



Vigilada Mineducación

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES –PTAR– EN LA VEREDA
TABLACITO DEL MUNICIPIO DE RIONEGRO, ANTIOQUIA

Pre-feasibility Study for the Implementation of a Wastewater Treatment Plant –
WWTP– in the Vereda Tablacito of the Municipality of Rionegro, Antioquia

Lina María Álvarez Oquendo

Cristian Aguirre Baena

Trabajo de grado para optar por el título de
Magister en Gerencia de Proyectos

Asesor

Elkin Arcesio Gómez Salazar

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRÍA EN GERENCIA DE PROYECTOS
MEDELLÍN
2025

CONTENIDO

Resumen	6
Abstract.....	7
Planteamiento del Problema	8
Objetivos	11
General	11
Específicos	11
Justificación	13
Antecedentes	15
Marco Teórico o Conceptual.....	17
Estudio de Prefactibilidad y sus Metodologías	17
Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): Componentes y Funcionamiento.....	19
Componentes del Estudio de Prefactibilidad	20
Vereda Tablacito: Contexto Territorial y Desafíos	23
Diseño Metodológico	25
Definición de los Objetivos de la Investigación.....	25
Tipo de Estudio	25
Recolección de Datos	25
Cálculo de la Muestra.....	26
Análisis de Datos.....	26
Validación de Resultados	29
Cronograma	29
Desarrollo del Estudio de Prefactibilidad	30

1. Estudio Sectorial	30
<i>Factores Políticos</i>	30
<i>Factores Económicos</i>	32
<i>Factores Sociales</i>	35
<i>Factores Tecnológicos</i>	36
<i>Factores Ecológicos</i>	38
<i>Factores Legales</i>	39
2. Estudio de Mercado	40
3. Estudio Técnico.....	52
4. Estudio Legal	61
5. Estudio Administrativo.....	66
6. Estudio Ambiental	72
7. Estudio Financiero	78
8. Estudio de Riesgos	94
Conclusiones	96
Referencias.....	100
Anexos.....	107

TABLA DE ILUSTRACIONES

Tabla 1. Comparativo general de metodologías de prefactibilidad	18
Tabla 2. Estructura de estudios según metodología ONUDI	22
Tabla 3. Diseño metodológico por objetivo específico (8 estudios ONUDI).....	27
Tabla 4. Recursos para la ejecución del estudio de prefactibilidad de la PTAR – Vereda Tablacito.....	28
Tabla 5. Marco tarifario	41
Tabla 6. Matriz DOFA - Estudio de mercado	42
Tabla 7. Proyección de suscriptores 2025 – 2027	46
Tabla 8. Proyección de suscriptores 2028 - 2032.....	47
Tabla 9. Proyección de suscriptores 2033 – 2037	48
Tabla 10. Proyección tarifas consumo 2024-2027	50
Tabla 11. Proyección tarifas consumo 2028 -2037	51
Tabla 12. Estimación del caudal de diseño para la PTAR de la Vereda Tablacito	54
Tabla 13. Comparativo de tecnologías para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales	55
Tabla 14. Resumen del marco normativo y políticas públicas de agua y saneamiento en Colombia.....	64
Tabla 15. Características clave de Empresas Públicas de Rionegro S.A.S. E.S.P.	68
Tabla 16. Personal y funciones - PTAR Vereda Tablacito	72
Tabla 17. Matriz de impactos ambientales (Leopold).....	77
Tabla 18. Flujo de caja del inversionista - Ingresos	82
Tabla 19. Flujo de caja del inversionista - Egresos.....	85
Tabla 20. Flujo de caja del inversionista - Egresos.....	86
Tabla 21. Flujo de caja proyectado	90
Tabla 22. Criterios de decisión del proyecto	92
Tabla 23. Matriz Pestel - Riesgos	95
Figura 1. Cronograma.....	29

Figura 2. Mapa de la vereda Tablacito, municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia	53
Figura 3. Diseño general de PTAR con biodiscos.....	57
Figura 4. Organigrama vigente de Empresas Públicas de Rionegro (antes RioAseo Total).....	70
Figura 5. Sección de organigrama ajustado sugerido para el área de PTAR	71
Gráfico 1. Evolución del PIB de Colombia (2019-2025).....	32
Gráfico 2. Participación PIB nacional por departamentos	34
Gráfico 3. Tendencia de la proyección de población Pre COVID-19, Post COVID-19 y perspectivas de la población mundial	45

RESUMEN

Este trabajo evalúa la prefactibilidad para la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) con tecnología de biodiscos en la vereda Tablacito, municipio de Rionegro, Antioquia. Se desarrolló un análisis integral que abarcó aspectos sectoriales, técnicos, legales, ambientales, administrativos, financieros y de riesgo, bajo la metodología ONUDI. El estudio identificó que, aunque la iniciativa no resulta viable desde un enfoque financiero estricto, presenta un alto valor social y ambiental, al contribuir al saneamiento rural, la conservación de fuentes hídricas y el cumplimiento de metas de desarrollo sostenible. La evaluación consideró las particularidades del entorno local y la naturaleza no comercial del proyecto, concluyendo que su pertinencia se justifica por los beneficios colectivos que genera, más allá del retorno monetario.

Palabras clave: prefactibilidad, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), metodología ONUDI, saneamiento rural, fuentes hídricas.

ABSTRACT

This study assesses the pre-feasibility of constructing a Wastewater Treatment Plant (WWTP) based on a rotating biodisc system in the rural district of Tablacito, located in the municipality of Rionegro, Antioquia. A comprehensive analysis was conducted, encompassing sectoral, technical, legal, environmental, administrative, financial, and risk-related aspects, using the UNIDO methodology. The findings indicate that, although the initiative is not feasible from a strict financial standpoint, it represents a significant social and environmental value, since it contributes to rural sanitation, the protection of water sources, and the achievement of sustainable development goals. The evaluation considered the local context and the non-commercial nature of the project, concluding that its relevance is justified by the collective benefits it generates, beyond monetary returns.

Keywords: pre-feasibility, wastewater treatment plant (WWTP), UNIDO methodology, rural sanitation, water sources.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso al agua potable, el saneamiento y la higiene constituyen derechos humanos esenciales que garantizan la salud pública y el bienestar colectivo. Sin embargo, las Naciones Unidas advierten que, de mantenerse las tasas actuales de progreso, miles de millones de personas no tendrán acceso a estos servicios básicos en 2030 (ONU, 2022). El tratamiento de aguas residuales domésticas —proceso mediante el cual se modifican las propiedades físicas, químicas o biológicas del agua usada para alcanzar niveles de calidad que permitan su descarga o reúso— continúa siendo un desafío en muchos contextos rurales, donde los sistemas convencionales de alcantarillado resultan económicamente inviables o técnicamente inapropiados. En este sentido, los sistemas descentralizados de tratamiento han emergido como una alternativa sostenible, especialmente en comunidades con baja densidad poblacional y recursos limitados (Zhang, Wei, y Liu, 2024).

Colombia presenta rezagos significativos en esta materia. El 96 % de las aguas residuales generadas por actividades domésticas e industriales no reciben tratamiento adecuado, lo que coloca al país entre los más rezagados de la región en gestión de aguas servidas (Centro RS, 2024). Esta situación representa una amenaza directa a la salud pública, especialmente ante enfermedades de origen hídrico o brotes infecciosos como el dengue, la leptospirosis o la diarrea infantil, altamente prevalentes en zonas con saneamiento deficiente (Banco Mundial, 2020).

Rionegro, Antioquia, ha evidenciado en los últimos años un notable crecimiento poblacional, al pasar de 63000 habitantes en 2005 a más de 163000 en 2020, superando a municipios tradicionales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá como Bello o Sabaneta (Alcaldía de Rionegro, 2021). Este crecimiento ha traído consigo la transformación de zonas rurales como la vereda Tablacito en centros de mayor densidad poblacional, lo que exige infraestructuras adecuadas que acompañen esta transición. El plan de ordenamiento territorial actualizado en 2018 contempló un incremento de seis a catorce centros poblados rurales y una densificación de viviendas por hectárea (Municipio de Rionegro, 2018); sin embargo, el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales no ha avanzado a igual ritmo.

Actualmente, muchas viviendas en la vereda Tablacito emplean pozos sépticos como solución artesanal para el tratamiento de aguas residuales. Aunque estos sistemas han sido utilizados por más de un siglo debido a su bajo costo, presentan limitaciones técnicas severas en contextos de crecimiento poblacional y densidad urbana, pues tienden a generar filtraciones que contaminan suelos y cuerpos hídricos (Naranjo, 2019). Estas condiciones no solo afectan los ecosistemas acuáticos y el equilibrio ambiental, sino que representan un riesgo sanitario evidente para las comunidades.

Diversos estudios internacionales, como el informe *Wastewater: From Waste to Resource*, señalan que el 80 % de las aguas residuales del planeta se vierten sin tratamiento, pese a que contienen recursos valiosos recuperables como energía, nutrientes y agua limpia (OKR, 2020). Esta omisión constituye una oportunidad perdida para la sostenibilidad hídrica. En Colombia, la reutilización y tratamiento eficiente de aguas residuales podría traducirse en beneficios ambientales, sociales y económicos, especialmente en zonas rurales donde la inversión en infraestructura sostenible es una necesidad urgente (The Nature Conservancy, 2020).

El Municipio de Rionegro ha avanzado en la instalación de plantas de tratamiento en varias zonas, logrando establecer 40 PTAR, de las cuales 11 fueron implementadas en los últimos años (Barrera, com. pers; 14 de agosto de 2024). No obstante, la vereda Tablacito aún carece de una solución integral, pese a contar con una población estimada en 1010 habitantes y 244 viviendas. Esta carencia convierte a la comunidad en una de las más vulnerables del municipio en términos de acceso al saneamiento.

Las condiciones socioeconómicas de Tablacito permiten pensar en la viabilidad del proyecto. Si bien existen viviendas en todos los estratos, se observa una predominancia de hogares en estratos 2 y 3 (49 y 54 viviendas, respectivamente), lo que revela una estructura poblacional con cierto poder de pago, aspecto clave para la viabilidad financiera de una futura PTAR (Municipio de Rionegro, 2014). La segmentación por estrato también es fundamental para estructurar un modelo tarifario escalonado, con criterios de equidad y sostenibilidad.

A partir de este panorama, resulta indispensable la formulación de un estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta de tratamiento de aguas

residuales en Tablacito, que contemple las dimensiones técnica, operativa, legal, ambiental y financiera. Este análisis debe partir de la revisión de tecnologías apropiadas, los requerimientos normativos (Ley 142 de 1994 y normas complementarias), y la estructuración de un modelo de gestión eficiente. La sostenibilidad del proyecto dependerá tanto de su diseño como de la participación de la comunidad.

A la luz de las problemáticas identificadas en torno a la gestión de aguas residuales en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, se hace imprescindible formular una pregunta que oriente el desarrollo del presente estudio de prefactibilidad. Esta investigación se articula en torno al siguiente interrogante: ¿Es técnica, legal, operativa, ambiental y financieramente viable la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, Antioquia?

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la prefactibilidad para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, Antioquia.

Específicos

1. Analizar el entorno y el contexto sectorial del tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito, identificando factores socioeconómicos, ambientales y tecnológicos que influyen en la gestión actual de los efluentes.
2. Hacer un estudio de mercado para determinar la demanda potencial, la oferta existente y competencia en el sector, incorporando un análisis CAME que permita transformar las debilidades y amenazas en estrategias de mejora.
3. Desarrollar el estudio técnico que evalúe la factibilidad operativa del proyecto, incluyendo la selección de tecnologías apropiadas, capacidad de diseño, eficiencia y requerimientos de infraestructura para la construcción de la planta.
4. Determinar la viabilidad legal y normativa para la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Vereda Tablacito, con base en el marco jurídico colombiano vigente y las regulaciones ambientales aplicables.
5. Diseñar la estructura organizativa y operativa del proyecto, estableciendo roles, funciones y procesos administrativos necesarios para la ejecución, operación y sostenibilidad de la PTAR.
6. Evaluar los impactos ambientales potenciales derivados de la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, considerando aspectos ecológicos, sociales y económicos para garantizar la sostenibilidad del proyecto.
7. Formular un modelo financiero integral que incluya la estimación de los costos de inversión inicial, operación continua, mantenimiento preventivo y correctivo, así como la proyección de un esquema tarifario sostenible.

8. Identificar, clasificar y evaluar los riesgos asociados al proyecto según su probabilidad de ocurrencia e impacto potencial, estableciendo estrategias de mitigación y contingencia.

JUSTIFICACIÓN

La implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, Antioquia, constituye una estrategia clave para optimizar la gestión de recursos públicos y cumplir con las normativas ambientales vigentes. Este proyecto busca mejorar el bienestar de las comunidades rurales al garantizar un manejo adecuado de las aguas residuales, reduciendo la contaminación hídrica y promoviendo la sostenibilidad ambiental. La ampliación y modernización de la PTAR Tranvía en Rionegro, con una inversión significativa y una capacidad proyectada para tratar 320 litros por segundo, refleja el compromiso del municipio en fortalecer su infraestructura de saneamiento (EPM, 2023).

Este estudio de prefactibilidad se centra en evaluar la viabilidad técnica, operativa, financiera y legal de la construcción de la PTAR en Tablacito, asegurando que la inversión pública se destine de manera eficiente y responda a las necesidades urgentes de saneamiento en la región. La baja cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia ha generado una problemática ambiental compleja, especialmente en zonas rurales donde estas aguas se utilizan para riego y, en ocasiones, para consumo humano (Bustos Murillo et al; 2023). Por lo tanto, es esencial garantizar que las inversiones en infraestructura de saneamiento sean efectivas y sostenibles.

Un componente fundamental de este estudio es el desarrollo de un modelo tarifario que permita la recuperación de la inversión inicial sin comprometer la accesibilidad económica de los usuarios, especialmente aquellos en situación de vulnerabilidad. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) establece lineamientos para la inclusión de costos operativos de sistemas de alcantarillado y PTAR en la estructura tarifaria, lo que facilita la sostenibilidad financiera de estos proyectos (CRA, 2022). Además, un modelo tarifario bien diseñado puede contribuir a la reducción de pérdidas de agua no contabilizada y al control de conexiones no autorizadas, optimizando la eficiencia operativa del sistema.

La implementación de la PTAR en la vereda Tablacito no solo aborda problemas inmediatos de saneamiento, sino que también contribuye a una gestión pública más eficaz, promoviendo un uso racional de los recursos y un enfoque

preventivo ante posibles sanciones ambientales. La adopción de tecnologías eficientes en el tratamiento de aguas residuales, como las bombas de calor, puede generar beneficios adicionales, incluyendo la reducción de costos operacionales y la mitigación del impacto ambiental (CEPAL, 2022).

ANTECEDENTES

Antes de abordar la prefactibilidad de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, es necesario establecer un marco contextual que permita comprender las condiciones geográficas, regulatorias y técnicas que inciden en el proyecto. Rionegro, municipio ubicado a 28 km de Medellín en la subregión del Oriente Antioqueño, Colombia, se caracteriza por una altitud de 2460 m s. n. m; temperaturas entre 12 °C y 24 °C, y una estructura territorial conformada por una zona urbana y 36 veredas rurales (Gobernación de Antioquia, s. f.; Plan de Desarrollo 2024–2027). Con una población de 146880 habitantes, de los cuales el 34 % reside en zonas rurales (DANE, 2018), Rionegro desempeña un papel estratégico en la dinámica económica y social del departamento.

A nivel nacional, el tratamiento de aguas residuales ha evolucionado desde los primeros acueductos coloniales hasta la formulación de marcos regulatorios técnicos en el siglo XXI. La Ley 142 de 1994 estableció los principios para la prestación de servicios públicos domiciliarios, incluido el saneamiento básico, mientras que el Ministerio de Vivienda ha promovido el Plan de Manejo de Aguas Residuales Municipales (PMAR) con enfoque territorial, sostenibilidad y control de vertimientos (Congreso de Colombia, 1994; Minvivienda, 2022). Esta evolución se refleja en la adopción de instrumentos técnicos como las normas RAS, que fijan parámetros para diseño, operación y mantenimiento de PTAR, y en la creación de instituciones como el Ministerio de Medio Ambiente y las CAR.

En Antioquia, los avances en cobertura de tratamiento de aguas residuales han sido desiguales entre zonas urbanas y rurales. Si bien el número de municipios con plantas de tratamiento aumentó de 31 en 2004 a 60 en 2011, persiste una marcada brecha: en las zonas urbanas la cobertura de alcantarillado alcanzaba el 94 %, mientras que en las rurales apenas llegaba al 34 %, lo que evidencia una profunda desigualdad en el acceso al saneamiento básico (Gobernación de Antioquia, 2012). Esta desigualdad se atribuye a limitaciones institucionales y presupuestales en municipios con poblaciones menores a 30000 habitantes, donde se requieren tecnologías de bajo costo, operación sencilla y eficiencia comprobada. Corantioquia y Cornare han liderado procesos de fortalecimiento técnico, aunque sin sistematizar aún aprendizajes que permitan replicabilidad a gran escala.

Rionegro, sin embargo, se posiciona como referente en Antioquia gracias a su cobertura del 100 % en alcantarillado urbano y su estrategia de modernización en zonas rurales. La alianza entre la Alcaldía y Cornare permitió en 2023 la instalación de discos biológicos rotativos en la vereda El Tablazo, primera implementación de esta tecnología en el país, que mejora el tratamiento aerobio y reduce los costos operativos (Cornare, 2023). Estas experiencias exitosas evidencian un entorno institucional favorable y un interés político por expandir la infraestructura sanitaria a sectores rurales, en consonancia con los lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo y las metas de sostenibilidad ambiental.

La vereda Tablacito, con más de 1000 habitantes y alrededor de 244 viviendas, enfrenta una situación crítica en cuanto al manejo de aguas residuales. Las soluciones actuales —pozos sépticos, vertimientos directos y sistemas de absorción— no cumplen con los requerimientos técnicos establecidos, lo que genera riesgos sanitarios y ambientales (Arango y Caycedo, 2022). Si bien la comunidad ha avanzado en la organización del acueducto veredal, con apoyo de iniciativas como el Consejo POMC del río Negro y entidades como WWF y CEAM, aún persisten limitaciones en el tratamiento del recurso hídrico.

MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL

Estudio de Prefactibilidad y sus Metodologías

Un estudio de prefactibilidad constituye una herramienta esencial para la planeación estratégica de proyectos de inversión pública o privada, ya que permite determinar de forma anticipada si una iniciativa es viable técnica, económica, ambiental, legal y socialmente antes de avanzar a la etapa de diseño definitivo. Este tipo de estudio proporciona elementos clave para comparar alternativas, identificar riesgos potenciales y reducir la incertidumbre, optimizando así el uso de recursos disponibles (Behrens y Hawranek, 1994).

En contextos de planificación pública, como la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en zonas rurales, el estudio de prefactibilidad es particularmente relevante. Esto se debe a que dichas inversiones requieren coherencia con las políticas territoriales, viabilidad de operación local, sostenibilidad financiera, y mínima afectación ambiental (DNP, 2023).

Entre las metodologías más reconocidas se encuentra la de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), que estructura el estudio en componentes sectoriales, de mercado, técnico, financiero, organizativo y ambiental (Behrens y Hawranek, 1994). Se trata de una metodología modular, ampliamente utilizada para proyectos industriales, de infraestructura o servicios públicos, que contempla la viabilidad desde una perspectiva integrada. En el ámbito colombiano, la Metodología General Ajustada (MGA), desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), constituye el instrumento oficial para la formulación, evaluación y priorización de proyectos públicos, obligatoria para el Sistema General de Regalías (DNP, 2023).

Asimismo, la Metodología del Marco Lógico ha sido una de las más utilizadas a nivel latinoamericano, especialmente en programas sociales, de cooperación internacional y planificación local. Su utilidad radica en la claridad lógica entre problemas, objetivos, indicadores y supuestos. De ella se deriva el enfoque ZOPP (*Zielorientierte Projektplanung*, o Planificación de Proyectos Orientada a Objetivos), impulsado por la cooperación alemana (GIZ, por sus siglas en alemán), que enfatiza la participación de actores clave y el análisis de alternativas. Ambos modelos

favorecen la planificación participativa, pero presentan limitaciones en proyectos con componentes técnicos complejos como una PTAR.

Otra metodología ampliamente reconocida es el *Project Cycle Management* (PCM) de la Comisión Europea, que estructura el ciclo de vida del proyecto desde la identificación hasta la evaluación ex post, incorporando transversalmente criterios de sostenibilidad y género. Por su parte, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) propone una metodología integral que se centra en el diagnóstico institucional, la relación con políticas públicas y los mecanismos financieros sostenibles. A esta se suma el enfoque del Banco Mundial, que se destaca por su análisis de riesgos, evaluación de sensibilidad y sostenibilidad ambiental a largo plazo (Banco Mundial, 2019).

En el contexto latinoamericano también se ha utilizado el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), originado en Perú y adaptado en varios países andinos. Este integra estándares técnicos y presupuestales para garantizar la rentabilidad social del proyecto. Asimismo, el Sistema Unificado de Planificación (SUP), adoptado en países centroamericanos, busca articular los planes operativos anuales con las metas estratégicas del Estado. Finalmente, el PMBOK® (*Project Management Body of Knowledge*) del *Project Management Institute* (PMI), si bien no es una metodología como tal, ofrece estándares y buenas prácticas en gerencia de proyectos, siendo aplicable para asegurar la ejecución y el control de proyectos complejos.

La siguiente tabla presenta una síntesis comparativa de estas metodologías:

Tabla 1. Comparativo general de metodologías de prefactibilidad

Metodología	Enfoque	Aplicabilidad	Fortalezas
ONUDI	Modular, técnico y económico.	Industria, infraestructura, saneamiento.	Rigurosidad, visión integral.
MGA	Político-institucional, normativo.	Proyectos públicos en Colombia.	Obligatoria para recursos públicos.
Marco Lógico	Lógico-problemático.	Proyectos sociales, educación, salud,	Claridad en objetivos e indicadores,
ZOPP (GIZ)	Participativo y orientado a resultados.	Desarrollo local, proyectos comunitarios,	Inclusión de actores, análisis estratégico,

PCM (UE)	Ciclo de vida completo.	Cooperación internacional.	Enfoque de sostenibilidad y evaluación continua.
BID	Técnico-financiero y político.	Proyectos urbanos, infraestructura compleja.	Rigurosidad financiera, enfoque institucional.
Banco Mundial	Económico, ambiental y riesgo.	Proyectos de gran escala.	Profundidad en riesgos y sostenibilidad.
SNIP	Rentabilidad social y presupuestal.	Gobiernos de Latinoamérica.	Consistencia técnica y fiscal.
SUP	Articulación con planes de gobierno.	Planificación pública local.	Integración operativa.
PMBOK (PMI)	Gestión de proyectos y procesos.	Ejecución y control de proyectos.	Estándares globales de ejecución.

Fuente: Adaptado de BID (2020), DNP (2023), Behrens y Hawranek (1994), PMI (2021), GIZ (2018).

Entre todas las metodologías revisadas se opta por emplear ONUDI como columna vertebral del estudio de prefactibilidad debido a su robustez técnica, su enfoque integral y su probada aplicabilidad en proyectos de infraestructura social básica como las PTAR rurales. Esta se complementa con los lineamientos de la MGA, dado que se trata de una inversión pública en Colombia y debe ajustarse a las exigencias del Sistema Nacional de Inversión Pública y del banco de proyectos del municipio. La elección de esta combinación metodológica permite cumplir con estándares nacionales e internacionales de evaluación, incorporar las exigencias legales vigentes y generar confianza para la toma de decisiones institucionales informadas.

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): Componentes y Funcionamiento

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son infraestructuras destinadas a mejorar la calidad del agua residual generada por actividades humanas, permitiendo su devolución segura al ambiente o su posible reutilización. Estas plantas cumplen una función fundamental en la preservación de la salud pública y la sostenibilidad ambiental, al reducir la carga contaminante presente en los efluentes domésticos, comerciales e industriales (Tchobanoglous, Burton y Stensel, 2014).

El propósito principal de una PTAR es garantizar que el agua tratada cumpla con los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para ser vertida en cuerpos hídricos sin causar impactos negativos. Esta intervención técnica responde tanto a criterios sanitarios como ecológicos, especialmente relevantes en zonas rurales donde el acceso a infraestructura de saneamiento suele ser limitado (EPA, 2021).

La implementación de una PTAR es una estrategia clave para la gestión integral del recurso hídrico, al contribuir a la reducción de enfermedades de origen hídrico, mitigar la degradación ambiental y permitir el cumplimiento de los compromisos internacionales de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6: Agua limpia y saneamiento para todos (Naciones Unidas, 2023).

Desde el punto de vista de la planificación territorial, una PTAR también se convierte en una herramienta para el ordenamiento y la protección de cuencas hidrográficas, ya que regula el vertimiento de aguas servidas y promueve el uso racional del agua en contextos urbanos y rurales (Minvivienda, 2022).

La pertinencia de este tipo de soluciones se incrementa en entornos como el de la vereda Tablacito, donde las prácticas actuales de manejo de aguas residuales no son sostenibles ni técnicamente adecuadas, generando afectaciones sanitarias y ambientales para la comunidad. La instalación de una planta en esta zona no solo permitiría responder a una necesidad estructural, sino que sentaría las bases para un modelo replicable de saneamiento rural en el municipio de Rionegro y en el Oriente Antioqueño.

Componentes del Estudio de Prefactibilidad

La metodología propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) se basa en un enfoque modular que permite analizar de forma integral la viabilidad de proyectos de inversión pública o privada. Esta estructura contempla ocho estudios clave, que abordan el entorno del proyecto desde diferentes dimensiones (Behrens y Hawranek, 1994). En el presente trabajo, esta

metodología se articula con los objetivos específicos del estudio para garantizar una evaluación completa y contextualizada de la implementación de una PTAR en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro.

