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

PRODUCTO 7.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

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:
12/06/2024	02	ANDRES FELIPE RUIZ	INTERVENTOR
Firma:			

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS 7
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
3.1. LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO 7
3.2. DIVISIÓN POLÍTICA 8
3.3. ASPECTOS HÍDRICOS 8
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. DISEÑO ESTRUCTURAS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL 22
7.1. CALCULO ALIVIADERO LATERAL 24
7.2. SISTEMA DE PRETRATAMIENTO 26
7.2.1. Rejillas de limpieza o Cribado 26
7.2.2. Unidad de flotación (Trampa de grasas) 29
7.3. TRATAMIENTO PRIMARIO 31
7.3.1. Sedimentador de alta tasa 31
7.4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE VERTIMIENTOS MÁS DESFAVORABLES 36
7.5. RECOMENDACIONES EN CASO DE INCREMENTOS EN PARÁMETROS 41
TRATAMIENTO SECUNDARIO 41

TRATAMIENTO TERCIARIO 41
8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 41
9. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ESTRUCTURAS DE PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO 42
9.1. Operación y mantenimiento del tratamiento preliminar 43
9.2. Operación y mantenimiento de redes de conexión de estructuras 44
9.3. Operación y mantenimiento del sedimentador de alta tasa 45
9.3.1. Operación y mantenimiento del filtro anaerobio 47
9.3.2. Operación y mantenimiento del humedal artificial 48
9.3.3. Operación y mantenimiento de los lechos de secado 55
9.4. MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO 57
10. SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR 58
10.1. ADMINISTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO 58
10.2. Proceso de Control 58
10.2.1. Proceso de mantenimiento 59
10.2.2. Proceso de recurso humano e infraestructura 60
10.2.3. Procesamiento 62
10.2.4. Proceso de evaluación 63
10.3. PLAN DE CONTINGENCIA 64

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.Estación Meteorológicas para el corregimiento de Palermo. 9
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. Parámetros de diseño rejillas 27
Tabla 9. Coeficiente de pérdida para rejillas 28
Tabla 10. Cálculo de rejillas para cribado y pretratamiento. 28
Tabla 11. Cálculo de dimensiones para trampa de grasas. 31
Tabla 12. Análisis de cumplimiento para parámetros de Sedimentador primario. 32
Tabla 13. Parámetros iniciales para diseño de Sedimentador de tratamiento primario 33
Tabla 14. Cálculo de dimensiones de sedimentador 33

Tabla 15. Cálculo de parámetros de acuerdo al artículo 189 de la Resolución 0330 del 2017 34
Tabla 16. Dimensiones de tolva 35
Tabla 17. Diseño Efluente de sedimentador. 35
Tabla 18. Análisis 1 de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del vertimiento 1 del centro poblado de Palermo, Paipa – Boyacá 36

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
Ilustración 3. Diseño conceptual PTAR proyectada. 24
Ilustración 4. Diferentes formas de rejillas 28
Ilustración 5. Configuración típica del sedimentador de alta tasa 32

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos antrópicos demandan servicios ambientales como la necesidad del consumo de agua y energía, pero, así como se necesitan estos también se presenta la disposición de aguas residuales y residuos sólidos, desde el punto de vista de aguas residuales al que hace referencia el presente estudio, la demanda de servicios se identifica como la fuente receptora. Así las cosas, el diseño y construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales se convierten en una necesidad tanto ambiental como normativa.

Los vertimientos de agua residual domestica generan cambios físicos, químicos y microbiológicos en el cuerpo de agua, es por esto por lo que se requiere el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y el cuidado del recurso hídrico, por lo que se proyecta la construcción de la planta de tratamiento de agua residual PTAR.

El presente documento establece las condiciones el diseño del sistema de tratamiento de agua residual con el fin de alcanzar la remoción necesaria para cumplir la normatividad exigida a nivel nacional y por la entidad ambiental CORPOBOYACÁ.

El diseño presenta las memorias de cálculo y planos a escala apropiada, así como sus detalles constructivos, así como el manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento.

Es importante mencionar que para definir los parámetros de diseño de la planta de tratamiento se revisaron los documentos previos asociados al alcantarillado como el plan maestro y el documento que planea el manejo de los vertimientos como es el Plan de saneamiento y manejo de vertimientos PSMV.

2. OBJETIVOS

Caracterizar social y económicamente al municipio a fin de predecir la cantidad y composición de los vertimientos.

Identificar y la posible distribución del tratamiento secundario y sus obras anexas.

Establecer los parámetros de diseño para el sistema de tratamiento secundario atendiendo las metodologías contenidas en el ***Resolución 330 de junio de 2017.***

Seleccionar y redimensionar tecnologías de tratamiento viables para el corregimiento, considerando principalmente los costos de construcción, de operación y mantenimiento.

Recomendar las medidas de manejo adecuadas para cada tecnología propuesta.

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.

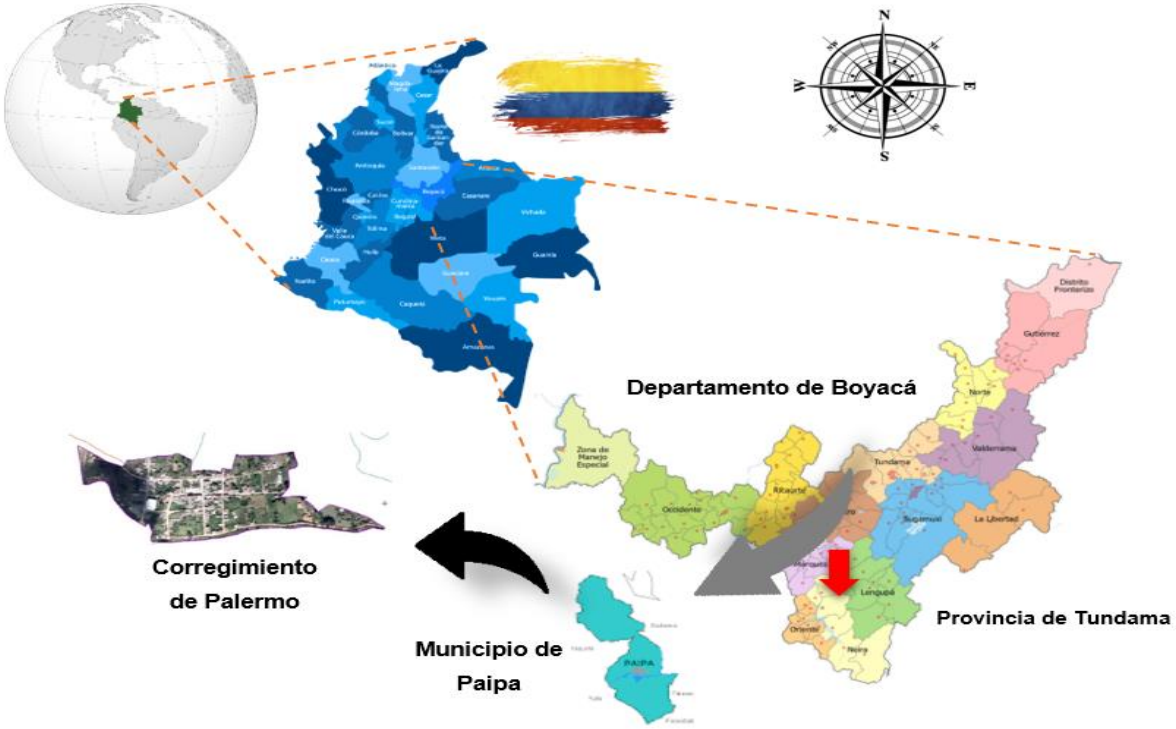


Ilustración 1. Localización corregimiento de Palermo.
Fuente: Grupo Consultor

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.

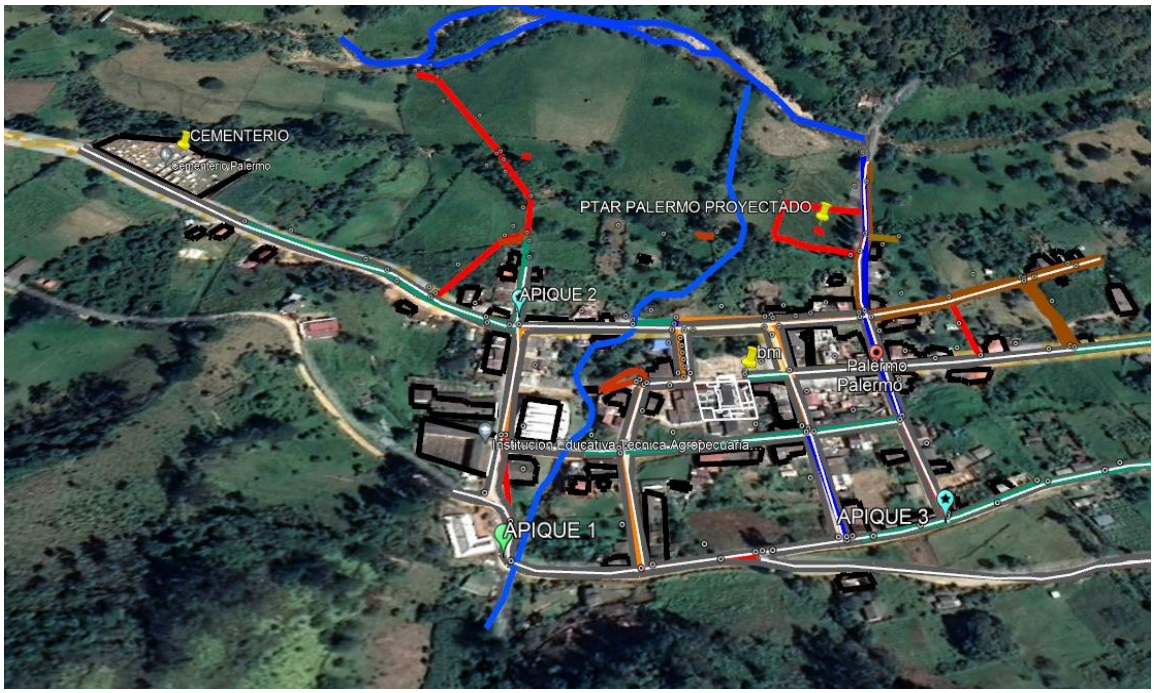


Ilustración 2. Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR del corregimiento de Palermo
Fuente: Grupo Consultor

