

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR EL
DESCANSO, CORREGIMIENTO DE CALUCÉ, PALMIRA, COLOMBIA**

RONALDO SÁNCHEZ SUÁREZ



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (3754)
SANTIAGO DE CALI
2025**

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR EL
DESCANSO, CORREGIMIENTO DE CALUCÉ, PALMIRA, COLOMBIA**

RONALDO SÁNCHEZ SUÁREZ

Trabajo De Grado Presentado como Requisito Parcial para optar por el Título de
Ingeniero Sanitario y Ambiental

DIRECTOR

Profesor Carlos Arturo Madera Parra Ph.D

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (3754)

SANTIAGO DE CALI

2025

DEDICATORIA

Se lo quiero dedicar a Dios por mostrarme que mi vida tiene un propósito y por llevarme donde nunca habría siquiera imaginado.

A mis abuelos y a mis padres, por su amor incondicional y por su sacrificio para que yo pudiera acceder a mejores oportunidades.

A mi hermana, por su cariño, por estar conmigo en las malas y también por estar ahí para celebrar cada logro.

A aquellos que ya partieron de este mundo, pero que dejaron en mi vida una huella imborrable que continúa acompañándome.

A mis compañeros de carrera, Alex y Juan, por darme esa voz de aliento y ese apoyo incondicional cuando los tiempos se tornaban difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios, por permitir que pudiera llegar a estas instancias y darme las herramientas necesarias para salir adelante.

A mi familia, a mis amigos y a Martina quienes me impulsaron a continuar incluso cuando estuve a punto de rendirme.

Al profesor Carlos Madera por creer en esta propuesta y dirigirla desde su amplia experiencia, la cual fue fundamental para la consecución de los objetivos planteados.

A los profesores Henry Hurtado, Federico Pinzón, Jaime Mosquera, Hernando Uribe y Pablo Manyoma, por su valioso apoyo y por sus aportes ofrecidos en las etapas del proyecto en las que participaron.

A la comunidad del sector de El Descanso y de Calucé por abrirme las puertas de su territorio para la realización de este proyecto y por acoger esta propuesta con genuino interés.

A la Universidad del Valle, por mi formación profesional y por haber contribuido a desarrollar en mí un pensamiento más crítico y reflexivo.

Por último y no menos importante, quiero agradecerme por haber sacado adelante esta parte de mi proyecto de vida, aun cuando lo único que abundaba eran comentarios desalentadores.

RESUMEN

La inadecuada gestión de las aguas residuales en zonas rurales de Colombia sigue generando riesgos ambientales y sanitarios para las comunidades. Tal es el caso del sector de El Descanso, en el corregimiento de Calucé, zona rural de Palmira, Valle del Cauca, donde los habitantes enfrentan la ausencia de una tecnología de saneamiento básico que les garantice un ambiente de desarrollo adecuado. El tanque séptico existente fue diseñado para una población mucho menor, por lo que su capacidad de depuración es insuficiente, además presenta notorias deficiencias estructurales y operativas. Frente a esta situación, se formuló una propuesta para mejorar el manejo de las aguas residuales y excretas mediante un nuevo sistema para el sector El Descanso, cuya población es de 16 habitantes aproximadamente.

Se caracterizaron las condiciones socioculturales y ambientales mediante una encuesta aplicada con ayuda del Software KoboToolBox, desarrollado para el trabajo en campo con las comunidades, además se llevó a cabo un taller de cartografía social con el objetivo de analizar la interacción existente entre la comunidad y su entorno, haciendo énfasis en lo relacionado con el uso y la gestión del recurso hídrico.

Como resultado, se seleccionó la alternativa tecnología que más se ajustó a las condiciones y necesidades de la población mediante herramientas de análisis multicriterio y talleres con la comunidad, compuesta por trampa de grasas, tanque séptico y filtro anaerobio de flujo ascendente, capaz de remover hasta el 70 % de la carga contaminante.

Este estudio no sólo permitió definir una solución técnica viable y contextualizada, sino que también fortaleció la participación comunitaria como eje fundamental para aumentar la aceptabilidad de la propuesta tecnológica y la sostenibilidad de las soluciones de saneamiento en el ámbito rural.

Palabras clave: Saneamiento, Participación Comunitaria, Servicios básicos, Sostenibilidad.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. ANTECEDENTES.....	12
5. OBJETIVOS.....	14
5.1. Objetivo General.....	14
5.2. Objetivos Específicos.....	14
6. MARCO CONCEPTUAL.....	14
6.1. Ruralidad.....	14
6.2. Saneamiento Básico.....	14
6.3. Agua Residual Doméstica.....	15
6.4. Cartografía Social.....	16
6.5. Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Rurales.....	17
6.5.1. Trampa de Grasas.....	17
6.5.2. Tanque Séptico.....	18
6.5.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	19
6.6. Análisis Multicriterio.....	19
6.7. Grupos Funcionales.....	20
7. METODOLOGÍA.....	21
7.1. Zona de Estudio.....	21
7.2. Caracterización de las Condiciones Socioculturales y Ambientales de la Comunidad....	21
7.2.1. Caracterización Sociodemográfica.....	22
7.2.2. Cartografía Social.....	24
7.3. Selección de la Tecnología de Manejo de Aguas Residuales para la Zona de Estudio....	24
7.4. Predimensionamiento del Sistema de Saneamiento.....	25
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	25
8.1. Caracterización de los Aspectos Socioculturales y Ambientales.....	25
8.1.1. Encuesta.....	25
8.1.1.1. Perfil del Encuestado.....	27
8.1.1.2. Información de la Vivienda y de la Familia.....	28
8.1.1.3. Información Socioeconómica.....	29
8.1.1.4. Acceso y Calidad del Agua.....	31
8.1.1.5. Infraestructura de Saneamiento.....	32
8.1.1.6. Prácticas de Higiene y Saneamiento.....	35
8.1.2. Análisis de Variables.....	36
8.1.3. Cartografía Social.....	39
8.1.4. Tratamiento de Agua Potable.....	43
8.1.4.1. Esquema tecnológico.....	43
8.1.4.2. Línea de tratamiento.....	44

8.2. Selección de la Tecnología de Manejo de Aguas Residuales para la Zona de Estudio.....	49
8.2.1. Taller de Criterios de Selección.....	49
8.2.2. Preselección de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales.....	53
8.2.3. Tren de Tratamiento Seleccionado.....	61
8.3. Predimensionamiento del Sistema de Saneamiento.....	61
8.3.1. Trampa de Grasas.....	62
8.3.2. Tanque Séptico.....	65
8.3.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	72
8.4. Planos de las Unidades Seleccionadas.....	75
8.4.1. Trampa de Grasas.....	75
8.4.2. Tanque Séptico.....	76
8.4.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.....	77
8.4.4. Perfil del Sistema de Saneamiento.....	78
9. CONCLUSIONES.....	79
10. RECOMENDACIONES.....	80
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
12. ANEXOS.....	86
12.1. ANEXO 1: EVIDENCIA DE APLICACIÓN DE ENCUESTA.....	86
12.2. ANEXO 2: EVIDENCIA DE EJERCICIO DE CARTOGRAFÍA SOCIAL.....	90
12.3. ANEXO 3: LISTADOS DE ASISTENCIA A TALLERES.....	93
12.4. ANEXO 4: PREDIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES.....	95
12.5. ANEXO 5: ENCUESTA DIGITAL.....	98
12.6. ANEXO 6: PROPUESTA DE GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de un agua residual doméstica rural.....	16
Tabla 2. Características típicas de un agua residual bruta.....	16
Tabla 3. Diferencias entre la encuesta social, la observación y la entrevista.....	22
Tabla 4. Componentes de la Encuesta Digital.....	23
Tabla 5. Distribución de los encuestados.....	26
Tabla 6. Perfil de los encuestados.....	27
Tabla 7. Características de la Vivienda y composición familiar.....	29
Tabla 8. Distribución de ingresos y ocupación de los hogares.....	30
Tabla 9. Acceso y percepción de la calidad de la fuente de abastecimiento.....	32
Tabla 10. Servicios de saneamiento.....	34
Tabla 11. Prácticas de higiene y disposición de residuos sólidos.....	36
Tabla 12. Criterios e indicadores para la evaluación de tecnologías de saneamiento.....	52
Tabla 13. Preselección de tecnologías de tratamiento aplicables en comunidades rurales.....	54
Tabla 14. Matriz de Comparación de Alternativas para el Tratamiento Secundario.....	60
Tabla 15. Criterios de diseño para Trampa de Grasas según Normativa Vigente.....	62

Tabla 16. Unidades de Desagüe de Aparatos Sanitarios existentes en las viviendas.....	63
Tabla 17. Resumen de Cálculos de la Trampa de Grasas.....	64
Tabla 18. Criterios de diseño para Tanque Séptico según Normativa Vigente.....	65
Tabla 19. Resumen de Cálculos del Tanque Séptico.....	71
Tabla 20. Criterios de diseño para FAFA según Normativa Vigente.....	72
Tabla 21. Resumen de Cálculos del FAFA.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa hidrográfico de Calucé y su área de influencia. Fuente: GeoCVC (2021).....	12
Figura 2. Trampa de Grasas. Fuente: Tilley et al., 2018.....	18
Figura 3. Tanque séptico de un solo compartimento. Fuente: CONAGUA, 2016.....	18
Figura 4. Filtro anaerobio de flujo ascendente. Fuente: Tilley et al., 2018.....	19
Figura 5a. Cadena de los grupos funcionales.....	20
Figura 5b. Esquema general de Tratamiento de ARD. Fuente: Minvivienda (2021).....	20
Figura 6. Ubicación geográfica de la zona de estudio. Fuente: Curaduría Urbana de Palmira (2018), ResearchGate (2020), Secretaría de Planeación Municipal (2023) y Autor.....	21
Figura 7. Distribución espacial de las viviendas y del tanque séptico actual en el área de estudio. Fuente: Google Earth (2025).....	26
Figuras 8a y 8b. Ejemplo de algunas unidades sanitarias de las viviendas censadas. Fuente: Autor.....	33
Figura 9. Métodos de lavado de manos más usados por la comunidad de El Descanso. Foto: Autor.....	35
Figura 10. Distancia al Tanque versus Nivel de Ingresos.....	37
Figura 11. Percepción de Problemáticas asociadas al Tanque.....	38
Figura 12. Distancia al Tanque versus Problemas de Salud.....	39
Figura 13. Mapa social de usos del agua en El Descanso.....	40
Figura 14. Mapa participativo de afectaciones percibidas en los cuerpos hídricos.....	42
Figura 15. Diagrama de flujo de procesos del acueducto. Fuente: Autor.....	44
Figura 16. Bocatoma del acueducto. Fuente: Autor.....	45
Figura 17. Rejillas medias del acueducto. Fuente: Autor.....	45
Figura 18. Desarenador del acueducto. Fuente: Autor.....	46
Figura 19. Filtrado en el acueducto. Fuente: Autor.....	46
Figuras 20. Mecanismo de dosificación del agente desinfectante en el acueducto. Fuente: Autor.....	47
Figura 21. Hipoclorito de Calcio usado en la desinfección en el acueducto. Fuente: Autor....	47
Figura 22. Tanque de almacenamiento del acueducto. Fuente: Autor.....	48
Figura 23. Diagrama de la red de distribución del acueducto. Fuente: ASOVEAGUAS, 2024..	49
Figura 24. Desarrollo de la primera etapa del taller de selección de criterios. Fuente: Autor.	50

Figura 25. Desarrollo de la segunda etapa del taller de selección de criterios. Fuente: Autor.	50
Figura 26. Producto final del taller de selección de criterios. Fuente: Autor.	51
Figura 27. Tanque séptico actual. Foto: Autor.	59
Figura 28. Sanitario de tanque. Foto: Autor.	59
Figura 29. Esquema tecnológico seleccionado para la comunidad de El Descanso.	61
Figura 30. Valores de Profundidad Útil. Fuente: Minvivienda (2021).	66
Figura 31. Dotación Neta Máxima de Agua Potable. Fuente: Minvivienda (2021).	66
Figura 32. Vista en Perfil de Trampa de Grasas. Escala 1:100.	75
Figura 33. Vista en Planta de Trampa de Grasas. Escala 1:75.	76
Figura 34. Vista en Perfil de Tanque Séptico. Escala 1:100.	76
Figura 35. Vista en Planta de Tanque Séptico. Escala 1:150.	77
Figura 36. Vista en Perfil de FAFA. Escala 1:75.	77
Figura 37. Vista en Planta de FAFA. Escala 1:75.	78

1. INTRODUCCIÓN

El saneamiento ambiental abarca acciones para reducir riesgos sanitarios y contaminación, mejorando la salud. Se centra en tres pilares: agua segura, manejo de excretas y gestión de residuos sólidos. En comunidades rurales, la falta de servicios externos para agua, tratamiento de excretas y eliminación de residuos sólidos hace que estos problemas sean parte de su vida diaria (OPS, 2022).

En países de ingresos bajos y medios, cerca de 1,245,000 personas fallecen anualmente debido a la mala calidad de servicios de agua, saneamiento e higiene, representando el 89% de las muertes relacionadas. En 2019, el saneamiento deficiente fue responsable de aproximadamente 564,000 de estas muertes y contribuyó a enfermedades tropicales como helmintiasis intestinales, esquistosomiasis y tracoma. Esta deficiencia también se asocia con la malnutrición. En 2022, el 57% de la población mundial tenía acceso a servicios de saneamiento seguros, pero la falta de acceso persiste. La diarrea, prevenible con mejoras en agua, saneamiento e higiene, ocasionó la muerte de 395,000 niños menores de 5 años en 2019. La defecación al aire libre agrava la enfermedad y la pobreza. En naciones con altos índices de esta práctica se registran más muertes infantiles, altos niveles de malnutrición y desigualdad económica (OMS, 2023).

En Colombia, a pesar de los esfuerzos por brindar acceso al agua potable y saneamiento básico, persisten brechas significativas entre áreas urbanas y rurales. En 2021, se logró un 93,4% de cobertura de agua potable, 89,5% en saneamiento adecuado y 82,5% en recolección de residuos sólidos urbanos. Las diferencias entre áreas rurales y urbanas son de 21 puntos porcentuales en agua, 18 en alcantarillado y una brecha mayor de 68,3 puntos en servicios de recolección de residuos (DANE, 2021).

En el Valle del Cauca, según datos de la Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca (2020), el 53% (aproximadamente 350,000 usuarios) de la población rural carece de acceso a agua potable. En 113 acueductos rurales, se ha determinado un nivel de riesgo sanitario inviable, con presencia de contaminación por coliformes totales y *Escherichia Coli* en el suministro de agua, lo que representa un peligro para la salud pública. Además, investigaciones sobre otros tipos de coronavirus SARS indicaron la persistencia del virus en orina y heces de personas infectadas por más de 100 días, resaltando la necesidad urgente de desinfectar adecuadamente el agua destinada al consumo humano en estas áreas rurales.

En ese sentido, el presente trabajo abordó uno de los problemas de saneamiento ambiental que afecta a los habitantes del sector El Descanso, en la zona rural de Palmira, Colombia. La gestión inadecuada de aguas residuales motivó la búsqueda de una alternativa para tratar estos afluentes. Para ello, se caracterizaron las condiciones socioculturales y ambientales de la comunidad mediante una encuesta, además se emplearon distintas herramientas como cartografía social y análisis multicriterio, que combinadas permitieron seleccionar un tren de tratamiento conformado por Trampa de Grasas, Tanque Séptico y Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, capaz de remover hasta el 70 % de la carga contaminante. Con este trabajo se pudo constatar que la participación comunitaria es clave para contribuir a la sostenibilidad de los proyectos de saneamiento rural.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el año 2022, aproximadamente el 57% de la población global, equivalente a 4600 millones de personas, usaba servicios de saneamiento manejados de manera segura. No obstante, más de 1500 millones de individuos continúan sin acceder a servicios esenciales de saneamiento, careciendo de unidades sanitarias. De este grupo, 494 millones aún practican la defecación al aire libre, ya sea en alcantarillas, áreas abiertas de agua o detrás de arbustos (OMS, 2023).

La ausencia de sistemas de saneamiento seguro genera una serie de impactos negativos en la salud de la población. Entre ellos, la presencia de diarrea, un problema de salud pública y una causa principal de enfermedad y mortalidad en niños menores de cinco años en países de ingresos bajos y medios, incluyendo el cólera, una enfermedad diarreica mortal si no se trata rápidamente. Así mismo, se destacan enfermedades tropicales desatendidas como la helmintiasis transmitida por el suelo contaminado, la esquistosomiasis y el tracoma, que representan una carga de salud significativa a nivel mundial (UNICEF, 2020).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, adoptados en 2015, constituyen un llamado global para erradicar la pobreza, preservar el planeta y asegurar la paz y prosperidad para todos para el 2030 (PNUD, 2023). En materia de agua y saneamiento se espera para 2030, alcanzar un acceso universal y asequible al agua potable, así como acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para eliminar la defecación al aire libre, priorizando las necesidades de mujeres, niñas y personas vulnerables. Así como también mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando vertidos y minimizando la emisión de sustancias peligrosas. Se busca reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratamiento y aumentar significativamente el reciclaje y la reutilización segura a nivel global (ONU, 2015).

En Colombia, el avance hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible evidencia rezagos significativos: en 2020, solo el 73% de la población total accedió a agua potable segura y el 18% a saneamiento adecuado; apenas se trató el 21% de las aguas residuales, y el manejo integral de los recursos hídricos alcanzó un 57%, con una financiación del 42%. Estas cifras reflejan una brecha considerable en el acceso equitativo al agua y al saneamiento, acentuada por las disparidades territoriales y climáticas que afectan especialmente a las regiones más vulnerables (Santos y Zamora, 2023). Esta desigualdad se enmarca en un contexto histórico de abandono del sector rural, consecuencia de un modelo económico que prioriza la industria y los servicios urbanos, dejando rezagado al campo colombiano. Como señalan Rincón Zapata et al. (2021), esta orientación ha generado profundas brechas sociales, económicas y territoriales que persisten y resultan difíciles de superar sin una intervención estructural y sostenida.

A este deficiente avance se le suma el abandono estatal, es decir, la ausencia total de instituciones y servicios públicos en un área específica. En el contexto colombiano, las mayores afectaciones se registran en los departamentos del norte, como Bolívar, Córdoba y Magdalena, y en el sur, particularmente en Putumayo y Caquetá. Esto refleja una marcada desigualdad regional; por ejemplo, mientras en Antioquia solo el 3,2% de los municipios enfrentan esta situación, en Putumayo supera el 61%. En total, alrededor del 36% de los

municipios colombianos se encuentran en un estado de capacidad institucional baja o crítica, dejando a los habitantes desprotegidos y sin acceso a servicios básicos (Rodríguez, 2021).

En cuanto a la zona de estudio, de acuerdo con Java y Vega (2019), Calucé cuenta con 135 viviendas y una población de alrededor de 900 personas, y una cobertura de 99% de acceso a agua potable, gestionado mediante el acueducto comunitario operado por ASOVEAGUAS; sin embargo, el manejo de las aguas residuales, que en su mayoría se hace por medio de pozos sépticos, cuenta con una cobertura entre 60 y 70 %. Los habitantes del territorio se encuentran constituidos como Organización No Gubernamental (ONG), lo que les ha permitido desarrollar proyectos destinados a la conservación de las microcuencas, planes de mejoramiento ambiental, pero sobre todo generar conciencia en la población sobre el uso racional de los recursos naturales.

En las visitas de reconocimiento realizadas al corregimiento de Calucé ha quedado en evidencia que hay zonas vulnerables; se cuenta con sistemas de saneamiento, cuya operación y mantenimiento es deficiente o nula, debido a que solo se dispone de un equipo vector para toda la zona rural de Palmira, equipo que además, se encuentra fuera de servicio. El sector del Descanso, cuenta con un tanque séptico con una capacidad ya excedida; puesto que, cuando fue diseñado se estimó para un total de 3 familias; no obstante, en la actualidad hay 7 familias que hacen uso de este mismo sistema para tratar sus efluentes. Frente a este panorama surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la alternativa tecnológica más adecuada de acuerdo con el contexto particular del sector de El Descanso para el manejo de aguas residuales domésticas y excretas?

3. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable y al saneamiento básico en las zonas rurales de Colombia continúa siendo un desafío estructural que trasciende las soluciones técnicas convencionales. Las limitaciones en cobertura, operación y mantenimiento de los sistemas rurales reflejan la falta de atención institucional y la débil articulación entre los componentes técnicos, sociales y ambientales (Méndez, 2020). Esto no solo afecta la salud y la calidad de vida de las comunidades, sino que también contribuye a la degradación de los ecosistemas y al incumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el acceso al agua limpia y saneamiento, salud y equidad territorial .

El sector El Descanso está ubicado en una zona donde nacen varias quebradas como La Sopera, Los Robles, Los Negros y La Quisquina, que desembocan en el Río Nima y éste a su vez en el Río Amaime, como se aprecia en la figura 1. Dada su posición geográfica, el sector enfrenta una problemática ambiental y sanitaria de gran relevancia. La ausencia de un sistema que trate adecuadamente las aguas residuales ha provocado que se contaminen estas fuentes hídricas y afectaciones a la población, que ha manifestado su inconformidad por los problemas derivados como los olores ofensivos y el deterioro del territorio.



Figura 1. Mapa hidrográfico de Calucé y su área de influencia. **Fuente:** GeoCVC (2021).

