se encuentra desarrollada e implementada en Colombia con muy buenos resultados en la remoción de contaminantes, bajos costos de inversión, bajos costos de operación y bajo consumo de área para su instalación.

8.4.12. TECNOLOGÍAS MIXTAS ANAEROBIAS AEROBIAS

Esta tecnología combina las bondades de los sistemas anaeróbicos (baja producción de lodos y fluctuaciones de carga) con la alta eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas aerobios. La tecnología mixta es un sistema de depuración de bajo costo de operación y mantenimiento, con un alto rendimiento depurador y una gran flexibilidad operativa, que permita adaptarse a las variaciones estacionales del caudal y de la carga contaminante de los vertidos.

Al reducir la carga contaminante en la etapa anaerobia, reduce el tamaño de las unidades de tratamiento aerobio (menor costo de inversión y operación), así mismo, en la unidad aerobia se oxidan los gases odoríferos producidos en la etapa anaerobia lo que conduce a un sistema de alta remoción de contaminantes sin la producción de olores, muy baja producción de lodos, bajos costos de inversión, bajos costos de operación (muy bajo consumo de energía) y baja necesidad de área para su construcción.

Esta tecnología ya se encuentra desarrollada e implementada en Colombia con muy buenos resultados en la remoción de contaminantes, bajos costos de inversión, bajos costos de operación y bajo consumo de área para su instalación.

8.4.13. RESUMEN DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TRATAMIENTOS PROPUESTOS

En la siguiente tabla se resume las ventajas y las desventajas de una serie de alternativas tecnológicas posibles de implementar para el tratamiento de las aguas residuales municipales.

Tabla 11. Ventajas y Desventajas de los Tratamientos Citados

	Ventajas	Desventajas
Tratamiento Químicamente Asistido	• Costos medios de inversión • Menor área ocupada • Bajo consumo de energía • Facilidad de operación	• Consumo de químicos • Alta producción de lodos • Requiere complementarse con procesos bilógicos, físicos o químicos para lograr eficiencias de remoción mayores al 80% de DBO5, DQO y SST. • Alta instrumentación y automatismo para control operativo.

Lodos Activados	• Buena remoción de materias contaminantes (mayores al 85%). • Pueden extender la vida útil del sistema de drenaje. • Reducen la descarga de amoniaco en las aguas receptoras. • Se encuentran estandarizados a nivel mundial para grandes caudales • El metabolismo de las bacterias aerobias heterótrofas mineraliza la materia orgánica a una mayor velocidad que otros sistemas aerobios.	• La ecología del sistema puede cambiar de un día para otro, originando problemas tales como apelmazamiento, condición en la cual los flóculos microbianos no se compactan. • Desarrollo de lodo deficientemente sedimentado. • Formación de espumado o natas en la superficie de los tanques de aireación. • Alto consumo de energía • Alta producción de lodos • Mediana ocupación de área para su instalación
Zanjas de oxidación	• Buena eficiencia de remoción de contaminantes reducidos. • Medianos costos de operación y mantenimiento con respecto a los lodos activados. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica.	• Las concentraciones de sólidos suspendidos en el efluente son relativamente altas en comparación con otras modificaciones del proceso de lodos activados.

	Ventajas	Desventajas
	• Mayor confiabilidad y desempeño con relación a otros procesos biológicos aeróbicos como los reactores secuénciales en tandas (SBR). • El tiempo de retención hidráulica y la mezcla completa reducen el impacto de sobrecargas hidráulicas y de contaminantes. • Produce menos lodos que otros sistemas biológicos aerobios. • Buena eficiencia en el consumo y uso de la energía.	• Requiere una superficie de terreno más grande que otras opciones de tratamiento con lodos activados. Esto puede ser muy costoso, restringiendo la factibilidad de uso de las zanjas de oxidación en áreas urbanas, suburbanas y otras áreas en donde el costo de la adquisición de terrenos es relativamente alto.
Filtros Percoladores	• Proceso biológico simple y confiable. • Efectivo en tratamiento de aguas con altas concentraciones de orgánicos. • Unidades eficientes de nitrificación. • Bajos consumos de energía. • Moderados niveles de capacidades técnicas para manejo y operación del sistema.	• Puede necesitarse tratamientos adicionales para obtener mayores calidades en el agua tratada. • Posible acumulación de exceso de biomasa que no puede retener las condiciones aeróbicas y puede disminuir el desempeño de los filtros percoladores. • La flexibilidad y el control son limitados en comparación con los lodos activados. • Problemas de olores.
Reactores SBR	• Baja inversión en infraestructura con respecto a otros sistemas aerobios de tratamiento pero más inversión en control y automatismo. • Buena eficiencia de remoción de contaminantes (mayor al 80%). • Bajo consumo de energía con respecto a los sistemas de lodos activados y zanjones.	• Requiere un mayor grado de automatismo con respecto a las otras variantes de tratamiento aerobio. • Vulnerabilidad por fallas en el control automático. • La ecología del sistema puede cambiar de un día para otro, originando problemas tales como

