

**SOCIEDAD AGUAS DEL HUILA, SERVICIOS INTEGRALES, INFRAESTRUCTURA,
CONSULTORÍA Y ADMINISTRACIÓN S.A. E.S.P.**

**EVALUACION AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO
CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA - HUILA**



**NEIVA - HUILA
2025**

VIANCY CAROLINA GARCIA
ALCALDE MUNICIPAL DE SANTA MARÍA

GENARO LOZADA MENDIETA
GERENTE DE AGUAS DEL HUILA S.A. E.S.P.

EQUIPO TÉCNICO OFICINA DE SERVICIOS PÚBLICOS

NORMA CONSTANZA SALAS VARGAS
Profesional Especializado

ANDRÉS ALBERTO CHARRY GONZÁLEZ
Profesional Universitario

JAVIER MAURICIO IRIARTE VALDERRAMA
Contratista de Apoyo



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. LOCALIZACIÓN GEOREFERENCIADA DEL PROYECTO	9
2. MEMORIA DETALLADA DEL PROYECTO	12
2.1. Red de recolección y conducción del alcantarillado	12
2.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales	14
2.2.1. PTAR Santa María Principal	14
2.2.1.1. Canaleta de pretratamiento SMP	15
2.2.1.2. Reactores anaerobios de flujo pistón (RAFP-SMP)	19
2.2.1.3. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA-SMP)	21
2.2.1.4. Lechos de secado de lodos SMP	23
2.2.1.5. Unidad de quemado de biogás SMP	23
2.2.2. PTAR Santa María La Nueva	24
2.2.2.1. Canaleta de pretratamiento SMLN	24
2.2.2.2. Reactores anaerobios de flujo pistón (RAFP-SMLN)	28
2.2.2.3. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA-SMLN)	31
2.2.2.4. Lecho de secado de lodos SMLN	32
2.2.2.5. Unidad de quemado de biogás SMLN	32
3. INSUMOS QUIMICOS, FORMAS DE ENERGIA Y PROCESOS USADOS	34
3.1. Naturaleza de insumos o productos químicos	34
3.2. Uso de óxido de calcio en el tratamiento de lodos	34
3.3. Consumo de energía eléctrica en el tratamiento de lodos	35
3.4. Procesos de tratamiento de agua residual doméstica	36
4. PREDICCIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS DERIVADOS DEL VERTIMIENTO	38
4.1. Características generales de la fuente receptora	38
4.2. Características generales de los vertimientos	41
4.2.1. Vertimiento PTAR Santa María Principal	41
4.2.2. Vertimiento PTAR Santa María La Nueva	42
4.3. Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales	43
4.3.1. Identificación de aspectos ambientales	43
4.3.2. Identificación de impactos ambientales	43
4.3.3. Metodología para la valoración de impactos ambientales	44
4.3.4. Análisis de impactos ambientales	46
5. PREDICCIÓN DE IMPACTOS CON MODELOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA	48

5.1. Metodología aplicada en el modelo de simulación	48
5.2. Información básica alimentadora del modelo de simulación	49
5.3. Modelación con escenario de caudal medio y remoción actual en vertimiento PTAR 1	51
5.4. Modelación con escenario de caudal medio y remoción actual en vertimiento PTAR 2	56
5.5. Modelación de la concentración de DBO en vertimiento PTAR 1	59
5.6. Modelación de la concentración de DBO en vertimiento PTAR 2	61
5.7. Resultados del modelo de Streeter and Phelps	62
6. MANEJO DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA GESTIÓN DEL VERTIMIENTO.....	64
6.1. Origen de los residuos sólidos.....	64
6.2. Manejo y disposición final de residuos sólidos	64
6.3. Origen de los residuos líquidos.....	65
6.4. Disposición final y manejo de los residuos líquidos.....	65
6.5. Residuos asociados directamente al vertimiento	65
7. DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS POR LOS VERTIMIENTOS Y MEDIDAS PARA PREVENIR, MITIGAR, CORREGIR Y COMPENSAR	67
8. INCIDENCIA DEL PROYECTO EN LA CALIDAD DE VIDA O EN LAS CONDICIONES ECONOMICAS, SOCIALES Y CULTURALES DE LOS HABITANTES DEL SECTOR ALEDAÑO A LAS PTAR	72
9. ESTUDIOS TECNICOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE DESCARGA DE LOS VERTIMIENTOS	73
9.1. Cabezote de descarga del vertimiento PTAR Santa María Principal	73
9.2. Cabezote de descarga del vertimiento PTAR Santa María La Nueva	75
BIBLIOGRAFIA	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localización general del sistema de alcantarillado Santa María	9
Figura 2 - Localización detallada de las PTAR de Santa María	10
Figura 3 - Esquema general ubicación fuente receptora y vertimientos en Santa María	10
Figura 4 - Simulación hidráulica proyectada al año 2040 en alcantarillado de Santa María	14
Figura 5 - Aliviadero inicial de aguas lluvias en PTAR Santa María Principal.....	15
Figura 6 - Aliviadero inicial de aguas crudas en PTAR Santa María Principal.....	16
Figura 7 - Rejillas de cribado en paralelo en PTAR Santa María Principal.....	16
Figura 8 - Unidades para desarenado en PTAR Santa María Principal.....	17
Figura 9 - Aforador de caudal – canaleta parshall – en PTAR Santa María Principal.....	18
Figura 10 - Aliviadero intermedio tratamiento primario en PTAR Santa María Principal.....	18
Figura 11 - Canal de repartición de caudales en PTAR Santa María Principal	19
Figura 12 - Reactores anaerobios de flujo pistón – RAFP en PTAR Santa María Principal.....	20
Figura 13 - Cajilla de válvulas de lodos del RAFP y FAFA en PTAR Santa María Principal.....	20
Figura 14 - Filtros anaerobios de flujo ascendente – FAFA en PTAR Santa María Principal.....	21
Figura 15 - Rosetón en PVC – FAFA en PTAR Santa María Principal	22
Figura 16 - Pozo de bombeo con electrobomba en línea hacia lecho de secado de lodos.....	22
Figura 17 – Lechos de secado de lodos en PTAR Santa María Principal.....	23
Figura 18 - Unidad quemadora de biogás en PTAR Santa María Principal.....	24
Figura 19 - Aliviadero inicial de aguas lluvias en PTAR Santa María La Nueva.....	25
Figura 20 - Rejillas de cribado en paralelo en PTAR Santa María La Nueva.....	26
Figura 21 - Unidades para desarenado en PTAR Santa María La Nueva.....	27
Figura 22 - Aforador de caudal – canaleta parshall - en PTAR Santa María La Nueva.....	27
Figura 23 - Aliviadero intermedio tratamiento primario en PTAR Santa María La Nueva.....	28
Figura 24 - Canal de repartición de caudales en PTAR Santa María La Nueva.....	29
Figura 25 - Reactores anaerobios de flujo pistón – RAFP en PTAR Santa María La Nueva.....	29
Figura 26 - Cajilla de válvulas en RAFP y FAFA en PTAR Santa María La Nueva.....	30
Figura 27 - Válvula de evacuación de lodos del RAFP en PTAR Santa María La Nueva.....	30
Figura 28 - Filtros anaerobios de flujo ascendente FAFA en PTAR Santa María La Nueva.....	31
Figura 29 - Pozo de bombeo con electrobomba en línea hacia lecho de secado de lodos.....	32
Figura 30 - Lechos de secado de lodos en PTAR Santa María La Nueva.....	33
Figura 31 - Unidad de quemado de biogás en PTAR Santa María La Nueva.....	33
Figura 32 - Curva característica de déficit de oxígeno disuelto en una corriente de agua.....	49
Figura 33 - Comportamiento del oxígeno disuelto vs distancia en vertimiento PTAR 1	55
Figura 34 - Comportamiento del déficit de oxígeno vs distancia en vertimiento PTAR 1	55

Figura 35 - Comportamiento del oxígeno disuelto vs distancia en vertimiento PTAR 2.....	58
Figura 36 - Comportamiento del déficit de oxígeno vs distancia en vertimiento PTAR 2.....	58
Figura 37 - Comportamiento del DBO vs distancia/tiempo en vertimiento PTAR 1.....	60
Figura 38 - Comportamiento del DBO vs distancia/tiempo en vertimiento PTAR 2.....	62
Figura 39 - Esquema isométrico cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María Principal....	73
Figura 40 - Vista lateral cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María Principal.....	74
Figura 41 - Cabezal de descarga vertimiento PTAR Santa María Principal	74
Figura 42 - Esquema isométrico cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva...	75
Figura 43 - Vista lateral cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva.....	76
Figura 44 - Cabezal de descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Consumos energéticos de las dos PTAR en la zona urbana de Santa María	35
Tabla 2 - Resultados caracterización fuente receptora – Río Baché	38
Tabla 3 - Variables del ICA y sus ponderaciones	39
Tabla 4 - Relación de categorías de valores del ICA y la calificación de la calidad del agua	40
Tabla 5 - Resultado del cálculo del ICA para los puntos de muestreo sobre el Río Baché	40
Tabla 6 - Resultados de calidad de agua en vertimiento PTAR 1 Santa María Principal	42
Tabla 7 - Resultados de calidad de agua en vertimiento PTAR 2 Santa María La Nueva	42
Tabla 8 - Impactos ambientales potenciales para el vertimiento según Conesa 1997	44
Tabla 9 - Atributos para valoración de impactos según Conesa 1997	45
Tabla 10 - Categorías para la valoración de impactos ambientales según Conesa 1997	46
Tabla 11 - Valoración de impactos ambientales generados por el sistema de tratamiento	47
Tabla 12 - Parámetros iniciales alimentadores de la simulación	49
Tabla 13 - Resultados del modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 1	54
Tabla 14 - Resultados del modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 2	57
Tabla 15 - Parámetros aplicados para hallar DBO en la fuente, según vertimiento PTAR 1	59
Tabla 16 - Resultados DBO en el modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 1	60
Tabla 17 - Parámetros aplicados para hallar DBO en la fuente, según vertimiento PTAR 2	61
Tabla 18 - Resultados DBO en el modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 2	61
Tabla 19 - Clasificación de los residuos sólidos	64
Tabla 20 - Manejo y disposición final de los residuos sólidos	65
Tabla 21 - Residuos asociados directamente al vertimiento	66
Tabla 22 - Ficha de manejo ambiental 1 - aspecto ambiental descarga del vertimiento PTAR ...	68
Tabla 23 - Ficha de manejo ambiental 2 - aspecto ambiental generación de residuos de lodos..	69
Tabla 24 - Ficha de manejo ambiental 3 - aspecto ambiental generación y emisión de olores....	71
Tabla 25 - Incidencias del proyecto en la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia	72

INTRODUCCIÓN

La Sociedad Aguas del Huila, Servicios Integrales, Infraestructura, Consultoría y Administración S.A. E.S.P. mediante Contrato de Concesión No. 161 de 2022, se encarga de la administración, operación y mantenimiento de los servicios de acueducto y alcantarillado en la zona urbana del municipio de Santa María, servicios que a la fecha cuentan con una cobertura del 100%.

En términos particulares sobre la prestación del servicio de alcantarillado, la Sociedad Aguas del Huila, Servicios Integrales, Infraestructura, Consultoría y Administración S.A. E.S.P. realiza actividades de operación y mantenimiento preventivo y correctivo a los sistemas que conforman tanto la red de recolección y transporte de las aguas residuales urbanas, como de los sistemas de tratamiento de agua residual doméstica. Lo anterior, lo hace responsable de la condición legal ante la autoridad ambiental, de las descargas y vertimientos que se generan en las dos PTAR existentes en el sistema de alcantarillado.

Dada la configuración y naturaleza propia del sistema de alcantarillado de la zona urbana del municipio de Santa María, el permiso de vertimientos a cuerpos de agua es el concepto de legalidad que debe tener la empresa, como quiera que en la actualidad el sistema tiene una cobertura del 100% incluyendo el tratamiento de sus aguas residuales domésticas, según como dice el Art. 2.2.3.3.5.1. del Decreto 1076 de 2015 *“Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.”*

Dentro de los requisitos para la solicitud del permiso de vertimientos a cuerpos de agua, existe la EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO, la cual predice y valora los impactos que puedan generarse y/o derivarse de la operación y mantenimiento de los vertimientos existentes en el sistema de alcantarillado, incluida su PTAR. En este caso particular sobre las dos PTAR existentes en la zona urbana del municipio de Santa María.

Con la necesidad de cumplir con la protección de los sistemas hídricos y realizar la gestión adecuada de los residuos domésticos, en la Sociedad Aguas del Huila, Servicios Integrales, Infraestructura, Consultoría y Administración S.A. E.S.P. realiza el tratamiento biológico de agua residual doméstica para su respectiva descarga en el río Baché, que recoge el agua de diferentes descargas residuales de la zona.

1. LOCALIZACIÓN GEOREFERENCIADA DEL PROYECTO

El municipio de Santa María se encuentra ubicado en el noroccidente del departamento del Huila, en el costado oriental de la cordillera central, a una distancia de 54 km de Neiva, capital del departamento de Huila, tiene una extensión de 313,74 km², de los cuales el 0,15% corresponden a la cabecera municipal, limita al norte con el departamento del Tolima y con el municipio de Palermo, al oriente con el municipio de Palermo, al sur con los municipios de Palermo y Teruel y al occidente con el municipio de Teruel y el departamento del Tolima.

El sistema de tratamiento de agua residual del municipio de Santa María se encuentra ubicado en el perímetro urbano del municipio y tiene asociado dos vertimientos de aguas residuales provenientes de un alcantarillado combinado, los cuales se localizan en los predios elegidos para la ubicación de las respectivas PTAR

El primer vertimiento corresponde a la PTAR Santa María Principal ubicada en el LOTE TRES en la vereda La Esperanza y actualmente opera en promedio de 9,23 L/s funcionando las 24 horas al día y descargando su vertimiento al Río Baché.

El segundo vertimiento corresponde a la PTAR Santa María La Nueva ubicada en el LOTE UNO MEGACOLEGIO DOS en la vereda San Miguel, la cual tiene la capacidad de tratar un caudal de 2,05 L/s, funcionando las 24 horas al día y descargando su vertimiento al Río Baché.

En las Figuras 1 y 2 se muestra la localización general y detallada del proyecto.



Figura 1 – Localización general del sistema de alcantarillado Santa María

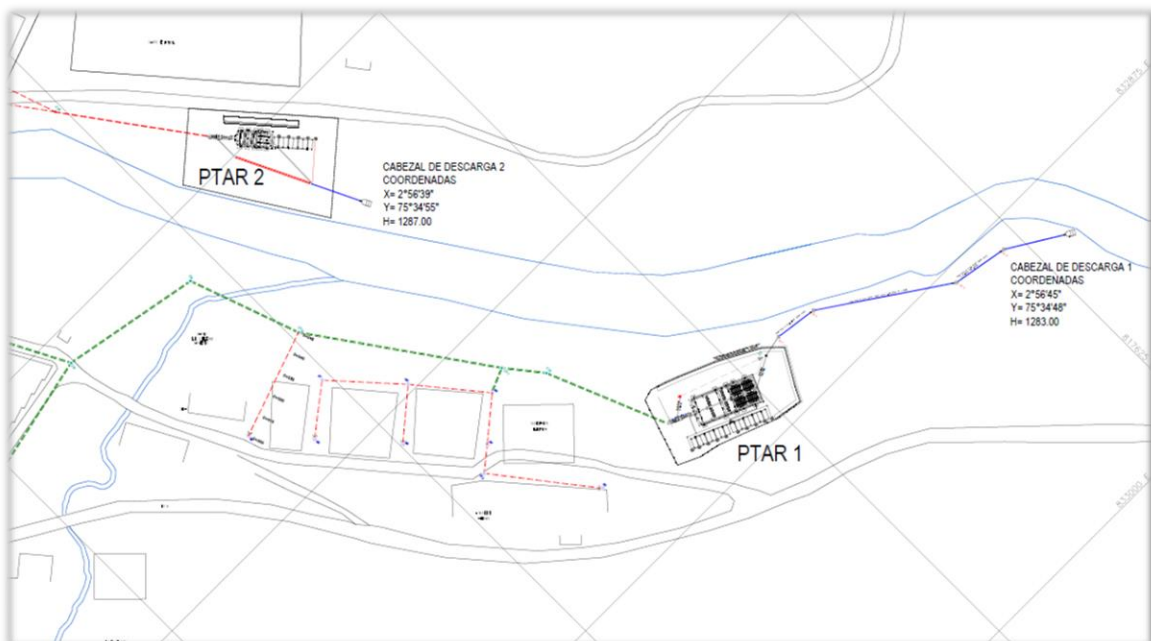


Figura 2 – Localización detallada de las PTAR de Santa María

En su forma general, el sistema se integra como muestra el siguiente esquema en la Figura 3, el cual evidencia seis puntos claves en el análisis de la evaluación ambiental del vertimiento.