Las zonas rurales a menudo son las más rezagadas en cuanto a inversiones en desarrollo y esto ha tenido repercusiones en el bienestar de las personas y de los ecosistemas. Por lo general, la ruralidad depende de la voluntad política y cuando se carece de ésta, se debe intermediar por soluciones de ámbito colectivo como es el caso del corregimiento de Calucé, donde la creación de la planta de tratamiento de agua potable, operación y mantenimiento ha sido posible enteramente gracias a la voluntad de la comunidad sin acompañamiento técnico ni financiero suficiente por parte de las instituciones públicas. Esto evidencia el potencial de la participación ciudadana para impulsar soluciones sostenibles, pero también la urgencia de fortalecer las capacidades locales mediante apoyo institucional y políticas coherentes.

Por lo tanto, la presente propuesta se justifica en la necesidad de fortalecer las condiciones de saneamiento en el sector El Descanso mediante una intervención que integre el componente técnico y la participación comunitaria. Su desarrollo permitirá mejorar la salud ambiental, reducir la contaminación hídrica, proteger los ecosistemas locales y fortalecer la capacidad de autogestión de la comunidad, uniéndose en propósitos comunes. Además, aportará al cumplimiento de los compromisos nacionales en materia de sostenibilidad, sirviendo como modelo replicable en otros contextos rurales similares de Colombia.

4. ANTECEDENTES

El tema del saneamiento básico y el acceso al agua potable ha sido extensamente investigado, especialmente en la búsqueda de soluciones sostenibles. Estas soluciones son aplicables tanto en entornos urbanos como en zonas rurales. Sin embargo, en estas últimas, que suelen estar conformadas por comunidades pequeñas y dispersas, la implementación de servicios básicos se ve obstaculizada. Esto se debe a que muchos sistemas de saneamiento y abastecimiento requieren una cantidad mínima de población para operar de manera eficiente y conlleva una inversión económica considerable para que su establecimiento sea rentable (Muñoz et al., 2017).

A nivel mundial, políticas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecen el agua limpia y el saneamiento como unas de sus prioridades para las metas de 2030. Entre 2015 y 2022, el acceso global a servicios de agua potable segura aumentó del 69 % al 73 %, el acceso a saneamiento seguro del 49 % al 57 %, y el acceso a servicios básicos de higiene del 67 % al 75 %. Esto significó que 687 millones, 911 millones y 637 millones de personas adicionales, respectivamente, obtuvieron acceso a estos servicios esenciales. La defecación al aire libre se redujo de 715 millones a 419 millones durante este período. Sin embargo, en 2022, aún había desafíos significativos: 2.200 millones de personas carecían de agua potable segura, 3.500 millones carecían de saneamiento seguro y 2.000 millones no tenían acceso a instalaciones básicas para lavarse las manos en sus hogares, incluyendo a 653 millones sin ninguna instalación para lavarse las manos (ONU, 2023).

En el contexto de Colombia, se han establecido políticas públicas como el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3810 del Departamento Nacional de Planeación (2014), cuyo objetivo es promover el acceso al agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales de Colombia, a través de soluciones que sean acordes con las características de dichas áreas y que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural, además quedó establecido que debían introducirse ajustes normativos que garanticen un enfoque diferenciado para responder a las características de las zonas rurales, lo que quedó unos años más tarde contenido en la Resolución 0844 de 2018 (RAS Rural) del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. No obstante, todavía existen considerables obstáculos en términos de reglamentaciones, estructuras institucionales y modelos sostenibles a nivel nacional. Estos obstáculos dificultan la capacidad de las administraciones municipales para crear políticas efectivas en áreas rurales. Esto a su vez limita la mejora en la prestación de servicios básicos a las comunidades que residen en estas zonas (Jaimes, 2019).

Por su parte, estudios recientes como los de Rodríguez y Rojas (2022), Arroyave y García (2023) y López (2023) demuestran que la efectividad de los sistemas de saneamiento rural está directamente vinculada con la selección adecuada de tecnologías apropiadas, la participación comunitaria y la adaptación al contexto territorial. Estas experiencias confirman que las soluciones descentralizadas como los sistemas de tratamiento con tanque séptico, filtros anaerobios o pozos de absorción pueden resultar técnicas viables y socialmente aceptadas en comunidades rurales, siempre que se integren criterios de sostenibilidad, mantenimiento y aceptación cultural.

De acuerdo con los antecedentes presentados, para cerrar la brecha de acceso a servicios públicos básicos, como el saneamiento, es fundamental implementar herramientas que no se limiten a lo técnico, sino que integren elementos de participación comunitaria. Estos espacios deben propiciar procesos colectivos y preparatorios de análisis y selección de tecnologías, en los que la comunidad intervenga activamente en la toma de decisiones, de modo que las alternativas propuestas no sólo respondan a criterios técnicos, sino que promuevan la apropiación social y la sostenibilidad de las soluciones implementadas..

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Proponer una solución de manejo de las aguas residuales para el sector El Descanso, ubicado en el corregimiento de Calucé, zona rural de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

5.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones socioculturales y ambientales de la comunidad de la zona de estudio en materia de agua y saneamiento.
- Seleccionar una tecnología de manejo de aguas residuales, a través de herramientas de análisis multicriterio y mecanismos de participación comunitaria.
- Predimensionar la tecnología de manejo de aguas residuales seleccionada acorde a las necesidades de la comunidad de la zona de estudio.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Ruralidad

La separación clásica entre lo rural y lo urbano ha evolucionado. Antes considerados sistemas distantes y complementarios, ahora se fusionan en un contexto globalizado bajo el capitalismo. Las diferencias entre las visiones urbanas y rurales se desdibujan. A pesar de ello, la diversidad urbana actual permite redefinir lo rural como un espacio social característico y variado. Se plantea que la percepción de lo rural como opuesto a lo urbano es una construcción ideológica. Se sostiene que la ciudad, esencialmente capitalista, necesita recursos de áreas externas y así se genera esa dicotomía. La diferencia entre lo rural y urbano se atribuye más a construcciones ideológicas que a una realidad objetiva, aunque estas percepciones continúan afectando cómo vemos y entendemos estos espacios (Sánchez y Querol, 2019).

La ruralidad en Colombia, según el informe nacional sobre desarrollo humano del PNUD (2011), ha tenido que enfrentar diversos desafíos como el conflicto armado, la ineffectividad de las políticas públicas, el modelo de desarrollo rural caracterizado por concentrar la propiedad, ser excluyente, no favorecer la democracia, etc. Esto ha repercutido en la inviabilidad de muchos proyectos enfocados en aportar al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales, y en el aumento de la corrupción y la desviación de fondos destinados para estos propósitos. A esto se le suma que el acarreo de materiales e insumos para obras civiles, debido al mal estado de las vías o la inexistencia de éstas, sea mucho más costoso y el acceso a ciertos materiales sea casi imposible. Esto se debe tener en cuenta para la selección de cualquier tecnología destinada a solucionar problemáticas del ámbito rural.

6.2. Saneamiento Básico

De acuerdo con la Organización Panamericana de Salud [OPS] (2022), el saneamiento básico se refiere a un conjunto de medidas destinadas a mejorar el entorno para disminuir los riesgos para la salud, evitar la contaminación y, en consecuencia, promover mejores condiciones de bienestar. Se fundamenta en tres aspectos claves:

- **Agua Segura:** El agua es esencial para la vida en el planeta, incluyendo a los seres humanos. Nuestro cuerpo depende de ella para funcionar correctamente, ya que aproximadamente el 70% de nuestro cuerpo está compuesto por agua. Es crucial consumir agua de calidad, ya que el agua contaminada puede provocar enfermedades graves. Se utiliza en múltiples actividades diarias, pero es vital asegurar que el agua que bebemos y usamos para cocinar y lavarse sea segura y cumpla con estándares de calidad. El agua segura no solo está libre de gérmenes, sino que también debe estar libre de sustancias tóxicas para prevenir enfermedades agudas y crónicas. En lugares donde el suministro de agua potable es limitado, el tratamiento domiciliario asegura la calidad bacteriológica, pero no elimina sustancias tóxicas, por lo que es fundamental conocer la fuente de contaminación para tratarla adecuadamente.
- **Disposición Sanitaria de Excretas:** A menudo, se asocia erróneamente el término "saneamiento" únicamente con la disposición de excretas. El saneamiento básico es la tecnología más económica para eliminar de manera higiénica las excretas y aguas residuales, asegurando un entorno limpio y saludable en y alrededor de los hogares. Acceder al saneamiento básico implica garantizar seguridad y privacidad en el uso de estos servicios. Las excretas, producto de la digestión, requieren un manejo adecuado para prevenir enfermedades como infecciones parasitarias (ascariasis, oxiuriasis, esquistosomiasis), enfermedades diarreicas agudas (cólera, gastroenteritis, amibiasis, disentería) y hepatitis A, transmitida principalmente a través de la ruta "ano, mano, boca" al entrar en contacto con objetos contaminados por heces infectadas. La clasificación de sistemas de disposición de excretas se basa en el uso de agua para arrastre y se divide en tres tipos: estático, cuando no se emplea agua para el manejo de las heces; semidinámico, se refiere a sistemas que emplean agua para eliminar excretas, como las letrinas, éstas quedan confinadas dentro del predio o la vivienda donde está emplazada la tecnología; y dinámico, cuando las aguas residuales producidas se evacúan a través de un sistema de cañerías llamado alcantarillado.
- **Manejo Sanitario de los Residuos Sólidos:** El tratamiento de los residuos sólidos se basa en el principio de las 3 R: Reducir, Reutilizar y Reciclar. Primero, se busca minimizar la generación de residuos desde su origen, ya sea cambiando procesos de fabricación o hábitos cotidianos. Luego, se promueve darle nuevos usos a los materiales o aplicar tratamientos simples para su reutilización. Finalmente, se lleva a cabo el proceso de reciclaje para incorporar estos materiales en la creación de nuevos productos. Lo que no puede ser reducido, reutilizado o reciclado se destina al tratamiento y disposición final. El manejo de residuos en los hogares abarca varias etapas: generación, disposición inicial y, en casos con recolección, transporte, tratamiento y disposición final. Cuando no hay recolección, el tratamiento y la disposición de los residuos orgánicos se realizan en el domicilio.

6.3. Agua Residual Doméstica

Las aguas residuales domésticas (ARD) son las aguas residuales que provienen principalmente de actividades realizadas en los hogares, como las de la cocina, baños y lavaderos, entre otros usos similares. Se estima que estas aguas están compuestas en su mayoría por agua, aproximadamente un 99.9%, mientras que el restante 0.1% corresponde a sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Estos sólidos son los que presentan problemas y requieren un tratamiento y disposición adecuados (Cuenca et al., 2012).

A continuación, en la Tabla 1, se detallan las características fisicoquímicas y biológicas de este tipo de aguas residuales domésticas rurales según Romero (2004):

Tabla 1. Características de un agua residual doméstica rural.

Parámetro	Carga promedio	Unidades	Concentración típica	Unidades
DBO	30 - 35	g/c.d	220	mg/L
DQO	75 - 80	g/c.d	500	mg/L
SST	25 - 30	g/c.d	220	mg/L
Aceites y grasas	-	-	100	mg/L
Coliformes Totales	1x10 ⁸	NMP/100 mL	-	-

Fuente: adaptado de Romero, 2004.

En la tabla 2, se presentan las condiciones de un agua residual doméstica típica que autores como Metcalf, & Eddy (1995) han definido.

Tabla 2. Características típicas de un agua residual bruta.

Parámetro	Concentración			
	Débil	Media	Fuerte	Unidades
<i>DBO</i>	110	220	400	mg/L
<i>DQO</i>	250	500	1000	mg/L
<i>SSV</i>	80	165	275	mg/L
<i>SDT</i>	250	500	850	mg/L

Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1995.

De acuerdo con los datos presentados en las Tablas 2 y 3, las aguas residuales domésticas de las zonas rurales pueden considerarse de concentración media debido a los niveles típicos que éstas pueden alcanzar en promedio. Por este motivo es que hacerles un tratamiento adecuado se vuelve una necesidad debido al impacto que podrían tener sobre las fuentes hídricas y la salud de las personas y el ambiente.

En síntesis, el agua residual se refiere a aquella que ha sido alterada de su estado natural, ya sea por actividades antrópicas o eventos naturales, y que debido a su naturaleza, puede representar un riesgo para la salud ambiental.

6.4. Cartografía Social

Es un instrumento orientado a la planificación y al cambio social, que facilita la producción de conocimiento a partir de la participación activa y el compromiso comunitario, permitiendo así su propia transformación (Herrera, 2008).

El objetivo de realizar un mapeo social de tipo ecosistémico-poblacional es analizar el territorio a través de la representación espacial desde la perspectiva de los participantes, enfocado en la relación de la comunidad con el recurso hídrico. La elaboración de mapas permite visualizar de manera simultánea distintas dimensiones del territorio; éstas pueden ser económicas, políticas, culturales, ambientales, entre otras, cuyas interrelaciones permiten reconstruir su historia y proyectar futuros escenarios (Cachorro y Villagrán, 2019).

6.5. Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales en Zonas Rurales

De acuerdo con Lampoglia et al., (2018), en áreas rurales y pequeñas comunidades con mayor densidad de población, el suministro de agua y la gestión de excretas se vuelven complejos debido a desafíos comunes en esas regiones tales como:

- Bajos niveles socioeconómicos.
- Dispersión de viviendas o comunidades pequeñas, lo que dificulta aplicar soluciones a gran escala.
- Dificultades para acceder a nuevas tecnologías.
- Limitaciones financieras o nula disponibilidad de recursos.
- Operación de sistemas a través de comités locales con un nivel técnico limitado.
- Falta de supervisión, control y apoyo técnico de entidades públicas o grandes empresas de agua y saneamiento.

La gestión de excretas es desafiante, debido a que a medida que la comunidad crece y las viviendas se concentran, se requiere una solución centralizada, como redes de alcantarillado y tratamiento de desagües. Por esta razón, es crucial buscar alternativas de pequeña escala que se adapten a las necesidades específicas de cada comunidad. Estas soluciones deben ser fáciles de operar, no depender de mano de obra especializada y no implicar costos de mantenimiento elevados. A continuación, se presentan los principios de funcionamiento de las tecnologías que fueron seleccionadas en el presente proyecto conforme a los criterios definidos por los habitantes del sector El Descanso:

6.5.1. Trampa de Grasas

Las trampas de grasa están diseñadas para retener aceites y grasas, facilitando su recolección y adecuada disposición. Estas unidades consisten en cámaras construidas en ladrillo, concreto o plástico, con tapas que evitan la emisión de olores. Incorporan deflectores en la entrada y salida para reducir la turbulencia y permitir la separación de los materiales flotantes presentes en el agua residual, como se observa en la figura 2.

Pueden instalarse bajo el fregadero, lo cual resulta económico pero exige limpiezas frecuentes, o como interceptores externos de mayor capacidad, que requieren vaciamientos entre cada 6 y 12 meses. Cuando cuentan con suficiente volumen, también permiten la sedimentación de arenillas y sólidos pesados, funcionando de manera similar a una fosa séptica en cuanto a la remoción primaria (Tilley et al., 2018).

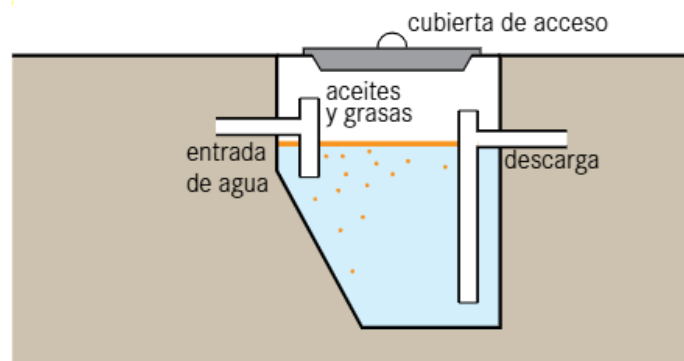


Figura 2. Trampa de Grasas. **Fuente:** Tilley et al., 2018.

6.5.2. Tanque Séptico

En un tanque séptico, el proceso implica retener el agua durante un tiempo adecuado para separar los componentes de las aguas residuales. Esto permite que los sólidos más pesados se sedimenten en el fondo, mientras que las grasas y aceites flotantes se acumulan en la parte superior. Esto favorece la descomposición bacteriana sin oxígeno de los lodos y elimina la necesidad de agitación o calentamiento. Además, éstos actúan como depósitos para almacenar los lodos resultantes, como se puede apreciar en la figura 3. En su construcción, se utilizan materiales como concreto, fibra de vidrio, acero, madera de secuoya y polietileno (Tchobanoglous y Crites, 2000). El agua entre estas capas es tratada y puede ser dirigida hacia campos de infiltración o a una unidad de tratamiento adicional. La materia orgánica en el fondo del tanque se descompone principalmente de manera anaeróbica, convirtiéndose en compuestos y gases más estables como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) (GIAS, 2017).

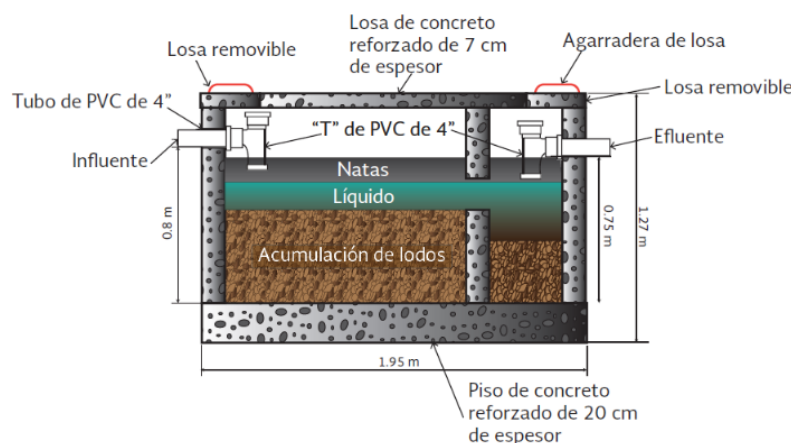


Figura 3. Tanque séptico de un solo compartimento. **Fuente:** CONAGUA, 2016.

6.5.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

El filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo en el cual las aguas residuales atraviesan el medio filtrante, quedando retenidas las partículas y la materia orgánica, que son degradadas por la biomasa adherida al empaque, como se observa en la figura 4. De acuerdo con Clark et al. (1989), los reactores anaerobios de crecimiento microbiano adherido con flujo ascendente se diferencian principalmente por el tipo de material de empaque empleado y por el nivel de expansión del lecho. En este sistema, el empaque permanece fijo mientras el agua residual circula de forma ascendente a través de los espacios intersticiales, donde se desarrolla la biomasa.

Este tipo de reactor también se conoce como Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y se define como una tecnología de tratamiento de aguas residuales basada en biopelículas fijas para la remoción de materia orgánica bajo condiciones anaerobias. Las partículas presentes en el empaque suelen tener un tamaño relativamente grande, y la colonización bacteriana depende de características como la rugosidad, la porosidad y el diámetro de los poros del material utilizado (Carrillo-Anchundia et al., 2022).

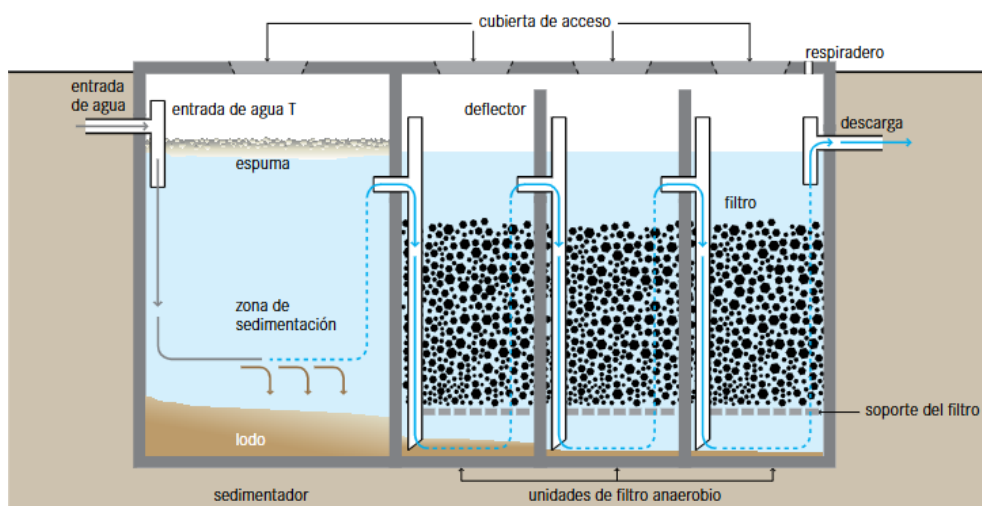


Figura 4. Filtro anaerobio de flujo ascendente. **Fuente:** Tilley et al., 2018.

6.6. Análisis Multicriterio

El mundo real se caracteriza por su complejidad y por niveles significativos de incertidumbre; por ello, comprenderlo y promover cambios requiere utilizar herramientas adecuadas. En este sentido, el análisis multicriterio (AMC) resulta especialmente pertinente para estudiar problemas reales debido a sus características particulares. Este enfoque se basa en una perspectiva sistémica de la realidad, lo que implica evaluar las problemáticas de manera integral y holística, considerando múltiples dimensiones sociales: económica, ambiental, cultural, política, tecnológica y legal. Bajo esta perspectiva, la solución final es más una creación colectiva que un descubrimiento (Burbano, 2016).

En coherencia con esta visión, Munda (2004) destaca en el Análisis Multicriterio Social la importancia de involucrar a los actores sociales en la toma de decisiones, especialmente en contextos con elevados niveles de incertidumbre y con implicaciones sociales significativas.

