

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TECNICA DEL TRATAMIENTO
DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE MELGAR –
TOLIMA**

FREDY SANTIAGO RUIZ URREGO

ESTUDIANTE DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Girardot, Colombia

Año 2024

RESUMEN

En este trabajo de investigación se describe la situación actual que presenta a la fecha el municipio de Melgar (Tolima), referente a las aguas residuales domésticas y así mismo se presenta un estudio de prefactibilidad del tratamiento de las aguas residuales. Para este estudio de prefactibilidad se tomó como base la documentación de estudios previos realizados dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) y demás estudios maestros con los que cuenta la Alcaldía de Melgar, además de realizar comparaciones con la normatividad vigente en Colombia y complementar con una breve revisión bibliográfica para respaldar la evaluación técnica de los procesos de tratamiento.

Con el fin de evaluar la prefactibilidad técnica se tendrá en cuenta los siguientes aspectos, evaluación técnica de los procesos a plantear para la selección del proceso que mejor pueda dar respuesta a la caracterización del agua y a las condiciones específicas de Melgar, evaluación de riesgos que permitirá hacer un análisis general de los diferentes aspectos económicos, sociales y ambientales mediante una matriz de impactos ambientales, teniendo en cuenta el manejo actual de los vertimientos municipales en Melgar, donde las descargas se realizan directamente a los cuerpos hídricos.

El trabajo de investigación presenta propuestas del proceso de tratamiento a implementar y su respectiva evaluación técnica, dichas propuestas se comparan con la propuesta de tratamiento que se presenta dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del municipio de Melgar, Tolima del 2022. Además, se plantea una posible localización del sistema de tratamiento de aguas en el municipio de Melgar.

PALABRAS CLAVES: Aguas residuales, prefactibilidad, puntos de vertimientos, alcantarillado, colectores.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
TABLA DE CONTENIDO	3
INTRODUCCIÓN	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	13
MARCO REFERENCIAL	14
Marco teórico	14
1. Actualidad de las aguas residuales	14
1.1. Actualidad de las aguas residuales en América Latina.	14
1.2. Actualidad de las aguas residuales en Colombia.	14
1.3. Actualidad de las aguas residuales en la Región Andina.	14
1.4. Actualidad de las aguas residuales en Melgar.	15
1.5. Situación hídrica en Melgar	15
2. Caracterización del agua residual	18
2.1. Agua residual domestica	18
2.2. Cuantificación de caudales en emisores y en colectores	18
2.3. Caracterización del agua residual del municipio de Melgar	19
3. Ubicación y localización para la prestación de Servicios Públicos Domiciliarios	21

4. Identificación de alternativa de tratamiento de agua para el municipio.	26
5. Definiciones procesos de tratamiento agua residual	28
5.1 Cribado (rejillas gruesas y finas)	28
5.2 Canaleta Parshall	29
5.3. Tanque de igualación	29
5.4. Trampa de grasas	29
5.5. Tanque aireado (Lodos activados)	30
5.6. Reactor UASB	31
5.7. Sedimentador	31
6. Definiciones procesos de tratamiento de lodos	32
6.1. Espesador	32
6.2. Digestor Aerobio	33
6.3. Lecho de Secado	33
6.4. Aprovechamiento tipo B	33
6.5. Comparación y sostenibilidad reactor UASB y Lodos activados	34
7. Cálculos	35
7.1. La carga contaminante	35
7.2. Tasa retributiva	35
Marco Legal	36

DISEÑO METODOLÓGICO	37
Fase I	37
Fase II	37
Fase III	37
Fase IV	38
RESULTADOS OBTENIDOS	39
Fase I	39
Fase II	39
Fase III	41
Fase IV	42
Calculo carga orgánica y tasa retributiva	42
Evaluación técnica de procesos	45
Línea tratamiento de lodos	50
CONCLUSIONES	55
Fase I	55
Fase II	56
Fase III	56
Fase IV	56
RECOMENDACIONES	59

BIBLIOGRAFIA	60
APENDICES	65

INTRODUCCIÓN

Durante el periodo de pasantía se buscó realizar un estudio de prefactibilidad técnica para el tratamiento de las aguas residuales domesticas del municipio de Melgar (Tolima), con el fin de analizar los posibles riesgos que tiene el municipio al no contar con una planta de tratamiento que trate las aguas residuales que se generan día a día, también permitirá conocer el estado actual del municipio y de esa misma manera presentar los beneficios que traería consigo una Planta de Tratamiento de Agua Residual Domestica PTARD al municipio, Melgar ya que en la actualidad cuenta con puntos de vertimiento directos de las aguas residuales domesticas siendo el Río Sumapaz como la fuente receptora de dicha contaminación.

De acuerdo a lo anterior se busca analizar la prefactibilidad por medio de una evaluación técnica de los posibles tratamientos que se podrían implementar en una futura PTAR, además de incluir una evaluación de riesgos ambientales a través de una matriz de impactos, según el PSMV Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos Melgar planea en un corto plazo aumentar sus redes de alcantarillado a nivel urbano y de sus centros poblados, a mediano plazo se espera que el municipio empiece con la eliminación de puntos de vertimientos a través de la construcción del colector Sumapaz tramo que llevará la futura PTARD y por último a largo plazo buscan el tratamiento de las aguas residuales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“Las descargas municipales dominan el panorama de la contaminación de las aguas superficiales en Colombia y constituyen la principal causa de contaminación de sus recursos hídricos superficiales. Sus efectos no solo se relacionan con los daños en la calidad del agua, sino que a su vez afectan en distinta proporción todos los usos legítimos del agua representando una seria amenaza para la salud humana. La contaminación dificulta y encarece los tratamientos para rehabilitar aguas residuales, lo cual impone retos técnico-económicos para mejorar la calidad de los efluentes” (Ramírez Escobar, 2002).

Es por esto que los vertimientos de las aguas residuales impactan negativamente a las comunidades provocando graves problemas de salud pública, ocasionando enfermedades infecciosas según la Organización Mundial de la Salud “El agua contaminada y el saneamiento deficiente contribuyen a la transmisión de enfermedades como el cólera, otras enfermedades diarreicas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis”. El deterioro de la calidad de vida se ve involucrado debido a malos olores y contaminación visual. Añadido a lo anterior, se le suma que, afecta a la economía local al perjudicar la agricultura, pesca y turismo, aparte de esto, se generan altos costos en salud e infraestructura siendo las comunidades más vulnerables las que sufren mayores consecuencias, aumentando la desigualdad social y el estrés en los residentes.

La problemática actual hace que por falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales el municipio realice la descarga directa del agua residual a las quebradas locales y al río Sumapaz, lo que provoca graves problemas ambientales, ya que, estos vertimientos contaminan el agua con

sustancias que afectan la vida acuática y reducen la biodiversidad, generando impactos en flora y fauna acuática provocando la muerte de peces y otros organismos acuáticos, impacto de malos olores, desplazamiento de aves debido que no contarían con recursos adecuados para subsistir, impacto paisajístico. Además, esta contaminación afecta la calidad del agua, volviéndola peligrosa y no apta para el consumo humano dificultando así su uso en actividades como la agricultura y la recreación, lo que a su vez impacta negativamente el entorno natural y la salud de las comunidades.

Actualmente el municipio de Melgar Tolima no cuenta con un sistema de tratamiento que depure las aguas residuales del casco urbano, según la revisión de los documentos del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), el municipio cuenta actualmente con un sistema de 5 colectores de agua residuales domésticas, los cuales son: colector la Longaniza, colector la Melgara, colector la Chicha, colector la Madroñala que a su vez es el mismo que el vertimiento madre vieja y el colector Galán, los cuales se encargan de transportar las aguas residuales domésticas del municipio y arrojarlas directamente sin un previo tratamiento en los puntos finales de cada colector.

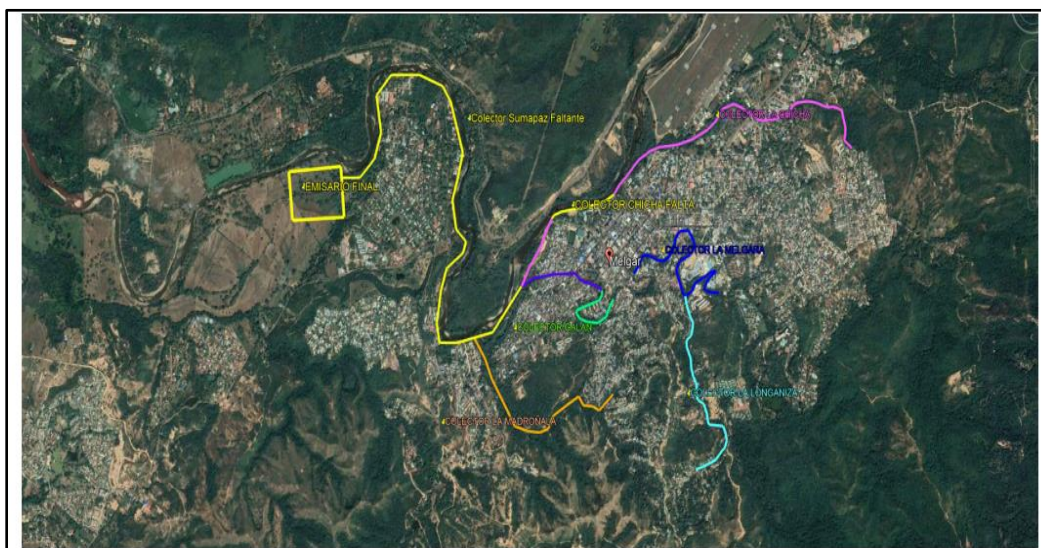




Figura 1. Localización de los colectores. Empumelgar e.s.p.

De acuerdo con la información de Empumelgar se procedió a realizar la siguiente tabla en donde se encuentran las imágenes que evidencian los puntos finales de los colectores y el caudal de agua residual vertida por cada uno, siendo estos los puntos de vertimiento directos de las aguas residuales del municipio, los vertimientos que tienen como fuente receptora quebradas tienen en común que luego estas desembocan en el río Sumapaz siendo este la fuente receptora de las aguas residuales del municipio.

Tabla 1. *Puntos de vertimientos.* Empumelgar e.s.p.

<p>Imagen Colector La Madroñala: Fuente receptora Quebrada La Madroñala. Caudal: 15.73 lts/seg</p>	<p>Imagen Colector La Melgara: Fuente receptora río Sumapaz. Caudal: 37.24 lts/seg</p>
	
<p>Imagen Colector La Chicha: Fuente receptora río Sumapaz Caudal: 26.22 lts/seg</p>	<p>Imagen Colector Galán: Fuente receptora quebrada la Melgara Caudal: 10.49 lts/seg</p>



Añadido al problema actual se le suma que en la parte sur oriental de la cabecera municipal de Melgar, exactamente en el barrio conocido como La Laguna, se presenta un crecimiento poblacional acelerado y muchas de las viviendas que se construyen sobre este sector son de invasión, por lo que la mayoría de las personas no realizan las conexiones de las aguas residuales al colector la longaniza el cual pasa por ese sector, si no que por el contrario arrojan las aguas residuales domesticas de manera directa a la quebrada La Longaniza. "Argumentan que los crecimientos mal planeados, por lo general, causan problemas ambientales, como agotamiento y contaminación de los recursos agua, aire y suelo por el vertimiento y manejo inadecuado de los residuos líquidos y sólidos generados" Troschinetz y Mihelcic (2009)

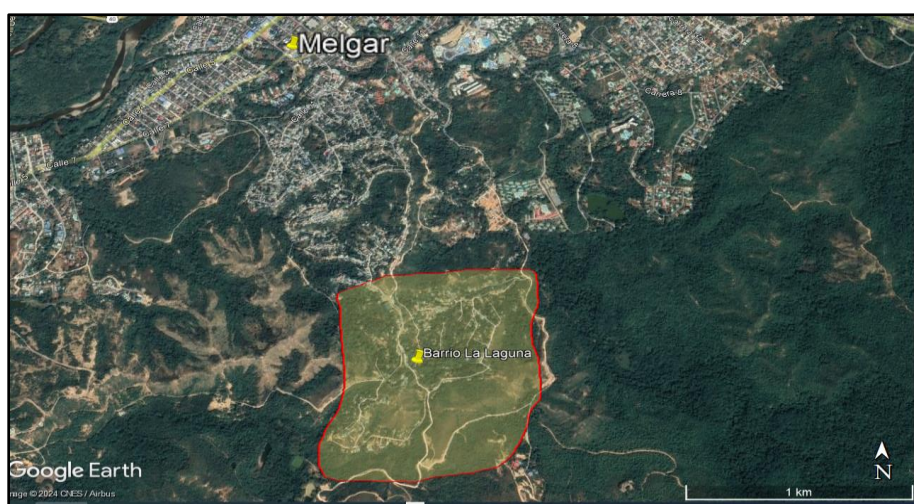


Figura 2. *Ubicación barrio Laguna. Construido desde Google Earth.*

JUSTIFICACIÓN

La realización de este trabajo de investigación de la prefactibilidad técnica del tratamiento de aguas residuales es importante ya que se puede asegurar una gestión ambientalmente responsable y económicamente. Al implementar un tratamiento adecuado, se reduciría la contaminación de cuerpos de agua y suelos, protegiendo ecosistemas y evitando la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, lo que mejoraría la calidad de vida y disminuiría los costos médicos en las comunidades cercanas, lo que permite a su vez resaltar la importancia y los beneficios que tiene para el medio ambiente y el desarrollo de las comunidades las plantas de tratamiento de aguas residuales.