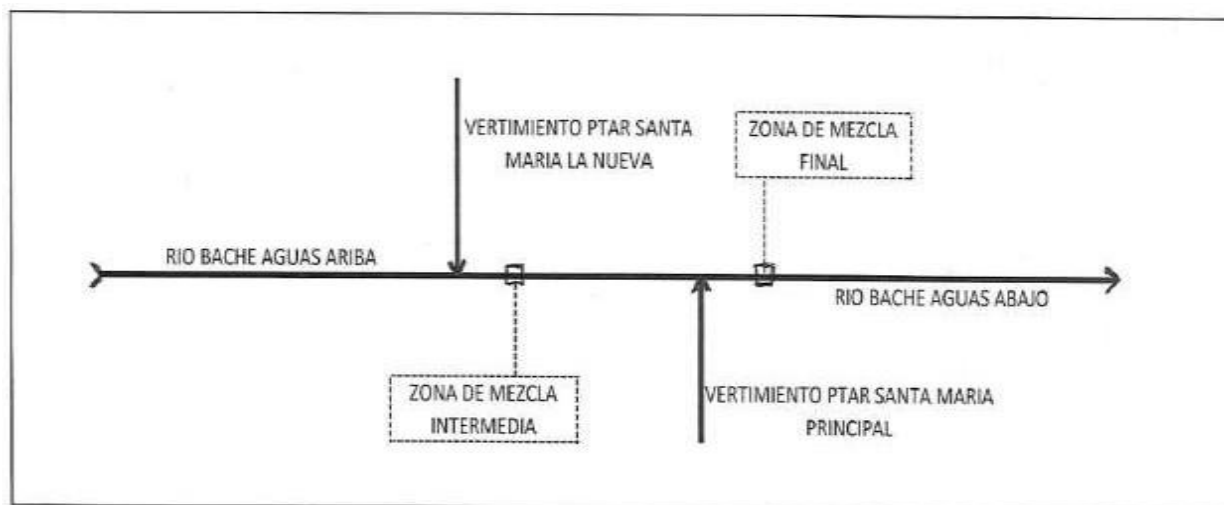


Figura 3 – Esquema general de ubicación de la fuente receptora y los vertimientos en Santa María

Punto 1 – Fuente Receptora – Rio Baché aguas arriba

Latitud N: 2° 56' 36''
Longitud W: -75° 34' 59''
Altitud: 1291 msnm

Punto 2 – Vertimiento PTAR 2 Santa Maria La Nueva

Latitud N: 2° 56' 39''
Longitud W: -75° 34' 55''
Altitud: 1287 msnm

Punto 3 – Vertimiento PTAR 1 Santa Maria Principal

Latitud N: 2° 56' 45''
Longitud W: -75° 34' 48''
Altitud: 1283 msnm

Punto 4 – Fuente Receptora – Rio Baché aguas abajo

Latitud N: 2° 56' 47''
Longitud W: -75° 34' 46''
Altitud: 1280 msnm

2. MEMORIA DETALLADA DEL PROYECTO

A continuación, se describen las unidades que conforman el sistema de gestión del vertimiento en el casco urbano del municipio de Santa María.

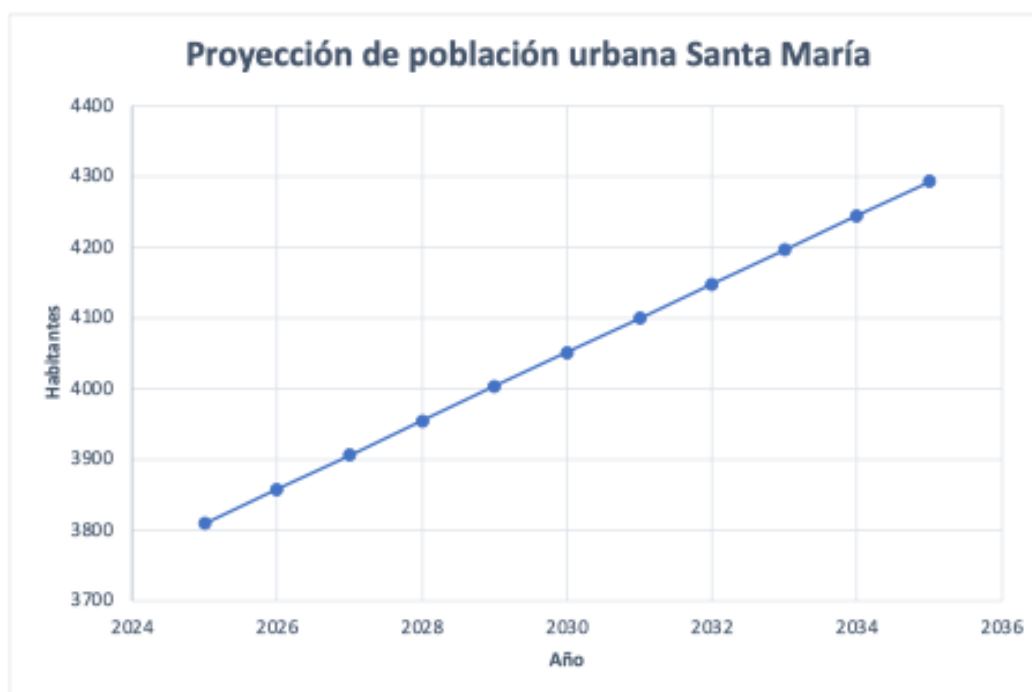
2.1. Red de recolección y conducción del alcantarillado

En consideración al estado actual del sistema de alcantarillado del municipio de Santa María y de acuerdo con el catastro de redes y la modelación hidráulica realizada en cumplimiento del compromiso contractual para la formulación del Plan Maestro de Alcantarillado de Santa María Fase II se puede mencionar lo siguiente:

El caudal de diseño está considerado para el año 2040, con un valor de 84,26 L/s utilizando para la modelación el software libre EPA SWMM 5.0, modelo dinámico de simulación que permite a través de su módulo de transporte o hidráulico, el análisis del recorrido de las aguas residuales domésticas o lluvias, a través de un sistema compuesto por tuberías, y otros dispositivos dentro de la red de alcantarillado.

De acuerdo con el Informe de Diagnóstico de Análisis de Alternativas y de Catastro del Municipio de Santa María, el aporte de aguas residuales de los sistemas de tratamiento corresponde a la población urbana del municipio de Santa María, que para el año 2025 corresponde a 3809 habitantes, incluida su población flotante, dato que se obtiene de la siguiente tabla demográfica:

Año	POBLACION RESIDENTE	TASA DE CRECIMIENTO	POBLACION FLOTANTE	TOTAL POBLACION
2025	3698	1.29%	111	3809
2026	3745	1.27%	112	3857
2027	3792	1.26%	114	3906
2028	3839	1.24%	115	3954
2029	3886	1.22%	117	4003
2030	3933	1.21%	118	4051
2031	3980	1.20%	119	4099
2032	4027	1.18%	121	4148
2033	4074	1.17%	122	4196
2034	4121	1.15%	124	4245
2035	4168	1.14%	125	4293



Proyección de la Población urbana - Municipio de Santa María

El caudal de diseño está considerado para el año 2040, con un valor de 84,26 L/s utilizando para la modelación el software libre EPA SWMM 5.0, modelo dinámico de simulación que permite a través de su módulo de transporte o hidráulico, el análisis del recorrido de las aguas residuales domésticas o lluvias, a través de un sistema compuesto por tuberías, y otros dispositivos dentro de la red de alcantarillado.

Las redes de alcantarillado en su mayoría fueron construidas hacia el año 1987, es decir más de treinta y siete (37) años. Este sistema de alcantarillado es de tipo sanitario, aunque funciona como un alcantarillado combinado y tiene una cobertura del 100% en relación con las conexiones domiciliarias. La red de recolección cuenta con 180 pozos de inspección y 226 tramos lineales de alcantarillado sanitario, y aunque con el diagnóstico de plan maestro de alcantarillado regularmente se presentaban problemas en época invernal por el constante rebose de las aguas y por taponamiento de los ductos, con las obras posteriores a esediagnóstico esta situación se ha corregido y mejorado ostensiblemente.

En resumen, la red de tuberías de recolección del alcantarillado, están conformada por 175 tramos de 8", 35 tramos de 10", 13 tramos de 12" y 3 tramos de 14", para un total de 226 tramos que configuran 8.256 metros en total, la gran mayoría en material PVC sanitario.

A continuación, se muestra el resultado gráfico de la simulación hidráulica del sistema de alcantarillado urbano de Santa María – Huila, aplicada al año 2040.

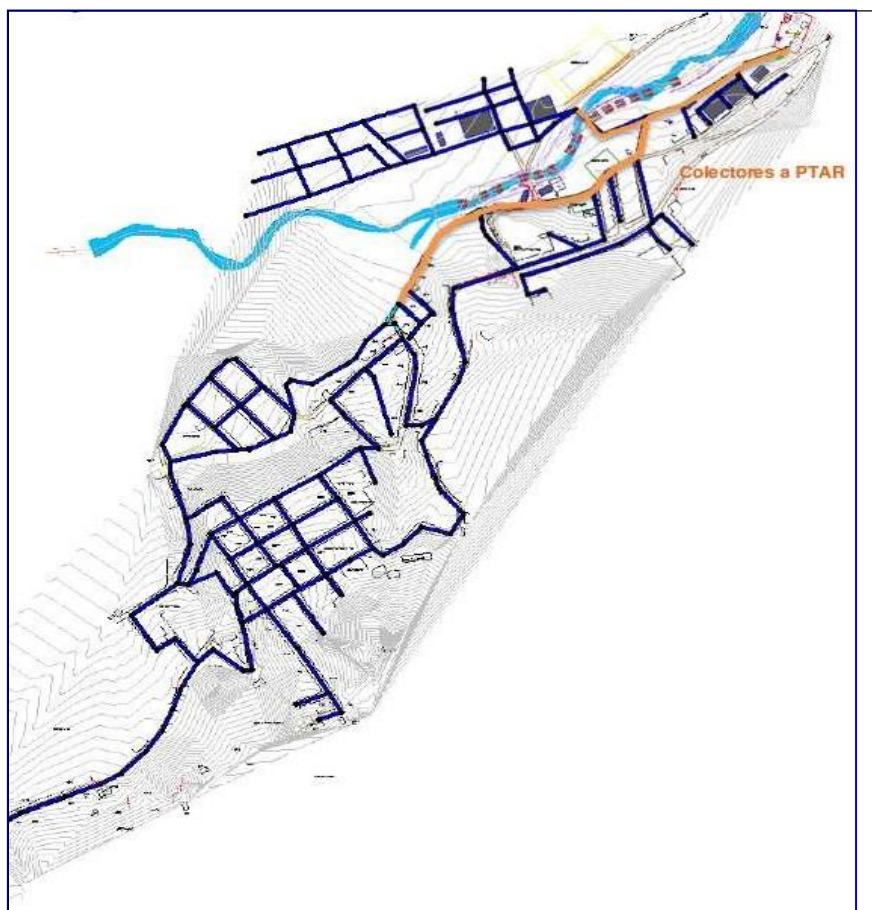


Figura 4– Simulación hidráulica proyectada al año 2040 en alcantarillado de Santa María

2.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

2.2.1. PTAR Santa María Principal

La PTAR Santa María Principal ubicada en el predio LOTE TRES en la vereda La Esperanza está constituida básicamente por las siguientes operaciones de tratamiento:

- Una canaleta de pretratamiento.
- Dos reactores anaerobios de flujo pistón en paralelo (RAFP) con tres etapas cada uno.
- Dos filtros anaerobios de flujo ascendente en paralelo (FAFA) con dos etapas cada uno.
- Ocho cámaras de lecho de secado de lodos.
- Un quemador de biogás.

2.2.1.1. Canaleta de pretratamiento SMP

Aliviadero regulador de caudal inicial de agua pluvial

Las aguas residuales procedentes del alcantarillado del casco urbano del municipio de Santa María, llegan por medio de colectores hasta el colector final de 14" de diámetro. Allí básicamente el agua residual doméstica aumentado en su caudal por efecto de lluvia, entra a la sección que tiene una estructura tipo aliviadero hidráulica destinada a permitir el paso, libre o regulado, siendo el aliviadero en exclusiva para el desagüe es decir como medida de seguridad en caso de aumentos excesivos de lluvia (Figura 5).



Figura 5 - Aliviadero inicial de aguas lluvias en PTAR Santa María Principal

Aliviadero regulador de caudal inicial de agua cruda

El agua residual entra a la canaleta de pretratamiento por una sección que tiene una estructura tipo aliviadero hidráulica destinada a permitir el paso, libre o controlado, siendo el aliviadero en exclusiva para el desagüe es decir como medida de seguridad en caso de aumentos excesivos de caudales (Figura 6). El instrumento para controlar caudal de agua, es la compuerta de acción manual en acero inoxidable, la cual permite el paso normal de agua hacia el sistema de tratamiento.



Figura 6 - Aliviadero inicial de aguas crudas en PTAR Santa María Principal

Rejillas de cribado



Figura 7- Rejillas de cribado en paralelo en PTAR Santa María Principal

Después de entrar a la canaleta de pretratamiento, son conducidas hasta una estructura de entrada compuesta por dos módulos; cada uno de ellos consta de una estructura de rejilla de cribado donde el agua pasa a través de un canal rectangular y allí atraviesa una rejilla metálica con espacio entre barra y barra de $\frac{3}{4}$ pulgada con una inclinación de 45° ; en esta estructura quedan retenidos los sólidos gruesos y flotantes, los cuales son removidos manualmente hacia un escurridor de residuos sólidos en acero inoxidable, los cuales se encuentran en buen estado. (Figura 7).

Desarenadores en paralelo

De la zona de cribado el agua pasa a la unidad de desarenado compuesta por dos cámaras de flujo horizontal, donde se retienen las partículas pesadas, este módulo está compuesto por dos desarenadores en paralelo de velocidad constante, provistas de caja de fondo en donde se recolectan las arenas para su evacuación manual mediante palas y carretillas, las cuales se encuentran en buenas condiciones de mantenimiento (Figura 8). Estas unidades están provistas de las respectivas compuertas en acero inoxidable de acción manual, las cuales sirven para aislar alternadamente cada una de las unidades, para cuando se implementen las respectivas rutinas de mantenimiento.



Figura 8 - Unidades para desarenado en PTAR Santa María Principal

Canaleta Parshall

Posterior a la zona de desarenado pasa por un aforador de agua, instalado por medio de la canaleta parshall de 6 pulgadas. (Figura 9).



Figura 9 - Aforador de caudal – canaleta parshall – en PTAR Santa María Principal

Aliviadero regulador de caudal intermedio de agua con tratamiento primario



Figura 10 - Aliviadero intermedio de aguas con tratamiento primario en PTAR Santa María Principal

El agua residual con tratamiento primario tiene un aliviadero hidráulico destinado para evitar excesos de caudal hacia la zona de tratamiento biológico, sobre todo cuando se hace mantenimiento a los reactores biológicos. (Figura 10). El instrumento para controlar caudal de agua, es la compuerta de acción manual en acero inoxidable, la cual permite el paso normal de agua hacia el sistema de tratamiento biológico.

Canal de repartición de caudal hacia reactores biológicos

Esta estructura divide y reparte el caudal de agua tratada en la canaleta de tratamiento primario, sobre dos secciones en paralelo de reactores anaerobios de flujo pistón, cada uno de los cuales, tiene su respectiva compuerta de acción manual en acero inoxidable, para actuar en modo operación y en modo mantenimiento. Además, en esta estructura sirve como trampa de grasas flotantes (Figura 11).



Figura 11 - Canal de repartición de caudales en PTAR Santa María Principal

2.2.1.2. Reactores anaerobios de flujo pistón (RAFP-SMP)

La PTAR Santa María Principal posee dos reactores RAFP, cada uno de los cuales tiene tres cámaras de sedimentación a flujo libre en serie, en las cuales el material sedimentable se decanta, produciendo así un líquido libre de sedimentos sobre el cual las bacterias anaerobias contenidas en el agua residual doméstica, mediante procesos bioquímicos descomponen la materia orgánica y se forman tres capas bien definidas: una capa de lodos en el fondo; una capa flotante de natas en la superficie y la capa intermedia líquida que es la que fluye hacia afuera en la medida que entran las aguas negras (Figura 12).



Figura 12 - Reactores anaerobios de flujo pistón – RAFP en PTAR Santa María Principal

Cada cámara de sedimentación dentro del RAFP está provista de su respectiva cajilla en concreto que contiene su válvula de evacuación de lodos sedimentados debidamente interconectados y con línea de flujo hacia los lechos de secado de lodos y además contiene sus respectivos manholes de inspección y limpieza (Figura 13).



Figura 13 - Cajilla de válvulas de lodos del RAFP y FAFA en PTAR Santa María Principal

2.2.1.3. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA-SMP)

La PTAR Santa María Principal posee dos reactores RAFP, los cuales a su vez tienen de forma complementaria, dos cámaras de lecho inmovilizado cargados con rosetón en PVC, allí las aguas residuales provenientes del RAFP ingresan a estos por el fondo y fluyen de forma ascendente a través del cuerpo poroso, llevándola al contacto con una fina biopelícula de microorganismos adheridos a la superficie, o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia, permitiendo alcanzar niveles de eficiencia cercanos a una condición completa de la digestión de los lodos (Figura 14).

El agua residual en proceso después de atravesar el lecho filtrante que contiene las bacterias anaerobias inmovilizadas, son descargadas por rebose hidráulico de cámara a cámara y finalmente hacia el efluente de la PTAR. Cada cámara componente del FAFA está provista de su respectiva cajilla en concreto que contiene su válvula de evacuación de lodos sedimentados debidamente interconectados y con línea de flujo hacia los lechos de secado de lodos y además contiene sus respectivos manholes de inspección y limpieza.

El pozo de bombeo alimentador de flujo de los lechos de secado de lodos, recoge las aguas en proceso, provenientes de los sedimentadores del RAFP y de los FAFA, cada vez que sea necesario realizar el desenlode, para lo cual cuenta con una válvula previa a la electrobomba dispuesta en el pozo (Figura 16).



Figura 14 - Filtros anaerobios de flujo ascendente – FAFA en PTAR Santa María Principal



Figura 15 - Rosetón en PVC – FAFA en PTAR Santa María Principal.



Figura 16 - Pozo de bombeo con electrobomba en línea hacia lecho de secado de lodos
– FAFA en PTAR Santa María Principal.

2.2.1.4. Lechos de secado de lodos SMP

Cuenta con ocho cámaras de lecho de secado de lodos lecho de gravas que actúan como soporte de una capa de veinte (20) centímetros de arena de material filtrante retenedora de los lodos, cada una de las cuales posee su respectiva válvula de control de flujo de lodos proveniente de las cajillas que contienen las válvulas de control de evacuación de lodos desde los RAFP y FAFA (Figura 17).



Figura 17 – Lechos de secado de lodos en PTAR Santa María Principal

2.2.1.5. Unidad de quemado de biogás SMP

El biogás generado en las cámaras del RAFP y del FAFA se acumula en la zona superior de estos y es recolectado por tuberías conectadas al interior de los mismos, los cuales debido a su hermeticidad son conducidos, hasta la unidad dispuesta para el quemado de los gases. Para ello se dispone de una unidad de quemado de gases en acero inoxidable (Figura 18).



Figura 18 - Unidad quemadora de biogás en PTAR Santa María Principal

2.2.2. PTAR Santa María La Nueva

La PTAR Santa María La Nueva ubicada en el predio LOTE UNO MEGACOLEGIO DOS en la vereda SanMiguel está constituida básicamente por las siguientes operaciones de tratamiento:

- Una canaleta de pretratamiento.
- Dos reactores anaerobios de flujo pistón en paralelo (RAFP) con tres etapas cada uno.
- Dos filtros anaerobios de flujo ascendente en paralelo (FAFA) con dos etapas cada uno.
- Cuatro cámaras de lecho de secado de lodos.
- Un quemador de biogás.