6.7. Grupos Funcionales

Según Tilley et.al. (2018), se le llama grupo funcional a un conjunto de tecnologías que comparten funciones semejantes. A partir de estos grupos que se dividen en cinco categorías (figura 5a) principales es posible seleccionar las tecnologías necesarias para conformar un sistema. Los grupos funcionales son:



Figura 5a. Cadena de los grupos funcionales.

- **Interfase con el usuario (U):** hace referencia a aquellos elementos con los que el usuario entra en contacto como el sanitario, inodoro o mingitorio. La elección de la interfase depende de la disponibilidad de agua.
- **Recolección y almacenamiento/tratamiento (S):** describe las maneras de recolectar, almacenar y a veces tratar los productos generados en la interfase.
- **Conducción (C):** se refiere al transporte de los productos de un grupo funcional a otro. La brecha más amplia y relevante se produce entre la interfase y el sistema de tratamiento (semi)centralizado, por eso este grupo solo describe tecnologías usadas para transportar residuos entre dichas etapas.
- **Sistema de tratamiento (semi)centralizado (T):** se refiere a las tecnologías que suelen ser apropiadas para grandes grupos de usuarios (desde barrios hasta ciudades). Las tecnologías se dividen en dos grupos, las tecnologías que sirven para tratar aguas negras, cafés, grises y las que sirven para el tratamiento de lodos.
- **Uso y/o disposición final (D):** describe los métodos para que los productos vuelvan al medio ambiente, ya sea como recursos útiles o como materiales de riesgo reducido.

Para el caso de Colombia, se ha adaptado un esquema de tratamiento para sistemas de tratamiento de ARD en sitio, el cual se presenta en la figura 5b. El tratamiento central también se le conoce como tratamiento primario y al postratamiento también se le denomina tratamiento secundario o complementario.



Figura 5b. Esquema general de Tratamiento de ARD. **Fuente:** Minvivienda (2021).

7. METODOLOGÍA

7.1. Zona de Estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en El sector de El Descanso, ubicado en el corregimiento de Calucé, en la ladera de la cordillera Central y parte alta del municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia, con coordenadas geográficas: 3°32'39"N 76°11'20"W; es un lugar tranquilo y fértil con suelos propicios para el cultivo de café, banano y frutas, vitales para la mayoría de los hogares locales. Su ubicación geográfica lo convierte en un destino turístico atractivo, con miradores naturales, biodiversidad en flora y fauna, y opciones para el ecoturismo y el agroturismo. Con altitudes entre 1.300 y 1.800 metros sobre el nivel del mar y un clima templado entre 15 y 24 °C, es ideal para una variedad de cultivos tropicales como cítricos, hortalizas, café y banano. Su producción agrícola está enfocada en abastecer de alimentos a la comunidad local (ASAHIPAZ, 2020). En la figura 6, se puede observar la localización de la zona de estudio.

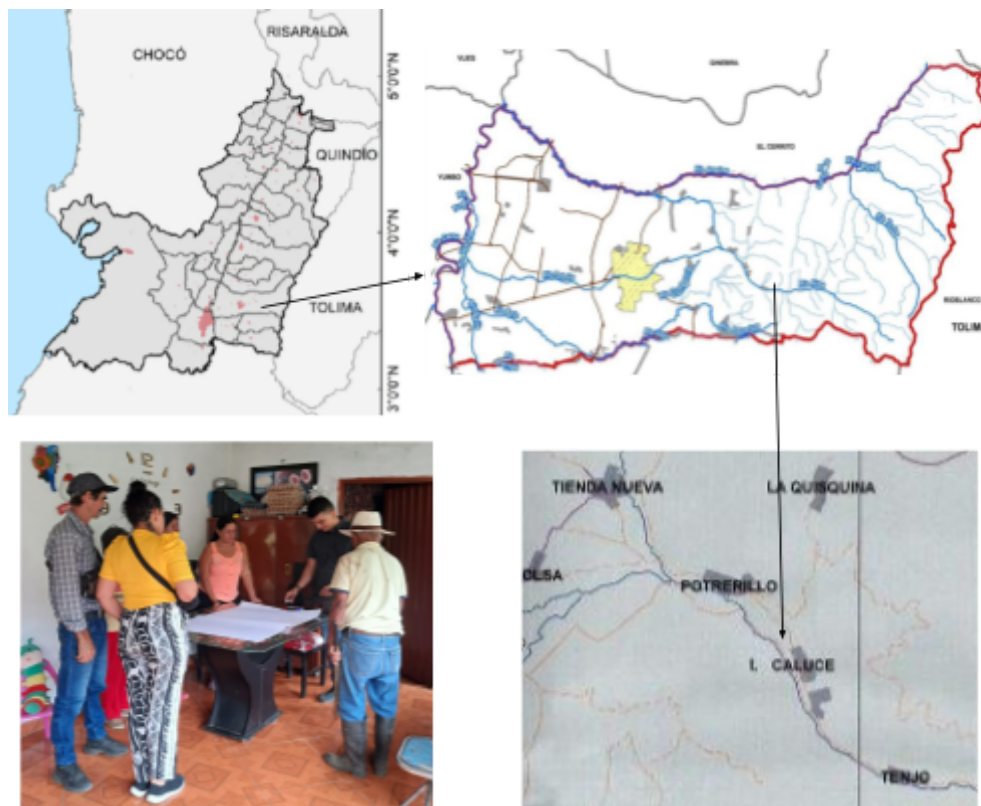


Figura 6. Ubicación geográfica de la zona de estudio. **Fuente:** Curaduría Urbana de Palmira (2018), ResearchGate (2020), Secretaría de Planeación Municipal (2023) y Autor.

7.2. Caracterización de las Condiciones Socioculturales y Ambientales de la Comunidad

El objetivo de caracterizar la comunidad implicada en el proyecto fue recoger información primaria sobre todas las viviendas que conforman el sector de El Descanso y que comparten la misma tecnología de tratamiento de aguas residuales. Por un lado, se realizó una encuesta que contenía seis componentes claves para entender el contexto socioeconómico de los

habitantes, así como también, el manejo que le dan al recurso hídrico desde su acometida hasta que se descarga a la solución colectiva para su tratamiento.

Por otro lado, se realizó un ejercicio de cartografía social cuyo propósito era poder comprender la relación entre la comunidad y su entorno, y por supuesto con el recurso hídrico. También es importante señalar que se había previsto la realización de un ejercicio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para georreferenciar lugares claves del territorio tales como las fuentes hídricas, las zonas críticas y los principales espacios de esparcimiento; sin embargo, no se pudo realizar debido a fuertes enfrentamientos registrados en la zona de estudio durante el primer semestre de 2025 entre el ejército y las disidencias.

Finalmente, se llevó a cabo una visita técnica al acueducto del corregimiento de Calucé, con el fin de identificar las operaciones y procesos unitarios que se implementan para la potabilización del agua con que se abastece a toda la comunidad, incluida la zona de estudio.

7.2.1. Caracterización Sociodemográfica

De acuerdo con Aigner (1998), en la técnica de encuesta social, el cuestionario es clave para recolectar información. Se compone de preguntas y a veces respuestas, entregado al encuestado para ser completado con o sin ayuda. Las preguntas buscan conocer pensamientos, deseos o acciones de las personas. Las respuestas se evalúan por su calidad externa (su aplicabilidad general) e interna (validez y confiabilidad). La validez asegura que la encuesta mida lo deseado, mientras que la confiabilidad garantiza resultados consistentes al aplicarla en diferentes muestras de la misma población.

Como se observa en la Tabla 3, son muchas más las ventajas de la encuesta social frente a la entrevista. La entrevista u observación presenta muchas limitaciones especialmente en cuanto a las dimensiones variables de estudio y la representatividad de los resultados; por lo tanto, la encuesta constituye una herramienta más confiable y robusta para la recolección de información especialmente en este tipo de contextos.

Tabla 3. Diferencias entre la encuesta social, la observación y la entrevista.

	Observación / Entrevista	Encuesta
No de Unidades de Análisis	Limitado	Ilimitado
No Dimensiones variables del estudio	Limitado	Mayor
Representatividad	Limitada	Generalizable
Precisión Cuantificable	Relativa	Mayor

Fuente: adaptado de Aigner, 1998.

Una vez definido el instrumento para la obtención de datos, se programó una encuesta digital contenida en el anexo 2, con ayuda del Software Kobo ToolBox versión 2.024.19 del año

2024, desarrollado para el trabajo en campo con las comunidades donde la conectividad es mala o nula, que contenía los componentes que se muestran en la Tabla 4. Esta encuesta se realizó conforme a las guías metodológicas UNICEF (2018; 2021).

Tabla 4. Componentes de la Encuesta Digital.

Componente	Propósito
Perfil del Encuestado	Identificar variables como edad, género, nivel educativo y ocupación.
Información de la Vivienda y de la Familia	Evaluar la calidad de vida de los hogares a través de indicadores como necesidades básicas insatisfechas.
Información Socioeconómica	Conocer el nivel de ingresos, la distribución de éstos y la capacidad de pago.
Acceso y Calidad del Agua	Identificar la fuente de abastecimiento, la disponibilidad y la satisfacción con el acceso a este recurso.
Infraestructura de Saneamiento	Conocer con qué unidades sanitarias se cuenta en la vivienda y qué problemáticas asocian con este sistema.
Prácticas de Higiene y Saneamiento	Conocer hábitos de lavado de manos, disposición de excretas y residuos sólidos, así como la limpieza personal y del entorno.

La encuesta se aplicó bajo las siguientes condiciones:

- La encuesta se limitó a mayores de edad.
- Cada visita duró alrededor de 30 minutos por hogar.
- Antes de comenzar, se recordaron los objetivos de la evaluación sociocultural y ambiental y el propósito general del proyecto.
- La información proporcionada en las encuestas se mantuvo confidencial, y ninguna respuesta fue obligatoria.
- Aunque las preguntas tenían opciones cerradas, al final había un espacio para observaciones relevantes.
- Las encuestas se llevaron a cabo de manera presencial en cada hogar.

7.2.2. Cartografía Social

Este ejercicio abrió con una actividad que permitió romper el hielo y conocer a los participantes. Se les pidió a los participantes que dijeran su nombre y que compartieran algo que les agradaba o que en su defecto les disgustaba. Luego, se elaboraron dos mapas. El primero tenía la intención de que representaran la relación de la comunidad con el agua, con el objetivo de identificar los usos sociales que se le dan a este recurso dentro del sector. Para ello, se les pidió a los participantes que identificaran sus viviendas, algunas zonas comunes de índole cultural y los principales cuerpos hídricos que haya en el territorio, así como las actividades que realizan alrededor de estos. El segundo mapa abordó las afectaciones que la comunidad percibe en los cuerpos hídricos. En ese sentido, se les pidió nuevamente dibujar las fuentes hídricas y señalar qué problemáticas podrían presentarse ya sean naturales o antrópicas.

En cada mapa se indicó el norte para facilitar la ubicación de los participantes y se localizó un punto de referencia. Durante el proceso de elaboración de ambos mapas, se guió a los grupos mediante una serie de preguntas que permitieran tener un hilo conductor. Al finalizar la construcción de cada mapa, los participantes expusieron lo que habían dibujado y compartieron sus perspectivas.

7.3. Selección de la Tecnología de Manejo de Aguas Residuales para la Zona de Estudio

Este proceso de selección de tecnologías se llevó a cabo siguiendo lo dispuesto en la el artículo 16 de la Resolución 0844 de 2018 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (RAS Rural) de Colombia, donde se establece que para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales se debe “Establecer la mejor alternativa posible de tratamiento colectivo o individual, teniendo en cuenta las condiciones particulares de la zona de actuación”, cuyas directrices están contenidas en el artículo 05 de la Resolución 0799 de 2021 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia.

Para la consecución de este objetivo, se llevó a cabo un taller de selección de criterios, donde la comunidad de El Descanso pudo identificar sus expectativas frente a la tecnología a seleccionar y qué elementos debía cumplir para aumentar su aceptación. Este espacio permitió evidenciar cómo estos aspectos podrían orientar de manera más informada y pertinente la toma de decisiones.

Luego, se llevó a cabo un proceso de validación, distinguiendo entre criterios y requerimientos. A los criterios se les asignó indicadores que permitieran hacer una comparación sobre las tecnologías a considerar, cuya preselección se hizo con base en diversos autores, en el RAS rural de 2018 y el título J del RAS de 2021. Los requerimientos, que por su naturaleza no podían ser medidos, no se descartaron, sino que usaron también como filtro para descartar tecnologías que no cumplieran con aspectos básicos.

La selección final de la tecnología se hizo a partir del predimensionamiento de las alternativas resultantes de las segregaciones anteriores, complementando con los criterios proporcionados por los compendios consultados y en criterios técnicos definidos por el autor.

Lo que se buscaba era aplicar un método que permitiera obtener la mayor validez posible y que permitiera que la comunidad tuviera la capacidad para decidir en la selección de la tecnología. De esta manera pudo quedar como precedente que al articular a la comunidad en todas las fases del proyecto se fomenta el apropiamiento de la tecnología y por ende, se hace posible su sostenibilidad en el tiempo, tal como ocurrió con la PTAP que ellos mismos gestionaron y que ha prestado sus servicios por más de 30 años.

7.4. Predimensionamiento del Sistema de Saneamiento

Posterior a la etapa de selección se llevó a cabo el predimensionamiento del sistema, entendido como la definición preliminar de las dimensiones, capacidades hidráulicas y parámetros operativos de cada unidad de la alternativa tecnológica seleccionada para el manejo del agua residual y excretas, con base en criterios normativos y técnicos aplicables al contexto rural colombiano, sin llegar al nivel de detalle propio de un diseño constructivo definitivo.

Para la consecución de este objetivo, primero se recolectaron todos los datos y criterios de diseño necesarios para cada una de las unidades del sistema. Después se realizaron los cálculos y estimaciones pertinentes para diseñar el sistema. Finalmente, se empleó el software de ingeniería AutoCAD, versión 2025, para crear los planos que constituyen el producto final del proyecto, además se formuló una propuesta de guía para la operación y mantenimiento del sistema.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. Caracterización de los Aspectos Socioculturales y Ambientales

8.1.1. Encuesta

El día 29 de septiembre del año 2024, se llevó a cabo la encuesta en el corregimiento de Calucé, sector El Descanso. Para su aplicación, se presentó un consentimiento informado que cada participante debía firmar y se empleó un cuestionario digital programado en la herramienta Kobo Toolbox. Aunque el sector cuenta con 15 viviendas y aproximadamente 70 habitantes, se decidió censar únicamente a los habitantes involucrados en el proyecto y que compartían la misma tecnología de saneamiento. Esto permitió obtener información de cada vivienda con un detalle superior, con el fin de generar insumos para posteriores investigaciones en la zona de estudio.

El cuestionario constaba de 56 preguntas, distribuidas en seis componentes. Se censaron en total 16 habitantes distribuidos en 7 viviendas, como se puede observar en la figura 7. La Tabla 5 presenta esta información, donde también se incluyó la distancia de cada vivienda respecto al tanque séptico. Es necesario mencionar que los datos no representan los habitantes totales por vivienda, debido a que algunos de ellos no estaban presentes al momento de realizarse la encuesta y tampoco se tuvo en cuenta a menores de edad, de acuerdo con las excepciones estipuladas en la metodología.



Figura 7. Distribución espacial de las viviendas y del tanque séptico actual en el área de estudio. **Fuente:** Google Earth (2025).

Tabla 5. Distribución de los encuestados.

Vivienda	N° de Encuestados	Distancia al TS (m)	Nombres y Apellidos
1	3	8,17	*Monica Isabel Medina Motoa
			Zorayda Barona Motoa
			Maria Fernanda Medina Motoa
2	2	25,12	Rosa Tulia Medina
			*Eunice Enriquez
3	2	26,34	*Yorladis Medina Cruz
			Luis Mario Medina
4	2	29,93	*Mariana Lopez Erazo
			Manuel Córdoba
5	2	42,55	Jose Hernando Ochoa
			*Blanca Flor Morales
6	3	47,98	Maria Iliá Estrada
			Erika Andrea Parra

			*Rosa Aydene Bucheli Sánchez
7	2	88,55	Edith Delgado
			*Jorge Eliecer Bucheli Sánchez

***Jefes del hogar**

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta realizada en la comunidad de El Descanso por cada uno de los componentes de la encuesta.

8.1.1.1. Perfil del Encuestado

De la totalidad de personas encuestadas, se determinó que el 75 % (12) corresponde a personas que se identifican con el sexo femenino y el 25 % (4) masculino. En cuanto a su edad, el promedio de las personas encuestadas es de 55 años, la mediana se ubicó en 50 años y la moda en 46 años, lo que indica que la población del sector está compuesta principalmente por adultos.

Respecto al nivel educativo, el 56.25 % (9) aseguró haber alcanzado la Educación Básica Primaria, el 25 % (4) la Educación Secundaria, el 12,5 % (2) no accedió a educación formal y el 6,25 % (1) culminó educación universitaria. Por otro lado, la ocupación más frecuente fue la de Ama de Casa con un 43,75 % (7) de la población; el 25 % (4) aseguró no trabajar, ya que dependen de subsidios estatales o de las mesadas que reciben por parte de familiares. El resto de la población se reparte entre oficios varios, agricultura y una de ellas mencionó ser profesional en contaduría pública. La tabla 6, muestra en detalle el perfil de los encuestados.

Tabla 6. Perfil de los encuestados.

¿Cuál es su nombre?

TIPO: TEXT. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Monica Isabel Medina Motoa	1	6.25
Eunice Enriquez	1	6.25
Yorlady Medina Cruz	1	6.25
Rosa Aydene Bucheli Sanchez	1	6.25
José Hernando Ochoa	1	6.25
Jorge eliecer Bucheli Sánchez	1	6.25
Zorayda Barona Motoa	1	6.25
Maria Fernanda Medina Motoa	1	6.25
Rosa Tullia Medina	1	6.25
Luis Mario Medina	1	6.25
Blanca Flor Morales	1	6.25
Maria Ila Estrada	1	6.25
Erika Andrea Parra	1	6.25
Edith Delgado	1	6.25
Mariana Lopez erazo	1	6.25
Manuel cordoba	1	6.25

¿Cuál es su edad?

TIPO: INTEGER. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(0 registros sin datos).

Media	Mediana	Moda	Desviación estándar
55.25	50.00	46.00	20.90



8.1.1.2. Información de la Vivienda y de la Familia

En relación con la conformación de los hogares, se identificó que en 6 de las 7 viviendas habita un solo núcleo familiar, con un promedio de 3 personas por vivienda. Asimismo, el 87,5 % (14) de los encuestados indicó haber vivido por más de 10 años en la zona de estudio y el 100 % (16) reside en vivienda propia. Según los habitantes del sector, estas parcelas han pertenecido a su ascendencia y fueron éstos quienes heredaron a los actuales residentes. En cuanto a las características constructivas de las viviendas, 6 de ellas están construidas en materiales convencionales como ladrillo y cemento, y solo 1 se encuentra construida principalmente por madera. La tabla 7, muestra en detalle los resultados obtenidos para este componente.

Tabla 7. Características de la Vivienda y composición familiar.

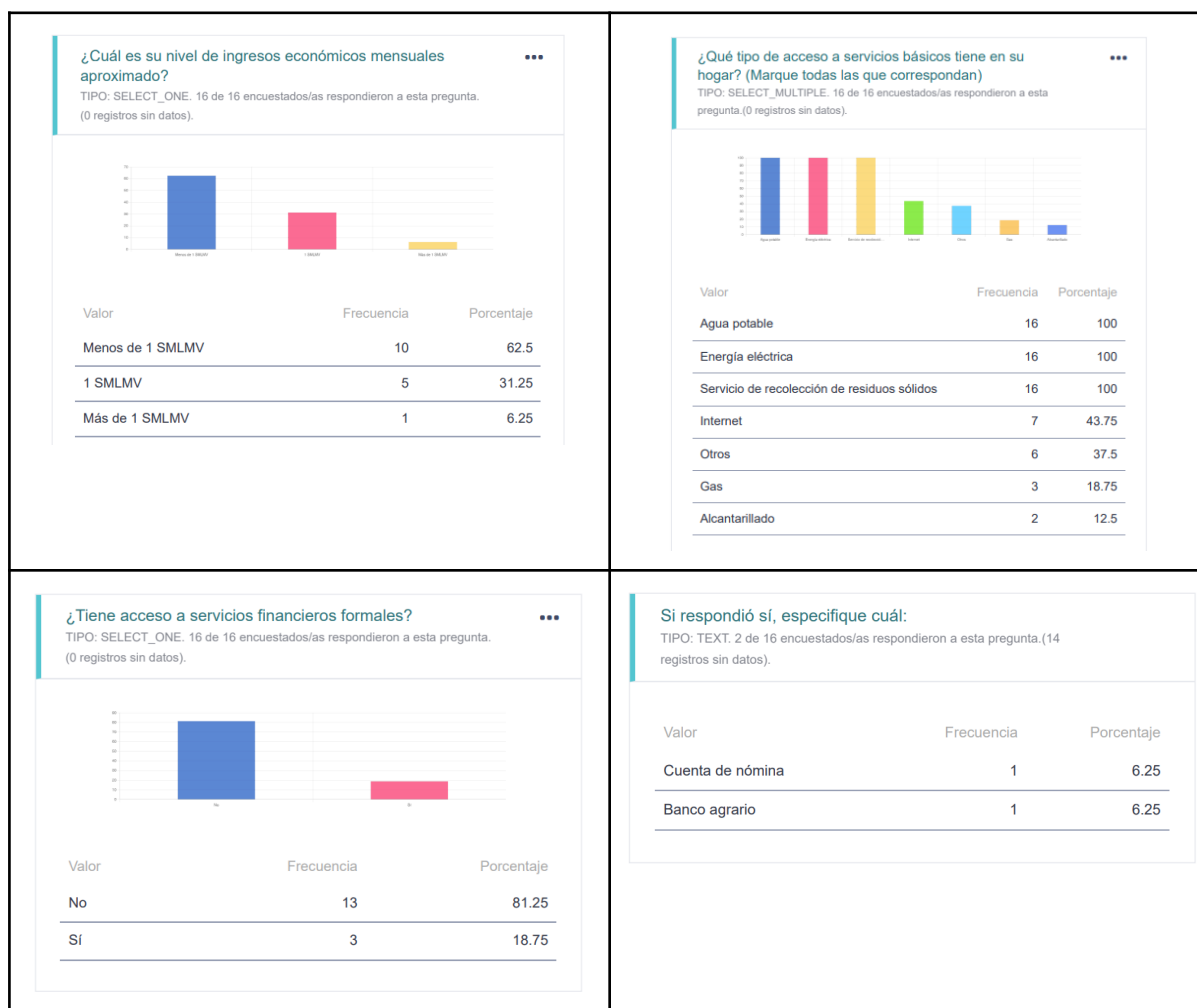


8.1.1.3. Información Socioeconómica

En cuanto al nivel de ingresos económicos, el 62,5 % (10) reportó ingresos inferiores al salario mínimo legal mensual vigente (SMLMV), mientras que a un 31,25 % (5) le ingresa el salario mínimo y solo el 6,25 % (1) genera más del mínimo. Esto quiere decir que para la mayoría de los habitantes el acceso a bienes y servicios es limitado.