OBJETIVOS

General

Estudiar la prefactibilidad técnica de la construcción de una planta de tratamiento como sistema de manejo de las aguas residuales de Melgar.

ESPECÍFICOS

1. Estimar y evaluar los impactos ambientales que genera la descarga de vertimientos municipales.
2. Determinar la localización del sistema de tratamiento de aguas en el municipio de Melgar.
3. Evaluación técnica de los procesos que se plantean implementar para la construcción de la PTAR de Melgar.

MARCO REFERENCIAL

Marco teórico

1. Actualidad de las aguas residuales

1.1. Actualidad de las aguas residuales en América Latina.

“Actualmente más del 70% de las aguas residuales que se generan en la región son devueltas al medio natural (ríos, mares o tierras) sin ningún tratamiento. Esto impacta negativamente en la salud pública, la preservación de los recursos naturales, el medio ambiente y el sector productivo, siendo las poblaciones vulnerables con peor calidad de servicios, las que se llevan la peor parte”. (Banco De Desarrollo De América Latina Y El Caribe, 2016).

1.2. Actualidad de las aguas residuales en Colombia.

“Una de los puntos clave del Plan de Desarrollo es la actualización de la política de gestión de los recursos hídricos. Si queremos ser sostenibles debemos apuntar a los proyectos estratégicos en el tratamiento de aguas residuales. Colombia hoy solo trata de manera adecuada el 60,4% de sus aguas residuales, lo que genera un impacto ambiental muy grande y un desafío en la sostenibilidad” (Departamento Nacional de Planeación 2023).

1.3. Actualidad de las aguas residuales en la Región Andina.

“En términos de capacidad, la región Andina abarca la mayor cantidad de caudal de agua residual tratada (9,07 m³/s), que resulta insuficiente al considerar que el 56 % de la población colombiana habita en esta región, lo que a su vez representa un caudal tratado per cápita de 0,82 m³/mes; entre tanto, la región Pacífica muestra un escenario más alentador, con un caudal tratado de 6,74 m³/s y 2,58 m³/mes de agua residual tratada por habitante”. (Según Bustos Murillo, F.A. et al. 2023).

1.4. Actualidad de las aguas residuales en Melgar.

Con el fin de reducir y mitigar dicha problemática Melgar en su Plan Maestro de Alcantarillado del 2003, presento un sistema de tratamiento que tratara sus aguas residuales domésticas y dar una solución a la problemática, de manera general el sistema de tratamiento estaría constituido por un tratamiento preliminar, filtros percoladores, tratamiento de lodos, clarificadores, dos lechos de secado y una caseta de desinfección.

Sin embargo, las esperanzas de la construcción de dicho sistema hoy en día son muy pocas, ya que, de acuerdo con el PSMV en el enunciado 5.2 (Proyección de carga contaminante) en donde se menciona que se plantearon inversiones para el saneamiento de los vertimientos en el casco urbano y los centros poblados, pero no se podría cumplir con los objetivos establecidos para el quinquenio 2019-2023 en cuanto a la reducción de cargas contaminantes y puntos de vertimiento, esto debido a que en ese momento, no se contaba con los recursos ni la financiación necesaria para llevar a cabo las inversiones en plantas de tratamiento.

1.5. Situación hídrica en Melgar

El municipio de Melgar, se encuentra ubicado en el departamento del Tolima, este municipio ha experimentado un crecimiento poblacional y turístico significativo en los últimos años según el DANE con su última actualización se registra una población total de 38.156 personas para el año 2024. La gestión de las aguas residuales en Melgar enfrenta desafíos importantes, ya que, debido a la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales altera y afecta el ecosistema lo que ha llevado a la contaminación de ríos y cuerpos de agua locales.

La economía del municipio se desarrolla en la agricultura, la ganadería y el turismo siendo esta una de las actividades económicas más importantes del municipio, esto por su número de piscinas, según la gobernación del Tolima Melgar cuenta con más de 5.000 piscinas por lo que se convierte en un atractivo para los turistas y por la cual es reconocido como el mar de las piscinas, según el medio de comunicación alerta Tolima Melgar recibe anualmente un aproximado de más de 100.000 turistas, este aumento en la población y en las actividades comerciales y recreativas ha generado una influencia considerable sobre los recursos naturales de la región, en particular sobre las fuentes hídricas.

Mapa de ubicación Melgar - Tolima

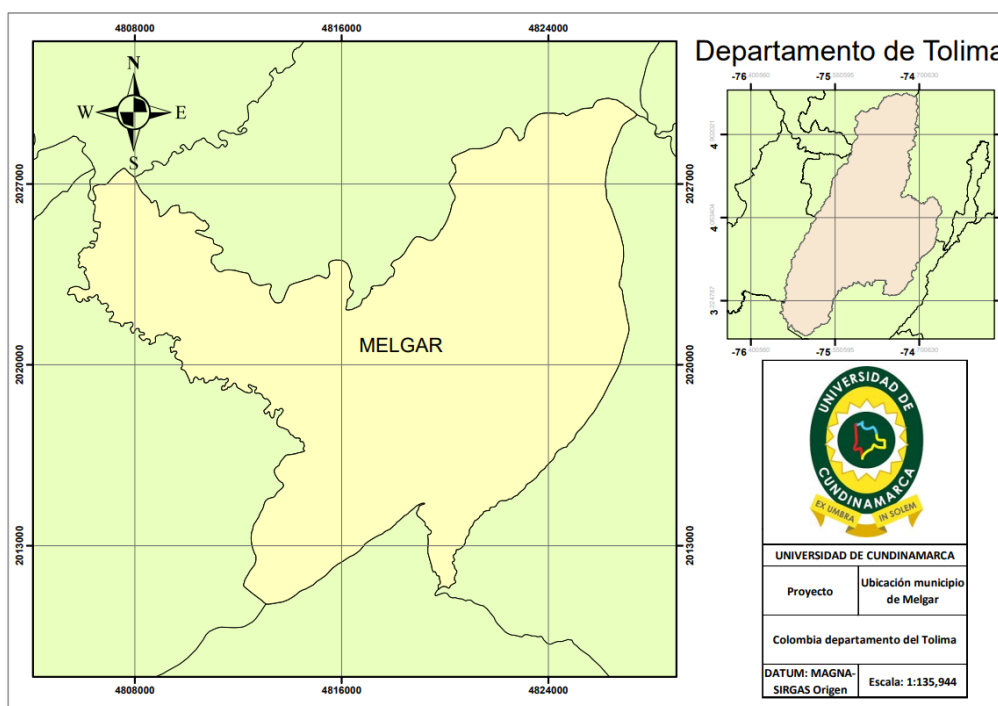


Figura 3. Ubicación Melgar Tolima. Construido desde ArcGIS.

Mapa hidrico municipio de Melgar - Tolima

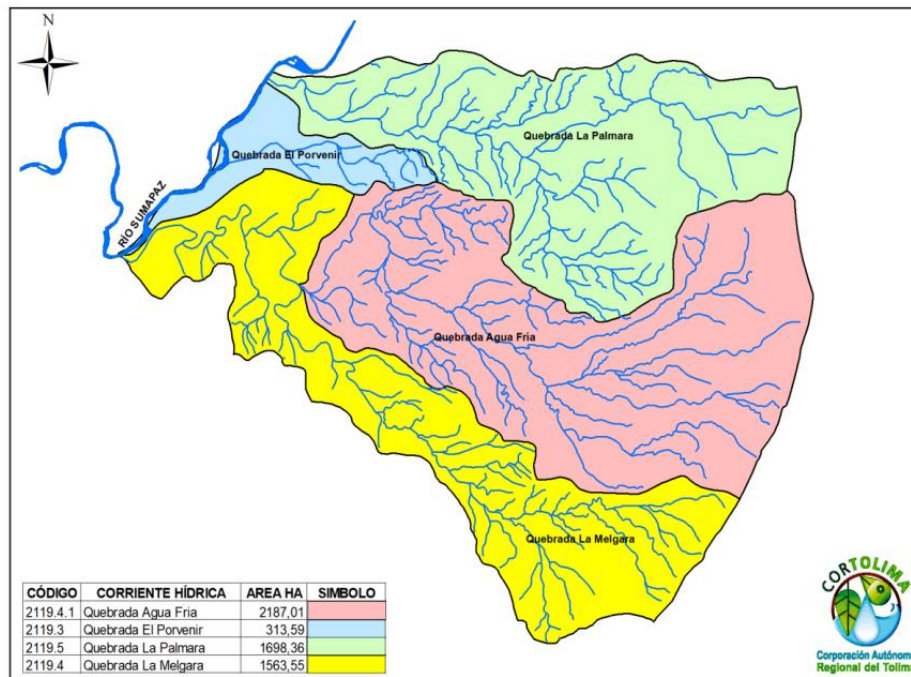


Figura 4. Quebrada La Palmara y sus afluentes, Agua Fría, La Melgara y El Porvenir. CORTOLIMA 2019.

En la figura 4, se muestra las corrientes hídricas del municipio de Melgar, como se puede observar en la imagen las fuentes hídricas discurre en sentido occidental hacia el río Sumapaz en la tabla 2 se muestra los caudales de las fuentes hídricas urbanas., “la quebrada la melgara es la mayor quebrada del municipio de Melgar debido a su caudal y utilización, la quebrada recorre una distancia de 15 Km aproximadamente y posee un caudal mínimo de 16,44 Lts/seg” (CORTOLIMA 2019). La quebrada en su tramo final pasa en medio del casco urbano del municipio siendo afectada por las descargas de los vertimientos de los colectores que transportan el agua residual.

Tabla 2. Datos Fuentes Hídricas Urbano (Tomado de Red Meteorológica 2022

Río Sumapaz)

Nombre	Subzona Hidrográfica	Caudal (L/s)
Rio Sumapaz	Rio Sumapaz	64658.75
Quebrada La Melgara	Rio Sumapaz	210.5
Quebrada La Madroñala	Rio Sumapaz	39.25

2. Caracterización del agua residual

2.1. Agua residual domestica

Las aguas residuales domésticas hacen parte del conjunto de aguas residuales, de acuerdo con la resolución 631 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible la define como aquellas procedente de los hogares y de las instalaciones sanitarias, áreas de aseo personal, cocina y lavado, es decir, las que no presentan un origen industrial o comercial (Minambiente 2015).

Las aguas residuales domésticas contienen material suspendido y disuelto, éstos son orgánicos e inorgánicos, que de acuerdo con el tipo de constituyente se suele clasificar en: convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos), no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.). (Eddy & Metcalf, 2003).

2.2. Cuantificación de caudales en emisores y en colectores

Con el fin de tener el conocimiento de los caudales de los vertimientos se realizó la siguiente tabla con información del PSMV.

