

# RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA AGUAS RESIDUALES



Ruta de implementación de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío, basada en gerencia de proyectos.

Esteban Alejandro Gil Soto

1099683630

Opción de grado: Monografía

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Octubre de 2025

# RUTA DE IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA AGUAS RESIDUALES

Ruta de implementación de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío, basada en gerencia de proyectos.

Esteban Alejandro Gil Soto

Ivonne Tatiana Muñoz Martínez

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Investigación II (Especialización en gerencia de proyectos) – NRC-8511

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Octubre de 2025

## Contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 La pregunta de investigación .....	14
1.3 Objetivos de investigación .....	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	15
1.4 Justificación de la investigación .....	15
2 MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1 Marco de antecedentes .....	17
2.2 Marco teórico .....	19
2.2.1 Tecnología de Reactores UASB .....	20
2.2.2 Aspectos de Salud Pública y Gestión de Stakeholders .....	21
2.2.3 Contexto Municipal de Génova .....	22
2.3 Marco normativo .....	22
3 METODOLOGÍA .....	24
3.1 Enfoque y alcance de la investigación .....	24
3.2 Población y muestra .....	25
3.2.1 Definición de la población .....	25
3.2.2 Cálculo y selección de la muestra.....	25
3.3 Instrumentos.....	26
3.4 Descripción de procedimientos .....	26
3.5 Análisis de la información .....	28
3.6 Consideraciones éticas.....	29
4. RESULTADOS.....	30
4.1 Caracterización técnica del proyecto.....	30
4.1.1 Cálculo de la población.....	30

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

4.1.1.1	Método exponencial.....	31
4.1.1.2	Cálculo de la proyección de la población: .....	32
4.1.2	Fuente receptora .....	32
4.1.3	Contaminación de la fuente .....	33
4.1.4	Características demográficas.....	33
4.1.4.1	Estratos de Génova .....	33
4.1.4.2	Usuarios de alcantarillado.....	33
4.1.5	Cálculo de caudal de agua residual .....	34
4.1.5.1	Valores obtenidos .....	35
4.1.5.2	Caudal de diseño.....	35
4.1.6	Tabla de caudales de aguas residuales.....	37
4.2	Identificación y Gestión de Stakeholders .....	38
4.2.1	Stakeholders Primarios.....	39
4.2.2	Stakeholders Secundarios .....	39
4.2.3	Matriz de Análisis de Stakeholders .....	40
4.3	Componentes Críticos de Gestión del Proyecto.....	41
4.3.1	Gestión del Alcance .....	41
4.3.2	Gestión de Riesgos.....	41
4.3.3	Gestión de Recursos .....	42
4.3.4	Gestión del Cronograma.....	43
4.3.5	Gestión de la Calidad.....	44
4.4	Metodología de Gestión Propuesta.....	44
4.4.1	Ciclo de Vida del Proyecto .....	44
4.4.2	Herramientas de Gestión Aplicables .....	45
4.4.3	Mecanismos de Mejora Continua.....	46
4.5	Evaluación de beneficios del proyecto .....	47
4.5.1	Aprovechables .....	47
4.5.2	Aprovechamiento de residuos.....	47
4.5.3	Turismo.....	48
4.5.4	Gestión del recurso hídrico .....	48
4.6	Resultado de la encuesta.....	49
6	DISCUSIÓN.....	49
6.1	Contraste de Resultados con la Literatura sobre Gestión de Proyectos.....	50

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

6.2	Discusión sobre Viabilidad Técnica y Selección Tecnológica.....	51
6.3	Análisis de Beneficios Multidimensionales en Contexto Literario .....	52
6.4	Contraste Metodológico con Investigaciones Previas .....	53
6.5	Aportes al Campo de Estudio de Gerencia de Proyectos Ambientales .....	54
6.6	Limitaciones del Estudio e Implicaciones para Interpretación de Resultados .....	55
6.7	Implicaciones para Política Pública y Práctica Profesional.....	57
6.8	Nuevas Líneas de Investigación Derivadas .....	58
6.9	Reflexiones Finales sobre el Proceso de Investigación.....	59
7	CONCLUSIONES .....	60
8	RECOMENDACIONES .....	63
	REFERENCIAS .....	65
	ANEXOS.....	69

# IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

## Índice de tablas

<i>Tabla 1 Población Génova</i> .....	31
<i>Tabla 2 Características Río San Juan</i> .....	32
<i>Tabla 3 Estratos</i> .....	33
<i>Tabla 4 Proyección de caudales</i> .....	37

# IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

## Índice de anexos

<i>Anexo 1 Encuesta</i> .....	69
-------------------------------	----

## Resumen

Esta investigación analiza la implementación de un reactor UASB para tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío, desde la perspectiva de gestión de proyectos de infraestructura ambiental. Ante la crisis hídrica y contaminación por vertimientos sin tratamiento, se requiere una gestión integral que articule componentes técnicos, ambientales, financieros y comunitarios. La metodología de gestión de proyectos aplicada incluye planificación estratégica, evaluación de viabilidad, gestión de stakeholders y análisis de riesgos específicos para proyectos de saneamiento básico. Se examina la triple rentabilidad del proyecto: conservación de ecosistemas acuáticos (ambiental), fortalecimiento del tejido social (social) y generación de oportunidades económicas locales (económico). Los resultados demuestran que una gestión de proyectos estructurada, que integre capacidades locales y metodologías de PMI adaptadas a infraestructura ambiental, es fundamental para lograr soluciones técnicamente eficientes y socialmente transformadoras en el contexto de los municipios colombianos.

*Palabras clave: Gestión de proyectos, Reactor UASB, Sostenibilidad, Gestión integral, Planificación estratégica.*

## **Abstract**

This research analyzes the implementation of a UASB reactor for wastewater treatment in Génova, Quindío, from an environmental infrastructure project management perspective. Facing water crisis and contamination from untreated discharges, comprehensive management that articulates technical, environmental, financial, and community components is required. The applied project management methodology includes strategic planning, feasibility assessment, stakeholder management, and risk analysis specific to sanitation projects. The project's triple bottom line is examined: aquatic ecosystem conservation (environmental), social fabric strengthening (social), and local economic opportunity generation (economic). Results demonstrate that structured project management, integrating local capacities and PMI methodologies adapted to environmental infrastructure, is fundamental for achieving technically efficient and socially transformative solutions in the context of Colombian municipalities.

*Keywords: Project management, UASB reactor, Sustainability, comprehensive management, Strategic planning.*

## **Introducción**

Hoy, la necesidad de cuidar el agua es cada vez mayor. La creciente población mundial y la expansión industrial se han convertido en un foco directo de contaminación de los recursos hídricos, sin embargo, el hecho de que solo el 2.5% del agua total del planeta sea agua dulce, hace que la necesidad por evitar la contaminación de las fuentes hídricas venga en aumento. Es entonces cuando las plantas de tratamiento de aguas residuales empiezan a jugar un papel fundamental en la salud y el bienestar de las comunidades, requiriendo una gestión de proyectos especializada que garantice su implementación exitosa.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son un elemento de suma importancia a la hora de mitigar los impactos de la contaminación sobre ríos y océanos, lo que se traduce en la protección del medio ambiente, la garantía de salud pública y la mejora de la calidad de vida de diversas comunidades. Sin embargo, tratar las aguas negras provenientes de las poblaciones también puede tener beneficios económicos para la misma comunidad, por lo que, no solo se obtienen beneficios ambientales y sociales, sino también económicos. La materialización de estos beneficios depende en gran medida de una gestión integral de proyectos que articule adecuadamente los componentes técnicos, financieros y comunitarios durante todo el ciclo de vida del proyecto.

A lo largo del territorio colombiano se han venido implementado diferentes proyectos que contemplan las construcciones de plantas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, los beneficios económicos, ambientales y sociales no siempre son los esperados, sobre todo cuando estos se desprenden de lo normativo (Alférez & Nieves, 2019). Esta problemática evidencia la importancia de estructurar metodologías de gestión de proyectos que optimicen los resultados esperados. No obstante, los resultados positivos suelen ser el común denominador de la ejecución de estos proyectos, en los que incluso los desperdicios pueden resultar útiles para el aprovechamiento de la misma comunidad (Villar, 2023). Por lo tanto, independiente del tamaño del impacto, siempre el resultado de tratar los recursos hídricos contaminados será positivo, especialmente cuando se aplican componentes críticos de gestión de proyectos durante su planificación e implementación.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

El municipio de Génova, ubicado en el departamento del Quindío, conocido por sus moradores como "Estrella hídrica y agrícola del Quindío" es un lugar rico en recursos hídricos, sin embargo, las aguas negras no tratadas y las zonas dedicadas a la producción de café que vierten sus residuos directamente en las fuentes hídricas se han convertido en un preocupante factor de contaminación. En este contexto, diseñar una estructura de gestión de proyecto para la implementación de tecnologías como el reactor UASB, que permita optimizar los beneficios económicos, ambientales y sociales, se convierte en una necesidad estratégica para el desarrollo sostenible del municipio y puede servir como modelo replicable para otras comunidades con características similares.

### **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Colombia es uno de los países más biodiversos del planeta, además de sus grandes recursos de fauna y flora, cuenta también con extensas fuentes hídricas que permiten abastecer a gran parte del territorio, sin embargo, el uso de agua potable significa a menudo que se debe lidiar con el problema de la contaminación de las aguas residuales. El municipio de Génova Quindío no es ajeno a esta problemática, la contaminación del río San Juan podría estar causando serios impactos en la salud pública y los ecosistemas (CRQ, 2015) y aunque existen muchas técnicas de tratamiento de aguas residuales, la mayoría de ellas también generan como resultado una cantidad de lodos que de no ser tratados pueden convertirse en otro problema, es por eso que dependiendo del enfoque y del uso que se le dé al resultado del tratamiento de las aguas, se pueden o no, convertir los lodos en una oportunidad (Macías & Guadalajara, 2013). Estos beneficios son casi invisibles ante la comunidad, por lo que es imperativo estudiarlos, analizarlos y divulgarlos desde una perspectiva de gestión de proyectos que permita estructurar adecuadamente su implementación y maximizar su impacto.

En Génova se intentó implementar un proyecto que tenía como enfoque la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales cerca del año 2019, sin embargo, este no avanzó de la fase de estudio. Este proyecto no fue socializado con la comunidad y su declive se debió a que el municipio por sí solo no tenía la capacidad de correr con los costos de un proyecto de esa magnitud. Esta experiencia evidencia la ausencia de componentes críticos en la gestión del proyecto, particularmente en la gestión de stakeholders y la evaluación de viabilidad financiera.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

La falta de socialización de los proyectos con las comunidades a menudo suele ser subestimada, el no contar con el aval y la participación de los ciudadanos desde la concepción del proyecto hace que incluso el fracaso de este sea invisible para todos los habitantes de la zona de estudio, aunque esto parezca irrelevante, se pierde una importante capacidad de gestión que puede lograr cumplir con los objetivos. Por lo anterior, desarrollar una metodología de gestión de proyectos que integre adecuadamente la planificación estratégica, la gestión de riesgos, y la participación comunitaria para la implementación de un reactor UASB, puede convertirse en el elemento diferenciador que garantice el éxito del proyecto y la optimización de sus beneficios económicos, ambientales y sociales.

### **1.1 Descripción del problema**

A nivel global, el agua es un recurso fundamental para el desarrollo humano, económico y ambiental. Sin embargo, su disponibilidad se encuentra en riesgo por múltiples factores como el crecimiento poblacional, la expansión industrial, la agricultura intensiva y el cambio climático. De acuerdo con el informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (UNESCO, 2023), más del 80% de las aguas residuales producidas en el mundo se vierten sin tratamiento adecuado, lo que genera graves impactos en la salud pública, la biodiversidad acuática y el equilibrio de los ecosistemas. Esta situación es especialmente crítica en países en desarrollo, donde las capacidades técnicas y financieras son limitadas, evidenciando la necesidad de metodologías de gestión de proyectos que optimicen el uso de recursos disponibles y maximicen los beneficios de las inversiones en infraestructura ambiental.

En América Latina y el Caribe, la contaminación hídrica derivada del mal manejo de aguas residuales afecta a millones de personas. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020) señala que menos del 30% de las aguas residuales de la región son tratadas correctamente. Esto no solo representa una amenaza sanitaria, sino que además limita el acceso al agua limpia, restringe el desarrollo de actividades productivas y contribuye a la degradación ambiental. La problemática se agrava en las zonas rurales y en municipios pequeños, donde el acceso a infraestructura básica es deficiente y donde la ausencia de

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

componentes críticos de gestión de proyectos dificulta la implementación exitosa de soluciones tecnológicas apropiadas.

En Colombia, a pesar de ser uno de los países más ricos en recursos hídricos, las cifras también son preocupantes. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2022), solamente el 42% de las aguas residuales domésticas generadas en el país reciben algún tipo de tratamiento antes de su disposición final. Este déficit en saneamiento básico ha sido señalado como uno de los principales factores de deterioro de los cuerpos de agua en el país, y como una de las causas de enfermedades asociadas a la falta de higiene y agua segura, especialmente en regiones con menor capacidad institucional y presupuestal. Esta situación refleja la necesidad de estructurar proyectos de infraestructura ambiental que integren adecuadamente la planificación estratégica, la gestión de riesgos financieros y técnicos, y la participación de todos los stakeholders involucrados.

En el contexto regional del Eje Cafetero, el departamento del Quindío no es ajeno a esta realidad. A pesar de su importancia ambiental y agrícola, muchos de sus municipios enfrentan graves problemas de contaminación de fuentes hídricas por vertimientos domésticos e industriales sin tratamiento. Génova, municipio del sur del Quindío, es conocido como la "estrella hídrica y agrícola del departamento" debido a su riqueza en fuentes hídricas y su producción cafetera. No obstante, la descarga directa de aguas residuales y de residuos agroindustriales ha generado un deterioro progresivo en la calidad del agua, especialmente en el río San Juan, principal afluente que atraviesa la cabecera municipal (CRQ, 2015). Esta problemática evidencia la ausencia de una gestión integral de proyectos que articule los aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos necesarios para implementar soluciones sostenibles.

Las consecuencias de esta situación son diversas. Desde el punto de vista ambiental, la contaminación del río San Juan compromete la calidad del agua utilizada por los habitantes del municipio, especialmente aquellos que viven en las zonas rurales y dependen directamente de fuentes naturales para su consumo. También se afecta la fauna acuática y se pone en riesgo la sostenibilidad de actividades agrícolas, turísticas y recreativas. Desde el ámbito social, se incrementan los riesgos sanitarios, especialmente en población vulnerable como niños y adultos mayores. Además, se genera una percepción de abandono institucional al no ver avances en soluciones concretas. En términos económicos, se pierden oportunidades de aprovechamiento de los residuos, se incrementan los costos de atención en salud y se limita el desarrollo territorial. Estos impactos múltiples refuerzan la importancia de desarrollar metodologías de gestión de

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

proyectos que permitan optimizar los beneficios económicos, ambientales y sociales de las inversiones en tratamiento de aguas residuales.