El primer estudio, el estudio sectorial, se enfoca en caracterizar el entorno económico, social, tecnológico y ambiental en el que se inserta el proyecto. Permite identificar variables estructurales que afectan la gestión del agua y el saneamiento, como la cobertura de servicios, las tendencias poblacionales o las políticas locales (Zarur Ramos, 2021). Este estudio es clave para determinar la pertinencia de la solución propuesta.

El segundo estudio, el estudio de mercado, busca establecer la demanda actual y futura del servicio de tratamiento de aguas residuales, la oferta existente, la competencia institucional y los niveles de disposición de pago por parte de la comunidad. Se complementa con herramientas como el análisis CAME, que facilita el diseño de estrategias basadas en debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2020).

El tercer estudio, el estudio técnico, analiza la factibilidad operativa del proyecto. Incluye la evaluación del tipo de suelo, la disponibilidad de servicios, el acceso vial y las condiciones físicas del sitio. Además, considera la selección tecnológica y la capacidad del sistema, en función de la población servida y la normativa ambiental aplicable (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [Minvivienda], 2022).

El cuarto estudio, el estudio ambiental, identifica los impactos positivos y negativos de la construcción y operación de la PTAR sobre los ecosistemas y la salud pública. Evalúa factores como emisiones, generación de lodos, afectación a fuentes hídricas y propone medidas de prevención, mitigación o compensación (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2015).

El quinto estudio, el estudio organizacional, define la estructura de gestión, los procesos administrativos, y los roles de los actores involucrados en la operación del sistema. Esto puede incluir asociaciones comunitarias, empresas de servicios públicos o esquemas mixtos, según lo establecido en la Ley 142 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994).

El sexto estudio, el estudio o marco legal, verifica el cumplimiento del marco jurídico nacional vigente, incluyendo las normativas sobre servicios públicos domiciliarios, licencias ambientales, permisos de vertimiento y requisitos urbanísticos. Este análisis garantiza que el proyecto pueda ejecutarse sin restricciones legales (Ministerio de Vivienda, 2022).

El séptimo estudio, el estudio financiero, proyecta los costos de inversión (CAPEX), operación y mantenimiento (OPEX), ingresos esperados, y calcula indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). También contempla el diseño tarifario ajustado a la Resolución CRA 825 de 2017 (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico [CRA], 2017).

Por último, el octavo estudio, el estudio de riesgos, identifica, clasifica y evalúa los riesgos asociados al proyecto: técnicos, financieros, ambientales, institucionales y sociales. A partir de ello, propone estrategias de mitigación y mecanismos de contingencia para fortalecer la resiliencia del proyecto (Banco Mundial, 2019).

Tabla 2. Estructura de estudios según metodología ONUDI

Estudio	Propósito principal	Aplicación en la PTAR de Tablacito
Estudio sectorial	Analizar el contexto socioeconómico, ambiental y tecnológico del proyecto.	Define factores estructurales que condicionan la intervención.
Estudio de mercado	Estimar la demanda, oferta, competencia y disposición de pago.	Justifica cobertura y sostenibilidad social del sistema.
Estudio técnico	Evaluar requerimientos físicos, operativos y tecnológicos.	Fundamenta el diseño preliminar y la selección de tecnologías apropiadas.
Estudio ambiental	Identificar impactos y definir medidas de manejo ambiental.	Asegura compatibilidad ecológica y cumplimiento normativo ambiental.
Estudio organizacional	Definir la estructura operativa, administrativa y de gobernanza.	Garantiza eficiencia operativa y sostenibilidad institucional.
Estudio legal	Verificar el cumplimiento del marco normativo vigente.	Asegura licenciamiento, viabilidad jurídica y alineación con políticas públicas.
Estudio financiero	Calcular costos, ingresos proyectados y rentabilidad del proyecto.	Evalúa sostenibilidad económica, tarifas y recuperación de la inversión.

Estudio de riesgos	Identificar riesgos y formular estrategias de mitigación.	Minimiza incertidumbre y fortalece la resiliencia del proyecto ante escenarios adversos.
--------------------	---	--

Fuente: Adaptado de Behrens y Hawranek (1994), ONUDI; Minvivienda (2022); CRA (2017).

En conclusión, un estudio de prefactibilidad que integre estas ocho dimensiones fortalece la toma de decisiones y aumenta significativamente las probabilidades de éxito del proyecto. En el caso de la vereda Tablacito, estas evaluaciones serán clave para validar la pertinencia y la efectividad de la implementación de una PTAR, asegurando que se adapte a las condiciones locales, cumpla la normativa ambiental y sea financieramente sostenible para la comunidad.

Vereda Tablacito: Contexto Territorial y Desafíos

La vereda Tablacito se localiza en la zona rural del municipio de Rionegro, Antioquia, y presenta un contexto demográfico y territorial que exige atención prioritaria en materia de saneamiento básico. Actualmente, las aguas residuales generadas en la vereda se gestionan mediante sistemas artesanales como pozos sépticos, vertimientos directos y botaderos. Estas prácticas no cumplen con los lineamientos establecidos por las Normas RAS ni con los estándares ambientales exigidos por la autoridad regional (Cornare), lo que incrementa el riesgo de contaminación del suelo, afectación a cuerpos de agua y brotes de enfermedades de origen hídrico (Minvivienda, 2022). La carencia de infraestructura técnica y el bajo acceso a soluciones colectivas de tratamiento agravan las condiciones de vulnerabilidad sanitaria, especialmente en periodos de lluvias o colapso de los sistemas individuales.

Frente a estas limitaciones, la comunidad de Tablacito ha desarrollado una iniciativa de autogestión del acueducto veredal, liderada por residentes permanentes y veraneantes. Esta estructura organizativa ha permitido sostener el abastecimiento de agua potable a través de aportes voluntarios y una administración comunitaria. Desde 2015, la vereda participa activamente en procesos de custodia del recurso hídrico, en el marco del programa “Custodios del Agua” promovido por WWF, CEAM y el Consejo de Cuenca del Río Negro. Como resultado, se han suscrito al menos 13

acuerdos comunitarios para la conservación de cuencas y la gestión responsable del agua (Arango y Caycedo, 2022).

No obstante, hasta la fecha no se ha implementado una solución estructural ni tecnificada para el tratamiento de las aguas residuales. La ausencia de una PTAR limita los avances logrados en abastecimiento y conservación, e impide cumplir con los principios de integralidad del ciclo hídrico definidos por el Plan Nacional de Saneamiento Básico (Minvivienda, 2022). En este sentido, el presente estudio de prefactibilidad se configura como una herramienta estratégica para responder a esta necesidad crítica, proponiendo un modelo viable desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

La implementación de una PTAR en Tablacito no solo permitirá cerrar brechas en materia de infraestructura sanitaria, sino que consolidará una experiencia replicable de saneamiento rural sostenible, basada en la participación comunitaria, el uso eficiente de los recursos y la articulación con políticas públicas territoriales. Esta iniciativa se alinea con los compromisos del municipio de Rionegro en materia de sostenibilidad y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 6: Agua limpia y saneamiento para todos (Naciones Unidas, 2023).

DISEÑO METODOLÓGICO

Definición de los Objetivos de la Investigación

Este estudio busca evaluar la prefactibilidad para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, Antioquia, mediante el análisis de viabilidad técnica, ambiental, legal, financiera, organizacional y social del proyecto. El enfoque metodológico propuesto responde a la necesidad de formular un diagnóstico integral y realista de las condiciones del territorio, con base en datos verificables y normativas vigentes (Behrens y Hawranek, 1994; DNP, 2023).

Tipo de Estudio

La investigación adopta un enfoque mixto con predominancia cuantitativa. Esto se justifica en tanto se requiere cuantificar la demanda, estimar costos y modelar escenarios financieros, pero también comprender elementos del entorno institucional, legal y ambiental que requieren análisis cualitativo interpretativo (Hernández et al; 2021). El diseño corresponde a un estudio de tipo descriptivo y de prefactibilidad aplicada, centrado en una comunidad específica con fines de planificación pública.

Recolección de Datos

Se emplearán fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias incluyen entrevistas semiestructuradas a actores clave como los funcionarios públicos y operadores de servicios del Municipio de Rionegro. Las fuentes secundarias abarcan documentos normativos (Ley 142 de 1994, Normas RAS), datos censales (DANE), plataformas oficiales (RIODATA, SIGOT), planes de ordenamiento territorial (POT), y literatura académica especializada, como el texto de Zarur Ramos (2021) para el estudio del entorno económico.

Cálculo de la Muestra

Para el presente trabajo se prefirió un muestreo por conveniencia, el cual es considerado un tipo de muestreo no probabilístico en el que hay selección intencionada del investigador, teniendo en cuenta la accesibilidad, proximidad y disponibilidad de la información. Esta técnica permite decidir cuántos sujetos integrarán la muestra, en función de la disponibilidad y disposición de las fuentes documentales. Así lo menciona Hernández (2021), al explicar que este tipo de muestreo se adapta a las condiciones factibles del contexto investigativo, sin demanda de selección aleatoria.

En este caso, la muestra está constituida por datos suministrados por funcionarios adscritos a la Alcaldía Municipal de Rionegro, en particular, de la Subsecretaría de Servicios Públicos. Para el año 2024, en la Vereda Tablacito hubo aproximadamente 319 suscriptores de los estratos 1 al 6.

Este tipo de muestra permitirá obtener datos confiables y comparables para fundamentar el estudio de mercado, así como insumos para el análisis financiero y social del modelo tarifario propuesto para la implementación de la PTAR.

Análisis de Datos

El análisis de los datos recolectados en el estudio de prefactibilidad se orienta a responder de manera estructurada cada uno de los ocho objetivos específicos, los cuales se corresponden con los ocho estudios definidos por la metodología ONUDI. Para cada objetivo se ha identificado qué información se requiere, dónde se encuentra, cómo se obtiene y qué instrumentos serán empleados para su recolección. Esta planificación se resume en la Tabla 5, que actúa como eje articulador del diseño metodológico del proyecto.

Los datos cuantitativos serán analizados mediante herramientas de estadística descriptiva, como frecuencias, medidas de tendencia central, distribución porcentual y análisis financiero aplicado (flujos de caja, punto de equilibrio, Valor Presente Neto –VPN– y Tasa Interna de Retorno –TIR–), especialmente en los estudios de mercado y financiero. Por su parte, los datos cualitativos se procesarán a través de técnicas

como categorización temática, análisis de contenido, matrices DOFA, PESTEL, CAME, y evaluación de impactos ambientales y de riesgos, según el tipo de estudio y la naturaleza de la información recopilada.

Tabla 3. Diseño metodológico por objetivo específico (8 estudios ONUDI)

Objetivo resumido	Fuentes de información	Técnicas o instrumentos	Análisis de la información	
1. Analizar el entorno y el contexto sectorial del tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito.	DANE, RIODATA, Cornare, POT Rionegro, Zarur Ramos (2021).	Revisión documental, análisis PESTEL.	Análisis de contexto macro y microeconómico, categorización temática.	
2. Hacer un estudio de mercado para determinar la demanda potencial.	La oferta existente y competencia.	Entrevista a funcionarios públicos de la Admón. Mpal. de Rionegro, RIODATA, SIGOT.	Entrevista y análisis CAME.	Estadística descriptiva, matriz de demanda-oferta.
3. Desarrollar el estudio técnico que evalúe la factibilidad operativa del proyecto.	Normas RAS, Cornare, planos veredales, imágenes satelitales, entrevistas a expertos de la Admón. Mpal.	Análisis de localización, entrevistas expertas.	Comparación tecnológica, identificación de soluciones sostenibles.	
4. Determinar la viabilidad legal y normativa del proyecto	Ley 142/1994, Minvivienda, CRA, Cornare.	Revisión normativa, análisis jurídico.	Compendio de normatividad vigente aplicable	
5. Diseñar la estructura organizativa y operativa del proyecto.	Estatutos veredales, informes del gobierno local, página oficial de Rionegro.	Análisis DOFA institucional, revisión de reglamentaciones locales.	Diagnóstico de gobernanza local y sostenibilidad organizativa.	
6. Evaluar los impactos ambientales potenciales.	Cornare, SIG ambiental, EIA similares, IDEAM.	Revisión de estudios y de normatividad ambiental local y nacional.	Matriz de impactos ambientales (Leopold), jerarquización de efectos.	

7. Formular un modelo financiero integral.	Tarifas CRA, costos históricos, presupuestos oficiales.	Proyecciones financieras, flujo de caja, análisis tarifario.	Evaluación de retorno, punto de equilibrio, análisis de sensibilidad.
8. Identificar, clasificar y evaluar los riesgos asociados.	Experiencias previas, marco PMI, Cornare.	Matriz de riesgos.	Evaluación cualitativa y categorización de riesgos.

Fuente: Elaboración propia con base en ONUDI (1994), BID (2020), CRA (2017), DNP (2023).

La ejecución del presente estudio de prefactibilidad requerirá la articulación de recursos humanos, técnicos, logísticos y financieros. A continuación, se presenta una tabla sintética que identifica los recursos clave necesarios para el desarrollo de cada fase del estudio, desde la recolección de información hasta el análisis, validación y socialización de resultados.

Tabla 4. Recursos para la ejecución del estudio de prefactibilidad de la PTAR – Vereda Tablacito

Actividad	Recursos clave
Revisión documental y normativa	Computador, internet, acceso a bases oficiales (DANE, RIODATA), investigadores.
Diseño de instrumentos y muestreo	Formularios, software (Excel/SPSS), asesor metodológico, investigadores.
Recolección de datos primarios	Entrevista, transporte y grabadora
Análisis de información	Computador, SPSS/Excel, analista de datos, conexión a internet
Redacción del informe	Word, investigador principal, citador (Mendeley)
Validación de resultados	Versión final de este documento, asesor
Socialización final	Plataforma <i>Teams</i> , versión final del documento.

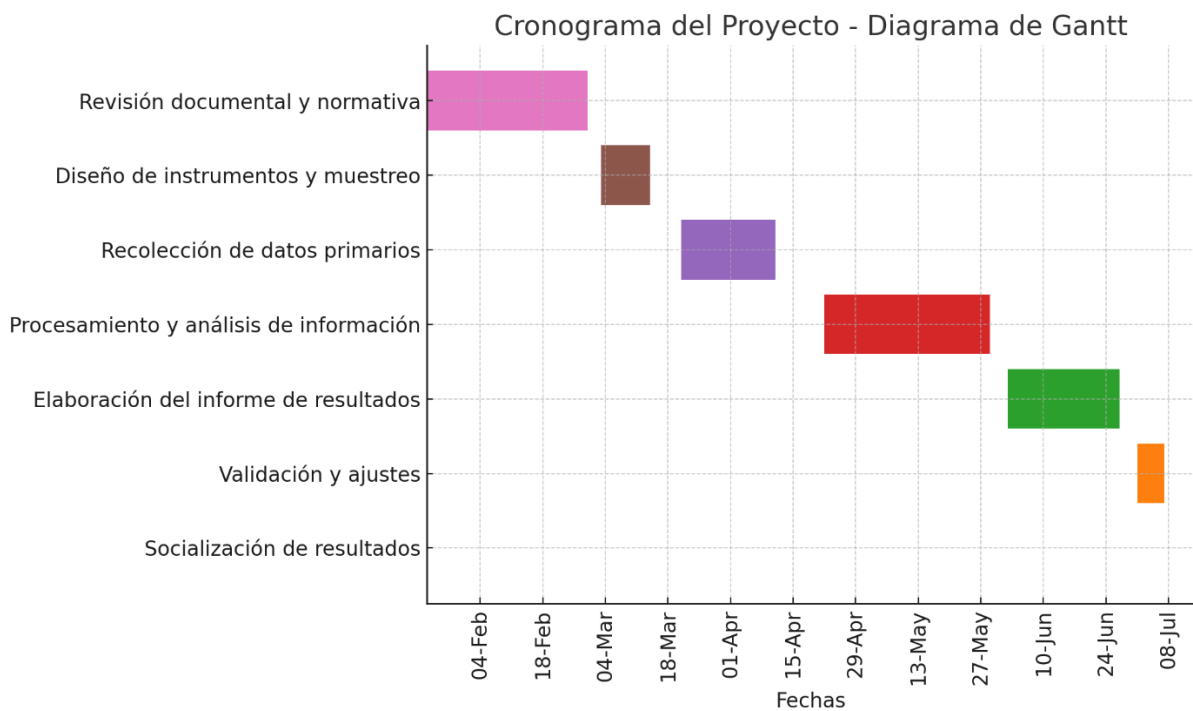
Fuente: Elaboración propia, 2025.

Validación de Resultados

Se implementará triangulación metodológica, combinando resultados de encuestas, entrevistas y análisis documental. La validación interna se reforzará con el contraste entre fuentes institucionales y locales, y se prevé una socialización preliminar con actores comunitarios y expertos técnicos (Zarur Ramos, 2021; Minvivienda, 2022).

Cronograma

Figura 1. Cronograma



Fuente: Elaboración propia, 2025.

DESARROLLO DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD

1. Estudio Sectorial

El desarrollo de infraestructuras para el saneamiento básico en entornos rurales es una difícil tarea, tanto en términos técnicos, como sociales y ambientales, que exige planeación estratégica y un conocimiento amplio del entorno. La instalación de una PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, Antioquia, no puede desligarse de las condiciones estructurales que caracterizan el territorio. constituye una herramienta fundamental para contextualizar el proyecto ya que se convierte en un instrumento esencial para poder enunciar aquellos factores externos que podrían facilitar o dificultar su ejecución. Conocer las dinámicas políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ecológicas y legales del entorno no es solamente útil, sino que es necesario para ajustar el diseño y la toma de decisiones a la realidad de la propuesta y generar impactos en el largo plazo.

La importancia de este análisis radica en su capacidad de ofrecer una visión sistémica del escenario en el que se desarrollará el proyecto. Aplicar un modelo formalizado como es el PESTEL permite tener una lectura global de las variables que influyen en la viabilidad técnica, financiera y social de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales. No se trata de un ejercicio descriptivo, sino que este análisis, permite establecer estrategias, enfocadas a disminuir la incertidumbre y generar información relevante para la gestión de riesgos, la vinculación interinstitucional y por la búsqueda de financiación. Asimismo, permite alinear el proyecto con los objetivos de política pública a nivel nacional, departamental y municipal, promoviendo una intervención coherente con los principios de desarrollo territorial y sostenibilidad ambiental. En suma, este análisis es un insumo esencial para sustentar, con evidencia, cada una de las fases del estudio de prefactibilidad.

Factores Políticos

La dinámica política nacional colombiana ejerce una notable influencia sobre el avance de proyectos de infraestructura, en especial de aquellos relacionados con el saneamiento ambiental. En la actualidad, el gobierno prioriza la transición del sistema

económico hacia un entorno más sostenible, a través del Plan Nacional de Desarrollo 2022 -2026, que promete una inversión pública enfocada a mejorar el acceso a los servicios básicos; este factor incluye el tratamiento de aguas residuales en las áreas rurales y urbanas (Departamento Nacional de Planeación, 2023). Esta orientación política favorece la viabilidad de proyectos como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, al alinearse con objetivos de política pública y compromisos ambientales internacionales.

A nivel departamental, el Plan de Desarrollo de Antioquia, “Por Antioquia Firme 2024-2027”, enfatiza la tarea de fortalecer la gestión ambiental a través de inversiones en la infraestructura hídrica y el saneamiento. En ese mismo sentido, la Gobernación de Antioquia ha podido articular acciones con las Corporaciones Autónomas Regionales como CORNARE; responsable de otorgar permisos de vertimientos y licencias ambientales para este tipo de obras (Gobernación de Antioquia, 2024). Esta coordinación institucional es, sin dudar, un indicativo favorable en el entorno político regional para la ejecución de proyectos que propenden por el desarrollo rural sostenible.

Al nivel local, la Alcaldía de Rionegro ha impulsado políticas de planeación del territorio mediante la introducción de un enfoque ambiental. El Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023, todavía vigente en su ejecución, contempla dentro de su estrategia operacionales, establecer como una acción prioritaria, el fortalecimiento de la infraestructura de saneamiento para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población rural y proteger los ecosistemas locales (Municipio de Rionegro, 2024). No obstante, esta estrategia podría verse afectada, por la dependencia de las transferencias del nivel nacional y por los cambios que pudieran darse tras las elecciones de gobiernos locales, que traigan otro enfoque y objetivos políticos no alienados con los temas ambientales.

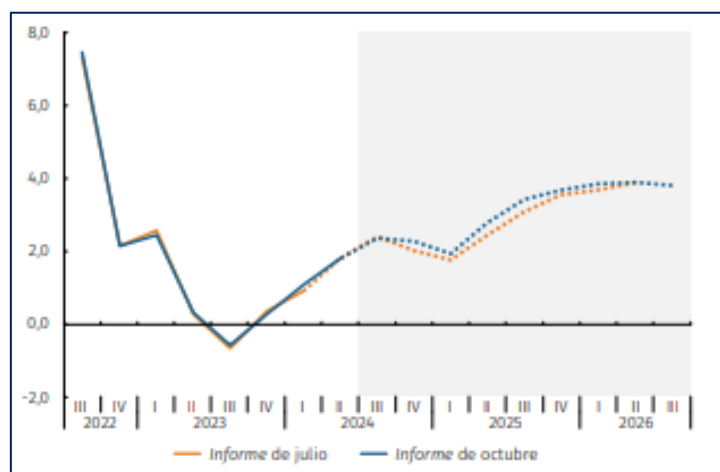
En la situación política colombiana actual es posible observar las dificultades que plantea la inestabilidad institucional, los cambios normativos permanentes y la fragmentación de las políticas públicas de un nivel a otro. Estas condiciones pueden dar lugar a incertidumbre en los cronogramas de ejecución; si estos proyectos se desarrollan en épocas de cambio administrativos, que, a su vez, dan lugar a variaciones sustanciales en las prioridades presupuestarias del gobernante de turno.

Sin embargo, el marco legal colombiano, todavía brinda la oportunidad de avanzar en proyectos de infraestructura ambiental, siempre que se dé prevalencia a la articulación interinstitucional y a la planificación técnica.

Factores Económicos

La coyuntura económica de Colombia en 2025 continúa marcada por una lenta recuperación tras la desaceleración registrada en los últimos años. Según las proyecciones del Banco de la República, el crecimiento del PIB nacional para este año se ubicaría entre el 1.5 % y 2.2 %, lo que refleja un entorno de cautela fiscal, moderación del gasto público y bajos niveles de inversión privada en algunos sectores (Banco de la República, 2025). Este panorama puede afectar la asignación de recursos a proyectos de infraestructura social como las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), ya que el financiamiento suele estar condicionado a la estabilidad macroeconómica y a la priorización presupuestaria del gobierno nacional. La ejecución de una PTAR en la vereda Tablacito podría verse influenciada por esta dinámica, especialmente en términos de acceso a cofinanciación desde el nivel central.

Gráfico 1. Evolución del PIB de Colombia (2019-2025)¹



Fuente: Tomado de Banco de la República, 2024.

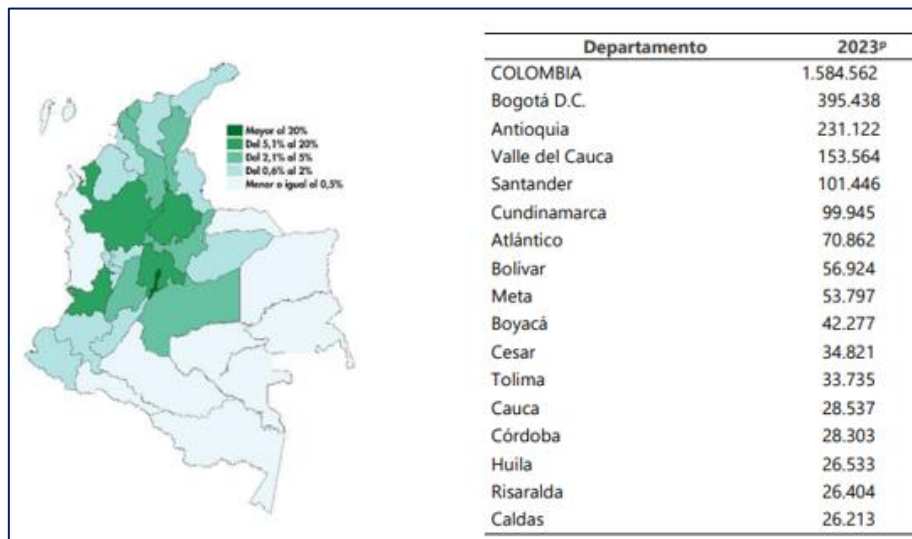
Antioquia mantiene su posición como uno de los departamentos más dinámicos de Colombia en 2023, representando aproximadamente el 14.8 % del PIB nacional, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística

¹ El gráfico muestra la proyección del producto interno en Colombia entre los años 2019 y 2025.

(DANE, 2023). El crecimiento proyectado para el departamento este año es de alrededor de 2.5 %, impulsado principalmente por los sectores de servicios, comercio, industria agroalimentaria y turismo rural (Gobernación de Antioquia, 2024). El Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027 ha priorizado la inversión en infraestructura básica y en sostenibilidad ambiental (saneamiento y agua potable), lo que puede favorecer proyectos como el propuesto en el presente trabajo. Aun así, las diferencias entre las zonas urbanas y rurales siguen siendo importantes, de forma que la viabilidad financiera de una PTAR en una vereda requerirá apoyo técnico, interinstitucional y local para acceder a líneas de fondos departamentales.

La Gobernación de Antioquia, a través de su Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027, ha priorizado la inversión en proyectos de agua potable y saneamiento básico como parte de su estrategia para alcanzar metas de sostenibilidad ambiental y reducción de pobreza rural (Gobernación de Antioquia, 2024). Estos lineamientos favorecen iniciativas como la construcción de la PTAR en Tablacito, aunque su materialización depende de la correcta articulación con planes municipales y de la capacidad de apalancar recursos de programas nacionales y departamentales.