2.2.2.1. Canaleta de pretratamiento SMLN

Aliviadero regulador de caudal inicial de agua pluvial

Las aguas residuales procedentes del alcantarillado del casco urbano del municipio de Santa María, llegan por medio de colectores hasta el colector final de 14" de diámetro.

Esta estructura, se encuentra dentro del misma área de la PTAR, allí básicamente el agua residual doméstica aumentado en su caudal por efecto de lluvia, entra a la sección que tiene una estructura tipo aliviadero hidráulica destinada a permitir el paso, libre o regulado, siendo el

aliviadero en exclusiva para el desagüe es decir como medida de seguridad en caso de aumentos excesivos de lluvia.

Aliviadero regulador de caudal inicial de agua cruda

El agua residual entra a la canaleta de pretratamiento por una sección que tiene una estructura tipo aliviadero hidráulica destinada a permitir el paso, libre o controlado, siendo el aliviadero en exclusiva para el desagüe es decir como medida de seguridad en caso de aumentos excesivos de caudales (Figura 19). El instrumento para controlar caudal de agua, es la compuerta de acción manual en acero inoxidable, la cual permite el paso normal de agua hacia el sistema de tratamiento.



Figura 19 - Aliviadero inicial de aguas lluvias en PTAR Santa María La Nueva

Rejillas de cribado

Después de entrar a la canaleta de pretratamiento, son conducidas hasta una estructura de entrada compuesta por dos módulos; cada uno de ellos consta de una estructura de rejilla de cribado donde el agua pasa a través de un canal rectangular y allí atraviesa una rejilla metálica con espacio entre barra y barra de $\frac{3}{4}$ pulgada con una inclinación de 45° ; en esta estructura quedan retenidos los sólidos gruesos y flotantes, los cuales son removidos manualmente hacia un escurridor de residuos sólidos en acero inoxidable, los cuales se encuentran en buen estado (Figura 20).



Figura 20 – Rejillas de cribado en paralelo en PTAR Santa María La Nueva

Desarenadores en paralelo

De la zona de cribado el agua pasa a la unidad de desarenado compuesta por dos cámaras de flujo horizontal, donde se retienen las partículas pesadas, este módulo está compuesto por dos desarenadores en paralelo de velocidad constante, provistas de caja de fondo en donde se recolectan las arenas para su evacuación manual mediante palas y carretillas, las cuales se encuentran en buenas condiciones de mantenimiento (Figura 21). Estas unidades están provistas de las respectivas compuertas en acero inoxidable de acción manual, las cuales sirven para aislar alternadamente cada una de las unidades, para cuando se implementen las respectivas rutinas de mantenimiento.

Canaleta Parshall

Posterior a la zona de desarenado pasa por un aforador de agua, instalado por medio de la canaleta parshall de 6 pulgadas. (Figura 22).

Aliviadero regulador de caudal intermedio de agua con tratamiento primario

El agua residual con tratamiento primario tiene un aliviadero hidráulico destinado para evitar excesos de caudal hacia la zona de tratamiento biológico, sobre todo cuando se hace mantenimiento a los reactores biológicos. (Figura 23). El instrumento para controlar caudal de agua, es la compuerta de acción manual en acero inoxidable, la cual permite el paso normal de agua hacia el sistema de tratamiento biológico.



Figura 21 – Unidades para desarenado en PTAR Santa María La Nueva



Figura 22 – Aforador de caudal – canaleta parshall - en PTAR Santa María La Nueva



Figura 23 – Aliviadero intermedio aguas con tratamiento primario en PTAR Santa María La Nueva

Canal de repartición de caudal hacia reactores biológicos

Esta estructura divide y reparte el caudal de agua tratada en la canaleta de tratamiento primario, sobre dos secciones en paralelo de reactores anaerobios de flujo pistón, cada uno de los cuales, tiene su respectiva compuerta de acción manual en acero inoxidable, para actuar en modo operación y en modo mantenimiento. Además, en esta estructura sirve como trampa de grasas flotantes (Figura 24).

2.2.2.2. Reactores anaerobios de flujo pistón (RAFP-SMLN)

La PTAR Santa María La Nueva posee dos reactores RAFP, cada uno de los cuales tiene tres cámaras de sedimentación a flujo libre en serie, en las cuales el material sedimentable se decanta, produciendo así un líquido libre de sedimentos sobre el cual las bacterias anaerobias contenidas en el agua residual doméstica, mediante procesos bioquímicos descomponen la materia orgánica y se forman tres capas bien definidas: una capa de lodos en el fondo; una capa flotante de natas en la superficie y la capa intermedia líquida que es la que fluye hacia afuera en la medida que entran las aguas negras (Figura 25).

Cada cámara de sedimentación dentro del RAFP está provista de su respectiva cajilla en concreto que contiene su válvula de evacuación de lodos sedimentados debidamente interconectados y con línea de flujo hacia los lechos de secado de lodos y además contiene sus respectivos manholes de inspección y limpieza (Figura 26 y 27).



Figura 24 – Canal de repartición de caudales en PTAR Santa María La Nueva



Figura 25 – Reactores anaerobios de flujo pistón – RAFP en PTAR Santa María La Nueva



Figura 26 – Cajilla de válvulas en RAFP y FAFA en PTAR Santa María La Nueva



Figura 27 – Válvula de evacuación de lodos del RAFP en PTAR Santa María La Nueva

2.2.2.3. Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA-SMLN)

La PTAR Santa María La Nueva posee dos reactores RAFP, los cuales a su vez tienen de forma complementaria, dos cámaras de lecho inmobilizado cargados con rosetón en PVC allí las aguas residuales provenientes del RAFP ingresan a estos por el fondo y fluyen de forma ascendente a través del cuerpo poroso, llevándola al contacto con una fina biopelícula de microorganismos adheridos a la superficie, o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia, permitiendo alcanzar niveles de eficiencia cercanos a una condición completa de la digestión de los lodos (Figura 28).



Figura 28 – Filtros anaerobios de flujo ascendente FAFA en PTAR Santa María La Nueva

El agua residual en proceso después de atravesar el lecho filtrante que contiene las bacterias anaerobias inmobilizadas, son descargadas por rebose hidráulico de cámara a cámara y finalmente hacia el efluente de la PTAR. Cada cámara componente del FAFA está provista de su respectiva cajilla en concreto que contiene su válvula de evacuación de lodos sedimentados debidamente interconectados y con línea de flujo hacia los lechos de secado de lodos y además contiene sus respectivos manholes de inspección y limpieza.

El pozo de bombeo alimentador de flujo de los lechos de secado de lodos, recoge las aguas en proceso, provenientes de los sedimentadores del RAFP y de los FAFA, cada vez que sea necesario realizar el desenlode, para lo cual cuenta con una válvula previa a la electrobomba dispuesta en el pozo (Figura 29).



Figura 29 - Pozo de bombeo con electrobomba en línea hacia lecho de secado de lodos
– FAFA en PTAR Santa María La Nueva.

2.2.2.4. Lecho de secado de lodos SMLN

Cuenta con cuatro cámaras de lecho de secado de lodos lecho de gravas que actúan como soporte de una capa de veinte (20) centímetros de arena de material filtrante retenedora de los lodos, cada una de las cuales posee su respectiva válvula de control de flujo de lodos proveniente de las cajillas que contienen las válvulas de control de evacuación de lodos desde los RAFP y FAFA (Figura 30).

2.2.2.5. Unidad de quemado de biogás SMLN

El biogás generado en las cámaras del RAFP y del FAFA se acumula en la zona superior de estos y es recolectado por tuberías conectadas al interior de los mismos, los cuales debido a su hermeticidad son conducidos, hasta la unidad dispuesta para el quemado de los gases. Para ello se dispone de una unidad de quemado de gases en acero inoxidable (Figura 31).



Figura 30 – Lechos de secado de lodos en PTAR Santa María La Nueva



Figura 31 – Unidad de quemado de biogas en PTAR Santa María La Nueva

3. INSUMOS QUÍMICOS, FORMAS DE ENERGÍA Y PROCESOS USADOS

3.1. Naturaleza de insumos o productos químicos

Las dos PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María fueron diseñadas y construidas bajo el concepto tecnológico de reactores biológicos de tipo anaerobio, de muy bajo costo operativo y con altos niveles de eficiencia en la remoción de materia orgánica. Dentro de la combinación de recursos en el tren de tratamiento se configuran los siguientes componentes:

- Pretratamiento: se utilizan procesos físicos, sin la adición de insumos químicos y/o biológicos y sin requerimientos energéticos.
- Tratamiento secundario: se utilizan procesos biológicos, sin la adición de insumos químicos y/o biológicos y sin requerimientos energéticos.
- Tratamiento complementario: tratamiento de lodos – subproducto de la digestión anaerobia del tratamiento biológico. En este tratamiento existen requerimientos de tipo energético y de insumos químicos.

De todas formas, el uso de insumos químicos se refiere tan solo al uso de óxido de calcio (CaO), para el tratamiento químico en la neutralización de la torta de lodos húmeda, exactamente en los lechos de secado de los lodos.

De igual manera, el requerimiento energético es aplicable solamente cuando se tienen que evacuar los lodos digeridos y sedimentados en el fondo de los reactores biológicos (RAFP y FAFA).

Las frecuencias de uso, del óxido de calcio y del consumo de energía eléctrica para la evacuación de lodos, se refiere a rutinas trimestrales, lo cual hace que el costo operativo sea muy bajo.

3.2. Uso de óxido de calcio en el tratamiento de lodos

En ambas PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María, se utiliza óxido de calcio como agente alcalinizante de la torta húmeda de lodo, lo cual tiene como propósito principal reducir la cantidad de material patógeno presente en el biosólido a formar, esto se consigue llevando el pH de la torta húmeda hasta un nivel mínimo de 11 unidades de pH. Lo anterior, trae como beneficio adicional al momento de realizar el desenlode de los biorreactores, la reducción de olores ofensivos y la disminución en la proliferación de moscas en el entorno, además de generar tortas de lodo susceptible de resquebrajamiento de una forma más rápida, haciendo que los tiempos de secado disminuyan en un 30% aproximadamente.

Entre las dos PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María, se tienen doce (12) lechos de secado de lodos con área de 16 m² cada uno (8 en la PTAR Santa María Principal y 4 en la PTAR Santa María La Nueva), el cálculo de cal utilizada en cada desenlode y uso de un lecho de secado, corresponde a 2 bultos x 50 Kg de óxido de calcio, es decir que en el año se utilizan 3600 Kg de cal (72 bultos x 50 Kg).

3.3. Consumo de energía eléctrica en el tratamiento de lodos

Como se mencionó atrás, entre las dos PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María, el consumo de energía eléctrica está asociado a las rutinas de desenlode de los reactores biológicos (RAFP y FAFA), los cuales se hacen trimestralmente.

Desde la operación y el registro del consumo energético que se ha tenido entre las dos PTAR, a continuación, se muestran algunos valores de consumo bimensual en los últimos veinte meses, teniendo en cuenta que en la PTAR Santa María Principal, se tuvo consumo durante los últimos diez periodos (20 meses) y en la PTAR Santa María La Nueva, tan solo se tuvo consumo durante ocho periodos (16 meses).

PERIODO DE CONSUMO		CONSUMO EN KWH		CONSUMO EN PESOS	
		PTAR 1	PTAR 2	PTAR 1	PTAR 2
INICIAL	FINAL	SM PRINCIPAL	SM LA NUEVA	SM PRINCIPAL	SM LA NUEVA
24-07-2023	23-09-2023	9	1	\$ 7.920	\$ 880
23-09-2023	23-11-2023	8	SIN USO	\$ 7.200	SIN USO
23-11-2023	25-01-2024	8	SIN USO	\$ 7.270	SIN USO
25-01-2024	30-03-2024	12	5	\$ 12.280	\$ 5.120
30-03-2024	27-05-2024	10	8	\$ 10.390	\$ 8.310
27-05-2024	24-07-2024	7	2	\$ 7.270	\$ 2.080
24-07-2024	21-09-2024	5	2	\$ 5.380	\$ 2.150
21-09-2024	23-11-2024	18	1	\$ 20.780	\$ 6.470
23-11-2024	21-01-2025	29	4	\$ 30.230	\$ 4.170
21-01-2025	21-03-2025	28	0	\$ 29.220	\$ 0
PROMEDIO BIMENSUAL		13,4	2,9	\$ 13.794	\$ 3.648
PROMEDIO MENSUAL		6,7	1,5	\$ 6.897	\$ 1.824

Tabla 1 - Consumos energéticos de las dos PTAR en la zona urbana de Santa María – Fuente Propia 2025

Como se puede apreciar, en la PTAR Santa María Principal el promedio de consumo mensual se encuentra en 6,7 Kwh para un valor promedio mensual de \$6.897 y en la PTAR Santa María La Nueva el promedio de consumo mensual se encuentra en 1,5 Kwh para un valor promedio mensual de \$1.824 valores de consumo realmente muy bajos, lo cual concuerda con los requerimientos energéticos de las dos PTAR en la zona urbana del municipio de Santa María.

3.4. Procesos de tratamiento de agua residual doméstica

El tren de tratamiento en las dos PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María tienen como concepto tecnológico central, el de reactores biológicos de tipo anaerobio, aunque se componen estrictamente de la siguiente manera:

Pretratamiento: se utilizan procesos físicos, sin la adición de insumos químicos y/o biológicos y sin requerimientos energéticos.

La canaleta de pretratamiento tiene las siguientes operaciones:

- Control de caudal mediante aliviaderos o reboses hidráulicos.
- Retención de sólidos gruesos mediante rejillas de cribado finos y gruesos.
- Retención de arenas mediante desarenadores hidráulicos.
- Medición de caudal mediante canaleta parshall.

Tratamiento secundario: se utilizan procesos biológicos, sin la adición de insumos químicos y/o biológicos y sin requerimientos energéticos.

En este componente se refiere a los reactores biológicos:

- Reactores anaerobios de flujo pistón (RAFP).
- Filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA).

El tratamiento hace referencia estricta a la digestión anaerobia, la cual puede entenderse a partir de la separación de fases que sucede en el tren de reactores biológicos, es lógico que la capa de lodo formada en el fondo de los reactores RAFP y la capa de natas formadas en la superficie de los reactores RAFP, vayan aumentando paulatinamente y por lo tanto se hace necesario evacuarlas periódicamente, según el uso que haya tenido el sistema. El material sedimentable decantado se descompone bajo condiciones anaerobias por acción de los microorganismos presentes en las aguas residuales, disminuyendo su volumen original y la fracción orgánica, lo que da como resultado el aumento en el contenido de sólidos totales.

El proceso de descomposición de la materia sedimentable y la presencia de aceites y grasas da origen a la formación de natas que se ubican en la parte superior de los tanques y a la producción de gases que deben ser eliminados a través de un sistema de recolección y evacuación en el mismo tanque.

La acción fundamental del RAFP sobre la materia orgánica sedimentable es la hidrólisis, la que se realiza básicamente en dos etapas para facilitar la estabilización de la materia suspendida y soluble remanente en etapas posteriores por acción de los microorganismos aerobios:

- 1) por medio de bacterias formadoras de ácidos
- 2) por medio de bacterias formadoras de metano.

Este proceso de hidrólisis se desarrolla por medio de bacterias formadoras de ácidos y metano, justo en la zona intermedia o de decantación, por lo que siempre debe mantenerse su volumen útil tanto para favorecer el proceso de hidrólisis como el de sedimentación de modo que no escape material sedimentable hacia etapas posteriores.

Posteriormente la función del filtro, también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir su carga contaminante de las aguas servidas. El agua servida es alimentada al filtro a través del fondo, construido de forma a que permita distribuir el flujo en forma uniforme en toda la sección del filtro. El agua para tratar se hace pasar a través de un cuerpo poroso, llevándola al contacto con una fina biopelícula de microorganismos adheridos a la superficie, o floculados, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia.

Tratamiento complementario: tratamiento de lodos – subproducto de la digestión anaerobia del tratamiento biológico. En este tratamiento existen requerimientos de tipo energético y de insumos químicos.

Entre las dos PTAR de la zona urbana del municipio de Santa María, se tienen 12 cámaras de lecho de secado de lodos, lecho de gravas que actúan como soporte de una capa de veinte (20) centímetros de arena de material filtrante retenedora de los lodos. La evaporación se realiza rápidamente en lechos abiertos o cubiertos durante climas cálidos, pero mucho más lento durante las lluvias, nevadas o climas extremadamente fríos. El lodo crudo o parcialmente digerido no se deshidrata rápidamente en los lechos de secado y la presencia de lodos frescos y grasas descargados conjuntamente con los lodos digeridos retarda seriamente el proceso de secado.

Cuando el lodo digerido es depositado en un lecho de secado compuesto de arena y grava, los gases tienden a escapar y hacer flotar los sólidos dejando una capa de líquido relativamente clara en la capa superior de arena la cual es drenada rápidamente por el lecho de secado. La mayor proporción de este líquido drena en menos de un día. Después de un corto período de tiempo, la evaporación es el factor más importante del proceso de secado del lodo. Conforme el líquido continúa infiltrándose a través de la arena y el proceso de evaporación continua, el lodo se encoge horizontalmente produciéndose rajaduras en su superficie la cual acelera la evaporación en virtud del incremento de la superficie de lodo seco expuesto al aire.

Estas estructuras poseen de igual manera la respectiva cubierta para prevenir el efecto de la lluvia en el retardo del secado de los lodos. Los lodos mineralizados con aproximadamente 95% de humedad son dispuestos en lechos de secado como un fluido ligeramente viscoso, inodoro y de color negruzco, en donde se secan hasta alcanzar una humedad manejable que permita su aprovechamiento o disposición final.

4. PREDICCIÓN Y VALORACION DE IMPACTOS DERIVADOS DEL VERTIMIENTO

La predicción y valoración de los impactos ambientales se hará con base en la calidad del agua de los vertimientos generados por los sistemas de tratamiento de agua residual con los que cuenta actualmente el municipio de Santa María en su zona urbana y desde allí soportar la necesidad de la gestión del vertimiento, considerando los impactos sobre la calidad del agua sobre la fuente receptora.

4.1. Características generales de la fuente receptora

La mejor descripción actual de la calidad del agua de la fuente receptora (Río Baché) de los vertimientos del alcantarillado del casco urbano de Santa María, está consignado en el Informe de Resultados del monitoreo realizado a los vertimientos PTAR 1 y 2, y fuente receptora Río Baché realizados durante los días 18 y 19 de noviembre de 2024. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos en dicha caracterización.