El 100 % de la población cuenta con servicios básicos como acueducto, energía eléctrica y aseo; sin embargo, sólo un 43,75 % (7) puede permitirse contratar el servicio de internet y tan solo el 18,75 % (3) tiene la posibilidad de acceder a servicios financieros formales, situación posiblemente asociada a los bajos ingresos.. La totalidad de los encuestados aseguró además preparar alimentos por medio de cilindros de gas o “Pipas”, como se le conoce localmente. Finalmente, se pudo establecer también que la mayor parte de los ingresos se destina a satisfacer necesidades básicas como alimentación, salud, pago de servicios públicos y transporte. La Tabla 8, presenta la información que se obtuvo para este análisis.

Tabla 8. Distribución de ingresos y ocupación de los hogares.





8.1.1.4. Acceso y Calidad del Agua

La totalidad de las viviendas censadas cuentan con acceso a agua potable a través del acueducto comunitario de Calucé. Así mismo, toda la comunidad expresó disponer del recurso de manera continua y en suficiente cantidad. También consideran que es muy segura, tanto para consumo como para preparar alimentos y realizar otras actividades domésticas. En relación con características organolépticas, el 81,25 % (13) aseguró no haber experimentado problemas de calidad como olor o sabor extraño, ni turbidez. Solamente, el 18,75 % (3) de la población indicó que a veces el agua sabe mucho a cloro o que temporadas de lluvia puede llegar con coloración debido al arrastre de sedimentos.

Respecto al almacenamiento de agua potable en los hogares, el 43,75 % (7) indicó que almacena agua en recipientes limpios y cubiertos y el 37,5 % (6) lo hace normalmente en su lavadero. Solo el 12,5 % (2) expresó que no almacena agua potable. Al preguntarle sobre la frecuencia con que limpian estos recipientes o depósitos la mayoría señaló que lo hace solo cuando lo consideran necesario. La Tabla 9, presenta la información obtenida para el presente ítem.

Tabla 9. Acceso y percepción de la calidad de la fuente de abastecimiento.



8.1.1.5. Infraestructura de Saneamiento

En cuanto al acceso a servicios sanitarios en las viviendas, se pudo observar que en todas las viviendas se dispone de inodoro para la evacuación de aguas negras; sin embargo, se

evidenció que sólo 5 de las 7 viviendas cuentan con ducha, lavaplatos y lavadero, y solo 4 de 7 casas cuentan con lavamanos (Figuras 8a y 8b). La totalidad indicó que no comparte su unidad sanitaria con otros vecinos. Respecto a si la unidad se ubicaba dentro o fuera de la vivienda, en 4 viviendas se encuentra dentro y en 3 se encuentran de manera externa; en promedio las personas que tienen baño por fuera deben recorrer 5 metros para acceder a la unidad sanitaria.



Figuras 8a y 8b. Ejemplo de algunas unidades sanitarias de las viviendas censadas. **Fuente:** Autor.

Por otro lado, en lo que respecta al mantenimiento de la tecnología de tratamiento actual (tanque séptico), el 87,5 % (14) aseguró que éste se realiza de manera anual y el 12,5 % (2) que se hace de manera mensual. Finalmente, al preguntarles por los problemas que consideran que están asociados con el tanque séptico, el 81,25 % (13) afirmó haber experimentado malos olores, el 75 % (12) los relaciona con plagas o vectores y con contaminación de cuerpos hídricos, el 68,75 % (11) indicó que habían obstrucciones, el 62,5 % (10) manifestó haber presenciado reboses o desbordamientos en el sistema y el 25 % (4), cuya vivienda se encuentra a 8 metros del tanque séptico afirmó haber tenido afectaciones a la salud, especialmente de los infantes que allí habitan. Estos resultados se encuentran consignados en la Tabla 10.

Tabla 10. Servicios de saneamiento.

¿Qué tipo de unidades sanitarias tiene en su hogar? ...

Marque todas las que correspondan.

TIPO: SELECT_MULTIPLE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Inodoro	16	100
Ducha	14	87.5
Lavaplatos	14	87.5
Lavadero	14	87.5
Lavamanos	12	75

¿Cómo se eliminan las excretas en su hogar? ...

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Sistema séptico	14	87.5
Inodoro con cisterna	2	12.5

¿Comparte esta instalación con otras personas que no son miembros de su hogar? ...

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
No	16	100

¿Dónde está ubicado el baño en su hogar? ...

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Dentro de la casa (en un baño privado o compartido)	11	68.75
Fuera de la casa (en un baño separado o letrina externa)	5	31.25

¿Con qué frecuencia realiza mantenimiento a su sistema de eliminación de excretas? ...

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Cada año	14	87.5
Cada mes	2	12.5

¿Qué problemas asociados con la eliminación de excretas ha presentado en los últimos meses? Marque todas las que corresponda. ...

TIPO: SELECT_MULTIPLE. 15 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(1 registros sin datos).

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Malos olores	13	81.25
Plagas	12	75
Contaminación de cuerpos hídricos	12	75
Obstrucciones	11	68.75
Desbordamientos	10	62.5
Afecciones a la salud	4	25

8.1.1.6. Prácticas de Higiene y Saneamiento

En lo que respecta al último componente sobre las prácticas de higiene y la gestión de residuos sólidos se pudo establecer que la totalidad de los encuestados asegura lavar sus manos después de hacer uso de los servicios sanitarios de la vivienda. El método más utilizado para el lavado de manos es agua y jabón, como se observa en la figura 9, seguido del desinfectante para manos. El 56,25 % (9) aseguró realizar el lavado de sus manos dentro de la vivienda, mientras que el 43,75 % (7) restante lo hace ya sea en el patio o en el lavadero.

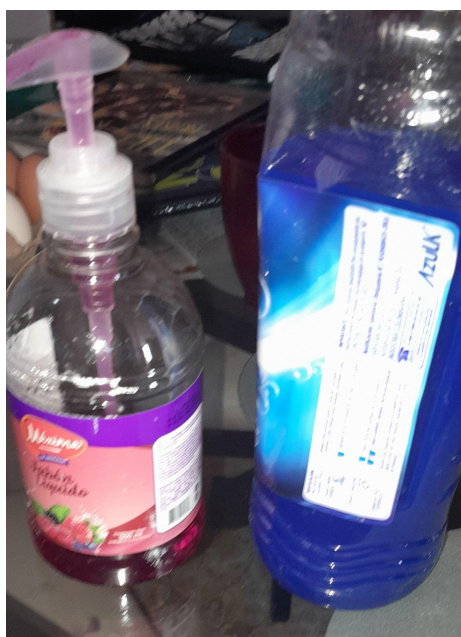


Figura 9. Métodos de lavado de manos más usados por la comunidad de El Descanso. **Foto:** Autor.

La limpieza y desinfección de las unidades sanitarias suele hacerse con productos comerciales de limpieza, aunque la mitad de los encuestados manifestó usar también soluciones caseras como vinagre o bicarbonato de sodio. En cuanto a los residuos sólidos, el 56,25 % (9) de los encuestados aseguró que gestiona los biorresiduos por medio del servicio de recolección municipal, mientras que el 43,75 % (7) restante lo usa para compostaje o simplemente los aplican sobre las plantas ya que creen que esto aporta algún beneficio para su desarrollo. Los residuos aprovechables como plásticos, vidrios o metales son también entregados al servicio de recolección por parte del 81,25 % (13) de los encuestados y tan solo el 18,75 % (3) lo separa para su reuso o posterior reciclaje, mediante gestores comunitarios.

Finalmente, sobre los problemas de salud asociados a la higiene o al saneamiento básico, el 68,75 % (11) indicó que no, sin embargo, el 31,25 % (5) afirmó haber tenido enfermedades respiratorias por estas causas, justamente la vivienda de estas personas es la que está más cercana del tanque séptico. Estos resultados se encuentran detallados en la Tabla 11.

Tabla 11. Prácticas de higiene y disposición de residuos sólidos.

¿Qué métodos utilizan para el lavado de manos? Marque todos los que correspondan.

TIPO: SELECT_MULTIPLE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(0 registros sin datos).

Agua y jabón

Desinfectante de manos

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Agua y jabón	16	100
Desinfectante de manos	4	25

¿Dónde suelen lavarse las manos más a menudo usted y otros miembros de su hogar?

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Dentro de la vivienda

Patio

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Dentro de la vivienda	9	56.25
Patio	7	43.75

¿Cómo se limpian y desinfectan las unidades sanitarias en su hogar? Marque todos los que correspondan.

TIPO: SELECT_MULTIPLE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta.(0 registros sin datos).

Con productos comerciales

Con soluciones caseras

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Con productos comerciales de limpieza y desinfectantes	16	100
Con soluciones caseras (ej. vinagre, bicarbonato de sodio)	8	50

¿Cómo se gestionan los bioresiduos (restos de comida, cáscaras de frutas) en su hogar?

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Recolección por parte de un servicio municipal

Compostaje

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Recolección por parte de un servicio municipal	9	56.25
Compostaje	7	43.75

¿Cómo se gestionan los residuos aprovechables y no aprovechables (plásticos, vidrio, metales)?

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

Recolección por parte de un servicio municipal

Separación para reciclar

Valor	Frecuencia	Porcentaje
Recolección por parte de un servicio municipal	13	81.25
Separación para reciclar	3	18.75

¿Ha tenido problemas de salud relacionados con la higiene o el saneamiento en el último año?

TIPO: SELECT_ONE. 16 de 16 encuestados/as respondieron a esta pregunta. (0 registros sin datos).

No

Sí, enfermedades respiratorias

Valor	Frecuencia	Porcentaje
No	11	68.75
Sí, enfermedades respiratorias	5	31.25

8.1.2. Análisis de Variables

Para este ejercicio, se hicieron tres cruces de variables de gran interés para esta investigación como lo son: la distancia de cada vivienda con respecto al tanque séptico, el nivel de ingresos y la percepción de problemáticas asociadas a la tecnología, principalmente las afectaciones a la salud. La figura 10, presenta el cruce distancia al tanque (eje x) versus el nivel de ingresos

(eje y; 1 = menos del SMLMV, 2 = SMLMV) de las viviendas encuestadas. Esta gráfica demuestra que las viviendas con ingresos inferiores al salario mínimo se concentran en distancias menores a 45 metros, y a partir de los 47 metros, se ubican las viviendas con ingresos equivalentes al salario mínimo. La línea de tendencia soporta la hipótesis de que a mayor distancia al tanque séptico, mayores son los ingresos, lo que se asoció a mejores condiciones de vida, que es justamente lo que contrasta con la realidad del sector. Desde luego, para este caso de estudio, el nivel de ingresos no condiciona factores como la ubicación de la vivienda, ya que como se mencionó anteriormente, estos terrenos fueron heredados; sin embargo, como se pudo observar en campo, viviendas como la 7, que tiene uno de los ingresos más elevados y un área más amplia, podría haber optado por una solución individual de saneamiento.

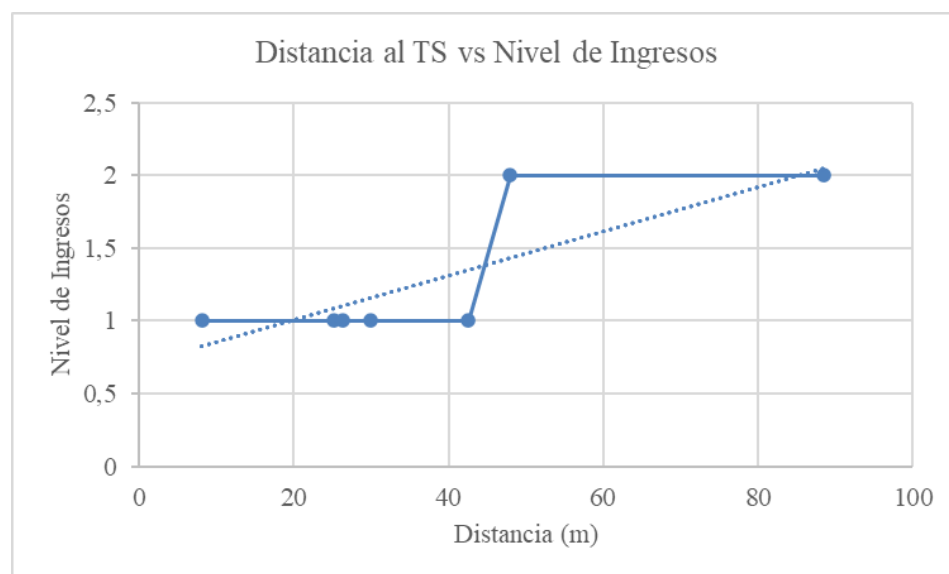


Figura 10. Distancia al Tanque versus Nivel de Ingresos.

Por otro lado, al analizar la percepción de los habitantes sobre las problemáticas asociadas al tanque séptico, se pudo determinar que, como se observa en la figura 11, de la vivienda 1 a la 3, cuya proximidad al tanque séptico es la mayor, se presenta la mayor concentración de problemáticas, incluyendo afectaciones a la salud y reboses. Esto indica que podría haber un mayor nivel de impacto en estas viviendas. La vivienda 4 muestra una disminución en la percepción de problemáticas y en la vivienda 5 es casi ausente, lo cual probablemente podría deberse a su ubicación. No obstante, la vivienda 6 refleja nuevamente una alta concentración de problemáticas, lo que podría sugerir que, al generalizarse una percepción, se asuma que todos los habitantes se ven afectados por las mismas circunstancias, por lo que casos como el de la vivienda 7, que presentan menos afectaciones, demuestran que dicha percepción no siempre corresponde con la realidad de cada vivienda.

De acuerdo con Pessoa Colombo et al. (2023), la disposición del entorno construido y la localización puntual de las instalaciones de saneamiento pueden influir de manera indirecta en los beneficios que estos sistemas aportan a la población, al facilitar o dificultar su acceso y uso efectivo. Asimismo, si la tecnología de saneamiento es operada incorrectamente o no se encuentra en óptimas condiciones, las comunidades tienden a asociar las afectaciones

percibidas con estas dificultades técnicas, lo que termina siendo clave para seleccionar e implementar una solución que pueda generar confianza y que sea aceptada por la comunidad.

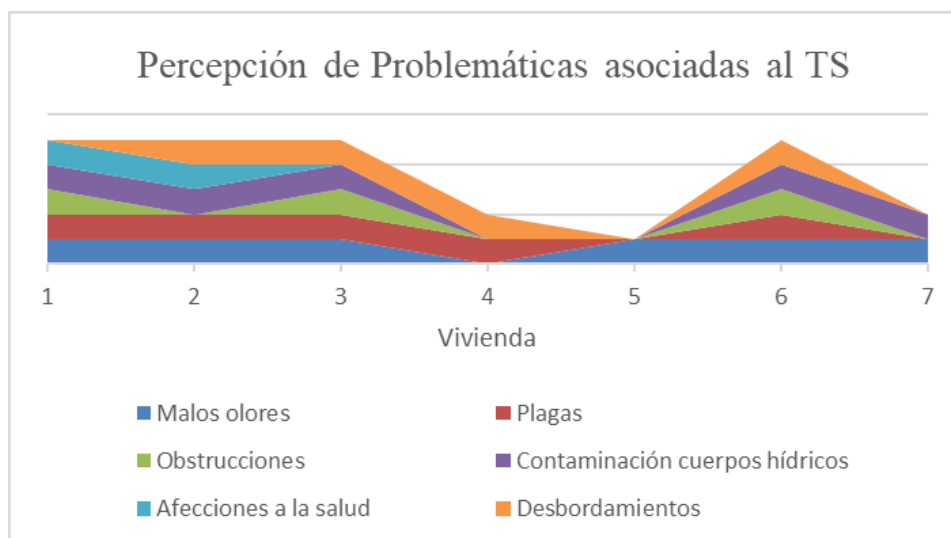


Figura 11. Percepción de Problemáticas asociadas al Tanque.

La figura 12 presenta el cruce distancia al tanque (eje x) versus Problemas de salud (eje y; 1 = Sí, 2 = No). En la encuesta, los participantes podían señalar infecciones gastrointestinales, problemas dermatológicos, enfermedades respiratorias, o ninguna; 5 de los 16 encuestados reportaron problemas de salud, concretamente enfermedades respiratorias. En ese sentido, se pudo determinar que las viviendas ubicadas a menos de 25 metros del tanque séptico reportan con mayor frecuencia estas afectaciones. A medida que la distancia aumenta, esta percepción disminuye de manera evidente, lo que sugiere que esta proximidad podría influir en la aparición de problemas respiratorios especialmente en los habitantes de las viviendas 1 y 2. Sin embargo, esta incidencia no puede atribuirse solamente a la tecnología, ya que también deben tenerse en cuenta otros factores contextuales como prácticas de higiene y condiciones socioeconómicas de los hogares.

A diferencia de lo expuesto por Montoya y Puerchambud (2016), las comunidades de Antioquía y Putumayo estudiadas no asociaron enfermedades sentidas como diarrea o Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), con las tecnologías de saneamiento presentes en los territorios ni con su operación y mantenimiento. Estas afectaciones fueron vinculadas con prácticas de higiene inadecuadas o con ciertas prácticas agrícolas como el lavado de equipos de aplicación cerca de la vivienda, lo que incrementa el riesgo de contaminación del agua de uso doméstico. Esto podría indicar que dicha percepción de afectaciones sobre la salud depende en gran medida del contexto de cada territorio; por ejemplo, en el sector de El Descanso la actividad agrícola no es predominante, por lo que no fue mencionada dentro de los factores causantes de enfermedades.

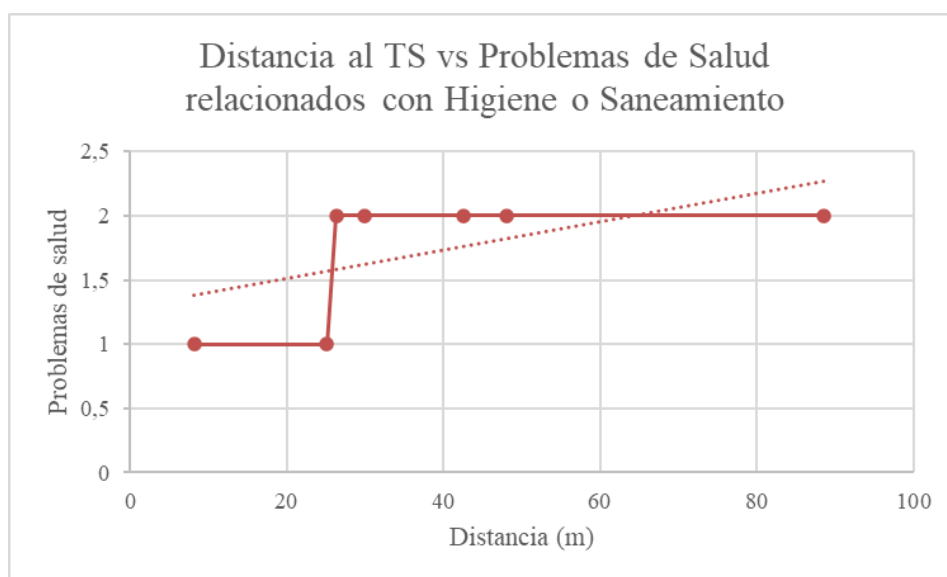


Figura 12. Distancia al Tanque versus Problemas de Salud.

Con este análisis no se busca estigmatizar las tecnologías de saneamiento; puesto que, cuando éstas se encuentran en óptimas condiciones de operación y mantenimiento, constituyen un elemento esencial para proteger la salud de las personas y también para preservar el ambiente. Sin embargo, cuando ocurre lo contrario, esta experiencia demuestra que las familias que están ubicadas más próximas a la tecnología son las que se pueden encontrar en una posición más vulnerable frente a sus impactos negativos.

8.1.3. Cartografía Social

La cartografía social se llevó a cabo el sábado 25 de enero de 2025 con 8 participantes de la comunidad de El Descanso. Tal como se estableció en la metodología, para la elaboración del primer mapa se tomó como punto de referencia la tienda El Descanso, un lugar reconocido por todos los participantes. A partir de allí, como se observa en la figura 13, la comunidad trazó las vías principales con el fin de ubicar sus hogares y el tanque séptico existente.



Figura 13. Mapa social de usos del agua en El Descanso.