	Ventajas	Desventajas
	• Buena remoción de compuestos nitrogenados.	apelmazamiento, condición en la cual los flóculos microbianos no se compactan. • Desarrollo de lodo deficientemente sedimentado. • Formación de espumado o natas en la superficie de los tanques de aireación.
Biodiscos	• Simplicidad. • Alta eficiencia de remoción de carbono y nitrógeno • Confiabilidad. • Tiempos de retención cortos. • Poco consumo energético con respecto a otros sistemas aerobios. • Lodos de buena sedimentabilidad. • Generalmente no hay recirculación de efluente ni de lodos. • Construcción modular.	• Fallas en los discos, los ejes y los motores. • Vulnerabilidad mecánica • Fugas de lubricantes. • Criterios de diseño muy disímiles aún.
Reactores UASB	• No consume energía. • Produce energía en forma de metano. • Muy baja producción de lodos con respecto a los procesos aeróbicos • Baja necesidad de área para su construcción. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica. • Muy bajos costos operativos y de mantenimiento. • Menor eficiencia en la remoción de carga orgánica con respecto a los sistemas aerobios.	• Producción de olores por lo que se requiere el cerramiento de las unidades y/o la oxidación de los gases. • Mayor tiempo de arranque que los sistemas aerobios. • Requiere suficiente alcalinidad en el agua residual.

	Ventajas	Desventajas
Reactores RAP	• No consume energía. • Produce energía en forma de metano. • Muy baja producción de lodos con respecto a los procesos aeróbicos • Mediana necesidad de área para su construcción. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica. • Muy bajos costos operativos y de mantenimiento. • Menor eficiencia en la remoción de carga orgánica con respecto a los sistemas aerobios.	• Producción de olores por lo que se requiere el cerramiento de las unidades y/o la oxidación de los gases. • Mayor tiempo de arranque que los sistemas aerobios. • Requiere suficiente alcalinidad en el agua residual.
Filtros Anaerobios FAFA	• No consume energía. • Produce energía en forma de metano. • Muy baja producción de lodos con respecto a los procesos aeróbicos • Baja necesidad de área para su construcción. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica. • Muy bajos costos operativos y de mantenimiento. • Menor eficiencia en la remoción de carga orgánica con respecto a los sistemas aerobios.	• Producción de olores por lo que se requiere el cerramiento de las unidades y/o la oxidación de los gases. • Mayor tiempo de arranque que los sistemas aerobios. • Requiere suficiente alcalinidad en el agua residual.
Tecnologías Mixtas Anaerobias	• No consume energía. • Produce energía en forma de metano. • Muy baja producción de lodos con respecto a los procesos aeróbicos	• Producción de olores por lo que se requiere el cerramiento de las unidades y/o la oxidación de los gases. • Mayor tiempo de arranque que los sistemas aerobios.

	Ventajas	Desventajas
	• Baja necesidad de área para su construcción. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica. • Muy bajos costos operativos y de mantenimiento. • Mejora en la eficiencia en la remoción de carga orgánica.	• Requiere suficiente alcalinidad en el agua residual.
Tecnologías Mixtas (Anaerobia-Aerobia)	• Muy bajo consumo de energía • Produce energía en forma de metano. • Muy baja producción de lodos con respecto a los procesos aeróbicos • Baja necesidad de área para su construcción. • Facilidad para manejar sobrecargas hidráulicas y de carga orgánica. • Muy bajos costos operativos y de mantenimiento. • Buena eficiencia en la remoción de carga orgánica. • Muy baja producción de olores	• La etapa anaerobia, requiere de un mayor tiempo de arranque que la etapa aerobia. • La etapa anaerobia requiere de alcalinidad en el agua residual.