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

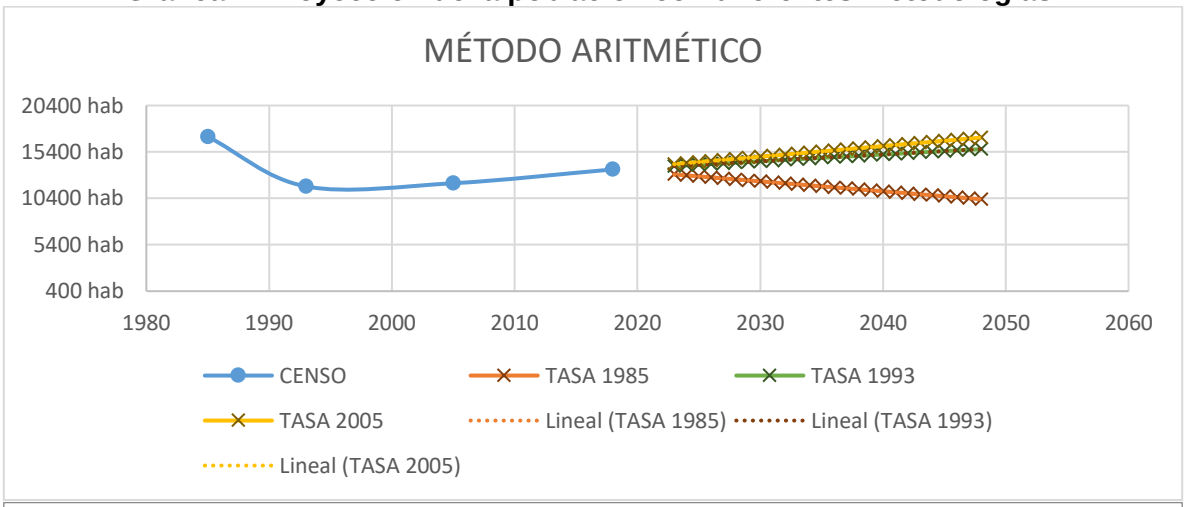
El centro poblado de Palermo puede entrar dentro de los esquemas diferenciales que menciona la norma 0844 del 2018, por lo tanto, se escogerá una tasa de 0.5% en un horizonte de 25 años. Las proyecciones de población se realizarán con base en la densidad (personas/hogar) suministrada por el DANE de 3.1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

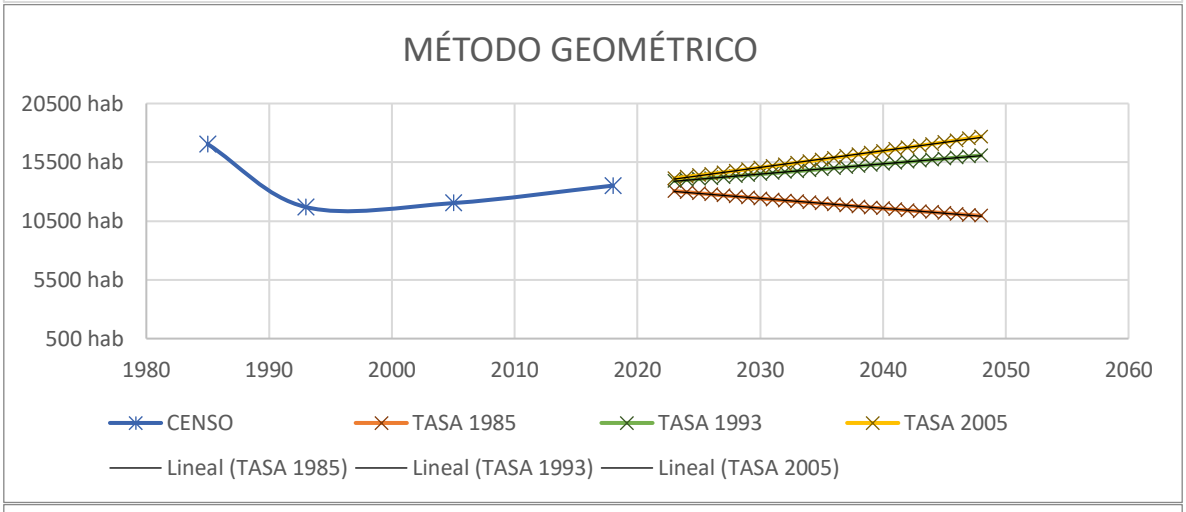
Tabla 3. Datos históricos de población en Paipa, Boyacá

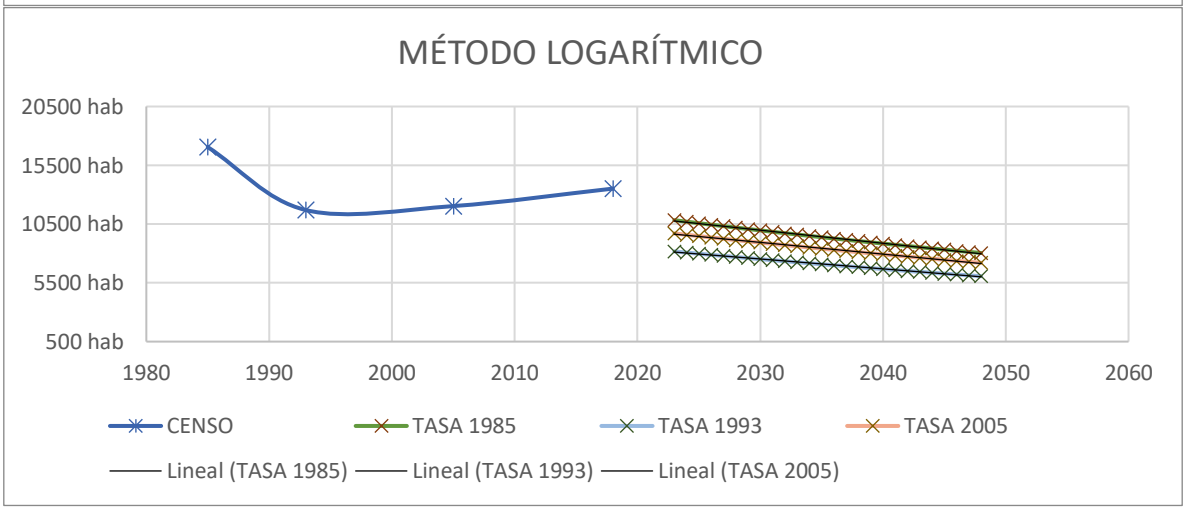
ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA				
DEPARTAMENTO	BOYACÁ			
MUNICIPIO	PAIPA			
PERSONAS POR HOGAR URBANO	3,03			
PERSONAS POR HOGAR RURAL	3,1			
POBLACIÓN DANE	**CABECERA**	**RESTO**	**DEPARTAMEN**	**COLOMBIA**
CENSO 1985	6671 hab	17046 hab	1209739 hab	30062190 hab
CENSO 1993	10391 hab	11688 hab	1174031 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. MARCO NORMATIVO DE CAUDAL EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El cálculo de caudal se realizó de acuerdo con lo estipulado en el artículo 134 de la Resolución 0330 y su modificación correspondiente en el artículo 41 de la Resolución 0799 de 2021. De acuerdo con el artículo 46 de la Resolución 0799, que modifica el artículo 166 de la Resolución 0330, se dispone a realizar el análisis de los cálculos. Al realizar los cálculos de caudal, se deben revisar las estructuras a implementar.

La normativa establece que, para el tratamiento de aguas residuales con caudales inferiores a 30 L/seg, se debe utilizar tres veces el caudal medio correspondiente, excepto en el caso de sistemas lagunares.

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

Al analizar los sistemas proyectados, se determinó que solo se realizará el dimensionamiento de procesos físicos. Por esta razón, se considera más seguro tomar en cuenta el caudal máximo horario (QMH), ya que este proporciona un mayor margen de seguridad en la capacidad de diseño de la planta.

El mismo artículo menciona unos factores pico para caudales de tratamiento de aguas residuales; estos factores solo se aplicarán para caudales medios, los cuales no serán usados para el diseño de los procesos físicos.

Artículo	Descripción	Modificación
Artículo 41	Modifica el artículo 134 de la Resolución 0330. Estipula el cálculo de caudal de aguas residuales basado en la información de consumos y/o mediciones recientes, con diferentes métodos según la proyección de demanda de agua potable.	Introduce fórmulas específicas para calcular el caudal de aguas residuales domésticas, considerando la proyección de demanda de agua potable por área tributaria, suscriptor o población.

Artículo	Descripción	Modificación
Artículo 46	Modifica el artículo 166 de la Resolución 0330. Dispone la realización del análisis de cálculos de caudales y la revisión de las estructuras a implementar.	Introduce factores pico para caudales medios, que no se usarán en el diseño de procesos físicos.

