DOCUMENTO: ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD

PTAR BARRIO HORIZONTES, CORREGIMMIENTO DE PUERTO PERALES, MUNICIPIO DE PUERTO TRIUNFO

CONTRATO: No. S-CPS-831-2025
ACTA DE INICIO: 5 de enero de 2026
PARTES: CORNARE & CEAM
SUPERVISORA: Beatriz Elena Tamayo Correa

Junio de 2026

Tabla de contenido

1 INTRODUCCIÓN 3
2 OBJETIVOS 4
2.1 Objetivo General 4
2.2 Objetivos Específicos 4
3 MARCO CONCEPTUAL DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS 5
3.1 Sostenibilidad técnica 5
3.2 Sostenibilidad administrativa e institucional 5
3.3 Sostenibilidad financiera 6
3.4 Sostenibilidad social 6
3.5 Enfoque del presente Plan de Sostenibilidad 6
4 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS Y DETERMINACIÓN TARIFARIA 7
5 ANÁLISIS DE COSTOS Y SOSTENIBILIDAD FINANCIERA 8
5.1 Costos De Inversión Estimados (CMI) 8
5.2 Costos Operativos Anuales Estimados (CMA) 9
5.3 Costo Medio De Operación (CMO) 10
5.4 Costo Amortizado (CUP_TR) 10
5.5 Costo Medio Por Tasa Retributiva 11
5.6 Costos Unitarios (CMI, CMO, Tasas) Y Tarifa 11
6 ANALISIS 12
6.1 Comparación con la norma de tarifas para pequeños prestadores 12
6.2 Asequibilidad familiar 14
7 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD GENERAL 15
7.1 Dimensión social 15
7.2 Dimensión ambiental – cumplimiento normativo proyectado 15
8 NOTAS FINALES 16

1 INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales constituye uno de los principales desafíos para garantizar la permanencia de los beneficios ambientales, sanitarios y sociales derivados de las inversiones realizadas en infraestructura de saneamiento básico. En este contexto, la construcción y puesta en funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) debe complementarse con la definición de mecanismos técnicos, administrativos, financieros y sociales que permitan asegurar su adecuada operación a lo largo del tiempo.

En el marco del proyecto de arranque y puesta en marcha de las PTAR construidas en la jurisdicción de CORNARE, se desarrolló el presente Plan de Sostenibilidad para la PTAR Horizontes, ubicada en el corregimiento de Puerto Perales, municipio de Puerto Triunfo. Este ejercicio se fundamenta en el análisis de las condiciones operativas del sistema, la estimación de los costos asociados a su operación y mantenimiento, la evaluación de la capacidad de pago de la población beneficiaria y la identificación de alternativas que contribuyan a garantizar la viabilidad financiera de la infraestructura.

El documento incorpora los criterios establecidos en el marco regulatorio aplicable a pequeños prestadores de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, particularmente los lineamientos definidos por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), y propone una serie de estrategias orientadas a fortalecer la sostenibilidad técnica, administrativa, financiera y social del sistema en un horizonte de mediano plazo.

Los resultados obtenidos constituyen una herramienta de apoyo para la toma de decisiones por parte de la administración municipal, el prestador del servicio y las entidades que acompañan la gestión del saneamiento básico en el territorio, permitiendo identificar las acciones requeridas para garantizar la continuidad operativa de la PTAR y la protección de los recursos hídricos asociados a su área de influencia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Formular el Plan de Sostenibilidad de la PTAR Horizontes del corregimiento de Puerto Perales, mediante la evaluación de sus condiciones técnicas, operativas y financieras, con el fin de establecer estrategias que garanticen su adecuada operación, mantenimiento y permanencia en el tiempo.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones generales de operación de la PTAR y los requerimientos técnicos necesarios para su funcionamiento adecuado.
- Estimar los costos asociados a la operación, mantenimiento, reposición y administración del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar la viabilidad financiera del sistema mediante la aplicación de los criterios establecidos en el marco tarifario vigente para pequeños prestadores.
- Evaluar la capacidad de pago de la población beneficiaria e identificar las necesidades de subsidio requeridas para garantizar la accesibilidad económica al servicio.
- Proponer estrategias de sostenibilidad técnica, administrativa, financiera y social que contribuyan a la operación continua y eficiente de la PTAR.
- Generar insumos para la toma de decisiones por parte de las entidades responsables de la prestación del servicio y de la gestión ambiental en el municipio.