Gráfico 2. Participación PIB nacional por departamentos²



Fuente: Tomado de Dane, 2023.

En el municipio de Rionegro, el contexto económico es relativamente fuerte en contraste con el que se da en otros territorios rurales; el presupuesto municipal aprobado para el ejercicio 2025 alcanza más de 750 mil millones de pesos, según informes preliminares de la Secretaría de Hacienda (Alcaldía de Rionegro, 2025); y a pesar de que las cifras sugieren un crecimiento, buena parte de los recursos se ven comprometidos por gastos fijos más los proyectos de movilidad urbana y de vivienda. Así que, acciones como la edificación de una PTAR en Tablacito dependen en gran medida de estrategias de cofinanciación y de cooperación intergubernamental, además de un potencial manejo de líneas de crédito o fondos de inversión ambiental, como el Plan Departamental de Agua y Saneamiento.

Más allá del financiamiento directo es importante subrayar el valor económico de invertir en saneamiento. Según el Banco Mundial (2020), los proyectos de tratamiento y reutilización de aguas residuales en América Latina pueden generar retornos sociales y económicos significativos, al reducir enfermedades, mejorar la productividad y proteger los ecosistemas hídricos. En el caso de zonas rurales como Tablacito este aspecto se puede traducir en la mejora de su condición de vida, en la valorización del suelo y en el atractivo de paravientos de iniciativas de desarrollo

² El gráfico muestra la participación en porcentaje de Antioquia en el PB Nacional en el año 2023.

sostenible. En ese sentido, la inversión en una PTAR obedece no solo a una necesidad básica, sino que tiene también efectos sobre la transformación económica y del territorio.

Asimismo, la inversión en infraestructura ambiental como una PTAR impulsa procesos de transformación territorial, pues eleva la competitividad de las regiones al mejorar las condiciones para el desarrollo rural, el turismo ecológico y la agricultura limpia. Este tipo de proyectos también facilita el cumplimiento de objetivos internacionales de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6: “Agua limpia y saneamiento”. Por ello, el análisis económico de la PTAR en Tablacito no debe limitarse al costo de construcción, sino considerar también el valor agregado que representa para el desarrollo local y el bienestar colectivo.

Factores Sociales

En Colombia, los factores sociales continúan cumpliendo un rol protagónico en la formulación y la puesta en práctica de los proyectos de infraestructura básica, más específicamente para lo que refiere a la equidad en el acceso a los servicios de saneamiento. De acuerdo con el (Banco Mundial, 2020) parte de América Latina, incluyendo Colombia, las comunidades rurales muestra una situación de precariedad en el acceso a agua segura, y a su vez del tratamiento de las aguas residuales; un hecho que implica, por un lado, la constancia de la inequidad entre lo rural y lo urbano; y, por otra deja por sentado la necesidad de atender las zonas, en las que el desarrollo territorial no se ha producido de manera equitativa. Para lo anterior, se considera que la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el área de la vereda Tablacito, del municipio de Rionegro, representa una intervención estratégica para garantizar el derecho a la salud y la dignidad de las comunidades más vulnerables.

En el departamento de Antioquia, a pesar de ser una de las zonas más desarrolladas en términos de desarrollo económico, la desigualdad en el acceso a servicios de saneamiento en zonas rurales continúa siendo considerable. De acuerdo con la Gobernación de Antioquia, para el año 2022, la cobertura de alcantarillado en el sector rural era de sólo 38% frente a una cobertura del 95% en zonas urbanas (Gobernación de Antioquia, 2023). Esta brecha afecta directamente a comunidades

como Tablacito, donde persiste una relación crítica entre las condiciones sanitarias deficientes y la presencia de enfermedades gastrointestinales, parasitarias y dérmicas. En este sentido, un proyecto como la PTAR también puede generar impactos positivos en términos de salud pública, productividad laboral, y dignidad comunitaria.

A pesar del crecimiento económico y del desarrollo urbano que lo caracteriza, Rionegro tiene aún serias dificultades en relación con la equidad social en su área rural. Así, a pesar de que el municipio muestra signos de avance en la infraestructura y servicios públicos en el casco urbano, las veredas como Tablacito evidencian las limitaciones en el acceso a la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, a tal punto que el último informe de Gestión de la Alcaldía de Rionegro indica que cerca del 15 % de la población rural del municipio no tiene acceso a la red de alcantarillado. Lo que hace aumentar el riesgo de las condiciones de salud pública e impacto en el medioambiente que esto supone (Alcaldía de Rionegro, 2024). Este tipo de situación no solo representa desigualdades territoriales, sino que también evidencia la necesidad de ampliar de manera urgente infraestructuras básicas fuera de lo urbano. Ahí, el proyecto PTAR en Tablacito se presenta como función concreta de la condición real del territorio y, a la vez, construye parte del interés que representa e imprime la necesidad de construir un modelo de ciudad-región más justo, más inclusivo y más ambientalmente sostenible.

Factores Tecnológicos

La evolución tecnológica en el ámbito del saneamiento ha transformado profundamente la forma de la que las comunidades acceden a soluciones apropiadas de tratamiento para aguas residuales. El cambio forma parte de un movimiento global creciente hacia la adopción de tecnologías modulares, descentralizadas y sostenibles, especialmente para contextos rurales o periurbanos en que las redes de alcantarillado centralizado son poco viables. En este panorama, las plantas de tratamiento compactas, los humedales artificiales, los sistemas anaerobios y los biodigestores emergen como alternativas viables que no solo reducen la carga contaminante, sino que también minimizan el consumo de energía y los costos operativos (Banco Mundial, 2020). Estas tecnologías no requieren grandes extensiones de terreno ni personal altamente calificado, lo que las hace idóneas para

zonas como la vereda Tablacito en Rionegro, donde el acceso a infraestructura avanzada es limitado.

En el contexto colombiano, el Ministerio de Vivienda ha incentivado la adopción de tecnologías ambientalmente sustentable a partir de políticas de saneamiento rural. Proyectos piloto realizados en zonas como Cundinamarca, Boyacá y Antioquia, entre otros, han puesto de manifiesto que los sistemas de tratamiento de aguas residuales adaptados a la comunidad rural, entre otras cuestiones muy diversas, pueden contribuir a mejorar los indicadores de los servicios de salud pública y la sostenibilidad ambiental (Ministerio de Vivienda, 2025). Además, el Banco Mundial ha documentado experiencias exitosas en América Latina donde tecnologías como los sistemas de lodos activos de bajo consumo, los filtros percoladores y la reutilización de aguas grises para riego han sido adaptadas a contextos rurales. Estas soluciones han demostrado ser técnicamente viables y ambientalmente sostenibles, incluso en comunidades con baja capacidad operativa. En el caso de Rionegro, donde existe una institucionalidad técnica consolidada, este tipo de tecnologías representa una alternativa realista y escalable para mejorar el saneamiento en zonas rurales como Tablacito (Banco Mundial, 2021).

Por la otra parte, la información digitalizada y el seguimiento en tiempo real de las plantas de tratamiento han comenzado a constituirse como un elemento clave en la fiabilidad de los sistemas de estas plantas. Usando herramientas como sensores inteligentes, plataformas de análisis de datos o sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), se permite el seguimiento en tiempo real de los parámetros de calidad del agua en salida del sistema, la detección de fallos en el sistema y la optimización de los sistemas de tratamiento mediante ajuste automático. Aunque estas tecnologías pueden representar un reto en términos de inversión inicial, su uso ha sido recomendado por organismos multilaterales por su capacidad de reducir costos a largo plazo y garantizar el cumplimiento normativo en descargas (Banco Mundial, 2021). La implementación de estas herramientas en una PTAR rural como la de Tablacito representa una oportunidad para integrar innovación, eficiencia y sostenibilidad en el marco del desarrollo territorial.

Factores Ecológicos

La protección del medio ambiente se ha convertido en una prioridad para Colombia, particularmente en lo que respecta a la conservación de fuentes hídricas, la gestión de residuos y la mitigación del cambio climático. La construcción de una PTAR en zonas rurales como Tablacito, en el municipio de Rionegro, se enmarca en un contexto donde los cuerpos de agua se encuentran altamente presionados por vertimientos domésticos sin tratamiento previo. En este sentido, según el (IDEAM, 2023), los ríos y quebradas de las zonas andinas poseen altos niveles de contaminación biológica y química, debido en gran parte a la insuficiencia de infraestructura en sectores rurales. Esto no solo tiene repercusiones en el sistema acuático, sino también respecto de la salud pública, la biodiversidad y el equilibrio hídrico de la comarca. En este sentido, la ejecución de una PTAR es uno de los caminos a seguir respecto de la adaptación ecológica y la restauración ambiental.

El departamento de Antioquia tiene una de las mayores riquezas en biodiversidad y recursos hídricos del país, sin embargo, también tiene serios problemas en este sentido, como la deforestación, la expansión urbana descontrolada o la contaminación de las fuentes hídricas. La Corporación Autónoma Regional CORNARE, que ejerce como autoridad ambiental en el municipio de Rionegro, ha puesto en evidencia diversos puntos críticos existentes de vertido de aguas residuales sin tratar en la región del oriente antioqueño, donde se encuentran quebradas como La Pereira y El Hato en las áreas rurales del municipio. La construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales con enfoque ecosistémico no sólo mitiga los impactos negativos que se describen, sino que lleva a la promoción de prácticas de reúso del agua y de producción de biolodos adecuados para la recuperación de suelos degradados (CORNARE, 2023).

A nivel local, Rionegro ha incorporado dentro de su Plan de Ordenamiento Territorial y dentro de las políticas de gestión ambiental, la necesidad de hacer más fuerte la infraestructura verde y el tratamiento correcto de las aguas residuales en los municipios. La PTAR en Tablacito va en consonancia a esas directrices e inicia el proceso urgente de conservación de las microcuencas que alimentan el lugar y el que le rodea. Además, este tipo de infraestructura puede integrarse con estrategias de educación ambiental comunitaria, conservación de rondas hídricas y restauración de cobertura vegetal. Por lo tanto, desde una perspectiva ecológica, el proyecto no solo

es viable, sino también estratégico para garantizar la sostenibilidad de los recursos naturales de Rionegro y cumplir con los compromisos ambientales asumidos por Colombia en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Factores Legales

El sistema legal colombiano se encuentra dotado de un conjunto específico de reglas para el diseño, la construcción y el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que los municipios y los entes operadores deben cumplir estrictamente. La Ley 99 de 1993, ley orgánica en la que se establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA), dispone los principios de la protección ambiental y da a las autoridades regionales la competencia para evaluar, autorizar y controlar los proyectos susceptibles de tener un impacto sobre los recursos naturales. En este contexto, el Decreto 3930 de 2010, parcialmente reglamentado por la Resolución 0631 de 2015, dictamina, en primer lugar, los criterios técnicos y los límites máximos permisibles de vertimientos, así como un elenco de criterios para la obtención del Permiso de Vertimientos, el cual es obligatorio para la realización de cualquier PTAR que vierta al agua o al suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

En cuanto al municipio de Rionegro, el plan de una PTAR para la vereda Tablacito habrá de satisfacer las exigencias legales del nivel regional, sobre todo las expresadas por CORNARE, que es la autoridad ambiental competente en la zona del oriente antioqueño. Esta entidad es la encargada de otorgar licencias ambientales, verificar la compatibilidad del proyecto con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) municipal y garantizar que la infraestructura no interfiera con áreas protegidas o zonas de importancia ecológica. Además, conforme a la normativa nacional, el proyecto debe ser registrado en el Registro Único Ambiental (RUA) y, en función de su magnitud, puede requerir una Licencia Ambiental previa (Congreso de Colombia, 1993). El cumplimiento de estos requisitos es indispensable para asegurar la legalidad, la sostenibilidad y la aceptación institucional del proyecto.

Por último, desde el punto de vista jurídico, los proyectos de saneamiento se enmarcan en el derecho constitucional al agua y al medio ambiente saludable, por lo que su ejecución también responde a mandatos legales de carácter estructural. La Ley 142 de 1994, que regula los servicios públicos domiciliarios, establece que los municipios tienen la obligación de asegurar el acceso al saneamiento básico de

manera efectiva y permanente. Por tanto, la construcción de una PTAR en Tablacito no solamente se inscribe dentro de la normativa ambiental y territorial, sino que también se convierte en un mecanismo legal para cumplir con las exigencias del Estado en virtud del cumplimiento de los derechos fundamentales. Por lo tanto, el marco jurídico en ese caso es propenso a la realización del proyecto siempre que se verifique que se hace acompañado de garantía como en la gestión del componente técnico, de intervención social y ambiental.

2. Estudio de Mercado

El estudio de mercado representa un componente clave dentro del análisis de Pre-inversión de proyectos bajo la metodología ONUDI, ya que permite dimensionar la demanda potencial, caracterizar los usuarios del servicio y establecer los parámetros económicos que justifican la viabilidad financiera del proyecto. En el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proyectada para la vereda Tablacito, del municipio de Rionegro, este estudio se centra en analizar el comportamiento actual y futuro de los usuarios que estarían vinculados al sistema de saneamiento, su distribución por estrato socioeconómico y uso, así como las condiciones tarifarias que regirían el servicio una vez entre en operación.

Para estimar la demanda, se ha tomado como base la cantidad de suscriptores conectados al sistema de acueducto rural de la vereda, que actualmente suministra el servicio básico de agua potable a través de un esquema de prestación local. Este sistema cuenta con aproximadamente 319 suscriptores al corte del mes de diciembre de 2024, cifra que se utiliza como parámetro técnico para iniciar el cálculo de cobertura inicial de la PTAR a partir del año 2027, fecha prevista de entrada en operación del sistema. Se parte del supuesto técnico de que los usuarios del acueducto serán, en su mayoría, los mismos que serán conectados a la nueva red de recolección y tratamiento de aguas residuales, lo que facilita la integración operativa y administrativa de los servicios de acueducto y alcantarillado en la vereda.

La caracterización de estos suscriptores indica que se trata de usuarios predominantemente residenciales, con presencia de algunos usos complementarios como comercial, industrial y oficial, todos distribuidos en estratos del 1 al 6, conforme a la clasificación socioeconómica vigente. Esta segmentación permite aplicar criterios

diferenciales en la estimación de las tarifas, de acuerdo con los lineamientos de política pública para zonas rurales.

En cuanto a la estructura tarifaria, esta se rige por la Resolución CRA 825 de 2017, que establece el marco tarifario de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en Colombia. Esta resolución define los componentes que deben considerarse en el cálculo del costo medio de prestación del servicio, así como las fórmulas para la determinación de los cargos por usuario, los esquemas de subsidios y contribuciones. En el caso del municipio de Rionegro, el cálculo de las tarifas promedio para el servicio de alcantarillado se realiza con base en este marco regulatorio, y refleja tanto los costos reales de operación como las políticas de equidad tarifaria definidas a nivel municipal.

A continuación, se presenta una tabla con las tarifas promedio del servicio de alcantarillado en el municipio de Rionegro, vigentes a diciembre de 2024, según los informes de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y la Empresa de Servicios Públicos de Rionegro:

Tabla 5. Marco tarifario

TARIFA PROMEDIO SERVICIO DE ALCANTARILLADO MUNICIPIO DE RIONEGRO DICIEMBRE 2024			
ESTRATO	TARIFA CARGO FIJO	TARIFA CONSUMO BÁSICO (<=11 m3)	TARIFA CONSUMO >11 m3
1	\$ 1.987,32	\$ 844,61	\$ 2.815,36
2	\$ 3.974,64	\$ 1.689,22	\$ 2.815,36
3	\$ 6.624,40	\$ 2.815,36	\$ 2.815,36
4	\$ 6.624,40	\$ 2.815,36	\$ 2.815,36
5	\$ 9.936,60	\$ 4.223,04	\$ 4.223,04
6	\$ 10.599,04	\$ 4.504,57	\$ 4.504,57
INDUSTRIAL	\$ 8.611,72	\$ 3.659,96	\$ 3.659,96
COMERCIAL	\$ 9.936,60	\$ 4.223,04	\$ 4.223,04
OFICIAL	\$ 6.624,40	\$ 2.815,36	\$ 2.815,36

Fuente: Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

Luego de identificar la demanda proyectada, la estructura tarifaria y el contexto normativo aplicable al servicio de alcantarillado en la vereda Tablacito, es pertinente

complementar el análisis sectorial mediante una matriz DOFA. Esta herramienta estratégica permite examinar, de manera estructurada, los factores internos y externos que pueden incidir en la viabilidad del proyecto de construcción y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). A través de la identificación de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, se busca ofrecer una visión integral del entorno en el cual se desarrollará el proyecto, considerando aspectos técnicos, institucionales, financieros y sociales.

Este análisis es especialmente relevante en contextos rurales como el de Tablacito, donde las condiciones del territorio, la disponibilidad de recursos y la articulación interinstitucional juegan un papel decisivo en la sostenibilidad de este tipo de infraestructuras. La matriz DOFA, construida con base en la información recopilada a lo largo del estudio, permite priorizar acciones estratégicas que fortalezcan el diseño, la implementación y la operación de la PTAR, maximizando su impacto ambiental y social en el municipio de Rionegro.

Tabla 6. Matriz DOFA - Estudio de mercado

FORTALEZAS (+)	DEBILIDADES (-)
<ul style="list-style-type: none"> • Existe una demanda estimada y caracterizada de 319 suscriptores para el servicio de alcantarillado a diciembre de 2024, con datos comprobados del sistema de acueducto. • Disponibilidad de información técnica y diagnósticos ambientales previos que facilitan el diseño y licenciamiento del proyecto. • El proyecto se alinea con el POT de Rionegro y el PGAR de CORNARE, facilitando su articulación en la planificación territorial. • Apoyo institucional desde la Alcaldía de Rionegro para proyectos de infraestructura social, con presupuesto municipal creciente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta dependencia de fuentes externas para el financiamiento total del proyecto (municipal, departamental o nacional). • Posible resistencia comunitaria ante nuevas tarifas de alcantarillado en zonas rurales donde no existía el servicio anteriormente.
OPORTUNIDADES (+)	AMENAZAS (-)

<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo de políticas nacionales y regionales de sostenibilidad ambiental e inversión en saneamiento básico rural, como el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 y el Plan Departamental de Agua. • Posibilidades de cofinanciación a través de recursos del Sistema General de Regalías, cooperación interinstitucional o fondos de inversión ambiental de CORNARE y el BID. • Avances tecnológicos en plantas modulares y sistemas de tratamiento compactos, que permiten adaptarse a áreas rurales como Tablacito. • Mayor conciencia comunitaria sobre la importancia del saneamiento para salud y conservación hídrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios climáticos que alteren los caudales o provoquen sobrecargas hídricas, afectando la eficiencia operativa de la PTAR. • Incertidumbre macroeconómica nacional que puede afectar la asignación de recursos públicos y las tarifas subsidiadas. • Demoras en trámites de licenciamiento ambiental o cambios normativos que afecten el cronograma del proyecto.
--	--

Fuente: elaboración propia, 2025.

En este mismo contexto, y con el objetivo de analizar el entorno competitivo del proyecto, se realizó una consulta a los funcionarios de la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro. Según la información suministrada, actualmente no existen actores privados o institucionales que compitan por la administración o prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito. En consecuencia, la Alcaldía de Rionegro ha iniciado un proceso de reestructuración institucional mediante el cual la empresa RioAseo Total se transformará en Empresas Públicas de Rionegro, entidad que asumiría la operación de futuras infraestructuras como la PTAR proyectada. Esta ausencia de competencia directa representa una ventaja estratégica para el municipio en términos de planificación y control del servicio, lo cual se refleja en las oportunidades identificadas en la matriz DOFA. La consolidación de una empresa pública local robusta no solo garantiza una operación técnica más cercana al territorio, sino que también refuerza las condiciones institucionales necesarias para asegurar la sostenibilidad a largo plazo del sistema de saneamiento en zonas rurales como Tablacito. Este aspecto será abordado con mayor detalle en el estudio administrativo de la presente tesis.

Este panorama institucional favorable, con la transición de RioAseo Total hacia Empresas Públicas de Rionegro, ofrece un marco propicio para estructurar con claridad la demanda futura del servicio, elemento clave para la planificación de la operación técnica y financiera de la PTAR. En este sentido, se procede a justificar la proyección de suscriptores que serán atendidos por el sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito. Dicha proyección responde tanto al cronograma de ejecución previsto como a los criterios técnicos adoptados para estimar la evolución de la demanda en un horizonte temporal de diez años.

De acuerdo con el plan de ejecución, la construcción de la PTAR iniciaría en enero de 2026, con una duración estimada de 24 meses, lo que implica que la infraestructura entraría en operación el 1 de enero de 2028. Así, el horizonte de evaluación económica del proyecto se ha definido entre los años 2028 y 2037. Para proyectar el número de suscriptores que harán uso del sistema, se utilizó como base el registro actual del sistema de acueducto rural, operado por la Asociación Acueducto Tablacito, el cual reporta un total de 319 conexiones activas al cierre de 2024. Esta cifra se toma como referencia inicial para el cálculo de la demanda de usuarios del servicio de alcantarillado.

No obstante, al revisar las cifras históricas de suscriptores suministradas por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro, se evidenció que las variaciones anuales son mínimas y no permiten establecer una tendencia empírica clara. Por esta razón, se optó por utilizar la tasa de crecimiento poblacional de tipo exponencial proyectada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) como insumo técnico confiable. Esta tasa fue tomada del documento “Principales Indicadores – crecimiento poblacional nacional 2020–2070 y departamental 2020–2050 con base en el CNPV”³.

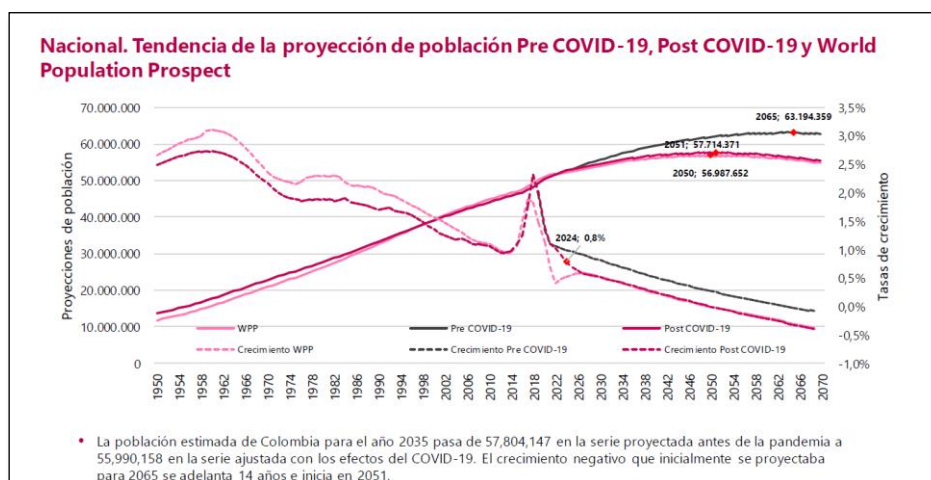
El uso de esta tasa de crecimiento departamental ajustada permite una proyección robusta de los suscriptores al servicio, bajo el supuesto técnico de que el incremento poblacional en la zona guarda una relación directa con el crecimiento de

³ El documento se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/estimaciones-del-cambio-demografico>.

conexiones al sistema de saneamiento. Así, se garantiza una estimación coherente con los patrones demográficos actuales, especialmente en áreas rurales con dinámicas de crecimiento moderadas. Esta proyección será fundamental para definir la capacidad técnica de la PTAR, calcular la estructura de ingresos por tarifa y evaluar la sostenibilidad del sistema a lo largo de su vida útil.

La validez de utilizar la tasa de crecimiento poblacional como insumo para proyectar el número de suscriptores al sistema de alcantarillado encuentra respaldo no solo en la disponibilidad de datos actualizados por parte del DANE, sino también en el análisis demográfico que esta entidad ha realizado tras el impacto de la pandemia por COVID-19. En 2023, el DANE presentó la actualización de sus proyecciones poblacionales en la publicación titulada *Proyecciones de población: Indicadores demográficos actualización post COVID-19*, en la cual se incorpora una revisión metodológica que compara las tendencias estimadas antes y después de la pandemia, así como los lineamientos del *World Population Prospect*. Este enfoque permite observar cómo las proyecciones ajustadas para Antioquia y otras regiones del país siguen una curva de crecimiento sostenido bajo escenarios moderados, lo que sustenta técnicamente la aplicación de dicha tasa en contextos rurales como el de Tablacito. En ese sentido, a continuación, se presenta una gráfica extraída de dicha publicación, que evidencia las tendencias poblacionales utilizadas como base para el ajuste en la estimación de usuarios potenciales del servicio de saneamiento.

Gráfico 3. Tendencia de la proyección de población Pre COVID-19, Post COVID-19 y perspectivas de la población mundial



Fuente: DANE. Tendencia de la proyección de población Pre-COVID-19, Post COVID-19 y *World Population Prospect* [perspectivas de la población mundial], 2023.

Con base en las proyecciones de crecimiento poblacional ajustadas por el DANE y la planificación temporal del proyecto, se procede a estimar el número de suscriptores potenciales para los años previos a la entrada en operación de la PTAR. Es importante señalar que el año 2025 corresponde a la fase de evaluación técnica, económica y ambiental del proyecto, mientras que los años 2026 y 2027 estarán dedicados a su construcción, según lo previsto en el cronograma general. Aunque la planta no prestará servicio durante ese periodo, se proyecta la evolución del número de suscriptores en la vereda Tablacito como insumo base para calcular la demanda inicial a ser atendida desde el 1 de enero de 2028, fecha programada para el inicio de operación del sistema. Esta estimación anticipada permite establecer con mayor precisión la capacidad requerida de la infraestructura y facilita la planeación financiera a largo plazo. A continuación, se presenta la tabla con la proyección de suscriptores para los años 2025, 2026 y cierre de 2027, la cual servirá de base para proyectar la demanda del servicio durante los diez años de evaluación del proyecto.