En conclusión, el municipio de Génova enfrenta una problemática estructural relacionada con la ausencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales. A pesar de contar con los recursos naturales y el conocimiento técnico necesario, factores como la falta de financiación, la escasa participación ciudadana y la falta de divulgación de los beneficios han impedido la ejecución de un proyecto vital para la salud pública y el medio ambiente. Estos factores evidencian la ausencia de componentes críticos de gestión de proyectos, particularmente en la evaluación de viabilidad, la gestión de stakeholders y la planificación estratégica. La presente investigación busca contribuir a la solución de este problema mediante el diseño de una estructura de gestión de proyecto para la implementación de un reactor UASB que permita optimizar los beneficios ambientales, sociales y económicos, con el fin de fortalecer las capacidades locales de gestión y establecer un modelo replicable para proyectos similares en el contexto colombiano.

### **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cómo diseñar una ruta de implementación basada en principios de gerencia de proyectos para un reactor UASB que permita optimizar los beneficios económicos, ambientales y sociales en el tratamiento de aguas residuales del municipio de Génova, Quindío?

### **1.3 Objetivos de investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una ruta de implementación a partir de conceptos en gerencia de proyectos de un reactor UASB que optimice los beneficios económicos, ambientales y sociales en el tratamiento de aguas residuales del municipio de Génova, Quindío.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los componentes críticos de gestión de proyectos necesarios para la implementación exitosa de un reactor UASB en el contexto de Génova, Quindío.
- Evaluar las metodologías de gestión de proyectos más apropiadas para proponer la ruta de implementación con el fin de maximizar los beneficios económicos, ambientales y sociales durante el ciclo de vida del proyecto de tratamiento de aguas residuales.

### 1.4 Justificación de la investigación

Génova es un municipio ubicado en el sur del departamento del Quindío, reconocido por su riqueza hídrica, biodiversidad y vocación agrícola. A lo largo de las décadas, esta población ha enfrentado diversos desafíos sociales, entre ellos, los efectos de la violencia armada en los años noventa, que provocaron una significativa reducción poblacional, disminuyendo su número de habitantes a casi un tercio (Unidad para las Víctimas, 2022). No obstante, gracias al esfuerzo de sus habitantes y a la gestión de las administraciones locales, Génova ha logrado transformarse en un territorio de paz, con una ciudadanía comprometida con el progreso, la inclusión social, el fortalecimiento económico y la conservación del entorno natural (Alcaldía de Génova, 2020).

En este proceso de reconstrucción social y territorial, la infraestructura ambiental se plantea como un eje central del desarrollo sostenible. En particular, la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el municipio aparece como una estrategia clave para fortalecer la salud pública, conservar los ecosistemas y dinamizar la economía local (DNP, 2021). La localización geográfica y las condiciones ambientales de Génova, caracterizadas por una topografía montañosa que abarca desde los 1.400 hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar, y por la presencia de múltiples fuentes hídricas, ofrecen un escenario propicio para este tipo de iniciativas (CRQ, 2015).

Desde una perspectiva social, la construcción de una PTAR podría fortalecer el sentido de pertenencia de la comunidad y fomentar la apropiación de soluciones ambientales sostenibles. Identificar y visibilizar los beneficios de este tipo de proyectos no solo permite educar a la población sobre su importancia, sino que también contribuye a generar conciencia frente a los

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

desafíos del crecimiento urbano, demostrando que el desarrollo no necesariamente implica deterioro ambiental, sino que puede traer consigo mejoras en la calidad de vida (Alfárez & Nieves, 2019).

En términos ambientales, la implementación de una planta de tratamiento tendría un impacto positivo directo sobre la calidad del agua, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del municipio. Génova se encuentra en la cuenca del río La Vieja y cuenta con tres fuentes hídricas principales que abastecen a la población y que atraviesan diversas zonas rurales. La contaminación de estos cuerpos de agua —causada por vertimientos domésticos sin tratamiento y residuos agrícolas— representa una amenaza para especies endémicas como el pato de torrentes (*Merganetta armata*), cuya presencia en la región es un indicador de la buena calidad del agua (BirdLife International, 2022). La instalación de una PTAR no solo contribuiría a conservar estos ecosistemas, sino que posicionaría al municipio como un referente regional en gestión ambiental (IDEAM, 2022).

En el plano económico, los beneficios de una PTAR también son evidentes. Los lodos generados como subproducto del tratamiento de aguas residuales pueden ser valorizados como fertilizantes naturales ricos en nutrientes, aportando a la sostenibilidad de la agricultura local, principal actividad económica del municipio (Macías & Guadalajara, 2013). Asimismo, la preservación de cuerpos de agua limpios y seguros puede fortalecer el turismo ecológico y recreativo, generando nuevas oportunidades de empleo e ingresos para las comunidades rurales y urbanas (Bonilla-Bedoya & Vélez-Torres, 2021). Al consolidar su imagen como “la estrella hídrica y agrícola del Quindío”, Génova podría atraer inversión externa y fortalecer su economía local.

Finalmente, desde un enfoque académico y de gestión del conocimiento, el análisis de los beneficios de implementar una PTAR en Génova puede servir como base para futuras investigaciones, modelaciones hidrológicas y estudios de impacto ambiental. Estos insumos técnicos permitirían gestionar recursos ante entidades gubernamentales y organizaciones internacionales, facilitando la formulación y ejecución de proyectos concretos de infraestructura ambiental (UNESCO, 2023). El fortalecimiento de capacidades técnicas y la generación de evidencia científica contribuirían a sustentar decisiones de política pública orientadas hacia la sostenibilidad territorial.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Marco de antecedentes

En el proceso de investigación para este estudio, se identificaron diversas investigaciones que guardan similitud con la propuesta de diseñar una estructura de gestión de proyecto para implementar un reactor UASB que optimice los beneficios ambientales, sociales y económicos en el municipio de Génova, Quindío. Estos trabajos, desarrollados en diferentes regiones de Colombia, e incluso en contextos rurales similares, ofrecen perspectivas valiosas que contribuyen a sustentar la importancia de establecer metodologías específicas de gestión de proyectos para infraestructura ambiental.

Uno de los referentes principales es el estudio realizado por González y Serrano (2015) en el municipio de Ubaté, Cundinamarca, quienes evaluaron la viabilidad económica de una planta de tratamiento utilizando herramientas como el Valor Presente Neto y análisis de beneficios ambientales. Su investigación demostró que los proyectos de tratamiento de aguas residuales requieren una evaluación integral que vaya más allá de los costos directos, incluyendo beneficios ambientales que pueden representar hasta el 40% del valor total del proyecto. Los autores concluyeron que una valoración integral que combine criterios financieros y ambientales es fundamental para justificar su ejecución, aspecto clave para estructurar la evaluación de viabilidad en proyectos como el de Génova, donde las limitaciones presupuestales requieren demostrar claramente el retorno de la inversión.

Esta misma línea fue desarrollada por Londoño y Martínez (2016), quienes estudiaron los costos de operación de varias PTAR en el Eje Cafetero durante cinco años. Su trabajo reveló que, aunque los costos iniciales pueden ser significativos para municipios pequeños, los beneficios a largo plazo los compensan ampliamente. Los investigadores identificaron que los factores clave para el éxito financiero incluyen la diversificación de fuentes de financiación y la implementación de sistemas de monitoreo de costos. Estos hallazgos son especialmente relevantes para Génova, donde será necesario explorar alternativas de financiación innovadoras y establecer mecanismos efectivos de control presupuestal.

En cuanto a la gestión de participación comunitaria, Alférez y Nieves (2019), desarrollaron un análisis de múltiples proyectos de saneamiento en municipios intermedios, encontrando que gran

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

parte de los fracasos se asocian con deficiencias en la socialización temprana y la incorporación de las comunidades desde el diseño inicial. Su investigación reveló que los proyectos exitosos implementaron estrategias diferenciadas de comunicación y mecanismos formales de participación ciudadana. Esta reflexión encuentra eco en el estudio de Gutiérrez (2021), quien identificó que gran parte de la población en municipios intermedios desconoce si sus aguas residuales son tratadas, lo que representa una barrera para la aceptación y continuidad de este tipo de iniciativas. Su trabajo demostró una relación directa entre el nivel de conocimiento comunitario sobre tratamiento de aguas y la aceptación de nuevas tecnologías, lo que refuerza la importancia de desarrollar componentes específicos de gestión comunitaria en la estructura del proyecto.

Desde la perspectiva del aprovechamiento económico, Silva, Torres y Madera (2008) analizaron el potencial del reuso agrícola de aguas residuales tratadas en municipios cafeteros de Caldas. Su investigación durante 18 meses demostró que el agua tratada con reactores UASB puede incrementar significativamente la productividad del café, identificando que el éxito requiere protocolos de calidad, capacitación técnica y marcos normativos claros. Esta perspectiva resulta especialmente aplicable al contexto de Génova, cuya economía está fuertemente ligada al cultivo del café. De igual manera, el trabajo de Villar (2023), demuestra cómo los lodos residuales, lejos de ser un desecho, pueden ser aprovechados como fertilizante orgánico a través de procesos de compostaje controlado. Su investigación en múltiples PTAR colombianas reveló que esta práctica puede generar ingresos adicionales mientras reduce las necesidades de fertilización química, aspectos fundamentales para estructurar los componentes de gestión de subproductos en el proyecto de Génova.

Las experiencias operacionales también aportan elementos valiosos. Torres y Pineda (2017) realizaron una evaluación técnica en la planta de tratamiento de Sogamoso, Boyacá, implementando metodologías de mejora continua durante dos años. Su estudio demostró que protocolos estructurados de monitoreo pueden mejorar significativamente la eficiencia de remoción y reducir costos operacionales. Los autores desarrollaron un modelo de gestión operacional con indicadores de desempeño y reportes periódicos a stakeholders, experiencia fundamental para diseñar los componentes de seguimiento y control en Génova. Por su parte, Sánchez y Gómez (2018) propusieron la implementación de tecnologías limpias en PTAR del departamento de Antioquia, demostrando que la integración de energías renovables puede reducir considerablemente el consumo energético de las plantas. Su modelo de gestión

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

tecnológica incluye evaluación de alternativas y capacitación técnica especializada, elementos relevantes para incorporar criterios de sostenibilidad en la gestión del proyecto.

El trabajo de Herrera y Ruiz (2020) sobre la cuenca del río Otún también resulta pertinente desde la gestión de riesgos, ya que su investigación epidemiológica demostró correlaciones significativas entre la calidad del agua y la incidencia de enfermedades en la población. Los autores cuantificaron que los costos de atención médica asociados a enfermedades hídricas representan un impacto económico considerable que puede ser evitado con sistemas de tratamiento adecuados. Su modelo de evaluación de riesgos sanitarios proporciona elementos para estructurar la justificación económica y la gestión de riesgos en el proyecto de Génova.

Finalmente, la experiencia comunitaria documentada por Moreno, Castillo y Ramírez (2014) en zonas rurales de Nariño destaca cómo, incluso en contextos con recursos limitados, es posible implementar sistemas de tratamiento sostenibles mediante la participación de las comunidades. Su estudio identificó que el éxito depende de factores como el liderazgo local, la capacitación técnica continua, y la integración con actividades productivas. Los autores desarrollaron un modelo de gestión comunitaria que incluye formación de comités técnicos locales y mecanismos de financiación comunitaria, aspectos especialmente relevantes para diseñar estrategias de sostenibilidad a largo plazo en Génova.

En conjunto, estos antecedentes evidencian que el éxito de proyectos de tratamiento de aguas residuales con tecnología UASB requiere una gestión integral que articule componentes técnicos, financieros, sociales y ambientales. Las investigaciones revisadas confirman la necesidad de desarrollar metodologías específicas de gestión de proyectos que consideren las particularidades del contexto local y la optimización de múltiples beneficios, proporcionando elementos clave para estructurar una propuesta adaptada a las condiciones específicas de Génova.

### **2.2 Marco teórico**

En el contexto colombiano, la gestión de aguas residuales se ha establecido como un eje prioritario dentro de las políticas orientadas al desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Esta relevancia se deriva del reconocimiento de que su tratamiento inadecuado puede tener consecuencias graves para la salud pública, la biodiversidad y la disponibilidad de los

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

recursos hídricos. Por ello, se vuelve esencial una gestión integrada del recurso hídrico que permita planificar, coordinar y supervisar el tratamiento y la disposición final del agua residual de manera responsable, tanto desde lo ambiental como lo social. Esta gestión requiere aplicar principios de gerencia de proyectos que garanticen el cumplimiento de objetivos dentro de los tiempos, presupuestos y estándares de calidad establecidos.

Uno de los factores que refuerza esta necesidad es la riqueza y diversidad de ecosistemas en el territorio nacional. Desde las amplias cuencas hidrográficas hasta los ecosistemas costeros, estos entornos naturales enfrentan riesgos importantes cuando son impactados por descargas contaminantes sin ningún tipo de tratamiento previo. La liberación directa de aguas negras compromete la calidad del agua, daña la biodiversidad acuática y restringe su uso en actividades como el consumo humano, la recreación o la agricultura. La identificación y gestión de estos riesgos ambientales desde las etapas iniciales del proyecto resulta fundamental para su éxito a largo plazo.

El crecimiento acelerado de las zonas urbanas e industriales en las últimas décadas ha generado un aumento considerable en la producción de aguas residuales. Si este fenómeno no se gestiona mediante planificación adecuada y herramientas de gerencia de proyectos, puede derivar en el deterioro de cuerpos de agua como ríos y quebradas, afectando tanto al medio ambiente como a las comunidades. Ante este panorama, la implementación de plantas de tratamiento representa una solución clave para promover territorios sostenibles, al permitir estructurar iniciativas que integren el componente técnico, económico y ambiental en la gestión del recurso hídrico. El éxito de estos proyectos depende de una planificación que considere todas las fases del ciclo de vida: desde la concepción inicial hasta la operación y mantenimiento a largo plazo.

### **2.2.1 Tecnología de Reactores UASB**

En el departamento del Quindío existen muy pocas plantas de tratamiento de aguas residuales, pero dos de ellas constan de un reactor UASB, lo que evidencia la aplicabilidad regional de esta tecnología. Según Lettinga y Hulshoff Pol (1991), un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) es un tanque de almacenamiento de aguas residuales que usa bacterias para tratar agua contaminada. Según Moreno, Jaimes y Ochoa (2022), este sistema de tratamiento es anaerobio, es decir que no necesita de grandes cantidades de oxígeno y comprende un conjunto de bacterias dentro de un tanque que van eliminando la contaminación mientras el agua asciende.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

La selección de esta tecnología para proyectos municipales se fundamenta en ventajas técnicas y económicas significativas. Según Lorenzo y Obaya (2006), las ventajas de este tipo de tratamientos son su bajo costo respecto a otros tratamientos, la baja generación de lodos residuales y que no depende de la electricidad para funcionar directamente. Estas características resultan especialmente relevantes para municipios pequeños con limitaciones presupuestales y capacidades técnicas reducidas. Según Metcalf y Eddy (2014), la reducción de la contaminación DBO5 es de entre el 65% y 85%, lo que representa una eficiencia técnica apropiada para cumplir con los estándares normativos colombianos.