3 MARCO CONCEPTUAL DE LA SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La sostenibilidad de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) corresponde a la capacidad del sistema para mantener en el tiempo las condiciones técnicas, operativas, administrativas y financieras necesarias para garantizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales, preservando los beneficios ambientales y sanitarios para los cuales fue construida.
La experiencia nacional ha demostrado que la construcción de infraestructura no garantiza por sí sola el éxito de los proyectos de saneamiento. La falta de recursos para la operación, la ausencia de personal capacitado, las deficiencias en los procesos de mantenimiento y la limitada apropiación institucional pueden conducir al deterioro progresivo de los sistemas, disminuyendo su eficiencia e incluso ocasionando su abandono.
En este sentido, la sostenibilidad de una PTAR debe abordarse de manera integral a partir de cuatro componentes fundamentales:

3.1 Sostenibilidad técnica

Hace referencia a la capacidad del sistema para operar conforme a los criterios de diseño y a los requerimientos establecidos en la normatividad ambiental vigente. Este componente comprende aspectos relacionados con el estado de la infraestructura, la funcionalidad de los equipos, la disponibilidad de procedimientos operativos, la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, así como el seguimiento periódico de variables operacionales que permitan evaluar el desempeño del tratamiento.
La sostenibilidad técnica busca garantizar que la infraestructura mantenga sus condiciones de funcionamiento y continúe prestando el servicio para el cual fue concebida.

3.2 Sostenibilidad administrativa e institucional

Corresponde a la existencia de una estructura organizacional que permita planificar, coordinar y supervisar las actividades asociadas a la operación del sistema. Incluye la definición de responsables, la disponibilidad de personal capacitado, la implementación de manuales de operación y mantenimiento, el registro de actividades operativas y la articulación entre los diferentes actores involucrados en la gestión del saneamiento.
Este componente resulta fundamental para asegurar la continuidad de los procesos y la adecuada toma de decisiones frente a las necesidades de operación, mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura.

3.3 Sostenibilidad financiera

Se relaciona con la capacidad de generar o gestionar los recursos económicos necesarios para cubrir los costos asociados a la operación, mantenimiento, monitoreo, reposición de equipos y mejoramiento de la infraestructura. Para ello es necesario estimar los costos reales de funcionamiento del sistema y evaluar mecanismos de financiación que permitan garantizar su permanencia en el tiempo.

En sistemas rurales o de pequeña escala, donde las tarifas calculadas pueden superar la capacidad de pago de los usuarios, la sostenibilidad financiera puede requerir la concurrencia de diferentes fuentes de financiación, incluyendo aportes de los usuarios, subsidios municipales y otras alternativas de apoyo institucional.

3.4 Sostenibilidad social

Hace referencia al nivel de apropiación, participación y compromiso de la comunidad beneficiaria frente al sistema de tratamiento. La adecuada disposición de residuos, el uso responsable de las redes de alcantarillado, la valoración de los beneficios ambientales generados por la PTAR y la disposición al pago de las tarifas constituyen factores determinantes para la permanencia del sistema.

La sostenibilidad social contribuye a fortalecer la corresponsabilidad entre usuarios, operadores e instituciones, favoreciendo la conservación de la infraestructura y el cumplimiento de los objetivos de saneamiento ambiental.

3.5 Enfoque del presente Plan de Sostenibilidad

Con base en estos principios, el presente Plan de Sostenibilidad para la PTAR Horizontes se desarrolla bajo un enfoque integral que articula los componentes técnico, administrativo, financiero y social, con el propósito de identificar las acciones necesarias para garantizar la adecuada operación del sistema y la permanencia de los beneficios ambientales y sanitarios asociados a su funcionamiento en el mediano y largo plazo.