Tabla 3. *Cuantificación de caudales en emisores y en colectores.*

Vertimientos	Fuente receptora	Caudal
La Madroñala	Quebrada la Madroñala	15,73 L/s
La Melgara	Rio Sumapaz	37,24 L/s
La Chicha	Rio Sumapaz	26,22 L/s
EL Galán	Quebrada la Melgara	10,49 L/s.

2.3. Caracterización del agua residual del municipio de Melgar

De acuerdo con el informe del PSMV 2023 - 2024 las caracterizaciones que se presentan fueron realizadas por los laboratorios CORCUENCAS Y CIAN los cuales están acreditados ante el IDEAM. Las tablas muestran una comparación con la ley 0631 del 2015 exactamente en el capítulo V donde se encuentran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas las cuales se presentan en las tablas 4,5,6 y 7, en dichas tablas se encuentra en color rojo aquellos valores que sobrepasan el límite expresado por la normativa.

Tabla 4. *Punto de vertimiento Quebrada la Chicha.*

Punto de vertimiento Quebrada la Chicha		
Fecha de muestreo: 30 de junio de 2023		
Tipo de muestra: Compuesta		
Caudal: 26,22 L/s		
Parámetros	Valores Caracterización del agua	Valores máximos permisibles Ley 0631
Temperatura (°C)	27,9	40
Ph	7,65	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (mg/L O₂)	395	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L O₂)	136	90
Solidos Suspendidos Totales(mg/L)	164	90
Grasas y Aceites	77,4	20

Tabla 5. Punto de vertimiento Quebrada la Melgara.

Punto de vertimiento Quebrada la Melgara		
Fecha de muestreo: 30 de junio de 2023		
Tipo de muestra: compuesta		
Caudal: 37,24 L/s		
Parámetros	Valores Caracterización del agua	Valores máximos permisibles Ley 0631
Temperatura (°C)	29,1	40
pH	7,65	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno mg/L O ₂	293	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L O ₂	155	90
Sólidos Suspendidos Totales(mg/L)	157	90
Grasas y Aceites	77,4	20

Tabla 6. Punto de vertimiento Colector Galán.

Punto de vertimiento Colector Galán		
Fecha de muestreo: 30 de junio de 2023		
Tipo de muestra: Compuesta		
Caudal: 10,49 L/s.		
Parámetros	Valores Caracterización del agua	Valores máximos permisibles Ley 0631
Temperatura (°C)	28,6	40
pH	7,66	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno mg/L O ₂	293	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L O ₂	155	90
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	157	90
Grasas y Aceites	57,6	20

Tabla 7. Punto de vertimiento la Madre vieja.

Punto de vertimiento la Madre vieja		
Fecha de muestreo: 30 de junio de 2023		
Tipo de muestra: Compuesta		
Caudal: 15,73 L/s		
Parámetros	Valores Caracterización del agua	Valores máximos permisibles Ley 0631
Temperatura (°C)	28,6	40
pH	7,66	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno mg/L O₂	363	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L O₂	218	90
Solidos Suspendidos Totales (mg/L)	198	90
Grasas y Aceites	84,6	20

3. Ubicación y localización para la prestación de Servicios Públicos Domiciliarios

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de Melgar en el acuerdo 001 del 2016, nos dice:

Artículo 160.- De los criterios para la ubicación de elementos para la prestación de Servicios Públicos Domiciliarios. La localización de los elementos que permitan la adecuada prestación de los Servicios Públicos Domiciliarios se proyectará y realizará con el propósito de garantizar su adecuada provisión y la seguridad de los habitantes conforme a los siguientes parámetros:

a. Los elementos de los Sistemas de Servicios Públicos Domiciliarios deberán ubicarse en las zonas o sitios donde causen menor congestión e impacto sobre otras infraestructuras, el ambiente, el espacio público y la salud humana.

b. Las condiciones técnicas específicas para la ubicación y estandarización de la infraestructura de Servicios Públicos Domiciliarios de cada uno de los sectores (RETIE, RAS entre otros), será de obligatorio cumplimiento.

c. Las estructuras de Servicios Públicos Domiciliarios que se construyan con posterioridad a la expedición de este Plan Básico de Ordenamiento Territorial y que corresponden a las descritas en la Tabla que a continuación se presenta, cumplirán con los siguientes aislamientos mínimos:

Tabla 8. *Aislamientos Para Estructuras De Servicios Públicos Domiciliarios.* Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) de Melgar en el acuerdo 001 del 2016, Artículo 160.

Aislamientos Para Estructuras De Servicios Públicos Domiciliarios		
Estructura	Aislamiento (m)	
	Urbano	Rural
Bocatomas de acueducto *	30	20
Tubería o canal de aducción (**)	7.5	5
Plantas de tratamiento de agua potable	50	15
Tanques de almacenamiento de agua potable	30	10
Pozos para abastecimiento de agua	20	
Estaciones de bombeo de agua potable	30	15
Canales de aguas lluvias	20	
Estaciones de bombeo de aguas lluvias *	30	15
Estaciones de bombeo de aguas residuales *	50	15
Sistemas colectivos de tratamiento de aguas residuales	Variable dependiendo del sistema propuesto	
PTAR municipal, diseñada por tecnología de filtro percolador (Aeróbica). Cortolima.		75

(*) Se entenderá como urbana la infraestructura que sirve al perímetro urbano.

(**) El aislamiento se especifica a partir del borde externo del canal o tubería. En las demás infraestructuras se medirá a partir del borde externo de la infraestructura en cuestión.

Los anteriores aislamientos se establecen sin perjuicio de las obligaciones más restrictivas impuestas en los actos administrativos la Autoridad Ambiental competente (CORTOLIMA) o de las estipuladas en el Reglamento Técnico del Sector del Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), en la Normas Técnicas Colombianas (NTC), y el Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas (RETIE) y aquellas que los adicionen, modifiquen o sustituyan.

a) Sólo se permitirá la ocupación de las áreas de aislamientos de las estructuras de Servicios Públicos Domiciliarios con elementos que minimicen los impactos negativos generados por la actividad de la estructura, o en su defecto, permanecerán libres de ocupación y tendrán un tratamiento acorde con sus fines, destinándolas a zonas verdes perimetrales, cuya adquisición y mantenimiento estará a cargo de la empresa propietaria de la estructura.

b) Se permitirá la ubicación de elementos del sistemas de abastecimiento de agua potable en los proyectos urbanos ubicados en zonas con tratamiento urbanístico de desarrollo, así como en operaciones de renovación urbana mayores a una (1) Hectárea, las redes de Servicios Públicos Domiciliarios se ubicarán obligatoriamente en el subsuelo, sin causar congestiones, obstaculizaciones o superposiciones indebidas, de forma tal que se garantice el acceso a todos los operadores servicios públicos domiciliarios de dicha infraestructura. La ejecución de las obras correspondientes a redes matrices estará a cargo de las empresas prestadoras del servicio público de energía, la ejecución de las obras correspondientes a cargas locales estará a cargo de los urbanizadores. En las zonas donde se hayan ejecutado proyectos de subterranización de redes para

los servicios de energía, no se permitirá la instalación de nuevas redes aéreas. Se exceptúan de esta obligatoriedad las redes eléctricas de media y alta tensión, las cuales podrán ser aéreas.

En la actualidad el municipio no cuenta con estudios técnicos pertinentes de localización de los sistemas de tratamiento y el instrumento de planificación territorial PBOT Plan Básico de Ordenamiento Territorial y el Plan Maestro de Alcantarillado está desactualizado, sin embargo en el PSMV del municipio de Melgar (2022) se realizó una evaluación técnica de alternativas teniendo en cuenta factores disponibilidad de uso de la infraestructura existente, disponibilidad de áreas y terrenos para la ubicación de infraestructura, eficiencia en la implementación, esto con el fin de tener una prealternativa de localización la cual es la siguiente:



Figura 4. *Alternativa localización PTAR. PSMV del municipio de Melgar.*

En el PSMV para la posible alternativa para la localización de la PTAR se tuvieron en cuenta diferentes aspectos como técnicos, financieros, legales, sociales, ambientales y riesgos, en donde definieron que la mejor alternativa para la ubicación de la PTAR sería el de la figura 3, exactamente en la vereda Bombote.

Dentro del PMAA de Melgar, se presenta el presupuesto de la alternativa de la planta de tratamiento, presentando costos de lo que costaría en esa época la construcción de la propuesta, los costos se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Costo total Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD). Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado (PMAA 2003).

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR
SISTEMA DE TRATAMIENTO PRELIMINAR	1	703.585.500,00
FILTROS PERCOLADORES	1	1.612.597.500,00
TRATAMIENTO DE LODOS	1	457.137.000,00
CLARIFICADORES	1	873.071.097,13
ASPECTOS GENERALES	1	1.143.203.498,00
TOTAL		4.789.594.595,13

4. Identificación de alternativa de tratamiento de agua para el municipio.

Gracias a la documentación proporcionada por Empumelgar se logró identificar que, en el Plan Maestro de Alcantarillado de Melgar, 2003, evaluaron tres alternativas de tratamiento de agua residual que se adaptaran a las condiciones del municipio en ese entonces, para evaluar las alternativas se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- El sitio y condiciones de ubicación de la Planta de Tratamiento.
- Un sistema o sistemas fáciles de operar.
- Económicamente viable.
- Características generales de la zona.
- Eficiencia del sistema.

Los tres sistemas presentados fueron Lodos Activados, Filtro Percolador y Reactor UASB, dichos sistemas se entregaron con cálculos específicos de los aspectos nombrados anteriormente, después del análisis técnico que realizaron donde se tuvo en cuenta el sistema más económico de las tres alternativas, de acuerdo a la consultoría recomendaron el Filtro Percolador Tabla 10, esto debido a su bajo costo y principalmente su baja producción de olores.

Filtro percolador

La resolución 0799 de 2021 define esta tecnología como un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles.

La revista mexicana de ingeniería química realizó una evaluación en cuanto a la eficiencia de un filtro percolador el cual tiene como función remover (DQO) de una descarga sanitaria real,

se evidencia el éxito del funcionamiento del mismo, independientemente de la variabilidad que se pueda presentar en flujo y calidad del agua residual, por ellos los filtros percoladores han demostrado ser eficientes en la remoción de DQO, en donde además reducen los niveles de nitrógeno amoniacal.

Segun Sanchez (2013) dice que en las investigaciones referentes a los filtros percoladores se han encontrado que tienen una eficiencia de remoción de entre el 60% al 90% teniendo cargas orgánicas que oscilan entre 0.6 y 3.2 kg DBO/ m3d.

En el PSMV la alternativa seleccionada es la siguiente:

Tabla 10. *Alternativa de tratamiento PSMV del Municipio de Melgar y Resolución 0799 de 2021 articulo 184.*

Alternativa de tratamiento según el PSMV del Municipio de Melgar	
Tecnología	Sedimentador primario Filtro percolador de alta tasa plástico
Descripción	Filtro percolador de alta tasa plástico Es un sistema de tratamiento de agua aerobio que utiliza cultivos fijos no sumergidos. Este filtro está constituido por piezas de material plástico de alta superficie específica donde se desarrolla y adhiere un cultivo bacteriano llamado biopelícula. El agua residual pretratada o decantada es rociada sobre el filtro, entrando en contacto con las bacterias que degradan la contaminación.

Porcentaje de remoción Sedimentador primario	DBO5: 30 % DQO: 30 % SST: 50 %
Porcentaje de remoción Filtro percolador de alta tasa plástico	DBO5: 75 % DQO: 60 % SST: 65 %
Formula remoción de los tratamientos	% Remoción = $1 - ((1 - TP) * (1 - TS))$ TP = % Remoción tratamiento primario TS = % Remoción tratamiento secundario
Remoción tratamiento primario y secundario	DBO5: 75.5 % DQO: 72 % SST: 80 %

5. Definiciones procesos de tratamiento agua residual

5.1 Cribado (rejillas gruesas y finas)

Sierra Mesa, J y Sepulveda Mancipe, B. (2017). Definen que la función del “cribado es retener sólidos gruesos que floten o que se encuentren suspendidos en el agua, como papel, trapos, frascos, trozos de madera, cáscaras de frutas, latas, tapones de botellas, productos de higiene femenina, cepillos, cadáveres de animales y otros objetos que usualmente son transportados por la red de alcantarillado, con el fin de proteger el sistema contra obstrucciones en los equipos de bombeo, tuberías, válvulas y dispositivos de aireación.” Mendonca, Sérgio Rolim; Qasim, (1999). Menciona que “los criterios de Diseño para rejilla gruesa y fina son de espacios entre barras para rejilla gruesa son de 40 mm y de 10 mm para rejilla fina”

5.2 Canaleta Parshall

En este proceso se busca realizar la medición del caudal ya que se logra obtener la medición del caudal a través de regletas graduadas, las cuales están justo en el interior exactamente las paredes dichas regletas permiten la medición del caudal.