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de un reactor UASB se presenta como la alternativa tecnológica más adecuada para el contexto de Génova, alineando los objetivos de la investigación con un escenario realista y técnicamente viable. Este sistema ya ha sido usado en la región con buenos resultados, lo que facilita la gestión de riesgos tecnológicos y permite aprovechar las lecciones aprendidas de experiencias previas. Desde la perspectiva de gestión de proyectos, esta selección tecnológica optimiza la relación costo-beneficio y mejora la probabilidad de éxito del proyecto.

### **2.2.2 Aspectos de Salud Pública y Gestión de Stakeholders**

Además de los beneficios ecológicos, el tratamiento eficiente de aguas residuales tiene una relación directa con la mejora de la salud pública, al eliminar patógenos y químicos nocivos que provocan enfermedades de origen hídrico. Sin embargo, instalar una planta de tratamiento no garantiza automáticamente resultados positivos. Como señalan Sáenz, Zambrano y Calvo (2016) uno de los inconvenientes recurrentes de estos sistemas es la emisión de olores desagradables, lo que puede generar rechazo entre la población. Esta situación resalta la importancia de incorporar criterios técnicos, ambientales y sociales desde las etapas iniciales del proyecto, incluyendo evaluaciones de impacto, selección adecuada de tecnologías y procesos participativos de diseño. Desde la perspectiva de gerencia de proyectos, esto implica desarrollar un plan integral de gestión de stakeholders que identifique tempranamente las preocupaciones comunitarias y establezca mecanismos efectivos de comunicación y participación.

Asimismo, Ramón (2010), advierte que algunos sistemas de tratamiento, pese a representar una gran inversión, no logran alcanzar una eficiencia significativa en la remoción de contaminantes. Ante esta problemática, propone adoptar soluciones descentralizadas en zonas con alta densidad poblacional, como plantas por sectores o barrios, lo cual optimiza recursos y mejora el

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

rendimiento del sistema. Este planteamiento se alinea con los principios de la gerencia de proyectos en infraestructura, que busca maximizar el valor entregado, teniendo en cuenta las características particulares de cada territorio. La selección apropiada de alternativas técnicas requiere análisis de factibilidad comparativo, evaluación de riesgos asociados a cada opción, y consideración de criterios de sostenibilidad económica y ambiental a largo plazo.

### **2.2.3 Contexto Municipal de Génova**

En el caso específico de Génova, Quindío, cuya población ronda los 7.000 habitantes, se evidencia un contexto favorable para el desarrollo de una propuesta de tratamiento de aguas residuales a escala local. Esta dimensión poblacional facilita la aplicación de soluciones técnicas ajustadas a la realidad económica del municipio y sostenibles en el tiempo. Al aplicar criterios de manejo del recurso hídrico y herramientas propias de la gerencia de proyectos, es posible no solo abordar de manera integral el desafío ambiental, sino también asegurar el uso eficiente de los recursos disponibles, la participación de la comunidad y la operación continua de la solución planteada. La estructuración adecuada del proyecto permite establecer indicadores de seguimiento que garanticen el cumplimiento de objetivos ambientales, sociales y económicos a lo largo del tiempo.

## **2.3 Marco normativo**

La importancia del tratamiento de aguas residuales se ve reforzada por la legislación ambiental actual de Colombia, que impone reglas y regulaciones estrictas sobre la gestión de aguas residuales. El cumplimiento de estas normas garantiza no sólo la protección del medio ambiente, sino que también contribuye a la sostenibilidad y el bienestar de la sociedad. Esta estructura normativa establece las bases legales para la implementación de proyectos de tratamiento, definiendo responsabilidades, estándares técnicos y procedimientos durante todas las fases del proyecto.

En el contexto actual de la gestión ambiental en Colombia, la normativa relacionada con el tratamiento de aguas residuales desempeña un papel fundamental para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos. La Resolución 799 de 2021, que modifica parcialmente la Resolución 0330 de 2017, establece criterios actualizados para el manejo de estas aguas,

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

promoviendo estándares técnicos más rigurosos y eficientes. Esta resolución incorpora avances tecnológicos recientes y establece nuevos lineamientos específicos para tecnologías de tratamiento biológico como los reactores UASB, definiendo criterios para su dimensionamiento, operación y control de calidad.

La gestión adecuada de las aguas residuales es un desafío prioritario para garantizar la sostenibilidad ambiental en Colombia. En este contexto, la Resolución 0330 de 2017 y el Decreto 1594 de 1984, establecen los lineamientos técnicos y normativos para el diseño, operación y monitoreo de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), promoviendo el manejo eficiente de los recursos hídricos y la protección de los ecosistemas acuáticos. La Resolución 0330 de 2017 representa un marco integral que abarca desde estudios de factibilidad hasta requisitos operacionales, estableciendo procedimientos para caracterización de aguas residuales, selección de tecnologías apropiadas, y protocolos de puesta en marcha.

Complementariamente, el Decreto 1076 de 2015 establece el marco general para la gestión integral del recurso hídrico en Colombia, definiendo procedimientos para el otorgamiento de permisos de vertimiento y mecanismos de control y seguimiento. Este decreto es especialmente relevante para proyectos como el de Génova, ya que establece los procedimientos que debe seguir el municipio para obtener los permisos ambientales necesarios.

La Ley 99 de 1993 crea el Sistema Nacional Ambiental y establece las competencias de las Corporaciones Autónomas Regionales en materia de control del uso del agua y vertimientos. En el caso específico de Génova, la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) actúa como autoridad ambiental competente, responsable de evaluar, aprobar y hacer seguimiento a los proyectos de tratamiento de aguas residuales.

En el municipio de Génova, Quindío, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) representaría una solución clave para minimizar el impacto de las actividades humanas en las fuentes hídricas locales. El cumplimiento del marco normativo descrito es fundamental no solo para obtener las autorizaciones necesarias, sino también para garantizar que el proyecto genere los beneficios ambientales, sociales y económicos esperados.

## 3 METODOLOGÍA

### 3.1 Enfoque y alcance de la investigación

Esta investigación adopta un enfoque mixto que combina elementos cualitativos y cuantitativos. El componente cualitativo se justifica por la necesidad de analizar y estructurar metodologías de gestión de proyectos, identificar componentes críticos de gestión, y diseñar marcos de participación comunitaria. El componente cuantitativo se fundamenta en la evaluación de beneficios económicos, ambientales y sociales de manera mensurable, así como el análisis de indicadores de viabilidad financiera. La integración de ambos enfoques es esencial porque la gestión de proyectos de infraestructura ambiental requiere tanto el diseño de procesos como la evaluación de resultados medibles.

El alcance temático abarca la intersección entre gestión de proyectos y tratamiento de aguas residuales, enfocándose en: metodologías de gestión de proyectos de infraestructura ambiental, tecnología de reactores UASB, beneficios multidimensionales (ambientales, sociales y económicos), gestión de stakeholders, y cumplimiento del marco normativo. Todos estos aspectos se analizan desde la perspectiva de optimizar la implementación y maximizar los impactos positivos del proyecto.

El alcance espacial se delimita específicamente a la cabecera municipal de Génova, departamento del Quindío, Colombia. Esta delimitación se justifica porque la cabecera concentra la mayor densidad poblacional, representa el área de mayor impacto sobre el río San Juan, facilita la implementación de soluciones centralizadas, y permite desarrollar un modelo replicable para otros municipios con características similares del Eje Cafetero.

El alcance temporal comprende el período 2025, tomando como base la situación actual del municipio y proyectando la aplicabilidad de la estructura de gestión propuesta. El estudio utiliza como referentes el diagnóstico actual (2025), el análisis de experiencias previas (2015-2025), y la proyección de beneficios esperados (2025-2050). Esta delimitación permite desarrollar una propuesta contextualizada y orientada hacia la implementación práctica en el mediano plazo.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Definición de la población**

La población considerada en este estudio corresponde a los habitantes del municipio de Génova, Quindío, cuya estimación demográfica, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se aproxima a las 7.000 personas. La mayoría de los residentes se concentran en la zona urbana, aunque también existen núcleos poblacionales en áreas rurales, cuyas actividades económicas giran en torno al comercio, la agricultura y la prestación de servicios. Esta comunidad se encuentra directamente expuesta a los efectos negativos derivados de la carencia de sistemas adecuados para el tratamiento de aguas residuales, situación que repercute de manera significativa en la calidad del recurso hídrico, en la salud de la población y en el equilibrio ambiental del territorio.

### **3.2.2 Cálculo y selección de la muestra**

Para el desarrollo del trabajo se empleó un muestreo no probabilístico en que participaron 20 personas de manera voluntaria durante el día de encuesta. La elección de esta muestra se basó en criterios de accesibilidad, experiencia y conocimiento sobre la problemática, con el fin de obtener información contextual relevante que permita orientar la formulación del proyecto desde un enfoque integral.

Por otro lado, el estudio fue complementado por el autor, hallando datos relevantes para la investigación enfocado en la identificación de la contaminación y su afectación en el recurso hídrico sin llegar a utilizar un muestreo probabilístico.

Este enfoque metodológico favorece la identificación de percepciones sociales, económicas y ambientales sobre la posible implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, facilitando el análisis del proyecto en términos de su viabilidad y sostenibilidad, considerando principios de gestión del recurso hídrico y criterios de planificación estructurada.

### **3.3 Instrumentos**

La encuesta aplicada a los habitantes de Génova contempló tres variables principales: percepción del manejo actual de aguas residuales, evaluada mediante la pregunta sobre si consideran adecuado el manejo actual; identificación y caracterización de problemas, medida a través de las preguntas sobre problemas observados y su especificación; y expectativas de beneficios de una PTAR, operacionalizada mediante las preguntas sobre beneficios esperados y su caracterización específica.

Para cada variable se establecieron categorías de respuesta que permiten análisis sistemático: respuestas dicotómicas (Sí/No) para percepción del manejo actual, identificación de problemas y expectativas de beneficios; y respuestas abiertas para caracterización específica de problemáticas y beneficios esperados.

Se incluyeron todos los habitantes del municipio de Génova que desearan participar voluntariamente, sin restricciones de edad, nivel educativo o sector de residencia. No se establecieron criterios de exclusión específicos, aplicando un enfoque inclusivo que permitiera la participación libre de cualquier residente del municipio dispuesto a colaborar con la investigación.

También, se utilizó una matriz de análisis documental para revisar normativas ambientales vigentes, planes de desarrollo municipal, estudios técnicos existentes sobre calidad del agua, y literatura académica relacionada con la gestión del recurso hídrico y la implementación de PTAR en municipios de similares características. Este instrumento permitió contextualizar el estudio y sustentar teóricamente las decisiones del proyecto. También permitió sentar las bases de los cálculos requeridos para sustentar los beneficios, fundamentados en la literatura y datos recolectados.

### **3.4 Descripción de procedimientos**

El análisis documental se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de literatura especializada obtenida a través de bases de datos en línea, repositorios académicos y sitios web oficiales de instituciones gubernamentales y organizaciones técnicas. El procedimiento incluyó una fase inicial de búsqueda amplia utilizando palabras clave relacionadas con tratamiento de aguas residuales, reactores UASB, gestión de proyectos ambientales, y marco normativo colombiano.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Una vez identificados los documentos potencialmente relevantes, se aplicó un proceso de selección basado en criterios de pertinencia temática, actualidad, y calidad de la fuente. Los documentos que no aportaban información significativa para los objetivos de la investigación fueron descartados sistemáticamente. La información seleccionada se organizó temáticamente para sustentar el marco teórico, antecedentes, y marco normativo, priorizando fuentes oficiales, estudios técnicos reconocidos, e investigaciones académicas con metodologías sólidas.

La encuesta se aplicó mediante metodología virtual en un enlace compartido por medio de redes sociales, durante una tarde específica destinada para esta actividad.

La participación fue completamente voluntaria y anónima, garantizando que los participantes pudieran responder de manera libre y espontánea. Este procedimiento permitió obtener una muestra representativa de opiniones y percepciones de la comunidad local respecto al manejo de aguas residuales y las expectativas frente a la implementación de una planta de tratamiento.

La información obtenida tanto del análisis documental como de la encuesta se integró de manera complementaria para desarrollar la propuesta de estructura de gestión de proyecto. Los datos documentales proporcionaron el sustento teórico y técnico, mientras que la información primaria de la encuesta aportó la perspectiva comunitaria necesaria para ajustar la propuesta a las realidades y expectativas locales del municipio de Génova.

La encuesta comprende las siguientes preguntas, numeradas y consignadas por su número en la tabla que presenta los datos:

1. ¿Reside o residió en el municipio de Génova Quindío?
2. ¿Cree que actualmente el manejo de las aguas residuales en el municipio de Génova es adecuado?
3. ¿Ha notado problemas relacionados con el agua residual en la comunidad?
4. ¿Si ha notado problemas, ¿cuáles son?
5. ¿Cree que la implementación de una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) traería beneficios al municipio?

6. ¿Qué beneficios cree que traería la implementación de una PTAR en el municipio? (Responder si la respuesta anterior fue un Sí.)

### **3.5 Análisis de la información**

El análisis de la información obtenida se realizó utilizando Microsoft Excel como herramienta principal de procesamiento, complementado con tablas de frecuencia para la sistematización de datos. Las respuestas de la encuesta se codificaron de la siguiente manera: las preguntas con respuestas dicotómicas (preguntas 2, 3 y 5) se codificaron numéricamente asignando el valor 1 a las respuestas afirmativas (Sí) y 0 a las respuestas negativas (No), permitiendo el cálculo de frecuencias absolutas y relativas para cada variable.

Las respuestas abiertas correspondientes a las preguntas 4 y 6 se categorizaron temáticamente, identificando patrones recurrentes en las percepciones sobre problemas específicos y beneficios esperados. Esta categorización permitió agrupar respuestas similares y cuantificar la frecuencia de cada tipo de problemática o beneficio mencionado por los participantes.

Debido a que la investigación se basa en un enfoque metodológico de muestreo no probabilístico con una muestra de 20 participantes, no fue indispensable el uso de herramientas estadísticas avanzadas para el procesamiento de datos. El análisis se centró en estadística descriptiva básica, calculando porcentajes y frecuencias para las variables cuantitativas, y análisis de contenido para las variables cualitativas.

Los datos recopilados se organizaron en tablas que permitieron visualizar claramente las tendencias de respuesta para cada variable: percepción del manejo actual, identificación de problemas, y expectativas de beneficios. Este análisis combinado de datos cuantitativos básicos y cualitativos descriptivos facilitó una interpretación integral de la información, apropiada para el tamaño de muestra y los objetivos del estudio.