4 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS Y DETERMINACIÓN TARIFARIA

Con el fin de evaluar la viabilidad financiera de la PTAR Horizontes y definir las condiciones requeridas para su sostenibilidad operativa, se realizó la estimación de los costos asociados a la operación, mantenimiento, monitoreo y gestión integral del sistema. Para ello se identificaron las actividades rutinarias y periódicas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de cada una de las unidades de tratamiento, considerando las condiciones reales de operación, la capacidad instalada y los requerimientos de personal, energía, insumos, mantenimiento y disposición de residuos.

A partir de los costos anuales estimados se calcularon los costos unitarios de operación y tratamiento, expresados en función del volumen anual de aguas residuales tratadas. Posteriormente, se efectuó un análisis comparativo con los lineamientos establecidos para pequeños prestadores de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, tomando como referencia la metodología definida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA).

Finalmente, se evaluó el impacto de la tarifa resultante sobre los usuarios del sistema mediante un análisis de asequibilidad, considerando la población beneficiaria, los consumos proyectados y la capacidad de pago estimada para la comunidad. Este ejercicio permitió identificar la necesidad de mecanismos complementarios de financiación y formular recomendaciones orientadas a garantizar la sostenibilidad financiera de la PTAR en el mediano y largo plazo.

5 ANÁLISIS DE COSTOS Y SOSTENIBILIDAD FINANCIERA

Con fundamento en la evaluación técnica de las condiciones hidráulicas, estructurales y operativas de la PTAR La Danta, y en cumplimiento de los principios establecidos en la Resolución CRA 825 de 2017 para pequeños prestadores, se presenta a continuación el consolidado de inversiones necesarias para alcanzar un nivel de operación eficiente, ambientalmente sostenible y financieramente viable.

Las acciones se han priorizado con base en su impacto sobre la reducción de costos operativos, el cumplimiento del permiso de vertimientos y la sostenibilidad a 5 años.

Tabla 1. Parámetros para los cálculos

Parámetro	*Valor*	*Unidad*	*Fuente*
Caudal de diseño (permiso)	0,45	L/s	Permiso de vertimientos
Caudal medio diario	38,88	m³/día	0,45 L/s × 86.400 s
Caudal medio anual	14.191	m³/año	38,88 m³/día × 365 días
Población servida	304	habitantes	Memorias de diseño
Suscriptores		Viviendas	

5.1 Costos De Inversión Estimados (CMI)

Tabla 2. Costos de inversión

Rubro / Actividad	*Unidad*	*Cantidad*	*Valor Unitario (COP)*	*Valor Total (COP)*
1. PRELIMINARES Y ADECUACIÓN				**$ 2.100.000**
Limpieza y despeje de maleza en canal de entrada	Global	1	$ 800.000	$ 800.000
Clausura de descargas de agua cruda al suelo	Punto	2	$ 650.000	$ 1.300.000
2. CANAL DE ENTRADA Y PRETRATAMIENTO				**$ 8.650.000**
Tubería de drenaje independiente en desarenador	Global	1	$ 1.800.000	$ 1.800.000
Compuertas con vástagos rígidos	Unidad	2	$ 2.500.000	$ 5.000.000
Ajuste de cresta vertedero Sutro	Global	1	$ 1.200.000	$ 1.200.000
Regla limnimétrica	Unidad	1	$ 150.000	$ 150.000
Kit de equipos portátiles (pH, conductividad, oxígeno)	Kit	1	$ 500.000	$ 500.000
3. SISTEMA DE ENERGÍA Y ELÉCTRICO (CON RED LOCAL 60 HZ)				**$ 23.500.000**
Estudio de sombras y poda de árbol	Global	1	$ 1.000.000	$ 1.000.000
Variador de frecuencia (VDF) 50→60 Hz	Unidad	1	$ 3.500.000	$ 3.500.000
Conexión a red eléctrica local (acometida + medidor)	Global	1	$ 5.000.000	$ 5.000.000
Sistema de transferencia híbrida (red + solar)	Global	1	$ 8.000.000	$ 8.000.000
Sistema de puesta a tierra (RETIE) y DPS	Global	1	$ 4.500.000	$ 4.500.000