Tabla 7. Proyección de suscriptores 2025 – 2027

ESTRATO Y/O USO	Nº SUSCRIPTORES	Nº SUSCRIPTORES		Nº SUSCRIPTORES		Nº SUSCRIPTORES	
Residencial	Corte Diciembre 2024	Proyección 2025		Proyección 2026		Proyección 2027	
		Tasa Anual	0,69437%	Tasa Anual	0,60937%	Tasa Anual	0,55716%
1	19	19,13		19,25		19,36	
2	60	60,42		60,79		61,13	
3	74	74,51		74,97		75,39	
4	37	37,26		37,48		37,69	
5	70	70,49		70,92		71,31	
6	38	38,26		38,50		38,71	
Total Residencial	298	300		302		304	
Comercial	13	13,09		13,17		13,24	
Total Comercial	13,00	13,09		13,17		13,24	
Industrial	6	6,04		6,08		6,11	
Total Industrial	6	6		6,08		6,11	
Oficial	2	2,01		2,03		2,04	
Total Oficial	2	2		2,03		2,04	
TOTAL FINAL	319	321		323		325	

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

Una vez establecido el número proyectado de suscriptores durante los años previos a la entrada en operación de la PTAR, y tomando como base los datos de crecimiento

ajustado por estrato y uso entregados por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro, se procede a realizar la estimación de la demanda efectiva para el horizonte de evaluación del proyecto, comprendido entre los años 2028 y 2037. Esta proyección parte del supuesto de que la infraestructura comenzará a operar el 1 de enero de 2028, atendiendo inicialmente a la población proyectada al cierre de 2027. La estimación se desagrega según usos residenciales por estrato (1 al 6), así como por usos no residenciales —comercial, institucional e industrial—, permitiendo una visión integral del comportamiento de la demanda en el largo plazo.

El detalle por estrato y uso resulta esencial no solo para proyectar la capacidad de carga del sistema, sino también para calcular los ingresos por tarifas de acuerdo con la estructura diferenciada del régimen tarifario vigente. Además, este enfoque permite anticipar posibles variaciones en la composición sociodemográfica y económica del territorio durante el ciclo de vida del proyecto. A continuación, se presenta la tabla con la proyección estimada de suscriptores entre los años 2028 y 2037, desglosada por estrato socioeconómico y tipo de uso del servicio de alcantarillado.

Tabla 8. Proyección de suscriptores 2028 - 2032

ESTRATO Y/O USO	N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES	
Residencial	Proyección 2028		Proyección 2029		Proyección 2030		Proyección 2031		Proyección 2032	
	Tasa Anual	0,51897%	Tasa Anual	0,49234%	Tasa Anual	0,47450%	Tasa Anual	0,45560%	Tasa Anual	0,43143%
1	19,46		19,55		19,65		19,73		19,82	
2	61,44		61,75		62,04		62,32		62,59	
3	75,78		76,15		76,51		76,86		77,19	
4	37,89		38,08		38,26		38,43		38,60	
5	71,68		72,04		72,38		72,71		73,02	
6	38,91		39,11		39,29		39,47		39,64	
Total Residencial	305		307		308		310		311	
Comercial	13,31		13,38		13,44		13,50		13,56	
Total Comercial	13,31		13,38		13,44		13,50		13,56	
Industrial	6,14		6,17		6,20		6,23		6,26	
Total Industrial	6,14		6,17		6,20		6,23		6,26	
Oficial	2,05		2,06		2,07		2,08		2,09	
Total Oficial	2,05		2,06		2,07		2,08		2,09	
TOTAL FINAL	327		328		330		331		333	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

. Proyección de suscriptores 2033 – 2037

ESTRATO Y/O USO	N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES		N° SUSCRIPTORES	
Residencial	Proyección 2033		Proyección 2034		Proyección 2035		Proyección 2036		Proyección 2037	
	Tasa Anual	0,40664%	Tasa Anual	0,38166%	Tasa Anual	0,35653%	Tasa Anual	0,32954%	Tasa Anual	0,30085%
1	19,90		19,98		20,05		20,11		20,17	
2	62,84		63,08		63,31		63,52		63,71	
3	77,51		77,80		78,08		78,34		78,57	
4	38,75		38,90		39,04		39,17		39,29	
5	73,32		73,60		73,86		74,10		74,33	
6	39,80		39,95		40,10		40,23		40,35	
Total Residencial	312		313		314		315		316	
Comercial	13,62		13,67		13,72		13,76		13,80	
Total Comercial	13,62		13,67		13,72		13,76		13,80	
Industrial	6,28		6,31		6,33		6,35		6,37	
Total Industrial	6,28		6,31		6,33		6,35		6,37	
Oficial	2,09		2,10		2,11		2,12		2,12	
Total Oficial	2,09		2,10		2,11		2,12		2,12	
TOTAL FINAL	334		335		337		338		339	

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

Este análisis desagregado por estrato y tipo de uso no solo permite proyectar la capacidad técnica requerida para el sistema de tratamiento, sino que también constituye la base para estimar con mayor precisión los ingresos esperados por concepto de prestación del servicio. Las tarifas aplicables, definidas bajo los lineamientos de la Resolución CRA 825 de 2017, varían de acuerdo con la categoría del usuario, por lo que su proyección debe ser coherente con la evolución esperada de la estructura de suscriptores y con las condiciones macroeconómicas del país.

En consecuencia, se hace necesario proyectar la evolución tarifaria tanto para el periodo previo a la entrada en operación de la PTAR —que abarca los años 2025, 2026 y 2027— como para los diez años del horizonte de evaluación comprendido entre 2028 y 2037. Para ello, se tomó como base la estimación del Índice de Precios al Consumidor (IPC) elaborada por el área de investigaciones económicas del Banco de Bogotá, disponible en su portal oficial <https://pbit.bancodebogota.com/Investigaciones/Proyecciones.aspx>. Esta fuente presenta proyecciones oficiales hasta 2030 que resultan clave para modelar el

comportamiento esperado de las tarifas en el periodo de evaluación y construcción de la planta.

Sin embargo, es importante señalar que las proyecciones económicas oficiales en Colombia suelen limitarse a horizontes de 2 a 3 años. Por esta razón, para proyectar la evolución de las tarifas en un periodo de 10 años, se complementó la información con referencias macroeconómicas ampliamente reconocidas. Entre ellas, se consideró la meta de inflación del Banco de la República, establecida en un 3 % anual con un rango aceptable de ± 1 %, como referencia oficial para el comportamiento del IPC en el largo plazo (BANREP, 2024). Asimismo, se tuvieron en cuenta las estimaciones de analistas económicos del sector privado, quienes prevén que la inflación podría mantenerse en torno al 4 % anual durante la próxima década, dependiendo del contexto político y económico nacional e internacional (POTAFOLIO, 2024). Esta combinación metodológica ofrece un marco sólido y prudente para la proyección tarifaria a largo plazo.

Con base en estas consideraciones, se presentan a continuación dos tablas: la primera recoge la evolución proyectada de la tarifa promedio para los años 2025 a 2027, mientras que la segunda ilustra el comportamiento estimado de la tarifa entre los años 2028 y 2037, correspondiente al periodo en el que la PTAR entra en operación y se generan los ingresos por prestación del servicio.

Tabla 9. Proyección tarifas consumo 2024-2027

ESTRATO/ TIPO DE USO	AÑO -3	AÑO -2	AÑO -1	AÑO 0
	dic-24	dic-25	dic-26	dic-27
ESTRATO 1				
IPC PROYECTADO	5,27%	4,66%	3,45%	3,45%
Cargo fijo	\$ 1.987,32	\$ 2.079,93	\$ 2.151,69	\$ 2.225,92
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 844,61	\$ 883,97	\$ 914,46	\$ 946,01
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
ESTRATO 2				
Cargo fijo	\$ 3.974,64	\$ 4.159,86	\$ 4.303,37	\$ 4.451,84
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 1.689,22	\$ 1.767,93	\$ 1.828,93	\$ 1.892,02
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
ESTRATO 3				
Cargo fijo	\$ 6.624,40	\$ 6.933,10	\$ 7.172,29	\$ 7.419,73
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
ESTRATO 4				
Cargo fijo	\$ 6.624,40	\$ 6.933,10	\$ 7.172,29	\$ 7.419,73
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
ESTRATO 5				
Cargo fijo	\$ 9.936,60	\$ 10.399,65	\$ 10.758,43	\$ 11.129,60
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.223,04	\$ 4.419,83	\$ 4.572,31	\$ 4.730,06
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.223,04	\$ 4.419,83	\$ 4.572,31	\$ 4.730,06
ESTRATO 6				
Cargo fijo	\$ 10.599,04	\$ 11.092,96	\$ 11.475,66	\$ 11.871,57
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.504,57	\$ 4.714,49	\$ 4.877,13	\$ 5.045,40
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.504,57	\$ 4.714,49	\$ 4.877,13	\$ 5.045,40
INDUSTRIAL				
Cargo fijo	\$ 8.611,72	\$ 9.013,03	\$ 9.323,98	\$ 9.645,65
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 3.659,96	\$ 3.830,52	\$ 3.962,67	\$ 4.099,38
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.659,96	\$ 3.830,52	\$ 3.962,67	\$ 4.099,38
COMERCIAL				
Cargo fijo	\$ 9.936,60	\$ 10.399,65	\$ 10.758,43	\$ 11.129,60
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.223,04	\$ 4.419,83	\$ 4.572,31	\$ 4.730,06
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.223,04	\$ 4.419,83	\$ 4.572,31	\$ 4.730,06
OFICIAL				
Cargo fijo	\$ 6.624,40	\$ 6.933,10	\$ 7.172,29	\$ 7.419,73
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 2.815,36	\$ 2.946,55	\$ 3.048,21	\$ 3.153,37

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

Tabla 10. Proyección tarifas consumo 2028 -2037

ESTRATO/ TIPO DE USO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
	dic-28	dic-29	dic-30	dic-31	dic-32	dic-33	dic-34	dic-35	dic-36	dic-37
ESTRATO 1										
IPC PROYECTADO	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%
Cargo fijo	\$ 2.302,71	\$ 2.382,16	\$ 2.464,34	\$ 2.549,36	\$ 2.637,31	\$ 2.728,30	\$ 2.822,43	\$ 2.919,80	\$ 3.020,54	\$ 3.124,74
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 978,65	\$ 1.012,41	\$ 1.047,34	\$ 1.083,47	\$ 1.120,85	\$ 1.159,52	\$ 1.199,53	\$ 1.240,91	\$ 1.283,72	\$ 1.328,01
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
ESTRATO 2										
Cargo fijo	\$ 4.605,43	\$ 4.764,32	\$ 4.928,68	\$ 5.098,72	\$ 5.274,63	\$ 5.456,60	\$ 5.644,86	\$ 5.839,61	\$ 6.041,07	\$ 6.249,49
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 1.957,30	\$ 2.024,83	\$ 2.094,68	\$ 2.166,95	\$ 2.241,71	\$ 2.319,05	\$ 2.399,05	\$ 2.481,82	\$ 2.567,45	\$ 2.656,02
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
ESTRATO 3										
Cargo fijo	\$ 7.675,71	\$ 7.940,53	\$ 8.214,47	\$ 8.497,87	\$ 8.791,05	\$ 9.094,34	\$ 9.408,10	\$ 9.732,68	\$ 10.068,45	\$ 10.415,81
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
ESTRATO 4										
Cargo fijo	\$ 7.675,71	\$ 7.940,53	\$ 8.214,47	\$ 8.497,87	\$ 8.791,05	\$ 9.094,34	\$ 9.408,10	\$ 9.732,68	\$ 10.068,45	\$ 10.415,81
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
ESTRATO 5										
Cargo fijo	\$ 11.513,57	\$ 11.910,79	\$ 12.321,71	\$ 12.746,81	\$ 13.186,57	\$ 13.641,51	\$ 14.112,14	\$ 14.599,01	\$ 15.102,68	\$ 15.623,72
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.893,24	\$ 5.062,06	\$ 5.236,70	\$ 5.417,37	\$ 5.604,27	\$ 5.797,61	\$ 5.997,63	\$ 6.204,55	\$ 6.418,61	\$ 6.640,05
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.893,24	\$ 5.062,06	\$ 5.236,70	\$ 5.417,37	\$ 5.604,27	\$ 5.797,61	\$ 5.997,63	\$ 6.204,55	\$ 6.418,61	\$ 6.640,05
ESTRATO 6										
Cargo fijo	\$ 12.281,14	\$ 12.704,84	\$ 13.143,16	\$ 13.596,60	\$ 14.065,68	\$ 14.550,95	\$ 15.052,95	\$ 15.572,28	\$ 16.109,52	\$ 16.665,30
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 5.219,46	\$ 5.399,53	\$ 5.585,82	\$ 5.778,53	\$ 5.977,89	\$ 6.184,12	\$ 6.397,48	\$ 6.618,19	\$ 6.846,52	\$ 7.082,72
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 5.219,46	\$ 5.399,53	\$ 5.585,82	\$ 5.778,53	\$ 5.977,89	\$ 6.184,12	\$ 6.397,48	\$ 6.618,19	\$ 6.846,52	\$ 7.082,72
INDUSTRIAL										
Cargo fijo	\$ 9.978,43	\$ 10.322,68	\$ 10.678,82	\$ 11.047,24	\$ 11.428,36	\$ 11.822,64	\$ 12.230,52	\$ 12.652,48	\$ 13.088,99	\$ 13.540,56
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.240,81	\$ 4.387,12	\$ 4.538,48	\$ 4.695,05	\$ 4.857,03	\$ 5.024,60	\$ 5.197,95	\$ 5.377,28	\$ 5.562,79	\$ 5.754,71
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.240,81	\$ 4.387,12	\$ 4.538,48	\$ 4.695,05	\$ 4.857,03	\$ 5.024,60	\$ 5.197,95	\$ 5.377,28	\$ 5.562,79	\$ 5.754,71
COMERCIAL										
Cargo fijo	\$ 11.513,57	\$ 11.910,79	\$ 12.321,71	\$ 12.746,81	\$ 13.186,57	\$ 13.641,51	\$ 14.112,14	\$ 14.599,01	\$ 15.102,68	\$ 15.623,72
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 4.893,24	\$ 5.062,06	\$ 5.236,70	\$ 5.417,37	\$ 5.604,27	\$ 5.797,61	\$ 5.997,63	\$ 6.204,55	\$ 6.418,61	\$ 6.640,05
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 4.893,24	\$ 5.062,06	\$ 5.236,70	\$ 5.417,37	\$ 5.604,27	\$ 5.797,61	\$ 5.997,63	\$ 6.204,55	\$ 6.418,61	\$ 6.640,05
OFICIAL										
Cargo fijo	\$ 7.675,71	\$ 7.940,53	\$ 8.214,47	\$ 8.497,87	\$ 8.791,05	\$ 9.094,34	\$ 9.408,10	\$ 9.732,68	\$ 10.068,45	\$ 10.415,81
Tarifa Consumo Básico (<=11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70
Tarifa Consumo Básico (>11 m3)	\$ 3.262,16	\$ 3.374,71	\$ 3.491,13	\$ 3.611,58	\$ 3.736,18	\$ 3.865,08	\$ 3.998,42	\$ 4.136,37	\$ 4.279,07	\$ 4.426,70

Fuente: Elaboración propia con base en información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro (2025).

3. Estudio Técnico

Localización

La localización constituye un aspecto determinante para la viabilidad y eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) proyectada en la vereda Tablacito. Aunque al momento de este estudio no se ha definido con precisión el predio específico que albergará la infraestructura, la delimitación territorial de Tablacito y la disponibilidad de espacios apropiados resultan esenciales para garantizar el acceso a fuentes hídricas receptoras, condiciones adecuadas de topografía, distancias óptimas respecto a los usuarios y cumplimiento normativo según las directrices establecidas por la autoridad ambiental y el municipio de Rionegro. La definición exacta del terreno deberá considerar criterios técnicos como la proximidad a los principales puntos de generación de aguas residuales, la facilidad para la disposición de lodos, el acceso vial para operación y mantenimiento, y la seguridad jurídica del suelo, evitando ubicaciones en zonas de riesgo o áreas con restricción ambiental (RioData, 2025; Cornare, 2024). Así mismo, la localización definitiva deberá ser aprobada por la administración municipal y estar articulada con el Plan de Ordenamiento Territorial vigente, tal como lo exige el marco normativo colombiano para proyectos de saneamiento básico.

A continuación, se presenta el mapa actualizado de la vereda Tablacito, el cual ha sido extraído del Modelo Geográfico de Rionegro (MGEORIO) y forma parte de los archivos oficiales suministrados por la Alcaldía de Rionegro para este estudio; en el gráfico se identifican los límites geográficos, vías de acceso, centros poblados y principales características del territorio, insumo indispensable para la etapa posterior de selección de alternativas de emplazamiento de la PTAR y para la socialización del proyecto ante la comunidad local y las autoridades ambientales. Este material cartográfico permitirá una mejor comprensión del contexto territorial y servirá de base para la planificación espacial, la modelación de rutas de recolección y la evaluación preliminar de riesgos, alineando el proceso con las mejores prácticas recomendadas por entidades como la ONUDI y Cornare (Alcaldía de Rionegro, 2025; Cornare, 2024).

Figura 2. Mapa de la vereda Tablacito, municipio de Rionegro, Antioquia, Colombia



Fuente: RioData (MGEORIO – Modelo Geográfico de Rionegro), 2025; archivo original suministrado por la Alcaldía de Rionegro.

Tamaño de la planta

La determinación del tamaño adecuado de la planta de tratamiento de aguas residuales para la vereda Tablacito debe partir de una estimación precisa del número de usuarios actuales y futuros, así como del volumen diario proyectado de aguas residuales generadas. Según los registros oficiales, la vereda cuenta con aproximadamente 244 viviendas y una población que supera los mil habitantes, con una tendencia de crecimiento demográfico moderado que responde tanto a la dinámica rural como a la expansión habitacional observada en los últimos años. El cálculo de la capacidad debe contemplar no solo los usuarios existentes, sino también escenarios de aumento poblacional y variaciones en la dotación diaria per cápita que, en el contexto colombiano, suele oscilar entre 100 y 150 litros por habitante al día, conforme a los lineamientos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y a los parámetros de planificación recomendados por el

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Bajo estas premisas, el caudal promedio diario a tratar se estima multiplicando la población proyectada por la dotación per cápita y aplicando un factor de simultaneidad para asegurar la eficiencia operativa de la infraestructura (Minvivienda, 2022; RAS, 2022; DANE, 2020).

Tabla 11. Estimación del caudal de diseño para la PTAR de la Vereda Tablacito⁴

Concepto	Valor actual	Proyección (20 años)	Fuente
Población servida (hab)	1.010	1.500	DANE, 2020
Número de viviendas	244	350	DANE, 2020
Dotación per cápita (l/hab-día)	120	120	RAS, 2022
Caudal diario total (m ³ /día)	121.2	180	Cálculo propio

Fuente: Elaboración propia con base en DANE (2020), RAS (2022), Minvivienda (2022).

Con base en estas variables, y considerando un horizonte de diseño de veinte años para garantizar la sostenibilidad y la amortización de la inversión, la planta deberá dimensionarse para una población proyectada cercana a mil quinientas personas, lo que supone una demanda potencial de hasta doscientos mil litros diarios, cifra que puede ajustarse según los resultados de los estudios de demanda y los consumos históricos locales. Esta capacidad estimada permitirá atender el crecimiento poblacional esperado y cubrir contingencias asociadas a picos de generación, eventos climáticos o cambios en la composición del caudal afluente; la determinación final del tamaño debe validarse con estudios técnicos detallados, análisis de tendencias demográficas y revisión de las proyecciones oficiales del municipio, asegurando que la infraestructura cumpla con los estándares de eficiencia, resiliencia y adaptación establecidos en la normativa sectorial (Minvivienda, 2022; RAS, 2022; DANE, 2020).

Selección de tecnología

La selección de la tecnología para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales debe responder a criterios de eficiencia, facilidad de operación, bajos costos de mantenimiento y adaptabilidad a condiciones locales; entre las

⁴ Caudal diario calculado como Población × Dotación ÷ 1,000; valores ajustados para redondeo y holgura operativa.

alternativas más empleadas en zonas rurales de América Latina se encuentran las lagunas de estabilización, que operan a partir de procesos naturales aeróbicos y anaeróbicos, siendo adecuadas cuando se dispone de extensiones amplias de terreno y climas cálidos, aunque presentan limitaciones en eficiencia y en requerimiento de espacio. Los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB) son otra opción consolidada, especialmente en áreas tropicales, pues combinan alta reducción de materia orgánica con baja generación de lodos, pero pueden ser sensibles a variaciones bruscas de carga hidráulica o química. Los sistemas de lodos activados, ampliamente usados en entornos urbanos, requieren mayor inversión inicial, personal calificado y costos elevados de energía, lo que limita su adopción sostenible en el ámbito rural. En contraste, los biodiscos rotativos (RBC) representan una tecnología robusta y automatizable, con bajo consumo energético, mínimos requerimientos de personal y facilidad de operación, siendo ideales para poblaciones intermedias y condiciones como las de Tablacito (Noyola et al., 2012; Minvivienda, 2022; Tchobanoglous et al., 2014).

Tabla 12. Comparativo de tecnologías para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales

Tecnología	Principio de operación	Ventajas	Limitaciones	Apropiada para Tablacito
Lagunas de estabilización	Procesos naturales (aeróbico/anaeróbico)	Bajo costo, fácil operación, mínima tecnología	Requiere gran extensión de terreno, menor eficiencia	No (espacio limitado)
UASB	Reactores anaerobios de flujo ascendente	Alta eficiencia en clima cálido, bajo lodo	Sensible a cambios de carga, requiere pretratamiento	Parcialmente
Lodos activados	Mezcla aireada de microorganismos	Alta eficiencia, flexible para grandes caudales	Alta inversión, alto consumo energético	No (alto costo y mantenimiento)
Biodiscos (RBC)	Rotación de discos biológicos sumergidos	Compacto, eficiente, bajo consumo energético	Requiere control periódico, limitado para grandes caudales	Sí (mejor opción)

Fuente: Adaptado de Noyola et al. (2012), Ceballos y Vélez (2022), Minvivienda (2022), Cornare (2024).

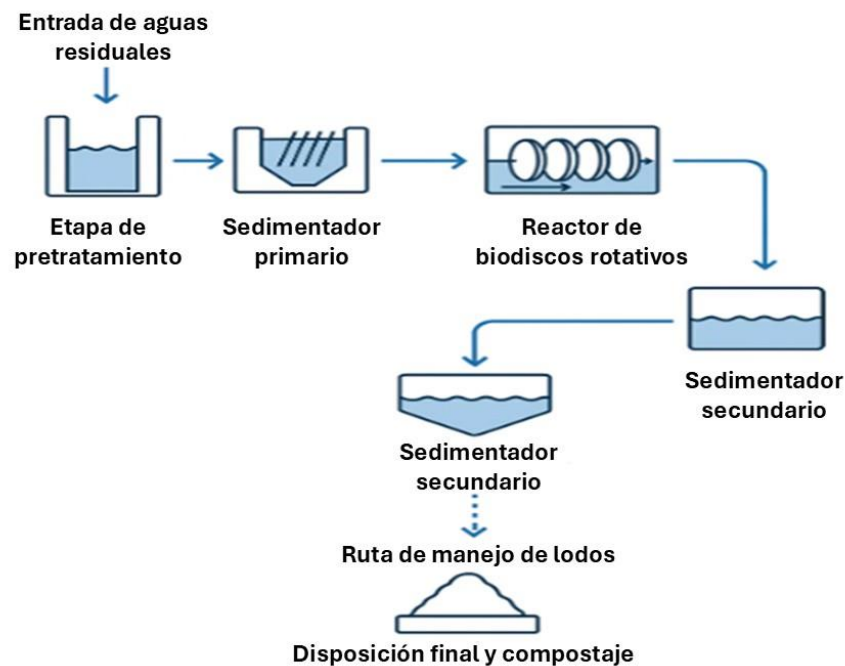
La elección de biodiscos para la vereda Tablacito se fundamenta en su idoneidad técnica y ambiental para localidades rurales con dotaciones y cargas orgánicas moderadas, dado que el sistema combina tratamiento biológico aeróbico sobre superficies adheridas a discos plásticos rotativos, con procesos físicos de sedimentación, logrando eficiencias superiores al 90% en reducción de DBO y SST bajo condiciones controladas. Estudios recientes en Antioquia y referencias institucionales resaltan que los biodiscos han mostrado gran desempeño en municipios de la región, optimizando espacio, energía y operación frente a otras tecnologías tradicionales. La noticia difundida por Cornare (2024) sobre la puesta en marcha de una PTAR con biodiscos en Rionegro subraya que se trata de la primera experiencia de este tipo en Colombia, con resultados positivos en eficiencia, reducción de olores y aceptación social, lo que valida la transferencia de esta solución a otras áreas rurales similares. Así mismo, la tesis de Ceballos y Vélez (2022) de la Escuela de Ingeniería de Antioquia concluye que los sistemas RBC son técnicamente viables y sostenibles para comunidades rurales en expansión, permitiendo modular la capacidad según demanda y cumpliendo la normativa RAS vigente para vertimientos en cuerpos de agua superficiales (Ceballos y Vélez, 2022; Cornare, 2024; Minvivienda, 2022).