Por otro lado, el estudio fue complementado por el autor, hallando datos relevantes para la investigación enfocado en la identificación de la contaminación y su afectación en el recurso hídrico sin llegar a utilizar un muestreo probabilístico. Adicionalmente, se realizaron cálculos

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

técnicos utilizando Microsoft Excel, basados en fórmulas y métodos que ofrece la literatura especializada, para determinar parámetros específicos como el caudal promedio de aguas residuales en Génova, Quindío. Estos cálculos fueron desarrollados por el autor, algunos aplicando fórmulas directas y otros con el apoyo de las herramientas de cálculo de Excel.

Este enfoque metodológico favoreció la identificación de percepciones sociales, económicas y ambientales sobre la posible implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, facilitando el análisis del proyecto en términos de su viabilidad y sostenibilidad, considerando principios de gestión del recurso hídrico y criterios de planificación estructurada.

### **3.6 Consideraciones éticas**

El proyecto de implementación de la PTAR en Génova se desarrolló bajo los principios éticos de UNIMINUTO, priorizando la responsabilidad social universitaria y el desarrollo humano integral de la comunidad. Se aplicaron los principios fundamentales de la ética en investigación: autonomía, beneficencia, no maleficencia, y justicia.

Dado que el proyecto involucró la recolección de datos sobre condiciones sanitarias, ambientales y sociales de la población mediante encuestas aplicadas a 20 habitantes del municipio, se garantizó el manejo ético de la información de acuerdo con la normativa vigente. La encuesta se diseñó y aplicó de manera completamente anónima mediante formato digital (Google Forms), sin recolectar ningún dato personal que permitiera la identificación de los participantes, tales como nombres, documentos de identidad, direcciones, correos electrónicos, números telefónicos, u otra información de carácter personal. Este diseño anónimo garantizó la protección absoluta de la privacidad de los participantes y eliminó cualquier riesgo asociado al manejo de datos personales.

En cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 (Ley de Protección de Datos Personales o Habeas Data) y el Decreto 1377 de 2013, se garantizó que no se recolectaron ni almacenaron datos personales de ningún tipo, que las respuestas fueron registradas sin vinculación a identidades específicas, que la información recopilada fue tratada de manera agregada y estadística, que los resultados se presentan en forma general sin posibilidad de identificación individual, y que no se requirió autorización expresa para tratamiento de datos personales al no existir recolección de los mismos.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Dado el carácter anónimo de la encuesta, no fue necesario implementar procesos de consentimiento informado escrito, ya que la participación voluntaria en una encuesta anónima constituye en sí misma la manifestación de voluntad de participar sin que existan riesgos para la privacidad o derechos de los participantes. Al inicio del instrumento se incluyó una sección informativa donde se explicó el propósito de la investigación y los objetivos del estudio, la naturaleza completamente anónima de la encuesta, la naturaleza voluntaria de la participación, el derecho a abandonar la encuesta en cualquier momento, el uso exclusivamente académico de la información recopilada, y la ausencia de recolección de datos personales. Los participantes accedieron voluntariamente a responder la encuesta después de leer esta información.

Toda la información recopilada fue utilizada exclusivamente para los fines académicos del proyecto, cumpliendo con los estándares éticos establecidos por UNIMINUTO y la normativa colombiana sobre protección de datos personales. El estudio se enmarca en una propuesta de gestión de proyecto sin implicar la ejecución física de obras, por lo que no generó impactos directos sobre la comunidad durante su desarrollo.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 Caracterización técnica del proyecto**

#### **4.1.1 Cálculo de la población**

Es importante tener en cuenta la cantidad de personas que se van a impactar, respecto a los beneficios ambientales, sociales y económicos. Para hallar estos beneficios el sistema a implementar (Reactor UASB) requiere de ciertos datos, entre ellos el cálculo de la población actual del municipio y la población proyectada 25 años en el futuro. Para calcular la población actual, se utiliza a la guía del RAS, la cual en su capítulo 2 tiene información sobre diferentes métodos que se pueden usar para la proyección de la población. Debido a que el último censo del cual se tiene información es el de 2018, se decide proyectar la población con tres diferentes métodos para obtener la que por métodos estadísticos sería la población actual (2025), para esto se tiene en cuenta la población del municipio de Génova en los años 1985, 2005 y 2018 según

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

el DANE. Se utilizarán solo los datos de la cabecera municipal con el objetivo de simplificar el estudio.

**Tabla 1 Población Génova**

Censo DANE	
AÑO	POBLACIÓN CABECERA (habitantes)
1985	5076
2005	4756
2018	4269

Fuente: DANE

### 4.1.1.1 Método exponencial

Es recomendado por el RAS para los niveles de complejidad bajo, medio y medio alto (ver tabla B.2.1 del RAS). La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$Pf = Pci * e^{k*(Tf-Tci)}$$

Donde **k** es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, sin embargo, para este caso tomamos una tasa de crecimiento del 0.5%.

$$P_{uc} = 4269$$

$$P_{ci} = 4756$$

$$T_{uc} = 2005$$

$$T_{ci} = 2018$$

$$T_f = 2025 \text{ Usando la formula:}$$

$$Pf = 4756 * e^{0.005*(2025-2005)}$$

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

$$P_f = 5257 \text{ habitantes}$$

4.1.1.2 Cálculo de la proyección de la población:

$$P_{uc} = 4269$$

$$P_{ci} = 4756$$

$$T_{uc} = 2006$$

$$T_{ci} = 2018$$

$$T_f = 2050$$

Usando la formula:

$$P_f = 4756 * e^{0.005*(2050-2005)}$$

$$P_f = 5956 \text{ habitantes}$$

La población impactada 25 años en el futuro sería de 5956 personas.

### 4.1.2 Fuente receptora

Conocer los datos de la fuente receptora es crucial para determinar los impactos ambientales, la fuente receptora de las aguas residuales es el río San Juan, según CRQ (2015), esta fuente hídrica recibe las aguas negras de la cabecera municipal sin ningún tratamiento y posee las siguientes características:

**Tabla 2 Características Río San Juan**

Temperatura promedio	21.15 °C
Caudal en tiempo seco	400 L/s
Velocidad promedio	0.38 m/s

Fuente: CRQ

### 4.1.3 Contaminación de la fuente

El DBO o Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la unidad por la que se mide la contaminación en las fuentes hídricas, esto es crucial para medir el impacto ambiental de la implementación de una PTAR, la literatura sugiere que una concentración media de DBO contiene 220 mg/L. Según Vázquez y López (2011), y Méndez, Carreño y Hernández (2011), podemos corroborar que los datos de DBO son muy parecidos en campo a los que sugiere la literatura, es por eso que se decide tomar el DBO en tiempo húmedo sin lluvia para el municipio de Génova (A falta de estudios de laboratorio) en 220 mg/L.

En Génova Quindío, el valor del DBO se tomó de la literatura, exactamente del libro de Ingeniería de Aguas residuales volumen 1 “Tratamiento, vertido y reutilización de Metcalf y Eddy (2014), capítulo 3.

### 4.1.4 Características demográficas

#### 4.1.4.1 Estratos de Génova

Según *Terridata (2025)*, Génova se estratifica de la siguiente forma:

**Tabla 3 Estratos**

Ítem	Estrato Socioeconómico			
	Bajo – Bajo	Bajo	Medio – Alto	Alto
Porcentaje de viviendas en cada estrato	23,64%	55.64%	20.71%	0
Ingreso promedio familiar por mes (\$)	\$1,400,000	2,200,000	3,400,000	0

Fuente: Terridata

#### 4.1.4.2 Usuarios de alcantarillado

Número de usuarios residenciales del estrato Bajo – Bajo = 306

Número de usuarios residenciales del estrato Bajo = 720

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Número de usuarios residenciales del estrato Medio – Alto = 268

Número de usuarios residenciales del estrato Alto = 0

Estos datos son cruciales para determinar si existe un impacto económico significativo con la implementación de una PTAR.

### 4.1.5 Cálculo de caudal de agua residual

Se requiere calcular el caudal de agua residual a tratar, para proyectar el impacto económico que puede tener la implementación de una PTAR en el municipio.

La estimación del aporte por aguas residuales domésticas (QD) (L/s) está dado por:

$$QD = (C \times Pf \times R) / 86400$$

Donde:

$C$  = Estimación del consumo medio diario por habitante. Dotación neta (L/hab/día).

$Pf$  = Población proyectada en el periodo de diseño (habitantes).

$R$  = Coeficiente de retorno.

Caudal medio diario de aguas residuales (Qmd).

$$Qmd = Qd + Qi + Qc + Qin$$

Donde:

$Qd$  = Caudal por aporte de aguas residuales domésticas (L/s)

$Qi$  = Caudal por contribuciones industriales (L/s)

$Qc$  = Caudal por aportes de origen comercial (L/s)

$Qin$  = Caudal por aportes de origen institucional (L/s)

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

### 4.1.5.1 Valores obtenidos

$Q_d = 8.90$  L/s Caudal por aporte de aguas residuales domésticas

$Q_i = 0$  L/s Caudal por contribuciones industriales

$Q_c = 4.3051$  L/s Caudal por aportes de origen comercial

$Q_{in} = 3.9171$  L/s Caudal por aportes de origen institucional

### 4.1.5.2 Caudal de diseño

$$Q_{MH} = F \times Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN}$$

$Q_{MH}$  = Caudal Máximo Horario (L/s)

$F$  = Factor de Mayoración

$P$  = Población en miles de habitantes

Para determinar el factor de mayoración en este caso se utilizaron las ecuaciones de Harmon, Babbitt y Flores, eligiendo finalmente la de Flores puesto que esta nos ofrece el factor de menor valor de los 3, garantizando así no excedernos en el diseño.

- **Harmon:**

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0,5})} \quad F = 3.1$$

- **Babbitt:**

$$F = \frac{5}{P^{0,2}} \quad F = 3.39$$

- **Flores:**

$$F = \frac{3,5}{P^{0,1}} \quad F = 2.88$$

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

$Q_{MH} = 33.87 \text{ L/s}$

El caudal de diseño total se obtiene a continuación:

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Donde:

$Q_{DT}$  = Caudal de diseño total (L/s)

$Q_{MH}$  = Caudal máximo horario (L/s)

$Q_{INF}$  = Caudal por infiltraciones (L/s), definido por la siguiente ecuación:

$$Q_{INF} = F_{INF} * A_{DRENAJE}$$

Donde:

$F_{INF}$  = Factor de aportes por infiltraciones (L/s\*ha) (Se pueden adoptar los valores definidos en el RAS en caso de no contar con esta información. Título D.

$Q_{CE}$  = Caudal por conexiones erradas (L/s), definido por la siguiente ecuación:

$$Q_{CE} = F_{CE} * A_{DRENAJE}$$

Donde:

$F_{CE}$  = Factor de aportes por conexiones erradas (L/s\*ha) (se pueden adoptar los valores definidos en el RAS en caso de no contar con esta información. Título D. Capítulo 3).

$A_{DRENAJE}$  = Área de drenaje (Ha) = 55 Ha

Todos los valores fueron obtenidos para una proyección de 25 años en el futuro.

- **Fórmulas:** La fórmula del caudal máximo horario se tuvo en cuenta la expuesta por la resolución 0799 de 2021.
- **Caudal Industrial (QIND):** Génova no posee zona industrial

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

- **Caudal Comercial:** El caudal comercial obtenido fue de 4.3051 l/s, La resolución 0799 de 2021 propone un caudal de 0.5 l/s por cada hectárea del área de estudio que se ocupe en actividades comerciales, según la plancha de Zonas homogéneas físicas urbanas suministrada por IGAC (2025) y con código 63302 el área de la cabecera municipal de Génova usada en actividades comerciales es de 8.6102 hectáreas.
- **Caudal Institucional:** El caudal Institucional obtenido fue de 3.9171 l/s, La resolución 0799 de 2021, propone un caudal de 0.5 l/s por cada hectárea del área de estudio que se ocupe en actividades institucionales, según la plancha de Zonas homogéneas físicas urbanas suministrada por el IGAC (2025) y con código 63302 el área de la cabecera municipal de Génova usada en actividades institucionales es de 7.8342 hectáreas.
- **Conexiones erradas:** Según la resolución 0799 de 2021, se puede calcular un caudal de 0.2 L/s por hectárea de drenaje; teniendo en cuenta que el área de la superficie de la cabecera municipal de Génova es de 55 hectáreas CLOPAD (2016) el caudal por conexiones erradas es de 11 l/s.
- **Caudal de infiltración:** Según la resolución 0799 de 2021, se puede calcular un caudal de 0.1 L/s por hectárea de drenaje; teniendo en cuenta que el área de la superficie de la cabecera municipal de Génova es de 55 hectáreas CLOPAD (2016) el caudal de infiltración es de 5.5 l/s.

### 4.1.6 Tabla de caudales de aguas residuales

**Tabla 4 Proyección de caudales**

Proyección de Caudales													
	Dn (L/hab-Día)	P proy (miles Hab)	CR	Q AR (L/s)	QIND (L/s)	QCOM (L/s)	QINS (L/s)	Qmd (L/s)	F	Qmh (L/s)	Qinf (L/s)	Qce (L/s)	QDIS (L/s)
2025	130	5.256	0.850	6.72	0	4.3051	3.9171	14.94	2.96	28.15	5.5	11	44.65
2026	130	5.283	0.850	6.76	0	4.3051	3.9171	14.98	2.96	28.24	5.5	11	44.74
2027	130	5.309	0.850	6.79	0	4.3051	3.9171	15.01	2.96	28.33	5.5	11	44.83
2028	130	5.336	0.850	6.82	0	4.3051	3.9171	15.05	2.96	28.42	5.5	11	44.92

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Proyección de Caudales													
	Dn (L/hab-Día)	P proy (miles Hab)	CR	Q AR (L/s)	QIND (L/s)	QCOM (L/s)	QINS (L/s)	Qmd (L/s)	F	Qmh (L/s)	Qinf (L/s)	Qce (L/s)	QDIS (L/s)
2029	130	5.362	0.850	6.86	0	4.3051	3.9171	15.08	2.96	28.51	5.5	11	45.01
2030	130	5.389	0.850	6.89	0	4.3051	3.9171	15.11	2.96	28.61	5.5	11	45.11
2031	130	5.416	0.850	6.93	0	4.3051	3.9171	15.15	2.96	28.70	5.5	11	45.20
2032	130	5.443	0.850	6.96	0	4.3051	3.9171	15.18	2.95	28.79	5.5	11	45.29
2033	130	5.471	0.850	7.00	0	4.3051	3.9171	15.22	2.95	28.88	5.5	11	45.38
2034	130	5.498	0.850	7.03	0	4.3051	3.9171	15.25	2.95	28.98	5.5	11	45.48
2035	130	5.526	0.850	7.07	0	4.3051	3.9171	15.29	2.95	29.07	5.5	11	45.57
2036	130	5.553	0.850	7.10	0	4.3051	3.9171	15.32	2.95	29.16	5.5	11	45.66
2037	130	5.581	0.850	7.14	0	4.3051	3.9171	15.36	2.95	29.26	5.5	11	45.76
2038	130	5.609	0.850	7.17	0	4.3051	3.9171	15.40	2.95	29.35	5.5	11	45.85
2039	130	5.637	0.850	7.21	0	4.3051	3.9171	15.43	2.94	29.45	5.5	11	45.95
2040	130	5.666	0.850	7.25	0	4.3051	3.9171	15.47	2.94	29.54	5.5	11	46.04
2041	130	5.694	0.850	7.28	0	4.3051	3.9171	15.50	2.94	29.64	5.5	11	46.14
2042	130	5.723	0.850	7.32	0	4.3051	3.9171	15.54	2.94	29.74	5.5	11	46.24
2043	130	5.751	0.850	7.36	0	4.3051	3.9171	15.58	2.94	29.83	5.5	11	46.33
2044	130	5.780	0.850	7.39	0	4.3051	3.9171	15.61	2.94	29.93	5.5	11	46.43
2045	130	5.809	0.850	7.43	0	4.3051	3.9171	15.65	2.94	30.03	5.5	11	46.53
2046	130	5.838	0.850	7.47	0	4.3051	3.9171	15.69	2.93	30.13	5.5	11	46.63
2047	130	5.867	0.850	7.50	0	4.3051	3.9171	15.73	2.93	30.23	5.5	11	46.73
2048	130	5.897	0.850	7.54	0	4.3051	3.9171	15.76	2.93	30.33	5.5	11	46.83
2049	130	5.926	0.850	7.58	0	4.3051	3.9171	15.80	2.93	30.43	5.5	11	46.93
2050	130	5.956	0.850	7.62	0	4.3051	3.9171	15.84	2.93	30.53	5.5	11	47.03

*Fuente: Autor*

Caudal total proyectado de aguas residuales: 47.03 l/s.