Certificación RETIE y pruebas ONAC	Global	1	$ 1.500.000	$ 1.500.000
4. REACTOR MBBR Y PROCESO BIOLÓGICO				**$ 8.200.000**
Inspección interna de carriers y difusores	Global	1	$ 1.200.000	$ 1.200.000
Nueva inoculación con biomasa activa	Global	1	$ 3.500.000	$ 3.500.000
Análisis de laboratorio inicial (afluente/efluente)	Global	1	$ 2.500.000	$ 2.500.000
Bitácora de operación	Global	1	$ 1.000.000	$ 1.000.000
5. INFRAESTRUCTURA CIVIL Y ESTABILIDAD				**$ 28.000.000**
Evaluación geotécnica del talud	Global	1	$ 3.000.000	$ 3.000.000
Obras de estabilización (gaviones o suelo-cemento)	m²	40	$ 500.000	$ 20.000.000
Rediseño y adecuación de campo de infiltración	Global	1	$ 5.000.000	$ 5.000.000
6. MONITOREO Y CUMPLIMIENTO NORMATIVO				**$ 10.500.000**
Instalación de 3 piezómetros (10, 20, 30 m)	Unidad	3	$ 2.500.000	$ 7.500.000
Estudio de capacidad de lechos de secado (lodos)	Global	1	$ 3.000.000	$ 3.000.000
COSTO DIRECTO				**$ 85.950.000**
Subtotal			**$ 96.450.000**	**$ 104.166.000**
Administración (9%)		**9%**	**$ 8.680.500**	**$ 9.374.940**
Utilidad (6%)		**6%**	**$ 5.787.000**	**$ 6.249.960**
IVA sobre utilidad (19%)		**19%**	**$ 1.099.530**	**$ 1.187.492**
COSTO TOTAL AJUSTADO			**$ 112.017.030**	**$ 120.978.392**

NOTA: Los costos de inversión no se incluirán en la tarifa

5.2 Costos Operativos Anuales Estimados (CMA)

Tabla 3. Desglose de costos de operación anual

Concepto	*Unidad*	*Cantidad mensual*	*Valor unitario (COP)*	*Costo mensual (COP)*	*Costo anual (COP)*
Personal de operación					$ 25.967.400
Operador técnico (tiempo parcial - 10h/semana)	Mes	64,95	$ 21.000	$ 1.363.950	$ 16.367.400
Auxiliar de mantenimiento (10h/semana)	Mes	1	$ 800.000	$ 800.000	$ 9.600.000
Energía eléctrica					$ 6.350.400
Consumo de aireadores y sistema de control (1,5 kW × 24h) solo 70% de la red	kWh/mes	756	$ 700	$ 529.200	$ 6.350.400
Productos químicos e insumos					$ 1.482.000
Inoculante/reinóculo biológico (semestral)	Global	0,167	$ 500.000	$ 83.500	$ 1.002.000
Desinfectante (para limpieza y puntos de muestreo)	Global	1	$ 40.000	$ 40.000	$ 480.000
Mantenimiento preventivo					$ 4.798.800