8.5. ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS COMPLEMENTARIOS A LA METODOLOGÍA TRATAMIENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Como se indicó, para continuar con el esquema de selección de alternativas tecnológicas de depuración de aguas residuales, se proponen unos criterios adicionales a los contemplados por el modelo TRATAMIENTO; de tal manera que se procede con un análisis y valoración de otros factores técnicos, sanitarios y económicos, que permitan comparar las alternativas de tratamiento y seleccionar el enfoque de manejo más adecuado según las restricciones particulares del proyecto.

8.5.1. PARÁMETROS PARA EVALUACIÓN MATRICIAL DE ALTERNATIVAS

CRITERIO 1. TECNOLOGÍA APROPIADA

Se refiere al uso de componentes, materiales y elementos que tengan vigencia en el mercado nacional e internacional. Se preferirán aquellas tecnologías que hayan sido probadas específicamente para el tratamiento de aguas residuales domésticas con comprobada eficiencia de remoción de al menos el 50% de DBO5. En el mismo sentido, se prefieren soluciones de bajo consumo energético y de baja vulnerabilidad tecnológica para partes, repuestos y personal especializado. Con lo anterior, implícitamente se está evaluando el desarrollo tecnológico implementado en los componentes, estructuras y elementos instalados. Adicional, se requiere que la tecnología empleada cumpla para un esquema diferencial, en el que no se presentan valores de contaminación muy, no se cuenta con recursos económicos y la disponibilidad del espacio es limitada

Este criterio determina, el fin para el que se van a instalar, los materiales y si son utilizados en concordancia con las características físicas, químicas, biológicas, geológicas y estructurales propias del terreno y que cumplan con el grado de eficiencia requerido. De acuerdo con lo anterior los criterios se subdividen según se indican a continuación.

CRITERIO 2. EXIGENCIAS OPERATIVAS Y CONSTRUCTIVAS

Son los requerimientos necesarios y la flexibilidad del sistema para la realización de la operación, mantenimiento y futuras ampliaciones. Aspectos que están ligados a la vida útil y conservación de los componentes en el período de diseño. Dado que el tiempo en el cual se construye la solución es crítico en las condiciones actuales de vertimientos, se preferirán aquellas soluciones que puedan estar operativas en término de pocos meses.

CRITERIO 3. RESILIENCIA OPERATIVA

Dadas las características variables de composición y caudal de las aguas residuales que pueden verterse al alcantarillado sanitario, esto puede causar impactos en el sistema de tratamiento. Algunos sistemas tardan más tiempo en adaptarse, estabilizarse o recuperarse de las características del agua o a los cambios o choques de cantidad y calidad. Estos aspectos están ligados al tiempo en que puede entrar en operación estable el sistema y al cumplimiento de la calidad del vertido. De igual forma se refiere al tiempo en que se recuperará el sistema a choques de calidad y cantidad y que repercute en impactos ambientales negativos y al no cumplimiento de las remociones de carga. Se preferirán aquellas soluciones que puedan estar operativas en término de días y no de meses.

8.5.2. ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES

CRITERIO 4. AFECTACIÓN ANTRÓPICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Este ítem comprende el grado de aceptación y beneficio que causan las obras propuestas sobre las actividades sociales y ambientales típicas del área intervenida y de población cercana al sitio del proyecto. Además, mide en qué medida el desarrollo de las actividades relacionadas con la ejecución de las obras causa perjuicios e incomodidades en el uso del espacio público existente y en las actividades cotidianas del ser humano.

CRITERIO 5. AFECTACIÓN BIÓTICA Y ABIÓTICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Este ítem comprende el grado de incidencia que causa el desarrollo de las actividades relacionadas con la ejecución de las obras propuestas sobre los organismos vivos, el agua, aire, y el suelo del área en cuestión.

CRITERIO 6. AFECTACIÓN ANTRÓPICA DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este ítem comprende el grado de afectación o beneficio que puede causar el proyecto a la población en lo que se refiere a operación y mantenimiento. Este ítem comprende el grado de incidencia que causa el desarrollo de las actividades relacionadas con el funcionamiento, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento sobre los organismos vivos, el agua, aire y el suelo.

8.5.3. ASPECTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

CRITERIO 7. PROCESO CONSTRUCTIVO

Las actividades y costos que origina la ejecución de un proyecto están determinadas por los estudios y diseños que respondan con calidad a los objetivos que se han trazado. Al acometer las obras, aparecen en el proyecto otras variables técnicas, ambientales y sociales que conforman las obras de manera integral procurando mitigar, prevenir y compensar los impactos negativos sobre el entorno, dando cumplimiento a la legislación y normatividad vigente.