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUA SUPERFICIAL - RIO BACHÉ			
PARAMETRO ANALIZADO	UNIDADES	RIO BACHE	
		AGUAS ARRIBA	AGUAS ABAJO
TEMPERATURA	°C	19,3	20,3
CAUDAL	L/s	6895	6899
PH	unidades pH	7,86	7,90
OXIGENO DISUELTO	mg O/L	8,31	8,20
SATURACION DE OXIGENO	%	107,2	105,6
DBO5	mg O/L	2,93	11,00
DQO	mg O/L	6,3	17,3
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	113	139
TURBIEDAD	NTU	110	40
FOSFORO TOTAL	mg P/L	< 1	< 1
NITROGENO TOTAL	mg N/L	< 5,00	7,60
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg /L	62	72
SST	mg /L	180	138
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	280	220

Tabla 2 - Resultados caracterización fuente receptora – Río Baché
Fuente: onitoreo ARD y fuente receptora 2024

Con estos resultados se determinaron los Indicadores de Calidad de Agua (ICA) aplicados sobre los puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo del par de vertimientos de agua residual tratada en las respectivas PTAR de la zona urbana de Santa María.

En el Estudio Nacional del Agua (ENA) se adoptó la metodología UWQI (Universal Water Quality Index), la cual fue desarrollada y aplicada con el fin de obtener un índice simplificado para establecer la calidad de agua usada para el consumo humano. Para el cálculo se emplea una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada, cuya estructura de cálculo es la que se presenta en la siguiente ecuación (Torres et al., 2009):

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i \quad (1)$$

Donde W_i es el peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro y I_i es el subíndice del i -ésimo parámetro.

El indicador se puede calcular con un diferente conjunto de variables medidas, cuya cantidad y tipo depende de la disponibilidad de datos y de las diferentes presiones contaminantes a las cuales están sometidas las distintas corrientes de agua superficial.

El IDEAM (2015) adoptó seis variables básicas: oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno y relación nitrógeno total/fósforo total (García, Vargas, Onofre, Aguirre & Sánchez, 2011). Sin embargo, en caso de no tener disponibles datos de la relación de nutrientes, es posible realizar el cálculo únicamente con 5 variables. Esto puede sintetizarse en la Tabla 3, donde se aprecian las variables del ICA y sus ponderaciones con 5 o 6 variables, según sea el caso.

VARIABLES DEL ICA Y SUS PONDERACIONES			
VARIABLES	UNIDADES	PESO DE IMPORTANCIA 1 (5 variables)	PESO DE IMPORTANCIA 2 (6 variables)
OXIGENO DISUELTO - OD	% Saturacion	0,2	0,17
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES - SST	mg /L	0,2	0,17
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO - DQO	mg /L	0,2	0,17
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA - CE	uS/cm	0,2	0,17
NITROGENO TOTAL / FOSFORO TOTAL	mg N/ mg P	-	0,17
POTENCIAL DE HIDROGENO - PH	unidades	0,2	0,15

Tabla 3 - Variables del ICA y sus ponderaciones

Los valores calculados del indicador se comparan con los establecidos en tablas de categorización permitiéndose clasificar la calidad del agua de forma descriptiva en una de cinco categorías (buena, aceptable, regular, mala o muy mala) que a su vez se asocian a un determinado color (azul, verde, amarillo, naranja y rojo, respectivamente). La comparación temporal de la calidad del agua calificada mediante las cinco categorías y colores simplifica la interpretación, la identificación de tendencias (deterioro, estabilidad o recuperación) y la toma de decisiones por cuenta de las diferentes autoridades.

En la Tabla 4 se registra la relación entre las categorías de valores del indicador ICA y la calificación de la calidad del agua:

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Tabla 4 - Relación de categorías de valores del ICA y la calificación de la calidad del agua

En la Tabla 5 se muestra el resultado del cálculo del ICA en los puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo, para la fuente receptora - Río Baché -.

Punto	Parámetro	Resultado	Ponderación	Indice	Wi*I	ICA	Calificación
RIO BACHE AGUAS ARRIBA	%Saturación O.D.	107,2	0,17	0,93	0,16	0,69	REGULAR
	SST	180	0,17	0,48	0,08		
	DQO	6,3	0,17	0,91	0,15		
	Conductividad	113	0,17	0,69	0,12		
	pH	7,86	0,15	1,00	0,15		
	Relación NT/PT	5	0,17	0,15	0,03		
Punto	Parámetro	Resultado	Ponderación	Indice	Wi*I	ICA	Calificación
RIO BACHE AGUAS ABAJO	%Saturación O.D.	105,6	0,17	0,94	0,16	0,73	ACEPTABLE
	SST	138	0,17	0,61	0,10		
	DQO	17,3	0,17	0,91	0,15		
	Conductividad	139	0,17	0,59	0,10		
	pH	7,9	0,15	1,00	0,15		
	Relación NT/PT	7,6	0,17	0,35	0,06		

Tabla 5 - Resultado del cálculo del ICA para los puntos de muestreo sobre el Río Baché

Puede observarse que el ICA para el punto de muestreo aguas abajo obtiene una calificación de 0,73 (ACEPTABLE), una condición mejor a la del punto de muestreo aguas arriba, la cual tuvo una calificación de 0,69 (REGULAR). Este fenómeno es concordante con lo que muestra el informe de la Evaluación Regional del Agua ERA-2019 realizado por la CAM, en el cual se dice *“se presentan condiciones de calidad similares con ICA entre Aceptable y Regular, esto se debe al aporte significativo de caudal de las fuentes hídricas evaluadas, permitiendo asimilación y mezcla de los contaminantes que son vertidos puntualmente en las corrientes hídricas”*.

4.2. Características generales de los vertimientos

De la misma manera, la mejor descripción actual de la calidad del agua residual domestica de los vertimientos de las dos PTAR en la zona urbana de Santa María, está consignado en el Informe de Resultados del monitoreo realizado a los vertimientos PTAR 1 y 2, y fuente receptora Río Baché realizados durante los días 18 y 19 de noviembre de 2024.

4.2.1. Vertimiento PTAR Santa María Principal

Los resultados del monitoreo en el vertimiento PTAR Santa María Principal se resumen en la Tabla 6, de acuerdo con estos resultados todos los parámetros de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Grasas y Aceites (GYA), Sólidos Sedimentables (SSED) y pH cumplen la norma de vertimiento (Resolución 631 de 2015), pues se encuentran en los valores y rangos permisibles.

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS - VERTIMIENTO PTAR 1 – SANTA MARIA PRINCIPAL				
PARAMETRO ANALIZADO	UNIDADES	REFERENCIA RES 631/2015	RESULTADO	CRITERIO DE CUMPLIMIENTO
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	< 40°C	22,6	CUMPLE
PH	unidades pH	6,0 - 9,0	7,32	CUMPLE
CAUDAL	L/s	-	8,57	-
DBO5	mg /L	< 90	36,4	CUMPLE
DQO	mg /L	< 180	70,3	CUMPLE
GRASAS Y ACEITES	mg /L	< 20	15	CUMPLE
SST	mg /L	< 90	< 10	CUMPLE
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg /L	-	156,0	-
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml /L	< 5,0	0,1	CUMPLE
DETERGENTES TENSOACTIVOS	mg SAAM /L	-	1	-
HIDROCARBUROS TOTALES	mg /L	-	4,09	-
ORTOFOSFATOS	mg PO4 /L	-	< 1	-
FOSFORO TOTAL	mg P /L	-	1,2	-
NITRATOS	mg NO3 /L	-	0,6	-
NITRITOS	mg NO2 /L	-	< 0,01	-

NITROGENO AMONIAL	mg NH ₃ -N /L	-	4,37	-
NITROGENO TOTAL	mg N/L	-	12,5	-
TURBIEDAD	NTU	-	4,40	-
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	-	> 1600	-

Tabla 6 - Resultados de calidad de agua en vertimiento PTAR 1 Santa María Principal

4.2.2. Vertimiento PTAR Santa María La Nueva

Los resultados del monitoreo en el Vertimiento PTAR Santa María La Nueva se resumen en la Tabla 7, de acuerdo con estos resultados todos los parámetros de análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Grasas y Aceites (GYA), Sólidos Sedimentables (SSed) y pH cumplen la norma de vertimiento (Resolución 631 de 2015), pues se encuentran en los valores y rangos permisibles.

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS - VERTIMIENTO PTAR 2 SANTA MARIA LA NUEVA				
PARAMETRO ANALIZADO	UNIDADES	REFERENCIA RES 631/2015	RESULTADO	CRITERIO DE CUMPLIMIENTO
TEMPERATURA DEL AGUA	°C	< 40°C	22,1	CUMPLE
PH	unidades pH	6,0 - 9,0	7,21	CUMPLE
CAUDAL	L/s	-	0,83	-
DBO ₅	mg /L	< 90	62,7	CUMPLE
DQO	mg /L	< 180	112	CUMPLE
GRASAS Y ACEITES	mg /L	< 20	14	CUMPLE
SST	mg /L	< 90	20	CUMPLE
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg /L	-	204,0	-
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml /L	< 5,0	< 0,1	CUMPLE
DETERGENTES TENSOACTIVOS	mg SAAM /L	-	5,4	-
HIDROCARBUROS TOTALES	mg /L	-	4,59	-
ORTOFOSFATOS	mg PO ₄ /L	-	< 1	-
FOSFORO TOTAL	mg P /L	-	1,8	-
NITRATOS	mg NO ₃ /L	-	1,4	-
NITRITOS	mg NO ₂ /L	-	< 0,01	-
NITROGENO AMONIAL	mg NH ₃ -N /L	-	4,76	-
NITROGENO TOTAL	mg N/L	-	14,8	-
TURBIEDAD	NTU	-	18,00	-
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 ml	-	> 1600	-

Tabla 7 - Resultados de calidad de agua en vertimiento PTAR 2 Santa María La Nueva

4.3. Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales

El decreto 2041 de 2014 en el artículo 1° define como impacto ambiental, cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido a un proyecto, obra o actividad. Teniendo en cuenta este concepto, la matriz de identificación y valoración de impactos ambientales es un instrumento para la toma de decisiones de forma cualitativa y cuantitativa y permite gestionar las medidas de control ambiental para la compensación, prevención, mitigación y/o corrección necesaria para evitar daños en los en ambiente natural.

Para llevar a cabo, esta identificación y valoración se debe tener en cuenta los diferentes usos del Río Baché aguas abajo del punto de vertimiento hasta su desembocadura al río Magdalena.

4.3.1. Identificación de aspectos ambientales

La NTC-ISO 14001 de 2015 define un aspecto ambiental como un elemento de las actividades, productos o servicios de un proyecto obra o actividad. Un aspecto ambiental puede causar uno o varios impactos ambientales. Un aspecto ambiental significativo es aquel que tiene o puede tener uno o más impactos ambientales significativos.

De conformidad con la infraestructura existente en las dos PTAR del sistema de alcantarillado de la zona urbana de Santa María, se presentan los aspectos ambientales determinantes, producto de la operación de las diferentes unidades de tratamiento existentes:

- Generación de residuos sólidos.
- Emisión de olores.
- Descarga del vertimiento tratado.

4.3.2. Identificación de impactos ambientales

Luego de identificar los aspectos ambientales, se procede a determinar los impactos dentro de una relación causa-efecto sobre los componentes ambientales, de esta manera un aspecto puede generar uno o más impactos ambientales según sus atributos.

El listado de los impactos ambientales ocasionados por el vertimiento, resultado del sistema de tratamiento actual de Aguas Residuales, se muestra a continuación y su relación con las actividades operativas del sistema que se ven impactadas se exponen en la Tabla 8:

- Calidad del agua superficial.
- Calidad del agua subterránea.
- Calidad del suelo.
- Ruido.
- Diversidad de especies de flora.
- Diversidad de especies de fauna.
- Alteración del hábitat.

- Afectación de la salud del personal.
- Molestias para el personal y vecindario.
- Generación de empleo

ASPECTO AMBIENTAL		ACTIVIDADES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA		
		Generación de residuos de lodos	Emisión de olores	Descarga del vertimiento tratado
COMPONENTE BIOTICO Y ABIOTICO	Calidad del agua superficial			
	Calidad del agua subterránea			
	Calidad del suelo			
	Calidad del aire			
	Ruido			
	Diversidad de especies de flora			
	Diversidad de especies de fauna			
	Alteración del hábitat			
COMPONENTE SOCIO-ECONOMICO	Afectación de la salud del personal			
	Molestias para el personal y vecindario			
	Generación de empleo			

Tabla 8 - Impactos ambientales potenciales para el vertimiento según Conesa 1997

4.3.3. Metodología para la valoración de impactos ambientales

Luego de identificar los aspectos e impactos ambientales, se evalúan los impactos ambientales; a través de una relación causa (aspecto) y efecto (impacto). La metodología para llevar a cabo esta valoración será la propuesta por Conesa Fernández Vítora (1997), siendo uno de los métodos más utilizado en Colombia en la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental-EIA; según este autor la importancia del impacto se mide "en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad".

La importancia está dada por los siguientes atributos de los impactos, mostrada en la Tabla 9:

Carácter (CA): Naturaleza de impacto.		Efecto (EF): Impacto de una acción sobre el medio.	
Positivo	+1	Indirecto	1
Negativo	-1	Directo	4
Magnitud (MG): Representa la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto.		Extensión (EX): Tiene en cuenta la superficie espacial afectada por una acción determinada. Se refiere al área de influencia teórica del efecto en relación con el entorno del proyecto.	
Baja	1	Puntual	1
Media	3	Parcial	2
Alta	8	Extenso	4
Total	12	Total	8
Momento (MO): Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del impacto.		Persistencia (PE): Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras.	
Largo plazo (+ 5 años)	1	Fugaz	1
Mediano plazo (1 a 5 años)	2	Temporal (entre 1 y 10 años)	2
Corto plazo (<1 año)	4	Permanente (duración mayor a 10 años)	4
Inmediato	8		
Reversibilidad (RV): La persistencia y la reversibilidad son independientes. Este atributo está referido a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado por una determinada acción.		Recuperabilidad (MC): Mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente) las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.	
Corto plazo (menos de 1 año)	1	Recuperable	1
Mediano plazo (1 y 5 años)	2	Mitigable	4
Irreversible (más de 10 años)	4	Irrecuperable	8
Sinergia (SI): Reforzamiento de dos o más efectos simples.		Acumulación (AC): Incremento progresivo de la manifestación del efecto.	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
Periodicidad (PR): Regularidad de manifestación del efecto.		$I = \pm CA \times (3MG + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Irregular	1		
Periódico	2		
Continuo	4		

Tabla 9 - Atributos para valoración de impactos según Conesa 1997

De acuerdo con los valores asignados a cada criterio, la importancia del impacto puede variar entre 13 y 100 unidades que de acuerdo con el reglamento de EIA español, se establece la siguiente significancia, mostrada en la Tabla 10.

<u>Valor I (13 y 100)</u>	<u>Calificación</u>	<u>Significado</u>	<u>Categoría</u>
<u><25</u>	<u>Irrelevantes o compatibles</u>	<u>La afectación del mismo es irrelevante en comparación con los fines y objetivos del Proyecto en cuestión.</u>	
<u>≥25 y <50</u>	<u>Moderado</u>	<u>La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.</u>	
<u>≥50 y <75</u>	<u>Severo</u>	<u>La afectación de este, exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras. El tiempo de recuperación necesario es en un periodo prolongado.</u>	
<u>≥75</u>	<u>Crítico</u>	<u>La afectación del mismo, es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. NO hay posibilidad de recuperación alguna.</u>	

Tabla 10 - Categorías para la valoración de impactos ambientales según Conesa 1997

4.3.4. Análisis de impactos ambientales

Teniendo en cuenta la visita realizada a campo, se evidenciaron los aspectos presentados en la matriz de identificación de impactos (Ver Tabla 11); es importante manifestar que según el último monitoreo realizado en el año 2023 los valores de pH, temperatura, sólidos sedimentables, la DBO5, DQO, grasas y aceites y los sólidos suspendidos totales del vertido cumple con los parámetros permisibles de la normatividad ambiental vigente Resolución 631 de 2015.

En términos generales, se puede evidenciar que la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa María genera impactos ambientales Irrelevantes o compatibles, sin embargo, genera un impacto positivo severo con respecto a la generación de empleo.



EVALUACIÓN AMBIENTAL DE VERTIMIENTO
MUNICIPIO DE SANTA MARÍA-HUILA



Actividad	Aspecto ambiental	Impacto ambiental		CA	MG	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	Importancia del impacto
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	Generación de residuos de lodos	Cambio en la calidad del suelo		-1	1	1	8	1	1	1	1	4	1	1	-23
	Emisión de olores	Afectación de la salud del personal		-1	3	1	4	1	1	1	1	4	1	1	-23
		Molestias para el personal y vecinos		-1	3	1	4	1	1	1	1	4	1	1	-23
	Descarga de vertimiento tratado	Alteración de la Calidad del agua superficial		-1	1	2	8	1	1	1	1	1	1	1	-22
		Alteración de la Calidad del agua subterránea		-1	1	1	8	1	1	1	1	1	1	4	-23
		Alteración de la Calidad del suelo		-1	1	1	4	1	1	1	1	4	1	4	-19
		Generación de empleo		1	12	1	8	1	1	1	4	4	4	1	+62

Tabla 11 - Valoración de impactos ambientales generados por el sistema de tratamiento

$$I = \pm CA \times (3MG + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + M)$$

5. PREDICCIÓN DE IMPACTOS A TRAVÉS DE MODELOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Los modelos de simulación hidráulica se utilizan para predecir impactos que causan los vertimientos en el cuerpo de agua, en función de la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo de agua receptor y de los usos y criterios de calidad establecidos por la autoridad ambiental.

La modelación de vertimientos es un instrumento que permite, a partir de escenarios hipotéticos, determinar el efecto de un vertimiento sobre la fuente receptora, considerando las condiciones fisicoquímicas e hidráulicas tanto de la descarga como del cuerpo receptor, teniendo como insumo principal los monitoreos de calidad de agua efectuados por laboratorio acreditado. Atendiendo a estas particularidades y con los resultados del modelo, es posible tomar determinaciones acerca de las condiciones de funcionamiento del sistema de gestión del vertimiento y alimentar la evaluación de impactos mediante información fiable y contextualizada.