Limpieza de rejillas y desarenador (extracción de sólidos 3 veces/día)	Global	1	$ 100.000	$ 100.000	$ 1.200.000
Mantenimiento de aireadores y variador de frecuencia (VDF)	Global	0,25	$ 600.000	$ 150.000	$ 1.800.000
Mantenimiento de paneles solares y baterías	Global	0,25	$ 500.000	$ 125.000	$ 1.500.000
Mantenimiento de campo de infiltración (rotación de zanjas)	Global	0,083	$ 300.000	$ 24.900	$ 298.800
Análisis de laboratorio y monitoreo					$ 5.500.000
Análisis de efluente (DBO_5, DQO, SST, N total, P total, RAS)	Muestra	4	$ 1.000.000	$ 333.333	$ 4.000.000
Análisis de piezómetros (indicadores de contaminación)	Muestra	2	$ 750.000	$ 125.000	$ 1.500.000
Gestión de residuos					$ 1.200.000
Transporte y disposición de sólidos cribados (arenas y rejillas)	m³/año	3	$ 200.000	$ 50.000	$ 600.000
Transporte de lodos (extracción anual)	m³/año	2	$ 300.000	$ 50.000	$ 600.000
Gastos administrativos y generales					$ 3.500.004
Materiales de oficina y bitácora	Global	1	$ 50.000	$ 50.000	$ 600.000
Equipos de protección personal (EPP)	Global	0,5	$ 200.000	$ 100.000	$ 1.200.000
Seguros y contingencias	Global	1	$ 141.667	$ 141.667	$ 1.700.004
			COSTO TOTAL DE OPERACIÓN ANUAL (CMA)		**$ 48.798.604**

5.3 Costo Medio De Operación (CMO)

El CMO es el costo promedio por metro cúbico de agua residual tratada para operar la PTAR, excluyendo inversión inicial.

Cálculo: CMO=CMA / Qanual= CMO=48.798.604/14.191

➔CMO= 3.439 $/ m³

5.4 Costo Amortizado (CUP_TR)

El CUP_TR es el costo unitario particular del tratamiento de aguas residuales, incluyendo amortización de inversiones y costos de operación.

Tabla 4. Desglose de costos de operación anual

Componente	***Valor (COP/m³)***	***Cálculo***
Costo de operación (CMO)	$ 3.439	Del cálculo anterior
Costo de reposición de equipos (anualizado)	$ 500	Carriers, difusores, VDF
CUP_TR total	$ 3.939	$ / m³

5.5 Costo Medio Por Tasa Retributiva

El CMTR es el costo promedio por metro cúbico de agua residual tratada para pagar la tasa ambiental a qué se dé lugar. Como no se tiene el valor exacto se calcula con el valor del rango mayor

Tabla 5. Tasas ambientales

Ítem	*Base de cálculo*	*Valor anual estimado (COP)*	*Marco normativo*
Tasa retributiva por vertimientos puntuales	Carga contaminante vertida (DBO_5 y SST)	1.200.000– 2.500.000	Decreto 2667 de 2012, Decreto 1076 de 2015
Tasa por uso de agua (si aplica captación propia)	Volumen captado	No aplica (no hay captación)	Ley 99 de 1993
Tasa de control y seguimiento ambiental	Costo administrativo del permiso	500.000– 1.000.000	Resolución 2086 de 2010 (MADS)

COSTO MEDIO TASA RETRIBUTIVA (CMTR

Cálculo: CMTR= 1.200.000/14.191
➔**CMTR=** 85 $/ m³

5.6 Costos Unitarios (CMI, CMO, Tasas) Y Tarifa

Tabla 6. Resumen de los costos y taifa

Nombre	*Sigla*	*Valor*	*Unidad*	*Definición*
Costo Medio de Inversión	CMI	**$ 0**	COP/m³	Inversión total inicial amortizada en 20 años
Costo Medio de Operación	CMO	**$ 3.439**	COP/m³	Costo operativo anual por m³ tratado
Costo Medio de Operación (incluyendo amortización)	CUP_TR	**$ 3.939**	COP/m³	CMO + amortización de inversión
Costo por tasa retributiva	CMTR	**$ 1.200.000**	COP/año	Tasa mínima con respecto al decreto 2667
Costo por tasa retributiva	CMTR	**$ 85**	COP/m³	Tasa mínima con respecto al decreto 2668
Cargo fijo	CF	**$ 2.500**		Valor recomendado de norma
TARIFA	CF+(CMI+CMO+CMTR	**$ 58.618**		Para un volumen de 14 m3

6 ANALISIS

Con la inversión inicial cubierta por aportes no reembolsables, la tarifa resultante ($58.618/mes por vivienda) no es asequible para la comunidad sin necesidad de subsidios operativos adicionales, además excede el valor máximo recomendado por la CAR.