8. DISEÑO ESTRUCTURAS PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

A continuación, se presenta el diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales:

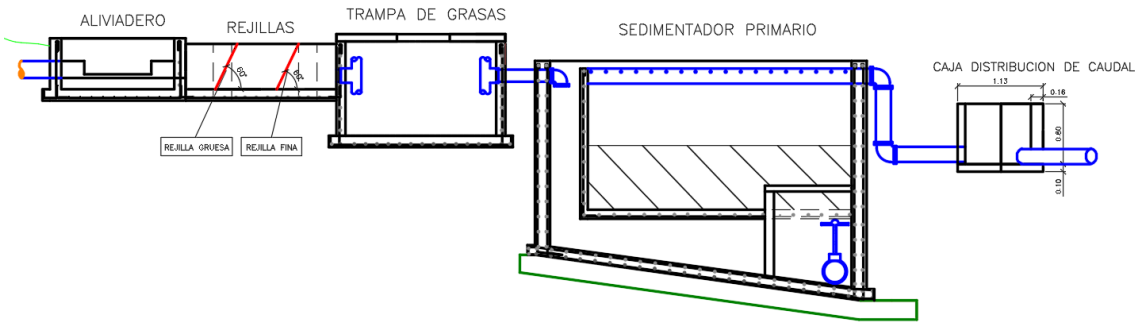


Ilustración 3. Diseño conceptual PTAR proyectada.
Fuente: Grupo Consultor

8.1. CALCULO ALIVIADERO LATERAL

Estas estructuras derivan parte del caudal que se supone es de escorrentía pluvial a drenajes que usualmente son naturales o a almacenamientos temporales, aliviando así los caudales conducidos por colectores, interceptores o emisarios al sitio de disposición final, que es la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los aliviaderos pueden ser laterales, transversales o de tipo vórtice, para el caso del presente diseño es un aliviadero lateral, el cual permite que el caudal de aguas residuales de tiempo seco continúe por el colector hasta la planta de tratamiento, pero durante determinados eventos de precipitación y escorrentía asociada deben derivar o aliviar lo que les corresponda de aquella porción en exceso a la capacidad de la planta de tratamiento

$Q_{DISEÑO}$ = 9.145 L/s

Diámetro tubería de llegada = 18”

Pendiente tubería de llegada:

S1=0.01%

n=0.013

Altura entrada d2=0.10 m

Ancho entrada b1=0.40 m

Aguas negras:

b1^8/3=0.085

k=0.139

d2/b1=0.252

d1=0.100

Velocidad=0.23

Cabeza de velocidad =0.0027

e2=0.1027

Caudal máximo que transporta la tubería:

Q tubo lleno=70 L/s

Q en el tramo=9.145 L/s

Q evacuar=60.855 L/s

Q evacuar=0.061 m^3/s

Longitud vertedero lateral=1.79 m

El aliviadero se propone con dos vertederos laterales, donde la longitud es la siguiente:

Largo de cada vertedero= 0.8929m

Por construcción se toma= 1.0 m

Altura del vertedero de excesos = 0.18 m

Ancho del vertedero de excesos = 0.07 m

Se debe implementar una compuerta en fibra de vidrio para efectuar el mantenimiento.

8.2. SISTEMA DE PRETRATAMIENTO

8.2.1. Rejillas de limpieza o Cribado

Los sistemas de rejillas es el método más elemental para remover el material contaminante grueso como basuras, material sólido grueso y todos los desperdicios presentes en las aguas residuales que representan peligro para el correcto funcionamiento de los sistemas que le siguen.

Una reja de desbaste es básicamente un sistema de barras paralelas, cuya inclinación recomendada cuando se encuentra dentro de un canal es de 45º a 75°, pues se adapta para que la limpieza de la rejilla pueda ser manual o mecánica. El espaciamiento entre las barras de la rejilla depende del tipo de residuo a ser retenido y del material en que sea construida. El ancho de la reja depende del ancho total de la captación o canal y la velocidad de flujo a través de ella baja, con el fin de evitar el arrastre del material retenido.

Se proyecta colocar dos barreras (una rejilla gruesa y una fina) de limpieza manual compuestas por barras paralelas, inclinadas, igualmente separadas, y colocadas en la sección transversal del canal de aproximación.

El dimensionamiento de las rejillas se hizo teniendo en cuenta lo establecido en el RAS 2000.

Tabla 8. Parámetros de diseño rejillas

Parámetros de diseño	Unidad	Rango
Espaciamiento entre las barras de las rejillas limpiadas manualmente	mm	15 a 50
Diámetro de barras	pulgadas	3/8" – 1 ½"
Velocidad mínima de aproximación a las rejillas limpiadas manualmente	m/s	0.3 y 0.6
Velocidad mínima entre barras	m/s	0.3 y 0.6
Angulo de inclinación	°	45 a 75
Pérdida de carga	cm	< 75

Fuente: E.4.4.2.3, E.4.4.2.4, E.4.4.2.5, Título E RAS 2000

La limpieza de las rejillas se hace manualmente utilizando rastrillos de mango largo, siendo necesario una limpieza periódica para evitar un aumento en las pérdidas de carga. Para facilitar la limpieza, las rejillas se colocan inclinadas, formando un ángulo de 60° con la horizontal.

- **CÁLCULO DE REJILLAS PARA CRIBADO**

Cálculo de pérdida de carga para la rejilla gruesa:

En el diseño hidráulico del sistema de tratamiento de aguas residuales, se incluye el cálculo de la rejilla, un componente crucial para la remoción de sólidos grandes y otros materiales flotantes. Este informe detalla los cálculos realizados basados en el Manual de Buenas Prácticas de Ingeniería y Conservación de la Masa, garantizando que el diseño cumple con los estándares establecidos para una operación eficiente y sostenible.

Para el cálculo de la pérdida de carga se utiliza usar la siguiente ecuación:

$K = \beta^* (W/b)^{4/3} * (V^2/2*g) * Sen\alpha$

Donde β debe obtenerse de la siguiente tabla, en conjunto con la figura E.4.1. del título E RAS 2000

Tabla 9. Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	**2.42**	**1.83**	**1.67**	**1.035**	**0.92**	**0.76**	**1.79**

Fuente: Tabla E.4.6 Título E RAS 2000

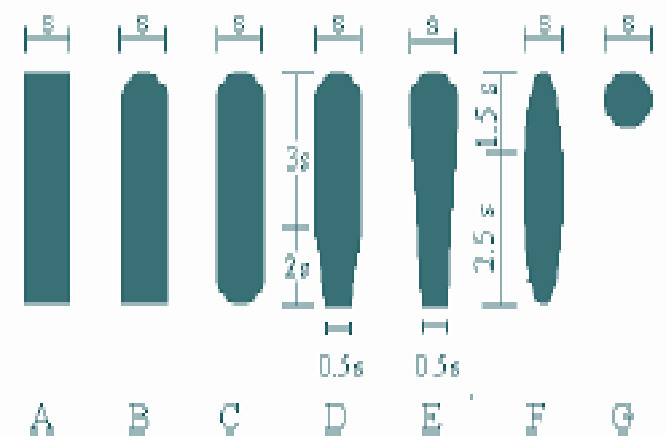


Ilustración 4. Diferentes formas de rejillas

$$K = \beta^* (W/b)^{4/3} * (V^2/2*g) * Sen\alpha$$

Donde:

β = Factor de forma de barra elegido = 2.42 Ver Tabla E.4.6 RAS 2000
W = Ancho o espesor de la barra para rejilla gruesa =
b = Separación o espaciamiento mínimo entre barras
V = Velocidad del agua en m/s
g = Gravedad
α = Angulo de inclinación de la reja con la horizontal

Tabla 10. Cálculo de rejillas para cribado y pretratamiento.

Sección transversal Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Caudal diseño $Q_{DISEÑO}$ [L/s]			**9.1445**	
Tipo de rejilla	Fuente		Rejilla Gruesa	Rejilla fina
Coeficiente de perdidas	Tabla RAS 2000	β	2,42	2,42
Diámetro barras	Diámetro escogido **1/2"**	W (m)	0,0127	0,0127

Sección transversal Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Caudal diseño $Q_{DISEÑO}$ [L/s]			**9.1445**	
Tipo de rejilla	Fuente		Rejilla Gruesa	Rejilla fina
Separación de las barras	Asumido	b (m)	0,04	0,02
Velocidad de aproximación a las rejillas	Asumido	Vaprox (m/seg)	0,6	0,6
Inclinación	Asumido	α (°)	60	60
Gravedad	Gravedad de la tierra	g (m/s^2)	9,81	9,81
Ancho del canal	Asumido	a (m)	0,4	0,4
Altura lámina de agua	Conservación de la masa Q=VA	h (m)	0,038	0,038
Superficie vacios de la rejilla	Sh=Q/v	Sh (m^2)	0,015	0,015
Longitud sumergida de la rejilla	h/sen(α)	Lr (m)	0,044	0,044
Espacio total entre barrotes	Lr/Sh	Er (m)	0,346	0,346
# de Barrotes	Er/b	n	8	16
# Espacios entre barrotes	n+1	E	9	17
Ancho zona de rejillas	A= n(W+b)+b	A (m)	0,462	0,543
Pérdida de energía	$K = \beta * (W/b)4/3 * (V2/2 * g) * Sen\,a$	Dh (m)	0,008	0,021
	Manual de Buenas Prácticas Título B Cap 4.4.5	Dh (mm)	8,329	20,988

Fuente: Elaboración propia

8.2.2. Unidad de flotación (Trampa de grasas)

El artículo 172, de la resolución 330 decreta para Trampas de grasa que: Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, cuando se prevean aportes de grasas y aceites, debe considerarse el empleo de sistemas de remoción de estos, con el fin de proteger los procesos de tratamiento subsiguientes,

tales como: pozos sépticos, filtros anaeróbicos, campos de infiltración, humedales artificiales, entre otros.