Procesos de prestación del servicio y diseño general

El esquema general para la prestación del servicio de tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito propone que la operación y administración de la planta recaiga sobre la Empresa de Servicios Públicos de Rionegro S.A.S. E.S.P., entidad responsable en la actualidad de los sistemas de acueducto, alcantarillado y saneamiento básico en el municipio, de acuerdo con el marco regulatorio nacional y las directrices establecidas por la Subsecretaría de Servicios Públicos, se prevé que la gestión operativa contemple un modelo de administración centralizada con apoyo de personal local capacitado, estableciéndose turnos de inspección diaria, mantenimiento preventivo semanal y seguimiento analítico mensual de parámetros de descarga, siguiendo lo estipulado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, así como los lineamientos de la autoridad ambiental Cornare; el operador deberá realizar actividades rutinarias como limpieza de rejillas,

control de alimentación de biodiscos, retiro de lodos sedimentados y verificación del correcto funcionamiento de equipos electromecánicos, complementando con reportes periódicos a la autoridad sanitaria y ambiental del municipio (Minvivienda, 2022; Cornare, 2024; Empresas Públicas de Rionegro, 2024).

Figura 3. Diseño general de PTAR con biodiscos



Fuente: Adaptación propia a partir de Tchobanoglous et al., (2014); Ceballos y Vélez, (2022); Cornare, (2024).

El diseño básico de la planta seleccionada con biodiscos contempla un flujo de tratamiento que inicia en un sistema de pretratamiento con rejillas y desarenador, donde se remueven sólidos gruesos y arenas, seguido de un sedimentador primario donde se separa la materia orgánica más densa. Posteriormente, el afluente se dirige a un reactor de biodiscos rotativos donde microorganismos adheridos a los discos degradan la materia orgánica disuelta mediante procesos biológicos aeróbicos, generando una alta eficiencia en la remoción de DBO y sólidos suspendidos. El efluente tratado pasa por un sedimentador secundario que retiene lodos biológicos, para luego ser dispuesto en un punto de vertimiento autorizado o reutilizado según lo permita la regulación vigente. El diseño modular permite ajustar la capacidad según el crecimiento poblacional, facilitando el mantenimiento por secciones y la optimización de recursos, integrando además un sistema de monitoreo en línea para

la calidad del agua tratada y el funcionamiento del equipo (Tchobanoglous et al., 2014; Ceballos y Vélez, 2022; Cornare, 2024).

Entre las ventajas operativas de esta tecnología destacan su bajo consumo energético, mínima generación de ruido y olores, facilidad de operación por parte de personal con formación básica, bajos costos de mantenimiento preventivo y correctivo, y alta resiliencia ante fluctuaciones moderadas de carga hidráulica o contaminante, lo que la convierte en una solución adecuada para entornos rurales dispersos con recursos limitados y requerimientos de sostenibilidad a largo plazo. Experiencias recientes en municipios de Antioquia han validado el éxito del modelo de biodiscos, permitiendo reducir los impactos ambientales negativos, promover la reutilización de aguas tratadas y fortalecer la apropiación social de los sistemas de saneamiento rural (Ceballos y Vélez, 2022; Cornare, 2024; Minvivienda, 2022).

Inversiones

La inversión inicial del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito se compone de varios rubros clave que permiten su construcción, dotación y puesta en funcionamiento desde el primer año. Entre estos, uno de los más importantes es la inversión en activos físicos, la cual incluye infraestructura civil, sistema de tratamiento por biodiscos, sistemas eléctricos y de automatización, sistema de bombeo y recolección, oficina técnica modular y sistema de monitoreo y laboratorio. Estos elementos, fundamentales para la operación de la planta, suman un valor total de \$1815000000 COP.

Asimismo, se destinan \$110 000 000 COP como capital de trabajo neto operativo inicial (KTNO), el cual comprende los recursos necesarios para garantizar el arranque técnico y administrativo del proyecto. Este valor incluye \$60 000 000 COP para la capacitación del personal, \$18 000 000 COP para la adquisición de kits de seguridad y dotación, \$22 000 000 COP en insumos iniciales (como reactivos y materiales menores), y \$10 000 000 COP para servicios de comunicaciones. Estos rubros permiten que la planta cuente con los medios operativos básicos desde su entrada en funcionamiento.

Adicionalmente, se ha incluido una reserva operacional equivalente al 12 % del OPEX estimado para el primer año de operación (2028), que asciende a \$893506 COP. Esta reserva responde a las recomendaciones de organismos internacionales

como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) y (Banco Mundial, 2021), que sugieren prever entre un 10 % y 15 % del OPEX como capital de respaldo en proyectos de saneamiento rural, especialmente aquellos de naturaleza pública y sin fines de lucro. Aunque el valor es modesto, permite cubrir aproximadamente entre uno y dos meses de operación inicial, lo cual es clave para garantizar la continuidad del servicio durante la fase de arranque.

Estructura de los ingresos del proyecto

La estructura de ingresos de la PTAR proyectada para la vereda Tablacito está fundamentada en el esquema tarifario vigente para el servicio público de alcantarillado, según lo estipulado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), a través de la Resolución CRA 825 de 2017. Esta normativa establece los lineamientos para el cálculo de tarifas por usuario, diferenciando los componentes de cargo fijo y cargo por consumo, así como su aplicación por tipo de uso (residencial, comercial, industrial, entre otros) y estrato socioeconómico.

Los ingresos operacionales de la PTAR provendrán exclusivamente del cobro del servicio de tratamiento de aguas residuales a los suscriptores del sistema, quienes ya están conectados al sistema de acueducto de la vereda. El número de suscriptores fue proyectado a partir de las estadísticas oficiales suministradas por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro, y ajustado con la tasa de crecimiento poblacional estimada por el DANE para el departamento de Antioquia (DANE, 2023).

La estimación de ingresos distingue dos componentes tarifarios:

- Cargo fijo: corresponde a una suma mensual cobrada a cada suscriptor, independientemente del volumen de agua consumida. Este se calcula multiplicando la tarifa correspondiente por el número de suscriptores proyectados anualmente por tipo de uso y estrato.
- Cargo por consumo: Se determina multiplicando el volumen promedio de agua consumida por suscriptor (valor constante, suministrado por la Subsecretaría) por la tarifa de consumo vigente, diferenciada también por uso y estrato.

Los valores tarifarios utilizados en la proyección de ingresos para los diez años de evaluación (2028–2037) fueron ajustados con base en la inflación esperada, de

acuerdo con las proyecciones del (Banco de Bogotá, 2024) y considerando como línea base las tarifas vigentes al cierre de 2024 en el municipio de Rionegro. Esta actualización permite reflejar las variaciones en el poder adquisitivo y garantizar la sostenibilidad financiera del sistema bajo condiciones de mercado razonables.

Estructura de los egresos del proyecto

Los egresos del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la vereda Tablacito se clasifican en dos grandes categorías: costos operativos (OPEX) y gastos administrativos, los cuales representan las erogaciones necesarias para garantizar el funcionamiento técnico y administrativo de la planta a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto (2028–2037).

1. Costos operativos (OPEX)

Los costos operativos comprenden aquellos asociados directamente a la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante tecnología de biodiscos. Dado que esta tecnología aún no está implementada a gran escala en Colombia, se tomó como referencia técnica y económica el estudio elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) titulado *Sustainable Technologies for Wastewater Treatment in Rural Communities*, el cual estima un costo operativo entre 0.07 y 0.15 USD/m³ tratado. Para este proyecto se adoptó el valor más alto del rango (0.15 USD/m³) como escenario conservador, reflejando las condiciones económicas y de mercado más exigentes.

Este valor fue ajustado por inflación desde el año base (2020) hasta el año de entrada en operación (2028) usando las proyecciones del IPC publicadas por el (Banco de Bogotá, 2024). Posteriormente, se convirtió a pesos colombianos utilizando la Tasa Representativa del Mercado (TRM) proyectada para cada año. El cálculo final del OPEX anual se realizó multiplicando el costo unitario ajustado por el volumen proyectado de aguas residuales tratadas, que a su vez depende del número de suscriptores y su consumo promedio anual.

2. Gastos administrativos

Los gastos administrativos incluyen tres componentes fundamentales, de acuerdo con las recomendaciones técnicas del estudio del BID (2020), los cuales se expresan como porcentajes del OPEX anual:

- Gestión operativa: 10 % del OPEX
- Sistemas de monitoreo y reporte: 3 % del OPEX
- Capacitación y asistencia técnica: 2 % del OPEX

Estos rubros permiten garantizar la supervisión técnica continua, la rendición de cuentas operativa y el fortalecimiento de capacidades del personal que opera y mantiene la planta, aspectos esenciales en entornos rurales donde los recursos humanos e institucionales suelen ser limitados.

Esta estructura de egresos fue diseñada con el objetivo de reflejar de manera realista los costos recurrentes de un sistema de saneamiento rural operado por una entidad pública. Además, se ajusta a los principios de sostenibilidad económica y técnica requeridos para este tipo de proyectos de inversión pública.

4. ESTUDIO LEGAL

La implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito debe enmarcarse en un conjunto de normas jurídicas nacionales, regionales y locales que regulan el diseño, operación y seguimiento de este tipo de infraestructuras. Este estudio legal tiene como objetivo identificar el marco normativo aplicable, los requisitos institucionales y ambientales vigentes, así como los instrumentos necesarios para garantizar la legalidad, sostenibilidad y viabilidad del proyecto.

El marco jurídico fundamental para este proyecto está constituido por la Ley 142 de 1994, que regula los servicios públicos domiciliarios, incluyendo acueducto, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Esta ley establece la obligatoriedad de garantizar cobertura, continuidad y calidad del servicio, así como la sujeción de los prestadores a criterios de eficiencia y responsabilidad social (Congreso de Colombia, 1994).

A esta ley se suma la Ley 99 de 1993, que reestructura el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y establece el deber de protección del recurso hídrico como

principio rector de la gestión ambiental en Colombia. Esta ley da origen a las Corporaciones Autónomas Regionales, como CORNARE, entidad competente para otorgar permisos de vertimientos, licencias ambientales y vigilar el cumplimiento ambiental del proyecto.

De forma complementaria, la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible fija los límites máximos permisibles de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial, aplicables a las PTAR. Toda planta debe ajustarse a estos parámetros técnicos, los cuales varían según el tipo de cuerpo hídrico receptor y la capacidad instalada del sistema (MinAmbiente, 2015).

Asimismo, el proyecto deberá acogerse a los lineamientos del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), que define los requisitos mínimos de diseño, operación y mantenimiento de las PTAR, diferenciando entre zonas urbanas y rurales (Minvivienda, 2022).

Previo a su ejecución, la PTAR en Tablacito deberá obtener una serie de permisos y licencias:

- Licencia ambiental: en función de la capacidad de tratamiento y su ubicación, Cornare determinará si se requiere un trámite completo o un plan de manejo ambiental (PMA).
- Permiso de vertimientos: exigido por la Resolución 0631 de 2015 y tramitado ante Cornare. Establece los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua tratada que podrá ser vertida.
- Uso del suelo: conforme al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Rionegro, se debe verificar que el predio elegido sea compatible con el uso institucional o infraestructura sanitaria.
- Autorizaciones de construcción: incluyen licencia urbanística, permisos ante la Secretaría de Planeación y viabilidad técnica de acceso a servicios públicos.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) expidió la Resolución 825 de 2017, que define el marco tarifario especial para prestadores con menos de 5.000 suscriptores o que operen en zonas rurales. Esta resolución será clave para diseñar el modelo financiero de sostenibilidad de la PTAR en Tablacito, garantizando tarifas justas y compatibles con la capacidad de pago de los usuarios (CRA, 2017).

Además, la Ley 142 reconoce el concepto de mínimo vital, entendido como el volumen básico de consumo de agua que debe ser garantizado a toda persona, especialmente a población vulnerable. Este principio respalda la viabilidad social de la PTAR y su alineación con políticas de equidad y acceso universal.

El marco legal también establece que la operación de una PTAR puede ser asumida directamente por la comunidad organizada o por una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios (E.S.P.), siempre que cumpla con los requisitos establecidos en la Ley 142 (Congreso de Colombia, 1994). La figura jurídica más común es la de sociedad por acciones simplificada (S.A.S.), la cual debe estar inscrita en la Cámara de Comercio y habilitada ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Para el caso de Tablacito, se recomienda analizar la viabilidad de operar el sistema bajo el modelo de asociación comunitaria o acueducto veredal, regulado por la Ley 689 de 2001 y supervisado por la CRA y la Superintendencia. Esto garantiza autonomía operativa, sostenibilidad social y mayor compromiso de la comunidad con el manejo del sistema.

Cabe señalar que la Ley 1333 de 2009 establece el régimen sancionatorio ambiental en Colombia, incluyendo multas, clausuras y responsabilidad penal por daños ambientales derivados de vertimientos no autorizados o fallas en el tratamiento de aguas residuales. Esta normativa refuerza la obligación de operar la PTAR bajo estrictos estándares de control y seguimiento ambiental.

Asimismo, la Ley 1259 de 2008 crea el sistema de comparendos ambientales, mediante el cual se sancionan prácticas indebidas en la gestión de residuos y aguas servidas, tanto a nivel institucional como comunitario. El cumplimiento de estas disposiciones será esencial para preservar la salud pública y los recursos hídricos de la vereda Tablacito.

La Tabla 14 ofrece un resumen de la normatividad actual en Colombia que rige el manejo del recurso hídrico y los servicios de saneamiento en el país.

Tabla 13. Resumen del marco normativo y políticas públicas de agua y saneamiento en Colombia

Norma	Año	Descripción
Decreto 0475	2015	Orienta el establecimiento de las normas que desarrollan el contenido del artículo 250 de la Ley 2011, al tiempo que incorpora medidas adicionales para asegurar su aplicación efectiva.
Resolución 0672	2015	Busca implementar la Guía referida en el artículo 2.3.3.2.4.14 del Decreto 1077 de 2015, con el fin de asegurar su integración efectiva en los procedimientos y normativas vigentes.
Resolución 0288	2015	Define las directrices necesarias para la creación y estructuración de los programas destinados a la prestación del servicio público de aseo, para asegurar su correcta implementación y funcionamiento.
Resolución 0146	2015	Se enfoca en determinar las pautas para la distribución de recursos conforme a lo establecido en el párrafo 1 del artículo 21 de la Ley 1450 de 2011 y así garantizar una asignación adecuada y justa.
Resolución 0016	2015	Su propósito es especificar los criterios necesarios para la evaluación, aprobación y monitoreo de proyectos relacionados con la línea de tasa compensada, enfocados en el sector de agua potable y saneamiento básico.
Resolución 0754	2014	Pretende implementar un enfoque metodológico integral que comprenda todas las fases de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, desde su formulación y ejecución hasta su evaluación, monitoreo, control y actualización continua.
Resolución 0154	2014	Se centra en establecer directrices claras para desarrollar los Planes de Emergencia y Contingencia que permitan gestionar de manera eficaz desastres y situaciones de emergencia vinculadas a la provisión de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y recolección de residuos, al tiempo que se incorporan disposiciones adicionales para fortalecer su aplicación.
Lineamientos de política 3797	2014	Plantea la creación de una estrategia de desarrollo integral enfocada en la región de la Orinoquía, específicamente en la zona de la Altillanura, correspondiente a su primera fase de implementación.
Decreto 2981	2013	Busca establecer las normativas que regulen la adecuada prestación del servicio público de aseo, garantizando su eficiencia y cumplimiento de los estándares exigidos.
Decreto 3050	2013	Define los requisitos y procedimientos necesarios para gestionar las solicitudes relacionadas con la factibilidad y la provisión de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en el ámbito domiciliario.
Decreto 0920	2013	Su objetivo es actualizar los artículos 7 y 9 del Decreto 1350 de 2012 para adecuar su contenido a las nuevas necesidades o circunstancias emergentes.
Resolución 0504	2013	Su objetivo es dejar sin efectos la Resolución 413 de 2013 y realizar ajustes a la Resolución 0379 de 2012 para actualizar sus disposiciones según los requisitos actuales.
Resolución 0413	2013	Busca realizar ajustes a la Resolución 0379 de 2012 para actualizar y mejorar sus disposiciones conforme a las necesidades actuales.
Resolución 0169	2013	Actualiza la Resolución 494 de 2012 relacionada con el programa de conexiones intradomiciliarias para los servicios de acueducto y alcantarillado, con el fin de ajustar sus directrices a las nuevas necesidades y estándares.
Decreto 2667	2012	Establece las normas que regulan la tasa que se cobra por el uso directo e indirecto del agua, cuando esta sirve como receptor de vertimientos puntuales, además de introducir otras medidas complementarias.
Decreto 2246	2012	Se centra en definir las normativas para la implementación del artículo 21 de la Ley 1450 de 2011, así como establecer disposiciones adicionales para complementar y reforzar su aplicación.
Decreto 1873	2012	Define las normas para la aplicación del artículo 250 de la Ley 1450 de 2011, creando un mecanismo departamental destinado a la evaluación, viabilidad y aprobación de proyectos en el sector de agua potable y saneamiento básico. Este mecanismo se enmarca en los planes departamentales de agua y los programas regionales o departamentales impulsados por el

		Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, y define los requisitos necesarios, además de introducir otras disposiciones complementarias.
Decreto 1350	2012	Define la normatividad para la implementación del artículo 130 de la Ley 1450 de 2011, además de introducir disposiciones adicionales para complementar y reforzar su aplicación.
Resolución 0693	2012	Pretende implementar la Guía mencionada en el artículo 14 del Decreto 1873 de 2012, que establece el mecanismo departamental para la evaluación y viabilidad de proyectos en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el contexto de los planes departamentales de agua y otros programas regionales dedicados a la gestión de estos servicios.
Resolución 0494	2012	Define las directrices para la puesta en marcha del programa que abarca las conexiones intradomiciliarias para los servicios de acueducto y alcantarillado.
Resolución 0279	2012	Realiza ajustes a la Resolución N.º 653 del 25 de noviembre de 2011, con el fin de actualizar y adaptar sus disposiciones a las circunstancias actuales.
Acto legislativo 01	2011	Se centra en realizar enmiendas a ciertos artículos de la Constitución Política para establecer el Sistema General de Participaciones.
Ley 1283	2009	Su objetivo es realizar ajustes y adiciones al artículo 14 de la Ley 756 de 2002, que también implican cambios en el literal a) del artículo 15 y en los artículos 30 y 45 de la Ley 141 de 1994.
Decreto Ley 028	2008	Su objetivo es desarrollar una estrategia integral para la supervisión, monitoreo y control del gasto efectuado con los recursos del Sistema General de Participaciones.
Acto legislativo 04	2007	Busca llevar a cabo una reforma de los artículos 356 y 357 de la Constitución Política.
Ley 1176	2007	Se enfoca en la elaboración de las disposiciones para los artículos 356 y 357 de la Constitución Política, junto con la implementación de medidas adicionales relacionadas.
Ley 788	2002	Define nuevas regulaciones en los ámbitos tributario y penal a nivel nacional y territorial, además de introducir disposiciones adicionales. Incluye la implementación de un descuento tributario para las empresas que ofrecen servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado, conforme al Artículo 104.
Ley 689	2001	Tiene como objeto realizar algunos ajustes a las disposiciones de la Ley 142 de 1994.
Ley 715	2001	Define directrices relacionadas con los recursos y competencias, en línea con los artículos 151, 288, 356 y 357 del Acto Legislativo 01 de 2001 de la Constitución Política. Además, se implementarán disposiciones adicionales para organizar la prestación de servicios en áreas como educación y salud, entre otras.
Ley 632	2000	Hace ajustes a las Leyes 142 y 143 de 1994, así como a las Leyes 223 de 1995 y 286 de 1996.
Ley 373	1997	Crea un programa destinado a promover el uso eficiente y el ahorro del agua.
Ley 286	1996	Ajusta de manera parcial las Leyes 142 y 143 de 1994 para actualizar y adaptar sus disposiciones.
Ley 142	1994	Define el marco regulatorio para los servicios públicos domiciliarios y establecer las normas que regirán las actividades de los proveedores de estos servicios.
Ley 60	1993	Se centra en delimitar la gestión de los recursos nacionales transferidos a los niveles territoriales y asegurar el cumplimiento de la Ley 388 de 1997, que a su vez requiere la elaboración de planes de ordenamiento territorial a nivel municipal.
Ley 99	1993	Reorganiza el sector público responsable de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, estableciendo un nuevo marco para el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y aplicando disposiciones adicionales pertinentes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Departamento Nacional de Planeación (2023).

5. Estudio Administrativo

El estudio administrativo u organizacional constituye un componente estratégico en la evaluación de la viabilidad de proyectos de infraestructura de saneamiento como la planta de tratamiento de aguas residuales prevista para la vereda Tablacito. La estructura administrativa adecuada es determinante para garantizar la operación eficiente, la sostenibilidad financiera y la capacidad de respuesta ante desafíos técnicos, normativos y sociales propios del sector de los servicios públicos en Colombia. En el contexto de las zonas rurales, la gestión organizacional cobra mayor relevancia debido a la necesidad de optimizar recursos limitados, coordinar la participación de actores institucionales y comunitarios, y asegurar el cumplimiento permanente de las obligaciones legales y ambientales. Una estructura organizativa robusta pero flexible permite establecer procesos claros de gobernanza, asignación de funciones, control de calidad, rendición de cuentas y mejora continua, elementos que son fundamentales para que el sistema de tratamiento opere de manera sostenible y logre los objetivos de salud pública, protección ambiental y desarrollo local planteados por la política nacional de agua potable y saneamiento básico (Minvivienda, 2022; Ley 142 de 1994; CRA, 2023).

Marco normativo y antecedentes

El marco normativo para la prestación de los servicios públicos de tratamiento de aguas residuales en Colombia se encuentra definido por la Ley 142 de 1994, que establece las bases legales y técnicas para la constitución, operación y control de las empresas prestadoras, así como los principios de eficiencia, calidad, cobertura y sostenibilidad que deben regir el sector. Esta ley se complementa con el Decreto 1077 de 2015, que en su capítulo relativo al sector agua potable y saneamiento básico, reglamenta las condiciones de conexión y operación de las plantas de tratamiento y los requisitos para la prestación del servicio en zonas urbanas y rurales; adicionalmente, la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible fija los límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales a cuerpos de agua y alcantarillado, mientras que el Decreto 3930 de 2010 regula los usos del recurso hídrico y los procedimientos para la obtención de permisos y control de vertimientos, garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales

aplicables. Este marco legal exige que toda planta de tratamiento de aguas residuales opere bajo licenciamiento ambiental, además de que cumpla con un monitoreo periódico y mantenga registros actualizados ante la autoridad ambiental competente, en el caso de Rionegro, la corporación CORNARE, asegurando que los proyectos respondan a los objetivos de protección de la salud pública, conservación ambiental y desarrollo sostenible del territorio (Ley 142 de 1994; Decreto 1077 de 2015; Resolución 0631 de 2015; Decreto 3930 de 2010).

En cuanto a la evolución institucional, Empresas Públicas de Rionegro S.A.S. E.S.P. surge como resultado de la transformación y fortalecimiento de la sociedad antes denominada RioAseo Total S.A.S. E.S.P., proceso motivado por la necesidad de modernizar la gestión y ampliar la cobertura de los servicios públicos domiciliarios en el municipio. La empresa fue formalmente registrada ante la Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, conforme a la normatividad vigente, y consolidó su objeto social para abarcar la prestación integral de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, así como la gestión y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanos y rurales. En los últimos años, Empresas Públicas de Rionegro ha sido designada por la administración municipal como la entidad encargada de administrar y operar las futuras plantas de tratamiento, incluida la proyectada para la vereda Tablacito, en articulación con la Subsecretaría de Servicios Públicos y bajo la supervisión de CORNARE, lo que garantiza un modelo de gestión alineado con los requisitos legales, técnicos y ambientales exigidos en el contexto nacional y local, y permite a la empresa responder de manera efectiva a los nuevos retos del saneamiento básico en el municipio (Cámara de Comercio Oriente Antioqueño, 2024; Empresas Públicas de Rionegro, 2024; Subsecretaría de Servicios Públicos de Rionegro, 2024).

Descripción de la entidad operadora

Empresas Públicas de Rionegro S.A.S. E.S.P. es la entidad operadora designada para la gestión y operación de los servicios públicos domiciliarios en el municipio de Rionegro, incluyendo acueducto, alcantarillado, aseo y, próximamente, el tratamiento de aguas residuales en áreas rurales como la vereda Tablacito. Según la certificación expedida por la Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, la empresa está constituida bajo la figura de sociedad por acciones simplificada, con personería

jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente, cumpliendo con los requisitos legales establecidos en la Ley 142 de 1994 y demás normas sectoriales; el objeto social de la entidad, conforme a su registro mercantil vigente, incluye la prestación integral de los servicios de agua potable, saneamiento básico, gestión ambiental y actividades complementarias, así como la ejecución de obras de infraestructura y la administración de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanos y rurales. La empresa mantiene una relación directa de coordinación y supervisión con la Subsecretaría de Servicios Públicos de la Alcaldía de Rionegro, dependencia encargada de la planeación, seguimiento y control de la prestación de los servicios públicos municipales, articulando estrategias de expansión de cobertura, asistencia técnica y cumplimiento normativo; este esquema de gobernanza permite a Empresas Públicas de Rionegro asumir el liderazgo en la operación de la futura PTAR de Tablacito, garantizando la integración institucional, la sostenibilidad operativa y el cumplimiento de las metas de saneamiento establecidas en el Plan de Desarrollo Municipal y la normativa vigente (Cámara de Comercio Oriente Antioqueño, 2024; Empresas Públicas de Rionegro, 2024; Subsecretaría de Servicios Públicos de Rionegro, 2024).

Tabla 14. Características clave de Empresas Públicas de Rionegro S.A.S. E.S.P.