“Su funcionamiento está basado en la asunción de que el flujo crítico se produce estrechando la anchura de la garganta de la canaleta y levantando la base; este efecto obliga al agua a elevarse o remansarse, proceso que debido a la aceleración del flujo permite establecer una relación matemática entre la elevación del agua y el gasto”. (Rey Vargas, et, al. 2020).

5.3. Tanque de igualación

“Los tanques de igualación a pesar de no ser muy utilizados son de gran utilidad ya que pueden ser utilizados para mantener fijo el caudal sin la necesidad de aforadores. El caudal es uno de los factores que presentan inconvenientes en el momento de construirse, por tal motivo la realización de un tanque de igualación es fundamental para superar y así generar efluentes constantes, sabiendo que esta reduce el tamaño y los costos en las unidades tratamiento ubicada aguas abajo” (Ocasiones, J., & Sarmiento, C. C. 2014).

5.4. Trampa de grasas

“La trampa de grasas o interceptor de grasas es un receptáculo ubicado entre las líneas de desagüe de la fuente o punto generador del residuo líquido y las alcantarillas” (HidroPlayas, 2016). Las trampas de grasas impiden que ingrese la grasas y aceites a los procesos de tratamiento ya que estos tienden a flotar lo que impide la remoción de estos.

“El agua entra en la primera cámara, todo el material flotante como las grasas, ascienden en el segundo compartimento de la cámara ya que son más livianas (menos densas) que el agua, mientras que el material más pesado se asienta como lodo en el fondo de la trampa de grasa. Por último, en el tercer compartimento de la cámara, el agua clarificada sin grasa sale como efluente” (Ingeniería y Servicios Ambientales, 2016).

Las trampas de grasas se utilizan para “prevenir problemas de obstrucción, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas” (Unión Temporal Acuambiental 2008).

5.5. Tanque aireado (Lodos activados)

Según la resolución 0799 de 2021 los lodos activados corresponden a los “procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado”.

“Los lodos activados como tratamientos biológicos para la depuración de aguas residuales han probado ser eficientes ya que la acción de los microorganismos presentes en el agua es la de metabolizar la materia orgánica hasta transformarla en materia suspendida en tejido celular nuevo y diferentes gases” (Guerra, Cabrera, & Salazar, 2018).

5.6. Reactor UASB

Dentro de los sistemas anaerobios, “los reactores UASB (Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente) y sus variaciones, han sido los de mayor aplicabilidad en el tratamiento de agua residual doméstica, con eficiencia de remoción de materia orgánica razonablemente buena y a un costo relativamente bajo. En América Latina y otros países de clima tropical y templado, donde ocurre implementación creciente de la tecnología anaerobia, la adopción del reactor anaerobio seguido de un reactor aerobio para postratamiento, se constituye en una alternativa atractiva en lo que se refiere a los aspectos económicos y ambientales”. (Torres, P. 2001).

“Las características compactas y la facilidad de operación de sistemas basados en tecnología anaeróbica de reactores UASB tienden a favorecer la opción de sistemas pequeños descentralizados en lugar de las grandes plantas de tratamiento. Además, los costos de construcción, instalación y funcionamiento son más atractivos en comparación a otro tipo de tecnologías”. (Gandarillas, V. et al.2017)

5.7. Sedimentador

“Un sedimentador es una tecnología que está diseñada para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. También se le llama decantador, tanque de asentamiento o tanque de sedimentación. La baja velocidad del flujo en un sedimentador permite que las partículas sedimentables se hundan, mientras los componentes que pesan menos que el agua flotan hacia la superficie” (TILLEY et al. 2018).

Radiación UV

Una de las ventajas de la radiación UV comparada con la cloración es que no presenta impactos adversos a los ecosistemas y a la salud pública por el contrario la cloración “A concentraciones altas es irritante, las cloraminas que genera tienen el olor típico de albercas y pueden ser irritantes, en reacción con la materia orgánica dejan subproductos organoclorados como los trihalometanos que pueden representar un riesgo a la salud y pueden dañar la flora y fauna en contacto con el agua tratada” AguasResiduales.info. (s. f.).

“Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, esta destruye la habilidad de reproducción de la célula. La desinfección con luz ultravioleta radiación UV, generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción”. (Environmental Protection Agency 1999).

6. Definiciones procesos de tratamiento de lodos

6.1. Espesador

La función de un espesador consiste en “producir un flujo constante de un lodo de mayor densidad en su parte inferior para recircularlo hacia el reactor biológico”. Contreras Barrera, J. I. (2010).

“Este mecanismo se utiliza para la mezcla y homogeneización de fangos de distintos orígenes, de accionamiento central mediante cabeza de mando o de accionamiento central con motorreductor”. Gonzales Choque, S. E. (2016).

6.2. Digestor Aerobio

El digestor Aerobio es muy importante para el tratamiento de lodos, ya que, “juega un papel fundamental la estabilización del lodo, para evitar la formación de malos olores y destinar el lodo para usos posteriores, de aquí juega un papel fundamental la digestión donde precisamente se lleva a cabo la reducción de las características que hacen ser al lodo un residuo generador de malos olores por descomposición y por consiguiente donde disminuye exponencialmente el riesgo ambiental”. Herrera, L. (2010).

6.3. Lecho de Secado

“La estabilización por deshidratación en lecho de secado es un proceso natural donde el lodo se coloca en compartimientos rectangulares de poca profundidad con fondos porosos, lo cual permite junto con la incidencia de la luz solar y el viento, la deshidratación y desinfección del lodo. Las ventajas de este método con respecto a los demás, es el bajo nivel de inversión, simplicidad operacional, limitado consumo de energía y la no adición de productos químicos”. (Pompeo et al., 2016).

6.4. Aprovechamiento tipo B

“Con el tratamiento de las aguas residuales urbanas, se evita que dicha carga contaminante llegue a las corrientes hídricas, lo cual es posible realizando un proceso de suspensión de sólidos y su posterior recuperación en forma de lodos. Éstos, luego de ser tratados y estabilizados, pueden ser aprovechados para usos alternativos, como fertilizantes o acondicionadores de suelos, configurándose así un ciclo de economía circular con los beneficios derivados en términos de optimización de recursos, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y disminución en la contaminación de los cuerpos de agua, entre otros” (Decreto 1287 de 2024).

Con el fin de generar un aprovechamiento de los lodos generados de los tratamientos de la PTAR se buscaría un aprovechamiento tipo B, ya que, “el lodo deshidratado (biosólido tipo B) sería adecuado como fertilizante orgánico en campos agrícolas destinados al cultivo de pastos”. (Solano Ramírez, V et al., 2023).

6.5. Comparación y sostenibilidad reactor UASB y Lodos activados

“El sistema anaerobio es mucho más compacto que el aerobio equivalente para remover la misma carga orgánica. En el caso considerado el reactor UASB ocupa 25 m² frente a los 530 m² de lo que sería la opción equivalente de lodos activados necesaria para remover la misma carga orgánica, o sea es apenas un 5% de esta última. Incluyendo el pulimento final, la superficie ocupada por ambas opciones es 158 y 667 m² respectivamente.” (López, I et al., 2020)

“Con respecto a la generación de lodo se reporta la cantidad de lodo total producido en ambas opciones. La purga del reactor UASB representa unos 18 ton SST anuales, aproximadamente unos 2 m³ de lodo espesado por semana. El pulimento final aerobio agrega otros 26 ton de SST anuales. De haber instalado un sistema exclusivamente aerobio en su lugar se hubieran generado unos 110 ton de SST al año. O sea que la opción anaerobia-aerobia genera el 40% de los sólidos de la opción tradicional. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que en la opción aerobia todo el lodo generado debe estabilizarse mientras que en la opción anaerobia-aerobia el lodo proveniente del reactor UASB está estabilizado y espesa con gran facilidad en un simple lecho de secado. En total la opción anaerobia-aerobia tendría un costo de disposición final de unos U\$S 11000, y la puramente aerobia un costo de unos U\$S 27000”. (López, I et al., 2020)

7. Cálculos

7.1. La carga contaminante

Se calcula con la fórmula que se encuentra en el decreto 2667 del 2012 donde la carga contaminante $Cc = Q \times C \times 0.0036 \times t$

Cc = Carga Contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q = Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (l/s)

C = Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en mili-gramos por litro (mg/l)

0.0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t = Tiempo de vertimiento del usuario, en horas por día (h)

7.2. Tasa retributiva

Para calcular la tasa retributiva, se tomó en cuenta el factor regional 1 (Fr) tarifa mínima para DBO5 205,17 \$/kg (Tm) y tarifa mínima para SST 87,73 \$/kg que se encuentra reportado en el recibo de la tasa retributiva que paga el municipio, para calcular la tarifa de tasa retributiva se utilizó los cálculos del decreto 2667 del 2012 donde la tarifa de la tasa retributiva (Ttr) se obtiene multiplicando la tarifa mínima (Tm) por el factor regional (Fr), así, $Ttr = Tm \times Fr$. Y para el monto a cobrar se tuvo en cuenta (Mp) = $Ttr * \text{Carga contaminante}$.

Marco Legal

A continuación, se mencionan el marco legal que se tuvo en cuenta para el trabajo de investigación con el fin de realizar comparaciones y tener en cuenta de eficiencias de los tratamientos.

Tabla 11. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable, Saneamiento Básico y el reglamento de la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua.*

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Normatividad del reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS.	
Resolución 0330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2023 de 2009
Resolución 0799 de 2021	Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017
Documento compilatorio resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021.	Documento Compilatorio Resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021.
Decreto 2676 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.

DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico se compone de 4 fases las cuales son las siguientes:

Fase I

Se realizó un análisis detallado de la información con la que cuenta la Empresa de Servicios públicos Domiciliarios de Melgar (EMPUMELGAR), con el fin de conocer lo que actualmente está sucediendo con los vertimientos de agua residual y conocer los impactos ambientales, sociales y económicos, dicha información se presenta en el marco referencial.

Fase II

Con el fin de determinar una posible localización del sistema de tratamiento de aguas residuales, se realizó un oficio con el asunto de solicitud del mapa catastral del municipio a la oficina de catastro o la secretaría de planeación municipal de la alcaldía del municipio de Melgar Tolima, sin embargo, no se obtuvo respuesta ante el oficio radicado. Sin embargo para dar solución a esta fase se obtuvo información del PBOT Plan Básico de Ordenamiento Territorial y del PSMV del municipio, teniendo en cuenta varios factores a tener en cuenta, tales como la geografía, la disponibilidad de terrenos adecuados, la infraestructura existente y las regulaciones locales.

Fase III

A través del informe anual del PSMV 2023 – 2024 se realizó una recopilación de información, para obtener datos sobre las características de las aguas residuales municipales de Melgar, comparándolas con la resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Fase IV

Se realizó, los cálculos de cargas orgánicas y tasa retributiva con la caracterización del agua específica de Melgar, utilizando los cálculos del Decreto 2667 de 2012, los cuales se encuentran en el apartado 7.2 del presente documento, para la selección de las tecnologías de tratamiento evaluadas se tuvo en cuenta las alternativas presentadas dentro del PSMV de Melgar en donde se presentan los siguientes procesos como alternativas para el tratamiento biológico (Filtro Percolador, Lodos Activados y Reactor UASB).