Las trampas de grasa deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual con grasas (generalmente la cocina), y aguas arriba del tanque séptico o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo, para prevenir problemas de obstrucción, adherencias, acumulaciones en las unidades de tratamiento y malos olores.

Como parámetros generales de diseño deberán tenerse en cuenta los siguientes:

1. El volumen de la trampa de grasa se calculará para un período de retención mínimo de 2,5 minutos.

2. La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendida entre 1:1 a 3:1, dependiendo de su geometría.

3. La profundidad útil deberá ser acorde con el volumen calculado partiendo de una altura útil mínima de 0,35 m. En este caso se utilizará 1.25

Caudal de diseño = $Q_{DISEÑO}$ = 9.145 L/s

Tiempo de retención = 2,5 minutos

$V=Q*T_R$

$V = 0.00762\ m^3/s * 2.5\ min * 60\ s$

$V = 1.372\ m^3$

Si se hace el análisis de cumplimiento normativo, se realiza la comparación de la velocidad máxima que la norma define (1.2 m/seg). En este caso, las rejillas se diseñan para que haya una velocidad por las rejillas de 0.6 m/seg. Finalmente se definen las siguientes medidas para las rejillas gruesas y finas. Se recomienda colocar doble rejilla de manera paralela (por mantenimiento)

El cálculo de la trampa de grasas cumple con el tiempo retención mencionado en el artículo 49 de la Resolución 0799 del 2021. Por lo tanto, se dispone en los presentes cálculos a definir la geometría, geometría definida de acuerdo a la normatividad y a la función de la trampa de grasas.

Tabla 11. Cálculo de dimensiones para trampa de grasas.

Parámetros trampas de grasa	Art 49 Res 0799 de 2021		
	Dato	Cumple	Observaciones
Existe	Si	Si	
Volumen	1,372	Si	Volumen en función de un periodo de retención mínimo de 2,5 minutos
Relación L/a	2,5	Si	1:1 a 3:1 L/a
Profundidad útil	0,35	Si	Altura útil mínima de 0,35 m
Mantenimiento			Debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa

Volumen	
V (m3)	1,372
TR (min)	2,5
Profundidad (m)	1,25
Largo (m)	2
Ancho (m)	0,55
Ancho min (m)	0,7
V ajustado (m3)	1,750
TR ajustado (min)	3,19
R L/a	2,86

Fuente: Elaboración propia y Resolución 0799 de 2021

8.3. TRATAMIENTO PRIMARIO

8.3.1. Sedimentador de alta tasa

El objeto de este pretratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en el tanque de sedimentación.

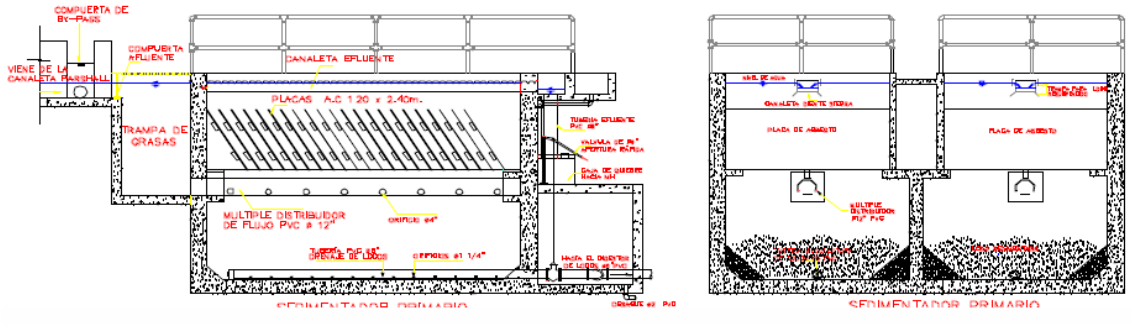


Ilustración 5. Configuración típica del sedimentador de alta tasa

Se realiza el análisis del sedimentador primario de acuerdo a los diseños y resultados presentados en el informe.

Tabla 12. Análisis de cumplimiento para parámetros de Sedimentador primario.

Parámetros sedimentador primario	Art 189 Res 0330 de 2017		
	Dato	Cumple	Observaciones
Tiene barrelodos	No	No cumple	Para caudales mayores a 6 L/s es necesario emplear sistema de barrelodos
Pendiente de fondo	15%	Al no tener barredora de lodos No cumple	Debe estar entre 45° y 65° Si no tiene barrelodos pendientes del 5% al 10% para sedimentadores circulares pendientes del 1% para rectangulares
Relación L/a	1,9:1	Cumple	1,5:1 a 15:1 - En tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 45 m.
Profundidad	3,00	No cumple	Entre 2,5 y 4 m
Tasas mínimas recomendadas	Caudal pico: 69,34 m^3/m^2-día	No cumple	Caudal medio: 30-50 m^3/m^2-día Caudal pico: 80-120 m^3/m^2-día
Tiempo de retención hidráulica	0,9 horas	No Cumple	1,5 y 2,5 horas

Fuente: Elaboración propia y Resolución 0330 de 2017

Por lo tanto, se realiza el planteamiento de un sedimentador primario para utilizando la misma distribución planteada.

Se proyecta la construcción de dos unidades que funcionen en paralelo, estas dos unidades funcionarán cada una con la mitad del caudal, es decir, **3.81 L/seg**.

Tabla 13. Parámetros iniciales para diseño de Sedimentador de tratamiento primario

DISEÑO SEDIMENTADOR DE ALTA TASA		
Q	9,14 lt/seg	,0091 m3/seg
Q DIS	4,57 lt/seg	,0046 m3/seg
TRENES DE TRATAMIENTO	2	
T°C	10, °C	
viscocidad cinematica	1,31E-06 m2/S	
1. Para sedimentadores primarios sin barrelodos las pendientes de fondo deberán estar entre 45° y 65°. Este tipo de sedimentadores se emplean hasta caudales de 6 L/s. 2. Para caudales mayores a 6 L/s será necesario emplear sistemas barrelodos auxiliares, para la concentración y extracción de los lodos, con pendiente de fondo entre 5 a 10% para sedimentadores circulares y 1% para sedimentadores rectangulares. 3. El tanque debe diseñarse para el caudal máximo horario esperado. En el caso de tanques rectangulares la relación longitud-ancho debe estar entre 1,5:1 y 15:1. En cuanto a tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 45 m. La profundidad debe estar entre 2,5 y 4m. 4. Debe escogerse la mayor de las áreas calculadas, de acuerdo con las siguientes tasas mínimas recomendadas de desbordamiento superficial: a. Para caudal medio utilizar entre 30-50 m^3/m^2día. b. Para caudal pico usar entre 80-120 m^3/m^2día. 5. El tiempo de retención hidráulica debe estar entre 1,5 y 2,5 horas. 6. Debe preverse la construcción de más de un sedimentador para caudales medios de diseño iguales o superiores a 100 L/s.		
CARGA SUPERFICIAL [CS]	Res. 0330 Art 189 (80-120)	90,00 m/d

DATOS DE MODULO DE SEDIMENTACIÓN TIPO COLMENA		
L	2,40 m	
l	1,20 m	
e	,01 m	
α	60 °	
Separacion (d)	,06 m	

Con el caudal y la carga superficial supuesta se calcula el área teórica que va a requerir el sedimentador. Según las especificaciones del módulo de sedimentación proponemos un ancho B y por ende al dividir el área entre el ancho obtenemos el largo, la profundidad del sedimentador de acuerdo con el artículo 189 de la Resolución 0330 del 2017 debe estar entre 2.5 m y 4m. al multiplicar estas medidas obtenemos el volumen del sedimentador.

Tabla 14. Cálculo de dimensiones de sedimentador

ZONA DE SEDIMENTACION			
CS=(Q/A)	*A=Q/CS*	A	4,39 m2
ASUMIDO		B	1,50 m

L=A/B	*1,5:1 - 15:1*	L	3,25 m
L Constructivo	*multiplo de 10 cm*	L	3,30 m
Relación L/B	*1,5:1 - 15:1*	R: L/B	2,4:1
A corregida	*Con medidas finales*	A	4,46 m2
Art 189 Res 0330 de 2017 [2,5 m- 4 m]		H	4,00 m
Volumen Sedimentador	V=A*L*B	Vol	11,14 m3

Fuente: Elaboración propia

Al tener el volumen y el caudal de diseño calculamos el tiempo de retención el cual nos da 1.05 horas este tiempo debe cumplir con los parámetros planteados en la resolución. 0330/2017, calculamos la velocidad del flujo del sedimentador y calculamos la velocidad critica de sedimentación. Es importante aclarar que, aunque el tiempo de retención hidráulico no cumple, al ser un esquema diferencial se debe mantener un tiempo de retención mucho menor para evitar el uso de barredoras y consumo eléctrico.

Con la velocidad del sedimentador, el espaciamiento del entre módulos y la viscosidad de agua calculamos el número de Reynolds y procedemos a recalcular la carga hidráulica y verificamos que cumpla con el resol. 0330/2017.