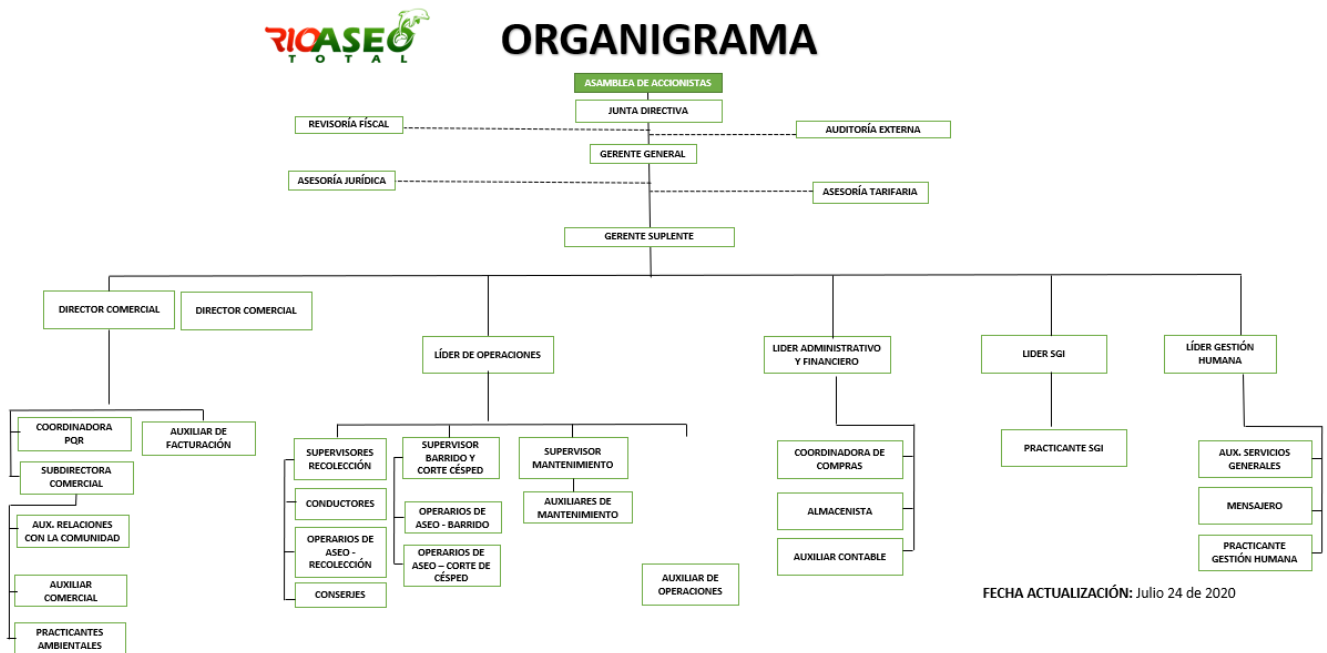
Elemento	Descripción
Nombre	Empresas Públicas de Rionegro S.A.S. E.S.P.
Tipo de sociedad	Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.)
Objeto social	Prestación de servicios públicos de acueducto, alcantarillado, aseo y gestión de PTAR
Certificación de existencia	Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, registro actualizado a 2024
Marco legal	Ley 142 de 1994, Decreto 1077 de 2015, normativa sectorial
Dependencia de supervisión	Subsecretaría de Servicios Públicos de la Alcaldía de Rionegro
Rol en administración municipal	Operadora y administradora de los sistemas de saneamiento básico del municipio
Responsabilidad PTAR Tablacito	Gestión, operación y mantenimiento de la planta proyectada

Fuente: Cámara de Comercio Oriente Antioqueño (2024); Empresas Públicas de Rionegro (2024); Subsecretaría de Servicios Públicos de Rionegro (2024).

Análisis del organigrama actual

La estructura organizacional vigente de Empresas Públicas de Rionegro, que data de la actualización de julio de 2020, refleja un modelo jerárquico funcional liderado por la asamblea de accionistas y la junta directiva, con la gerencia general como órgano de administración central. El organigrama incluye áreas comerciales, operativas, administrativas y de gestión humana, así como apoyos en asesoría jurídica, fiscal y tarifaria, y auditoría externa, lo que permite un esquema de gobernanza adecuado para la supervisión y control de los servicios públicos municipales. Entre las fortalezas del modelo actual destacan la claridad en la separación de funciones comerciales, operativas y administrativas, la existencia de coordinaciones específicas para compras, facturación, y mantenimiento, así como la integración de roles de apoyo en sostenibilidad y gestión ambiental, lo que facilita la atención de múltiples frentes del servicio. Sin embargo, el organigrama también evidencia debilidades para enfrentar los retos asociados a la gestión integral de nuevas PTAR rurales, como la falta de una unidad técnica dedicada exclusivamente a la operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento, la limitada presencia de especialistas en saneamiento ambiental y la ausencia de mecanismos formales para la participación comunitaria o el enlace territorial con zonas rurales dispersas, lo que sugiere la necesidad de una reestructuración que incorpore áreas técnicas específicas y capacidades orientadas al manejo de infraestructura ambiental rural (Empresas Públicas de Rionegro, 2024).

Figura 4. Organigrama vigente de Empresas Públicas de Rionegro (antes RioAseo Total)



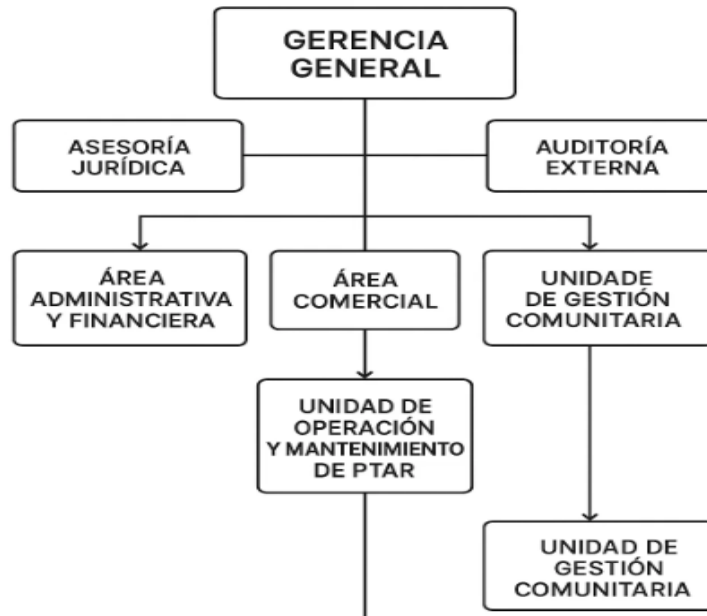
Fuente: Empresas Públicas de Rionegro (2024).

Propuesta de organigrama ajustado

La necesidad de incorporar la gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales rurales (PTAR) exige ajustar la estructura organizacional de Empresas Públicas de Rionegro, manteniendo un esquema funcional y ágil que responda a los retos operativos, técnicos y sociales del sector. Se propone una estructura no robusta, pero sí orientada a la eficiencia y a la articulación territorial, que contemple una Unidad de Operación y Mantenimiento de PTAR responsable del funcionamiento, monitoreo y mantenimiento de las infraestructuras rurales, así como una Unidad de Gestión Comunitaria, dedicada a la vinculación, formación y atención a los usuarios rurales, promoviendo la apropiación social de los sistemas y la resolución de conflictos. El área administrativa y financiera mantiene su papel en la gestión de recursos y soporte institucional, mientras que el área comercial gestiona la facturación, subsidios y atención al usuario; se incluye el apoyo transversal de asesoría jurídica y auditoría externa, necesarios para la transparencia, cumplimiento normativo y fortalecimiento institucional. Esta estructura asegura roles claros, especialización técnica, capacidad de respuesta y alineación con las mejores prácticas para la operación de servicios

públicos en contextos rurales (Empresas Públicas de Rionegro, 2024; Minvivienda, 2022).

Figura 5. Sección de organigrama ajustado sugerido para el área de PTAR



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Estrategias de fortalecimiento organizacional

La consolidación de un modelo organizativo sostenible para la gestión de la PTAR en la vereda Tablacito requiere implementar estrategias de fortalecimiento institucional orientadas a la capacitación continua del personal operativo, el diseño de programas formativos especializados en mantenimiento, monitoreo de parámetros ambientales y tecnologías de tratamiento, así como la actualización normativa y operativa de los equipos de trabajo. Se recomienda establecer sistemas de monitoreo y control interno que incluyan reportes periódicos de desempeño, revisión de indicadores de eficiencia y auditorías técnicas para anticipar y corregir desviaciones. La gobernanza debe promover la participación de las comunidades rurales a través de comités de usuarios, espacios de concertación y mecanismos transparentes de rendición de cuentas, asegurando que las voces locales sean consideradas en las decisiones de gestión y operación. La consolidación de alianzas público–comunitarias, en articulación con la Subsecretaría de Servicios Públicos y actores territoriales, es esencial para compartir recursos, transferir buenas prácticas y garantizar la sostenibilidad social del sistema.

Finalmente, la comunicación efectiva con los usuarios, mediante canales directos, talleres de sensibilización y campañas educativas, contribuye a fortalecer la apropiación del servicio, la prevención de conflictos y la construcción de una cultura de corresponsabilidad en el cuidado del sistema de saneamiento básico (Minvivienda, 2022; Empresas Públicas de Rionegro, 2024; CRA, 2023).

La tabla 16 resume el personal requerido y la funciones que deberá llevar a cabo, para garantizar la administración y operación de la PTAR.

Tabla 15. Personal y funciones - PTAR Vereda Tablacito

Personal requerido	Cantidad	Funciones Generales
Operador(a) de PTAR - Unidad de Operación y Mantenimiento	1	Supervisar las operaciones en el sistema; esto comprende todos los componentes cuya operación sea sistemática y el monitoreo continuo del flujo y la calidad del agua tratada.
Técnico(a) de mantenimiento - Unidad de Operación y Mantenimiento	1	Realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos e infraestructuras de la PTAR.
Gestor(a) comunitario(a)	1	Fomentar y activar el involucramiento comunitario, ejecutar procesos de capacitación y servir de intermediario para la solución de conflictos con individuos de comunidades rurales.
Asesoría jurídica (apoyo transversal)	1	Dar soporte jurídico en el área contractual, actualización en temas de normatividad ambiental y de gestión institucional.
Auditoría externa (apoyo transversal)	1	Revisar y verificar el cumplimiento técnico y financiero del sistema, para garantizar transparencia y buenas prácticas en la PTAR.

Fuente: elaboración propia, 2025.

6. Estudio Ambiental

La sostenibilidad ambiental es uno de los pilares fundamentales en la planificación de proyectos de infraestructura pública. En el marco metodológico de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el estudio ambiental se concibe como una etapa diagnóstica clave dentro del análisis de Pre-inversión, ya que permite identificar de forma anticipada los impactos ecológicos, los riesgos

asociados al entorno natural y la compatibilidad del proyecto con los lineamientos ambientales nacionales y territoriales (ONUDI, 1991). En el caso particular del presente estudio, enfocado en la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, se hace necesario caracterizar con rigurosidad el entorno físico, hidrológico y climático del área de intervención, con el fin de orientar un diseño técnico que respete y preserve los ecosistemas presentes.

La vereda Tablacito se localiza en el corregimiento José María Córdoba, en la zona occidental de Rionegro, y comprende un área aproximada de 883 hectáreas, conformada mayoritariamente por terrenos de vocación agropecuaria, bosques secundarios y zonas de transición hacia áreas de conservación (Muñoz Ortiz, 2020). La topografía del sector es predominantemente montañosa, con pendientes variables que favorecen procesos naturales de escorrentía superficial. Estas condiciones hacen que cualquier intervención de infraestructura deba contemplar medidas de estabilización y drenaje que minimicen los riesgos de erosión y sedimentación en los cuerpos hídricos cercanos. Según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio, esta vereda forma parte de la cuenca del río Negro, una de las principales fuentes hídricas de la subregión, con múltiples quebradas de menor caudal que abastecen a las comunidades rurales y ecosistemas asociados (Alcaldía de Rionegro, 2011).

La vereda Tablacito, como territorio de intervención directa del proyecto, presenta características ambientales que refuerzan la urgencia de implementar soluciones sostenibles de saneamiento básico. Se trata de una zona rural con una estructura de poblamiento disperso, donde predominan las viviendas unifamiliares de tipo campesino, muchas de las cuales no están conectadas a redes de alcantarillado centralizadas. Este aislamiento ha llevado a que, históricamente, el manejo de aguas residuales se realice mediante métodos inadecuados, como pozos sépticos rudimentarios o vertimientos directos a fuentes naturales. La vereda posee un alto valor ecológico debido a su cercanía a ecosistemas de bosque andino, su función como corredor biológico y su papel como zona de recarga hídrica para varias microcuencas. Según información recopilada por CORNARE y el POT municipal, Tablacito se encuentra dentro de una franja de regulación hídrica prioritaria, lo que implica mayores exigencias para la protección del suelo, el uso racional del recurso

hídrico y la gestión de residuos (CORNARE, 2022). Estas condiciones particulares hacen que la localización, el diseño y la operación de la PTAR deban ajustarse a parámetros de bajo impacto ambiental y alta eficiencia operativa, maximizando el beneficio ecosistémico y social en esta zona de alta fragilidad ambiental.

La problemática ambiental más evidente en esta zona es la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que conlleva vertimientos directos a fuentes superficiales, afectando su calidad y la salud de la población. Según el IDEAM (2021), aproximadamente el 60 % de las fuentes hídricas rurales en Antioquia presentan niveles críticos de contaminación orgánica, principalmente por descargas domésticas no tratadas. Esto coincide con los hallazgos de monitoreos realizados por CORNARE, la autoridad ambiental regional, que ha identificado múltiples puntos de vertimiento ilegal o inadecuado en zonas rurales de Rionegro. La Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente establece parámetros obligatorios para vertimientos puntuales, incluyendo cargas máximas de DBO, SST, coliformes fecales, entre otros, y su cumplimiento es un requisito técnico ineludible para la operación de cualquier PTAR (MinAmbiente , 2015).

El contexto climático es otro factor determinante en la planificación del proyecto. La zona presenta un régimen de lluvias bimodal con precipitaciones anuales promedio entre 1800 y 2500 mm, lo cual, sumado a las pendientes del terreno, genera alta susceptibilidad a procesos de escorrentía y saturación de suelos. A esta condición se suma el impacto creciente del cambio climático. Según la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del (IDEAM, 2021), Antioquia se encuentra entre los departamentos con mayor índice de vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos, como lluvias intensas o sequías prolongadas. Este documento advierte sobre la necesidad de que los proyectos de infraestructura hidráulica, especialmente en zonas rurales, integren criterios de resiliencia climática, incluyendo drenajes diferenciados, zonas de amortiguación, tanques de retención pluvial y monitoreo permanente de los caudales de entrada.

En ese sentido, uno de los elementos clave de la presente propuesta es la adopción de tecnologías sostenibles y adaptadas al contexto rural. El (Banco Mundial, 2021) recomienda el uso de sistemas descentralizados, de bajo consumo energético y operación sencilla, como humedales artificiales, biodigestores y reactores

anaerobios de flujo ascendente. Estas tecnologías no solo garantizan un tratamiento eficaz de las aguas residuales, sino que permiten la recuperación de subproductos como biogás o biofertilizantes, alineándose con principios de economía circular. Además, su implementación facilita la operación comunitaria y reduce la dependencia de sistemas eléctricos complejos, lo cual es crucial en zonas de baja cobertura energética como Tablacito.

Desde el punto de vista ambiental, los impactos positivos del proyecto son significativos. La mejora en la calidad del agua, la reducción de vectores transmisores de enfermedades, el aumento del valor de los predios rurales y la restauración ecológica de microcuencas son efectos ampliamente documentados por estudios en América Latina (UNICEF & OMS., 2021). Sin embargo, como ocurre con toda obra de infraestructura, también existen riesgos ambientales asociados a las etapas de construcción y operación. Entre ellos se incluyen la posible afectación de la vegetación circundante, generación de residuos de obra, contaminación por lodos si no son dispuestos adecuadamente, y emisiones de olores. Estos efectos deben ser abordados mediante un Plan de Manejo Ambiental (PMA) que contemple medidas de mitigación, control de impactos, cronogramas de seguimiento y estrategias de participación comunitaria para garantizar una operación ambientalmente responsable.

Uno de los mayores desafíos está relacionado con la exposición al riesgo climático. Eventos de precipitación extrema pueden sobrepasar la capacidad hidráulica del sistema, mientras que sequías prolongadas pueden reducir el flujo necesario para mantener condiciones óptimas de operación. Como lo señala el (IDEAM, 2021) la región oriental de Antioquia se clasifica dentro de las zonas de vulnerabilidad media-alta en el mapa nacional de riesgo climático, lo cual obliga a diseñar infraestructuras con criterios de adaptación.

Desde el enfoque territorial, la implementación de esta planta de tratamiento también responde a los lineamientos de planificación ambiental establecidos en el (Gobernación de Antioquia, 2024) que prioriza inversiones en infraestructura básica rural con enfoque ambiental, especialmente en zonas con rezago histórico en cobertura de saneamiento. Así mismo, el proyecto se alinea con los lineamientos del Plan de Gestión Ambiental Regional de CORNARE, que promueve el uso de tecnologías limpias y la protección de microcuencas estratégicas como instrumento

clave para garantizar el abastecimiento hídrico en el oriente antioqueño. Este marco institucional permite que el proyecto no solo cuente con respaldo técnico y legal, sino que también pueda articularse con fuentes de cofinanciación como el Plan Departamental de Agua y el Sistema General de Regalías, facilitando así su ejecución y sostenibilidad financiera. Al cumplir con esta normatividad ambiental y territorial, la PTAR de Tablacito se convierte en una acción estratégica dentro de la agenda regional por la sostenibilidad y la equidad en los servicios públicos rurales.

Además del cumplimiento legal y técnico, se hace necesario que el componente ambiental se articule con procesos sociales de participación comunitaria, educación ambiental y monitoreo ciudadano. El involucramiento de la comunidad en la operación básica, la vigilancia del cumplimiento de los estándares de vertimiento, y la gestión de los subproductos del tratamiento, incrementa la sostenibilidad social y ambiental del sistema. Diversos estudios han demostrado que los proyectos de saneamiento que incorporan instancias comunitarias desde su fase de planificación son más efectivos en el tiempo y presentan mayor aceptación por parte de la población (UNICEF & OMS., 2021).

Es relevante destacar que esta intervención no debe entenderse como una acción aislada, sino como parte de un proceso más amplio de gestión integrada del recurso hídrico rural. La PTAR puede ser el punto de partida para el fortalecimiento de redes de acueductos comunitarios, la recuperación ecológica de las microcuencas y la implementación de estrategias de pago por servicios ambientales, alineadas con las políticas de conservación del recurso hídrico en Antioquia. Este enfoque integrador refuerza la necesidad de que cada fase del proyecto sea guiada por principios de equidad, eficiencia técnica y protección ambiental a largo plazo.

Los impactos identificados en la matriz de Leopold se han clasificado de acuerdo con su naturaleza (positivo/negativo), alcance (directo/indirecto) y duración (temporal/permanente). Los efectos negativos directos y temporales predominan durante las fases de construcción y movimiento de tierra, afectando principalmente la calidad de agua, estabilidad del suelo, calidad de aire, hábitat de flora y fauna, así como elementos del paisaje y servicios sociales básicos; estos impactos suelen ser temporales y se pueden mitigar mediante la implementación de buenas prácticas constructivas y el seguimiento ambiental continuo (Cornare, 2024; IDEAM, 2022).

Durante la fase de operación, los impactos positivos y directos se reflejan en la mejora de la calidad del agua, el fortalecimiento de los servicios básicos, la salud pública y el empleo local, los cuales son en su mayoría permanentes mientras la planta opere adecuadamente. Además, se reconocen efectos indirectos positivos en el nivel económico local, la reducción de conflictos sociales y la apropiación social de la gestión ambiental. Los impactos negativos en esta etapa son menores, suelen estar relacionados con el mantenimiento de equipos y la gestión de residuos secundarios, y pueden considerarse temporales e indirectos si se manejan con protocolos adecuados (Minvivienda, 2022).

En las etapas de mantenimiento y cierre/abandono, los impactos tienden a ser negativos, especialmente si no se realizan acciones de restauración o monitoreo post cierre. Sin embargo, la restauración ambiental planificada puede revertir efectos adversos y generar impactos positivos permanentes sobre el paisaje, calidad de suelo y hábitats afectados. En síntesis, la matriz evidencia que la correcta operación y mantenimiento de la PTAR maximiza los beneficios ambientales y sociales, mientras que la fase de construcción y abandono requiere especial atención en la gestión y mitigación de impactos (Tchobanoglous et al., 2014; Cornare, 2024).

7. Estudio Financiero

El estudio financiero en proyectos públicos de infraestructura ambiental, como la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito del municipio de Rionegro, tiene como propósito principal evaluar la viabilidad económica del sistema desde una perspectiva de sostenibilidad operativa,

más que de rentabilidad comercial. En este tipo de iniciativas, el análisis financiero no busca generar excedentes económicos, sino garantizar que el proyecto pueda cubrir sus costos de operación y mantenimiento en el tiempo, contribuyendo así al mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad, la protección del recurso hídrico y la consolidación de modelos de desarrollo rural sostenible.

Desde esta perspectiva, el estudio financiero se estructura en torno a la identificación de los ingresos potenciales asociados al servicio de alcantarillado, la estructura tarifaria vigente, el comportamiento esperado de la demanda, y las condiciones institucionales que permitirán asegurar la sostenibilidad del sistema. Aunque la generación de utilidades no es el objetivo central, contar con un flujo de caja proyectado es indispensable para garantizar que el proyecto pueda mantenerse funcional, eficiente y alineado con los principios de equidad social y responsabilidad ambiental. Para ello, el flujo será desagregado por componentes, iniciando con el análisis del primer componente: los ingresos proyectados del sistema.

Ingresos Proyectados:

El componente de ingresos del presente estudio financiero corresponde a la estimación de los recursos económicos que generará la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proyectada para la vereda Tablacito, en el municipio de Rionegro. En el contexto de un proyecto público de saneamiento, estos ingresos no buscan maximizar la rentabilidad financiera, sino garantizar la sostenibilidad técnica y económica del sistema, asegurando su capacidad operativa durante el horizonte de evaluación.

Para proyectar los ingresos, se aplicó una metodología detallada basada en la clasificación por tipo de uso y estrato socioeconómico, así como en los componentes tarifarios definidos por el marco regulatorio. Los aspectos considerados fueron los siguientes:

- Clasificación por tipo de usuario:

La estimación de ingresos se realizó considerando tres tipos principales de usuarios:

- Residenciales, diferenciados por estratos del 1 al 6.
- Comerciales.

- Industriales.

Importante: Aunque se contempló el uso “OFICIAL” en el estudio de mercado, este fue excluido en la proyección de ingresos, ya que, según información suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro, actualmente no existen usuarios registrados bajo esta categoría en la vereda.

- Componentes tarifarios aplicados:

Los ingresos se calcularon a partir de los dos componentes establecidos por el régimen tarifario:

- Cargo fijo anual:

Calculado como el producto entre la tarifa fija proyectada para cada año y el número estimado de suscriptores de cada tipo de uso.

- Cargo por consumo anual:

Estimado multiplicando la tarifa por consumo correspondiente, el número proyectado de suscriptores, y el consumo promedio mensual por usuario, el cual fue proporcionado por la Subsecretaría de Servicios Públicos de Rionegro.

- Tratamiento del consumo promedio:

El valor del consumo promedio por suscriptor se mantuvo constante durante el período 2028–2037. Esta decisión se justifica por la ausencia de un histórico detallado de variaciones en el consumo, lo que impide construir una tendencia estadísticamente robusta para hacer ajustes confiables en el modelo.

Esta estructura de estimación permite reflejar con realismo la evolución de los ingresos operativos del sistema, contemplando tanto las condiciones socioeconómicas del territorio como el marco normativo vigente. La desagregación por tipo de uso y componente tarifario facilita además el análisis de sensibilidad y la planificación financiera futura.