Durante el ejercicio, se identificó la Quebrada La Sopera, un afluente cercano que la mayoría de los participantes desconocía por su nombre. Este cuerpo de agua representa un riesgo considerable para quienes viven a sus orillas, especialmente durante la temporada de lluvias porque incrementa la probabilidad de desbordamientos repentinos. Estos eventos pueden afectar directamente a las viviendas, causar pérdida de bienes y en ocasiones, poner en riesgo la integridad y la vida de las personas.

La comunidad destacó el polideportivo como un lugar de especial interés, ya que allí se realizan actividades deportivas, culturales y recreativas de gran importancia para ellos. Asimismo, manifestaron no contar con un sitio de peregrinación como una iglesia o parroquia; por tal motivo, celebran sus actos religiosos en la caseta comunal. La devoción a la Virgen del Carmen es muy significativa en el corregimiento, donde cada 16 de julio decoran las calles en honor a esta celebración.

Al preguntarles por su lugar favorito dentro del territorio, la mayoría coincidió en que disfrutaban de sus hogares, apreciando la tranquilidad del entorno, el verdor de las cordilleras, el canto de los pájaros y la riqueza natural que los rodea. Se definieron como una comunidad rural que mantiene vivas muchas tradiciones heredadas de sus antepasados. Además, expresaron sentirse seguros en su comunidad: a pesar de que sus viviendas no cuentan con altos niveles de seguridad física, como puertas reforzadas o cerraduras modernas, tienen plena confianza en que sus pertenencias estarán protegidas. Según su percepción, esta seguridad proviene de la solidaridad comunitaria y no necesariamente de la presencia de la

fuerza pública. Sin embargo, esto contrasta con la realidad del territorio, pues algunos ejercicios previstos no pudieron desarrollarse debido a problemas de orden público, principalmente durante el primer semestre de 2025, que afectaron la zona de estudio durante el proceso.

En cuanto a problemáticas ambientales, mencionaron la proliferación de zancudos, posiblemente asociada al sistema séptico utilizado para la disposición de aguas residuales.

Respecto a sus actividades recreativas, algunas personas disfrutaban acudir al río en zonas cercanas, como en el callejón “Coca”, especialmente durante los días calurosos, afirmando que "para qué más piscina, si está el río". Sin embargo, al ubicar este lugar en el mapa, reconocieron que allí también se realizan descargas de aguas residuales, lo que afecta la calidad del agua.

Otro sitio mencionado fue “La Canal”, ubicado cerca de la planta de tratamiento de agua potable. No obstante, este lugar ha sido menos frecuentado últimamente debido a la presencia de personas que consumen sustancias psicoactivas, razón por la cual prefieren desplazarse a otros espacios.

La pesca, anteriormente una actividad común, ha disminuido significativamente debido a la contaminación de las fuentes hídricas, donde ahora se encuentran pocos o pequeños ejemplares. Para actividades de esparcimiento y contacto con la naturaleza, es común que realicen caminatas alrededor de la montaña.

Entre los productos agrícolas que cultivan en la zona se destacan la naranja, limón, mango, banano, plátano, aguacate, café en las zonas altas y mandarinas, entre otros. Además, cuentan con nacimientos de agua que utilizan para el riego de cultivos de café y para el abastecimiento de ganado como vacas y caballos.

Para el segundo mapa, enfocado en las problemáticas ambientales percibidas en el territorio, como se ilustra en la figura 14, se solicitó a los participantes que dibujaran las fuentes hídricas que fluyen en los alrededores del tanque séptico. Una de ellas es la quebrada Los Guayabos, cuyo nacimiento se encuentra a pocos kilómetros del sector. Sin embargo, sus aguas se contaminan tan solo unos metros aguas abajo debido a las descargas de aguas residuales provenientes de un pequeño grupo de viviendas.



Figura 14. Mapa participativo de afectaciones percibidas en los cuerpos hídricos.

En la quebrada Los Negros, específicamente en el sector conocido como "Los Cuchos", existe un criadero de cerdos que realiza descargas puntuales sobre esta fuente hídrica, imposibilitando que la comunidad haga uso de los servicios ecosistémicos que antes ofrecía. Relataron que, antes de la contaminación, acudían a la quebrada para bañarse y lavar la ropa, especialmente en épocas en las que no contaban con servicio de acueducto. La lideresa comunitaria comentó que, debido a estas experiencias, actualmente son muy estrictos con la venta de lotes en el territorio, exigiendo que se realicen los estudios pertinentes y que se garantice el adecuado funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales para no afectar a los vecinos. Asimismo, no ofrecen cupos de agua adicionales, ya que el caudal disponible para consumo humano es limitado. Por lo tanto, quienes deseen asentarse en la zona deben gestionar el suministro desde acueductos cercanos.

En relación con los riesgos, señalaron el sitio denominado "San Juanito", donde en abril de 2022 ocurrió un deslizamiento natural que afectó varias viviendas. Según información que les fue proporcionada por la oficina de gestión del riesgo de Palmira, en esa área existe una falla geológica que atraviesa varias casas, lo que constituye una amenaza considerable: se estima que alrededor de 35 viviendas podrían verse afectadas en caso de un nuevo deslizamiento que incluso podría alcanzar la quebrada La Sapera, arrasando viviendas ubicadas aguas abajo. La lideresa mencionó que, aunque denunciaron la venta de lotes en esta zona de alto riesgo ante la autoridad ambiental, lamentablemente el área fue loteada.

Sobre las actividades extractivas, la comunidad informó que se realiza extracción de arena en fuentes hídricas cercanas, aunque aseguraron que estas actividades cuentan con asesoría de la CVC y el acompañamiento de la administración municipal.

Respecto al tanque séptico, expresaron preocupación por los problemas sanitarios que genera. Indicaron que una de las hijas de las participantes ha presentado enfermedades respiratorias presuntamente asociadas a los gases emitidos por el sistema. También manifestaron la proliferación de vectores, especialmente zancudos, así como la presencia de olores ofensivos.

La comunidad propuso que la nueva tecnología de tratamiento de aguas residuales no sea instalada en el mismo sitio donde actualmente se encuentra el tanque séptico, ya que consideran que el terreno no es adecuado y que el paso de vehículos pesados ha contribuido a su deterioro. Sugirieron, en cambio, reubicar el sistema en un lote que será donado por uno de los habitantes, lo que permitiría una mejor organización territorial y una mejora general en las condiciones de vida.

Como conclusión del ejercicio, la comunidad manifestó su necesidad urgente de mejorar las condiciones ambientales y sanitarias. Expresaron satisfacción con los mapas elaborados, destacando la precisión en la ubicación de los elementos y resaltando, además, la unión y el compromiso de todos los habitantes durante el proceso.

8.1.4. Tratamiento de Agua Potable

El sector de El Descanso, se abastece del acueducto comunitario denominado Asociación Vecinal de Aguas de Acueducto (ASOVEAGUAS). Este acueducto se encuentra operando desde el año de 1987, cuya fundación se atribuye a Gabriel Correa que para ese entonces era el presidente de la junta de acción comunal; no obstante, no fue sino hasta 1997 cuando pasaron de denominarse acueducto rural a ONG ambiental. Actualmente, el acueducto tiene 135 suscriptores, lo que se traduce en aproximadamente 1000 habitantes abastecidos. El acueducto se encuentra representado por el señor Manuel Jesús Canchala y es operado por el fontanero Rodolfo Mejía. A continuación, se muestra la descripción de los procesos que se llevan a cabo para potabilizar el agua en la comunidad de Calucé.

8.1.4.1. Esquema tecnológico

Según lo indicado por Rodolfo Mejía, fontanero del acueducto, durante la visita realizada el 18 de enero de 2025, la captación se realiza en la quebrada Los Naranjos cuyo nacimiento no presenta afectaciones antrópicas. Por tratarse de un afluente tan puro, el tren de tratamiento requerido es bastante práctico. La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), les otorgó una concesión para captar 4,2 litros de agua por segundo; no obstante, actualmente se capta un caudal aproximado de 4 litros por segundo. El esquema tecnológico se presenta en la figura 15.

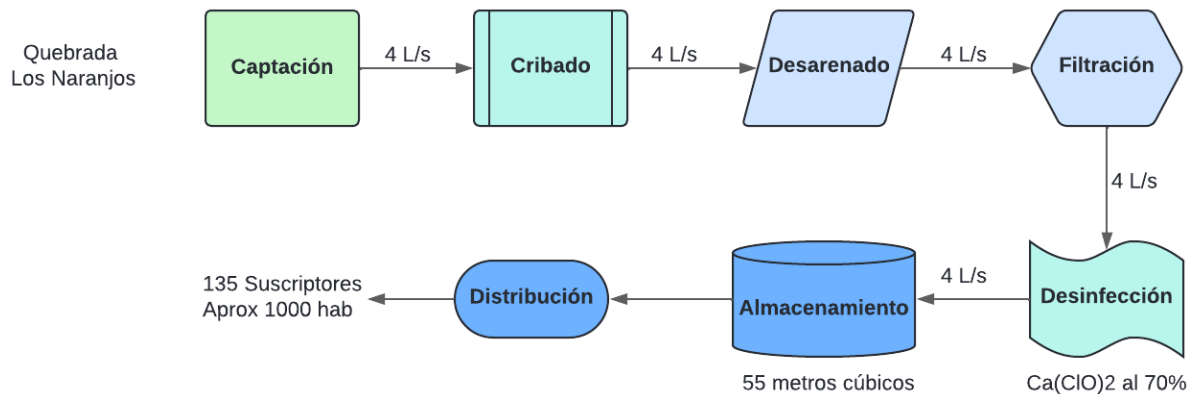


Figura 15. Diagrama de flujo de procesos del acueducto. **Fuente:** Autor.

A partir del caudal que se capta y conociendo la población abastecida se tiene que:

$$Dotación\ Neta = \left(4 \frac{L}{s} \times \frac{86400\ s}{1\ d}\right) \div 1000\ hab = 345,6 \frac{L}{hab.d}$$

$$\begin{aligned} Dotación\ afectada\ por\ pérdidas\ técnicas &= D_{Neta} \times (1 - 40\%) = \\ &= 345,6 \frac{L}{hab.d} \times 0,6 = 207,36 \frac{L}{hab.d} \end{aligned}$$

Según la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, en todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en el artículo 43, que para una altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida entre 1000 - 2000 m.s.n.m, la dotación neta máxima no debe ser superior a 130 L/hab.d.; por lo tanto, se usó este valor para el predimensionamiento de las unidades.

8.1.4.2. Línea de tratamiento

A continuación se presenta la descripción de cada una de las etapas de tratamiento del afluente.

- **Captación:** La bocatoma está ubicada en las coordenadas geográficas 3°31'56.1"N, 76°10'53.0"W a una altitud de 1470 msnm. La captación es de fondo. La bocatoma que se muestra en la figura 16 no es la original; puesto que, hace algunos años una creciente destruyó la que estaba inicialmente. La captación se hace unos metros más arriba, en una estructura más reforzada, para garantizar que ante un evento de similar magnitud no se vea en peligro el suministro de agua.



Figura 16. Bocatoma del acueducto. **Fuente:** Autor.

- **Cribado:** En esta etapa, el agua captada se separa de hojas, ramas y sólidos de gran dimensión mediante unas rejillas medianas que tienen 3 centímetros de separación aproximadamente. Debido a las altas velocidades del agua en este tramo, el agua arrastra gran cantidad de sedimentos, como se puede evidenciar en la figura 17, por lo que se debe limpiar con bastante frecuencia para evitar que se obstruya el paso del agua.



Figura 17. Rejillas medias del acueducto. **Fuente:** Autor.

- **Desarenado:** En esta unidad, las partículas discretas se separan mediante una canasta que contiene una malla, como se muestra en la figura 18, que además de actuar como barrera física, cumple la función de disminuir la energía del flujo y reducir las turbulencias, favoreciendo que dichas partículas puedan sedimentar.



Figura 18. Desarenador del acueducto. **Fuente:** Autor.

- **Filtración:** Este proceso se realiza unos 400 metros abajo de la bocatoma. Esta unidad, de flujo ascendente, está compuesta por un lecho filtrante estratificado con materiales de distinta granulometría como balasto, grava, arena y principalmente carbón activado, como se muestra en la figura 19. Esta configuración favorece la retención de sólidos suspendidos más finos y permite mejorar propiedades organolépticas del agua como olor y sabor, además de contribuir a la eliminación de microcontaminantes presentes en el agua.



Figura 19. Filtrado en el acueducto. **Fuente:** Autor.

- **Desinfección:** En el acueducto de Calucé, se usa hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) al 70 %, que al ser disuelto en agua libera cloro libre en forma de ácido hipocloroso

(HOCl). El fontanero disuelve 500 gramos en un recipiente de 120 litros, como se aprecia en las figuras 20 y 21.



Figuras 20. Mecanismo de dosificación del agente desinfectante en el acueducto. **Fuente:** Autor.



Figura 21. Hipoclorito de Calcio usado en la desinfección en el acueducto. **Fuente:** Autor.

Este recipiente tiene en su salida un sistema que permite dosificar este contenido de forma continua durante 3 días como máximo, para mantener el cloro residual libre entre 0,3 y 2 mg/L, de acuerdo con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social de Colombia, donde se señalan las características, los instrumentos básicos y las frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Para chequear el cumplimiento de la norma primero se calcula la concentración de Cloro que se dosifica. El cloro disponible es equivalente a:

$$\text{Cloro disponible} = 500 \text{ gramos} \times 70 \% = 350 \text{ gramos} = 350\,000 \text{ mg}$$

$$\text{PPM}_{\text{cloro}} = \frac{350\,000 \text{ mg}}{120 \text{ L}} \simeq 2917 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Cloro consumido por día} = \frac{350\,000 \text{ mg}}{3 \text{ días}} = 116\,700 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

Si se tiene que el caudal captado es de 4 L/s, entonces:

$$\text{PPM de cloro dosificado} = (116\,700 \frac{\text{mg}}{\text{día}}) \div (4 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times \frac{86\,400 \text{ s}}{1 \text{ día}}) \simeq 0,34 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

El valor calculado se encuentra en el rango recomendado (0,3 y 2 mg/L); sin embargo, el sistema opera en el límite inferior, lo que quiere decir que pequeñas variaciones en la velocidad de dosificación o en la demanda de cloro podrían comprometer la calidad microbiológica del agua. Es recomendable ajustar la dosificación para operar en valores ligeramente superiores, de modo que se pueda garantizar una concentración más estable y uniforme en la red de distribución.

- **Almacenamiento:** El acueducto cuenta con un tanque de almacenamiento con una capacidad de 55 metros cúbicos, como se observa en la figura 22. Esta estructura no solo cumple la función de garantizar la continuidad del servicio, sino que también permite un tiempo de contacto suficiente con el desinfectante. En la losa superior de la estructura se ubica una caseta donde se encuentra tanto el área de almacenamiento de los productos químicos como también el área donde se dosifica el cloro.



Figura 22. Tanque de almacenamiento del acueducto. **Fuente:** Autor.

- **Distribución:** Finalmente, el acueducto abastece a 135 suscriptores. El asentamiento más próximo se encuentra a 200 metros abajo del tanque de almacenamiento. No se cuenta con planos o un documento técnico donde se puedan identificar plenamente los puntos de acometida; no obstante, el fontanero suministró un bosquejo, como se observa en la figura 23, en el cual se señalan los diámetros de la tubería a lo largo de la red y algunos puntos críticos. Actualmente, no se cuenta con medidores y el pago por el servicio de acueducto se hace según convenga a los suscriptores en un único pago anual o mensual, cuyo valor es establecido por los operarios de la planta, atendiendo la necesidad de adquisición de insumos y a los requerimientos de operación y mantenimiento del sistema.



Figura 23. Diagrama de la red de distribución del acueducto. **Fuente:** ASOVEAGUAS, 2024.

8.2. Selección de la Tecnología de Manejo de Aguas Residuales para la Zona de Estudio

8.2.1. Taller de Criterios de Selección

El día 10 de mayo de 2025, se llevó a cabo el taller de selección con 3 participantes de la comunidad de El Descanso, como se aprecia en la figura 24. El objetivo de este taller era identificar los criterios que la comunidad considera fundamentales para seleccionar la tecnología, así como jerarquizarlos según la relevancia que la comunidad les otorgue. La jornada inició con una actividad para romper el hielo. Se le pidió a los participantes que pensarán en la última compra que hubieran realizado y que analizaran los factores que habían tenido en cuenta al momento de realizarla. Por ejemplo, doña Eunice contó que para comprar sus muebles habría priorizado aspectos como el costo, el tamaño y el color; pero que sin dudas el más determinante había sido el tamaño, por los costos asociados a transporte que

éstos representaban. Por su parte, Mónica expresó que para adquirir su televisor había tenido en cuenta principalmente el costo del mismo.

Concluida esta actividad de introducción, el taller tuvo dos momentos: el primero, consistió en que los participantes escribieran en una hoja de papel bond, a modo de lluvia de ideas y a su juicio, los criterios que consideran más importantes para seleccionar la tecnología de tratamiento, por ejemplo el costo, el mantenimiento, impacto ambiental, entre otros.



Figura 24. Desarrollo de la primera etapa del taller de selección de criterios. **Fuente:** Autor.

En el segundo momento, se hizo la jerarquización de los criterios, donde los participantes ubicaron en un plano cartesiano de dimensión versus nivel de importancia cada uno de los criterios que habían propuesto, como se puede observar en la figura 25.



Figura 25. Desarrollo de la segunda etapa del taller de selección de criterios. **Fuente:** Autor.

A continuación en la figura 26, se presenta el producto final del taller de selección:

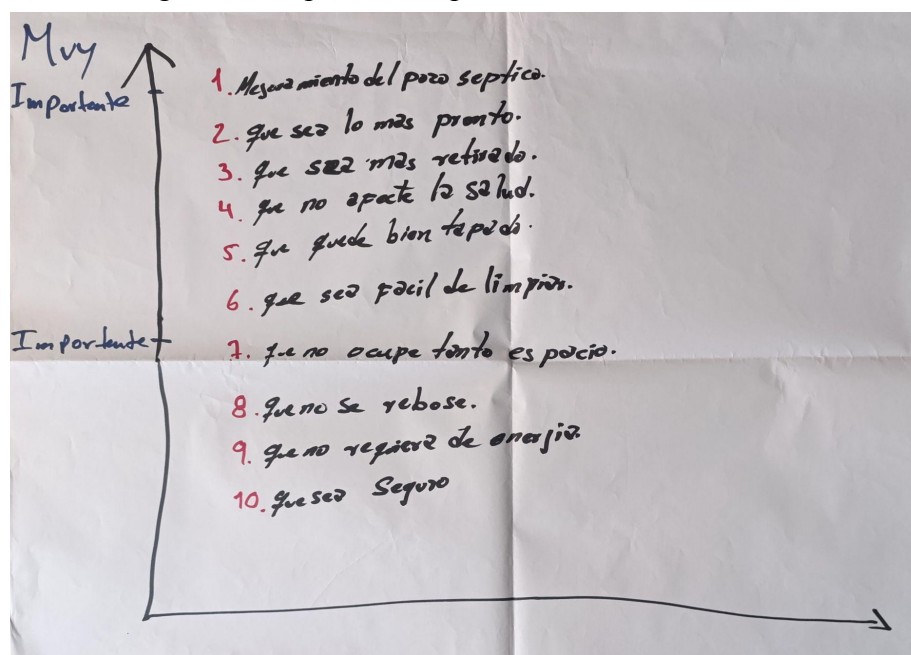


Figura 26. Producto final del taller de selección de criterios. **Fuente:** Autor.

Una vez obtenidos, estos criterios se clasificaron en cinco dimensiones que se definieron de acuerdo con la afinidad que cada uno tenía con estos ejes temáticos. Los criterios relacionados con la capacidad hidráulica y el área necesaria para la construcción de la tecnología se agruparon en la dimensión ambiental. El único criterio que involucró el consumo energético se adjuntó a la dimensión económica. Este criterio podría interpretarse también dentro del eje ambiental; no obstante, la comunidad manifestó su preocupación frente al posible aumento en las tarifas de los servicios públicos. Por otra parte, el criterio vinculado con el tiempo de construcción de la tecnología se vinculó con la gobernanza y el liderazgo necesario para poder implementarlo. Los criterios relacionados con factores que pueden afectar de manera directa a la comunidad se incluyeron en la dimensión social y aquellos vinculados con la operación y el mantenimiento se consideraron dentro de la dimensión técnica. A continuación, se muestra el resultado de esta clasificación:

Ambiental:

- 8. Que no se rebose.
- 10. Qué sea seguro.

Económico:

- 9. Que no requiera energía.

Gobernanza:

- 2. Que sea lo más pronto.

Social:

- 3. Que sea más retirado.
- 4. Que no afecte la salud.
- 5. Que quede bien tapado.

Técnico:

- 6. Qué sea fácil de limpiar.
- 1. Mejoramiento del pozo séptico.
- 7. Que no ocupe tanto espacio.

Después de haber clasificado los criterios proporcionados se hizo la evaluación de cada uno de ellos para poder establecer si en verdad correspondía a un criterio o si era más un requerimiento por parte de la comunidad. De ese modo se pudo asignar para cada criterio remanente un indicador con el que se pudiera cuantificar y comparar la pertinencia de cada tecnología, como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Criterios e indicadores para la evaluación de tecnologías de saneamiento.