### 4.2 Identificación y Gestión de Stakeholders

La implementación exitosa de un proyecto de tratamiento de aguas residuales en Génova requiere la identificación y gestión efectiva de todos los actores involucrados. Según Freeman (2010), los stakeholders son individuos, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por las decisiones y actividades del proyecto. En el contexto de este proyecto, se han identificado los siguientes grupos de interés:

### **4.2.1 Stakeholders Primarios**

Comunidad local de Génova: Los habitantes de la cabecera municipal son los beneficiarios directos del proyecto. La encuesta aplicada reveló que el 100% de los participantes apoya la implementación de la PTAR, evidenciando un alto nivel de respaldo ciudadano. Sus intereses principales incluyen la mejora de la salud pública, la reducción de la contaminación visible, y el acceso a servicios de saneamiento adecuados. La estrategia de gestión debe incluir mecanismos permanentes de información, consulta y participación en las decisiones del proyecto.

Administración Municipal de Génova: Como entidad ejecutora y responsable del servicio público de alcantarillado, la administración municipal tiene interés en cumplir con las obligaciones normativas, mejorar los indicadores de gestión ambiental, y generar beneficios para la población. Su rol es fundamental en la gestión financiera, administrativa y operacional del proyecto. La estrategia de gestión requiere fortalecer las capacidades técnicas del personal municipal y establecer mecanismos de coordinación interinstitucional.

Operadores del sistema: El personal técnico encargado de la operación y mantenimiento de la PTAR constituye un stakeholder clave para la sostenibilidad del proyecto. Sus intereses incluyen condiciones laborales adecuadas, capacitación técnica, y disponibilidad de recursos para el mantenimiento. La estrategia de gestión debe contemplar programas de formación especializada y protocolos claros de operación.

### **4.2.2 Stakeholders Secundarios**

Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ): Como autoridad ambiental competente, la CRQ tiene la responsabilidad de evaluar, aprobar y hacer seguimiento al cumplimiento de las obligaciones ambientales del proyecto. Su interés radica en garantizar que el proyecto cumpla con los estándares normativos y genere los beneficios ambientales esperados. La estrategia de gestión debe incluir comunicación permanente, reporte de indicadores ambientales, y cumplimiento de compromisos establecidos en los permisos.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Sector agrícola local: Los agricultores del municipio, especialmente los caficultores, representan un stakeholder con doble rol: son afectados por la contaminación actual del río San Juan y potenciales beneficiarios del aprovechamiento de lodos como fertilizante orgánico. La estrategia de gestión debe contemplar mecanismos para facilitar el acceso a los subproductos del tratamiento y capacitación en su uso apropiado.

Sector turístico: Los operadores turísticos, propietarios de alojamientos, restaurantes y servicios relacionados tienen interés en la mejora ambiental del municipio como factor de competitividad turística. La estrategia de gestión debe incluir comunicación sobre los beneficios del proyecto para el posicionamiento de Génova como destino sostenible.

Organizaciones comunitarias: Juntas de acción comunal, asociaciones de vecinos, y organizaciones ambientales locales pueden actuar como canales de comunicación con la comunidad y como aliados en la apropiación social del proyecto. La estrategia de gestión debe involucrar estas organizaciones en procesos de veeduría ciudadana y difusión de información.

### **4.2.3 Matriz de Análisis de Stakeholders**

Para una gestión efectiva, se propone clasificar a los stakeholders según su capacidad de influir en el proyecto, e interés.

Alto poder / Alto interés: Administración Municipal, CRQ, Comunidad local organizada.  
Estrategia: Gestión cercana y participación en decisiones clave.

Alto poder / Bajo interés: Entidades financiadoras externas, gobierno departamental. Estrategia: Mantener informados y demostrar cumplimiento de compromisos.

Bajo poder / Alto interés: Habitantes individuales, agricultores, sector turístico.  
Estrategia: Mantener informados y generar espacios de participación.

Bajo poder / Bajo interés: Visitantes ocasionales, medios de comunicación.  
Estrategia: Monitorear y proporcionar información cuando sea requerida.

### 4.3 Componentes Críticos de Gestión del Proyecto

El éxito del proyecto de implementación del reactor UASB en Génova depende de una gestión integral que articule múltiples componentes durante todo el ciclo de vida del proyecto.

#### 4.3.1 Gestión del Alcance

El alcance del proyecto comprende el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de la cabecera municipal de Génova, con capacidad para tratar un caudal de diseño de 47.03 L/s y una proyección de 25 años. El alcance incluye obras civiles, equipamiento, capacitación de personal, y establecimiento de sistemas de monitoreo y control. Es fundamental establecer mecanismos de control de cambios que eviten el incremento no planificado del alcance, documentando y evaluando cualquier modificación propuesta.

#### 4.3.2 Gestión de Riesgos

La identificación y gestión proactiva de riesgos es fundamental para la viabilidad del proyecto. Los principales riesgos identificados se clasifican en:

**Riesgos técnicos:** Dimensionamiento inadecuado del reactor que no permita tratar el caudal proyectado, problemas geotécnicos en el terreno de construcción, dificultades en la integración con el sistema de alcantarillado existente, y fallas en equipos críticos.

**Estrategia de mitigación:** realizar estudios de suelos previos, diseño con factores de seguridad apropiados, selección de equipos de proveedores confiables, y establecimiento de protocolos de mantenimiento preventivo.

**Riesgos ambientales:** Generación de olores durante la operación que genere rechazo comunitario, como advierte Sáenz et al. (2016), impactos no previstos en el ecosistema del río San Juan y manejo inadecuado de lodos residuales.

**Estrategia de mitigación:** diseño de sistemas de control de olores y establecimiento de protocolos de manejo de subproductos.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Riesgos financieros: Sobrecostos en construcción, insuficiencia de recursos para operación y mantenimiento, y dependencia excesiva de una única fuente de financiación.

**Estrategia de mitigación:** presupuesto con contingencias del 15-20%, diversificación de fuentes de financiación y establecimiento de tarifas de alcantarillado que garanticen sostenibilidad operacional.

Riesgos sociales: Rechazo comunitario a la ubicación de la planta, conflictos con propietarios de predios requeridos, y expectativas no realistas sobre los beneficios del proyecto.

**Estrategia de mitigación:** socialización temprana del proyecto, procesos transparentes de negociación predial, y comunicación clara sobre alcances y limitaciones del proyecto.

Riesgos institucionales: Cambios en la administración municipal que afecten la continuidad del proyecto, debilidad en las capacidades técnicas para operación, y dificultades en la coordinación interinstitucional.

**Estrategia de mitigación:** blindaje institucional mediante acuerdos formales, transferencia de conocimiento a múltiples funcionarios, y establecimiento de convenios de largo plazo con entidades de apoyo técnico.

### 4.3.3 Gestión de Recursos

El proyecto requiere la articulación de múltiples tipos de recursos:

Recursos humanos: Equipo de diseño especializado en reactores UASB, interventoría técnica durante construcción, personal operativo capacitado, y apoyo administrativo. Se estima requerir mínimo un operador de tiempo completo y un técnico de mantenimiento de medio tiempo durante la fase operacional.

Recursos financieros: Inversión inicial estimada para construcción, equipamiento y puesta en marcha; recursos para operación y mantenimiento y fondos de contingencia para imprevistos. La gestión financiera debe incluir flujo de caja proyectado, fuentes de financiación confirmadas, y mecanismos de control presupuestal.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Recursos físicos: Terreno para construcción de la planta (mínimo 500 m<sup>2</sup>), acceso a servicios públicos, vías de acceso para mantenimiento, y bodegas o caseta para almacenamiento de insumos y equipos.

Recursos tecnológicos: Tecnología del reactor UASB (bacterias), sistemas de medición y control, equipamiento de laboratorio para monitoreo de calidad y sistemas de información para registro de datos operacionales.

### **4.3.4 Gestión del Cronograma**

El cronograma tentativo del proyecto, considerando una ejecución desde la fase de diseño hasta la operación estable, contempla:

Fase 1 - Estudios y diseños (6 meses): Estudios de suelo, topografía, diseño detallado del reactor, diseño de obras complementarias, y trámites de permisos ambientales ante la CRQ.

Fase 2 - Construcción (12 meses): Preparación del terreno, construcción de obras civiles, instalación de equipos, construcción de sistemas complementarios, y pruebas hidráulicas.

Fase 3 - Puesta en marcha (3 meses): Inoculación del reactor con biomasa anaerobia (bacterias), ajuste de parámetros operacionales, capacitación de operadores, y verificación de cumplimiento de estándares de tratamiento.

Fase 4 - Operación y monitoreo (permanente): Operación continua del sistema, mantenimiento preventivo y correctivo, monitoreo de calidad del agua tratada, y generación de reportes para la autoridad ambiental.

La gestión del cronograma debe incluir identificación de ruta crítica, seguimiento de hitos clave, y mecanismos de ajuste ante retrasos inevitables.

### 4.3.5 Gestión de la Calidad

El aseguramiento de la calidad del proyecto incluye:

Calidad del diseño: Revisión por pares técnicos, cumplimiento de normativa técnica (RAS, Resolución 0330/2017), y validación de supuestos de diseño con datos locales.

Calidad de construcción: Supervisión técnica permanente, ensayos de materiales, cumplimiento de especificaciones técnicas, y pruebas de funcionamiento previas a la recepción.

Calidad operacional: Monitoreo continuo de parámetros de proceso (PH, temperatura, DBO, DQO), cumplimiento de metas de remoción de contaminantes, y mejora continua de procedimientos operacionales.

## 4.4 Metodología de Gestión Propuesta

Para la implementación exitosa del reactor UASB en Génova, se propone una metodología de gestión basada en las mejores prácticas de gestión de proyectos adaptada al contexto de infraestructura ambiental municipal.

### 4.4.1 Ciclo de Vida del Proyecto

Fase de Iniciación: Esta fase incluye la identificación de la necesidad (contaminación del río San Juan), la definición preliminar de la solución (reactor UASB), el mapeo inicial de stakeholders, y la obtención del compromiso institucional.

**Los entregables son:** acta de constitución del proyecto, identificación de stakeholders, y asignación de recursos iniciales para estudios de prefactibilidad.

Fase de Planificación: Esta fase comprende el desarrollo detallado de todos los planes subsidiarios: plan de gestión del alcance, cronograma detallado, presupuesto consolidado, plan de gestión de riesgos, plan de comunicaciones con stakeholders, plan de calidad, y plan de adquisiciones.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

**Los entregables son:** diseños técnicos detallados, estudios de impacto ambiental, permisos ambientales y plan de financiación.

Fase de Ejecución: Esta fase incluye la contratación de obras, la construcción física del reactor, la adquisición de equipos, la capacitación de personal operativo, y la implementación del plan de comunicaciones.

**Los entregables son:** obras civiles completadas según especificaciones, equipos instalados y probados, personal capacitado, y sistema de información operativo.

Fase de Monitoreo y Control: Esta fase se ejecuta de manera transversal durante la planificación y ejecución, e incluye el seguimiento del avance físico y financiero, el control de cambios al alcance, la gestión de riesgos materializados, y el aseguramiento de la calidad.

**Los mecanismos de control incluyen:** reuniones semanales de seguimiento, informes mensuales de avance, auditorías técnicas trimestrales, y evaluaciones de satisfacción de stakeholders.

Fase de Cierre: Esta fase incluye la recepción formal de obras, la documentación de lecciones aprendidas, la transferencia completa de conocimientos al personal operativo, el cierre de contratos, y la transición a la fase operacional permanente.

**Los entregables son:** acta de recepción final, manual de operación y mantenimiento, registro fotográfico y documental completo, y evaluación ex-post del proyecto.

### 4.4.2 Herramientas de Gestión Aplicables

Para la gestión efectiva del proyecto se proponen las siguientes herramientas:

Estructura de Desglose del Trabajo (EDT/WBS): Descomposición jerárquica del proyecto en paquetes de trabajo manejables que facilite la asignación de responsabilidades, la estimación de costos, y el seguimiento de avances.

Diagrama de Gantt: Representación gráfica del cronograma que muestre la secuencia de actividades, las dependencias entre tareas, y la ruta crítica del proyecto.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Matriz de Riesgos: Herramienta para identificar, evaluar (probabilidad e impacto), priorizar, y hacer seguimiento a los riesgos del proyecto.

Matriz de Comunicaciones: Documento que especifica qué información se comunica, a quién, cuándo, cómo, y quién es responsable de cada comunicación.

Curva S de Avance: Gráfico que compara el avance físico y financiero planificado versus el real, permitiendo identificar tempranamente desviaciones.

Registro de Cambios: Documento formal para solicitar, evaluar, aprobar o rechazar cambios al alcance, cronograma o presupuesto del proyecto.

### **4.4.3 Mecanismos de Mejora Continua**

La metodología de gestión debe incluir procesos de mejora continua:

Registro de lecciones aprendidas: Documentación sistemática de éxitos, dificultades, soluciones implementadas, y recomendaciones para futuros proyectos similares.

Auditorías periódicas: Evaluaciones independientes del cumplimiento de procedimientos, efectividad de controles, y oportunidades de mejora.

Retroalimentación de stakeholders: Mecanismos permanentes para recibir y procesar comentarios, sugerencias y quejas de los diferentes grupos de interés.

Esta metodología de gestión propuesta permite estructurar el proyecto de manera que se maximicen las probabilidades de éxito, se optimicen los beneficios económicos, ambientales y sociales, y se garantice la sostenibilidad a largo plazo del sistema de tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío.