A continuación, se presentan las tablas correspondientes con la estimación anual de ingresos proyectados por cargo fijo y por consumo, entre los años 2028 y 2037, desglosados por tipo de usuario y estrato:

Tabla 17. Flujo de caja del inversionista - Ingresos

CÁLCULO DE INGRESO POR USO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
	dic-27	dic-28	dic-29	dic-30	dic-31	dic-32	dic-33	dic-34	dic-35	dic-36	dic-37
ESTRATO 1											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 44.803	\$ 46.577	\$ 48.413	\$ 50.311	\$ 52.272	\$ 54.295	\$ 56.382	\$ 58.536	\$ 60.755	\$ 63.040
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 793.391	\$ 824.804	\$ 857.309	\$ 890.926	\$ 925.640	\$ 961.468	\$ 998.435	\$ 1.036.564	\$ 1.075.859	\$ 1.116.324
Total Ingresos Estrato 1	\$ 0	\$ 838.195	\$ 871.382	\$ 905.722	\$ 941.238	\$ 977.911	\$ 1.015.763	\$ 1.054.817	\$ 1.095.099	\$ 1.136.613	\$ 1.179.364
ESTRATO 2											
Cargo fijo	\$ 0	\$ 282.969	\$ 294.173	\$ 305.766	\$ 317.756	\$ 330.137	\$ 342.915	\$ 356.100	\$ 369.699	\$ 383.714	\$ 398.146
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 2.645.751	\$ 2.750.505	\$ 2.858.899	\$ 2.971.005	\$ 3.086.765	\$ 3.206.243	\$ 3.329.518	\$ 3.456.667	\$ 3.587.706	\$ 3.722.648
Total Ingresos Estrato 2	\$ 0	\$ 2.928.720	\$ 3.044.678	\$ 3.164.665	\$ 3.288.761	\$ 3.416.902	\$ 3.549.159	\$ 3.685.618	\$ 3.826.365	\$ 3.971.419	\$ 4.120.794
ESTRATO 3											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 581.659	\$ 604.689	\$ 628.519	\$ 653.165	\$ 678.615	\$ 704.882	\$ 731.983	\$ 759.936	\$ 788.745	\$ 818.411
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 3.683.340	\$ 3.829.175	\$ 3.980.078	\$ 4.136.149	\$ 4.297.307	\$ 4.463.641	\$ 4.635.261	\$ 4.812.274	\$ 4.994.702	\$ 5.182.565
Total Ingresos Estrato 3	\$ 0	\$ 4.264.999	\$ 4.433.864	\$ 4.608.597	\$ 4.789.315	\$ 4.975.922	\$ 5.168.523	\$ 5.367.244	\$ 5.572.210	\$ 5.783.447	\$ 6.000.976
ESTRATO 4											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 290.830	\$ 302.345	\$ 314.260	\$ 326.583	\$ 339.307	\$ 352.441	\$ 365.992	\$ 379.968	\$ 394.372	\$ 409.206
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 2.224.836	\$ 2.312.924	\$ 2.404.074	\$ 2.498.345	\$ 2.595.689	\$ 2.696.159	\$ 2.799.822	\$ 2.906.742	\$ 3.016.934	\$ 3.130.408
Total Ingresos Estrato 4	\$ 0	\$ 2.515.666	\$ 2.615.269	\$ 2.718.333	\$ 2.824.928	\$ 2.934.996	\$ 3.048.600	\$ 3.165.813	\$ 3.286.711	\$ 3.411.307	\$ 3.539.614
ESTRATO 5											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 825.327	\$ 858.005	\$ 891.818	\$ 926.789	\$ 962.899	\$ 1.000.170	\$ 1.038.625	\$ 1.078.288	\$ 1.119.165	\$ 1.161.259
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 6.454.029	\$ 6.709.565	\$ 6.973.980	\$ 7.247.452	\$ 7.529.836	\$ 7.821.291	\$ 8.122.006	\$ 8.432.172	\$ 8.751.828	\$ 9.081.004
Total Ingresos Estrato 5	\$ 0	\$ 7.279.356	\$ 7.567.569	\$ 7.865.798	\$ 8.174.241	\$ 8.492.735	\$ 8.821.461	\$ 9.160.631	\$ 9.510.460	\$ 9.870.992	\$ 10.242.263
ESTRATO 6											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 477.904	\$ 496.826	\$ 516.405	\$ 536.655	\$ 557.564	\$ 579.146	\$ 601.413	\$ 624.380	\$ 648.050	\$ 672.424
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 5.305.187	\$ 5.515.236	\$ 5.732.585	\$ 5.957.377	\$ 6.189.496	\$ 6.429.071	\$ 6.676.257	\$ 6.931.212	\$ 7.193.968	\$ 7.464.550
Total Ingresos Estrato 6	\$ 0	\$ 5.783.090	\$ 6.012.062	\$ 6.248.989	\$ 6.494.032	\$ 6.747.060	\$ 7.008.216	\$ 7.277.670	\$ 7.555.592	\$ 7.842.018	\$ 8.136.974
INDUSTRIAL											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 61.310	\$ 63.737	\$ 66.249	\$ 68.847	\$ 71.530	\$ 74.298	\$ 77.155	\$ 80.101	\$ 83.138	\$ 86.265
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 1.548.546	\$ 1.609.858	\$ 1.673.301	\$ 1.738.916	\$ 1.806.670	\$ 1.876.600	\$ 1.948.752	\$ 2.023.172	\$ 2.099.868	\$ 2.178.849
Total Ingresos Sector Industrial	\$ 0	\$ 1.609.856	\$ 1.673.596	\$ 1.739.550	\$ 1.807.763	\$ 1.878.199	\$ 1.950.898	\$ 2.025.907	\$ 2.103.273	\$ 2.183.006	\$ 2.265.114
COMERCIAL											
Cargo Fijo	\$ 0	\$ 153.275	\$ 159.344	\$ 165.623	\$ 172.118	\$ 178.824	\$ 185.746	\$ 192.887	\$ 200.253	\$ 207.845	\$ 215.662
Consumo Básico (>11 m3)	\$ 0	\$ 3.917.616	\$ 4.072.727	\$ 4.233.228	\$ 4.399.226	\$ 4.570.634	\$ 4.747.548	\$ 4.930.083	\$ 5.118.355	\$ 5.312.386	\$ 5.512.198
Total Ingresos Sector Comercial	\$ 0	\$ 4.070.891	\$ 4.232.070	\$ 4.398.851	\$ 4.571.344	\$ 4.749.458	\$ 4.933.294	\$ 5.122.970	\$ 5.318.608	\$ 5.520.231	\$ 5.727.860
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 29.290.773,20	\$ 30.450.489,37	\$ 31.650.504,58	\$ 32.891.621,49	\$ 34.173.183,06	\$ 35.495.913,95	\$ 36.860.670,67	\$ 38.268.318,64	\$ 39.719.034,30	\$ 41.212.958,20

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Egresos proyectados:

El componente de egresos contempla todos los costos asociados al funcionamiento y la administración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proyectada para la vereda Tablacito, en el municipio de Rionegro. Este análisis es fundamental para garantizar la sostenibilidad técnica, operativa y financiera del sistema a lo largo del horizonte de evaluación del proyecto, el cual abarca diez años a partir de su entrada en operación.

Los egresos se agrupan en dos grandes categorías: costos operativos (OPEX) y gastos administrativos. A continuación, se explica el criterio técnico adoptado para su cálculo:

– Costos operativos (OPEX):

Estos costos se calcularon con base en el estudio técnico del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) titulado “Sustainable Technologies for Wastewater Treatment in Rural Communities”, publicado en 2020. Este documento presenta un rango de costos operativos estimados para plantas con tecnología de biodiscos, que es la seleccionada para este proyecto.

Según el BID, el costo operativo de estas plantas oscila entre 0.07 y 0.15 dólares por metro cúbico tratado. Para este estudio se tomó el valor más alto del rango (0.15 USD/m³) con el fin de reflejar un escenario conservador y contemplar la volatilidad de precios del contexto colombiano.

Dado que el estudio fue publicado en 2020, el valor base fue actualizado aplicando el Índice de Precios al Consumidor (IPC) proyectado para los próximos años. Este ajuste tiene en cuenta las siguientes referencias:

- El Banco de la República mantiene una meta de inflación del 3 % anual, con un margen de variabilidad del ± 1 % (Banco de la República, 2023).
- Según las proyecciones del Banco de Bogotá, la inflación esperada para el mediano plazo oscila entre el 3.5 % y el 4 % anual (Banco de Bogotá, 2024).

Para convertir el valor ajustado a pesos colombianos (COP), se utilizó la Tasa Representativa del Mercado (TRM) proyectada hasta el año 2030, disponible en el portal de investigaciones económicas del Banco de Bogotá.

A partir del año 2031, al no existir proyecciones oficiales, se realizó un ajuste de la TRM tomando como referencia la variación esperada del IPC.

Finalmente, se calculó el costo operativo total para cada tipo de usuario (residencial por estratos 1 a 6, comercial e industrial) multiplicando:

- El costo operativo ajustado (COP/m³),
- Por el número de suscriptores proyectados,
- Por el consumo promedio estimado para cada usuario, con base en los datos reportados por la Subsecretaría de Servicios Públicos del Municipio de Rionegro.

– Gastos administrativos:

Estos gastos incluyen los elementos indispensables para garantizar la gestión institucional y técnica del sistema de saneamiento. También se calcularon tomando como referencia las recomendaciones del estudio del (BID, 2020), el cual establece los siguientes porcentajes con respecto al OPEX:

- Gestión operativa: 10 % del OPEX.
- Sistemas de monitoreo y reporte: 3 % del OPEX.
- Capacitación y asistencia técnica: 2 % del OPEX.

– Total, de egresos del sistema:

La suma de los costos operativos (OPEX) y los gastos administrativos constituye el total de egresos estimados anualmente para el funcionamiento de la PTAR. Esta estructura permite una evaluación financiera coherente con la realidad técnica del sistema y con los estándares aplicables a proyectos públicos de saneamiento rural.

A continuación, se presentan las tablas correspondientes con la estimación anual de egresos proyectados por consumo, entre los años 2028 y 2037, desglosados por tipo de usuario y estrato:

Tabla 18. Flujo de caja del inversionista - Egresos

CÁLCULO DE EGRESOS POR USO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
	dic-27	dic-28	dic-29	dic-30	dic-31	dic-32	dic-33	dic-34	dic-35	dic-36	dic-37
COSTOS OPERATIVOS (OPEX)											
IPC PROYECTADO	0,00%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%	3,45%
TRM PROYECTADA	\$ 0,00	\$ 4.260,00	\$ 4.320,00	\$ 4.381,00	\$ 4.532,14	\$ 4.688,50	\$ 4.850,26	\$ 5.017,59	\$ 5.190,70	\$ 5.369,78	\$ 5.555,03
Costos Operativos por Mt3/USD	\$0,00	\$0,24	\$0,25	\$0,26	\$0,26	\$0,27	\$0,28	\$0,29	\$0,30	\$0,31	\$0,32
ESTRATO 1											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$247.341,40	\$260.756,06	\$274.859,20	\$295.491,79	\$317.596,76	\$341.271,08	\$366.618,90	\$393.750,84	\$422.776,94	\$453.812,96
ESTRATO 2											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$824.818,49	\$869.552,83	\$916.583,09	\$985.387,35	\$1.059.101,61	\$1.138.049,24	\$1.222.577,55	\$1.313.055,43	\$1.409.849,83	\$1.513.346,79
ESTRATO 3											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$1.148.288,97	\$1.210.566,86	\$1.276.041,06	\$1.371.828,40	\$1.474.451,31	\$1.584.359,96	\$1.702.037,89	\$1.827.998,64	\$1.962.753,06	\$2.106.838,59
ESTRATO 4											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$693.597,36	\$731.214,88	\$770.763,06	\$828.621,18	\$890.608,17	\$956.995,95	\$1.028.076,58	\$1.104.160,25	\$1.185.555,54	\$1.272.587,07
ESTRATO 5											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$1.341.371,48	\$1.414.121,28	\$1.490.604,83	\$1.602.498,62	\$1.722.377,36	\$1.850.766,94	\$1.988.232,18	\$2.135.372,98	\$2.292.786,08	\$2.461.099,32
ESTRATO 6											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$1.033.689,19	\$1.089.751,72	\$1.148.691,56	\$1.234.919,28	\$1.327.300,37	\$1.426.240,09	\$1.532.173,71	\$1.645.563,51	\$1.766.869,38	\$1.896.575,11
INDUSTRIAL											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$371.355,78	\$391.496,40	\$412.670,71	\$443.648,26	\$476.836,43	\$512.380,81	\$550.437,76	\$591.173,37	\$634.752,84	\$681.350,00
COMERCIAL											
Costos Operativos Totales COP	\$0,00	\$814.216,65	\$858.376,01	\$904.801,76	\$972.721,64	\$1.045.488,41	\$1.123.421,28	\$1.206.863,11	\$1.296.178,03	\$1.391.728,27	\$1.493.894,93
TOTAL COSTOS OPERATIVOS	\$0,00	\$6.474.679,33	\$6.825.836,04	\$7.195.015,27	\$7.735.116,53	\$8.313.760,42	\$8.933.485,36	\$9.597.017,68	\$10.307.253,05	\$11.067.071,94	\$11.879.504,75

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 19. Flujo de caja del inversionista - Egresos

GASTOS ADMINISTRATIVOS											
Porcentaje del OPEX	0%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
<i>Gestión Operativa</i>	\$0,00	\$647.467,93	\$682.583,60	\$719.501,53	\$773.511,65	\$831.376,04	\$893.348,54	\$959.701,77	\$1.030.725,31	\$1.106.707,19	\$1.187.950,48
Porcentaje del OPEX	0%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
<i>Sistemas de Monitoreo y Reporte</i>	\$0,00	\$194.240,38	\$204.775,08	\$215.850,46	\$232.053,50	\$249.412,81	\$268.004,56	\$287.910,53	\$309.217,59	\$332.012,16	\$356.385,14
Porcentaje del OPEX	0%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
<i>Capacitación y Asistencia Técnica</i>	\$0,00	\$129.493,59	\$136.516,72	\$143.900,31	\$154.702,33	\$166.275,21	\$178.669,71	\$191.940,35	\$206.145,06	\$221.341,44	\$237.590,10
TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS	\$0,00	\$971.201,90	\$1.023.875,41	\$1.079.252,29	\$1.160.267,48	\$1.247.064,06	\$1.340.022,80	\$1.439.552,65	\$1.546.087,96	\$1.660.060,79	\$1.781.925,71
TOTAL EGRESOS	\$0,00	\$7.445.881,23	\$ 7.849.711,45	\$ 8.274.267,56	\$ 8.895.384,01	\$ 9.560.824,48	\$ 10.273.508,16	\$ 11.036.570,33	\$ 11.853.341,01	\$ 12.727.132,73	\$ 13.661.430,47

Fuente: Elaboración propia, 2025.

En el análisis del flujo de caja proyectado para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, el primer indicador financiero clave es la utilidad bruta, la cual se obtiene mediante la diferencia entre los ingresos operacionales generados por la prestación del servicio y los egresos compuestos por los costos operativos (OPEX) y los gastos administrativos. Esta utilidad permite conocer la capacidad del proyecto para cubrir sus costos básicos, sin considerar aún otros factores como depreciación, impuestos o gastos financieros.

Posteriormente, se calcula la utilidad antes de intereses e impuestos (UAI). Para llegar a esta, fue necesario incorporar la depreciación de los activos fijos, dado que estos representan una salida contable no monetaria, pero relevante en la medición de la rentabilidad del proyecto. En este caso, el monto total de activos depreciables asciende a \$1 815 000 000 COP, conforme a la estructura de inversión identificada en la información suministrada por el Municipio de Rionegro.

La estimación de la vida útil de estos activos se realizó de manera rigurosa, conforme a los estándares contables del sector público en Colombia y fuentes técnicas internacionales especializadas. Se tomó como base normativa el Decreto 2420 de 2015, emitido por la Contaduría General de la Nación (Función Pública, 2015), que establece en su Anexo Técnico 6 las directrices para la depreciación en entidades públicas.

Adicionalmente, se complementó esta normatividad con fuentes técnicas reconocidas internacionalmente. Por ejemplo, para el sistema de biodiscos, tecnología principal de tratamiento en esta PTAR, se consideró la vida útil de 20 años recomendada por el (BID, 2020), en su estudio *Sustainable Technologies for Wastewater Treatment in Rural Communities*. Asimismo, la vida útil de los sistemas de monitoreo y laboratorio fue referenciada con base en los manuales técnicos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2011), que sugieren periodos de entre 8 y 12 años para sensores de calidad de agua y equipos de medición en zonas rurales.

Después de determinar la Utilidad antes de intereses e impuestos (UAI), el siguiente paso en el desarrollo del flujo de caja es establecer la Utilidad antes de impuestos (UI). En este caso particular, debido a la estructura financiera del

proyecto, no se incluyen intereses por préstamos en el cálculo. Esto se debe a que la totalidad de la inversión será cubierta con recursos propios, distribuidos en un 31% por parte del Municipio de Rionegro y el restante 69 % por la autoridad ambiental regional CORNARE (Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare). Esta condición elimina la necesidad de endeudamiento financiero, lo que implica que el gasto por intereses es igual a cero (COP \$0) durante todo el horizonte de evaluación del proyecto.

Acto seguido, se calcula la Utilidad Operacional Después de Impuestos (UODI). Para este tipo de iniciativas, es importante tener en cuenta que no se genera una carga impositiva sobre las utilidades, debido a la naturaleza jurídica del proyecto. Como se ha indicado anteriormente, esta es una iniciativa pública, sin ánimo de lucro, desarrollada y operada por entidades estatales y orientada a la provisión de un servicio público esencial como lo es el saneamiento básico. De acuerdo con lo establecido en el Estatuto Tributario Colombiano, en su Artículo 22, las entidades públicas del orden territorial (como los municipios), y las corporaciones autónomas regionales como CORNARE, no son contribuyentes del impuesto de renta, siempre que se trate de actividades inherentes a sus funciones legales (Congreso de la República de Colombia, 2023).

Esta exención tributaria se ratifica también en los lineamientos del Manual General de Preparación, Evaluación y Presentación de Proyectos de Inversión Pública del Departamento Nacional de Planeación (DNP), el cual establece que, para proyectos de infraestructura financiados y ejecutados por el sector público, no debe calcularse impuesto sobre la renta en la evaluación financiera (DNP, 2023). Esta condición refuerza el carácter no comercial del proyecto y permite que los excedentes generados, en caso de presentarse, sean reinvertidos en el mantenimiento y mejora del servicio público, sin afectar la sostenibilidad financiera de la operación.

En el marco del análisis financiero del proyecto de construcción y operación de la PTAR en la vereda Tablacito, se contempló una inversión total en activos fijos por valor de \$1 815 000 000, clasificados en seis grupos: infraestructura civil, sistema de tratamiento con biodiscos, sistema eléctrico y automatización, sistema de bombeo y recolección, oficina técnica modular, y sistema de monitoreo y laboratorio. Estos

activos fueron considerados como no susceptibles de reinversión durante el horizonte del proyecto (10 años), ya que su vida útil contable y técnica excede el periodo de evaluación. La decisión se fundamenta en lo estipulado por el Decreto 2420 de 2015 de la Contaduría General de la Nación, el cual define rangos de vida útil para activos públicos. Según este decreto, activos como la infraestructura civil tienen una vida útil de hasta 40 años, mientras que los sistemas eléctricos y de tratamiento oscilan entre 10 y 20 años. Esto garantiza que, bajo condiciones normales de operación y mantenimiento, no se requiera su reposición durante el ciclo del proyecto (Función Pública, 2015).

En cuanto al capital de trabajo neto operativo (KTNO), se consideró una inversión inicial de \$110.000.000, distribuida en cuatro partidas: capacitación inicial del personal, kits de seguridad y dotación, insumos operativos iniciales (como reactivos y lubricantes) y servicios de comunicación. Estos elementos, al estar destinados al funcionamiento inmediato del sistema, son indispensables para garantizar el arranque técnico y administrativo de la planta, y su inclusión como KTNO responde a prácticas de gestión de proyectos de saneamiento reconocidas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020). A esta inversión directa se suma una reserva adicional del 12 % del OPEX del primer año de operación, valor sugerido con base en estudios del BID y del (Banco Mundial, 2021). Estas entidades recomiendan mantener un margen de entre 10 % y 15 % del costo operativo anual para cubrir entre uno y tres meses de funcionamiento, especialmente en contextos rurales donde el flujo de ingresos puede ser irregular al inicio. El 12 % adoptado para este proyecto refleja un enfoque conservador que permite mitigar riesgos operativos y financieros propios de sistemas públicos rurales sin ánimo de lucro.

A continuación, se presenta el cuadro consolidado de inversión y resultados del flujo de caja proyectado para el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, municipio de Rionegro, durante el periodo 2026–2037: Esta tabla resume las inversiones iniciales en activos fijos (CAPEX), los requerimientos de capital de trabajo neto operativo (KTNO), las depreciaciones anuales, así como el comportamiento del flujo de caja neto y su valor presente. La información aquí contenida permite observar la dinámica financiera del proyecto en términos de necesidades de inversión y sostenibilidad en el tiempo. Este análisis proporciona una visión clara sobre el impacto acumulado de las decisiones de inversión y la evolución del saldo de caja a lo largo del horizonte de evaluación.

Tabla 20. Flujo de caja proyectado

CÁLCULO DE EGRESOS POR USO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
	dic-27	dic-28	dic-29	dic-30	dic-31	dic-32	dic-33	dic-34	dic-35	dic-36	dic-37
Utilidad Bruta	\$ 0	\$ 21.844.892	\$ 22.600.778	\$ 23.376.237	\$ 23.996.237	\$ 24.612.359	\$ 25.222.406	\$ 25.824.100	\$ 26.414.978	\$ 26.991.902	\$ 27.551.528
Depreciaciones	\$ 0	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667
Amortización de Diferidos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
UAI	\$ 0	-\$ 52.321.775	-\$ 51.565.889	-\$ 50.790.430	-\$ 50.170.429	-\$ 49.554.308	-\$ 48.944.261	-\$ 48.342.566	-\$ 47.751.689	-\$ 47.174.765	-\$ 46.615.139
Intereses Préstamo Bancario	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
UAI	\$ 0	-\$ 52.321.775	-\$ 51.565.889	-\$ 50.790.430	-\$ 50.170.429	-\$ 49.554.308	-\$ 48.944.261	-\$ 48.342.566	-\$ 47.751.689	-\$ 47.174.765	-\$ 46.615.139
Impuesto de Renta (Exento)	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
UODI	\$ 0	-\$ 52.321.775	-\$ 51.565.889	-\$ 50.790.430	-\$ 50.170.429	-\$ 49.554.308	-\$ 48.944.261	-\$ 48.342.566	-\$ 47.751.689	-\$ 47.174.765	-\$ 46.615.139
Depreciaciones	\$ 0	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667	\$ 74.166.667
FLUJO DE CAJA OPERATIVO	\$ 0	\$ 21.844.892	\$ 22.600.778	\$ 23.376.237	\$ 23.996.237	\$ 24.612.359	\$ 25.222.406	\$ 25.824.100	\$ 26.414.978	\$ 26.991.902	\$ 27.551.528
Inversión en CAPEX											
Infraestructura civil	\$ 1.380.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Sistema de tratamiento (biodiscos)	\$ 250.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Sistema eléctrico y automatización	\$ 45.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Sistema de bombeo y recolección	\$ 85.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Oficina técnica operativa modular	\$ 35.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Sistema de monitoreo y laboratorio	\$ 20.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Inversión en OPEX											
KTNO	\$ 110.893.506	\$ 941.965	\$ 992.912	\$ 1.067.446	\$ 1.147.299	\$ 1.232.821	\$ 1.324.388	\$ 1.422.401	\$ 1.527.256	\$ 1.639.372	\$ 0
Necesidades de KTNO	\$ 110.893.506	\$ 48.460	\$ 50.947	\$ 74.534	\$ 79.853	\$ 85.522	\$ 91.567	\$ 98.012	\$ 104.855	\$ 112.116	\$ 0
FLUJO DE INVERSIÓN	-\$ 1.905.893.506	-\$ 48.460	-\$ 50.947	-\$ 74.534	-\$ 79.853	-\$ 85.522	-\$ 91.567	-\$ 98.012	-\$ 104.855	-\$ 112.116	\$ 0
FLUJO CAJA DEL PROYECTO											
FLUJO CAJA DEL PROYECTO	-\$ 1.905.893.506	\$ 21.796.432	\$ 22.549.831	\$ 23.301.703	\$ 23.916.385	\$ 24.526.837	\$ 25.130.838	\$ 25.726.088	\$ 26.310.123	\$ 26.879.786	\$ 27.551.528
Cada Flujo a VP	-\$ 1.905.893.506	\$ 19.814.938	\$ 18.636.224	\$ 17.506.914	\$ 16.335.212	\$ 15.229.236	\$ 14.185.703	\$ 13.201.551	\$ 12.273.866	\$ 11.399.653	\$ 10.622.307
FLUJO DE CAJA ACUMULADO	-1.905.893.506	-1.886.078.567	-1.867.442.343	-1.849.935.429	-1.833.600.216	-1.818.370.980	-1.804.185.277	-1.790.983.727	-1.778.709.860	-1.767.310.207	-1.756.687.900

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Para la evaluación del flujo de caja del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, se adoptó una tasa de descuento del 10 %, en cumplimiento de los lineamientos establecidos por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) de Colombia. Según el Manual General de Preparación, Evaluación y Presentación de Proyectos de Inversión Pública (DNP, 2023), esta tasa representa la tasa social de descuento, definida como el costo de oportunidad de los recursos públicos. Su propósito es reflejar el valor alternativo de destinar recursos a otros proyectos con impacto social equivalente o superior. Esta tasa es obligatoria para proyectos públicos de infraestructura que no buscan rentabilidad financiera directa, como los de saneamiento básico, educación, salud o medio ambiente. La estandarización de este valor busca garantizar comparabilidad entre iniciativas públicas y priorizar aquellas con mayores beneficios sociales, incluso si no son rentables en términos comerciales.

Asimismo, el valor adoptado se alinea con las recomendaciones de organismos internacionales como el Banco Mundial (2021) y el BID (2020), los cuales sugieren tasas entre el 8 % y el 12 % para proyectos de inversión pública en países en desarrollo, particularmente en sectores como el agua y saneamiento. Por tanto, aplicar una tasa del 10 % en este proyecto es técnicamente pertinente, ya que permite medir la viabilidad económica desde una perspectiva pública y social, evaluando impactos a largo plazo que, aunque no se traduzcan en ingresos monetarios, sí representan mejoras en salud pública, sostenibilidad ambiental y calidad de vida para la comunidad beneficiaria.

En este orden de ideas, a continuación, se presenta el análisis de los principales indicadores financieros del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en la vereda Tablacito, con base en la información arrojada en el flujo de caja y en el contexto de un proyecto público de alto impacto social y ambiental:

Tabla 21. Criterios de decisión del proyecto

CRITERIOS DE DECISIÓN DEL PROYECTO	
VPN:	-\$ 1.756.687.900
TIR:	-25,83%
R B/C:	0,0783
VP INGRESOS:	\$ 149.205.605
VP EGRESOS:	-\$ 1.905.893.506

Fuente: Elaboración propia, 2025.

- Valor Presente Neto (VPN):

El VPN calculado para el proyecto es de $-\$1\,756\,687\,900$, lo que indica que, desde una perspectiva estrictamente financiera, el valor presente de los beneficios esperados no alcanza a cubrir la inversión inicial y los costos operativos. Esta cifra negativa, no obstante, debe ser leída con cautela en el marco de proyectos públicos donde los beneficios sociales y ambientales —como la mejora en la salud pública, la recuperación de cuerpos de agua y la protección ambiental— no siempre se reflejan en ingresos monetarios directos. Por tanto, aunque el VPN muestra que no se recupera la inversión en términos financieros, la rentabilidad social puede justificar ampliamente la ejecución del proyecto.