Tabla 15. Cálculo de parámetros de acuerdo al artículo 189 de la Resolución 0330 del 2017

DISEÑO SEDIMENTADOR DE ALTA TASA			
TASA DE SEDIMENTACIÓN CORREGIDA			
$T=V/Q$	(Potabilización del agua J. Romero)	Vs	88,67 m^3/m^2-día
TIEMPO DE RETENCION TANQUE			
$T=V/Q$	(Potabilización del agua J. Romero)	T	0,8 horas
VELOCIDAD			
$Vo=Q/(A*Sen\ \theta)$	(Potabilización del agua J. Romero)	Vo	102,39 m/d 0,07 m/MIn
LONGITUD RELATIVA DE SEDIMENTACION			
$L=I/d$		L	20,00
$L'=0.013\ Vo\ d/v$	(Potabilización del agua J. Romero)	L'	0,71
$L'<L \Rightarrow Lc=L-L'$	(Potabilización del agua J. Romero)	Lc	19,29
VELOCIDAD CRITICA DE ASENTAMIENTO			
$Vsc=Sc\ Vo/(Sen\ \theta + Lc\ Cos\ \theta)$	(Potabilización del agua J. Romero)	Vsc	9,74 m/d

FACTOR DE FORMA(S) Resolución 0799 del 2021	1,3	Vsc	12,66m/dia
NUMERO DE REYNOLDS RAS 2000 VERSIÓN 2010 NUMERO REYNOLDS			
$N_{RE}=V_o\ d/v$	(Potabilización del agua J. Romero)	NRE	54,36
T RETENCION EN LAS CELDAS			
$t=I/V_o$	(Potabilización del agua J. Romero)	t	16,88 Min

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se realiza el cálculo de la altura total de la unidad, de acuerdo con las especificaciones dispuestas en las resoluciones legales vigentes y de acuerdo con las necesidades hidráulicas presentadas en la estructura.

Tabla 16. Dimensiones de tolva

TOLVA	
H TOLVA	1,63 m
V TOLVA	2,38 m3
H LAMINA AGUA DESDE FONDO	4,13 m
BORDE LIBRE	,30 m
H TOTAL	4,43 m
PENDIENTE	14%
PENDIENTE	8,0°

Fuente: Elaboración propia

Para la canaleta debemos tener en cuenta que la lámina de agua dentro de la canaleta debe ser mayor a 8cm y un ancho de canal propuesto, calculamos la altura de la lámina de agua y le sumamos un borde libre el cual debe ser mayor a 10cm. Es importante tener en cuenta que la canaleta no puede ser de borde liso, esta debe ser perforada o dentada.

Tabla 17. Diseño Efluente de sedimentador.

CANALETA EFLUENTE				
Qc		,0046 m3/seg		
Ancho canal B		,100 m		
Lámina de agua Ha	$Ha = \left(\frac{Qc}{1.375 * B}\right)^{\frac{2}{3}}$	(Potabilización del agua J. Romero)	*Ha*	,10 m
Borde libre			*Bl*	,12 m
H canal	*Ht = Bl + Ha*		*Ht*	,20 m

Fuente: Elaboración propia

8.4. ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE VERTIMIENTOS MÁS DESFAVORABLES

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

Tabla 18. 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.
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

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)
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
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.
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.

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 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 – Santander.

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.

Aún 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:

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

$$\mathrm{WDBO_5} = 78.35\ kg/día$$

Art 53 Res 0799 de 2021	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)					
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos
Pretratamiento	Cribado o desbaste	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Desarenadores	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Trampas de grasas	N/A	N/A	N/A	N/A	85-95	N/A
Tratamiento primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	00-80
Tratamiento secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90
	Lagunas aireadas	90-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40
	Lodos activados	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90
	Filtros percoladores de alta tasa	65-90	55-70	60-85	N/A	N/A	80-90
Desinfección	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100%
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100%
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99%

Fuente: Artículo 53 de la Resolución 0799 del 2021.

Con esto, se logrará una reducción de carga llegando a los siguientes valores

- $DQO = 245 * 0.7 = 171.5\ \mathrm{mgO_2/L}$
- $DBO_5 = 119 * 0.7 = 83.3\ \mathrm{mgO_2/L}$
- $SST = 89 * 0.7 = 44.5\ \mathrm{mg\ SST/L}$
- $SSED = 2 * 0.7 = 0.5\ \mathrm{mg\ SSL/L}$
- $Grasas\ y\ aceites = 23 * 0.4 = 9.2\ \mathrm{mg\ AyG/L}$

De acuerdo con el artículo 6 de la Resolución 0631 del 2015 solo será necesario hacer el reporte de los valores de concentración en número más probable (NMP/100mL) de los coliformes termotolerantes presentes en los vertimientos de aguas residuales domésticas y no domésticas si la carga másica es mayor a 125 kg/día de DBO_5 el cual no se presenta en el centro poblado de Palermo en el municipio de Paipa, Boyacá

8.5. RECOMENDACIONES EN CASO DE INCREMENTOS EN PARÁMETROS

TRATAMIENTO SECUNDARIO

No se recomienda el uso de un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
Debido a las diversas condiciones necesarias para mantener su operación estable, el uso de un consorcio microbiano anaerobio depende de condiciones ambientales que pueden ser difíciles de controlar.

Reactor de Lodos Activados

- Se propone el uso de un reactor de lodos activados, que utiliza microorganismos aerobios.
- Las condiciones de operación son más fáciles de controlar, proporcionando una vida útil más prolongada para los microorganismos.
- Este sistema tiene una eficiencia de remoción del 80-95%.
- Se recomienda la instalación de un sistema de bombeo para inyección de aire y recirculación del consorcio microbiano.

TRATAMIENTO TERCIARIO

Sedimentador Secundario

- Se recomienda como complemento del reactor de lodos activados.
- Es necesario para la recirculación del consorcio microbiano.
- Para los requisitos específicos del sedimentador, referirse al Artículo 195 de la Resolución 0330.

8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El término “mantenimiento” es el oficio de conservar el equipo de las plantas y sus estructuras en condiciones apropiadas para llevar a cabo las operaciones a que están destinadas. Con un mantenimiento correcto se prevén las emergencias o desarreglo imprevisibles, por lo tanto, se deben tener en cuenta los factores de diseño, de construcción y de operación. Si un diseño es adecuado y el equipo se construye con el mejor material, la operación se efectuará con un mínimo de mantenimiento.

El mantenimiento se puede clasificar en mantenimiento preventivo y correctivo. El mantenimiento preventivo está constituido por los trabajos y precauciones necesarios para evitar desperfectos. El mantenimiento correctivo es aquel que realiza las reparaciones precisas una vez que el desperfecto se ha producido.

Para lograr un programa eficiente de mantenimiento, es conveniente que se observen las siguientes reglas:

- Conservar la planta perfectamente aseada y ordenada.
- Establecer un plan para la ejecución de las operaciones cotidianas.
- Hacer un programa de revisión rutinaria de inspección y lubricación de los equipos de operación.
- Llevar los datos y registros de cada una de las piezas de los equipos.
- Implementar medidas de seguridad.

El mantenimiento mecánico es de suma importancia, ya que el equipo debe estar en perfectas condiciones de operación, para que la planta se desarrolle en condiciones óptimas. Los fabricantes proporcionan información sobre el mantenimiento mecánico del equipo, siendo necesario que se lea y se comprenda perfectamente llevando al pie de la letra las instrucciones de cómo se ejecuta el mantenimiento, en caso de válvulas y otros elementos de carácter mecánico.

9. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ESTRUCTURAS DE PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO

Un hecho que frecuentemente ocurre en un programa de mantenimiento preventivo consiste en no registrar el trabajo que se está desarrollando, cuando esto sucede, el operador deja en su memoria de recordar cuando ejecutar cada función de mantenimiento preventivo. Pero a media que el tiempo pasa dicho programa se olvida por las operaciones cotidianas propias de la planta de tratamiento.

La única manera que un operador pueda conservar su programa de mantenimiento preventivo es por medio de registros. Cuando se ha seleccionado el sistema de

registro que se llevara a cabo, debe guardarse por fechas sobre una base diaria y no dejarlo a la memoria.

Las tarjetas registradoras del servicio del equipo son fáciles de organizar y requiere poco tiempo para su organización diaria.

El sistema diseñado para tratar las aguas residuales domésticas en el municipio de Palermo es de funcionamiento hidráulico, por lo cual a continuación se presentan las normas generales y específicas para la operación y mantenimiento de cada uno de los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales y que se complementa con el Anexo 1 - Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR.

9.1. Operación y mantenimiento del tratamiento preliminar

- El canal de aproximación requiere limpieza manual, generalmente se hará cuando las áreas depositadas llenen un 50% del área de almacenamiento, esto deberá vigilarse cuando menos cada diez días o según la experiencia que se tenga del canal.

Al canal se le debe proporcionar una vez al año, una revisión a las condiciones de la estructura y al estado de su recubrimiento.

- Las rejillas deben limpiarse de manera manual regularmente para prevenir el taponamiento del sistema. La limpieza de rejillas se debe hacer a medida que las barras recolectan basuras, impiden el paso del agua a través de las barras provocando un retroceso en las aguas residuales o canal de aguas negras. Este retroceso causa condiciones de reposo en esta zona, ocasionando la sedimentación de la materia orgánica, el oxígeno disuelto es agotado desarrollándose condiciones sépticas y produciendo sulfuro de hidrógeno el cual es sumamente corrosivo al metal, concreto, y a la pintura.

La remoción de la basura en la criba de barreras es efectuada con un rastrillo de dientes de tal manera que estas se ajusten entre las barras. La frecuencia de esta limpieza se recomienda que sea diaria o en algunos casos por turnos. Además las

barras y las partes metálicas que estén en contacto con el agua de desecho deben conservarse recubiertas con pintura anticorrosiva como pinturas de vinilo.

Es importante conservar estas unidades perfectamente lubricadas y ajustadas, por lo que se recomienda que el equipo este en continua observación. Es necesario, no descuidar el material protector de la cámara y de las rejas de cribado por lo que cada seis meses o al menos una vez al año se recubran con pintura anticorrosiva (recubrimientos asfálticos, hule clorado).

- Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza o desnatado debe hacerse mensualmente y máximo cuando se presente el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo, que para el caso será máximo de 20 centímetros. Los materiales producidos pueden extraerse manualmente por medio de coladores. La trampa de grasas debe cumplir las siguientes características:

1. Capacidad suficiente de acumulación de grasa entre cada operación de limpieza.
2. Condiciones de turbulencia mínima suficiente para permitir la flotación del material.
3. Dispositivos de entrada y salida convenientemente mantenidos para permitir una circulación normal del afluente y el efluente.
4. Debe evitarse el contacto con insectos, roedores, para lo cual se dispondrán tapas o cubiertas lo suficientemente amplias para un continuo y adecuado mantenimiento.

9.2. Operación y mantenimiento de redes de conexión de estructuras

En el caso de las tuberías de conexión de cada estructura de pretratamiento y tratamiento la frecuencia del taponamiento de una línea depende del tipo de material que circula por el tubo, del material de construcción del conducto, del tipo de bomba

o sistema usado para remover el material y de la ejecución del mantenimiento rutinario de la tubería.

A continuación, se indican las principales medidas de mantenimiento preventivo para reducir los problemas del bloqueamiento de las líneas de la planta de tratamiento.

- Tubería con natas o espumas

La nata y la espuma causarán más problemas en las líneas que cualquier otra sustancia bombeada en la planta de tratamiento de aguas. Los problemas son más frecuentes y severos en climas fríos cuando la grasa tiende a coagularse más rápido. El mantenimiento preventivo indica que:

- Se efectuará limpieza mensual de las líneas usando:

  - Varillas equipadas con unas tenazas o algún cortador

  - Unidades de limpieza mediante tubería a una presión hidráulica alta.

  - Limpieza por medio de vapor (si se requiere).

  - Reactivos químicos tales como hidróxidos fuertes (si se requiere).

Cuando la cabeza estática en una tubería aumenta, se debe limpiar y se realiza con un chorro de agua a presión introduciendo una manguera de un diámetro considerable por el conducto hasta que funcione normalmente.

9.3. Operación y mantenimiento del sedimentador de alta tasa

El objeto del tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. El uso de este tipo de operaciones es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un lodo cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo.

Estos sedimentadores consisten en tanques provistos de placas paralelas instaladas de forma inclinada para mejorar las características de sedimentación de los tanques. El flujo dentro del tanque sigue una trayectoria ascensional a través de las placas saliendo por la parte superior de las mismas. Los sólidos retenidos por las placas se mueven a contracorriente por acción de la fuerza de gravedad hasta depositarse en el fondo del tanque.

El sistema de placas paralelas logra una operación con eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) de 29%, de 41.46% de los sólidos suspendidos volátiles (SSV) y de 24.24% de la demanda química de oxígeno (DQO), lo cual se refleja en una disminución de la turbiedad del agua en el efluente y una mayor retención de materia orgánica por una mayor sedimentación.

Para constituir procesos de auto limpieza, los módulos de placas se inclinan un ángulo variable entre 45° y 60° con la horizontal, ya que si se sobrepasan los 60° se reduce la efectividad del proceso. Cuando la inclinación es inferior a los 45°, pueden producirse acumulaciones de lodos en las placas. Para controlar el crecimiento biológico y la presencia de olores, es necesario realizar una limpieza periódica a los módulos para eliminar los sedimentos acumulados, dicha limpieza suele llevarse a cabo con mangueras a presión o en su defecto un barrido con un cepillo de aseo es suficiente.

Al tanque sedimentador se le debe efectuar una limpieza manual, realizando las siguientes tareas:

- Medición periódica del lecho de lodo acumulado.
- Retiro y cepillada de las placas de fibra de vidrio
- Remoción de lodo
- Transporte del material removido hacia el sitio de disposición – lechos de secado.

Las áreas donde se manejen los lodos deben tener superficies impermeables y antideslizantes y drenajes adecuados. Se debe mantener limpio la caja de entrada y de salida del tanque sedimentador y efectuar el mantenimiento preventivo a las válvulas. El sedimentador no necesita mantenimiento adicional de importancia.

Para el mantenimiento se abre la válvula de evacuación de lodos, se dejan drenar hacia los lechos de secado. Los lodos extraídos del tanque sedimentador deben deshidratarse en lechos de secado para posteriormente ser utilizados como abono o dispuestos como desechos en el relleno sanitario o celda que el municipio utilice.

9.3.1. Operación y mantenimiento del filtro anaerobio

El tratamiento anaerobio es el proceso de degradación de la materia orgánica por la acción coordinada de microorganismos, en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes (SO=4, NO=3, etc.). Como subproducto de ella se obtiene un gas, denominado usualmente biogás, cuya composición básica es metano CH_4 y dióxido de carbono CO_2 en un 95%, pero con la presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, usualmente en proporciones inferiores al 1%.

Aunque la turbiedad y el color son removidos por la sedimentación y la aireación, algunos remanentes pueden estar pasando por lo cual se requiere la clarificación final usando la filtración a través de medios porosos. En la planta de tratamiento, la filtración remueve el material suspendido; medido en la práctica como turbiedad, compuestos floculentos, suelos, metales oxidados y microorganismos. Como conclusión se aclara que el propósito principal en la filtración anaeróbica es remover las trazas de turbiedad e impedir la interferencia de ésta con la desinfección.

Cuando se termine la construcción de la estructura del filtro y antes de colocar el material filtrante, debe llenarse el filtro con agua para verificar su estanqueidad. Si hay fugas deben taponarse y volver a probar hasta que esté en condiciones adecuadas de trabajo.

Como el filtro anaerobio tiene un volumen mayor de 10 m^3, debe hacerse la limpieza mediante una forma hidráulica o mecánica.

Como el sistema del sedimentador de alta tasa - filtro anaerobio dependen de la actividad biológica, se debe evitar que aquellas sustancias tóxicas que puedan dañar el sistema lleguen a él.

El período de limpieza del filtro debe coincidir con la limpieza del sedimentador de alta tasa. Se recomienda que, al realizar esta actividad, el filtro drene sus aguas hasta el lecho de secado de lodos, y luego se realice el retro lavado, si la localización lo permite, con una o dos cargas de agua limpia.

La compuerta que posee el FAFA es necesario recubrirla con alguna pintura apropiada (anticorrosiva), así como también se lubricarán las partes móviles de ésta.

9.3.2. Operación y mantenimiento del humedal artificial

El humedal artificial o biofiltro es un filtro biológico de grava o arena, sembrado con plantas de pantano y atravesado de forma horizontal con aguas residuales pre tratadas. Las bacterias responsables para la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera existe una población bastante estable que no puede ser arrastrada hacia la salida, como sucede en las lagunas de oxidación, donde hay gran cantidad de materia orgánica y algas en el efluente que puede causar una eutroficación en el cuerpo receptor.

El tratamiento biológico dentro de este lecho filtrante es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro hay microzonas sin y con oxígeno. Las aguas residuales crudas tienen una concentración de oxígeno disuelto entre 0.8 y 1.2 mg/l, y las aguas que pasaron por un pre-tratamiento anaeróbico son completamente libres de oxígeno.

Esto conlleva a la necesidad de agregar oxígeno al agua, con el fin de establecer una población de bacterias aerobias que no solamente puedan contribuir de esta manera a la descomposición de la materia orgánica, sino también a la nitrificación del nitrógeno amoniacal al nitrato. Este oxígeno se puede suministrar dentro del biofiltro a través de las raíces de plantas de pantano. Estas plantas poseen un sistema de rénkinas que permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, formándose alrededor de las raíces una población de bacterias aerobias.

Una vez instalado y operado adecuadamente, el biofiltro tiene una vida útil de más de veinte años, ya que es un ciclo de vida renovable, donde existe un equilibrio entre el crecimiento y muerte de las plantas y la reproducción de la masa bacteriana.

Lecho filtrante

El material de relleno de un humedal artificial juega un rol importante en la eficiencia del tratamiento y tiene que cumplir con diferentes exigencias como son: la alta superficie de contacto para las bacterias, capacidad adecuada de filtración, así como alta resistencia física y química contra el desgaste provocado por las aguas residuales.

La vegetación desempeña un papel integral en estos sistemas, ya que transfiere oxígeno a la parte inferior de los depósitos de tratamiento a través de rizomas y raíces, y proporciona un medio adecuado, situado por debajo de la superficie libre del agua, para el soporte y desarrollo de los microorganismos responsables de gran parte del tratamiento biológico. Las plantas de uso más común son los juncos, las espadañas y las aneas.

La característica más importante en la selección de plantas para los humedales, en relación con el diseño y eficiencias de tratamiento, es la profundidad de las raíces y rizomas. Las raíces y rizomas de los juncos penetran hasta una profundidad de aproximadamente 30 cm, mientras que las raíces de las aneas penetran hasta 60 cm y las de las espadañas lo hacen hasta más de 75 cm.

Eficiencia del Biofiltro

El tratamiento biológico en un biofiltro es conocido como un tratamiento de alta eficiencia en términos de remoción de materia orgánica. Aun operando el sistema con una alta carga superficial diaria de 95 l/m^2, se logra en el efluente tratado una DBO por debajo de 10 mg/l y una DQO de 25 – 30 mg/l.