Otro objetivo que se pretende con la evaluación económica y financiera es elaborar y evaluar los costos de las diferentes alternativas propuestas, con el fin de determinar la que tenga menor valor presente en los costos de inversión, operación y mantenimiento.

CRITERIO 8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUIDO

La operación, mantenimiento y funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales demanda la ejecución de tareas y funciones encaminadas a lograr la continuidad del servicio en cantidad y calidad.

Hay que tener en cuenta en las labores de operación y mantenimiento, las evaluaciones hidráulicas, fisicoquímicas y bacteriológicas de la calidad de agua residual con el ánimo de cumplir con la legislación y normatividad ambiental vigente, requieren de programación y

personal especializado para el desarrollo de estas labores, formando parte de proyecto global del sistema de tratamiento.

8.5.4. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN FINAL DE LA ALTERNATIVA

Después de plantear las posibles alternativas y prefijar los parámetros de evaluación de la matriz de selección, se escogerá la alternativa que brinde una integralidad técnica, social, ambiental y económica.

El análisis comparativo lo gobiernan las siguientes consideraciones adicionales:

- La tecnología usada, debe cumplir con la norma de vertimiento y ser costo-eficiente.
- La alternativa final debe tener baja demanda de área para su construcción y operación.
- Debe minimizar los efectos negativos al medio ambiente durante su construcción y operación.
- La alternativa final debe minimizar la producción de olores.
- Bajo riesgo en la continuidad de servicio.

En la siguiente tabla se resume los puntajes asociados a los criterios de evaluación según la metodología:

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
ASPECTOS TÉCNICOS	40	0-15			TECNOLOGÍA APROPIADA												
			0	3	Tecnología compuesta por elementos estándar de comprobada confiabilidad a nivel nacional o internacional	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
			0	4	Tecnología probada para el tratamiento de aguas residuales domésticas con remociones de al menos 30% de remoción de DBO5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
			0	3	Requisitos de energías para la operación y el funcionamiento del sistema	3	3	1	1	2	1	2	3	3	3	3	2
			0	5	Vulnerabilidad tecnológica en parte, repuestos y personal extranjero	5	2	3	3	4	4	4	5	5	5	5	4
		0-10			EXIGENCIAS OPERATIVAS Y CONSTRUCTIVAS												
			0	5	Facilidad operativa y de mantenimiento	5	2	3	3	4	3	3	5	5	5	5	4

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
			0	5	Facilidad constructiva	4	2	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3
		0-15			RESILIENCIA OPERATIVA												
			0	8	Tiempo de arranque y especialización del proceso de tratamiento	8	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
			0	7	Capacidad de recuperación a choques de caudal y cargas contaminantes	3	6	6	6	5	6	5	4	4	4	4	5

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES	20	0-3			AFECTACIÓN ANTROPICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN												
			0	1	Área de terreno a afectar	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
			0	1	Generación de ruidos, olores y polvo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			0	1	Obstrucción del espacio público	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
		0-7			AFECTACIÓN BIOTICA Y ABIOTICA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN												
			0	2	Contaminación de fuentes superficiales	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			0	1	Calidad visual del paisaje	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			0	2	Contaminación y estabilidad del suelo	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			0	2	Generación de lodos y sólidos diversos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		0-3			AFECTACIÓN ANTROPICA EN LA OPERACIÓN Y EL MANTENIMIENTO												
			0	3	Generación de ruidos, olores y polvo	1	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2
		0-7			AFECTACIÓN BIOTICA Y ABIOTICA EN LA OPERACIÓN Y EL MANTENIMIENTO												
			0	2	Contaminación de fuentes superficiales	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			0	1	Calidad visual del paisaje	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
			0	2	Contaminación y estabilidad del suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			0	2	Generación de lodos y sólidos diversos	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
ASPECTOS ECONOMICOS Y FINACIEROS	40	0-20	PROCESO CONSTRUCTIVO														
			0	3	Área de construcción	3	3	1	1	2	1	2	3	2	1	3	3
			0	5	Tiempo de construcción	5	3	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
			0	4	Capacidad de movilidad y reinstalación	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			0	5	Costos de construcción	5	1	2	2	2	3	2	4	4	4	4	4
			0	3	Requiere de personal especializado	3	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
		0-20	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUIDO														
			0	20	Costos de Operación y mantenimiento	20	10	14	15	16	15	15	19	18	17	17	17