La modelación de calidad de agua del vertimiento proveniente de las plantas de tratamiento de agua residual de la zona urbana del municipio de Santa María, tiene como base conceptual los principios de la degradación de sustancias no conservativas y el modelo matemático de Streeter y Phelps. La información para alimentar el modelo proviene del monitoreo de calidad de agua realizado al vertimiento y a la fuente hídrica receptora por el laboratorio AQUATEKNICA LTDA, los días 18 y 19 de noviembre de 2024.

5.1. Metodología aplicada en el modelo de simulación

Consiste en la predicción del comportamiento a través de modelos matemáticos en los cuales se involucran las variables más significativas en la degradación de la materia orgánica en una fuente hídrica a la cual se le incorpora la descarga de un agente contaminante.

Para la fuente receptora se implementó el modelo de simulación *Streeter and Phelps*, el cual considera las características hidráulicas de la fuente y la cinética de la degradación de la materia orgánica, representadas por dos constantes K_r y K_d . La reaireación describe la velocidad con la que la fuente se reabastece de O_2 , y es función de la velocidad de flujo y profundidad del lecho. La reaireación también depende del déficit de oxígeno, mientras mayor sea éste, la velocidad de reaireación será mayor. La degradación, por su parte, es inherente a la temperatura del agua y la degradabilidad de la materia orgánica presente en ella.

El modelo Streeter y Phelps es unidimensional y modela la concentración de oxígeno disuelto y DBO_5 en sentido longitudinal de flujo, en función del tiempo y la distancia, determinando en primera instancia el DÉFICIT CRÍTICO que es el máximo descenso de oxígeno disuelto y el TIEMPO CRÍTICO, que es el tiempo al cual se presenta el déficit crítico. Este comportamiento se puede observar teóricamente en la Figura 32.

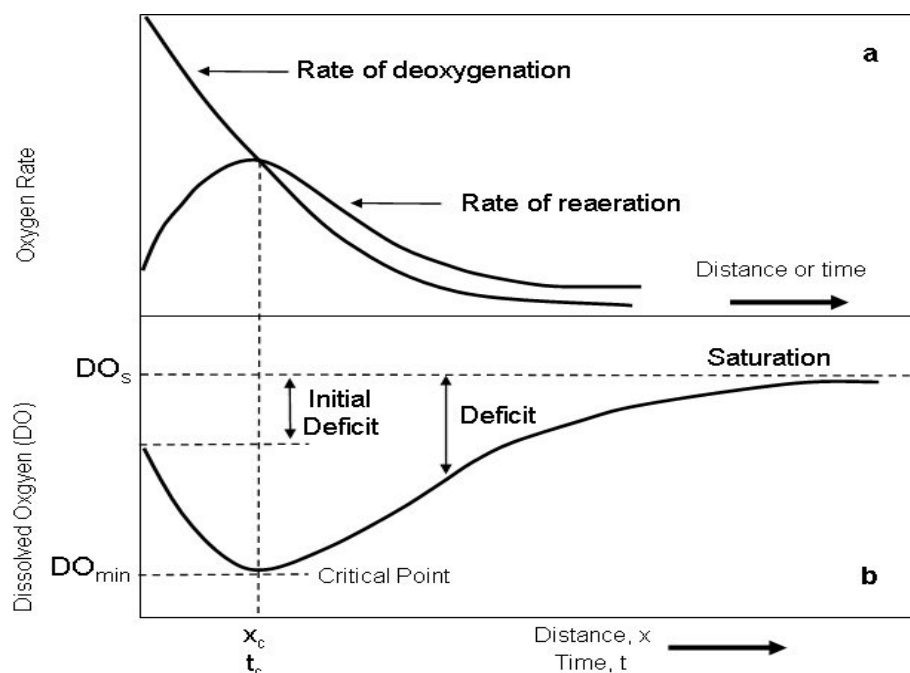


Figura 32 - Curva característica de déficit de oxígeno disuelto en una corriente de agua

Los escenarios planteados corresponden a caudal máximo y caudal medio del vertimiento según lo reportado por el informe del monitoreo realizado por el laboratorio de la empresa AQUATEKNICA LTDA.

5.2. Información básica alimentadora del modelo de simulación

Los parámetros iniciales son los reportados por el Informe de Resultados del monitoreo realizado a los vertimientos PTAR 1 y 2, y fuente receptora Río Baché realizados durante los días 18 y 19 de noviembre de 2024 por el laboratorio AQUATEKNICA LTDA. Estos se muestran en la Tabla 12.

PARAMETROS INICIALES PARA LA MODELACION				
Parámetro	Unidades	Fuente (Río Baché)	Vertimiento PTAR #1	Vertimiento PTAR #2
CAUDAL	L/s	6895	8,57	0,83
DBO	mg/L	2,93	36,4	62,7
OD	mg/L	8,31	1,09	1,09
TEMPERATURA	°C	19,3	22,6	22,1

Tabla 12 – Parámetros iniciales alimentadores de la simulación

CONSTANTE DE REAIREACIÓN (k_r)

La reaireación de una fuente hídrica depende directamente de sus características hidráulicas, tales como velocidad, pendiente y profundidad. Existen diversas metodologías para su determinación, a saber, Texas, O'Connor y Dobbins, Churchill, Owens, entre otras. Para este caso particular, se optó por la ecuación de reaireación de Langbein y Durum.

Los valores de profundidad y velocidad de flujo corresponden a los promedios determinados a partir del aforo con molinete de la fuente receptora aguas abajo del vertimiento y consignados en el informe de laboratorio elaborado por la empresa AQUATEKNICA LTDA. Estos valores son:

- Caudal $Q = 6895 \text{ L/s}$
- Velocidad media $V_m = 0,48 \text{ m/s}$
- Profundidad media $H_m = 0,51 \text{ m}$

En este orden de ideas, la constante de reaireación k_r se calcula de la siguiente manera:

$$k_r = \frac{2.2v}{H^{1.33}}$$

$$k_r = \frac{2.2 * 0.48}{0.51^{1.33}}$$

$$k_r = 2.56 \text{ d}^{-1}$$

Corrección por temperatura de k_r :

$$K_{rT} = k_{20^\circ\text{C}} * \theta^{T^\circ\text{C}-20^\circ\text{C}}$$

Donde:

K_{rT} = Constante de cinética de reacción k a una temperatura $T(^{\circ}\text{C})$

θ = Coeficiente de corrección de temperatura (1.024)

$T^{\circ}\text{C}$ = Temperatura del agua superficial medida

Aplicando la ecuación se tiene:

$$K_{r19.3^\circ\text{C}} = 2.56 * 1.024^{19.3-20}$$

$$K_{r19.3^\circ\text{C}} = 2.52 \text{ d}^{-1}$$

CONSTANTE DE DESOXIGENACIÓN (K_d)

La constante de desoxigenación (K_d) depende de la velocidad de degradación de la materia orgánica y describe una reacción de primer orden afectada por la temperatura. Para un agua residual doméstica típica, a 20°C, el valor de la tasa es de **$K=1.839 \text{ d}^{-1}$** (Valor tomado del libro *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*, pág. 900).

Calculando la constante de desoxigenación se tiene:

$$k_d = k + \frac{u}{h} * n$$

Dónde: k = Coeficiente de la DBO a 20°C (d^{-1})
 u = Velocidad promedio de la corriente (Longitud/tiempo)
 h = Profundidad promedio de la corriente (Longitud)
 n = Coeficiente de actividad béntica (6.9×10^{-6} para ríos rápidos)¹

$$k_d = 1.839 + \frac{0.48}{0.51} * 6.9 \times 10^{-6}$$

$$k_d = 1.839 \text{ d}^{-1}$$

Teniendo en cuenta que la temperatura del agua, de acuerdo al monitoreo realizado por laboratorio acreditado, arrojó 23.7 °C, es necesario realizar un ajuste por temperatura de la constante.

$$K_T = k_{20^\circ\text{C}} * \theta^{T^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}$$

Donde:

K_T = Constante de cinética de reacción k a una temperatura T (°C)

θ = Coeficiente de corrección de temperatura (1.135)

$T^\circ\text{C}$ = Temperatura del agua superficial medida

Aplicando la ecuación se tiene:

$$K_{d21.4^\circ\text{C}} = 1.839 * 1.135^{19.3-20}$$

$$K_{d21.4^\circ\text{C}} = 1.683 \text{ d}^{-1}$$

¹ Romero, Jairo. "Tratamiento de aguas residuales: Teoría y Principios". Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 1999. pág. 990.

5.3. Modelación con escenario de caudal medio y remoción actual en vertimiento PTAR 1

Teniendo en cuenta que la temperatura del agua, de acuerdo con el monitoreo realizado por laboratorio acreditado, arrojó 23.7 °C, es necesario realizar un ajuste por temperatura de la constante.

OXÍGENO DISUELTO EN EL PUNTO DE MEZCLA (OD_M)

La descarga de agua residual a la fuente hídrica genera una mezcla que se asume homogénea y cambia las características de la fuente. El oxígeno disuelto resultante de la mezcla entre el vertimiento y la quebrada se obtiene a partir de un balance de masas que tiene en cuenta la concentración de ambos y su caudal. La concentración del vertimiento se establece en **1.00 mg/L**, de acuerdo con lo reportado en la literatura como el valor típico para aguas residuales domésticas.

Efectuando el balance de masas se tiene:

$$OD_M = \frac{OD_{vert} * Q_{vert} + OD_{río} * Q_{río}}{Q_{vert} + Q_{río}}$$

$$OD_M = \frac{1.0 * 8.6 + 8.31 * 6895}{8.6 + 6895}$$

$$OD_M = 8.3 \frac{mg}{L}$$

La descarga de agua residual a la fuente hídrica genera una mezcla que se asume homogénea y cambia las características de la fuente. El oxígeno disuelto resultante de la mezcla entre el vertimiento y la quebrada se obtiene a partir de un balance de masas que tiene en cuenta la concentración de ambos y su caudal. La concentración del vertimiento se establece en **1.00 mg/L**, de acuerdo con lo reportado en la literatura como el valor típico para aguas residuales domésticas.

DBO EN EL PUNTO DE MEZCLA (DBO_M)

De igual manera, se realiza balance de masas para determinar la DBO de mezcla en el punto del vertimiento:

$$DBO_M = \frac{DBO_{vert} * Q_{vert} + DBO_{río} * Q_{río}}{Q_{vert} + Q_{río}}$$

$$DBO_M = \frac{36.4 * 8.31 + 2.93 * 6895}{8.6 + 6895}$$

$$DBO_M = 2.97 \frac{mg}{L}$$

La descarga de agua residual a la fuente hídrica genera una mezcla que se asume homogénea y cambia las características de la fuente. El oxígeno disuelto resultante de la mezcla entre el vertimiento y la quebrada se obtiene a partir de un balance de masas que tiene en cuenta la concentración de ambos y su caudal. La concentración del vertimiento se establece en **1.00 mg/L**, de acuerdo con lo reportado en la literatura como el valor típico para aguas residuales domésticas.

TIEMPO CRÍTICO (T_c)

Es el tiempo en que el oxígeno disuelto es mínimo y, en consecuencia, el déficit de oxígeno es máximo en el cuerpo de agua.

$$tc = \frac{1}{k_r - k_d} * \ln \left[\frac{k_r}{k_d} \left(1 - Da * \frac{k_r - k_d}{k_r * Lu} \right) \right]$$

Dónde: $Lu = DBO_{última}$
 $Da = \text{Déficit inicial de oxígeno} = OD_s - OD_{mezcla}$
 $K_r = \text{Constante de reaeración}$
 $K_d = \text{Constante de desoxigenación}$
 $OD_s = \text{Oxígeno disuelto de saturación (mg/L)}$

Para agua a temperatura de 23.7°C, el oxígeno de saturación equivale a 8.27 mg/L²

$$D_a = 9.3 \text{ mg/l} - 8.3 \text{ mg/L}$$

$$D_a = 1.0 \text{ mg/L}$$

$$tc = \frac{1}{2.517 - 1.683} * \ln \left[\frac{2.517}{1.683} \left(1 - 1.0 * \frac{2.517 - 1.683}{1.517 * 2.97} \right) \right]$$

$$tc = 0.264 \text{ d} = 6.34 \text{ h}$$

La descarga de agua residual a la fuente hídrica genera una mezcla que se asume homogénea y cambia las características de la fuente. El oxígeno disuelto resultante de la mezcla entre el vertimiento y la quebrada se obtiene a partir de un balance de masas que tiene en cuenta la concentración de ambos y su caudal. La concentración del vertimiento se establece en **1.00 mg/L**, de acuerdo con lo reportado en la literatura como el valor típico para aguas residuales domésticas.

² Romero, Jairo. "Tratamiento de aguas residuales: Teoría y Principios". Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C.1999. Apéndice C., pág. 1029.

DÉFICIT CRÍTICO (D_c)

El déficit crítico es la máxima diferencia que presenta el oxígeno disuelto en la fuente, posterior a la descarga del vertimiento, con respecto al oxígeno de saturación, es decir, el máximo decaimiento de oxígeno en la fuente.

$$D_c = \frac{k_d * L_u}{k_r - k_d} * (e^{-k_d * t_c} - e^{-k_r * t_c}) + D_a(e^{-k_r * t_c})$$

$$D_c = \frac{1.683 * 2.97}{2.517 - 1.683} * (e^{-1.683 * 0.264} - e^{-2.517 * 0.264}) + 1.0e^{-2.517 * 0.264}$$

$$D_c = 1.27 \text{ mg/L OD}$$

Por lo tanto, el oxígeno disuelto crítico, entendido como el valor más bajo de oxígeno disuelto que presentará la fuente posterior a la descarga, estará dado por:

$$OD_c = OD_s - D_c$$

$$OD_c = 9.3 - 1.27$$

$$OD_c = 8.03 \text{ mg/L}$$

En la Tabla 13 se presenta el resumen de los parámetros de la fuente receptora con datos del laboratorio acreditado y para el vertimiento valores teóricos asumidos a partir de la literatura ya mencionada.

Luego de ingresar los insumos necesarios para correr el modelo de Streeter - and Phelps para OD y DBO se obtuvieron los resultados que a continuación se puede apreciar, la información resultante de la modelación y su descarga puntual para las diferentes concentraciones de oxígeno disuelto, déficit de oxígeno a lo largo de la corriente. Para el cálculo se emplea la ecuación de cálculo de déficit y se reemplazan los tiempos en la variable t :

$$D = \frac{k_d * L_u}{k_r - k_d} * (e^{-k_d * t_i} - e^{-k_r * t_i}) + D_a(e^{-k_r * t_i})$$

TIEMPO (horas)	DISTANCIA (km)	TIEMPO (días)	Dt	OD
0	0,00	0	1,00	8,30
0,024	0,04	0,001	1,00	8,30
0,048	0,08	0,002	1,00	8,30

0,12	0,21	0,005	1,01	8,29
0,24	0,41	0,01	1,02	8,28
0,36	0,62	0,015	1,03	8,27
0,48	0,82	0,02	1,05	8,25
0,96	1,64	0,04	1,09	8,21
1,44	2,46	0,06	1,12	8,18
1,92	3,28	0,08	1,16	8,14
2,4	4,10	0,1	1,18	8,12
2,88	4,92	0,12	1,21	8,09
3,36	5,75	0,14	1,22	8,08
3,84	6,57	0,16	1,24	8,06
4,32	7,39	0,18	1,25	8,05
4,56	7,80	0,19	1,26	8,04
4,8	8,21	0,2	1,26	8,04
5,04	8,62	0,21	1,27	8,03
6,24	10,67	0,26	1,27	8,03
6,72	11,49	0,28	1,27	8,03
7,2	12,31	0,3	1,27	8,03
9,6	16,42	0,4	1,23	8,07
12	20,52	0,5	1,17	8,13
14,4	24,62	0,6	1,08	8,22
16,8	28,73	0,7	0,99	8,31
19,2	32,83	0,8	0,89	8,41
21,6	36,94	0,9	0,80	8,50
24	41,04	1	0,71	8,59
26,4	45,14	1,1	0,63	8,67
28,8	49,25	1,2	0,55	8,75
31,2	53,35	1,3	0,48	8,82
33,6	57,46	1,4	0,42	8,88
36	61,56	1,5	0,37	8,93
38,4	65,66	1,6	0,32	8,98
40,8	69,77	1,7	0,27	9,03
43,2	73,87	1,8	0,24	9,06
45,6	77,98	1,9	0,20	9,10
48	82,08	2	0,17	9,13
50,4	86,18	2,1	0,15	9,15
52,8	90,29	2,2	0,13	9,17

Tabla 13 – Resultados del modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 1
Fuente: Propia - 2025

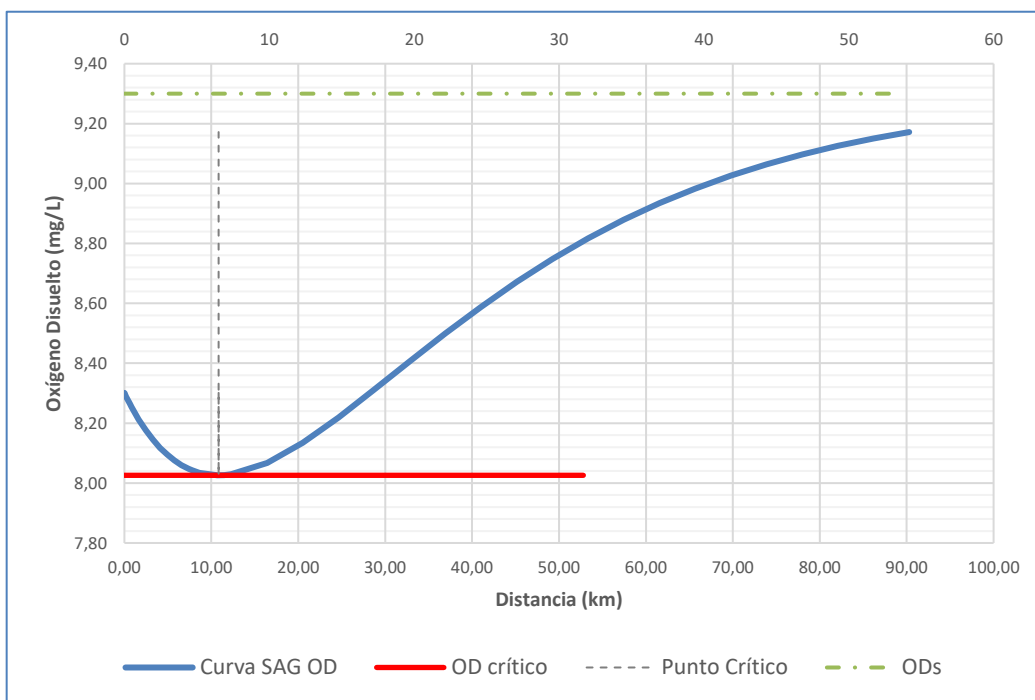


Figura 33 – Comportamiento del oxígeno disuelto vs distancia en vertimiento PTAR 1
 Fuente: Propia – 2025