Un biofiltro es capaz de remover una cantidad considerable de nitrógeno orgánico por medio de las plantas de pantano y por bacterias que no requieren oxígeno. Se espera en un biofiltro con película bacteriana y plantas bien desarrolladas, una eficiencia de remoción de hasta 40%. Con respecto al fósforo, las dos maneras de lograr una buena remoción son a través de una fijación del mismo en el lecho filtrante, sobre todo cuando este tiene considerable contenido de hierro, como en el caso de las piedras volcánicas y a través de la incorporación del fósforo en las plantas.

En cuanto a la remoción bacteriana se ha podido lograr una remoción de coliformes totales y fecales de dos a tres unidades logarítmicas, obteniéndose una calidad del efluente de 104 NMP/100ml de coliformes fecales.

Para mantener la eficiencia de remoción de nutrientes es recomendable cosechar las plantas cada dos o tres meses, porque plantas en estado de crecimiento consumen mucho más nitrógeno y fósforo que plantas adultas.

Operación y mantenimiento del humedal artificial

La operación es muy importante si quieren obtenerse buenos resultados. Por tanto, debe contarse con un plan de operación y mantenimiento que debe escribirse durante la etapa de diseño final del sistema. La operación y mantenimiento debe enfocarse a los factores más importantes para el rendimiento del tratamiento:

- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Hay que asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios, manteniendo un crecimiento vigoroso de vegetación.
- Deben verificarse el humedal para ver que no se esté desarrollando flujo en la superficie.
- Deben inspeccionarse diques, vertederos, y estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben verificarse después de subidas importantes de caudal o después de la formación de hielo, ya que pueden afectar el substrato, particularmente a las estructuras de salida. Cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos.
- El manejo del nivel del agua es la clave para el éxito de la vegetación. Mientras las plantas del humedal pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo.
- La profundidad del agua puede aumentarse durante los meses fríos aumentando así el tiempo de retención.
- La cubierta vegetal en los diques debe mantenerse para desarrollar una capa de tierra buena con sistemas de raíz extensos que resisten a la erosión.
- La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras. Los herbicidas no deben usarse excepto en

circunstancias extremas, y sólo entonces y con cuidado extremo, dado que pueden dañar severamente la vegetación emergente.

- Los mosquitos son comunes en los humedales naturales y pueden esperarse en humedales artificiales. La mejor manera de evitar problemas con mosquitos en los humedales artificiales es crear condiciones en el humedal que no sean atractivas a los mosquitos o que no conduzcan al desarrollo de larvas. Lugares abiertos con agua estancada son un excelente hábitat para los mosquitos, y los nutrientes del agua estancada, son ideales para el desarrollo larvas. Cuando el agua está en movimiento subsuperficial, se minimiza el riesgo de desarrollo de mosquitos.

El control de mosquitos con insecticidas, aceites, y agentes bacterianos como Bti (Bacillus thuringiensis israelensis) es a menudo difícil en humedales artificiales. El uso de insecticidas en humedales artificiales con cantidades grandes de materia orgánica es ineficaz porque la materia orgánica los adsorbe y porque se diluyen rápidamente o son degradados por el agua que viaja a través del humedal. Los tratamientos químicos deben usarse con cautela porque se corre el riesgo de contaminar el humedal y el cauce receptor.

- Se debe efectuar periódicamente control de roedores.

Todo el proceso del biofiltro requiere de una serie de sencillos mantenimientos periódicos para garantizar su efectividad y durabilidad. Estos son:

- Remover diariamente los sólidos gruesos acumulados en la rejilla.
- Remover cada 15 días la nata flotante en la trampa de grasas.
- Sacar una vez por semana el material inorgánico sedimentado en el sedimentador.
- Remover los flóculos en el canal de alimentación una vez por semana.
- Remover los sedimentos del fondo del filtro una vez al año.

- Cosechar las plantas de pantano cada tres meses.
- Limpiar la superficie de los lechos filtrantes después del corte para evitar la acumulación de materia orgánica.
- Mantener el nivel del agua unos 10 cm por debajo del lecho filtrante.

El control necesita medir si el humedal está obteniendo los objetivos y para indicar su integridad biológica. Esta supervisión permite identificar los problemas tempranos, cuando la intervención es más eficaz. Las fotografías pueden ser inestimables documentando estas condiciones. Deben tomarse fotografías cada determinado tiempo en las mismas condiciones, localizaciones y con el mismo ángulo de visión.

El nivel de detalle del control dependerá del tamaño y la complejidad del sistema de humedales y puede cambiar cuando el sistema madura y se conoce mejor su comportamiento. Los sistemas ligeramente cargados que han estado operados satisfactoriamente sólo necesitarían ser verificados una vez al mes y después de cada tormenta importante. Aquellos que están muy cargados requerirán una supervisión más frecuente y detallada.

Un plan de control escrito es esencial para la continuidad del sistema a largo plazo.

- Control del rendimiento del sistema

El rendimiento del humedal es normalmente evaluado para determinar:

• Carga hidráulica

• Volúmenes de entrada y de salida

• Variación de la calidad del agua entre la entrada y la salida

La efectividad en la remoción de contaminantes puede determinarse mediante la diferencia entre la carga a la entrada (volumen de entrada x concentración del contaminante) y la de salida (volumen de la descarga x concentración del

contaminante). Los parámetros de interés pueden ser: DBO, Nitrógeno, Fósforo, Sólidos suspendidos totales, metales pesados, bacterias (totales o coliformes fecales)

Si el agua residual pudiera contener contaminantes tóxicos, como pesticidas o metales pesados, deben analizarse los sedimentos una o dos veces al año para supervisar el aumento potencial de estos contaminantes en los sedimentos del humedal.

El efluente debe analizarse durante las tormentas importantes para asegurar que están reteniéndose los sedimentos en el humedal. El agua subterránea también debe supervisarse una vez o dos veces al año para asegurar que el humedal no la está contaminando.

- Control de la salud del humedal

Los humedales deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Debe supervisarse la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia. Para humedales que no reciben cargas altas, la supervisión de la vegetación no se necesita que sea cuantitativa. Normalmente bastará con observaciones cualitativas. Los sistemas grandes y aquellos que están muy cargados requerirán ser supervisados más frecuente, y de forma cuantitativa. En general, esta supervisión debe ser más frecuente durante los primeros cinco años después de la instalación del sistema.

La composición de las especies y densidad de las plantas se determina fácilmente, inspeccionando parcelas cuadradas, normalmente de 1 m x 1 m, dentro del humedal. Los cambios a tener en cuenta incluyen un aumento en el número de especies no deseadas o agresivas, una disminución en la densidad de la capa vegetativa, o señales de enfermedad en las plantas.

La vegetación del humedal construido está sujeta a cambios graduales de año en año, así como en los humedales naturales. Puede haber tendencia a que algunas especies mueran y sean reemplazadas por otras. Dado que los cambios vegetativos son a menudo lentos, no son obvios a corto plazo y, por tanto, es esencial mantener buenos registros.

El aumento de los sedimentos acumulados, así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la profundidad de está en el humedal y posiblemente alterando los caminos de flujo. Los sedimentos, la capa de residuos, y la profundidad del agua deben verificarse de vez en cuando.

9.3.3. Operación y mantenimiento de los lechos de secado

- Los lodos retirados del sistema de tratamiento deben dejarse en el bache de los lechos de secado de 3 a 5 días, y luego se deben pasar a otro bache.

- Se recomienda colocar una hilera de tolete común o adoquín encima del filtro de gravas y arenas de los lechos de secado, para agilizar el secado y evitar la contaminación del material filtrante.

- Se debe tapar el tanque de los lechos de secado, dejando un espacio de mínimo 20 cm para que entre el aire cuando el lodo esté cuarteado.

- Los lodos no pueden ser utilizados inmediatamente como abono, pero para ello se puede mezclar convenientemente con otros residuos orgánicos como hierba cortada, basura, etc., y solo se deben usar en cultivos cuyos productos no se ingieran crudos.

- Se recomienda agregar un kilogramo de alumbre por cada 800 a 2500 L. de lodo para aumentar el desprendimiento de gases, o una capa de cal apagada sobre los lodos.

- Debe tenerse en cuenta la humedad de los lodos que se apliquen, la superficie del lecho disponible, así como la necesidad de espacio para almacenamiento en los digestores. Una capa delgada se seca más rápidamente, y permite la más rápida remoción del lodo.

- La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente.

- Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos. Una vez descargados los lodos, las tuberías de lodos deben escurrirse bien y hacer circular agua por ellas. Esto no solo evita el taponamiento de las tuberías, sino también el desarrollo de grandes presiones originadas por los gases emanados de los lodos que queden dentro. Por este motivo, debe evitarse encender fósforos, cigarrillos o cualquier fuego, cuando se abran las válvulas de lodos.

9.4. MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se debe disponer en la planta de los elementos mínimos para las labores de limpieza y mantenimiento de las instalaciones. En el manejo integral de la planta se dotará de los siguientes materiales para realización del mantenimiento:

- Rastrillo para limpieza de material acumulado en la rejilla
- Baldes aforados
- Pica, barra, azadón, machete y pala
- Máquina cortadora de césped
- Martillo, grapas y alambre para mantenimiento de cercas
- Botiquín de primeros auxilios
- Grasas y aceites para lubricación de válvulas y compuertas respectivamente
- Combustible y aceite para la máquina cortadora de césped
- Libro de notas
- Equipo para seguridad industrial y personal (guantes, casco, botas, peto, extinguidor)

También se recomienda tener un volumen de alcalinizante para cuando se requiere hacer control de olores en el filtro anaerobio.

10. SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

10.1. ADMINISTRACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La gestión administrativa de una planta de tratamiento de aguas residuales implica lograr el desarrollo de todas las acciones, prácticas y decisiones que la lleven hacia el logro de sus objetivos, tratando de llegar a la mejor alternativa posible para el normal y exitoso funcionamiento, utilizando los recursos a través de la aplicación de las técnicas más adecuadas.