Criterio	Indicador	Medición del indicador	Unidades
Social	Distancia	(+) Distancia a la que se emplaza la unidad respecto a las viviendas	m
Ambiental	Eficiencia de remoción de DBO	(+) Porcentaje de remoción de DBO	%
Técnico	Área requerida	(-) Área que ocupa la unidad	m ²
	Facilidad en mantenimiento	(-) Producción de lodos	m ³
	Facilidad en operación	(-) Cantidad de etapas requeridas en el tratamiento	No. etapas
Económico	Requerimiento de energía eléctrica	(-) Consumo de energía eléctrica de la tecnología	Sí/No
Gobernanza	Tiempo de ejecución	(-) Duración de la construcción de la unidad	meses

Respecto a la dimensión social, se tenían dos criterios que eran la distancia de la tecnología a la población y las afectaciones a la salud, y un requerimiento que era que quedara bien tapado. El criterio entonces se consolidó como distancia a la que se emplaza la unidad respecto a las viviendas, ya que como se determinó en el 8.1.2, esta variable guarda una relación directa con la percepción de afecciones a la salud.

El criterio ambiental contemplaba dos requerimientos: que no se rebose y que sea seguro. Ambos se integraron dentro del criterio técnico de facilidad en la operación, dado que el adecuado manejo de la tecnología es determinante para la seguridad del sistema y para prevenir estos eventos. Asimismo, se incorporó un indicador de eficiencia para estimar si la remoción de contaminantes cumple con lo establecido en la normativa vigente. En este sentido, el criterio técnico se orientó al área requerida así como a las condiciones de operación y mantenimiento. El requerimiento de mejoramiento de la tecnología, se consideró que estaba implícito dentro de los objetivos del proyecto.

El criterio económico se definió con el requerimiento energético ya que se procura que estas unidades funcionen hidráulicamente y no mediante sistema de bombeo o con suministro

continuo de energía. Por último, el criterio de gobernanza que se tenía como “que sea lo más pronto” se determinó como tiempo de ejecución, ya que con esto se toma en consideración la capacidad que tiene la comunidad para construir, operar y mantener el sistema. Esta depuración y reorganización de los criterios no sólo permitió simplificar el análisis, sino que además brinda una base más clara y objetiva para la aplicación de la matriz de evaluación, facilitando así la toma de decisiones sobre la tecnología más adecuada para la comunidad.

8.2.2. Preselección de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales

Para la preselección de las tecnologías de tratamiento se consideraron los compendios realizados por Tilley et al. (2018), Acosta (2024) y Minvivienda (2021). El primer autor clasifica las tecnologías por grupos funcionales cuya orientación es clave para la planificación de proyectos de saneamiento en países de ingresos medios y bajos. El segundo hace un análisis bibliométrico exhaustivo sobre la producción científica relacionada con los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural a nivel global. El tercero, a través del título J del RAS hace un breve pero significativo porque está contextualizado en las zonas rurales de Colombia.

A partir de estos referentes, se identificaron las tecnologías con mayor aplicabilidad al contexto rural. Tilley et al. (2018) destacan alternativas de tratamiento (semi)centralizado como las lagunas de estabilización, los filtros percoladores, los filtros anaerobios de flujo ascendente, entre otros. Por su parte, Acosta (2024), señala que, en la literatura reciente, las tecnologías con mayor aplicabilidad son los humedales construidos y los sistemas de infiltración en el suelo. Minvivienda (2021), propone como principales alternativas los sistemas sépticos convencionales constituidos principalmente por tanques sépticos, filtros anaerobios y campos de infiltración.

De esta manera, la preselección realizada en este proyecto integra tanto la clasificación sistemática desarrollada por Tilley et al. así como las tendencias investigativas expuestas por Acosta y la normativa nacional vigente, lo que garantiza que haya un equilibrio entre las opciones disponibles y la evidencia científica más reciente.

La tabla 13, presenta la preselección de tecnologías de tratamiento identificadas a partir de los compendios de Tilley et al. (2018), Acosta (2024) y Minvivienda (2021). En ella se presentan también las ventajas y desventajas de cada tecnología para su consideración.

Tabla 13. Preselección de tecnologías de tratamiento aplicables en comunidades rurales.

Tecnología	Autor	Etapas del Tratamiento	Aplicabilidad en Contexto rural	Ventajas	Desventajas
Tanque Séptico	Tilley et al. (2018), Minvivienda (2021).	Tratamiento primario	Alta	+ Tecnología sencilla. + No requiere energía eléctrica. + Bajos costos de operación. + Larga vida útil. + Baja demanda de terreno.	- Baja eliminación de patógenos y material disuelto. - Debe garantizarse un desentlodado frecuente. - El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional.
Reactor Anaerobio con Deflectores (RAD)	Tilley et al. (2018); Acosta (2024)	Pretratamiento y Tratamiento primario	Alta	+ Resistente a cargas orgánicas y de choque hidráulico. + No requiere energía eléctrica. + Bajos costos de operación. + Larga vida útil. + Alta reducción de DBO. + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado. + Requiere un terreno de tamaño moderado.	- Requiere diseño y construcción por parte de expertos. - Baja reducción de patógenos y nutrientes. - El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada.
Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	Tilley et al. (2018), Minvivienda (2021).	Tratamiento secundario	Alta	+ No requiere energía eléctrica. + Bajos costos de operación. + Larga vida útil. + Alta reducción de DBO y sólidos. + Baja producción de lodo; el lodo está estabilizado. + Requiere un terreno de tamaño moderado.	- Baja reducción de patógenos y nutrientes. - El efluente y el lodo requieren tratamiento adicional y/o descarga apropiada. - Alto riesgo de obstrucción, dependiendo del pretratamiento y tratamiento primario.
Sedimentador	Tilley et al. (2018)	Tratamiento primario	Baja	+ Tecnología sencilla y fuerte. + Remoción eficiente de sólidos	- Frecuente remoción de lodos. - El efluente, el lodo y la espuma requieren

				suspendidos. + Costos de operación y capital relativamente bajos.	tratamiento adicional. - Un cortocircuito puede ser un problema.
Tanque Imhoff	Tilley et al. (2018)	Tratamiento primario	Baja	+ Requiere un terreno pequeño. + El efluente no es séptico (poco mal olor). + Bajos costos de operación.	- Infraestructura muy alta (o profunda); la profundidad puede ser un problema si la capa freática es alta. - Baja reducción de patógenos.
Laguna Aireada	Tilley et al. (2018)	Tratamiento secundario	Baja	+ Resistente a cargas de choques orgánicos e hidráulicos. + Alta reducción de DBO y patógenos. + No hay problema con insectos ni malos olores si se diseña y mantiene correctamente.	- Requiere un terreno grande. - Alto consumo de energía; necesita una fuente constante de electricidad. - Alto costo de inversión y operación, dependiendo del precio del terreno y la electricidad. - Requiere operación y mantenimiento por personal especializado. - No todos los repuestos y los materiales están disponibles localmente.
Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal	Tilley et al. (2018); Acosta (2024)	Tratamiento secundario	Media	+ Alta reducción de DBO, sólidos suspendidos y patógenos. + No tiene los problemas de mosquitos que existen en el humedal artificial de flujo superficial. + No requiere energía eléctrica. + Bajos costos de operación.	- Puede demandar áreas de terreno moderadas. - Riesgo de obstrucciones, dependiendo del pretratamiento y el tratamiento primario. - Periodo de arranque largo antes de trabajar a capacidad plena.
Humedal	Tilley	Tratam	Baja	+ Alta reducción de	-Requiere experiencia en

Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical	et al. (2018); Acosta (2024)	imiento secundario		DBO, sólidos suspendidos y patógenos. + Capacidad de nitrificación debido a la transferencia de oxígeno adecuado. + Bajos costos de operación.	diseño y construcción, sobre todo para el sistema de dosificación. - Requiere un mantenimiento más frecuente que un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial. - Puede necesitar una fuente constante de energía eléctrica. - Buen desempeño para eliminación de nutrientes
Filtro Percolador	Tilley et al. (2018)	Tratamiento Secundario	Baja	+ Puede funcionar con una gama de proporciones de carga hidráulica y orgánica. + Provee una nitrificación eficiente (oxidación de amonio). + Requiere un terreno pequeño en comparación con los humedales artificiales.	- Alto costo de inversión. - Requiere experiencia en diseño y construcción, sobre todo para el sistema de dosificación. - Necesita personal calificado para su operación y mantenimiento. - Requiere una fuente constante de electricidad y aguas residuales.
Reactor UASB	Tilley et al. (2018)	Tratamiento Primario	Baja	+ Alta reducción de la DBO. + Puede soportar altas tasas de carga hidráulica y orgánica. + Baja producción de lodo (y, por lo tanto, no requiere desludado frecuente). + El biogás puede usarse para energía (generalmente requiere depuración antes de usarse).	- El tratamiento puede ser inestable con cargas orgánicas e hidráulicas variables. - Requiere personal especializado para su operación y mantenimiento; es difícil conservar las condiciones hidráulicas adecuadas (las tasas de flujo ascendente y asentamiento deben estar equilibradas). - Periodo inicial largo. - Requiere una fuente constante de energía

					eléctrica.
Lodos Activados	Tilley et al. (2018)	Tratamiento secundario	Baja	+ Resistente a cargas de choques orgánicos e hidráulicos. + Puede funcionar en una gama de cargas hidráulicas y orgánicas. + Alta reducción de DBO y patógenos (hasta 99 por ciento). + Alta eliminación de nutrientes. + Puede modificarse para cumplir límites específicos de descarga.	- Alto consumo de energía; requiere una fuente constante de energía eléctrica. - Alto costo de inversión y costos operativos. - Requiere personal especializado para su operación y mantenimiento. - Propensos a problemas químicos y microbiológicos complejos.
Sistema de suelo multicapa (SSM)	Acosta (2024)	Tratamiento secundario	Baja	+ Alta eficiencia en la eliminación de contaminantes (TP, NH₄+-N,NT); +Bajo costo de construcción y operación + Uso de materiales locales, accesibles y respetuosos con el medio ambiente	-Problemas potenciales con patógenos y genes de resistencia a los antibióticos que suponen amenazas ambientales y sanitarias -Problemas de obstrucción en sistemas de infiltración del suelo
Filtros Intermittentes de Arena (ISF)	Acosta (2024)	Tratamiento secundario	Media	+Eficaces en la eliminación de contaminantes orgánicos y nutrientes +Bajo coste de operación y mantenimiento; +Sencillez en el diseño y operación.	-Susceptibilidad a la bioacumulación y al colmatado, lo que puede disminuir su eficiencia con el tiempo -Necesita monitorización y mantenimiento periódico, aunque es mínimo.
Filtros de Arena de Flujo Continuo	Acosta (2024)	Tratamiento secundario	Baja	+Alta eficiencia en la remoción de coliformes totales y E. coli +Mejora en la calidad del agua en términos de turbidez, color y conductividad	-Requiere mantenimiento regular para evitar la obstrucción y garantizar la eficiencia.

				eléctrica.	
Riego	Tilley et al. (2018)	Manejo de efluente	Alta	+ Reduce el agotamiento de acuíferos y mejora la disponibilidad de agua potable. + Reduce la necesidad de fertilizante. + Posibilidad de creación de empleos y generación de ingresos en el ámbito local. + Bajo riesgo de transmisión de patógenos si se trata el agua correctamente. + Bajos costos de capital y operación, según el diseño.	- Puede requerir diseño e instalación por parte de expertos. - No todos los repuestos y materiales están disponibles localmente. - Es muy propenso a obstrucciones (esto es, el agua debe estar libre de sólidos suspendidos). - Riesgo de salinización si el suelo es propenso a la acumulación de sales. - Poca aceptación social en algunas áreas.
Disposición Final/Recarga de acuíferos	Tilley et al. (2018)	Manejo de efluente	Alta	+ Puede generar una fuente de agua a “prueba de sequía” (acuíferos). + Puede aumentar la productividad de los cuerpos de agua superficiales al mantener los niveles constantes.	- La descarga de nutrientes y microcontaminantes puede afectar a los cuerpos de agua natural o potable. - La introducción de contaminantes puede tener impactos a largo plazo. - Puede perjudicar las propiedades del suelo y de los acuíferos.

Para el pretratamiento, se definió de acuerdo con Minvivienda (2021), que debían instalarse trampas de grasa individuales. puesto que las aguas residuales generadas en viviendas rurales dispersas suelen arrastrar cantidades significativas de grasas y jabones, como se aprecia en la figura 27, que en caso de no ser retenidos pueden llegar a los sistemas posteriores de tratamiento, dificultando la descomposición biológica y reduciendo la eficiencia del tratamiento.



Figura 27. Tanque séptico actual. **Foto:** Autor.

En cuanto al primer grupo funcional, interfaz de usuario (U), se mantienen las unidades que posee cada hogar, en este caso cada vivienda cuenta con sanitario de tanque (figura 28), como se pudo establecer durante el proceso de caracterización de la comunidad.



Figura 28. Sanitario de tanque. **Foto:** Autor.

Respecto al Tratamiento primario o (semi)centralizado, en principio se consideraron tres tecnologías según los compendios consultados: Tanque séptico, Reactor anaerobio con deflectores (tanque séptico avanzado) y el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA). Sin embargo, el FAFA no se considera un tratamiento primario porque requiere de un pretratamiento para evitar obstrucciones por sólidos, lo que representa una limitación para el contexto estudiado. Por su parte, el tanque séptico avanzado, representa una tecnología que demanda no solamente de diseño y construcción por parte de expertos sino también de un

mantenimiento y monitoreo permanentes, por lo que se aleja del criterio técnico. Es por esto que se optó por una tecnología que tuviera plena afinidad con el territorio y que en concordancia con los criterios establecidos ofrecieran una fácil operación y mantenimiento. Bajo esas condiciones la tecnología más adecuada fue el tanque séptico.

Por otro lado, en cuanto al grupo funcional de conducción (C), se determinó mantener el sistema actual, ya que reemplazarlo podría incurrir en gastos mucho más elevados. Durante las visitas de campo realizadas con el acompañamiento de la líder social del sector de El Descanso, se constató que cada vivienda dispone de tuberías de evacuación de aguas residuales en óptimas condiciones. Si bien, se han presentado fugas en casos muy puntuales, éstas han sido reparadas oportunamente mediante gestión y recursos comunitarios.

La selección del tratamiento secundario, se realizó teniendo en cuenta los criterios e indicadores establecidos participativamente en la tabla 13. El primer filtro que se realizó a las tecnologías de la tabla 14 fue el de aplicabilidad, descartando las tecnologías con nivel bajo ya que estas tecnologías requieren condiciones de operación y mantenimiento que no serían aceptadas por la comunidad, entre ellas la alta frecuencia de remoción de lodos, los altos costos de inversión y la mano de obra especializada. En ese sentido, la lista de tecnologías viables se redujo a las siguientes opciones:

- Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
- Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal
- Filtros Intermitentes de Arena

Finalmente, se aplicó una matriz de comparación para las alternativas del tratamiento secundario, de acuerdo con los criterios e indicadores establecidos en la tabla 14. Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 14. Matriz de Comparación de Alternativas para el Tratamiento Secundario.

Alternativa	Social	Ambiental	Técnico			Económico	Gobernanza
	Distancia (m)	Eficiencia de Remoción de DBO ₅ (%)	Área Requerida Total (m ²)	Facilidad Mantenimiento (m ³ /d)	Facilidad Operación (No Etapas)	Requerimiento energético (Sí/No)	Duración de construcción (Meses) ^d
FAFA	<20	66,10	0,88	0,00126	4	No	4-9
HFSH	>20	85 ^b	57,80	-	2	No	4-10
FIA	>20	> 90 ^c	26 ^a	mínima	2	Sí	1-3

^aValor para un solo filtro

^bValor recomendado por García y Corzo (2008).

^cValor recomendado por CONAGUA (2016).

^dValor recomendado por EPA (1999) y OPS (2005).

Se seleccionó finalmente el FAFA como tratamiento secundario con base en dos elementos claves y soportado en el parágrafo 1 del artículo 50 de la Resolución 0799 de 2021 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. El primero fue el área requerida, el FAFA requiere aproximadamente 1 m², en comparación frente al Humedal y al Filtro intermitente que ocupan más de 50 m². El segundo fue el requerimiento energético; si bien el FIA puede trabajar a gravedad, no siempre es factible que opere de esa manera, por lo tanto tocaría bombear y para evitar obstrucciones se necesitarían al menos dos unidades, es por ello que incumple con uno de los criterios más importantes considerados por la comunidad. Respecto a la eficiencia de remoción, se pudo establecer que aunque no es la más alta, el tren de tratamiento completo puede remover teóricamente hasta un 70 % de DBO₅, lo que permitiría cumplir con los niveles máximos permitidos para descarga a cuerpos de aguas superficiales estipulados en el artículo 8 de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Para el Manejo del Efluente, se tenía como soluciones viables el uso del agua tratada para riego y la disposición final. Para evaluar este grupo se tuvo en cuenta que la percepción sobre el agua residual fue de preocupación frente a los posibles riesgos sanitarios derivados del contacto con aguas residuales, así hayan sido tratadas, y también la fuerte correlación entre la cercanía a la tecnología y las afectaciones a la salud. La comunidad expresó de manera reiterada su preferencia por una alternativa que sea segura. Por estas razones, la opción de disposición final resulta más adecuada, al responder de manera más clara a las expectativas y necesidades de la comunidad.

8.2.3. Tren de Tratamiento Seleccionado

La figura 29, presenta el esquema tecnológico propuesto para el tratamiento de las ARD generadas en el sector de El Descanso. El sistema inicia con una trampa de grasas como parte del pretratamiento. Posteriormente, el agua pasa a un tanque séptico que permite la sedimentación de sólidos y la digestión parcial de la materia orgánica. Finalmente, el efluente es conducido a un FAFA que actúa como tratamiento secundario, logrando así una mayor reducción de la carga orgánica antes de que sea vertida al medio receptor que en este caso es la quebrada “La Sopera”.



Figura 29. Esquema tecnológico seleccionado para la comunidad de El Descanso.

8.3. Predimensionamiento del Sistema de Saneamiento

A continuación, se presentan los cálculos realizados para el predimensionamiento de las unidades anteriormente seleccionadas.

8.3.1. Trampa de Grasas

Se predimensionó una trampa de grasas para cada vivienda, considerando la dispersión de las edificaciones en el sector. Esta medida permite interceptar los compuestos grasos en el punto de generación, evitando su arrastre y posibles obstrucciones en las tuberías antes del tratamiento primario. Se recogieron los siguientes criterios de diseño de acuerdo con la normatividad colombiana vigente. Esta información se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Criterios de diseño para Trampa de Grasas según Normativa Vigente.

Mindesarrollo, 2000. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Título E. Tratamiento de aguas residuales. Colombia.	Minvivienda, 2021. Resolución 0799 de 2021. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Artículo 49. Colombia.
1. Se debe asegurar que la capacidad mínima de almacenamiento de grasa, expresada en kilogramos, sea al menos equivalente a una cuarta parte del caudal máximo horario, medido en litros por minuto. Además, el tanque debe contar con un área mínima de 0,25 m ² por cada litro por segundo de caudal, mantener una relación de ancho la longitud entre 1:4 y 1:18, y garantizar una velocidad ascensional no inferior a 4 mm/s.	1. El volumen de la trampa de grasa se calculará para un período de retención mínimo de 2,5 minutos.
2. Deben colocarse elementos controladores de flujo en las entradas para protección contra sobrecargas o alimentaciones repentinas. El diámetro de la entrada debe ser de un diámetro mínimo de 50 mm y el de la salida de por lo menos 100 mm. El extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 150 mm. El tubo de salida haga la recolección debe localizarse por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0.9m.	2. La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendida entre 1:1 a 3:1, dependiendo de su geometría. 3. La profundidad útil deberá ser acorde con el volumen calculado partiendo de una altura útil mínima de 0,35 m.

- Caudal de Diseño

Para estimar el caudal de diseño de la unidad, primero se debe designar la carga relativa de cada aparato sanitario de la vivienda. Esto se hace con base en el apartado de infraestructura de saneamiento contenido en la encuesta socioeconómica y luego se relaciona con los valores establecidos en la Tabla 8.9.1 de la norma NTC 1500-2023. Los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Unidades de Desagüe de Aparatos Sanitarios existentes en las viviendas.

Aparato Sanitario	Unidades de Gasto	Promedio por Vivienda	Gasto
Ducha	2	1	2
Lavamanos	1	1	1
Lavadora	3	1	3
Lavaplatos	2	1	2
Total (p)			8

Luego, se aplica la siguiente ecuación:

$$Q_d = 0,3 \times \sqrt{\Sigma p}$$

Donde:

p: Unidades de Gasto

Q_d: Caudal de diseño (L/s)

$$Q_d = 0,3 \times \sqrt{8} = 0,85 \frac{L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{60 s}{1 min} = 0,051 \frac{m^3}{min}$$

- Volumen de la Unidad

$$V_{tg} = Q \times T_r$$

Donde

V: Volumen (m³)

Q: Caudal (m³/min)

T_r: Tiempo de retención (min)

$$V_{tg} = 0,051 \frac{m^3}{min} \times 30 min = 1,53 m^3 = 1530 L$$

- Área Útil de la Unidad

$$A = \frac{V}{h}$$

Donde:

V: Volumen (m³)

h: Profundidad del agua (m): Según RAS 2021, la altura útil mínima es de 0,35 m.

A: Área útil (m²)

$$A = \frac{1,53 m^3}{1 m} = 1,53 m^2$$

- Dimensiones de la Unidad

Se diseña una unidad con relación largo:ancho de 1:2.

- Ancho

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Donde:

A: Área útil (m²)

a: ancho (m)

$$a = \sqrt{\frac{1,53 m^2}{2}} = 0,87 m \simeq 0,9 m$$

- Largo

$$b = 2 \times a$$

Donde:

a: ancho (m)

b: largo (m)

$$b = 2 \times 0,9 m = 1,8 m$$

- Resumen de Cálculos

A continuación, en la Tabla 17, se presenta el resumen del cálculo de cada una de las dimensiones de la trampa de grasas que se debe ubicar en cada vivienda como pretratamiento. Se escoge un diámetro mínimo de 4 pulgadas a la entrada y a la salida por manejar un caudal tan bajo.