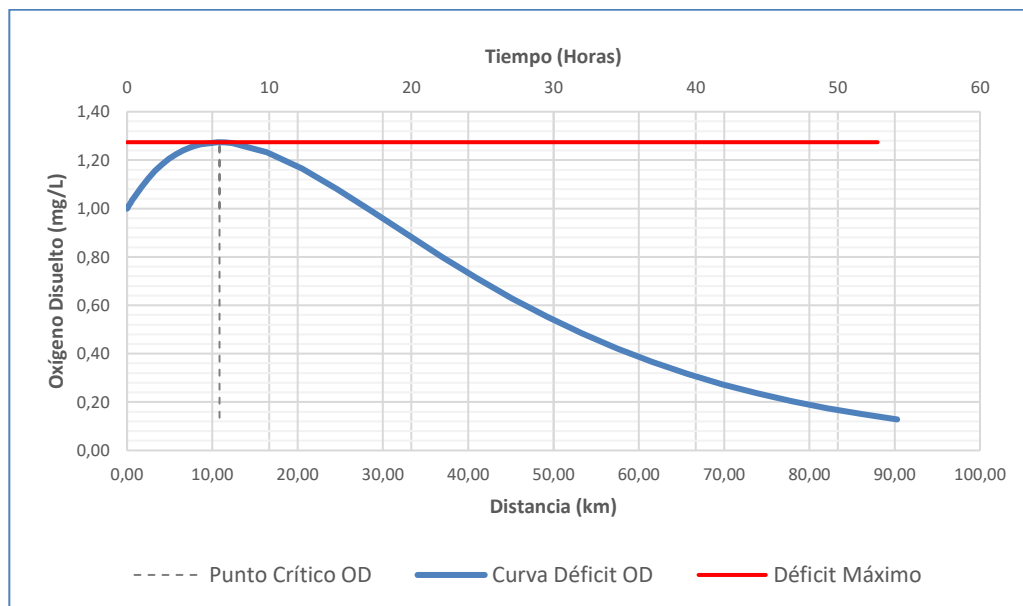


Figura 34 – Comportamiento del déficit de oxígeno vs distancia en vertimiento PTAR 1
 Fuente: Propia – 2025

5.4. Modelación con escenario de caudal medio y remoción actual en vertimiento PTAR 2

OXÍGENO DISUELTO EN EL PUNTO DE MEZCLA (OD_M)

$$OD_M = 8.31 \frac{mg}{L}$$

DBO EN EL PUNTO DE MEZCLA (DBO_M)

De igual manera, se realiza balance de masas para determinar la DBO de mezcla en el punto del vertimiento PTAR #2:

$$DBO_M = 2.94 \frac{mg}{L}$$

TIEMPO CRÍTICO (T_C)

$$tc = 0.263 d = 6.31 h$$

DÉFICIT CRÍTICO (D_C)

$$Dc = 1.261 mg/L OD$$

Por lo tanto, el oxígeno disuelto crítico, entendido como el valor más bajo de oxígeno disuelto que presentará la fuente posterior a la descarga, estará dado por:

$$ODc = OD_s - D_C$$

$$ODc = 9.3 - 1.261$$

$$ODc = 8.039 mg/L$$

En la Tabla 14 se presenta el resumen de los parámetros de la fuente receptora con datos del laboratorio acreditado y para el vertimiento valores teóricos asumidos a partir de la literatura ya mencionada.

Luego de ingresar los insumos necesarios para correr el modelo de Streeter - and Phelps para OD y DBO se obtuvieron los resultados que a continuación se puede apreciar. Para el cálculo se emplea la ecuación de cálculo de déficit y se reemplazan los tiempos en la variable t_i :

$$D = \frac{k_d * L_u}{k_r - k_d} * (e^{-k_d * t_i} - e^{-k_r * t_i}) + Da(e^{-k_r * t_i})$$

TIEMPO (horas)	DISTANCIA (km)	TIEMPO (días)	Dt	OD
0	0,00	0	0,99	8,31
0,024	0,04	0,001	0,99	8,31
0,048	0,08	0,002	1,00	8,30
0,12	0,21	0,005	1,00	8,30
0,24	0,41	0,01	1,01	8,29
0,36	0,62	0,015	1,03	8,27
0,48	0,82	0,02	1,04	8,26
0,96	1,64	0,04	1,08	8,22
1,44	2,46	0,06	1,11	8,19
1,92	3,28	0,08	1,14	8,16
2,88	4,92	0,12	1,19	8,11
3,36	5,75	0,14	1,21	8,09
3,84	6,57	0,16	1,23	8,07
4,32	7,39	0,18	1,24	8,06
4,56	7,80	0,19	1,25	8,05
4,8	8,21	0,2	1,25	8,05
5,04	8,62	0,21	1,25	8,05
6,24	10,67	0,26	1,26	8,04
6,72	11,49	0,28	1,26	8,04
9,6	16,42	0,4	1,22	8,08
12	20,52	0,5	1,15	8,15
14,4	24,62	0,6	1,07	8,23
19,2	32,83	0,8	0,88	8,42
21,6	36,94	0,9	0,79	8,51
24	41,04	1	0,70	8,60
26,4	45,14	1,1	0,62	8,68
28,8	49,25	1,2	0,55	8,75
31,2	53,35	1,3	0,48	8,82
33,6	57,46	1,4	0,42	8,88
36	61,56	1,5	0,36	8,94
38,4	65,66	1,6	0,31	8,99
40,8	69,77	1,7	0,27	9,03
43,2	73,87	1,8	0,23	9,07
45,6	77,98	1,9	0,20	9,10
48	82,08	2	0,17	9,13
50,4	86,18	2,1	0,15	9,15
52,8	90,29	2,2	0,13	9,17

Tabla 14 – Resultados del modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 2
Fuente: Propia - 2025

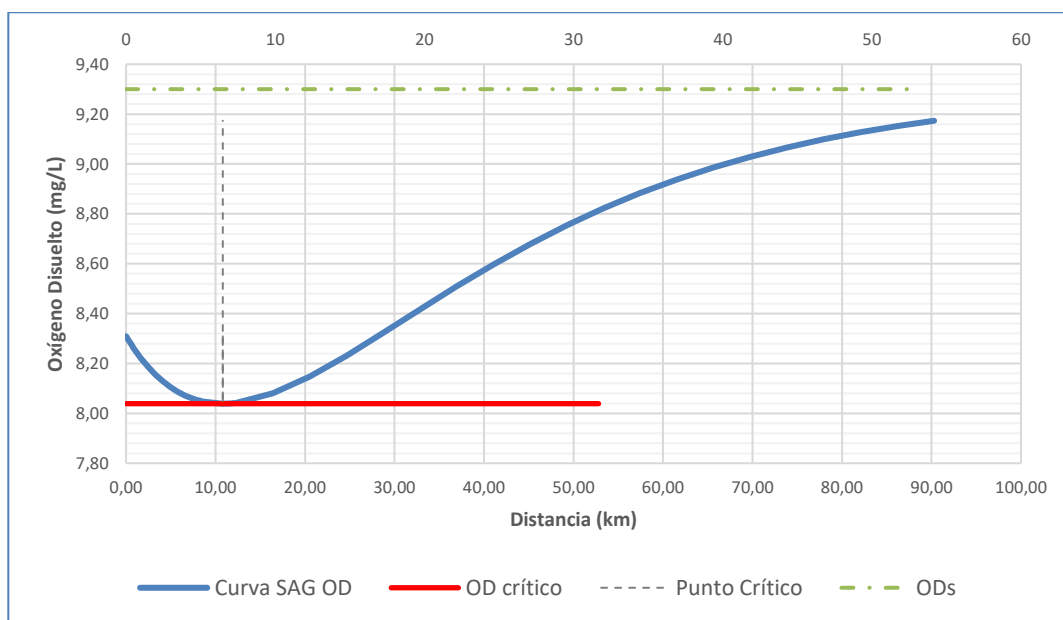


Figura 35 – Comportamiento del oxígeno disuelto vs distancia en vertimiento PTAR 2
 Fuente: Propia – 2025

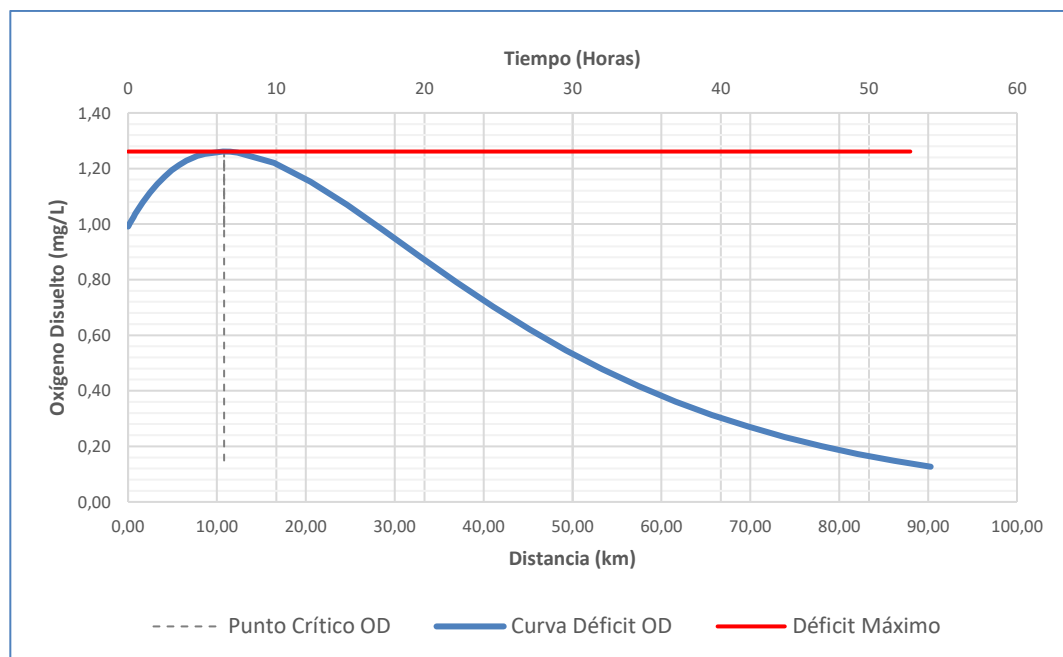


Figura 36 – Comportamiento del déficit de oxígeno vs distancia en vertimiento PTAR 2
 Fuente: Propia – 2025

5.5. Modelación de la concentración de DBO₅ en vertimiento PTAR 1

La ecuación que describe el comportamiento de sustancias no conservativas en medio acuoso para un vertido continuo, despreciando el factor de dispersión y para una constante cinética k , se presenta a continuación:

$$C_A = \frac{Q_D * C_D}{A * U_x} * e^{-\left(\frac{k*x}{U_x}\right)}$$

La ecuación que describe el comportamiento de sustancias no conservativas en medio acuoso para un vertido continuo, despreciando el factor de dispersión y para una constante cinética k , se presenta a continuación:

Dónde: C_A = Concentración del compuesto A (mg/L) en un punto x
 Q_D = Caudal de la descarga (L/s)
 C_D = Concentración de la descarga (mg/L)
 A = Área transversal de la fuente superficial (m²)
 U_x = Velocidad del agua en la dimensión x (m/s)
 k = Constante cinética de reacción (d⁻¹)

En la Tabla 15, se presenta los parámetros empleados para el comportamiento de la descarga puntual del vertimiento PTAR 1 para las diferentes concentraciones de DBO, a lo largo de la corriente. Estos coinciden con los usados previamente para la modelación de oxígeno disuelto.

PARAMETROS	VALORES
Caudal de descarga Qd (m ³ /s)	0,00857
DBO de descarga (mg/l)	36,4
Velocidad media de la fuente (m/s)	0,475
Area (m ²)	5,1
ks (s ⁻¹)	2,37269E-05
DBO en la fuente (mg/l)	2,93

Tabla 15 – Parámetros aplicados para hallar DBO en la fuente, según vertimiento PTAR 1
Fuente: Propia - 2025

El cálculo tipo para la DBO en un tiempo t y un punto x es equivalente a la degradación de la materia orgánica aportada por el vertimiento sumada a la carga de fondo de la fuente receptora:

$$C_A = 2.93 + \frac{0.00857 * 27.8}{5.1 * 0.475} * e^{-\left(\frac{2.37 \times 10^{-5} * 1000}{0.475}\right)}$$

$$C_A = 3.05 \text{ mg/L}$$

Los resultados de la corrida del modelo de Streeter and Phelps para hallar la concentración de DBO en un tiempo t y un punto x se muestra en la Tabla 16.

TIEMPO (días)	TIEMPO (s)	DISTANCIA (m)	DBO (mg/L)
0,01	475	1000	3,05
0,01	950	2000	3,05
0,02	1425	3000	3,04
0,02	1900	4000	3,04
0,03	2375	5000	3,03
0,03	2850	6000	3,03
0,04	3325	7000	3,02
0,04	3800	8000	3,02
0,05	4275	9000	3,01
0,05	4750	10000	3,01
0,11	9500	20000	2,98
0,16	14250	30000	2,96
0,22	19000	40000	2,95

Tabla 16 – Resultados DBO en el modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 1
Fuente: Propia - 2025

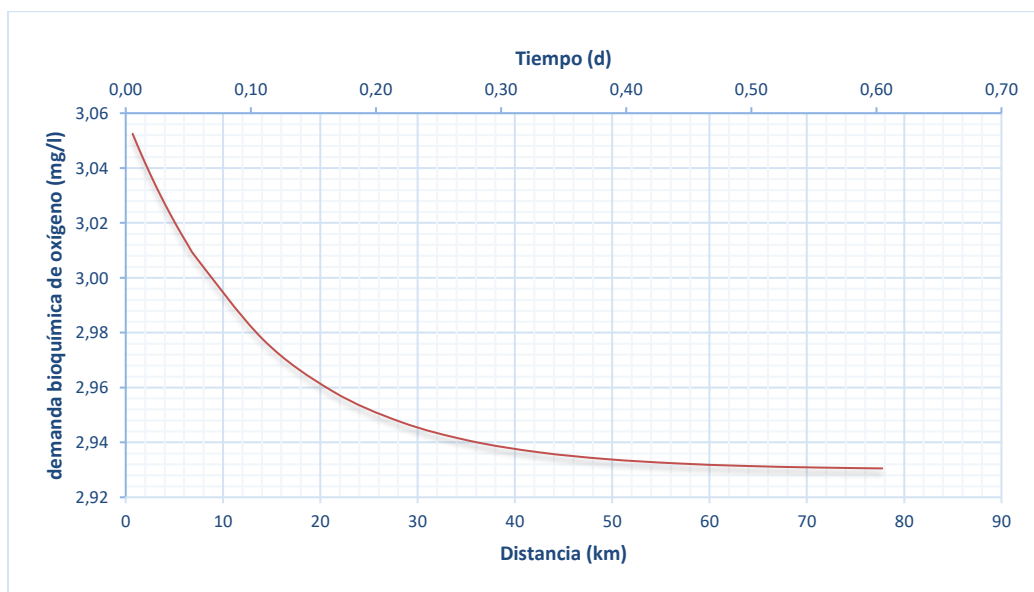


Figura 37 – Comportamiento del DBO vs distancia/tiempo en vertimiento PTAR 1
Fuente: Propia – 2025

5.6. Modelación de la concentración de DBO₅ en vertimiento PTAR 2

En la Tabla 17, se presenta los parámetros empleados para el comportamiento de la descarga puntual del vertimiento PTAR 2 para las diferentes concentraciones de DBO, a lo largo de la corriente. Estos coinciden con los usados previamente para la modelación de oxígeno disuelto.

PARAMETROS	VALORES
Caudal de descarga Qd (m ³ /s)	0,00083
DBO de descarga (mg/l)	62,70
Velocidad media de la fuente (m/s)	0,475
Area (m ²)	5,1
ks (s ⁻¹)	2,37269E-05
DBO en la fuente (mg/l)	2,93

Tabla 17 – Parámetros aplicados para hallar DBO en la fuente, según vertimiento PTAR 2
Fuente: Propia - 2025

Los resultados de la corrida del modelo de Streeter and Phelps para hallar la concentración de DBO en un tiempo t y un punto x se muestra en la Tabla 18.