ASPECTOS A EVALUAR	PUNTAJES				VARIABLES DE EVALUACIÓN	ALTERNATIVAS PROPUESTAS											
	TOTAL	RANGO	PUNTAJE MÍNIMO	PUNTAJE MÁXIMO		Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias
	100	PUNTAJES TOTALES DE ALTERNATIVA SELECCIONADA EN LA EVALUACIÓN DE LA MATRIZ				87	66	68	70	75	74	72	83	81	79	81	78
ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES						Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio	Tecnologías Mixtas Anaerobias	Tecnologías Mixtas Anaerobias - Aerobias

8.6. MÉTODO DE ANÁLISIS

La determinación de pesos se realizará mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), la cual es una metodología que ha sido ampliamente usada para este fin, permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común, que incluye la participación de un grupo interdisciplinario y verificación mediante un índice de consistencia de las calificaciones otorgadas. Esta metodología es usada para la determinación de pesos de los criterios, previo al uso de TOPSIS (Garmendia, 2012).

Para la matriz de priorización de alternativas el método seleccionando que se utilizará es TOPSIS es un método de decisión multicriterio de ordenación para identificar las soluciones de un conjunto finito de alternativas. El principio básico es que la alternativa elegida debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva y la mayor distancia a la solución ideal negativa. Una solución ideal se define como una colección de puntuaciones o valores en todos los atributos considerados en la decisión, pudiendo suceder en algunos casos que tal solución sea inalcanzable.

8.7. RESULTADOS

	100	PUNTAJES TOTALES DE ALTERNATIVA SELECCIONADA EN LA EVALUACIÓN DE LA MATRIZ	87	66	68	70	75	74	72	83	81	79
ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES			Sedimentador primario	Tratamiento Químicamente Asistido	Lodos Activados	Zanjones de Oxidación	Filtros Percoladores	Reactores Biológicos Secuenciales (SBR)	Biodiscos	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (U.A.S.B.)	Reactor Anaerobio de Flujo a Pistón (RAP)	Filtro Anaerobio

9. CONCLUSIONES

El análisis y selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales en el corregimiento de Palermo, en el municipio de Paipa, ha resultado en la identificación del sedimentador primario como la alternativa más adecuada para cumplir con los requisitos ambientales y de salud pública establecidos por la normativa vigente. Este proceso incluyó una caracterización exhaustiva de las aguas residuales, la evaluación de diversas

tecnologías de tratamiento, y la aplicación de un análisis multicriterio para determinar la opción más favorable.

Los estudios realizados destacaron la necesidad imperiosa de implementar medidas correctivas que aseguren una depuración adecuada antes del vertimiento de las aguas residuales. Se identificaron valores superiores a los límites permitidos en parámetros críticos como la DQO, DBO5, grasas y aceites, y coliformes totales, lo que subraya la urgencia de contar con un sistema de tratamiento efectivo y sostenible.

Durante la evaluación multicriterio, se tomaron en cuenta factores técnicos, económicos, sociales y ambientales. Utilizando metodologías reconocidas como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y el método TOPSIS, se priorizaron las alternativas propuestas. Los criterios de evaluación incluyeron la eficiencia en la remoción de contaminantes, los costos de inversión y operación, la facilidad de operación y mantenimiento, así como el impacto social y ambiental.

El sedimentador primario fue seleccionado debido a su capacidad para proporcionar una solución eficaz y costo-eficiente. Este equipo demostró cumplir con los estándares de calidad del vertimiento y presentó ventajas significativas en términos de operación continua y estable. La tecnología del sedimentador primario no solo garantiza una alta eficiencia en la remoción de sólidos y materia orgánica, sino que también minimiza los efectos negativos en el medio ambiente.

En conclusión, el análisis detallado y el enfoque riguroso aplicado en este estudio han permitido la selección del sedimentador primario como la mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales en el corregimiento de Palermo. La implementación de esta solución contribuirá significativamente a la protección del medio ambiente y a la mejora de la calidad de vida de la comunidad. Este proyecto no solo cumple con la normativa vigente, sino que también se presenta como una opción sostenible y adecuada para las necesidades específicas de la zona.