Valor máximo para el pago según CAR para 2026	$ 20.111
Valor mínimo del subsidio requerido	$ 38.507
Total subsidios mensual	$ 3.196.098
Total subsidios anual	**$ 38.353.180**

Los resultados obtenidos evidencian que la operación de la PTAR Horizontes requiere recursos anuales del orden de $38.353.180 para cubrir las actividades de operación, mantenimiento, monitoreo, gestión de residuos y administración del sistema. A partir de estos costos se determinó una tarifa de referencia de aproximadamente $58.618 por vivienda al mes, valor que supera la capacidad de pago estimada para la población beneficiaria y excede los criterios de asequibilidad aplicables a sistemas de pequeña escala.

En estas condiciones, la sostenibilidad financiera de la PTAR no puede garantizarse exclusivamente mediante el recaudo tarifario a los usuarios. El análisis realizado permite concluir que la continuidad operativa del sistema requerirá la implementación de mecanismos complementarios de financiación, entre ellos la asignación de subsidios por parte del municipio o la concurrencia de otras fuentes institucionales de apoyo que permitan cubrir la brecha existente entre la tarifa técnicamente requerida y la tarifa socialmente asequible para la comunidad.

En consecuencia, se concluye que la sostenibilidad de la PTAR Horizontes depende no solo de su adecuado desempeño técnico y operativo, sino también de la definición de un esquema de financiación que permita complementar los recursos aportados por los usuarios y garantizar la permanencia de los beneficios ambientales y sanitarios asociados al tratamiento de las aguas residuales del corregimiento de Puerto Perales.

6.1 Comparación con la norma de tarifas para pequeños prestadores

La regulación tarifaria para servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia está definida principalmente por las siguientes normas:

- **Resolución CRA 943 de 2021**: Compila y actualiza las metodologías tarifarias para personas prestadoras con más de 5.000 suscriptores.
- **Resolución CRA 825 de 2017**: Metodología para pequeños prestadores (menos de 2.500 suscriptores o áreas rurales).

- **Resolución CRA 688 de 2014**: Metodología general (base compilada en 943).

Para **pequeños prestadores** (municipios menores, áreas rurales, sistemas comunitarios), la metodología considera:

Tabla 7. Referentes de norma

Nivel de complejidad del sistema	***Rango de caudal (L/s)***	***Factor de referencia CMO (COP/m³ - base 2024)***
Bajo	Q < 1	2.500–4.500
Medio	1 ≤ Q < 10	1.800– 2.800
Medio-Alto	10 ≤ Q < 50	1.200– 1.800
Alto	Q ≥ 50	800–1.200

Fuente: Adaptado de Resolución CRA 825 de 2017 (actualización con inflación a 2024).

6.2 Asequibilidad familiar

El análisis de asequibilidad permite evaluar la relación entre la tarifa estimada para la operación de la PTAR y la capacidad de pago de los usuarios beneficiarios. Este ejercicio constituye un elemento fundamental para determinar la viabilidad financiera del sistema y la necesidad de implementar mecanismos complementarios de financiación que garanticen el acceso al servicio sin generar una carga económica desproporcionada para los hogares.

La siguiente tabla presenta la comparación entre los principales indicadores financieros y de asequibilidad considerados en el análisis, permitiendo identificar la brecha existente entre los costos reales de operación del sistema y la capacidad de pago estimada para la población beneficiaria.