TIEMPO (días)	TIEMPO (s)	DISTANCIA (m)	DBO (mg/L)
0,01	475	1000	2,95
0,01	950	2000	2,95
0,02	1425	3000	2,95
0,02	1900	4000	2,95
0,03	2375	5000	2,95
0,03	2850	6000	2,95
0,04	3325	7000	2,95
0,04	3800	8000	2,94
0,05	4275	9000	2,94
0,05	4750	10000	2,94
0,11	9500	20000	2,94
0,16	14250	30000	2,93
0,22	19000	40000	2,93

Tabla 18 – Resultados DBO en el modelo Streeter and Phelps aplicado al vertimiento PTAR 2
Fuente: Propia - 2025

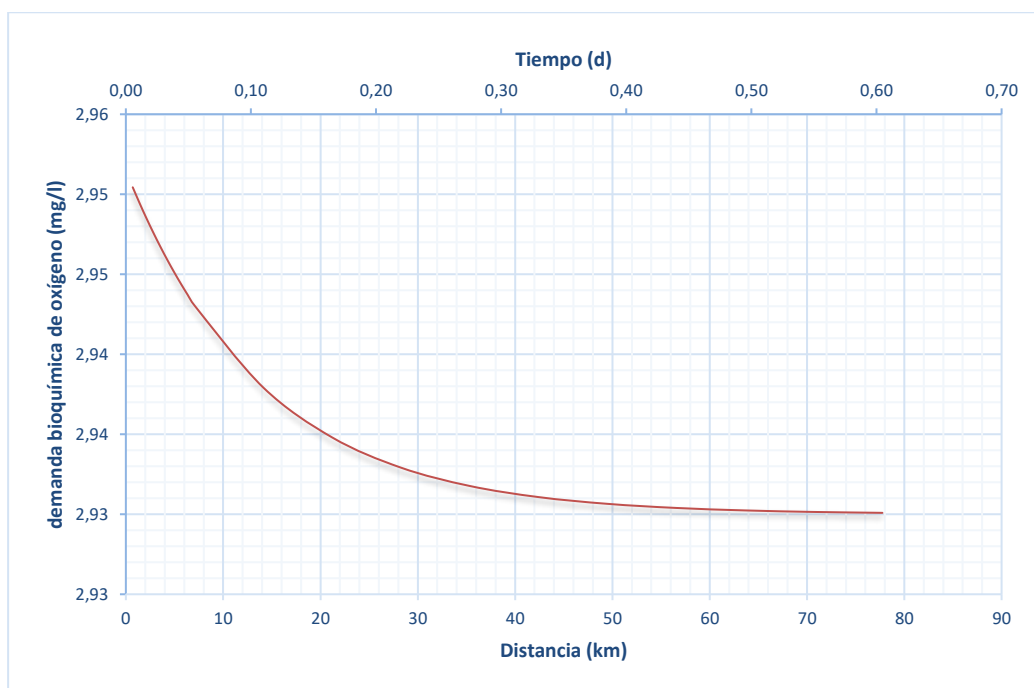


Figura 38 – Comportamiento del DBO vs distancia/tiempo en vertimiento PTAR 2
Fuente: Propia – 2025

5.7. Resultados del modelo de Streeter and Phelps

OXIGENO DISUELTO Y DEFICIT CRÍTICO

En la Tabla 17, se presenta los parámetros empleados para el comportamiento de la descarga puntual del vertimiento PTAR 2 para las diferentes concentraciones de DBO, a lo largo de la corriente. Estos coinciden con los usados previamente para la modelación de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto en una fuente receptora depende de la temperatura y el comportamiento ante el vertimiento. En términos de interpretación a partir de modelos teóricos se describe una curva semiparabólica que representa la caída del oxígeno (O_2). Aguas abajo del punto de descarga, donde el OD alcanza un valor mínimo denominado punto crítico, llega un punto de inflexión donde la curvatura cambia y el oxígeno inicia un ascenso hasta retornar a condiciones favorables. Por otra parte, el oxígeno de saturación OD_s , es el valor máximo de oxígeno que puede contener una masa de agua a la temperatura dada; la diferencia entre el OD_s y OD de la fuente, es el Déficit de Oxígeno D, denominando también como Déficit Crítico.

La aplicación de las ecuaciones descritas implica la utilización de hojas de cálculo para la iteración de variables cuyo fin es la obtención de valores numéricos que representen el oxígeno disuelto y el déficit en varios tramos de la fuente a distintos tiempos.

Los resultados para la gráfica 1 muestran que, para el vertimiento denominado PTAR #1, el punto crítico se localiza a 0.26 horas del punto de descarga, que a velocidad media de la fuente (0.475 m/s) representa 10.8 km, donde el oxígeno disuelto desciende al punto mínimo correspondiente a un valor de 8.09 mg/L.

Para el vertimiento denominado PTAR #2, el escenario es prácticamente el mismo. La concentración de oxígeno disuelto se mantiene en su nivel mínimo hasta que la fuente inicia un rápido proceso de recuperación debido a la reincorporación de oxígeno y la degradación de la materia orgánica remanente, permitiendo una recuperación gradual hasta alcanzar el valor inicial de oxígeno disuelto en el agua y permaneciendo constante en el tiempo.

El máximo déficit presentado es de 1.27 mg/L, es decir, la diferencia máxima entre el oxígeno de saturación y la mínima concentración en el punto crítico. Este descenso se debe a las características virtualmente anóxicas del vertimiento, sin embargo, es contrarrestada por el abundante caudal de la fuente hídrica y su capacidad de autodepuración.

Con respecto a la concentración de DBO_5 , se tiene un incremento de la DBO en el punto de mezcla que llega hasta 2.97 mg/L para el vertimiento PTAR #1 y 2.94 mg/L para el vertimiento PTAR#2, lo cual es de esperarse debido al aporte de la descarga, sin embargo, debido a los efectos de dilución y acción de degradación microbiológica se observa un descenso prácticamente inmediato en la DBO, retornando a la concentración de fondo en 9 horas.

De manera concluyente se tiene lo siguiente:

- Las características hidráulicas de la fuente hídrica receptora y la naturaleza doméstica del vertimiento permiten una recuperación acelerada del oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, alcanzando un valor de oxígeno disuelto que no excede el límite inferior de 8.09 mg/L.
- El caudal y la baja concentración de DBO_5 del vertimiento determinan una alteración imperceptible en la calidad de agua de la fuente receptora.
- No se identifica la persistencia de condiciones anóxicas en la fuente receptora de la descarga que puedan originar afectaciones a la fauna íctica.
- La modelación permite concluir que el aporte de la descarga del sistema de alcantarillado del municipio de Santa María, no se traduce en el deterioro de la calidad de agua de la fuente receptora.

6. MANEJO DE RESIDUOS ASOCIADOS A LA GESTION DEL VERTIMIENTO

Para llevar a cabo la gestión de los residuos, se describe mediante información detallada sobre la naturaleza de los insumos, productos y los procesos utilizados en la zona de la PTAR; la parte administrativa, operaciones; y el cuarto de almacenamiento y mantenimiento.

6.1. Origen de los residuos sólidos

Los residuos orgánicos son la principal clase de residuos que se generan en la PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva, provenientes principalmente del tratamiento preliminar de cribado a través de rejillas, los cuales son lavados y compactados. No obstante, en la parte administrativa y de mantenimiento se generan otros residuos como plástico, aluminio, cartón y papel en cantidades susceptibles que necesitan un adecuado manejo para evitar problemas e impactos ambientales.

PROCEDENCIA	ACTIVIDAD	RESIDUOS
PTAR	Limpieza en rejillas de cribado	Residuos del afluente
	Limpieza en desarenadores	Arenas
	Limpieza en bioreactores	Residuos del afluente
	Tratamiento de lodos	Biosólidos
Mantenimiento general	Aseo y limpieza general de áreas dentro de las PTAR	Plástico, cartón, papel y residuos especiales
Mantenimiento general	Aseo y limpieza de áreas verdes dentro de las PTAR	Residuos vegetales en corte de césped

Tabla 19 – Clasificación de los residuos sólidos – Fuente Propia 2025

6.2. Manejo y disposición final de residuos sólidos

Se realiza con el fin de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

RESIDUO	MANEJO	DISPOSICION FINAL
Provenientes del sistema de alcantarillado	Lavado y compactación	Relleno sanitario o centro de acopio de material residual
Arenas	Son sacadas del terreno	Zonas de recuperación de relleno de quebradas
Biosólidos	Traslado del material	Relleno sanitario o centro de acopio de material residual
Plástico, bolsas, papel, residuos especiales	Separación de residuos	Disposición a los fabricantes y empresa de aseo
Envases, escobas, trapeadores, toallas de limpiar	Separación de residuos	Relleno sanitario o centro de acopio de material residual
Residuos vegetales y arenas y polvo	Traslado del material	Relleno sanitario o centro de acopio de material residual

Tabla 20 – Manejo y disposición final de los residuos sólidos – Fuente Propia 2025

6.3. Origen de los residuos líquidos

Los residuos generados en la PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva, tienen origen doméstico y agrícola, teniendo en cuenta que existen residuos líquidos de menos proporción que ingresan a la planta de tratamiento como consecuencia de las actividades domésticas realizadas en el área administrativa y de mantenimiento.

6.4. Disposición final y manejo de los residuos líquidos

El manejo del agua residual se realiza a través de toda la estructura que compone la PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva, esta tendrá como lugar de descarga el tramo 2 del Río Baché, cumpliendo con la normatividad referente a los usos del agua, objetivos de calidad establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM de Neiva -Huila y concentraciones de los parámetros fisicoquímicos definidos en la resolución 0631 de 2015.

6.5. Residuos asociados directamente al vertimiento

Para la gestión de los residuos, se describe mediante información detallada sobre la naturaleza de los insumos, productos y los procesos utilizados en la zona de la PTAR; Los residuos orgánicos son la principal clase de residuos que se generan en la PTAR Santa María Principal,

Santa María La Nueva, provenientes principalmente del tratamiento preliminar de cribado a través de rejillas, los cuales son lavados y compactados. No obstante, en la zona de mantenimiento se generan otros residuos como plástico, aluminio, cartón y papel en cantidades susceptibles que necesitan un adecuado manejo para evitar problemas e impactos ambientales que se puedan generar.

Los residuos asociados al vertimiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Santa María, son generados en la operación como se describe en la Tabla 21 teniendo en cuenta el manual de operación establecido para dicho sistema.

ACTIVIDAD	ETAPA	TIPO DE RESIDUOS	MANEJO
Operación del sistema de tratamiento.	Rejillas de cribado.	Plásticos, cáscaras, animales muertos, vísceras, papeles, preservativos, toallas, palos, etc.	Tratamiento químico con cal y disposición final al relleno sanitario.
	Desarenadores en paralelo.	Arenas.	Tratamiento químico con cal y disposición final al relleno sanitario.
	Cámaras de sedimentación de los reactores UASB y cámaras FAFA	Lodos.	Lechos de secado.

Tabla 21 – Residuos asociados directamente al vertimiento – Fuente Propia 2025

7. DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS GENERADOS POR LOS VERTIMIENTOS Y MEDIDAS PARA PREVENIR, MITIGAR, CORREGIR Y COMPENSAR

La formulación de las medidas de manejo ambiental surge de la evaluación de los aspectos e impactos ambientales, en la que se identificaron efectos negativos irrelevantes, con base en los resultados arrojados en la evaluación de impactos.

Los programas de manejo para compensar los impactos sobre el agua están compuestos de fichas para cada aspecto ambiental. La descripción y contenidos de las fichas corresponden a las siguientes actividades, las cuales aplican de la misma manera para ambas PTAR:

- Ficha 1: Ficha de manejo ambiental para el aspecto ambiental, descarga del vertimiento de PTAR (Tabla 22).
- Ficha 2: Ficha de manejo ambiental para el aspecto ambiental, generación de residuos de lodos (Tabla 23).
- Ficha 3: Ficha de manejo ambiental para el aspecto ambiental, generación y emisión de olores (Tabla 24).

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL 1 ASPECTO AMBIENTAL – DESCARGA DEL VERTIMIENTO DE PTAR
OBJETIVO: Garantizar el óptimo funcionamiento de los sistemas de tratamiento de la zona urbana de Santa María y mitigar el riesgo de no cumplimiento de los criterios de calidad de acuerdo a lo exigido por la normatividad colombiana referente a vertimientos y la calidad del agua del Río Baché.
META: Cumplir con los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos al Río Baché, de acuerdo a la Resolución 0631 de 2015
ETAPA: OPERACIÓN.
IMPACTOS A CONTROLAR: Alteración de la calidad del agua superficial, del agua subterránea y de la calidad del suelo, generación de empleo.
ENTORNO FÍSICO: PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva.

TIPO DE MEDIDA						
PREVENCIÓN		CONTROL	X	RESTAURACIÓN		COMPENSACIÓN
PROTECCIÓN		MITIGACIÓN	X	RECUPERACIÓN		
CONSIDERACIONES GENERALES						
METAS		INDICADOR		RESPONSABLE	TIPO DE REGISTRO	
Realizar mantenimiento a los sistemas según requerimientos.		Mantenimiento mensual de los sistemas de tratamiento.		Operador de PTAR.	Informe de mantenimiento mensual del sistema.	
Verificar el estado actual de cada etapa del sistema de tratamiento.		Reporte diario de daños.		Operador de PTAR.	Reporte diario en la bitácora.	
Realizar monitoreo y/o caracterización de agua residual del municipio de Santa María.		Monitoreo y/o caracterización anual.		Empresa de servicios públicos con laboratorio certificado.	Informe de monitoreo y/o caracterización de agua residual del municipio de Santa María.	
Cumplir con la normatividad ambiental legal vigente, Resolución 631 de 2015.		Cumplimiento de parámetros según Resolución 631 de 2015.		Empresa de servicios públicos.	Resultados de los análisis.	
ACCIONES A DESARROLLAR						
• Capacitaciones al personal operativo de la planta en el mantenimiento y limpieza adecuada de cada unidad de tratamiento. • Contratar laboratorio acreditado para la elaboración del monitoreo y/o caracterización del agua residual. • Realizar mantenimientos de las diferentes etapas del sistema de tratamiento.						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
El Coordinador Local de Aguas del Huila en Santa María deberá garantizar la ejecución de las actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, la verificación de reportes diarios de daños, y el monitoreo de agua residual y cumplimiento de los parámetros según la Resolución 631 de 2015.						

Tabla 22 - Ficha de manejo ambiental 1 - aspecto ambiental descarga del vertimiento PTAR

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL 2						
ASPECTO AMBIENTAL – GENERACION DE RESIDUOS DE LODOS						
OBJETIVO: Garantizar el óptimo funcionamiento de los sistemas de tratamiento de la zona urbana de Santa María y mitigar el riesgo de no cumplimiento de los criterios de calidad de acuerdo a lo exigido por la normatividad colombiana referente a vertimientos y la calidad del agua del Río Baché.						
META: Cumplir con los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos al Río Baché, de acuerdo a la Resolución 0631 de 2015.						
ETAPA: OPERACIÓN.						
IMPACTOS A CONTROLAR: Cambio en la calidad del suelo.						
ENTORNO FISICO: PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva.						
TIPO DE MEDIDA						
PREVENCIÓN		CONTROL	X	RESTAURACIÓN		COMPENSACIÓN
PROTECCIÓN		MITIGACIÓN	X	RECUPERACIÓN		
CONSIDERACIONES GENERALES						
METAS	INDICADOR		RESPONSABLE		TIPO DE REGISTRO	
Realizar mantenimiento a los sistemas según requerimientos.	Mantenimiento mensual de los sistemas de tratamiento.		Operador de PTAR.		Informe de mantenimiento mensual del sistema.	
Tratar los residuos de lodos según el manual de operación de la planta de tratamiento.	Cantidad de residuos de lodos generados y tratados.		Operador de PTAR.		Documento de acreditación de entrega y recibido del material.	
ACCIONES A DESARROLLAR						
- Capacitaciones al personal operativo de las PTAR, en actividades de mantenimiento y limpieza adecuada de cada unidad de tratamiento. - Mantenimientos al sistema de tratamiento de agua residual del municipio de Santa María.						
SEGUIMIENTO Y MONITOREO						
El Coordinador Local de Aguas del Huila en Santa María deberá garantizar la ejecución de las actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales y el tratamiento de los residuos de lodos.						

Tabla 23 - Ficha de manejo ambiental 2 - aspecto ambiental de generación de residuos de lodos

FICHA DE MANEJO AMBIENTAL 3

ASPECTO AMBIENTAL – GENERACION Y EMISION DE OLORES

OBJETIVO: Garantizar el óptimo funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la zona urbana de Santa María, minimizando la generación y emisión de olores ofensivos, para proteger la salud del personal, la comunidad y cumplir con la normatividad ambiental vigente (Resolución 0631 de 2015 y Resolución 1541 de 2013 sobre olores ofensivos).

META: Cumplir con los parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos al Río Baché según Resolución 0631 de 2015.

Reducir la percepción de olores ofensivos en el área de influencia de la PTAR a niveles aceptables según la Resolución 1541 de 2013.

ETAPA: OPERACIÓN.

IMPACTOS A CONTROLAR:

Afectación a la salud del personal operativo

Molestias al vecindario y riesgo de conflictos sociales.

ENTORNO FISICO: PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva.

TIPO DE MEDIDA

PREVENCIÓN	X	CONTROL	X	RESTAURACIÓN		COMPENSACIÓN
PROTECCIÓN		MITIGACIÓN	X	RECUPERACIÓN		

CONSIDERACIONES GENERALES

METAS	INDICADOR	RESPONSABLE	TIPO DE REGISTRO
Realizar mantenimiento preventivo y correctivo a los sistemas de tratamiento.	Mantenimiento mensual de los sistemas de tratamiento.	Operador de PTAR.	Informe de mantenimiento mensual del sistema.
Verificar el estado de cada unidad del sistema (reactores, digestores, desarenadores).	Reporte diario de inspección.	Operador de PTAR	Bitácora diaria
Aplicar agentes neutralizantes en zonas críticas para reducir olores.	Registro de aplicación semanal.	Operador PTAR	Acta de aplicación y bitácora.
Operar la chimenea quemadora de biogás para oxidar compuestos olorosos.	Horas de operación registradas	Operador PTAR	Bitácora diaria y reporte mensual

ACCIONES A DESARROLLAR	
1. Capacitación continua al personal operativo sobre:	- Procedimientos de limpieza y mantenimiento. - Manejo adecuado de lodos y residuos. - Uso correcto de EPP (mascarillas con filtro, guantes, botas).
2. Optimización del manejo de lodos:	- Evitar acumulación prolongada. - Aplicar cal hidratada en lodos para aumentar pH y reducir actividad bacteriana generadora de olores. - Limpieza frecuente de rejillas, canales y unidades donde se acumule materia orgánica.
3. Operación continua de la chimenea quemadora de biogás:	- Garantizar la quema segura del biogás para oxidar compuestos sulfurosos y reducir olores. - Realizar mantenimiento preventivo de la antorcha para evitar fugas.
4. Monitoreo de olores ofensivos:	- Aplicar inspecciones olfativas semanales por parte del personal de la PTAR en puntos críticos (digestión de lodos, deshidratación) utilizando escala de intensidad de olor y registrar resultados en bitácora.
5. Gestión de emergencias:	- Protocolos para derrames o fallas que generen olores intensos.
SEGUIMIENTO Y MONITOREO	
El Coordinador Local de Aguas del Huila en Santa María garantizará:	- Ejecución de mantenimiento preventivo y correctivo. - Verificación diaria de bitácoras. - Reporte anual de control de olores y cumplimiento normativo.