Luego se realizó una investigación de los procesos a implementar en la PTAR haciendo una evaluación técnica y un balance de cargas, para la realización de los balances de carga que se presentan se realizó un promedio de los valores de la caracterización que se encuentra en el marco referencial, para la obtención de los datos de los balances se multiplico la caracterización del afluente por el porcentaje de remoción que tenían cada proceso dividido el 100% lo que arrojo el valor de remoción de cada proceso y luego el resultado obtenido se restó con el valor de la caracterización del afluente, lo que arrojo el valor de la caracterización final de cada proceso.

Posteriormente se realizó el análisis de riesgos involucrando la evaluación de impactos, en donde se evaluará el impacto potencial y analizará las posibles consecuencias de cada riesgo teniendo en cuenta los siguientes aspectos ambiental, económico y social y determinar aspectos positivos que traería consigo una planta de tratamiento de agua residual para el municipio.

RESULTADOS OBTENIDOS.

Fase I

Gracias a la documentación proporcionada por la empresa de servicios públicos Empumelgar se pudo dar claridad y conocimiento al estado actual del municipio referente a la gestión de las aguas residuales y de los puntos de vertimientos que existen en la actualidad, la fase I se presenta como revisión bibliográfica dentro del marco referencial.

Fase II

A la hora de la selección de la localización de la PTAR se tuvo en cuenta la información obtenida del PBOT Plan Básico de Ordenamiento Territorial y del informe anual del PSMV 2023 – 2024 que se encuentra en el marco referencial donde nos dice que dentro del PSMV se realizó una evaluación técnica de alternativas, la localización sería la siguiente:



Figura 6. Posible ubicación de la PTAR según el PSMV. Construido desde Google

Earth

Ya que en el PSMV tuvieron en cuenta diferentes factores como la disponibilidad de uso de la infraestructura existente, la disponibilidad de áreas y terrenos para la ubicación de infraestructura, eficiencia en la implementación, por lo que este terreno ubicado en la vereda Bombote sería la mejor opción a la hora de la construcción de la PTAR del municipio.

De acuerdo con la localización en el PSMV se procedió realizar un análisis y un perfil de elevación, teniendo en cuenta el recorrido que hará el colector Sumpaz el cual será el encargado de transportar el agua residual al emisario final, se pudo observar en la figura 7 gracias a la herramienta Google Earth que la elevación desde donde inicia es de 308 metros sobre el nivel del mar y donde finaliza es de 296 metros sobre el nivel del mar, por lo que la localización sería viable ya que el agua llegaría por gravedad a la PTARD.



Figura 7. Perfil de elevación futuro colector Sumapaz. Construido desde Google Earth, elaboración propia.

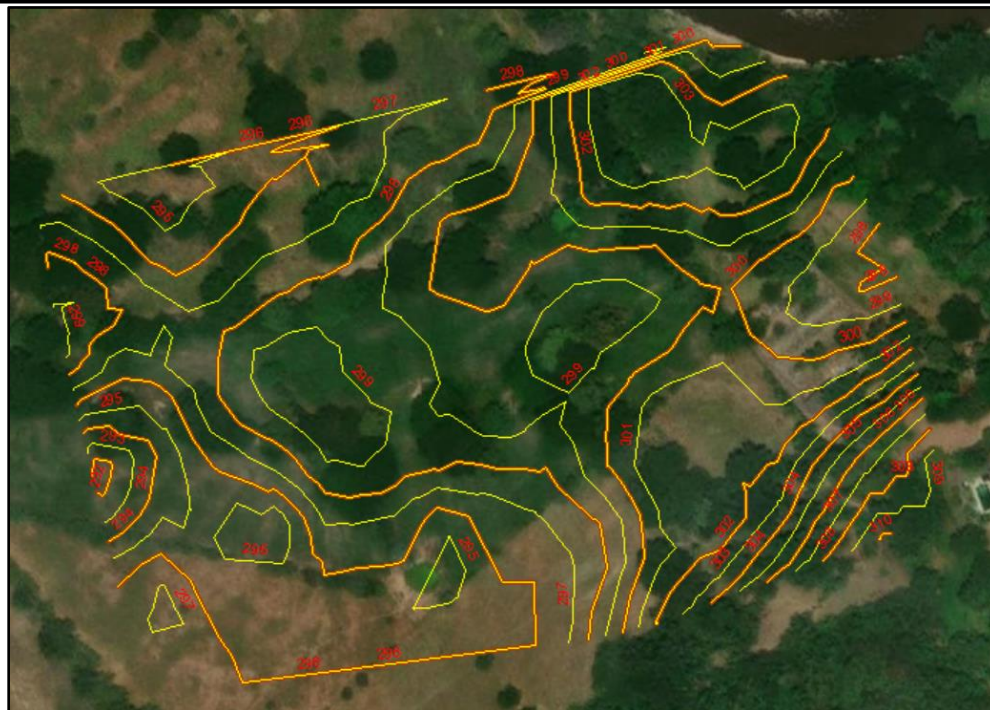


Figura 8. *Curvas de nivel terreno PTAR.* Construido desde ArcGis, elaboración propia.

De acuerdo con las curvas de nivel del predio (figura 8), se puede evidenciar que es un terreno plano y que no presenta inclinaciones considerable por lo que se facilitaría la adecuación del terreno a la hora de la construcción de la futura PTAR.

Fase III

De acuerdo con la comparación que se realizó con la ley 0631 del 2025 teniendo en cuenta los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residual domésticas, se identificó que hay concentraciones de contaminantes que superan los parámetros permisibles. El incumplimiento de la ley implica riesgos significativos para los cuerpos receptores de agua en este caso las quebradas la Melgara, la Chicha, la Madroñala y el río Sumapaz, ya que los contaminantes pueden causar diferentes problemas e inconvenientes como lo es la eutrofización, la alteración de ecosistemas acuáticos y afectar la salud humana. Añadido a esto, las entidades responsables se

exponen a sanciones legales, que pueden incluir multas, cierres temporales o la obligación de implementar mejoras en los sistemas de tratamiento.

De acuerdo al PSMV Melgar cuenta con metas para poder mitigar y dar solución a los impacto negativos que generan los vertimientos puntuales, en un corto plazo aumentaran las redes de alcantarillado a nivel urbano y de sus centros poblados, a mediano plazo se espera que el municipio empiece con la eliminación de puntos de vertimientos a través de la construcción del colector Sumapaz tramo el cual que llegara al emisario final y por ende al sector de la futura PTARD y por último a largo plazo buscan el tratamiento de las aguas residuales con la construcción de plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

Fase IV

Calculo carga orgánica y tasa retributiva

Para el cálculo de la carga orgánica se basó en la DBO de cada salida de cada punto de vertimiento teniendo en cuenta su respectivo caudal, de acuerdo a esto se realizó la tabla 12 la cual es el resumen con información de DBO y de caudal para luego hacer el cálculo de la carga orgánica y posteriormente se realizó los cálculos para determinar la tasa retributiva teórica, dichos cálculos se presentan dentro del marco referencial.

Tabla 12. *Tabla resumen concentración DBO y caudal.*

Vertimientos	DBO mg/L O₂	SST mg/L	Caudal L/s
La Madroñala	218	198	15,73
La Melgara	155	157	37,24
La Chicha	136	164	26,22
EL Galán	155	157	10,49

- **Vertimiento la Madroñala:**

Para DBO5

$$Cc = (15,73 \text{ L/s}) * (218 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 296,28 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 108141.36$$

kg/año

$$Ttr = 205,17 \text{ \$/kg} * 1 = 205,17 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 205,17 * 108141.36 = \$ 22,187,362.63$$

Para SST

$$Cc = (15,73 \text{ L/s}) * (198 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 179.45 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 65500.90$$

kg/año

$$Ttr = 87,73 \text{ \$/kg} * 1 = 87,73 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 87,73 * 65500.90 = \$ 5,746,394.20$$

$$Mtp \text{ (Monto Total)} = \$ 22,187,362.63 + \$ 5,746,394.20 = \$ 27,933,756.83$$

- **Vertimiento la Melgara:**

Para DBO5

$$Cc = (37,24 \text{ L/s}) * (155 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 498,72\text{kg/} * 365 \text{ días} = 182032,10$$

kg/año

$$Ttr = 205,17 \text{ \$/kg} * 1 = 205,17 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 205,17 * 182032,10 = \$ 37,347,525.79$$

Para SST

$$Cc = (37,24 \text{ L/s}) * (157 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 505.15 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 184380.90$$

kg/año

$$Ttr = 87,73 \text{ \$/kg} * 1 = 87,73 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 87,73 * 184380.90 = \$ 16,175,736.40$$

$$Mtp \text{ (Monto Total)} = \$ 37,347,525.79 + \$ 16,175,736.40 = \$ 53,523,262.19$$

- **Vertimiento la Chicha:**

Para DBO5

$$Cc = (26,22 \text{ L/s}) * (136 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 308,10\text{kg/} * 365 \text{ días} = 112454.85$$

kg/año

$$Ttr = 205,17 \text{ \$/kg} * 1 = 205,17 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 205,17 * 112454.85 = \$ 23,072,362.21$$

Para SST

$$Cc = (26,22 \text{ L/s}) * (164 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 371.53 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 135607.32$$

kg/año

$$Ttr = 87,73 \text{ \$/kg} * 1 = 87,73 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 87,73 * 135607.32 = \$ 11,896,830.44$$

$$Mtp \text{ (Monto Total)} = \$ 23,072,362.21 + \$ 11,896,830.44 = \$ 34,969,192.65$$

- **Vertimiento la Galán:**

Para DBO5

$$Cc = (10,49 \text{ L/s}) * (155 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 140,48 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 51275.96$$

kg/año

$$Ttr = 205,17 \text{ \$/kg} * 1 = 205,17 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 205,17 * 51275.96 = \$ 10,520,288.55$$

Para SST

$$Cc = (10,49 \text{ L/s}) * (157 \text{ mg/L}) * (0,0036) * (24\text{h/día}) = 142.29 \text{ kg/} * 365 \text{ días} = 51937.58$$

kg/año

$$Ttr = 87,73 \text{ \$/kg} * 1 = 87,73 \text{ \$/kg}$$

$$Mp = 87,73 * 51937.58 = \$ 4,556,484.29$$

$$Mtp \text{ (Monto Total)} = \$ 10,520,288.55 + \$ 4,556,484.29 = \$ 15,076,772.84$$

- **Total, a pagar por todos los vertimientos**

Al sumar los valores arrojados del monto total de cada punto de vertimiento da un total a pagar de \$131,502,984.51 millones anuales que tendría que pagar el municipio por el vertimiento de las aguas residuales domésticas.

Evaluación técnica de procesos

Con el fin de evaluar la prefactibilidad técnica se realizó la evaluación técnica de los procesos a plantear para la selección del proceso que mejor pueda dar respuesta a la caracterización del agua, las propuestas para el tratamiento del agua residual se presentan a continuación.

Pretratamiento:

El pretratamiento constaría inicialmente de un cribado o desbaste con el objetivo de retener los sólidos de gran tamaño como ramas y residuos sólidos de gran tamaño, evitando problemas al correcto funcionamiento del tratamiento de las aguas, posteriormente seguiría una canaleta Parshall con la cual se permitiría realizar mediciones del caudal que entrara a la PTAR y finalmente un tanque tampón o de igualación, que por su nombre dice cumplirá la función de igualar el caudal, como se puede observar en la tabla 13 el pretratamiento no realizara una remoción de los parámetros que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar el balance de cargas, por lo cual, los

valores de la caracterización de entrada son los mismos valores que la caracterización del agua de salida del pretratamiento.

Tabla 13. *Balace de cargas pretratamiento.* Elaboración Propia.

Parámetro de calidad de agua	Caracterización afluente	Pretratamiento			
		Cribado/Desbaste		Tanque tampón	
		% Remoción	Caracterización efluente	% Remoción	Caracterización efluente
pH	7.655	N/A	7.655	N/A	7.655
DQO (mg/L)	336	N/A	336	N/A	336
DBO (mg/L)	166	N/A	166	N/A	166
SST (mg/L)	169	N/A	169	N/A	169
Grasas y aceites (mg/L)	74.25	N/A	74.25	N/A	74.25

Tratamiento primario:

El tratamiento primario constaría de una trampa de grasas con el fin de remover el mayor porcentaje de las grasas por su gran porcentaje de remoción de grasas y aceites, de acuerdo a la caracterización inicial de grasas y aceites es de 74,25 mg/L con dicho tratamiento pasaría a ser de 11.14 mg/L permitiendo cumplir con los límites máximos exigidos por la normativa 631 de 2015.