Tabla 8. Asequibilidad familiar

Indicador	*Valor*	*Referencia normativa*	*Cumplimiento*
Ingreso familiar promedio mensual (zona rural)	$ 1.200.000	DANE (estimado 2025)	—
Tarifa mensual por vivienda (CUP_TR sin CMI)	$ 58.618	—	—
Tarifa como % del ingreso	5,34%	<4% recomendado por la CRA	☑ No Cumple
Tarifa mensual máxima asequible (según CAR)	$ 20.111	Metodología CRA	—
Brecha de asequibilidad	$ 38.507	Por encima del tope	☑ Requiere subsidio adicional

Conclusión:
Con la inversión inicial cubierta por aportes no reembolsables, la tarifa resultante ($58.618/mes por vivienda) no es asequible para la comunidad sin necesidad de subsidios operativos adicionales, además excede el valor máximo recomendado por la CAR.

Tabla 9. Comparación de indicadores

Indicador	***PTAR Horizontes***	***Referencia normativa (pequeños prestadores)***	***Cumplimiento***
CMO (COP/m³)	$ 3.996	Rango bajo: 2.500 – 4.500 [cita requerida]	Dentro del rango
Costos de personal (% del CMA)	55%	Se recomienda no superar 50-60% en sistemas rurales pequeños	Aceptable
Costos de energía (% del CMA)	16%	Rango típico 10-20% para MBBR con aireación	Aceptable

7 ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD GENERAL

7.1 Dimensión social

La sostenibilidad social de la PTAR depende de la apropiación comunitaria del sistema, la comprensión de los beneficios asociados al tratamiento de las aguas residuales y la disposición de los usuarios para contribuir a su operación y conservación. En este sentido, el fortalecimiento de capacidades y la participación de la comunidad constituyen elementos fundamentales para garantizar la permanencia de la infraestructura en el tiempo.

Tabla 10. Riesgos sociales identificados

Riesgo	***Probabilidad***	***Impacto***	***Mitigación***
Morosidad en pago de tarifas	Alta	Alto	Acuerdo comunitario de pagos; subsidio dirigido
Falta de apropiación del sistema	Media	Alto	Capacitación a la comunidad; comité de agua local
Rotación del operador técnico	Alta	Medio	Manuales de operación; capacitación cruzada
Conflicto por uso del suelo (campo de infiltración)	Baja	Medio	Socialización y acuerdo de servidumbre

7.2 Dimensión ambiental – cumplimiento normativo proyectado

La puesta en operación de la PTAR permitirá reducir la carga contaminante descargada al ambiente y contribuir al cumplimiento de los objetivos de saneamiento establecidos para el territorio. El adecuado funcionamiento del sistema, acompañado de procesos de operación, mantenimiento y seguimiento, favorecerá el cumplimiento de las condiciones establecidas en el permiso de vertimientos y de los requerimientos ambientales aplicables.

Tabla 11. Proyección de cargas contaminante vertidas (DBO_5 y SST)

Año	*Población servida*	*Carga DBO_5 entrada (kg/año)*	*Eficiencia esperada*	*Carga vertida (kg/año)*	*Límite Res. 699/2021 (mg/L)*
2026	304	1.660	85%	249	90 mg/L → 1.277 kg/año (máximo permitido)
2027	310	1.693	87%	220	
2028	316	1.725	88%	207	
2029	322	1.758	89%	193	
2030	328	1.791	90%	179	

Nota: La carga vertida proyectada se encuentra por debajo del límite máximo permitido si se mantiene la eficiencia ≥ 85%.

8 NOTAS FINALES

- La tarifa plena no es asequible para la comunidad. Se requiere un esquema de subsidio cruzado o transferencias directas. La creación de un comité de agua local es esencial para la apropiación.
- Sin subsidios externos significativos durante los primeros 4 años, la PTAR Horizontes **no es financieramente sostenible**. Se requiere un modelo de subsidio decreciente con compromiso claro del municipio.
- La tecnología MBBR es robusta y los indicadores técnicos proyectados son aceptables, **siempre que se ejecuten las inversiones críticas** (red 60 Hz, estabilización de talud, corrección del campo de infiltración). Sin estas, la sostenibilidad técnica es inviable.
- El cumplimiento sostenido de la Resolución 699 de 2021 es posible **solo después de rediseñar el campo de infiltración** e instalar los piezómetros. Hasta entonces, la PTAR no garantiza la protección del suelo y aguas subterráneas.