Tabla 17. Resumen de Cálculos de la Trampa de Grasas.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	0,051	m ³ /min
Volumen	1,53	m ³
Área	1,53	m ²
Altura	1	m

Ancho	0,9	m
Largo	1,8	m
Diámetro de tubería entrada y salida	4	pulgadas

8.3.2. Tanque Séptico

Para el tratamiento primario se predimensionó un tanque séptico que tratará las aguas residuales generadas por 20 habitantes. Se recogieron los siguientes criterios de diseño de acuerdo con la normatividad colombiana vigente. Esta información se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Criterios de diseño para Tanque Séptico según Normativa Vigente.

Mindesarrollo, 2000. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Título E. Tratamiento de aguas residuales. Colombia.	Minvivienda, 2021. Resolución 0799 de 2021. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Artículo 50. Colombia.
Volumen útil: El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios :• Rendimiento del proceso de tratamiento.• Almacenamiento de lodos.• Amortiguamiento de caudales pico.	1. Para tanques sépticos rectangulares, la relación entre el largo-ancho será como mínimo de 2:1 y como máximo de 5:1. Cuando se utilicen otras formas geométricas; deberá justificarse el diseño hidráulico correspondiente.
Se recomiendan cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños a medianos, que sirvan hasta 30 personas.	2. El tiempo de retención hidráulica debe estar entre 12 a 24 horas.
Diámetro interno mínimo de 1.10 m, el largo interno mínimo de 0.80 m y la relación ancho / largo mínima para tanques prismáticos rectangulares de 2:1 y máxima de 4:1	3. El tanque séptico deberá constar como mínimo de dos cámaras; el volumen de la primera cámara deberá ser igual a 2/3 del total del volumen.

Además, se usó la figura 30, tomada de la Resolución 0799 de 2021 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia para verificar que el tanque cumpla con el criterio de profundidad de acuerdo con su volumen útil y la figura 31 para estimar la cantidad de agua residual generada por persona.

Volumen útil (m ³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1,2	2,2
De 6 a 10	1,5	2,5
Más de 10	1,8	2,8

Figura 30. Valores de Profundidad Útil. **Fuente:** Minvivienda (2021).

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m s. n. m.	120
1000 - 2000 m s. n. m.	130
< 1000 m s. n. m.	140

Figura 31. Dotación Neta Máxima de Agua Potable. **Fuente:** Minvivienda (2021).

Finalmente, se deben considerar los siguientes aspectos contenidos en el título J del RAS (2021). El primero, el tanque séptico debe constar de mínimo 2 cámaras; el volumen de la primera cámara deberá ser igual a 2/3 del total del volumen, es decir 6,8 m³, entonces el volumen de la segunda cámara es de 3,4 m³. Por otro lado, el fondo de los tanques sépticos deberá tener pendiente de 2% con caída hacia el punto de ingreso de los líquidos. Por último, la batea de la tubería de salida del tanque séptico deberá estar situada a 0,05 m por debajo de la batea de la tubería de entrada y se recomienda que el borde libre (Espacio libre entre la capa superior de la nata o espuma y la parte inferior de la loza de techo del tanque séptico) tenga una altura (hv) mínima de 0,3 metros.

- Cálculo de la Zona de Lodos

$$V_l = \frac{T_l \times P \times N}{1000}$$

Donde:

V_l: Volumen para lodos (m³)

T_l: Tasa de acumulación de lodos (L/hab.año)

N: Número asumido de años entre operaciones de limpieza (año)

P: Población aportante (hab)

Para la tasa de acumulación (T) se consideran los valores sugeridos por el Título J del RAS 2021 de Minvivienda que son: para clima cálido 40 L/hab-año y de 50 L/hab-año para clima frío. En caso de que al tanque séptico se lleven las descargas de las aguas grises, a los valores anteriores se les adicionará un valor de 20 l/hab-año, se escoge una tasa de 70 L/hab-año. Así mismo, para el N, se recomienda como mínimo 2 años y como máximo 6 años, por lo tanto se escogen 2 años.

$$V_l = \frac{70 \frac{L}{hab.año} \times 20 hab \times 2 años}{1000} = 2,8 m^3$$

- Cálculo de la Zona de Flotantes

$$V_f = 0,4 \times V_l$$

Donde:

V_l : Volumen para lodos (m^3)

V_f : Volumen de zona de flotantes (m^3)

$$V_f = 0,4 \times 2,8 m^3 = 1,12 m^3$$

- Cálculo del Tiempo Medio de Retención Hidráulica

De acuerdo con lo establecido en la Resolución 0844 de 2018 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, el tiempo de retención hidráulico en los tanques sépticos no debe ser inferior a 8 horas en climas templados y cálidos, ni a 12 horas en climas fríos. Asimismo, según la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, este valor no debe exceder las 24 horas, considerando las características del agua residual doméstica a tratar.

$$t_d = 1,5 - 0,3 \log(P \times Q)$$

Donde:

t_d : Tiempo mínimo de retención hidráulica (días)

P: Población aportante (habitantes)

Q: Aporte de aguas residuales (L/hab.día)

$$t_d = 1,5 - 0,3 \log(20 hab \times 130 L/hab.día) = 0,48 días \approx 12 horas$$

- Cálculo de la Zona de Sedimentación

$$V_{rs} = \frac{P \times Q \times t_d}{1000}$$

Donde:

t_d : Tiempo mínimo de retención hidráulica (días)

P: Población aportante (habitantes)

Q: Aporte de aguas residuales (L/hab.día)

V_{rs} : Volumen de la Zona de Sedimentación (m^3)

$$V_{rs} = \frac{20 \text{ hab} \times 130 \text{ L/hab.día} \times 0,48 \text{ días}}{1000} = 1,24 \text{ m}^3$$

- Cálculo del Tiempo de Digestión

El periodo necesario para la digestión de los sólidos sedimentables depende de la temperatura (T). La temperatura promedio en el sector de El Descanso es de 20 °C.

$$T_d = 30 \times (1,035)^{35-T}$$

Donde:

T: Temperatura promedio (°C)

T_d: Tiempo de digestión (días)

$$T_d = 30 \times (1,035)^{35-20} = 50,26 \text{ días}$$

- Cálculo de la Zona de Digestión

$$V_d = 0,5 \times 10^{-3} \times P \times T_d$$

Donde:

T_d: Tiempo de digestión (días)

P: Población aportante (habitantes)

V_d: Volumen de la zona de digestión (m³)

$$V_d = 0,5 \times 10^{-3} \times 20 \text{ hab} \times 50,26 \text{ días} = 0,50 \text{ m}^3$$

- Volumen Total del Tanque

$$V_T = V_l + V_f + V_{rs} + V_d$$

Donde:

V_l: Volumen para lodos (m³)

V_f: Volumen de zona de flotantes (m³)

V_{rs}: Volumen de la Zona de Sedimentación (m³)

V_d: Volumen de la zona de digestión (m³)

V_T: Volumen Total de la Unidad (m³)

$$V_T = 2,8 + 1,12 + 1,24 + 0,50 = 5,66 \text{ m}^3$$

- Área Superficial del Tanque

De acuerdo con la figura 30, la profundidad útil para un volumen de 10,2 metros cúbicos debe estar comprendida entre 1,8 y 2,8 metros.

$$A_s = \frac{V_T}{h}$$

Donde:

V_T : Volumen Total de la Unidad (m^3)

h : Profundidad Útil del Tanque (m)

A_s : Área Superficial del Tanque (m^2)

$$A_s = \frac{5,66 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}} = 3,14 \text{ m}^2$$

- Altura Requerida de Sedimentación

$$h_{rs} = \frac{V_{rs}}{A_s}$$

Donde:

V_{rs} : Volumen de la Zona de Sedimentación (m^3)

A_s : Área Superficial del Tanque (m^2)

h_{rs} : Altura Requerida de Sedimentación (m)

$$h_{rs} = \frac{1,24 \text{ m}^3}{3,14 \text{ m}^2} = 0,39 \text{ m}$$

- Altura de la Zona de Lodos

$$h_l = \frac{V_l}{A_s}$$

Donde:

V_l : Volumen para lodos (m^3)

A_s : Área Superficial del Tanque (m^2)

h_l : Altura de la zona de lodos (m)

$$h_l = \frac{2,8 \text{ m}^3}{3,14 \text{ m}^2} = 0,89 \text{ m}$$

- Altura de Flotantes

$$h_f = \frac{V_f}{A_s}$$

Donde:

V_{rs} : Volumen de la Zona de flotantes (m^3)

A_s : Área Superficial del Tanque (m^2)

h_{rs} : Altura de Flotantes (m)

$$h_f = \frac{1,12 m^3}{3,14 m^2} = 0,36 m$$

- Altura de la Zona de Digestión

$$h_f = \frac{V_d}{A_s}$$

Donde:

V_{rs} : Volumen de la Zona de Digestión (m^3)

A_s : Área Superficial del Tanque (m^2)

h_{rs} : Altura de la Zona de Digestión (m)

$$h_f = \frac{0,50 m^3}{3,14 m^2} = 0,16 m$$

- Dimensiones de la Unidad

- Ancho

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Donde:

A: Área útil (m^2)

a: ancho (m)

$$a = \sqrt{\frac{3,14 m^2}{2}} = 1,25 m \simeq 1,3 m$$

- **Largo**

$$b = 2 \times a$$

Donde:

a: ancho (m)

b: largo (m)

$$b = 2 \times 1,3 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$$

- **Resumen de Cálculos**

A continuación, en la Tabla 19, se presenta el resumen del cálculo de cada una de las dimensiones del Tanque Séptico.

Tabla 19. Resumen de Cálculos del Tanque Séptico.

Parámetro	Valor	Unidades
Volumen para lodos	2,8	m ³
Volumen de zona de flotantes	1,12	m ³
Tiempo mínimo de retención hidráulica	0,48 (12)	días (horas)
Volumen de la Zona de Sedimentación	1,24	m ³
Tiempo de digestión	50,26	días
Volumen de la zona de digestión	0,50	m ³
Volumen Total de la Unidad	5,66	m ³
Área Superficial del Tanque	3,14	m ²
Profundidad útil	1,8	m
Altura de Zona de Sedimentación	0,39	m
Altura de Zona de Lodos	0,89	m
Altura de Zona de Digestión	0,16	m
Altura de Flotantes	0,36	m
Borde Libre	0,30	m

Altura Total	2,10	m
Ancho	1,3	m
Largo	2,6	m

8.3.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

Para el tratamiento primario se predimensionó un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) que hará un postratamiento al efluente del Tanque Séptico. Se recogieron los siguientes criterios de diseño de acuerdo con la normatividad colombiana vigente. Esta información se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Criterios de diseño para FAFA según Normativa Vigente.

Minambiente, 2017. Resolución 0330 de 2017. Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Artículo 175. Colombia.	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). Título J del RAS: Alternativas Tecnológicas de Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Colombia.
Los filtros anaeróbicos de flujo ascendente (FAFA) se construyen como una cámara anexa al final del tanque séptico o como una cámara independiente.	La zona de entrada por la parte inferior del FAFA puede ser con o sin falso fondo, lo importante es que garantice una buena distribución del caudal afluente con el fin de evitar zonas muertas dentro del reactor.
El lecho filtrante podrá estar constituido por un lecho de grava, con un volumen de 0,02 a 0,04 m ³ por cada 0,1 m ³ /día de aguas residuales que se van a tratar; también será posible emplear material filtrante plástico, utilizando la mitad del volumen anterior.	La zona empacada que es el eje funcional del sistema debe tener un área superficial alta (del orden de 100 m ² /m ³ de material filtrante).
	La zona de salida también debe garantizar una recolección homogénea del agua residual, para evitar las zonas muertas en el reactor.

- Cálculo de Volumen del Filtro

$$V_{\text{útil}} = Q \times TRH$$

Donde:

Q: Aporte de Aguas Residuales (m³/d)

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica (días)

V: Volumen útil del Filtro (m³)

Los filtros anaerobios de flujo ascendente se emplean en el tratamiento de aguas residuales domésticas como unidades de pulimento del efluente proveniente de tanques sépticos o de reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), y operan con tiempos de retención hidráulica (TRH) que varían entre 4 y 10 horas (0,17 y 0,42 días) (Chernicharo de Lemos, 2007).

$$V_{\text{útil}} = 2,6 \frac{m^3}{d} \times 0,42 d = 1,092 m^3$$

Dado que parte del volumen del reactor estará ocupado por el medio de soporte responsable de favorecer el crecimiento de la biomasa adherida, es necesario recalcular el volumen útil considerando el porcentaje de vacíos que dicho medio deja disponibles para el paso del agua residual.

$$V_{\text{requerido}} = V_{\text{útil}} + \left(V_{\text{útil}} \times \left(1 - \frac{\% \text{Espacios vacíos}}{100} \right) \right)$$

Se seleccionó un valor de 95 % que corresponde a Rosetones como medio de soporte. Este material ofrece ventajas significativas frente a la grava o a la piedra como un menor riesgo de colmatación y mayor área para crecimiento microbiano, lo que promueve una degradación anaerobia más eficiente.

$$V_{\text{req}} = 1,092 m^3 + \left(1,092 m^3 \times \left(1 - \frac{95 \%}{100} \right) \right) = 1,147 m^3$$

- Cálculo del Área Superficial

$$A_{\text{sup}} = \frac{V_{\text{req}}}{h}$$

Donde:

V_{req} : Volumen Requerido del Filtro (m^3)

h : Altura útil del Filtro (m)

A_{sup} : Área Superficial del Filtro (m^2)

De acuerdo con Chernicharo de Lemos (2007), para los filtros anaerobios empleados en el pos-tratamiento de efluentes provenientes de tanques sépticos, la altura útil total del filtro se obtiene al sumar la altura del medio de soporte (0,60 m), la altura del falso fondo, que incluye el espesor de la losa perforada (0,60 m), y la altura de la canaleta colectora, correspondiente a la lámina libre (generalmente entre 0,10 y 0,20 m). En ese sentido, la altura útil se escogió como 1,30 metros.

$$A_{\text{sup}} = \frac{1,147 m^3}{1,30 m} = 0,88 m^2$$

- **Cálculo del Largo y Ancho del Filtro**

- **Largo**

$$L = \sqrt{A_{sup}}$$

Donde:

A_{sup} : Área Superficial del Filtro (m^2)

L: Largo del Filtro (m)

$$L = \sqrt{0,88 m^2} = 1,2 m$$

- **Ancho**

$$a = \frac{L}{Rel}$$

Donde:

L: Largo del Filtro (m)

Rel: Relación Largo/Ancho

$$a = \frac{1,2 m}{1,5} = 0,8 m$$

- **Resumen de Cálculos**

A continuación, en la Tabla 21, se presenta el resumen del cálculo de cada una de las dimensiones del FAFA.

Tabla 21. Resumen de Cálculos del FAFA.

Parámetro	Valor	Unidades
Volumen útil	1,092	m^3
Volumen Requerido	1,147	m^3
Área Superficial	0,88	m^2
Altura del Medio de Soporte	0,6	m
Altura del Falso Fondo	0,6	m
Altura de la Canaleta Recolectora	0,1	m
Largo	1,2	m
Ancho	0,8	m

Según Chernicharo (2007), la Losa del falso fondo debe contar con aberturas de 2,5 cm de diámetro, dispuestas con un espaciamiento de 15 cm entre sí. La distribución del agua residual en el fondo del filtro puede realizarse por medio de tubos verticales, distantes 0,30 m del fondo. Los filtros deben poseer dispositivos que permitan el vaciado de los mismos en flujo descendente. Para filtros con falso fondo, se deberá disponer un tubo-guía de 200 mm de diámetro.

8.4. Planos de las Unidades Seleccionadas

8.4.1. Trampa de Grasas

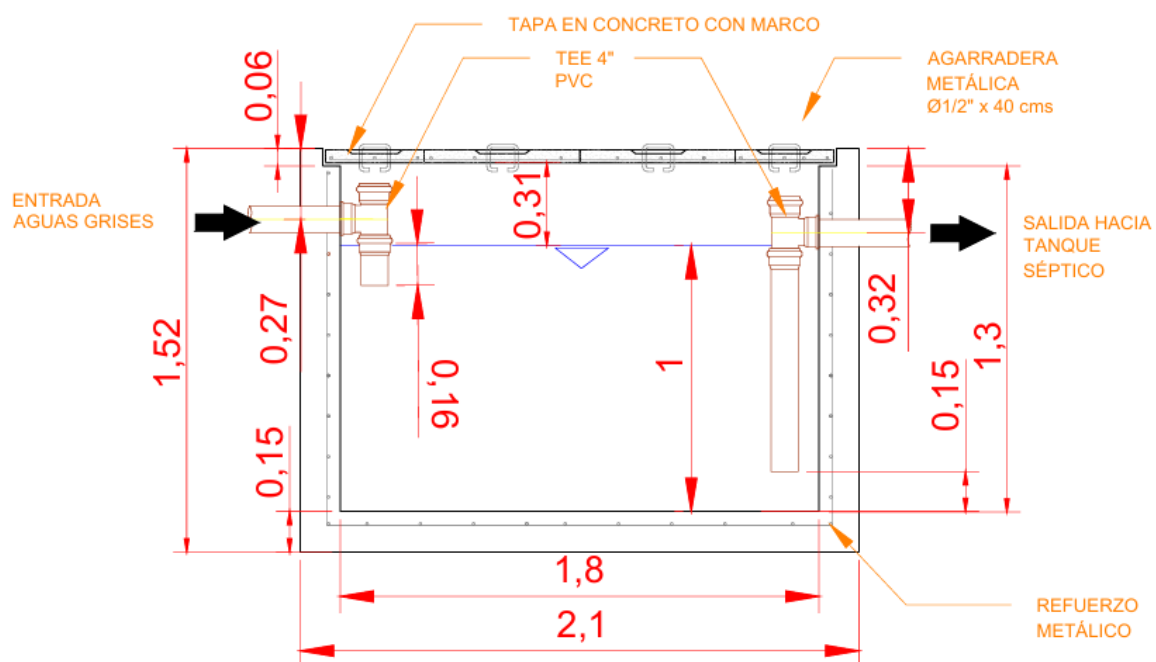


Figura 32. Vista en Perfil de Trampa de Grasas. Escala 1:100.

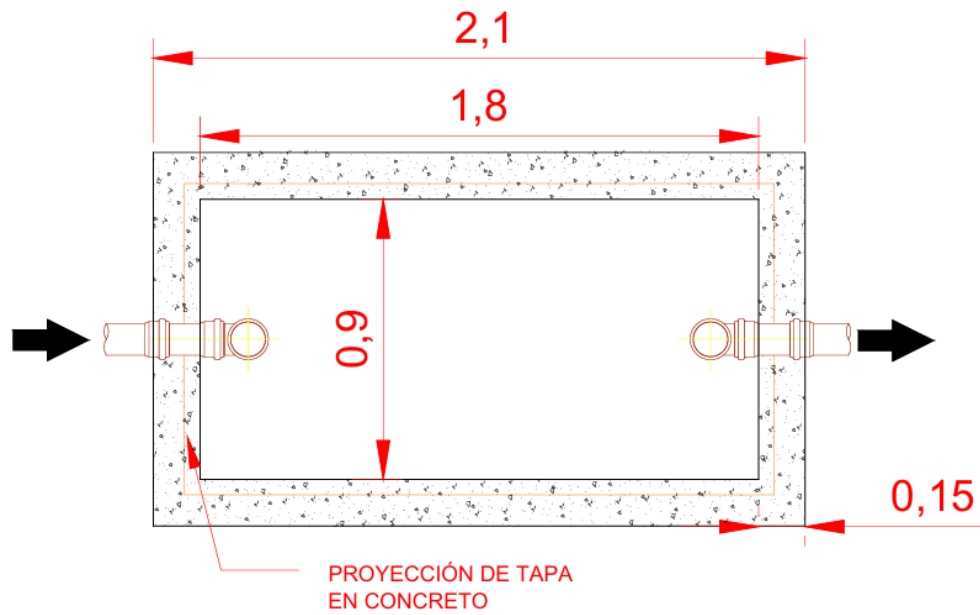


Figura 33. Vista en Planta de Trampa de Grasas. Escala 1:75.

8.4.2. Tanque Séptico

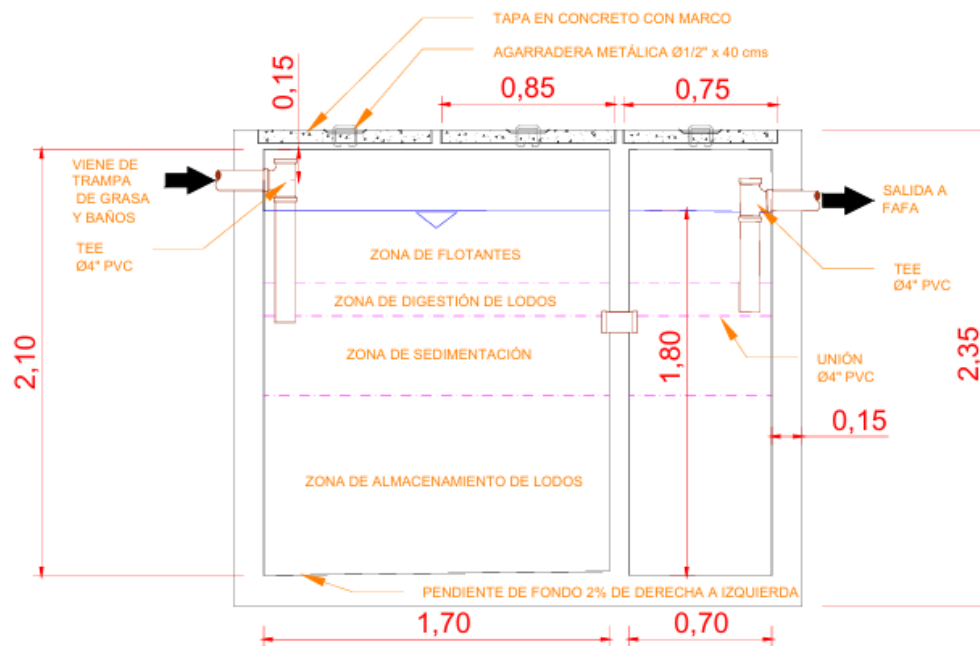


Figura 34. Vista en Perfil de Tanque Séptico. Escala 1:100.