Tabla 14. *Balace de cargas tratamiento primario.* Elaboración propia.

Parámetro de calidad de agua	Caracterización afluente	Tratamiento Primario			
		Trampa de grasas			
		% Remoción		Caracterización efluente	
pH	7.655	N/A	0	7.655	
DQO (mg/L)	336	N/A	0	336	
DBO (mg/L)	166	N/A	0	166	
SST (mg/L)	169	N/A	0	169	
Grasas y aceites (mg/L)	74.25	85%	63.11	11.14	

Tratamiento secundario:

Alternativa PSMV

Tabla 15. *Balace de cargas tratamiento secundario Filtro percolador.* Elaboración

propia.

Parámetro de calidad de agua	Caracterización afluente	Tratamiento Secundario						Caracterización teórica del efluente PTAR	Valor máximo permisible Normativa 631/2015
		Filtro Percolador			Sedimentador				
		% Remoción	Caracterización efluente		% Remoción	Caracterización efluente			
pH	7.655	N/A	0	7.655	N/A	0	7.655	7.655	6,00 a 9,00
DQO (mg/L)	336	60%	201.6	134.4	30%	40.32	94.08	94.08	180
DBO (mg/L)	166	75%	124.5	41.5	30%	12.45	29.05	29.05	90
SST (mg/L)	169	65%	109.85	59.15	50%	29.575	29.575	29.575	90
Grasas y aceites (mg/L)	74.25	N/A	0	0	N/A	0	11.14	11.14	20

Propuesta 1 Lodos activados

Tabla 16. *Balace de cargas tratamiento secundario Lodos activados.* Elaboración propia.

Parámetro de calidad de agua	Caracterización afluente	Tratamiento Secundario						Caracterización teórica del efluente PTAR	Valor máximo permisible Normativa 631/2015
		Lodos activados			Sedimentador				
		% Remoción	Caracterización efluente		% Remoción	Caracterización efluente			
pH	7.655	N/A	7.655	7.655	N/A	7.655	7.655	7.655	6,00 a 9,00
DQO (mg/L)	336	70%	235.2	100.8	30%	30.24	70.56	70.56	180
DBO (mg/L)	166	80%	132.8	33.2	30%	9.96	23.24	23.24	90
SST (mg/L)	169	80%	135.2	33.8	50%	16.9	16.9	16.9	90
Grasas y aceites (mg/L)	74.25	N/A	0	11.14	N/A	0	11.14	11.14	20

Propuesta 2 UASB

Tabla 17. Balance de cargas tratamiento secundario UASB. Elaboración propia

Parámetro de calidad de agua	Caracterización afluente	UASB		Sedimentador		Caracterización teórica del efluente PTAR	Valor máximo permisible Normativa 631/2015	
		% Remoción	Caracterización efluente	% Remoción	Caracterización efluente			
pH	7.655	N/A	0	7.655	N/A	0	7.655	6,00 a 9,00
DQO (mg/L)	336	60%	201.60	134.40	30%	40.32	94.08	180
DBO (mg/L)	166	65%	107.90	58.10	30%	17.43	40.67	90
SST (mg/L)	169	60%	101.40	67.60	50%	33.80	33.80	90
Grasas y aceites (mg/L)	74.25	N/A	0	11.14	N/A	0	11.14	20

De acuerdo con las tablas 15, 16 y 17 de los balances de cargas de los procesos de tratamientos de secundarios se procedió a realizar una tabla comparativa teniendo en cuenta la caracterización teórica del efluente final de dichas propuestas.

Tabla 17. Comparación de eficiencias de tratamientos biológicos. Elaboración propia

Comparación tratamientos secundarios				
Parámetro de calidad de agua	Alternativa PSMV Filtro percolador	Propuesta 1 Lodos Activados	Propuesta 2 UASB	Valor máximo permisible normativa 631/2015
pH	7,655	7,655	7,655	6,00 a 9,00
DQO (mg/L)	94,08	70,56	94,08	180
DBO (mg/L)	29,05	23,24	40,67	90
SST (mg/L)	29,575	16,9	33,80	90
Grasas y aceites	11,14	11,14	11,14	20

Como se puede observar la tabla 17, cada una de las propuestas cumplen con los valores máximos permisibles de la normativa 0631 de 2015, la tecnología de lodos activados, es la

tecnología que presenta una mayor eficiencia al momento de la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales a comparación de las otras tecnologías.

Desinfección

El ultimo tratamiento seria la desinfección que se realizaría por medio de radiación UV, ya que, según la resolución 0799 de 2021 esta tecnología tiene un porcentaje de 100 por ciento en la eliminación de microorganismos patógenos y no tendría impactos adversos como lo es la cloración ya que en altas concentraciones podría causar daños al ecosistema al ser una sustancia nociva.

De acuerdo con la tabla 17 y como se puede observar la alternativa de la tecnología de lodos activados permite tener una mayor remoción de las cargas contaminantes, siendo por eficiencias de remoción, la tecnología escogida.

Tren de tratamiento con tecnología de lodos activados.

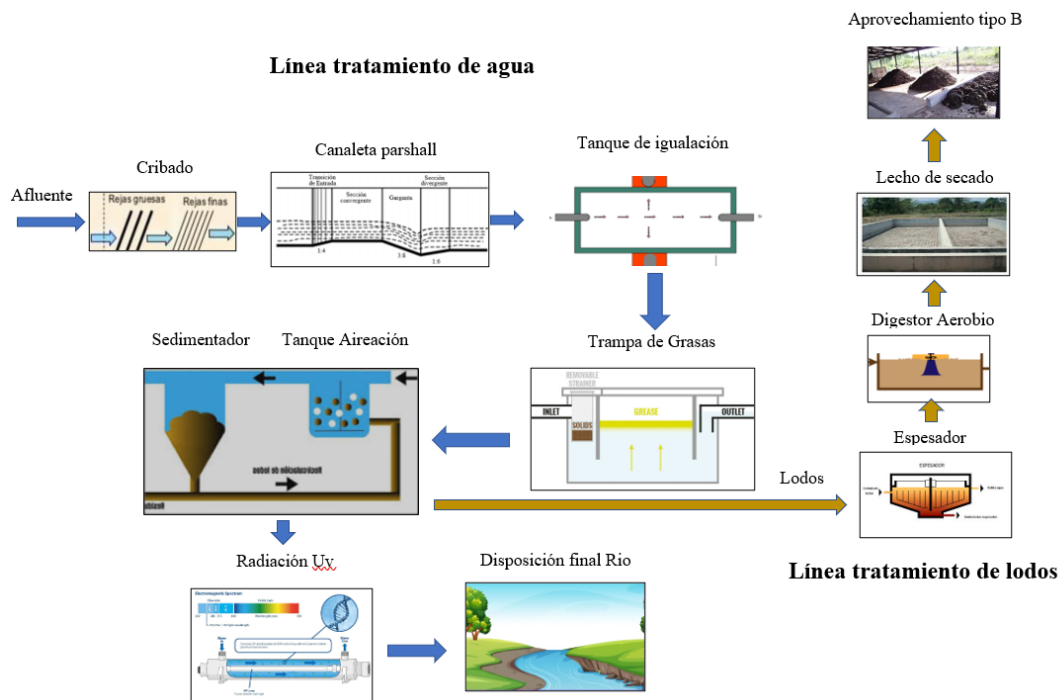


Figura 9. Propuesta 1 Alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Tren de tratamiento con tecnología UASB

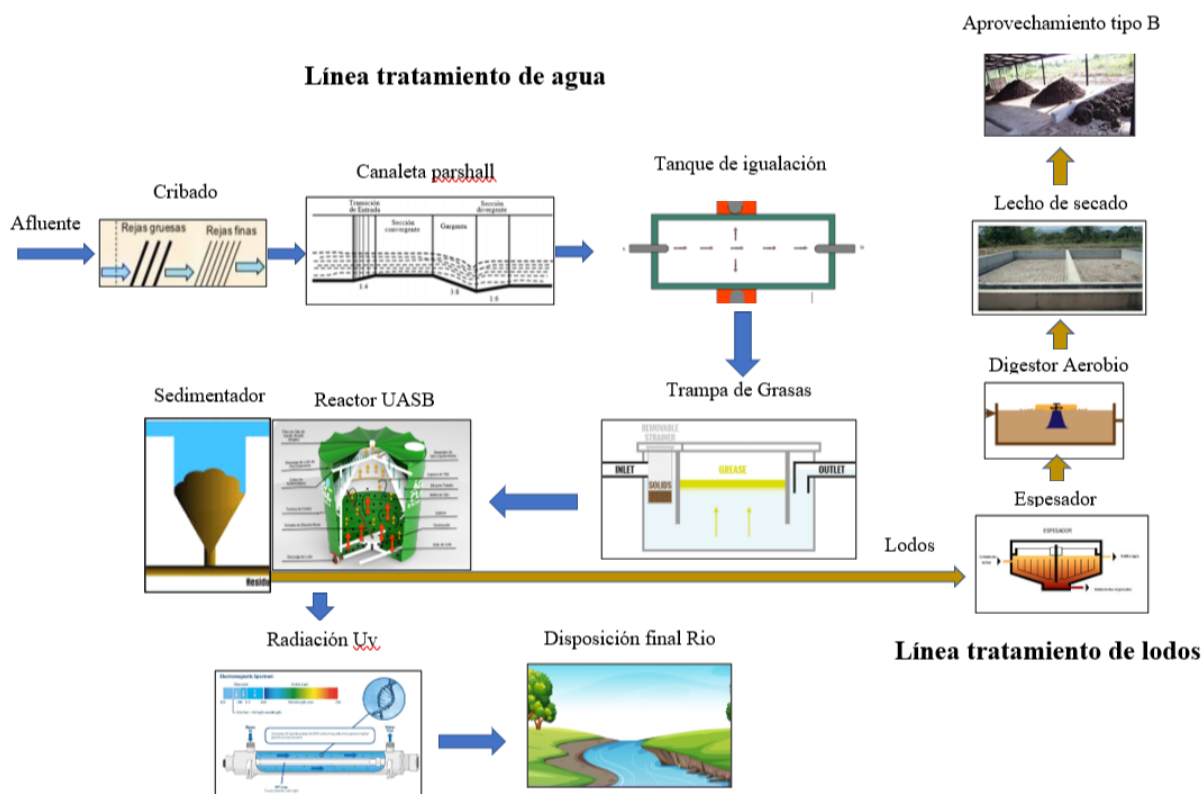


Figura 10. Propuesta 2 Alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Línea tratamiento de lodos

La línea de tratamiento de lodos, se realizó con el fin de generar un aprovechamiento de estos y no generar residuos que ocupen espacios en los rellenos sanitarios y de generar posibles gastos de disposición final de los lodos, es por eso que a través de la propuesta de tratamiento de lodos busca que se realice un aprovechamiento donde los lodos se utilicen como fertilizantes orgánicos en campos agrícolas destinados al cultivo de pastos.

Como bien se sabe toda actividad humana, genera impactos que son de carácter negativo o positivo al medio ambiente, es por esto que la elaboración de una matriz de impacto ambiental es

de suma importancia para este trabajo de investigación. Como el municipio de Melgar no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas genera un impacto negativo al medio ambiente, la matriz de impactos ambientales de la contaminación del agua permite evaluar y visualizar las interacciones entre actividades humanas y los posibles efectos adversos sobre los cuerpos de agua, esta matriz tiene en cuenta como única fuente de contaminación los vertimientos puntuales de los que se han hablado a lo largo del trabajo de investigación, dichos vertimientos son domésticos, esta matriz evalúa el impacto teniendo en cuenta los siguientes parámetros, la calidad del agua, la biodiversidad, la salud pública, aspectos sociales y financiamiento. La matriz también clasifica los impactos según su magnitud, duración y reversibilidad, facilitando así la toma de decisiones para mitigar los daños y de esta manera, se puede priorizar la implementación de medidas correctivas o preventivas en los sistemas de tratamiento, monitoreo y conservación de los recursos hídricos.