Las actividades que se desarrollan comúnmente se agrupan en:

a. Proceso de Control

b. Proceso de mantenimiento

c. Proceso de recurso humano e infraestructura

d. Procesamiento

e. Proceso de evaluación

10.2. Proceso de Control

Estas actividades son orientadas a medir el caudal, concentración y características del afluente y efluente; la cantidad y calidad de lodo activo y seco y la disposición adecuada de lodos. Los controles se realizan mediante monitoreos diarios, semanales, quincenales, mensuales y/o semestrales.

Los parámetros comúnmente medidos para análisis de calidad del agua según el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud y según el RAS 2000, se clasifican en físicos, químicos y bacteriológicos, los que indican la variación de la calidad del agua residual.

Físicas: Temperatura, turbidez, la gama de sólidos (totales en suspensión, disueltos, sedimentables, fijos y volátiles), olor, color, material retirado y producido.

Químicas: DBO, DQO, formas de nitrógeno (orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos), fósforo, grasas y aceites, metales, pH, alcalinidad y oxígeno disuelto (OD).

Biológicas: Número y tipo de microorganismos, generalmente coliformes, fecales y totales.

La relación mencionada es válida en términos generales, pero algunas determinaciones no serán necesarias de efectuar en una planta de tratamiento de aguas residuales de menor cobertura (Resolución 631 de 2015 Artículo 8), aunque en otras se realizan con fines específicos en función del tipo o proceso de unidades de tratamiento. Estas determinaciones analíticas serán útiles no sólo para la evaluación de la eficiencia de las Plantas de Tratamiento, sino necesarias para el control y operación.

10.2.1. Proceso de mantenimiento

Incluye todas aquellas obras requeridas no sólo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, sino que además incluye el aseo y presentación de la planta. Generalmente para las actividades que se desarrollan, debe existir un manual de operación donde contemple revisión, extracción, cambio, control, desmontaje, limpieza y reporte de cada unidad del sistema. El proceso de mantenimiento lo componen dos divisiones:

a. Mantenimiento de unidades de tratamiento

Limpieza de rejillas, rebosaderos, canales, sedimentadores, lechos de secado, retiro de vegetación acuática y terrestre cercana a las unidades de tratamiento y control, insectos y roedores.

b. Actividad Silvicultural

Mantenimiento de barreras vivas, cercas, mantenimiento de taludes, vías de acceso, césped y jardines.

10.2.2. Proceso de recurso humano e infraestructura

Este proceso está conformado por dos componentes:

- Recurso Humano
- Infraestructura
- **Recurso Humano**

El personal necesario para realizar un control adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales depende fundamentalmente de la capacidad instalada y del número de unidades que componen el sistema.

No existe una regla absoluta para cuantificar el número de operarios necesarios para el buen funcionamiento de una PTAR, el dimensionamiento del personal de seguridad de la planta de tratamiento de aguas residuales está supeditado a la extensión de ésta, como a los equipos instalados en ella.

Para el caso específico en la planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Palermo es necesario contar con UN OPERARIO para la planta.

Funciones del personal requerido: Operario o Ayudante

Se requiere de mínimo un operario para realizar las labores de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual. El operario debe efectuar las labores de limpieza a las unidades de tratamiento, vertederos, dispositivos de alimentación y realizar el control de los procesos de tratamiento, para ello debe estar capacitado en técnicas mínimas de medición de parámetros de calidad de aguas residuales, cuidado del paisajismo y estructuras locativas de todas las áreas de los tratamientos. Por lo tanto, debe ofrecerse una capacitación básica según los criterios que se detallan:

- Visión general de los parámetros que se deben analizar.
- Capacitación para la toma de muestras específicas según parámetros.

- Ensayo en la matriz correspondiente, siguiendo las instrucciones de manejo para cada parámetro del procedimiento (ejecución y manejo propio).
- Indicación de los peligros que encierra el uso de productos químicos, haciendo referencia al empleo del equipo de protección personal (por ejemplo, anteojos y guantes de protección) y a los primeros auxilios.
- Evacuación de los desechos y las aguas residuales.

Deben practicarse los análisis, mediciones y lecturas prescritos por la legislación correspondiente. Esto rige también para el resto de las mediciones y análisis oficialmente prescritos. De igual forma debe procederse con los parámetros utilizados para vigilar la planta y es necesario llevar una planilla de registro de los procedimientos realizados en la planta.

Al comenzar las labores debe efectuarse primero un recorrido de control por toda la planta, para constatar el estado de las instalaciones de tratamiento y de los equipos de medición y de regulación. En caso de que se trabaje por turnos, cada cambio de turno en el respectivo lugar de trabajo debe realizarse ordenadamente. Parte de ese cambio ordenado es informar sobre todas las irregularidades que se hayan presentado.

La organización de la planta de tratamiento dependerá de cómo se defina su operación, ya que ésta puede depender de la unidad de servicios públicos o reportar directamente al municipio. Sin embargo, en el Anexo 2 – Funciones Operador PTAR, se presentan las responsabilidades y funciones del operador de la planta, las cuales deberán ajustarse una vez se tenga certeza sobre la organización final de la PTAR.

- **Infraestructura**

Para el componente de infraestructura se limitará a las estructuras de tratamiento, una caseta para herramientas y el cerramiento de la PTAR. Cada estructura debe cumplir con las normas establecidas de seguridad industrial.

10.2.3. Procesamiento

Con el fin de almacenar y procesar la información arrojada por las actividades de control, mantenimiento, recursos humanos, e infraestructura y poder dar una información diaria o en el momento requerido, este proceso lo componen cuatro divisiones:

a. Información diaria

Contempla la instauración de manuales de campo y formatos de control de resultados diarios.

b. Información de resultados

La información dirigida por los manuales de campo y los resultados de los formatos se presentan cada 15 días.

c. Informes técnicos mensuales

Se prepara un informe mensual de las actividades que se hayan realizado durante ese período. Se detallarán todas las medidas, acciones y resultados de las labores de operación y mantenimiento de la planta, los problemas encontrados y soluciones acordadas, igualmente se incluyen en este informe las operaciones y análisis sobre el funcionamiento de la planta, eficiencias encontradas, cumplimiento de las normas de calidad del efluente y consideraciones sobre cambios en la red de alcantarillado como conexiones industriales.

d. Informe anual de operación

El informe anual contiene todos los trabajos que el municipio haya realizado, determinando los criterios y políticas trazadas en éstos. Se incluye un análisis estadístico de todos los resultados obtenidos en el programa de monitoreo, estableciendo las variaciones de cada parámetro de desviación estándar, correlación de caudal versus calidad, etc.

10.2.4. Proceso de evaluación

La evaluación es la valoración del desempeño del comportamiento del trabajo efectivo realizado por una planta de tratamiento de aguas residuales. El objetivo de la evaluación es definir los métodos utilizados para evaluar el desempeño de la planta de tratamiento y las unidades que la componen, incluye también el campo de aplicación de los métodos utilizados, orientar los métodos en función del tamaño de la estación o las unidades estudiadas, al igual que las causas más probables de un mal funcionamiento y posibles medidas correctivas. Las modalidades de evaluación en sistemas de tratamiento de aguas residuales más comúnmente definidas son:

a. Evaluación de rutina

El propósito de esta evaluación es realizar un número determinado de mediciones y análisis que permitan un control y manejo adecuado de los procesos de tratamiento de la planta. La interpretación de estos datos se realiza normalmente a través de correlaciones empíricas.

b. Evaluaciones intensivas para la determinación de constantes de modelos.

Las evaluaciones intensivas en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas son ejecutadas con propósitos más específicos que las evaluaciones de rutina.

En el estudio intensivo de la planta de tratamiento las variables dependientes comúnmente estudiadas son: eficiencia promocional (DBO, DQO, bacterias,

nematodos, protozoarios, nutrientes), cinéticas de reducción, producción de biomasa, factores que gobiernan el submodelo hidráulico, etc.

10.3. PLAN DE CONTINGENCIA

Un filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA es un biorreactor anaerobio que posee un material de relleno inerte (piedra o plástico); sobre el material de relleno crece una población bacteriana que degrada la DBO soluble del afluente, dando como resultado un efluente clarificado con una menor carga orgánica.

Sus principales ventajas son su fácil operación y mantenimiento, consumo energético nulo, no requiere personal especializado para su mantenimiento y presenta una eficacia de remoción de 60% a 80%.

A pesar del gran auge de este tipo de biorreactores, se debe tener cuidado cuando se presenten problemas que afecten su funcionamiento, tales como:

- Inundación
- Eficacia de eliminación de la DBO soluble baja
- Condiciones ambientales desfavorables (pH y temperatura).

El plan de contingencia atiende estos aspectos:

Para contrarrestar la inundación se debe implementar de manera inmediata el procedimiento de limpieza del filtro anaerobio, ya que la inundación se presenta debido a la colmatación del material de relleno con materia orgánica y presencia de cuerpos ajenos al medio de tratamiento.

Para cuando se requiere hacer control de olores en el sedimentador de alta tasa o el filtro anaerobio se debe aplicar alcalinizantes.

Para evaluar y mejorar el rendimiento de eliminación de materia orgánica, se debe implementar la metodología que se describe en el Anexo 3 - Folleto No. 455 de la

Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia que trata sobre la evaluación del funcionamiento bioquímico de un FAFA.

Teniendo en cuenta que esta PTAR no usa energía eléctrica, no se presentan recomendaciones para fallas en el funcionamiento a causa de cortes de energía.