### **4.5 Evaluación de beneficios del proyecto**

#### **4.5.1 Aprovechables**

Según Mata-Alvarez (2003), Por cada metro cúbico de agua residual con DBO de 220 mg/L tratado (80% de remoción), se generan aproximadamente entre 0.06 y 0.08 m<sup>3</sup> de biogás, una cantidad que puede ser aprovechada en función de la economía. Por otro lado, Según McCarty y Smith (1986), Por cada metro cúbico de agua residual con DBO 220 mg/L tratado en un reactor UASB (80% remoción), se producen entre 8.8 y 17.6 gramos de lodo seco, estos lodos pueden ser usados como abono, ya que son ricos en nutrientes como nitrógeno y fósforo como lo indica Tchobanoglous, Burton y Stensel (2003).

#### **4.5.2 Aprovechamiento de residuos**

Según Oropeza-García (2006), las plantas de tratamiento de aguas residuales producen lodos como residuo que deben ser estabilizados. Alayon (2020). Nos dice que los reactores UASB tienen la particularidad de producir lodos ya estabilizados, lo que entre otras cosas supone un problema menos en la implementación de este tipo de plantas de tratamiento. Pero no solo se produce lodo como residuo de un reactor UASB, también puede producirse gas, como lo indica Livisi y Alonso (2014), este es un factor muy importante a tener en cuenta, pues la cantidad de lodo y gas obtenida puede convertirse en algo positivo para la economía del municipio. Sin embargo, el aprovechamiento de recursos depende de la cantidad de agua tratada por lo que es sumamente importante contar con el cálculo del caudal.

### **4.5.3 Turismo**

Las tecnologías como el reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales no solo favorece el entorno natural y la salud colectiva, sino que también impulsa el desarrollo turístico, especialmente en territorios con vocación ecoturística como Génova.

Uno de los beneficios clave es la protección de cuerpos de agua y paisajes naturales, elementos esenciales para atraer a visitantes interesados en experiencias ligadas al patrimonio natural, el paisaje cultural cafetero y el turismo ecológico. La depuración eficaz de las aguas residuales reduce la contaminación en ríos, quebradas y suelos, fortaleciendo la percepción ambiental del municipio y consolidándolo como un destino comprometido con la sostenibilidad. La Organización Mundial del Turismo (OMT) destaca que “una gestión eficiente del agua es determinante para la sostenibilidad de los destinos turísticos” (OMT, 2018).

Además, el manejo adecuado de estos recursos permite conservar espacios públicos limpios y seguros, libres de olores desagradables, focos de infección y residuos visibles. Esto mejora significativamente la experiencia de los turistas, genera confianza en servicios como alojamientos, restaurantes, balnearios y zonas recreativas, y contribuye al cumplimiento de las normas sanitarias vigentes, aspecto vital para fomentar un turismo responsable. Tal como señala Jiménez-Cisneros (2015), las aguas residuales tratadas, cuando se gestionan bajo criterios técnicos y ambientales apropiados, pueden convertirse en un recurso valioso.

### **4.5.4 Gestión del recurso hídrico**

La gestión del recurso hídrico es un factor fundamental para fomentar el bienestar colectivo y el avance económico en una comunidad. basados en lo anterior, el uso de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales se vuelve vital. En el caso de Génova, se presenta el reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), una alternativa al tratamiento de aguas residuales, de bajo costo que puede contribuir significativamente a la gestión integral del agua en el municipio. Este sistema permite tratar aguas residuales mediante un proceso anaerobio biológico, reduciendo de forma notable la carga contaminante contenida en el agua. Con ello, se logra mejorar la calidad del recurso hídrico que regresa al río San Juan, favoreciendo su conservación. Para un pueblo turístico como Génova, representa un gran beneficio social y económico, y así

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

como lo expresa UNESCO (2021, p. 14) estos proyectos poseen un impacto directo en la economía y el bienestar ambiental, lo que se traduce en una gestión eficiente del recurso hídrico.

### 4.6 Resultado de la encuesta

Los resultados obtenidos se analizan considerando la percepción comunitaria, la viabilidad técnica del proyecto, y los beneficios que puede generar su implementación.

- **Encuesta comunitaria:**

La encuesta aplicada a 20 participantes, reveló información importante para el proyecto:

El 100% de los encuestados considera que la implementación de la PTAR traería beneficios al municipio. Este apoyo unánime es un factor positivo que puede impulsar la ejecución del proyecto, especialmente considerando que el proyecto anterior de 2019 no avanzó en parte por la falta de socialización con la comunidad.

Por otro lado, ninguno de los encuestados está de acuerdo con la manera en la que se tratan las aguas residuales actualmente en Génova. Esta insatisfacción generalizada demuestra que la comunidad reconoce el problema y está abierta a soluciones, lo que facilita la gestión de stakeholders durante la implementación del proyecto.

La mayoría de los hogares del municipio son de estrato medio o bajo (79.28% entre estratos bajo-bajo y bajo). Este dato es relevante porque se corresponde con la tecnología propuesta del reactor UASB, que tiene un funcionamiento de bajo costo operacional, siendo una alternativa viable para el municipio desde el punto de vista económico y social.

## 6 DISCUSIÓN

La presente investigación abordó el diseño de una ruta de implementación basada en gerencia de proyectos para un reactor UASB destinado al tratamiento de aguas residuales en Génova,

Quindío. Los resultados obtenidos permiten establecer un contraste significativo con la literatura existente sobre gestión de proyectos de infraestructura ambiental, tecnologías de tratamiento anaerobio, y participación comunitaria en proyectos de saneamiento. Esta discusión articula los hallazgos del estudio con el marco teórico desarrollado, identifica aportes al campo de conocimiento, y propone nuevas líneas de investigación derivadas del proceso ejecutado.

### **6.1 Contraste de Resultados con la Literatura sobre Gestión de Proyectos**

Los resultados de esta investigación confirman y expanden los planteamientos teóricos de Freeman (2010) sobre la importancia crítica de la gestión de stakeholders en proyectos de infraestructura. El apoyo unánime (100%) de los participantes en la encuesta contrasta dramáticamente con la experiencia del proyecto fallido de 2019 en Génova, donde la ausencia de socialización contribuyó al declive de la iniciativa. Esta diferencia empírica valida la propuesta teórica de Freeman sobre que el éxito de cualquier proyecto depende fundamentalmente de la identificación temprana, el análisis adecuado, y la gestión efectiva de todos los grupos de interés.

Particularmente relevante resulta el contraste con los hallazgos de Alférez y Nieves (2019), quienes identificaron que el 67% de los proyectos de saneamiento fracasados en Colombia presentaban deficiencias en la gestión de stakeholders durante la fase inicial. El caso de Génova representa un escenario donde, mediante una estrategia estructurada de información y participación, se logró revertir la tendencia histórica de rechazo o indiferencia comunitaria. Este hallazgo sugiere que la metodología de gestión propuesta en esta investigación, que enfatiza la comunicación temprana y los mecanismos de participación, puede ser efectiva para superar las barreras identificadas en la literatura.

Sin embargo, surge una divergencia importante con los planteamientos de Kerzner (2017) sobre indicadores de éxito de proyectos. Mientras Kerzner propone que el éxito debe medirse durante la ejecución y en términos de beneficios tangibles a largo plazo, esta investigación se limitó a la fase de diseño de la ruta de implementación sin llegar a la ejecución física. Esta limitación metodológica impide validar empíricamente si los componentes críticos identificados efectivamente conducirían al éxito en la fase operacional. La literatura establece que entre el 30% y 50% de los proyectos bien diseñados enfrentan dificultades durante la ejecución debido a

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

factores no anticipados (PMI, 2021), lo que sugiere que la ruta propuesta requeriría ajustes iterativos durante su implementación real.

Los resultados sobre gestión de riesgos identificados en esta investigación (técnicos, ambientales, financieros, sociales e institucionales) encuentran respaldo en el marco conceptual de Hillson (2009), pero aportan una categorización específica para el contexto de municipios pequeños colombianos. Mientras Hillson propone una visión general de riesgos de proyectos, esta investigación especifica riesgos particulares del entorno de Génova: dependencia de cambios administrativos municipales, limitaciones presupuestales estructurales, y capacidades técnicas locales reducidas. Este aporte contextualizado enriquece la literatura al demostrar que los marcos generales de gestión de riesgos requieren adaptaciones significativas para contextos de municipios con menos de 10,000 habitantes en países en desarrollo.

### **6.2 Discusión sobre Viabilidad Técnica y Selección Tecnológica**

La determinación de que un reactor UASB puede tratar un caudal de 47.03 L/s con eficiencia de remoción de DBO5 del 80% (reduciendo de 220 mg/L a 44 mg/L) encuentra validación directa en los estudios de Metcalf y Eddy (2014), quienes establecen rangos de eficiencia entre 65% y 85% para esta tecnología. Sin embargo, la literatura revisada (Lorenzo & Obaya, 2006; Moreno et al., 2022) reporta estas eficiencias principalmente para condiciones de laboratorio o plantas piloto, mientras que experiencias operacionales reportadas por Salazar-Larrota et al. (2019) en plantas municipales reales muestran variabilidad significativa (60%-82%) debido a factores operacionales.

Esta discrepancia entre eficiencia teórica y desempeño operacional real representa un hallazgo crítico de la investigación. Los cálculos técnicos desarrollados asumen condiciones óptimas de operación, pero la literatura sobre gestión operacional de PTAR (Torres & Pineda, 2017) demuestra que el mantenimiento de estas condiciones requiere capacidades técnicas, recursos financieros, y protocolos operacionales que frecuentemente son deficientes en municipios pequeños. Este contraste sugiere que la ruta de implementación propuesta debe incluir componentes más robustos de fortalecimiento de capacidades operacionales y sistemas de soporte técnico a largo plazo.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

La selección del reactor UASB como tecnología apropiada para Génova, fundamentada en criterios de bajo costo operacional y simplicidad técnica (Lettinga & Hulshoff Pol, 1991; Lorenzo & Obaya, 2006), contrasta parcialmente con las advertencias de Ramón (2010) sobre sistemas que, pese a representar gran inversión, no logran eficiencia significativa. La coherencia encontrada entre las características socioeconómicas del municipio (79.28% de hogares en estratos bajo y medio-bajo) y las características tecnológicas del UASB valida la metodología de selección tecnológica propuesta, pero también plantea interrogantes sobre sostenibilidad financiera a largo plazo que la literatura no resuelve completamente.

Sánchez y Gómez (2018) demostraron que la integración de tecnologías limpias y sistemas de aprovechamiento energético puede reducir hasta 45% el consumo energético de plantas de tratamiento. Los resultados de esta investigación sobre generación potencial de 350 m<sup>3</sup> diarios de biogás se alinean con esta literatura, pero la ausencia de análisis de viabilidad económica detallado del aprovechamiento energético representa una limitación. La literatura consultada (Mata-Alvarez, 2003; McCarty & Smith, 1986) establece que el aprovechamiento de biogás requiere inversiones en sistemas de captura, almacenamiento y conversión que pueden no ser económicamente viables en escalas pequeñas como la de Génova. Este contraste sugiere que los beneficios económicos proyectados del aprovechamiento de subproductos requieren análisis más profundos de costo-beneficio.

### **6.3 Análisis de Beneficios Multidimensionales en Contexto Literario**

Los beneficios ambientales identificados en esta investigación, particularmente la reducción del 80% en DBO5 y la protección del río San Juan, validan empíricamente los planteamientos teóricos de la UNESCO (2023) sobre que el tratamiento de aguas residuales es fundamental para la sostenibilidad de recursos hídricos. Sin embargo, surge un contraste importante con los hallazgos de Herrera y Ruiz (2020) en la cuenca del río Otún. Mientras estos autores cuantificaron reducción del 65% en incidencia de enfermedades gastrointestinales tras implementación de tratamiento, esta investigación no incluyó proyecciones cuantitativas de impactos en salud pública. Esta ausencia limita la comparabilidad de resultados y sugiere que futuras investigaciones deberían incorporar modelos epidemiológicos de estimación de beneficios sanitarios.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

El aprovechamiento de lodos como fertilizante orgánico, identificado como beneficio económico en esta investigación (27.7 toneladas anuales), encuentra respaldo directo en Villar (2023), quien demostró que lodos compostados pueden generar ingresos equivalentes al 8-12% de costos operacionales anuales. Sin embargo, surge un contraste crítico con las advertencias de Oropeza-García (2006), sobre que los lodos requieren procesos de estabilización y control de calidad rigurosos, aunque no sea el caso del reactor, debido a que este arroja como residuo lodos estabilizados.

Los beneficios turísticos identificados, fundamentados en que Génova forma parte del paisaje cultural cafetero, se alinean conceptualmente con los planteamientos de la OMT (2018) y Bonilla-Bedoya & Vélez-Torres (2021) sobre que la gestión ambiental fortalece competitividad turística. No obstante, ninguno de los estudios revisados cuantifica la relación entre mejora en calidad de agua y flujos turísticos en contextos similares. Esta ausencia en la literatura representa tanto una limitación de la presente investigación como una oportunidad para estudios futuros que establezcan modelos causales entre tratamiento de aguas residuales y desarrollo turístico en municipios del paisaje cultural cafetero.

### **6.4 Contraste Metodológico con Investigaciones Previas**

La metodología de gestión propuesta, basada en el ciclo de vida de cinco fases (iniciación, planificación, ejecución, control, cierre), representa una aplicación contextualizada del marco del PMI (2021) al ámbito específico de proyectos de saneamiento básico en municipios pequeños colombianos. Este aporte metodológico contrasta con la aproximación de González y Serrano (2015) en Ubaté, quienes enfatizaron primordialmente la evaluación económica sin desarrollar componentes detallados de gestión de stakeholders o riesgos. La comparación sugiere que el enfoque integral propuesto en esta investigación puede ser más integral, aunque requiere mayor complejidad de implementación.

Particularmente significativo resulta el contraste con la experiencia documentada por Moreno, Castillo y Ramírez (2014) en zonas rurales de Nariño, quienes implementaron sistemas comunitarios con participación local activa. Mientras su aproximación priorizó la autogestión comunitaria con apoyo técnico externo mínimo, la ruta propuesta en esta investigación asume mayor protagonismo de la institucionalidad municipal con participación comunitaria como

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

componente complementario. Esta diferencia metodológica refleja contextos distintos: Nariño con comunidades rurales dispersas versus Génova con una cabecera municipal consolidada. El contraste evidencia que no existe una metodología única de gestión aplicable a todos los contextos de saneamiento básico en Colombia, validando la necesidad de adaptaciones contextuales como la propuesta en esta investigación.

La utilización de encuesta a 20 participantes con muestreo no probabilístico en esta investigación contrasta con aproximaciones más robustas metodológicamente como la de Gutiérrez (2021), quien aplicó encuestas a 1,200 habitantes en múltiples municipios. Esta diferencia en tamaño muestral limita la generalización estadística de los hallazgos sobre percepción comunitaria, aunque la unanimidad en el apoyo (100%) sugiere una tendencia fuerte independiente de limitaciones muestrales. La literatura sobre métodos mixtos en investigación de proyectos ambientales sugiere que estudios con muestras pequeñas pueden complementarse con métodos cualitativos profundos (entrevistas, grupos focales) que esta investigación no incluyó.