En la tabla 18, muestra la matriz de impacto ambiental sin un sistema de tratamiento de agua residual, de acuerdo al análisis se puede evidenciar que impacta de manera negativa a nivel general, como se puede observar en la matriz el municipio se ve afectado principalmente en los impactos que arrojaron ser severos los cuales fueron la calidad del agua, generando cambios en la calidad del agua superficial – subterránea y en la Biodiversidad provocando alteración de hábitats naturales y riesgos en las especies locales.

Tabla 18. Matriz de impacto ambiental. Construida desde Excel.

Matriz de impacto Ambiental sin un sistema de tratamiento de agua residual												
Impacto Ambiental	Descripción	Naturaleza	Magnitud	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia del Impacto	
Calidad del Agua	Cambios en la calidad del agua Superficial	Negativo	12	4	4	2	2	2	4	4	62	SEVEROS
	Cambios en la calidad del agua Subterránea	Negativo	8	4	4	2	2	2	4	4	50	SEVEROS
Biodiversidad	Alteración de hábitats naturales	Negativo	8	4	4	2	2	2	4	4	50	SEVEROS
	Riesgo para especies locales	Negativo	8	4	4	2	2	2	4	4	50	SEVEROS
Salud Pública	Exposición a contaminantes	Negativo	4	2	2	2	2	2	4	2	30	MODERADOS
	Riesgo de enfermedades transmitidas por Agua	Negativo	4	2	2	2	2	2	4	2	30	MODERADOS
Aspectos Sociales	Cambio en el modo de vida de la comunidad	Negativo	4	1	2	2	2	2	1	1	24	IRRELEVANTE
	Impacto en el empleo local	Negativo	2	1	2	2	2	2	1	1	18	IRRELEVANTE
Financiamiento	Riesgos financieros y falta de sostenibilidad	Negativo	8	2	2	2	2	2	1	2	39	MODERADOS
	Costos de operación y mantenimiento	Negativo	8	2	2	2	2	2	1	2	39	MODERADOS

En la tabla 19, muestra la matriz de impacto ambiental con un hipotético sistema de tratamiento de agua residual, se puede ver que la importancia de los impactos es irrelevante, ya que, el municipio se beneficiaría en cada uno de los parámetros que se tuvieron en cuenta en la matriz.

Tabla 19. *Matiz de impacto ambiental.* Construida desde Excel.

Matriz de impacto Ambiental con un sistema de tratamiento de agua residual												
Impacto Ambiental	Descripción	Naturaleza	Magnitud	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Acumulación	Periodicidad	Importancia del Impacto	
Calidad del Agua	Cambios en la calidad del agua Superficial	Positiva	3	1	2	2	2	2	4	1	24	IRRELEVANTE
	Cambios en la calidad del agua Subterránea	Positiva	2	1	2	2	2	2	4	1	21	IRRELEVANTE
Biodiversidad	Alteración de hábitats naturales	Positiva	3	1	2	2	2	2	4	1	24	IRRELEVANTE
	Riesgo para especies locales	Positiva	2	1	2	2	2	2	1	1	18	IRRELEVANTE
Salud Pública	Exposición a contaminantes	Positiva	1	2	2	2	2	2	1	1	17	IRRELEVANTE
	Riesgo de enfermedades transmitidas por Agua	Positiva	1	2	2	2	2	2	1	1	17	IRRELEVANTE
Aspectos Sociales	Cambio en el modo de vida de la comunidad	Positiva	1	1	2	2	2	2	1	1	15	IRRELEVANTE
	Impacto en el empleo local	Positiva	1	1	2	2	2	2	1	1	15	IRRELEVANTE
Financiamiento	Riesgos financieros y falta de sostenibilidad	Positiva	2	1	2	2	2	2	1	1	18	IRRELEVANTE
	Costos de operación y mantenimiento	Positiva	2	1	2	2	2	2	1	1	18	IRRELEVANTE

El municipio de Melgar al contar o implementar la alternativa que presenta el PSMV de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se beneficiaría de varias maneras, como primer beneficio de tener una PTAR es que reduce los costos asociados a la contaminación ambiental, ya que, el tratamiento de aguas residuales permite cumplir con las normativas ambientales, evitando multas o sanciones costosas por parte de las autoridades en este caso CORTOLIMA, también se beneficiaría evitando el deterioro de los cuerpos de agua que podrían afectar actividades económicas clave como el turismo, la pesca o la agricultura.

CONCLUSIONES

El municipio de Melgar tiene previsto a largo plazo realizar la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, para lo cual un estudio previo dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) propuso implementar como tratamiento secundario la tecnología de filtro percolador asegurando el cumplimiento de la normatividad vigente, por lo cual el presente trabajo de pasantía se propuso con el fin de establecer técnicamente el proceso más viable de forma imparcial considerando las condiciones específicas del Municipio de Melgar y presentando una alternativa de proceso de tratamiento. Además, que se incluyó una matriz de evaluación de impactos económicos y sociales. De esta forma Empumelgar tendrá un documento de base para la selección definitiva del proceso a implementar. Desde este punto de vista, la presente pasantía es un esfuerzo técnico de sensibilización al Municipio de Melgar para que gestione los recursos económicos destinados a la construcción de la planta.

Fase I

Con la revisión de la documentación se logró identificar que, desafortunadamente la empresa de servicios públicos Empumelgar no cuenta con los recursos ni la financiación necesaria para llevar a cabo las inversiones en plantas de tratamiento, conexiones de alcantarillado y la construcción del colector Sumapaz el cual será el encargado de transportar el agua residual domestica hasta el emisario final, sin embargo se espera que a mediano plazo inicien construcciones para la eliminación de los puntos de vertimientos y la construcción de la PTARD.

Fase II

Se presenta el estudio previo contratado de forma independiente respecto a la localización de la planta de potabilización presentada dentro del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, para lo cual se tuvieron en cuenta diferentes factores como la disponibilidad de uso de la infraestructura existente, la disponibilidad de áreas y terrenos para la ubicación de infraestructura y la eficiencia en la implementación.

Fase III

De acuerdo con la comparación de las características de las aguas residuales municipales de Melgar, con la resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, permitió dar conocimiento que hay parámetros que sobrepasan los valores máximos permisibles, añadido a esto se debe tener en cuenta la variación que puede llegar a tener la caracterización del agua residual del municipio con el paso del tiempo, debido al desarrollo comercial, aumento de la población y al aumento de los turistas, lo que generaría un aumento de la carga contaminante de los diferentes puntos de vertimiento.

Fase IV

Al estudiar la calidad del efluente descargado por los diferentes emisores se seleccionó la tecnología que respondiese técnicamente para dicho tratamiento proponiendo 2 alternativas diferentes a la previamente propuesta; quedando entonces la evaluación teórica por eficiencias de tres procesos; a saber filtro percolador, lodos activados y reactor UASB, resultando como mejor alternativa el proceso de lodos activados con sedimentador con un porcentaje de remoción de 70%

para el DQO, del 80% para el DBO y del 80% para SST, superando los resultados teóricos ofrecidos por la tecnología de filtro percolador propuesta previamente en el PSMV.

El análisis técnico realizado evidencia que los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales seleccionados presentan una capacidad óptima para cumplir con los estándares regulatorios, los cuales permiten que el afluente final cumpla con los valores máximos permisibles que dictamina la ley 0631 de 2015, siendo propuestas viables a la hora de la elección, al realizar la comparación con el balance de cargas de las dos propuestas se logra evidenciar que la propuesta 2 logra una eficiencia significativa lo que le permite cumplir con los valores máximos permisibles de la ley 0631, sin embargo la propuesta 1 tiene una mayor eficiencia que la propuesta dos arrojándonos una menor carga de contaminantes lo cual es un factor a tener en cuenta, ya que, el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es devolver el afluente con la menor concentración de contaminantes a su disposición final en este caso el río Sumapaz.

Teniendo en cuenta que el municipio estaría en busca de una alternativa que tenga bajos costes y baja producción de lodos, la tecnología de lodos activados se estima tendrá una mayor producción de lodos y desde ese punto presenta una limitante importante frente a la tecnología de filtro percolador y el reactor UASB, de acuerdo a la revisión bibliografía se pudo evidenciar que la alternativa de lodos activados es menos sostenible a comparación con el reactor UASB.

Si la elección del tratamiento biológico se basara en eficiencias y mayor porcentaje de remoción de los contaminantes la alternativa de lodos activados sería la más adecuada, sin embargo, un factor a tener en cuenta en la elección de la tecnología más factible es la

sostenibilidad, por lo que sería ideal tener en cuenta el consumo energético y la generación de lodos, según la revisión bibliográfica se pudo evidenciar que en este aspecto el reactor UASB sería una elección viable ya al comparar sus porcentajes de remoción y comparando la caracterización teórica del efluente PTAR del balance de cargas, tendría mayor eficiencia que la alternativa presente en el PSMV.

El municipio al contar con un sistema que trate sus aguas residuales tendría beneficios económicos como lo es la reducción de sanciones por contaminación, lo que hace que la inversión sea justificada con el paso del tiempo. Desde una vista ambiental y social, el tratamiento de aguas residuales domésticas reduce significativamente la contaminación de cuerpos de agua, protege los ecosistemas acuáticos y mejora la salud pública al disminuir enfermedades transmitidas por el agua. A su vez, se recomienda fortalecer la sensibilización comunitaria y asegurar el financiamiento adecuado para garantizar el éxito del proyecto, resaltando sus beneficios a nivel ambiental, económico y de calidad de vida para la población.

RECOMENDACIONES

Debido a la importancia del trabajo de investigación se presentan las posibles recomendaciones a tener en cuenta para futuros trabajos de investigación:

1. Sería recomendable realizar un análisis detallado de costos de las alternativas que se presentan para definir costos de inversión, operación y mantenimiento.
2. Realizar estudios más detallados sobre la tecnología de Lodos Activados y el reactor UASB y la sostenibilidad de cada tecnología.
3. Analizar la viabilidad del aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR y la reutilización del agua tratada.
4. Se recomienda a la alcaldía del municipio de melgar junto con Empumelgar realizar la gestión de los recursos para la eliminación de puntos de vertimientos, construcción del colector Sumapaz y la construcción de la PTAR.

BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía de Melgar Tolima (2015). Por el cual se adopta la revisión y ajuste general ordinario del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio Melgar – Tolima 2016. Recuperado de:
<file:///C:/Users/DELL/Downloads/Trabajo%20de%20grado/Trabajo%20de%20grado/PB%20OT/PBOT/PBOT%202016.pdf>
- Alcaldía de Melgar Tolima (2021). Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos del municipio de Melgar, Tolima 2022. Recuperado de:
<file:///C:/Users/DELL/OneDrive/Documentos/Informes%20Colectores/PSMV%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20MELGAR.pdf>
- AguasResiduales.info. (s. f.). Cloración en los procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/cloracion-en-los-procesosdetratamientodeaguasresiduales#:~:text=M%C3%A9todos%20alternativos%20de%20desinfecci%C3%B3n%20del,vanguardia%20del%20tratamiento%20de%20aguas>:
- Banco De Desarrollo De América Latina Y El Caribe. (2016). ¿Por qué es tan importante el tratamiento de aguas residuales?
<https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2016/06/por-que-es-tan-importante-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Bustos Murillo, F. A., Pulido Aponte, Álvaro E., y Rivera Escobar, H. M. (2023). Tratamiento de aguas residuales en Colombia y sistemas bioelectroquímicos: usos y perspectivas. *Tecnura*, 27(76), 111–143. <https://doi.org/10.14483/22487638.19390>