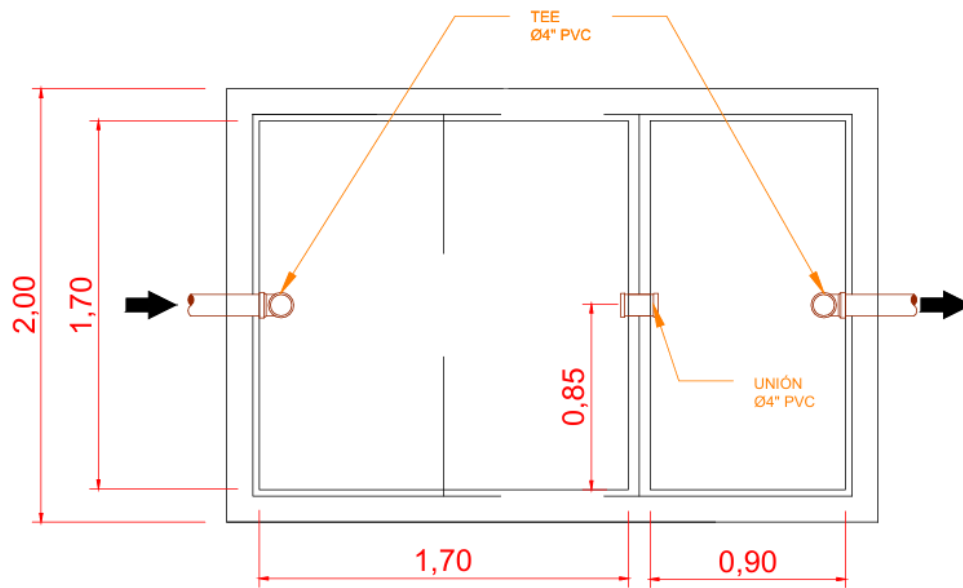


Figura 35. Vista en Planta de Tanque Séptico. Escala 1:150.

8.4.3. Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

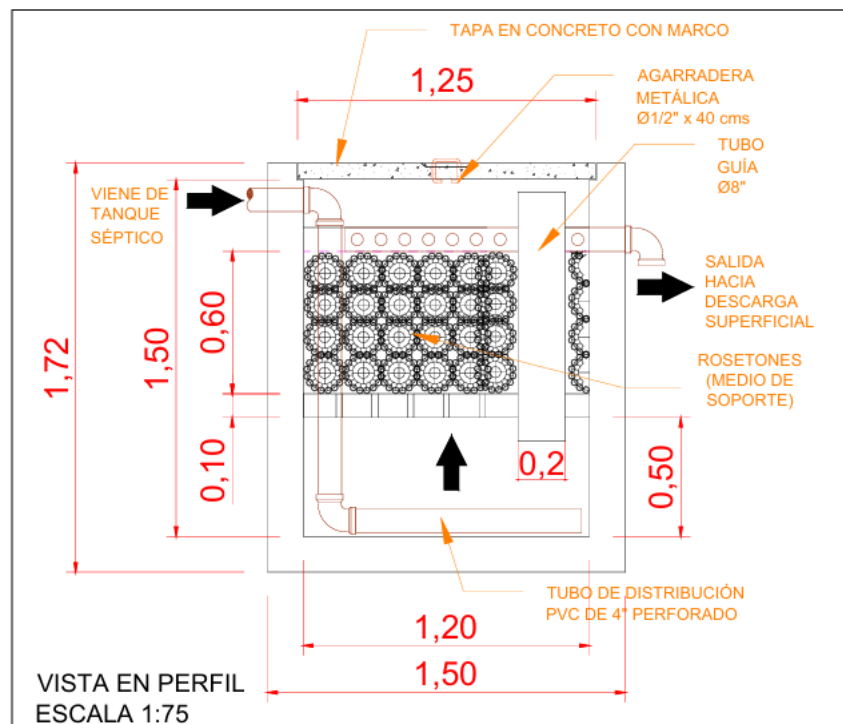


Figura 36. Vista en Perfil de FAFA. Escala 1:75.

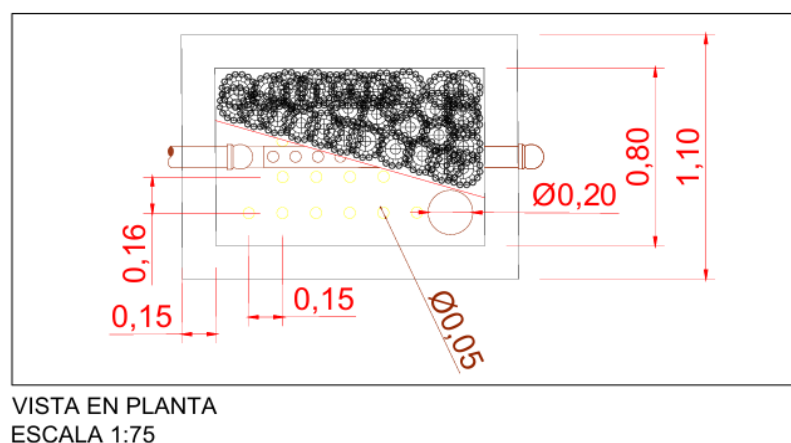


Figura 37. Vista en Planta de FAFA. Escala 1:75.

8.4.4. Perfil del Sistema de Saneamiento

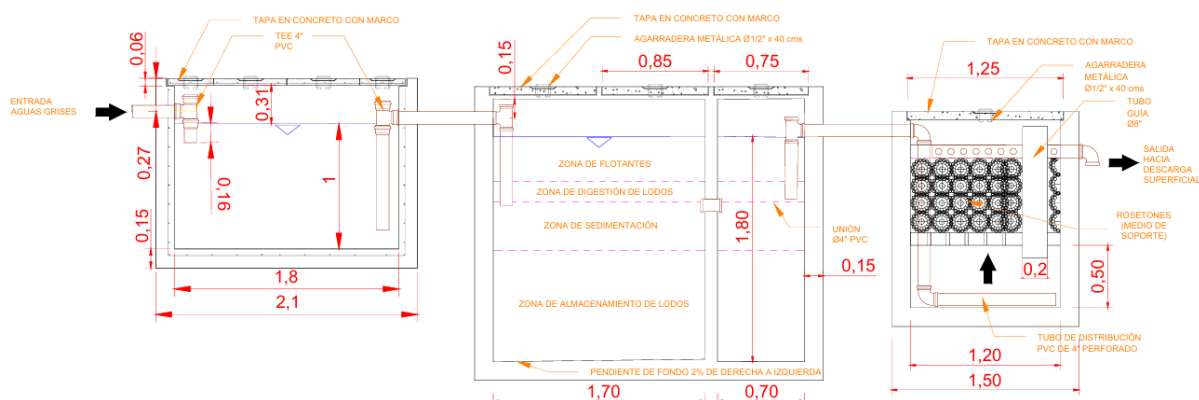


Figura 38. Perfil del Sistema de Saneamiento. Escala 1:100.

La información que se recolectó a través de las diversas herramientas utilizadas permitió que se pudiera establecer una base más sólida para la toma de decisiones. A partir de la encuesta aplicada se pudo caracterizar la población y obtener información primaria sobre las condiciones actuales de saneamiento, lo que permitió estimar variables como la población de diseño. Del mismo modo, actividades complementarias como la cartografía social facilitaron la comprensión del territorio y sus dinámicas en torno al recurso hídrico, permitiendo identificar aspectos como la localización de la tecnología a implementar y algunas restricciones físicas y sociales que debían ser consideradas en la formulación como el área disponible.

Por otro lado, al jerarquizar los criterios de selección proporcionados por los habitantes y aplicar técnicas de análisis multicriterio y comparación de alternativas con base en indicadores que se ajustaran al contexto estudiado, alineados con la normatividad legal vigente, se pudo establecer la tecnología más adecuada para el sector. Posteriormente, con base en los datos poblacionales y los criterios normativos aplicables, se realizó el predimensionamiento hidráulico de cada unidad, definiendo volúmenes, tiempos de retención y dimensiones preliminares.

9. CONCLUSIONES

- ❖ La gestión actual de las aguas residuales en el sector de El Descanso no es lo suficientemente efectiva en términos técnicos y operacionales, lo que ha generado riesgos ambientales y sanitarios que, acorde con lo que se pudo establecer en este trabajo, está afectando la calidad de vida de las personas y del ambiente.
- ❖ El trabajo con comunidades rurales sigue representando un desafío desde cualquier punto de vista; sin embargo, es importante mancomunar esfuerzos desde todos los sectores públicos y privados para que no solamente las personas puedan acceder a servicios básicos de agua y saneamiento, sino para que también se puedan mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente.
- ❖ A pesar de que los enfrentamientos armados en la zona de estudio impidieron realizar algunas actividades previstas, como el ejercicio de SIG, fue posible encontrar y aplicar alternativas metodológicas que, aunque menos ambiciosas por la naturaleza de los circunstancias, permitieron avanzar hacia el alcance de los objetivos planteados en el presente trabajo.
- ❖ Integrando mecanismos de participación comunitaria y análisis multicriterio de aspectos técnicos y socioeconómicos se pudo formular una propuesta técnica para el manejo de las aguas residuales de los habitantes del sector de El Descanso, aumentando así la aceptación a las tecnologías seleccionadas y por ende la sostenibilidad del proyecto.
- ❖ La aplicación de técnicas como la cartografía social permitió recopilar información valiosa sobre la percepción de la comunidad sobre el territorio y conocer las dinámicas sociales asociadas al agua. Esto no solo facilitó la comprensión del contexto local sino que también permitió fortalecer el vínculo comunidad-territorio, y la formulación de una propuesta acorde con el contexto estudiado.
- ❖ La participación comunitaria desempeñó un papel fundamental en todas las etapas del proyecto, ya que como se esperaba, la comunidad debía estar presente en cada una de las decisiones que se tomaron y así mismo estas decisiones debían estar acompañadas del criterio técnico personal para lograr más objetividad.
- ❖ Respecto a la segregación realizada entre criterios y requerimientos, aunque éstos últimos no funcionaron como parámetros comparativos para evaluar y diferenciar las alternativas disponibles, sí representaron dentro de la metodología las condiciones mínimas, que la tecnología debía cumplir para aumentar su viabilidad dentro del contexto local. Aspectos que los habitantes consideraron imprescindible como asegurar que el sistema permaneciera correctamente tapado o que no presentara reboses, se entendieron como elementos inherentes al adecuado diseño, construcción, operación y mantenimiento de cualquier tecnología propuesta.
- ❖ Se seleccionó un tren de tratamiento compuesto por una Trampa de Grasas, un Tanque Séptico y un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, que teóricamente podría remover hasta un 70 % de la carga contaminante y que operado correctamente podría ayudar a

mitigar problemáticas actuales como afecciones a la salud y la exposición a olores ofensivos.

- ❖ La selección de tecnologías se desarrolló con integralidad, articulando tanto herramientas técnicas propias de la ingeniería como también un enfoque social participativo, cuya planificación contó con el acompañamiento de profesionales en ciencias sociales. Esta complementación constituye un factor determinante para aportar a la sostenibilidad y efectividad de las alternativas propuestas frente a problemáticas de saneamiento en contextos rurales.
- ❖ Aunque el proyecto no contempla la etapa de aprovechamiento de los subproductos del tratamiento de las aguas residuales como lodos y gases, se espera que en principio sistema pueda ayudar a solucionar los problemas más críticos de saneamiento y que en etapas posteriores se puedan llevar a cabo trabajos de investigación que permitan conocer el potencial de aprovechamiento de estos recursos.
- ❖ El proyecto representa un precedente para trabajos de similares características en este tipo de entornos donde el acceso a información es bastante limitado o a veces nulo, pero que sirve de base metodológica para replicar en futuras intervenciones en saneamiento rural.

10. RECOMENDACIONES

- ➔ En primer lugar, se recomienda hacer análisis más detallados de la calidad del agua residual que se está generando en el sector en términos físico-químicos y microbiológicos y también estudios de suelo que permitan realizar un afinamiento de los parámetros de diseño y contribuir al cumplimiento de la normativa nacional vigente sobre vertimientos a cuerpos de agua superficiales y de sismoresistencia.
- ➔ Se sugiere hacer una promoción más activa de la participación de la comunidad en todas las etapas del proyecto que le siguen a la etapa del diseño como la construcción, la operación y el mantenimiento. Con esto se estaría contribuyendo a la apropiación de la tecnología y a la sostenibilidad del sistema de saneamiento propuesto.
- ➔ Para la ejecución del proyecto resulta indispensable contar con el acompañamiento de profesionales y de las autoridades competentes que propendan por una construcción y un funcionamiento adecuado del sistema y que involucren a la comunidad sin omitir sus opiniones y su conocimiento sobre los distintos aspectos del proyecto. Asimismo, es necesario fortalecer la presencia de las instituciones del orden municipal y departamental, de modo que se promueva una articulación institucional más efectiva y un apoyo continuo a la comunidad.
- ➔ Es necesario que el nuevo lote se negocie del tal manera que cumpla con las distancias mínimas establecidas en el título E del RAS (2021) expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia: Distancia mínima a edificaciones (cimientos) 5 m; 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos,

sumideros y campos de infiltración; 3.0 m distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua y 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

- ➔ Se recomienda que el área de emplazamiento de la tecnología se convierta en un lugar de esparcimiento, donde se promuevan prácticas sostenibles y donde se pueda reflexionar sobre la importancia de estos sistemas para la salud de las personas y del medio ambiente. En ese sentido, la incorporación de una cerca viva contribuiría no sólo a la protección del espacio, sino que también a fortalecer la aceptación social del proyecto y a aportar elementos paisajísticos. Asimismo, se sugiere asignar un nombre a este espacio para fomentar su apropiación.
- ➔ Por último, es importante seguir las instrucciones de operación y mantenimiento de las tecnologías aquí descritas para que haya un adecuado funcionamiento.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta González, R. D. (2024). Tecnologías de tratamiento de aguas residuales aplicables al sector rural: Análisis bibliométrico. Universidad Nacional de Colombia.
- Aguirre-Rocha, C. A., Saavedra-Cifuentes, Y. A. (2022). Elaboración de una matriz de toma de decisiones para el trazado de tubería de conducción de agua potable mediante el uso de software ArcGIS-caso de estudio: municipio el rosal, Cundinamarca.
- Aigner, M. (1998). La Encuesta Social. La Sociología en sus escenarios. Número 1.
- Arroyave, L., & García, V. (2023). Contribución a la sostenibilidad de un sistema individual de saneamiento basado en inodoro de bajo consumo con pozo de absorción alternante en una vivienda ubicada en el parque nacional natural Farallones de Cali, Colombia.
- Asociación Agropecuaria Hidro Ecoturística Unida por la Paz [ASAHIPAZ] (2020). Corredor Turístico Del Nima. Descripción General del Proyecto.
- Burbano, R. T. (2016). El análisis multicriterio y el teorema de Arrow. Revista Politécnica, 37(1), 76-76.
- Cachorro, G., & Villagrán, J. P. (2019). Estrategias de investigación en Educación Física. Libros de Cátedra. Capítulo 3: Cartografía Social.
- Carrillo-Anchundia, B. J., Vera-Loor, J. E., & Loor-Vélez, J. D. (2022). Diseño de un filtro anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 5(10 Ed. esp.), 2-16. Recuperado a partir de <https://www.journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/101>

- Chernicharo de Lemos, C. A. (2007). Anaerobic Reactors en Biological Wastewater Treatment Series, vol. 4. Londres: IWA Publishing.
- Clark, BJ, Eckenfelder, WW y Morriss, JM (1989). Control industrial de la contaminación del agua (No. 628.3 ECK).
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE). (2000). Terminology On Statistical Metadata. Conference of European Statisticians Statistical Standard and Studies . Geneva.
- CONAGUA. (2016). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: tratamientos no convencionales. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Vol. 36, pág. 87). México: Comisión Nacional del Agua.
- Cuenca, E., Alvarado, A. y Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera, 14(1), 78-97.
- DANE (2021). Dimensión Social Saneamiento. Cuentas ambientales. Proporción de la población con acceso a métodos de saneamiento adecuados.
- EPA. (2012). Do your Part—Be SepticSmart! A homeowner’s guide to septic systems. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/septicmart_longhomeownerguide_english508_0.pdf
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (2018). Preguntas principales sobre agua, saneamiento e higiene para uso en encuestas de hogares: actualización de 2018.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) (2020). Estado Mundial del Saneamiento. Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia UNICEF (2021). Colombia: Evaluación de necesidades de agua, saneamiento e higiene en el marco del flujo mixto de frontera.
- García, J. y Corzo, A. (2008). Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.
- Ginés Sánchez, X., & Querol Vicente, V. A. (2019). Construcción social de lo rural y Nueva Ruralidad. Una aproximación al marco de interpretación de lo rural de agentes políticos y sociales. Economía Agraria y Recursos Naturales, 19(1380-2019-2990), 37-57.

- Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento (2017). Optimización sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la facultad de bellas artes de la universidad tecnológica de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Jaimes, C. (2019). Análisis de la Política Pública de Agua Potable para el Sector Rural en el Municipio de Los Santos - Santander, Periodo 2014-2017.
- Java, L., & Vega, N. (2019). Acueducto Rural. Caso de estudio: Corregimiento de Calucé, Palmira. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Lampoglia, T., Agüero, R., & Barrios, C. (2008). Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Asociación Servicios Educativos Rurales.
- López, E. (2023). Propuesta de manejo y aprovechamiento de agua residual doméstica para viviendas costeras del pacífico colombiano: caso sector La Loma en La Barra, Buenaventura.
- Méndez, J. O. M. (2020). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. Revista de ingeniería, (49), 28-37.
- Metcalf, & Eddy. (1995). Waste engineering: treatment and reuse.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2017). Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). Resolución 0844 de 2018 (RAS Rural): Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). Manuales de Buenas Prácticas de Ingeniería. Título J: Alternativas Tecnológicas de Agua y Saneamiento para el Sector Rural.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021). Resolución 0799 de 2021: modificación al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).
- Montoya-Rendón, M. L., & Puerchambud-Chasoy N. V. (2016). Salud Ambiental y vivienda: una mirada comparada en 5 comunidades colombianas. Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional, 145.

- Morató Farreras, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor Zegarra, R. M. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista lasallista de investigación*, 3(1), 19-29.
- Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation (SMCE): methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, 158(3), 662–677.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición especial: Por un plan de rescate para las personas y el planeta.
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2018). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe sobre los progresos realizados con respecto a los ODM relacionados con la salud.
- Organización Mundial de la Salud [OMS] (2023). Avances en agua potable, saneamiento e higiene en hogares 2000-2022: enfoque especial en género.
- Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2022). Saneamiento básico agua segura, disposición de excretas y manejo de la basura. Cuadernillo para capacitaciones con enfoque intercultural en áreas rurales.
- Pessoa Colombo, V., Chenal, J., Orina, F., Meme, H., Koffi, J. D. A. A., Koné, B., & Utzinger, J. (2023). Environmental determinants of access to shared sanitation in informal settlements: a cross-sectional study in Abidjan and Nairobi. *Infectious Diseases of Poverty*, 12(1), 34.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2011). Colombia rural. Razones para la esperanza. Informe Nacional de Desarrollo Humano 2011. ISBN: 978-958-8447-63-6.
- Rincón-Zapata, C., Restrepo-Ruiz, A. L., Alzate-Cárdenas, M. D. S., Zabala-Salazar, H. E., & Arboleda-Álvarez, O. L. (2021). Desigualdades rurales en Colombia: aportaciones para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible. *Revista Lasallista de Investigación*, 18(2), 178-200.
- Rodríguez, C., & Rojas, P. (2022). Desarrollo de una estrategia de saneamiento escolar en la institución educativa Juanchaco, sede Santa Librada, ubicada en La Barra, zona rural del municipio de Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia.
- Rodriguez, J. (2021). Abandono estatal, la desgracia del pueblo. Clase de Lenguaje escrito de la Universidad Externado de Colombia.
- Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. 2ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. 3ª ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Pág 23.
- Santos, T. & Zamora, D. (2023). ¿Qué tan cerca estamos de lograr el acceso equitativo al agua en Colombia?. *El Espectador*.
<https://www.elespectador.com/ambiente/blog-el-rio/que-tan-cerca-estamos-de-lograr-el-acceso-equitativo-al-agua-en-colombia/>
- Tchobanoglous, G., & Crites, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. McGraw Hill Interamericana. España. Pp, 33, 48.
- Tilley, E., Ulrich, L., Philippe, R., Roland, S., & Christian, Z. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática, Departamento de Saneamiento, Agua y Residuos Sólidos para el Desarrollo (Sandec).
- Unidad Ejecutora de Saneamiento del Valle del Cauca [UESVALLE] (2020). Prevención Del COVID-19 en la Zona Rural del Valle Del Cauca, Acueductos Rurales