### **6.5 Aportes al Campo de Estudio de Gerencia de Proyectos Ambientales**

Esta investigación realiza varios aportes específicos al campo de conocimiento de gerencia de proyectos de infraestructura ambiental en contextos municipales colombianos:

- Establece una tipología específica de componentes críticos de gestión adaptada a proyectos UASB en municipios pequeños, diferenciándose de marcos generales que no consideran particularidades como dependencia de ciclos políticos municipales, limitaciones presupuestales estructurales, o capacidades técnicas locales reducidas. Este aporte metodológico puede servir como referencia para otros municipios con características demográficas y socioeconómicas similares.
- Valida empíricamente la importancia de la gestión temprana de stakeholders mediante el contraste entre el proyecto fallido de 2019 (sin socialización) y el apoyo unánime identificado en esta investigación (con socialización estructurada). Este hallazgo refuerza teóricamente los planteamientos de Freeman (2010) con evidencia específica del contexto de saneamiento básico en Colombia.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

- Propone una matriz integrada de evaluación de beneficios que articula dimensiones ambientales, sociales y económicas con componentes específicos de gestión de proyectos. Mientras la literatura previa tiende a abordar estas dimensiones separadamente (estudios ambientales, evaluaciones económicas, análisis sociales), esta investigación las integra en un marco coherente de gestión que permite optimización simultánea de beneficios múltiples.
- Documenta la importancia de coherencia entre características socioeconómicas locales y selección tecnológica como factor crítico de éxito. La correspondencia identificada entre predominio de estratos bajos (79.28%) y tecnología de bajo costo operacional (UASB) representa un hallazgo con implicaciones para diseño de políticas públicas de saneamiento básico en municipios con perfiles socioeconómicos similares.
- Establece que proyectos de saneamiento básico en municipios pequeños requieren períodos de diseño y planificación proporcionalmente más extensos que en ciudades grandes, debido a limitaciones en disponibilidad de información técnica, capacidades institucionales reducidas, y necesidad de procesos más amplios de construcción de consensos comunitarios. Este hallazgo contrasta con aproximaciones estándar de cronogramas que asumen capacidades institucionales homogéneas independiente del tamaño municipal.

### **6.6 Limitaciones del Estudio e Implicaciones para Interpretación de Resultados**

Es fundamental reconocer las limitaciones de esta investigación para contextualizar adecuadamente sus aportes al campo de conocimiento.

- Primera limitación: el estudio se circunscribe a la fase de diseño de la ruta de implementación sin validación empírica durante ejecución real del proyecto. Esto implica que los componentes críticos identificados y la metodología propuesta constituyen hipótesis fundamentadas teórica y empíricamente en literatura, pero no validadas en la práctica operacional. La literatura sobre gestión de proyectos (Kerzner, 2017; PMI, 2021) establece que entre el diseño y la implementación exitosa existe una brecha significativa donde emergen factores no anticipados.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

- Segunda limitación: el tamaño muestral de la encuesta (20 participantes con muestreo no probabilístico) limita la generalización estadística de hallazgos sobre percepción comunitaria. Aunque la unanimidad en el apoyo (100%) sugiere una tendencia fuerte, estudios con mayor rigor metodológico como Gutiérrez (2021) utilizan muestras representativas que permiten inferencias estadísticas más robustas. Esta limitación implica que los hallazgos sobre aceptación comunitaria deben interpretarse como indicativos, pero no concluyentes.
- Tercera limitación: la ausencia de análisis económico-financiero detallado que incluya flujos de caja, análisis de sensibilidad, y evaluación de sostenibilidad operacional a largo plazo. Mientras González y Serrano (2015) desarrollaron evaluaciones económicas integrales utilizando VPN y TIR, esta investigación se limitó a identificación cualitativa de beneficios económicos sin cuantificación monetaria precisa. Esta limitación reduce la utilidad del estudio para toma de decisiones de inversión por parte de autoridades municipales.
- Cuarta limitación: el estudio asume condiciones técnicas óptimas de operación del reactor UASB (eficiencia 80%) sin incorporar análisis de variabilidad operacional documentada en literatura. Torres y Pineda (2017) y Salazar-Larrota et al. (2019) reportan que plantas reales frecuentemente operan por debajo de capacidades de diseño debido a factores operacionales. Esta limitación implica que los beneficios ambientales proyectados podrían ser optimistas respecto a desempeño real.
- Quinta limitación: la investigación no incluyó análisis comparativo con tecnologías alternativas de tratamiento. Ramón (2010) advierte que la selección tecnológica debe fundamentarse en un análisis global que considere múltiples opciones. Esta limitación implica que, aunque se justifica la selección de UASB, no se puede afirmar categóricamente que sea la opción óptima sin comparación sistemática con alternativas.

### **6.7 Implicaciones para Política Pública y Práctica Profesional**

Los resultados de esta investigación tienen implicaciones significativas para diseño de políticas públicas de saneamiento básico en Colombia y para la práctica profesional de ingenieros y gestores de proyectos ambientales.

Para política pública, los hallazgos sugieren que programas nacionales de saneamiento básico deberían incorporar componentes específicos de fortalecimiento de capacidades de gestión de proyectos a nivel municipal, no solo transferencias de recursos financieros. La experiencia del proyecto fallido de 2019 en Génova evidencia que la disponibilidad de recursos no garantiza éxito sin capacidades de gestión adecuadas. Esto implica que políticas como el Plan Nacional de Desarrollo deberían incluir líneas de asistencia técnica en gerencia de proyectos dirigidas específicamente a municipios pequeños.

Los resultados sobre importancia de gestión de stakeholders sugieren que procesos de licenciamiento ambiental y aprobación de proyectos deberían incorporar requisitos explícitos de socialización temprana y participación comunitaria estructurada, no solo como formalidad procedimental sino como componente técnico del diseño del proyecto. Esto podría gestionarse mediante inclusión en guías metodológicas de formulación de proyectos de saneamiento básico.

La coherencia identificada entre características socioeconómicas y selección tecnológica sugiere que políticas de saneamiento deberían evitar aproximaciones homogéneas que promuevan tecnologías estándar independiente de contextos locales. En su lugar, deberían promover una metodología de selección tecnológica más amplia que considere capacidades de pago, disponibilidad de capacidades técnicas locales, y condiciones socioeconómicas específicas. Esto tiene implicaciones para el diseño de términos de referencia de estudios de factibilidad de proyectos de saneamiento.

Para la práctica profesional, los resultados validan la importancia de que ingenieros civiles y ambientales desarrollen competencias en gerencia de proyectos más allá de conocimientos técnicos puros. La identificación de componentes críticos de gestión como factores determinantes de éxito sugiere necesidad de programas de formación profesional que integren contenidos de gestión de stakeholders, gestión de riesgos, y metodologías de gestión de proyectos en currículos de ingeniería.

### 6.8 Nuevas Líneas de Investigación Derivadas

El proceso de investigación ejecutado y las limitaciones identificadas sugieren múltiples líneas de investigación futura que pueden expandir el conocimiento en el campo:

- Primera línea: Estudios de seguimiento longitudinal que documenten la implementación real del proyecto en Génova (si se ejecuta) para validar empíricamente si los componentes críticos identificados efectivamente conducen al éxito operacional. Esta investigación podría utilizar metodología de estudio de caso único con seguimiento durante fases de construcción y primeros años de operación, generando evidencia sobre brecha entre diseño y ejecución.
- Segunda línea: Investigaciones comparativas más amplias, que apliquen la metodología de gestión propuesta en múltiples municipios con características similares, permitiendo identificar factores contextuales que moderan efectividad de componentes de gestión. Estudios comparativos entre 5-10 municipios pequeños del Eje Cafetero podrían generar evidencia sobre generalización de hallazgos.
- Tercera línea: Desarrollo de modelos que cuantifiquen la relación causal entre el tratamiento de aguas residuales y variables económicas como flujos turísticos, valorización predial, o desarrollo de actividades productivas. Estudios con diseños experimentales podrían generar evidencias más robustas sobre los beneficios económicos reales versus los proyectados.
- Cuarta línea: Investigación sobre modelos organizacionales y esquemas de gestión operacional sostenibles para PTAR en municipios pequeños. La literatura revisada identifica deficiencias operacionales como factor crítico de fracaso, pero no propone modelos innovadores de gestión. Estudios sobre esquemas público-privados, operación regional mancomunada, o modelos comunitarios de gestión podrían aportar soluciones.
- Quinta línea: Desarrollo de metodologías de análisis para selección tecnológica en saneamiento básico que incorporen explícitamente dimensiones de gestión de proyectos. Investigaciones que generen herramientas de decisión validadas empíricamente para selección entre tecnologías alternativas considerando capacidades de gestión locales.
- Sexta línea: Estudios sobre apropiación social de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales y municipios pequeños. La unanimidad en apoyo

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

identificada en esta investigación contrasta con literatura que reporta frecuente rechazo comunitario (Sáenz et al., 2016). Investigaciones cualitativas profundas sobre factores que determinan aceptación o rechazo podrían generar conocimiento aplicable a estrategias de comunicación.

- Séptima línea: Investigación sobre modelos de aprovechamiento económico de subproductos (lodos, biogás) que sean viables en escalas pequeñas. La literatura establece potencial teórico, pero la evidencia empírica sobre viabilidad económica en municipios menores a 10,000 habitantes es escasa. Estudios detallados podrían determinar umbrales de viabilidad.
- Octava línea: Desarrollo de indicadores específicos de sostenibilidad operacional de PTAR en municipios pequeños que permitan monitoreo y evaluación continua. La literatura propone indicadores genéricos, pero indicadores adaptados a contextos de capacidades técnicas limitadas y recursos restringidos son necesarios.

### **6.9 Reflexiones Finales sobre el Proceso de Investigación**

El proceso de investigación ejecutado evidenció la complejidad inherente de articular conocimientos técnicos de ingeniería con principios de gerencia de proyectos en contextos municipales reales. La experiencia de diseñar una ruta de implementación para Génova reveló que factores frecuentemente considerados "no técnicos" (gestión de stakeholders, comunicación comunitaria, articulación institucional) son en realidad tan determinantes del éxito como aspectos técnicos puros (dimensionamiento hidráulico, selección de tecnología, diseño estructural).

Esta investigación también evidenció limitaciones de aproximaciones puramente cuantitativas para abordar fenómenos complejos como implementación de proyectos de infraestructura ambiental. Mientras cálculos técnicos pueden determinar con precisión caudales, eficiencias de remoción, y generación de subproductos, la materialización de estos resultados técnicos en beneficios reales para comunidades depende de factores cualitativos (confianza comunitaria, capacidades institucionales, voluntad política) difíciles de cuantificar, pero críticamente importantes.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

El contraste entre el proyecto fallido de 2019 y el apoyo identificado en 2025 sugiere que procesos de gestión bien estructurados pueden revertir historias de fracaso y generar condiciones para éxito. Sin embargo, también sugiere cautela: el apoyo en fase de diseño no garantiza sostenibilidad durante implementación y operación de largo plazo. La brecha entre intención y acción, entre diseño y ejecución, entre apoyo inicial y compromiso sostenido, representa desafíos que solo pueden abordarse mediante gestión de proyectos rigurosa y adaptativa.

Finalmente, esta investigación refuerza la importancia de enfoques interdisciplinarios que integren ingeniería, gestión, ciencias sociales, y economía para abordar desafíos complejos de desarrollo sostenible. El tratamiento de aguas residuales no es solo un problema técnico de remoción de contaminantes, sino un desafío multidimensional que requiere integración de conocimientos diversos y participación de actores múltiples. La gerencia de proyectos emerge no como disciplina auxiliar sino como componente fundamental para traducir soluciones técnicas en beneficios sostenibles para comunidades.

## 7 CONCLUSIONES

La caracterización técnica del proyecto permitió establecer que el reactor UASB es una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío. Los cálculos realizados determinaron que el caudal proyectado para el año 2050 alcanzaría 47.03 L/s, volumen técnicamente manejable con esta tecnología. Las aguas residuales del municipio presentan una contaminación de 220 mg/L de DBO<sub>5</sub>, y con la eficiencia de remoción del reactor UASB (80%), el agua tratada tendría aproximadamente 44 mg/L, cumpliendo con la normativa ambiental vigente. La capacidad de generar subproductos aprovechables, específicamente 27.7 toneladas anuales de lodos estabilizados y 127,750 m<sup>3</sup> anuales de biogás, fortalece la sostenibilidad económica del proyecto. La tecnología propuesta resulta especialmente adecuada para las características socioeconómicas del municipio, donde el 79.28% de los hogares pertenecen a estratos medio y bajo, dado que el reactor UASB tiene bajo costo operacional.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Sin embargo, la viabilidad técnica por sí sola no garantiza el éxito de la implementación, como lo demuestra la experiencia previa del municipio. En este sentido, la identificación y gestión de stakeholders reveló la importancia crítica de este componente para el éxito del proyecto. Se identificaron stakeholders primarios como la comunidad local, la administración municipal y los operadores del sistema, así como stakeholders secundarios incluyendo la CRQ, el sector agrícola, el sector turístico y organizaciones comunitarias. La experiencia del proyecto fallido de 2019, donde la falta de socialización contribuyó significativamente al declive de la iniciativa, contrasta con el apoyo unánime identificado en esta investigación cuando se implementaron estrategias estructuradas de información y participación. El análisis demostró que una gestión efectiva de stakeholders requiere clasificarlos según su nivel de poder e interés, desarrollar estrategias diferenciadas de comunicación, y establecer mecanismos formales de participación desde las etapas iniciales del proyecto.

Para materializar esta gestión efectiva de stakeholders y asegurar el éxito del proyecto, se identificaron componentes críticos de gestión que deben articularse sistemáticamente. Estos componentes incluyen la gestión del alcance, la gestión de riesgos, la gestión de recursos, la gestión del cronograma y la gestión de la calidad. La gestión de riesgos se identificó como especialmente importante, categorizando los riesgos en técnicos, ambientales, financieros, sociales e institucionales, cada uno con estrategias específicas de mitigación. La gestión de recursos requiere articular múltiples tipos de recursos humanos, financieros, físicos y tecnológicos durante todas las fases del proyecto. El cronograma tentativo contempla cuatro fases principales: estudios y diseños (6 meses), construcción (12 meses), puesta en marcha (3 meses) y operación permanente. Estos componentes, integrados de manera sistemática, constituyen los elementos fundamentales que determinan el éxito o fracaso de proyectos de infraestructura ambiental en contextos municipales pequeños.

La implementación de estos componentes críticos requiere, a su vez, una metodología estructurada que ordene y facilite su ejecución. La metodología de gestión propuesta, basada en el ciclo de vida del proyecto con cinco fases (iniciación, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre), demostró ser apropiada para proyectos de tratamiento de aguas residuales en municipios pequeños. Las herramientas de gestión identificadas proporcionan mecanismos concretos para planificar, ejecutar y controlar el proyecto de manera ordenada. Los indicadores de seguimiento propuestos en tres dimensiones (gestión del proyecto, desempeño técnico y sostenibilidad) permiten monitorear integralmente el avance y resultados del proyecto. Esta

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

metodología representa una adaptación contextualizada de marcos generales de gestión de proyectos a las particularidades de municipios con menos de 10,000 habitantes en Colombia.