- Tasa Interna de Retorno (TIR):

La TIR obtenida es de -25.83% , un resultado que corrobora que el proyecto no genera retorno económico bajo criterios comerciales. Esta cifra implica que los flujos de ingresos no logran igualar los egresos del proyecto cuando se actualizan al valor presente, lo cual es esperable en una intervención estatal sin fines de lucro. La TIR negativa no invalida el proyecto cuando se trata de inversiones en infraestructura de saneamiento rural, donde el objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la población y cumplir con compromisos ambientales, más que generar utilidades.

- Relación Beneficio-Costo (R B/C):

La relación beneficio-costo del proyecto se sitúa en 0.0783, lo que indica que por cada peso invertido se obtiene un retorno de apenas 7.83 centavos en términos financieros directos. Este valor, aunque bajo, es común en proyectos de saneamiento básico rural, donde los impactos positivos no se manifiestan a través de ingresos sino en forma de beneficios intangibles: reducción de enfermedades, dignificación de la vida rural, y cumplimiento de metas de desarrollo sostenible. Por ende, la baja relación B/C no invalida su pertinencia, sino que refuerza la necesidad de evaluarlo con enfoque social y ambiental.

En cuanto al indicador del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRID), no fue posible calcularlo en el presente estudio debido a que el flujo de caja acumulado del proyecto permanece negativo durante todo el horizonte de evaluación. Este comportamiento impide identificar el punto de cruce entre los flujos acumulados negativos y positivos, necesario para estimar el año en que se recupera la inversión inicial. El PRID, como indicador, se basa en la premisa de que los beneficios netos generados anualmente por el proyecto permiten saldar progresivamente la inversión, lo cual no ocurre en este caso debido a que se trata de un proyecto público de saneamiento rural sin fines comerciales ni generación de utilidades. Su principal retorno se da en forma de beneficios sociales y ambientales, como la mejora en la calidad del agua, la salud pública y el bienestar comunitario, que no se reflejan directamente en ingresos financieros.

8. Estudio de Riesgos

La gestión de riesgos constituye un componente esencial dentro de la evaluación integral de proyectos de inversión, especialmente en contextos rurales donde la incertidumbre institucional, ambiental y operativa puede comprometer la sostenibilidad de las iniciativas. En concordancia con la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el presente estudio de riesgos tiene como objetivo identificar, clasificar y valorar los principales factores de riesgo que podrían afectar la ejecución, operación y sostenibilidad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) proyectada para la vereda Tablacito, en el municipio de Rionegro, Antioquia.

Este análisis se fundamenta en un enfoque multidimensional que considera factores del entorno político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal, organizados bajo la matriz PESTEL. Esta herramienta permite una evaluación sistemática de los riesgos externos que no están bajo el control directo del proyecto, pero que pueden incidir significativamente en su desempeño. Además, se han incorporado riesgos técnicos y operativos propios del proceso de saneamiento con tecnología de biodiscos, teniendo en cuenta que se trata de una innovación poco difundida en el contexto colombiano. La valoración de estos riesgos se realiza con enfoque preventivo, buscando no solo anticipar eventos desfavorables, sino también establecer estrategias de mitigación que garanticen la continuidad y eficacia del sistema a largo plazo.

Tabla 22. Matriz Pestel - Riesgos

FACTOR	CÓDIGO	DETALLE DEL RIESGO	PLAZO			IMPACTO	NATURALEZA
			CORTO (1 Año o Menos)	MEDIANO (1 a 3 Años)	LARGO (Más de 3 Años)		
Político	P1	Cambios en el gobierno local que retrasen la operación o gestión del proyecto.		X		Alto	Negativa
	P2	Cambios normativos en la política ambiental o de servicios públicos.			X	Alto	Negativa
	P3	Disminución de aportes públicos por reestructuración presupuestal.		X		Alto	Altamente Negativo
	P4	Intervención política en la operación de la PTAR sin criterios técnicos.	X			Medio	Negativo
Económico	E1	Aumento sostenido del IPC que encarezca los insumos y gastos operativos.			X	Alto	Negativo
	E2	Limitaciones presupuestales del municipio o CORNARE en el mediano plazo.		X		Alto	Negativo
	E3	Riesgo de costos no previstos en infraestructura o arranque operativo.	X			Medio	Negativo
	E4	Disminución en el número de suscriptores proyectados por factores migratorios o económicos.			X	Alto	Altamente Negativo

FACTOR	CÓDIGO	DETALLE DEL RIESGO	PLAZO			IMPACTO	NATURALEZA
			CORTO (1 Año o Menos)	MEDIANO (1 a 3 Años)	LARGO (Más de 3 Años)		
Social	S1	Baja apropiación de la comunidad sobre la PTAR y su importancia ambiental.		X		Alto	Negativo
	S2	Conflictos sociales por ubicación o percepción de malos olores.	X			Medio	Negativo
	S3	Falta de personal capacitado para operar tecnología de biodiscos en zonas rurales.	X			Alto	Altamente Negativo
	S4	Resistencia cultural a cambios en esquemas de servicio.		X		Medio	Negativo
Tecnológico	T1	Fallas en el sistema de biodiscos por falta de repuestos nacionales.			X	Alto	Altamente Negativo
	T2	Obsolescencia de sensores y equipos de monitoreo sin reposición oportuna.		X		Alto	Negativo
	T3	Inadecuada digitalización de datos operativos para informes de control.	X			Medio	Negativo
Ecológico	Ec1	Riesgo de vertimientos inadecuados por fallas técnicas	X			Alto	Negativo
	Ec2	Riesgo de afectación a microcuencas o biodiversidad local por mal manejo de lodos.		X		Alto	Negativo
	Ec3	Cambio climático que altere los patrones de lluvias e influya en cargas hidráulicas.			X	Medio	Negativo
	Ec4	Proliferación de vectores o malos olores por fallas en el tratamiento biológico o mantenimiento.		X		Alto	Altamente Negativo
Legal	L1	Requerimientos adicionales de la autoridad ambiental posterior a la ejecución.			X	Alto	Negativo
	L2	Demandas por incumplimiento en metas de calidad de vertimiento.		X		Alto	Altamente Negativo
	L3	Cambios regulatorios en esquemas tarifarios o licenciamiento ambiental			X	Alto	Negativo

Fuente: Elaboración propia, 2025.

CONCLUSIONES

El análisis sectorial del proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la vereda Tablacito permitió identificar que este se encuentra plenamente alineado con las políticas públicas del país, en especial con la Política Nacional de Saneamiento Básico Rural y los lineamientos del Plan Departamental de Agua de Antioquia y del Plan de Desarrollo Municipal de Rionegro. En un entorno donde las brechas en servicios de saneamiento siguen siendo significativas en áreas rurales, esta iniciativa representa una respuesta concreta a la necesidad de ampliar la cobertura, mejorar la calidad del agua y proteger los cuerpos hídricos. La elección de la tecnología de biodiscos responde a criterios de eficiencia operativa, bajo requerimiento energético y adaptabilidad a contextos rurales, lo que fortalece su pertinencia técnica y ambiental.

Sin embargo, pese a su coherencia sectorial y su aporte a los objetivos de desarrollo sostenible, el proyecto presenta una viabilidad financiera limitada, dado que los costos de inversión y operación superan ampliamente los ingresos proyectados por tarifas. Esta característica refuerza su naturaleza como un proyecto de beneficio público, orientado más al impacto social y ambiental que a la rentabilidad económica, lo que justifica su financiación con recursos del Estado y de entidades ambientales como CORNARE.

La evaluación de mercado del proyecto de la PTAR para la vereda Tablacito confirma la existencia de una demanda sólida y técnicamente justificable. A partir del análisis de suscriptores históricos del servicio de acueducto y su proyección ajustada con la tasa de crecimiento poblacional definida por el DANE, se determinó que para el inicio de la operación en 2028 se contará con una base cercana a los 323 suscriptores, cifra que continuará creciendo moderadamente a lo largo del horizonte del proyecto. Además, la segmentación por estrato socioeconómico y tipo de uso (residencial, comercial e industrial), permitió realizar una estimación precisa del comportamiento tarifario y del ingreso proyectado por usuario, enmarcado dentro de los lineamientos regulatorios establecidos por la Resolución CRA 825 de 2017. Esta caracterización del mercado respalda la implementación del proyecto desde el punto de vista de cobertura, aceptación potencial del servicio y estructura tarifaria aplicable.

No obstante, si bien se confirma una base de usuarios suficiente para operar la planta con sostenibilidad técnica, el volumen de ingresos que se puede generar mediante el esquema tarifario vigente no logra cubrir la totalidad de los costos requeridos para su implementación y mantenimiento. Esto reafirma el carácter no lucrativo de la iniciativa, cuyo impacto se traduce principalmente en beneficios sociales, ambientales y en la protección de fuentes hídricas, más que en indicadores financieros positivos.

El análisis técnico del proyecto de la PTAR en la vereda Tablacito demuestra que su diseño es viable y apropiado para el contexto rural, gracias a la selección de una tecnología de biodiscos eficiente, de bajo consumo energético y fácil operación. Se validó que la infraestructura proyectada cumple con las condiciones del terreno, y que la planeación de recursos físicos, humanos y logísticos está bien estructurada para garantizar su funcionalidad. Sin embargo, a pesar de esta solidez técnica, el estudio financiero revela que los ingresos por tarifas no cubren los altos costos de inversión y operación, reafirmando que su viabilidad está fundamentada en beneficios sociales y ambientales, más que en la rentabilidad económica.

El estudio legal del proyecto confirma el pleno cumplimiento del marco normativo vigente en materia ambiental, sanitaria y de servicios públicos en Colombia, respaldando su ejecución desde el punto de vista jurídico. La revisión detallada de las disposiciones legales revela que la estructuración institucional, la delegación de competencias a Empresas Públicas de Rionegro, y la coherencia con la regulación tarifaria CRA garantizan un entorno normativo claro, estable y alineado con las políticas públicas de saneamiento rural.

La evaluación del componente administrativo del proyecto de la PTAR en la vereda Tablacito demuestra que existe una estructura institucional adecuada para su puesta en marcha y operación. La consolidación de Empresas Públicas de Rionegro como entidad gestora garantiza la capacidad operativa y organizacional necesaria para asumir la administración del sistema, bajo criterios de eficiencia y control público. El modelo propuesto contempla una asignación clara de funciones, mecanismos de supervisión técnica y estrategias de integración comunitaria, lo que refuerza la

gobernanza del proyecto y permite prever una gestión coordinada, alineada con los objetivos de sostenibilidad y servicio a largo plazo.

La evaluación ambiental del proyecto de la PTAR evidencia que su implementación generará impactos positivos significativos sobre el entorno natural, especialmente en la mejora de la calidad del agua y en la conservación de los recursos hídricos locales. La tecnología de biodiscos, elegida por su bajo consumo energético y alta eficiencia en entornos rurales, se ajusta a los principios de sostenibilidad y representa una solución adecuada para reducir la carga contaminante en fuentes superficiales. Además, el cumplimiento con la normativa ambiental vigente y la identificación de medidas de manejo y mitigación refuerzan el carácter responsable de la propuesta. En conjunto este estudio resalta que aunque los beneficios financieros son limitados, el aporte en términos ecológicos y de salud pública hacen del proyecto una intervención prioritaria para el territorio.

La evaluación financiera del proyecto de construcción y operación de la PTAR, demostró una estructura de costos y flujos de caja coherente con la naturaleza pública del mismo. A lo largo del horizonte de planeación, se proyectaron ingresos basados en un esquema tarifario regulado, diferenciando el cobro por tipo de uso y estrato, lo que permitió calcular los ingresos esperados con base en supuestos realistas y ajustados al contexto del municipio de Rionegro. Los egresos operativos y administrativos se estimaron con referencia a estudios internacionales y fueron adecuados a las condiciones locales mediante el uso de índices de inflación y proyecciones de la tasa de cambio.

Sin embargo, al aplicar los principales indicadores financieros de evaluación (Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno y Relación Beneficio-Costo), se concluyó que el proyecto no genera rentabilidad desde un enfoque estrictamente financiero. Esta situación responde al hecho de que los ingresos por tarifas no alcanzan a cubrir el costo de oportunidad del capital invertido, en parte debido al modelo tarifario subsidiado y la escala reducida del área de cobertura, por tanto, su viabilidad debe entenderse desde un enfoque de valor público y desarrollo territorial más que desde una lógica de retorno económico.

La identificación de riesgos del proyecto mediante la matriz PESTEL permitió establecer un panorama integral sobre los factores externos que podrían afectar la

ejecución y sostenibilidad de la PTAR en la vereda Tablacito. Este análisis contempló variables políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales que revelaron vulnerabilidades como los cambios en regulaciones ambientales, la disminución de suscriptores, los retos de adopción tecnológica en zonas rurales, y la dependencia institucional para su operación. Si bien el diagnóstico no avanzó hacia una valoración cuantitativa por tratarse de un proyecto no viable desde una perspectiva financiera, la caracterización cualitativa realizada resulta suficiente para anticipar escenarios y promover estrategias de mitigación orientadas a asegurar sus beneficios públicos. La identificación de riesgos del proyecto mediante la matriz PESTEL permitió establecer un panorama integral sobre los factores externos que podrían afectar la ejecución y sostenibilidad de la PTAR en la vereda Tablacito. Este análisis contempló variables políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales que revelaron vulnerabilidades como los cambios en regulaciones ambientales, la disminución de suscriptores, los retos de adopción tecnológica en zonas rurales, y la dependencia institucional para su operación. Si bien el diagnóstico no avanzó hacia una valoración cuantitativa por tratarse de un proyecto no viable desde una perspectiva financiera, la caracterización cualitativa realizada resulta suficiente para anticipar escenarios y promover estrategias de mitigación orientadas a asegurar sus beneficios públicos.

REFERENCIAS

- Alcaldía de Rionegro. (11 de Marzo de 2021). *Planeación y ordenamiento territorial*. Obtenido de Estudia de crecimiento urbano: <https://rionegro.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Frionegro.gov.co%2Floader.php%3FIServicio%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3DexposeDocument%26idFile%3D5089%26tmp%3D732a51e037bc7e9f99ba3bd4295f>
- Alcaldía de Rionegro. (2024). *Informe de Gestión 2024*. Rionegro: Alcaldía de Rionegro.
- Alcaldía de Rionegro. (2025). *Proyecto de Presupuesto General del Municipio de Rionegro 2025*. Rionegro: Alcaldía de Rionegro. Obtenido de <https://rionegro.gov.co/publicaciones/700/por-unanimidad-fue-aprobado-el-concejo-de-rionegro-el-presupuesto-municipal-para-el-2025/>
- Arango Escobar, S; y Caycedo Toro, S. (2022). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la vereda Tablacito ubicada en Rionegro, Antioquia* [Trabajo de grado, Universidad EIA]. Repositorio Institucional Universidad EIA. <https://repository.eia.edu.co/bitstreams/7faf8be8-5206-428e-bb1e-e562bff9e7b5/download>.
- Banco de Bogotá. (2024). *Proyecciones Económicas Colombia*. Bogotá: Banco de Bogotá. Obtenido de <https://pbit.bancodebogota.com/Investigaciones/Proyecciones.aspx>
- Banco Mundial. (2019). *Guía práctica para la evaluación de proyectos de desarrollo*. <https://www.worldbank.org>
- Banco de la República. (2025). *Informe de Política Monetaria*. Bogotá: BANREP. Obtenido de <https://repositorio.banrep.gov.co/server/api/core/bitstreams/b9a115fd-b973-4a8e-98b0-d090f43deaa8/content>
- Banco Mundial. (2020). *Wastewater: From Waste to Resource – The Case for Wastewater Reuse in Latin America and the Caribbean*. Washington: World Bank Group. Obtenido de

<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823.pdf>

Banco Mundial. (2021). *Wastewater: From Waste to Resource – The Case for Wastewater Reuse in Latin America and the Caribbean*. Washington: Banco Mundial. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823.pdf>

Banco Mundial. (2020). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>

BANREP. (2024). Meta de inflación. Bogotá: Banco de la República. Obtenido de https://www.banrep.gov.co/es/glosario/meta-inflacion?utm_source=chatgpt.com

BANREP. (2024). Meta de inflación. Bogotá: Banco de la República.

Barrera, J. (2024, 14 de agosto). Comunicación personal. Subsecretario de Servicios Públicos de Rionegro.

Behrens, W; y Hawranek, P. M. (1994). *Manual para la preparación de estudios de factibilidad para proyectos industriales*. ONUDI. <https://www.unido.org/sites/default/files/manual-onudi-estudios-factibilidad.pdf>

Behrens, W., y Hawranek, P. (1994). *Manual para la preparación de estudios de factibilidad para proyectos industriales*. ONUDI. <https://www.unido.org>

BID. (2020). *Metodología de evaluación ex ante para proyectos financiados por el BID*. <https://www.iadb.org>

Bernal P, A. Y. (2021). Soluciones alternativas para el acceso a agua y saneamiento en Colombia. Centro de Pensamiento - Universidad Nacional, 3.

Bustos Murillo, F. A; Pulido Aponte, Á. E; y Rivera Escobar, H. M. (2023). Tratamiento de aguas residuales en Colombia y sistemas bioelectroquímicos: usos y perspectivas. *Tecnura*, 27(76), 111 -143. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/19390>

- Centro RS. (2024). *Gestión de aguas residuales en Colombia: cifras y retos*. <https://www.centrors.org.co>
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico – CRA. (2017). *Resolución 825 de 2017*. <https://www.cra.gov.co>
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). (2022). Viabilidad de incluir en los costos operativos del sistema de alcantarillado incluida la PTAR, en la estructura tarifaria del servicio mencionado prestado por EMPUCOL E.S.P. Recuperado de https://normas.cra.gov.co/gestor/alca_cto_planta_tratamiento_aguas_residual_es_ptar.html
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48613/1/S2200923_es.pdf
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 142 de 1994: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios*. <https://www.funcionpublica.gov.co>
- Cornare. (2023). *Rionegro instala primera PTAR con biodiscos en Colombia*. <https://www.cornare.gov.co>
- CORNARE. (2023). Informe de monitoreo ambiental en cuencas hidrográficas del oriente antioqueño. Rionegro: CORNARE. Obtenido de <https://www.cornare.gov.co/sistema-de-informacion-ambiental-regional/calidad-del-aire/>
- Cornare. (2023). Rionegro, el primer municipio del país con planta de tratamiento de agua de biodiscos. Cornare, 1.
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. <https://www.dane.gov.co>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). *Metodología General Ajustada (MGA)*. <https://mgaweb.dnp.gov.co>
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). (2023). EPM realiza inversiones en agua potable y saneamiento en Rionegro. Recuperado de

<https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-realiza-inversiones-en-agua-potable-y-saneamiento/>

Environmental Protection Agency (EPA). (2021). *Wastewater Technology Fact Sheets*. U.S. EPA Office of Water. <https://www.epa.gov/water-research>

Franco, M., & Montoya, L. (2012). *Aplicación de la metodología ONUDI para proyectos de crecimiento orgánico en grupo EMI*. Medellín: EAFIT.

GIZ. (2018). *ZOPP: Herramienta para planificación participativa de proyectos*. <https://www.giz.de>

Gobernación de Antioquia. (2023). *Informe de Gestión*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Obtenido de <https://antioquia.gov.co/images/PDF2/Transparencia/2024/02/informe-de-gestion-gobernador-anibal-gaviria-20202023.pdf>

Gobernación de Antioquia. (2024). *Plan de Desarrollo Departamental 2024–2027 “Por Antioquia Firme”*. Medellín: Gobernación de Antioquia. Obtenido de <https://antioquia.gov.co/images/PDF2/plan-de-desarrollo/2024/15082024%20Plan%20de%20Desarrollo%20Por%20Antioquia%20Firme%202024-2027.pdf>

Gobernación de Antioquia. (2012). *Plan de Desarrollo de Antioquia 2012–2015*. Gobernación de Antioquia. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Portal%20Territorial/KIT-OT/Plan-de-Desarrollo-Antioquia-2012-2015.pdf>

Grupo Banco Mundial. (19 de 03 de 2020). Banco Mundial. Obtenido de El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Grupo Banco Mundial. (2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. Grupo Banco Mundial, 1.

- Gutiérrez C, O. D. (6 de junio de 2022). Orlando D. Gutiérrez Coronado. Obtenido de linkedin: <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-un-tanque-s%C3%A9ptico-y-como-funciona-guti%C3%A9rrez-coronado/>
- Hernández G, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10015769>
- Hernández, R; Fernández, C; y Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7.^a ed.). McGraw -Hill.
- IDEAM. (2019). *Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2018–2019*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20del%20estado%20del%20ambiente%20y%20los%20recursos%20naturales%20renovables..pdf>
- IFM. (2020). En Rionegro se dio inicio a las obras de Alcantarillado en las veredas de Pontezuela y La Playa. *Ifm Noticias*, 1.
- Lledó, P. (2016). *Director De Proyectos: Como Aprobar El Examen Pmp Sin Morir En El Intento*. Mendoza: Pablolledo.com LLC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631: Parámetros de vertimientos puntuales*. <https://www.minambiente.gov.co>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 de 2015 – Límites permisibles de vertimientos puntuales a cuerpos de agua. Bogotá: MinAmbiente. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). *Plan de Manejo de Aguas Residuales Municipales – PMAR*. <https://www.minvivienda.gov.co/publicacion/plan-nacional-de-manejo-de-aguas-residuales-municipales-pma-2020-2050>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). *Plan estratégico institucional 2022–2026*. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/plan_estrategico_institucional_2022_2026.pdf

- Ministerio de Vivienda. (2025). Política de Agua y Saneamiento Rural. Bogotá: MinVivienda. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-politica-de-agua-y-saneamiento-rural>
- Municipio de Rionegro. (2014). *Encuesta de calidad de vida por veredas*. <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/RIONEGRO/InformeRionegro.pdf>
- Municipio de Rionegro. (25 de Enero de 2018). Municipio de Rionegro. Obtenido de Plan de ordenamiento territorial: <https://rionegro.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=visorpdf&file=https%3A%2F%2Frionegro.gov.co%2Floader.php%3FIServicio%3DTools2%26ITipo%3Ddescargas%26IFuncion%3DexposeDocument%26idFile%3D2448%26tmp%3Dc71a65a14fe1fc9c5ebeb1e2c4d2>
- Naciones Unidas (ONU). (2022). *Informe mundial sobre el desarrollo del agua*. <https://www.un.org/water>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Informe de seguimiento ODS 6*. <https://sdgs.un.org/goals/goal6>
- Naranjo Agudelo, D C. (2019). Pozos sépticos en el departamento del Quindío y solución alternativa con humedales subsuperficiales, tomado de: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44484/u830600.pdf?sequence=1>
- Noyola, A; Padilla -Rivera, A; Muñoz, I; y Güereca, L. P. (2012). Environmental and sustainability evaluation of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology*, 65(6), 1140–1147. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.942>
- OKR. (2020). *Wastewater: From Waste to Resource*. Open Knowledge Repository. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33923>
- ONUDI. (1991). Manual for the Preparation of Industrial Development Projects. New York: UNIDO. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.unido.org/sites/default/files/files/2021-02/manual_for_the_preparation_of_industrial_feasibility_studies.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS) y UNICEF. (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs*.

<https://data.unicef.org/resources/progress-on-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2020/>

PMI. (2021). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK® Guide)* (7.ª ed.). Project Management Institute.

POTAFOLIO. (2024). ¿Cómo será la inflación de Colombia en 10 años, según la inteligencia artificial? Portafolio, 1. Obtenido de https://www.portafolio.co/economia/finanzas/como-sera-la-inflacion-de-colombia-en-10-anos-segun-la-inteligencia-artificial-608647?utm_source=chatgpt.com

UNICEF & OMS. (2021). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020. New York: Naciones Unidas. Obtenido de <https://data.unicef.org/resources/progress-on-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2020/>

Tchobanoglous, G; Burton, F. L; Stensel, H. D; Metcalf y Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). Mc Graw Hill Education. https://www.researchgate.net/publication/272818576_Wastewater_Engineering_Treatment_and_Resource_Recovery

The Nature Conservancy. (2020). *Reúso de aguas residuales tratadas*. <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/latin-america/barrerasreuso.pdf>

Zarur Ramos, A. L. (2021). *El entorno económico: elementos teóricos y metodológicos para su análisis*. UAM. https://books.google.com.ec/books?id=gYV_yAWBFkgCyprintsec=frontcover#v=onepageyqyf=false

Zhang, Y; Wei, Y; y Liu, J. (2024). Decentralized wastewater treatment systems for rural areas: A sustainable alternative to conventional sewerage. *Science of The Total Environment*, 922, 170471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170471>

ANEXOS

Entrevista a funcionarios de la Alcaldía Municipal de Rionegro

N.º	Pregunta
1	¿Cuál es su cargo y dependencia en la Administración Municipal de Rionegro?
2	¿Está directamente vinculado con temas de servicios públicos o planificación del territorio?
3	¿Qué cobertura tiene actualmente el sistema de tratamiento de aguas residuales en la vereda Tablacito?
4	¿Existen registros de hogares o sectores no conectados a sistemas adecuados?
5	¿Existen reportes de contaminación por vertimientos en la zona?
6	¿La comunidad ha manifestado necesidad o demanda de una PTAR en la zona?
7	¿Existe algún tipo de subsidio municipal vigente para acueducto o alcantarillado en zonas rurales?
8	¿Qué criterios se emplean para determinar las tarifas en zonas rurales?
9	¿Existen recursos públicos asignados o disponibles para inversión en PTAR rurales en Rionegro?
10	En su opinión, ¿cuáles son los principales retos técnicos o financieros para implementar una PTAR en Tablacito?