Tabla 24 - Ficha de manejo ambiental 3 - aspecto ambiental de generación y emisión de olores

8. INCIDENCIA DEL PROYECTO EN LA CALIDAD DE VIDA O EN LAS CONDICIONES ECONÓMICAS, SOCIALES Y CULTURALES DE LOS HABITANTES DEL SECTOR ALEDAÑO A LAS PTAR

Se relaciona las incidencias del proyecto en la calidad de vida y en los componentes ambiental, social, económico y cultural de los habitantes del sector o tramo de la cuenca del río Baché.

Incidencia	Componente
Las aguas residuales generadas en el municipio de Santa María representan una potencial afectación a los habitantes y al río que recibe la descarga del agua residual, además de atentar contra la calidad e integridad de los sistemas ecológicos asociados. La operación de la PTAR se convierte en una oportunidad para transformar una problemática ambiental que es común en nuestro país, la cual está asociada al saneamiento, la contaminación de las fuentes hídricas y la degradación ambiental derivada de la gestión de las aguas residuales. En la medida en que se opere de forma adecuada cada PTAR, se garantizará el cumplimiento de la normatividad vigente y se avanzará hacia procesos de uso sostenible del recurso hídrico.	<u>Ambiental:</u> Impactos generados sobre la calidad del río Baché producto de los vertimientos de las aguas residuales en la PTAR Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva
La puesta en marcha de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Santa María Principal y PTAR Santa María La Nueva, generará incidencias positivas por la generación de empleo, desarrollo económico y contribución al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades que se encuentran aledañas a la cuenca del Río Baché.	<u>Socioeconómico:</u> generación de empleo y desarrollo económico regional y conservación de la calidad de vida de las comunidades.

Tabla 25 – Incidencias del proyecto en la calidad de vida de los habitantes de la zona de influencia

De acuerdo a la matriz de identificación y valoración de impactos ambientales implementada, se logró evidenciar que las plantas de tratamiento de agua residual doméstica del municipio de Santa María arrojó impactos negativos irrelevantes, sin embargo como impacto positivo en el componente socioeconómico se identificó la generación de empleo en el aspecto de descarga de vertimiento tratado, es decir se requiere de personal de la zona para el mantenimiento y tratamiento constante de la planta de tratamiento de aguas residuales y así lograr controlar un vertimiento que cumpla con la normatividad colombiana legal vigente.

9. ESTUDIOS TECNICOS Y DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE DESCARGA DE LOS VERTIMIENTOS

9.1. Cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María Principal

El cabezote de la descarga del vertimiento de agua residual tratada de la PTAR Santa María Principal tiene encofrado un tubo PVC de 14 pulgadas, proveniente del emisor final y tiene incorporado un dissipador tipo escalinata de 3 escalones, para entregar el agua tratada al Río Baché de una forma que minimice el fenómeno de turbulencia en el agua y su consecuente expulsión de gases y olores ofensivos al ambiente. Los detalles del diseño pueden observarse en la Figura 39 el esquema isométrico, la Figura 40 la vista lateral y la Figura 41 una imagen real del cabezote.

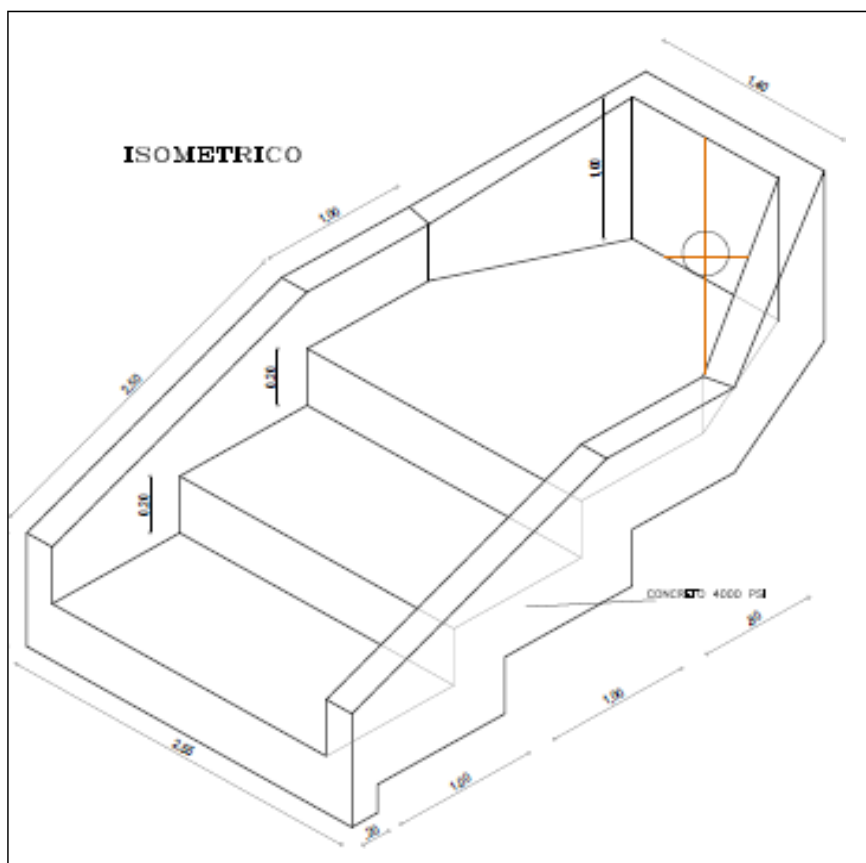


Figura 39 - Esquema isométrico cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María Principal

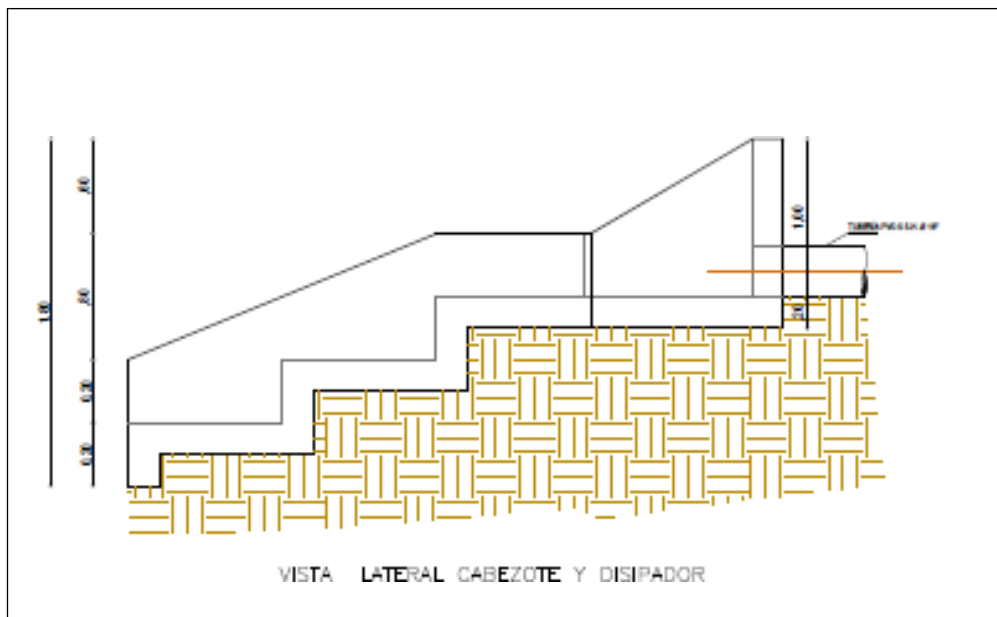


Figura 40 - Vista lateral cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María Principal



Figura 41 - Cabezal de descarga vertimiento PTAR Santa María Principal.

9.2. Cabezote de descarga del vertimiento PTAR Santa María La Nueva

El cabezote de la descarga del vertimiento de agua residual tratada de la PTAR Santa María La Nueva tiene encofrado un tubo PVC de 16 pulgadas, proveniente del emisor final y tiene incorporado un dissipador tipo escalinata de 4 escalones, para entregar el agua tratada al Río Baché de una forma que minimice el fenómeno de turbulencia en el agua y su consecuente expulsión de gases y olores ofensivos al ambiente. Los detalles del diseño pueden observarse en la Figura 42 el esquema isométrico, la Figura 43 la vista lateral y la Figura 44 una imagen real del cabezote.

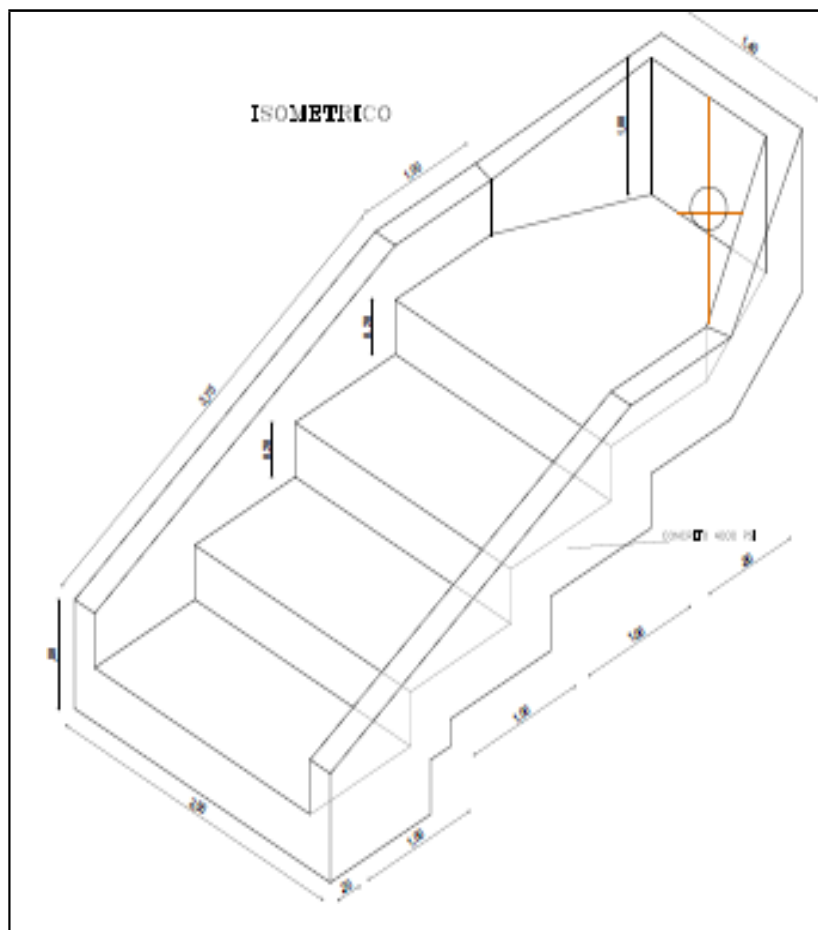


Figura 42 – Esquema isométrico cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva

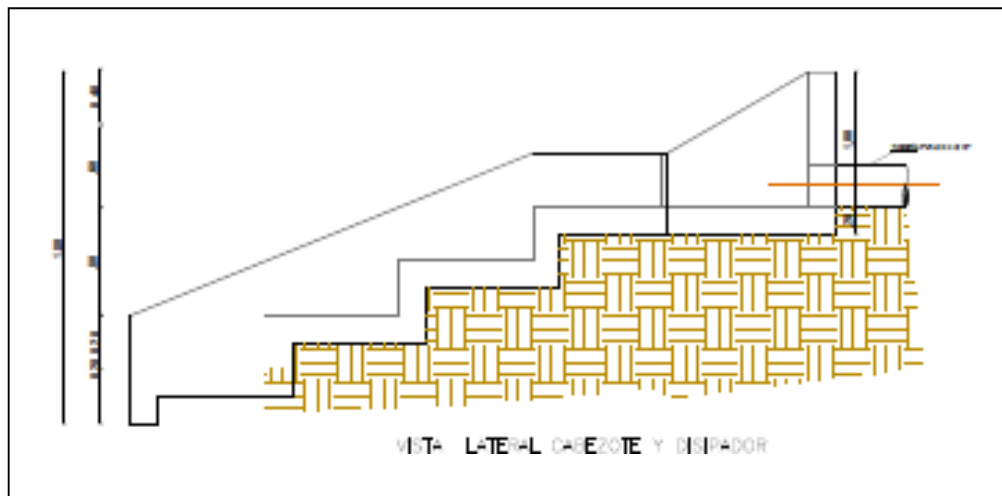


Figura 43 - Vista lateral cabezal descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva



Figura 44 - Cabezal de descarga vertimiento PTAR Santa María La Nueva.

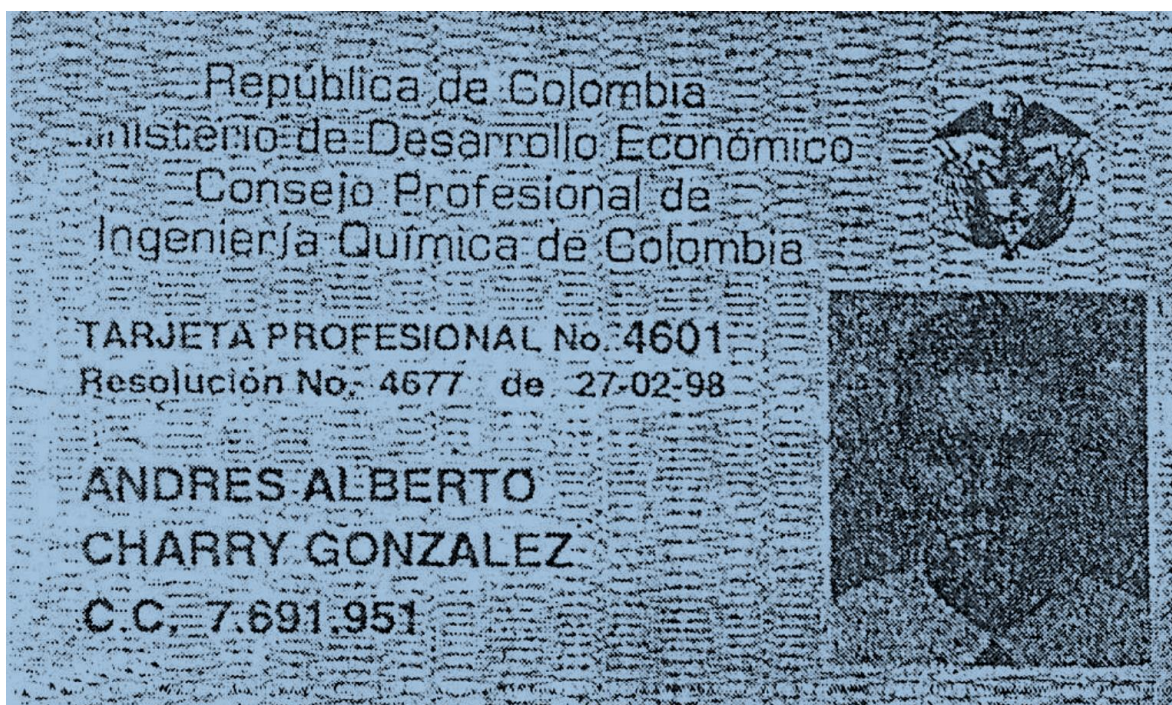
BIBLIOGRAFÍA

- Decreto 1076 de 2015 sector ambiente y desarrollo sostenible.
- Plan maestro de alcantarillado fase II municipio de Santa María- Huila (2015)
- Huila, g. d. (6 de marzo de 2018). En revisión, planta de tratamiento de aguas residuales para Santa María Huila.
- Galindo Herrera, D. A. (2022). Seguimiento en la determinación fisicoquímica del agua residual doméstica de una PTAR ubicada en el departamento del Huila, para verificar el valor admisible en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales según la resolución 0631 del 2015 y el decreto 1076 de 2015.
- Triana Jaimes, M. A. (2021). Evaluación de los impactos ambientales generados por las actividades turísticas en el sector de la cascada el caney perteneciente al río de oro de la vereda el cobre del municipio de Piedecuesta Santander.
- Cardona González, A. H. (2019). Análisis del decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Universidad Externado de Colombia.
- S.A., H. (2015). Metodología para el cálculo de las matrices ambientales.
- S.A, A. D. (2015). Informe de Diagnóstico Fase II municipio de Santa Maria Huila.

PROFESIONALES RESONSABLES DE LA ELABORACIÓN

	
Andrés Alberto Charry González Ing. Químico M.P. 4601 Res 4677 del 27-02-98 CPIQ Esp. Gerencia de Proyectos	Javier Mauricio Iriarte Valderrama Ing. Ambiental M.P. 19238-341162 CAU Esp. Gerencia del Medio Ambiente y Prevención de Desastres

TARJETA PROFESIONAL INGENIERO QUIMICO
ANDRES ALBERTO CHARRY GONZALEZ



REPÚBLICA DE COLOMBIA
CONSEJO PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA DE COLOMBIA
CPIQ

EL SECRETARIO EJECUTIVO

CERTIFICA:

1. Que **ANDRES ALBERTO CHARRY GONZALEZ**, con Cédula de Ciudadanía N° **7691951**, se encuentra inscrito (a) en el Registro Profesional que lleva esta entidad como INGENIERO QUÍMICO, con Matrícula Profesional No. **4601** desde el 27 de Febrero del 1998.
2. Que la Matrícula Profesional es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.
3. Que la referida Matrícula Profesional se encuentra vigente, por lo cual el profesional certificado actualmente NO está impedido para ejercer la profesión.
4. Que el profesional NO tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.
5. Que la presente certificación tiene una validez de seis (6) meses y se expide en Bogotá, D.C., a los 12 días del mes de Noviembre del año 2025.



DAVID DE JESÚS MARTÍNEZ CONSUEGRA
Secretario Ejecutivo CPIQ - M.P. 17678

Firma del Titular (*)

(*) Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado.

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma mecánica (Artículo 12, Decreto 2150 de 1995)
Para verificar la validez del presente documento, ingrese a la página web www.cpiq.gov.co y digite el siguiente código de verificación **MdW9eG90**



REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Matrícula Profesional No.
19238-341162 CAU
Fecha de Expedición: **30/09/2016**

Nombre:

**JAVIER MAURICIO
IRIARTE VALDERRAMA**

Cédula:

C.C. 1061750823

Profesión:

INGENIERO AMBIENTAL

Institución:

UNIVERSIDAD DEL CAUCA



150599/0915

Este es un documento público expedido en virtud de la Ley 842 de 2003,
que autoriza al titular ejercer como Ingeniero en el Territorio Nacional.

PRESIDENTE DEL CONSEJO

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA

En caso de extravío debe ser remitida al COPNIA. Calle 78 No. 9-57 primer piso
Línea Nacional: 01 8000 116590

www.copnia.gov.co