-
- Contreras Barrera, J. I. (2010). Modelación del sedimentador secundario en planta de lodos activados. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103705/cf-contreras_jb.pdf?sequence=3&isAllowed=y
 - Eddy, H., & Metcalf, L. (2003). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, eliminación y reutilización. 4.
 - Evaluacion de la eficiencia de remocion de materia organica . Muños sanchez. 2013. Mexico: s.n., 203.
 - Environmental Protection Agency (1999). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. United States Office of Water EPA 832-F-99-064 Washington, D.C. septiembre de 1999. <https://19january2017snapshot.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs-99-064.pdf>
 - Gandarillas, V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa.
 - Gonzales Choque, S. E. (2016). Diseño y Fabricación de Espesador de Relaves de Cobre de 15 Metros Diámetro. <file:///C:/Users/DELL/Downloads/4A.0223.IM.pdf>
 - Gobernación del Tolima. (2024). Turismo Municipio de Melgar. <https://www.tolima.gov.co/tolima/informacion-general/turismo/2015-municipio-de-melgar>
 - Guerra, F., Cabrera, M., & Salazar, W. (2018). Prototipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria quesera en el cantón Guano provincia de Chimborazo. NoaSinergia, 1(2), 20-29

-
- Herrera, L. (2010). Determinación de los parámetros de operación de un digestor aeróbico para procesar lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cervecería polar–planta modelo (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD RAFAEL URDANETA). <https://documentos.uru.edu/pdf/2101-10-03218.pdf>
 - HidroPlayas. (2016). Trampa de Grasas. Recuperado el 23 de Mayo de 2018, de <http://hidroplayas.gob.ec/leydetransparencia/trampasdegrasa.pdf>
 - ISA, “Trampas de grasa. Un pre tratamiento de aguas residuales,” Ingeniería y Servicios Ambientales, 2016. <http://www.isa.ec/index.php/vaviene/entry/trampasde-grasa-un-pre-tratamiento-de-aguas-residuales>
 - López, I., Passeggi, M., Borzacconi, L., Pittamiglio, M., & Gómez, H. (2020). Comparación de opciones para tratamiento de efluente de maltería: aerobio vs anaerobio-aerobio mediante un análisis de sostenibilidad. https://aidis.org.uy/wpcontent/uploads/2020/10/TT27_Lopez_Ivan_doc.pdf
 - Mendonca, Sérgio Rolim; Qasim, S. (1999). Wastewater treatment plants- Planning, design and operation. Second Edition. Technomic Pub. Basel.
 - Ocasiones, J., & Sarmineto, C. C. (2014). Diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales veredas La Paz y El Triunfo municipio Anapoima Cundinamarca. <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/91fc2fb9-eed0-41b9-a7bc-7af67b816a97/content>
 - Pompeo, R., Andreoli, C., de Castro, E., Aisse M., 2016. Influence of long-term storage operating conditions on the reduction of viable ascaris eggs in sewage sludge for agricultural reuse. Water Air Soil Pollut. 227, 144. DOI: 10.1007/s11270-016-2816-0

- Ramirez, C. (2023). El país solo alcanza a tratar el 60% de sus aguas residuales en las ciudades: DNP. Congreso de Camacol Verde realizado en Barranquilla.
<https://www.dnp.gov.co/Prensa/Noticias/Paginas/el-pais-solo-alcanza-a-tratar-el-60-de-sus-aguas-residuales-en-las-ciudades-dnp.aspx#:~:text=las%20ciudades:%20DNP-.El%20pa%C3%ADs%20solo%20alcanza%20a%20tratar%20el%2060%25%20de%20sus.residuales%20en%20las%20ciudades:%20DNP&text=En%20el%20Congreso%20de%20Camacol.generaci%C3%B3n%20de%20h%C3%A1bitat%20integral%20sostenible>.
- Ramírez Escobar, J. J. (2002). Síndromes de sostenibilidad ambiental del desarrollo en Colombia. Chile: Publicación de las Naciones Unidas.
- Revista Mexicana de Ingeniería Química. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. [En línea] 2013. [Citado el: 12 de 10 de 2017.]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966019>
- Rey Vargas, A y Tovar Zuñiga, L. (2020). Calibracion de la canaleta Parshall. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Villavicencio. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/20569>
- Sierra Mesa, J y Sepulveda Mancipe, B. (2017). Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y desarenador) de aguas residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Solano Ramírez, V., Centeno Mora, E., & Vidal Rivera, P. (2023). Cierre de ciclos de nutrientes y generación de energía por medio del tratamiento anaerobio de las aguas residuales ordinarias: Estudio de caso en Las Juntas de Abangares, Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales, 57(1).

-
- Torres, P. (2001). Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Ingeniería y Competitividad*, 3(1), 35-42.
 - Troschinetz, A., & Mihelcic, J. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 29(2), 915–923.
 - Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018): Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada. PDF
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf
 - Unión Temporal Acuambiental, “Mantenimiento de las trampas de grasas,” Neiva, 2008.
[ftp://ftp.ani.gov.co/aeropuertos/sur%20occidente/t%c3%a9cnico/5.%20inversiones/5.g\)%20medio%20ambiente/neiva/pma/2008/anexos%20neiva/anexo%205.%20m%20anuales%20tratamiento%20de%20sist%20de%20agua/manual%20trampa%20de%20grasas.pdf](ftp://ftp.ani.gov.co/aeropuertos/sur%20occidente/t%c3%a9cnico/5.%20inversiones/5.g)%20medio%20ambiente/neiva/pma/2008/anexos%20neiva/anexo%205.%20m%20anuales%20tratamiento%20de%20sist%20de%20agua/manual%20trampa%20de%20grasas.pdf)

APENDICES

Tabla 20. Resultados caracterización fisicoquímica y microbiológica del punto de vertimiento quebrada la Chicha.

La Chicha (Coordenadas: Longitud Oeste 74°38'35,0" Latitud Norte 4°12'27,4" Altitud MSNM 339)										
FECHA MUESTREO: 30 - JUNIO -2023										
MATRIZ: Agua Residual Doméstica y No Doméstica										
TIPO DE MUESTRA: Compuesta										
Parámetros	Unidades	Método	1	2	3	4	5	6	7	PROMEDIO
Hora			07: 55	08: 55	09: 55	10: 55	11: 55	12: 55	13: 55	
Temperatura Ambiente	°C	2550 B	27, 4	28, 1	29, 3	30, 1	31, 4	32, 9	34, 1	30,5
Temperatura del agua	°C	2550 B	27, 2	27, 3	27, 6	27, 8	28, 4	28, 6	28, 7	27,9
Conductividad Eléctrica	mS / cm a 25°C	Método de laboratorio (CORCUENCAS). SM 2510 B	63 5	63 3	68 8	86 4	74 9	70 5	65 2	703,714 2857
pH	Unidad pH	Electrométrico SM 4500 H+ B	7,5 8	7,7 2	7,8 0	7,8 3	7,6 4	7,5 7	7,4 1	7,65
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Electrodo de membrana SM 4500 - OC	0,0 6	0,8 9	0,9 4	1,0 4	1,1 5	0,9 9	0,7 4	0,83
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ / L	SM 5210 B, ASTM D888 C								136
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/ L	SM 2540 D								164
Grasas y Aceites	mg GyA / L	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4, Método C								45,4
Coliformes Termotolerantes (Antes Fecales)	NMP/100 ml	Sustrato enzimático multicelda, SM 9223 B (Modificado)								111990 00

Fuente: Empumelgar e.s.p.

Tabla 21. Resultados caracterización fisicoquímica y microbiológica del punto de vertimiento quebrada la Melgara.

La Melgara (Coordenadas: Longitud Oeste 74°39'00,9" Latitud Norte 4°12'06,4" Altitud MSNM 330)										
FECHA MUESTREO: 30 - JUNIO -2023										
MATRIZ: Agua Residual Doméstica y No Doméstica										
TIPO DE MUESTRA: Compuesta										
Parámetros	Unidades	Método	1	2	3	4	5	6	7	PROMEDIO
Hora			08: 10	09: 10	10: 10	11: 10	12: 10	13: 10	14: 10	
Temperatura Ambiente	°C	2550 B	27, 9	28, 3	29, 1	30	30, 9	32	33, 8	30,3
Temperatura del agua	°C	2550 B	28, 4	28, 6	28, 9	29, 2	29, 3	29, 7	29, 9	29,1
Conductividad Eléctrica	mS / cm a 25°C	Método de laboratorio (CORCUENCAS). SM 2510 B	63 4	86 9	89 1	91 5	89 1	87 5	86 9	849,142 8571
pH	Unidad pH	Electrométrico SM 4500 H+ B	7,7 7	7,6 9	7,7 4	7,8 0	7,6 4	7,5 1	7,4 4	7,65571 4286
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Electrodo de membrana SM 4500 - O,G	3,3 2	3,1 5	3,2 1	3,2 9	3,4 5	3,5 5	3,4 1	3,34
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	SM 5220 C								293
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ / L	SM 5210 B, ASTM D888 C								155
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/ L	SM 2540 D								157
Grasas y Aceites	mg GyA/ L	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4, Método C								77,4
Coliformes Termotolerantes (Antes Fecales)	NMP/100 ml	Sustrato enzimático multicelda, SM 9223 B (Modificado)								104620 00

Fuente: Empumelgar e.s.p.

Tabla 22. Resultados caracterización fisicoquímica y microbiológica del punto de vertimiento colector Galán.

Galán (Coordenadas: Longitud Oeste 74°38'34,9" Latitud Norte 4°12'02,9" Altitud MSNM 336)										
FECHA MUESTREO: 30 - JUNIO -2023										
MATRIZ: Agua Residual Doméstica y No Doméstica										
TIPO DE MUESTRA: Compuesta										
Parámetros	Unidades	Método	1	2	3	4	5	6	7	PROMEDIO
Hora			08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	
Temperatura Ambiente	°C	2550 B	28,7	29	29,9	31,1	32,3	33,8	34,9	31,5
Temperatura del agua	°C	2550 B	28	28,4	28,7	28,9	28,8	28,7	28,7	28,6
Conductividad Eléctrica	mS / cm a 25°C	Método de laboratorio (CORCUENCAS). SM 2510 B	63,4	86,9	89,1	91,5	89,1	87,5	86,9	849,1428571
pH	Unidad pH	Electrométrico SM 4500 H+ B	7,77	7,69	7,74	7,80	7,64	7,51	7,44	7,66
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Electrodo de membrana SM 4500 - O,G	3,32	3,15	3,21	3,29	3,45	3,55	3,41	3,34
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	SM 5220 C								293
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ / L	SM 5210 B, ASTM D888 C								155
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/ L	SM 2540 D								157
Grasas y Aceites	mg GyA/ L	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4, Método C								57,6
Coliformes Termotolerantes (Antes Fecales)	NMP/100 ml	Sustrato enzimático multicelda, SM 9223 B (Modificado)								12997000
Caudal	L/s									

Fuente: Empumelgar e.s.p.

Tabla 23. Resultados caracterización fisicoquímica y microbiológica del punto de vertimiento la Madre vieja

Madre Vieja (Coordenadas: Longitud Oeste 74°39'11,6" Latitud Norte 4°11'51,4" Altitud MSNM 332)										
FECHA MUESTREO: 30 - JUNIO -2023										
MATRIZ: Agua Residual Doméstica y No Doméstica										
TIPO DE MUESTRA: Compuesta										
Parámetros	Unidades	Método	1	2	3	4	5	6	7	PROMEDIO
Hora			08:20	09:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	
Temperatura Ambiente	°C	2550 B	28,3	28,7	29,5	30,7	31,5	32,7	34,8	30,9
Temperatura del agua	°C	2550 B	28,4	29	29,3	29,5	29,6	29,7	29,9	29,3
Conductividad Eléctrica	mS / cm a 25°C	Método de laboratorio (CORCUENCAS). SM 2510 B	958	920	941	949	916	884	857	917,857 1429
pH	Unidad pH	Electrométrico SM 4500 H+ B	7,71	7,59	7,64	7,67	7,54	7,41	7,35	7,56
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ / L	Electrodo de membrana SM 4500 - O,G	1,35	0,88	1,00	1,19	0,94	0,90	0,74	1
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	SM 5220 C								363
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ / L	SM 5210 B, ASTM D888 C								218
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/ L	SM 2540 D								198
Grasas y Aceites	mg GyA / L	NTC 3362:2005-06-29, Numeral 4, Método C								84,6
Coliformes Termotolerantes (Antes Fecales)	NMP/100 ml	Sustrato enzimático multicelda, SM 9223 B (Modificado)								173290 00
Caudal	L/s	Volumétrico	4,8	5,4	8,3	6,5	5,7	6,6	7,6	6,41428 5714

Fuente: Empumelgar e.s.p.