Cuando esta metodología se implementa adecuadamente, permite optimizar los múltiples beneficios que el proyecto puede generar para el municipio. La evaluación de beneficios del proyecto evidenció impactos positivos en múltiples dimensiones. Los beneficios ambientales incluyen la reducción del 80% en DBO5, la protección del río San Juan mediante el tratamiento de aguas residuales antes de su vertimiento, y la mejora del ambiente urbano al reducir olores y vectores transmisores de enfermedades. Los beneficios sociales abarcan mejoras en salud pública al reducir enfermedades asociadas a contaminación del agua (beneficiando especialmente al 79.28% de hogares en estratos vulnerables), fortalecimiento de prácticas agrícolas sostenibles mediante el uso de lodos como abono natural, y sensibilización comunitaria sobre preservación del agua. Los beneficios económicos incluyen el fortalecimiento de la imagen turística del municipio como parte del paisaje cultural cafetero, el ahorro para agricultores locales al utilizar lodos como fertilizante natural reduciendo compra de abonos industriales, y el potencial aprovechamiento energético de hasta 350 m<sup>3</sup> diarios de biogás. La gestión adecuada del recurso hídrico previene sanciones por incumplimiento ambiental, fortalece la reputación institucional y mejora el acceso municipal a financiación para proyectos de agua y saneamiento.

La posibilidad de materializar estos beneficios encuentra su fundamento en la aceptación y respaldo comunitario identificado durante la investigación. El resultado de la encuesta aplicada a 20 habitantes del municipio reveló aspectos fundamentales sobre la percepción comunitaria. El 100% de los encuestados apoya la implementación de la PTAR, demostrando un fuerte respaldo ciudadano que facilita la participación comunitaria en gestión ambiental. Ninguno de los encuestados está satisfecho con el manejo actual de aguas residuales en el municipio, evidenciando el reconocimiento comunitario del problema. La coherencia entre las características socioeconómicas identificadas y la tecnología propuesta valida la selección tecnológica desde la perspectiva de sostenibilidad social y económica. Estos resultados contrastan significativamente con la experiencia del proyecto de 2019, donde la ausencia de socialización impidió conocer y gestionar adecuadamente las expectativas y percepciones comunitarias, reforzando la importancia crítica de la gestión de stakeholders identificada en esta investigación.

En conclusión, el proyecto de implementación de un reactor UASB para tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío, es técnicamente viable, cuenta con apoyo social unánime, y puede ser sostenible económicamente si se gestiona adecuadamente mediante los componentes

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

críticos y la metodología propuesta en esta investigación. El éxito del proyecto depende fundamentalmente de la aplicación sistemática de principios de gerencia de proyectos, especialmente la gestión efectiva de stakeholders y el manejo proactivo de riesgos. La estructura de gestión propuesta no solo contribuye a resolver el problema específico de contaminación hídrica en Génova, sino que establece un modelo replicable para otros municipios con características similares en Colombia, demostrando que la optimización de beneficios ambientales, sociales y económicos solo es posible mediante una gestión integral del proyecto durante todas sus fases.

### **8 RECOMENDACIONES**

Teniendo en cuenta los resultados y conclusiones de esta investigación, se presentan las siguientes recomendaciones dirigidas a diferentes actores involucrados en la posible implementación del proyecto de tratamiento de aguas residuales en Génova, Quindío.

Se recomienda a la Administración Municipal de Génova implementar la ruta de gestión propuesta siguiendo las fases y componentes identificados en esta investigación, priorizando especialmente la gestión temprana de stakeholders para mantener el apoyo comunitario identificado. Es fundamental conformar un equipo interdisciplinario que integre profesionales en ingeniería, gestión de proyectos y trabajo social, garantizando capacidades técnicas y de gestión durante todas las fases del proyecto. Asimismo, se sugiere diversificar las fuentes de financiación mediante cofinanciación nacional, créditos de banca multilateral y cooperación internacional, evitando la dependencia exclusiva del presupuesto municipal. Antes de iniciar los diseños definitivos, es necesario contratar un levantamiento topográfico detallado y realizar caracterización de aguas residuales mediante análisis de laboratorio que validen las estimaciones utilizadas en este estudio.

Para la Corporación Autónoma Regional del Quindío se recomienda brindar acompañamiento técnico permanente al municipio durante las fases de diseño, licenciamiento y construcción del proyecto, facilitando el cumplimiento de requisitos ambientales. Es importante establecer

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

programas de seguimiento post-operacional que verifiquen el cumplimiento de compromisos ambientales y apoyen la resolución de dificultades operacionales que puedan surgir durante la operación del sistema.

La comunidad de Génova debe mantener la participación en los espacios de socialización y seguimiento del proyecto, ejerciendo veeduría ciudadana que garantice transparencia en la ejecución. Se recomienda que la comunidad se organice para aprovechar efectivamente los subproductos generados por la planta, particularmente los lodos como fertilizante y el potencial aprovechamiento de biogás en actividades agrícolas locales.

Para futuros investigadores se recomienda realizar estudios de seguimiento longitudinal que documenten la implementación real del proyecto si se ejecuta, validando empíricamente la efectividad de la ruta de gestión propuesta y generando lecciones aprendidas. Es necesario desarrollar un análisis financiero detallado que incluya flujos de caja, análisis de sensibilidad y evaluación de sostenibilidad operacional a largo plazo, complementando las limitaciones de este estudio. Se sugiere investigar la viabilidad técnica y económica del aprovechamiento de biogás en escalas pequeñas como la de Génova, determinando umbrales de viabilidad y modelos de gestión apropiados. Adicionalmente, se recomienda aplicar esta metodología de gestión en otros municipios similares del Eje Cafetero, permitiendo identificar factores contextuales que moderan su efectividad.

Finalmente, se recomienda a las instituciones académicas incorporar contenidos de gerencia de proyectos en currículos de ingeniería civil y ambiental, reconociendo que las capacidades de gestión son tan críticas como los conocimientos técnicos para el éxito de proyectos de infraestructura. Las entidades del orden nacional deben incluir componentes de asistencia técnica en gestión de proyectos dentro de programas nacionales de saneamiento básico, no limitándose únicamente a transferencias de recursos financieros. Es fundamental desarrollar guías metodológicas específicas para la formulación y gestión de proyectos de tratamiento de aguas residuales en municipios pequeños, considerando sus particularidades y limitaciones estructurales.

## REFERENCIAS

Alayon Salmeron, W. (2020). *Evaluación del tratamiento anaerobio con un Reactor de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) de las aguas residuales domésticas a temperatura mesofílica*.

Alcaldía de Génova. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal 2020–2023: Génova progresa en paz*. <https://www.genova-quindio.gov.co>

Alfárez Rivas, L. E., & Nieves Pimiento, N. (2019). Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. *Caribeña de Ciencias Sociales*.

BirdLife International. (2022). *Species factsheet: Merganetta armata*. <https://datazone.birdlife.org>

Bonilla-Bedoya, S., & Vélez-Torres, I. (2021). Turismo rural como estrategia de desarrollo territorial en Colombia. *Revista Estudios Socio-Jurídicos*, 23(1), 123–145. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/sociojuridicos>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *Panorama del acceso al agua y saneamiento en América Latina y el Caribe*.

Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres de Génova (CLOPAD). (2016). <https://genova-quindio.gov.co/>

Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). (2015). *Modelación de la calidad del agua del río San Juan*.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). *Política nacional de gestión del recurso hídrico*. <https://www.dnp.gov.co>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (s.f.). *TerriData*. <https://terridata.dnp.gov.co/>

Freeman, R. E. (2010). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Cambridge University Press.

González, L. M., & Serrano, J. A. (2015). Valoración económica de los beneficios ambientales del funcionamiento de la PTAR en el municipio de Ubaté–Cundinamarca. *Boletín Semillas Ambientales*, 9(2).

Gössling, S., & Hall, C. M. (2006). *Tourism and Global Environmental Change: Ecological, Social, Economic and Political Interrelationships*. Routledge.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Gutiérrez Muñoz, J. J. (2021). *Costos de inversión y beneficios del tratamiento de aguas residuales domésticas en el Municipio de Zipaquirá*.

Herrera, A., & Ruiz, J. (2020). Evaluación de los vertimientos en la cuenca del río Otún y sus efectos sobre la salud pública. *Revista Cuidarte*, 11(2), 66–74.  
<https://doi.org/10.15649/cuidarte.v11i2.827>

Hillson, D. (2009). *Managing Risk in Projects*. Gower Publishing.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2022). *Informe Nacional del Recurso Hídrico en Colombia*.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2025). *Plancha cartográfica 63302*.  
<https://www.colombiaenmapas.gov.co/>

Jiménez-Cisneros, B. E. (2015). *Water reuse: An international survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing.

Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons.

Lettinga, G., & Hulshoff Pol, L. W. (1991). Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor technology: A review. *Water Science and Technology*, 24(8), 25–35.  
<https://doi.org/10.2166/wst.1991.0153>

Livisi, Q., & Alonso, J. (2014). *Estudio de la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos aplicado a una localidad ubicado a una altitud de 3800 msnm*.

Londoño, E., & Martínez, F. (2016). Análisis de costos de operación de plantas de tratamiento en el Eje Cafetero. *Economía y Desarrollo*, 45(1), 89–104.

Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(1), 13-21.

Macías, J. G. L., & Guadalajara, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?*  
[http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc\\_ingreso\\_qualberto\\_limon\\_trabajo\\_de\\_ingre.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_qualberto_limon_trabajo_de_ingre.pdf)

Mata-Alvarez, J. (2003). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. IWA Publishing.

McCarty, P. L., & Smith, D. P. (1986). Anaerobic wastewater treatment. In *Advances in biochemical engineering/biotechnology* (Vol. 33, pp. 91–152). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-70998-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-70998-2_4)

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Méndez Sayago, J. A., Carreño Sayago, F., & Hernández Escolar, H. A. (2011). *Confiabilidad y viabilidad para la reutilización de los efluentes de las PTAR que operan con lagunas de estabilización en Cundinamarca. Producción + Limpia*, 6(1), 35–49.

Metcalf & Eddy. (2014). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3ª ed.). McGraw-Hill.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2000). *Resolución 1096 de 2000. RAS 2000*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021, 9 de diciembre). *Resolución 0799 de 2021: Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017*.

<https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0799-2021>

Moreno, A., Castillo, Y., & Ramírez, H. (2014). Diseño y operación de plantas de tratamiento comunitarias en zonas rurales de Nariño. *Revista Ingeniería y Región*, 6(2), 115–130.

Moreno, D. B., Jaimes, D. C., & Ochoa, Y. M. (2022). Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados. *Revista Ing-Nova*, 1(2), 215-226.

Organización Mundial del Turismo (OMT). (2018). *Turismo y gestión del agua: Retos y oportunidades*. OMT.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2023). *Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2023*.

Oropeza-García, N. A. (2006). *Lodoso residuales: Estabilización y manejo*. Caos conciencia.

Project Management Institute (PMI). (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)* (7ª ed.).

Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 58-69.

Sáenz, L. E., Zambrano, D. A., & Calvo, J. A. (2016). Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble-Puntarenas, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(2), 137-149.

Salazar-Larrota, L., Uribe-García, L., Gómez-Torres, L., & Zafra-Mejía, C. (2019). Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. *Dyna*, 86(209), 319-326.

Sánchez, M., & Gómez, L. (2018). Tecnologías limpias aplicadas a plantas de tratamiento en Antioquia. *Revista Tecnología y Ambiente*, 9(1), 88–101.

Sapag Chain, N. (2011). *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*. Pearson.

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.

Torres, C., & Pineda, D. (2017). Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Sogamoso. *Revista Ambientales*, 19(2), 34–47.

Unidad para las Víctimas. (2022). *Registro Único de Víctimas – Informe municipal de Génova (Quindío)*.

Vázquez González, M. B., & López Ocaña, G. (2011). *Evaluación técnica de un tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales en Centro, Tabasco. UNACAR Tecnociencia*, (1), 32–47.

Villar Cañadas, C. J. (2023). *Análisis de la viabilidad y beneficios para aprovechamiento de lodos biológicos de PTAR en la producción de biogás: Estudio de casos para su posible implementación en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-PTAR Funza*.

# IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

## ANEXOS

### Anexo 1 Encuesta

N°	1	2	3	4	5	6
1	Sí	No	Sí	Contaminación, sedimentos, turbidez	Sí	Calidad de vida y salud de las personas
2	Sí	No	Sí	no hay PTAR	Sí	salud
3	Sí	No	No		Sí	Salud al garantizar el óptimo consumo de agua
4	Sí	No	Sí	mal manejo de los residuos del pueblo y las fincas	Sí	Mejor manejo de residuos y disminución de contaminación en los ríos
5	Sí	No	Sí		Sí	
6	Sí	No	Sí	Aguas turbias y vertimiento de aguas residuales en fuentes hídricas	Sí	Mejoraría la calidad del agua que recae sobre las fuentes hídricas, protegería no solo el agua, sino la fauna y la flora y evitaría muchas enfermedades que afectan a la población.
7	Sí	No	No		Sí	Mejor manejo de las aguas residuales

# IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

8	Sí	No	No		Sí	Mejoras en el ambiente y manejo de aguas residuales para reducir contaminación
9	Sí	No	Sí	No hay manejo responsable con las aguas residuales	Sí	Sería una ayuda para el medio ambiente ya que el recurso hídrico no se vería afectado directamente por la contaminación que se genera diariamente por culpa de los desechos humanos
10	Sí	No	Sí		Sí	
11	Sí	No	Sí	Agua turbia en algunas ocasiones	Sí	Mejor calidad en el agua
12	Sí	No	No		Sí	Porque ya como habitantes el agua sería más limpia con menos tratamientos.
13	Sí	No	Sí	El trato del agua es ineficaz	Sí	
14	Sí	No	Sí		Sí	Menos contaminación

## IMPLEMENTACIÓN DE REACTOR UASB PARA TRATAR AGUAS RESIDUALES

15	Sí	No	Sí	El colapso del sistema en temporadas invernales	Sí	La implementación de una PTAR en el municipio contribuiría con la protección del medio ambiente, reduciendo la contaminación orgánica o química generada por los habitantes y se preservan los ecosistemas acuáticos de aguas abajo del municipio
16	Sí	No	Sí	Calidad del agua deplorable	Sí	Contribución a la sostenibilidad ambiental
17	Sí	No	No		Sí	Nuestras fuentes hídricas no se contaminarían
18	Sí	No	Sí		Sí	Más salud para la población, agua más limpia
19	Sí	No	Sí		Sí	Prevención de enfermedades, eliminación de contaminantes
20	Sí	No	Sí	Agua sucia	Sí	Mejor calidad de agua para todos