

**Evaluación de una metodología para verificar cumplimiento del RAS en diseños de
sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para viviendas rurales dispersas en
Popayán, Cauca**

José Luis Bravo Delgado



Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Popayán – Cauca
2026

**Evaluación de una metodología para verificar cumplimiento del RAS en diseños de
sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para viviendas rurales dispersas en
Popayán, Cauca**

José Luis Bravo Delgado

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y
Sanitaria

Director

Juan Pablo Prado Medina



Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Popayán – Cauca
2026

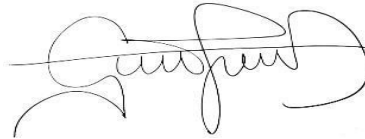
Nota de Aceptación

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado *Evaluación de una metodología para verificar cumplimiento del RAS en diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para viviendas rurales dispersas en Popayán, Cauca*; realizado por la(el) estudiante José Luis Bravo Delgado para optar el título de profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

Director



Jurado 1.



Jurado 2.



Dedicatoria|

Dedico este logro con profunda gratitud a Dios Todopoderoso, por darme la oportunidad de vivir y avanzar en mi carrera profesional. Su guía y bendiciones han sido fundamentales para alcanzar este nuevo peldaño.

A mis padres, expreso mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional y su fortaleza constante. Gracias a su apoyo, esfuerzo y sacrificio, hoy es posible la materialización de los propósitos y metas que me he propuesto alcanzar.

A mis familiares, por su apoyo incondicional, cuyo respaldo y comprensión han sido esenciales para hacer posible este viaje académico y alcanzar esta meta. Su aliento constante ha sido una fuente de fortaleza y motivación a lo largo de todo el proceso.

A mis profesores y director de grado, por compartir su invaluable sabiduría y guiarme en cada etapa de este camino. Su apoyo y conocimientos han sido cruciales para mi crecimiento y éxito académico.

Gracias a todos por ser parte de este capítulo tan significativo de mi vida.

José Luis Bravo Delgado

Agradecimientos

Presento los más sinceros agradecimientos a:

A Dios todo poderoso por permitirme empezar y terminar el presente trabajo de grado y la oportunidad de alcanzar este nuevo peldaño más, en mi formación de mi carrera profesional.

A los docentes de la **Corporación Universitaria Autónoma del Cauca**, de la facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, por sus valiosos aportes y conocimientos en las diferentes asignaturas correspondientes a la Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

A todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron para llevar a feliz término el presente trabajo.

José Luis Bravo Delgado

Tabla de Contenido

Resumen.....	10
Abstract	11
Introducción	12
Capítulo 1. Problema de Investigación	14
1.1. Planteamiento del Problema.....	14
1.2. Justificación	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo General	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
Capítulo 2. Estado del Arte.....	18
2.1. Marco Teórico.....	18
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes Nacionales	20
2.1.3. Antecedentes Locales	22
2.2. Marco Conceptual	23
2.3. Marco Referencial.....	24
2.4. Marco Legal	26
2.4.1 Leyes	27
2.4.2. Decretos	27
2.4.3. Resoluciones	28
2.4.4. Normativa Local	28
Capítulo 3. Metodología	29
3.1. Fase 1. Diagnóstico y línea base	29
3.1.1. Selección del área de estudio y muestra	29
3.1.2. Recolección de datos en campo	29
3.1.3. Técnicas de entrevista y observación.....	30
3.1.4. Tratamiento de la información.....	30
3.2. Fase 2: Diseño de la herramienta de verificación normativa	30
3.2.1. Revisión normativa detallada.....	30

3.2.2. Definición de ítems de verificación	30
3.2.3. Formato de la herramienta	31
3.2.4. Validación experta	31
3.3. Fase 3: Implementación de la herramienta y valoración de resultados	31
3.3.1. Aplicación de la herramienta	31
3.3.2. Procesamiento de resultados	31
3.3.3. Eficacia y usabilidad	32
3.3.4. Análisis de cumplimiento y recomendaciones técnicas.....	32
3.3.5. Validación final de la metodología	32
3.4. Consideraciones éticas y logísticas	32
Capítulo 4. Resultados	34
4.1. Línea base para identificar el tipo de STARD alternativo implementado en las viviendas rurales dispersas en el municipio de Popayán, Cauca.....	34
4.1.1. Reconocimiento del contexto rural.	34
4.1.2. Visitas técnicas y verificación en campo	36
4.2. Caracterización del agua residual	37
4.2.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos esperados	37
4.2.2. Caudales de diseño.....	38
4.2.3. Vivienda 1 (5 habitantes).....	38
4.2.4. Vivienda 2 (10 habitantes):.....	39
4.2.5. Valores guía de vertimiento o reúso	39
4.3. Selección del sistema de tratamiento	40
4.3.1. Alternativas evaluadas	40
4.4 Justificación de la alternativa seleccionada	40
4.5. Diseño de los sistemas	41
4.5.1 Calculo del volumen y área de los sistemas.....	41
4.6. Cálculo hidráulico y volumétrico por unidad de tratamiento	47
4.6.1. Trampa de grasas	48
4.6.2. Tanque séptico	48
4.6.3. Fafa	49
4.6.4. Tuberías	50

4.7. Observaciones sobre el material de las unidades	51
4.8. Cálculo de eficiencia por unidad de tratamiento.....	53
4.9. Criterios de operación y mantenimiento	57
4.9.1. Consideraciones generales	57
4.10. Procesamiento y análisis de información.....	58
4.11. Evaluación de los aspectos ambientales y sociales.....	59
4.12. Herramienta Técnica para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos establecidos en la Resolución 844 de 2018, Resolución 699 de 2021 y Resolución 799 de 2021.	59
4.13. Procedimiento para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos en los diseños de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) en viviendas rurales dispersas en el municipio de Popayán, Cauca.	71
4.13.1. Desarrollo y resultados de los cálculos	71
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	73
5.1. Conclusiones	73
5.2 Recomendaciones	74
Referencias.....	76
Anexos	82
Anexo. A. Pantallazo aplicación formato encuesta	82
Anexos B. Evidencias fotográficas	89

Lista de Tablas

Tabla 1. Visitas técnicas y verificación en campo.	35
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos esperados	38
Tabla 3. Parámetros para Usuarios equiparables a Usuarios de vivienda rural dispersa	39
Tabla 4. Comparación entre las alternativas consideradas.	40
Tabla 5. Resumen de Fórmulas.....	42
Tabla 6. Datos generales	43
Tabla 7. Datos de diseño por vivienda.....	47
Tabla 8. Valores tanque séptico	49
Tabla 9. Dimensiones sistema de tratamiento.....	50
Tabla 10. Rangos de eficiencia	54
Tabla 11. Parámetros.....	57
Tabla 12. Frecuencias de limpieza y retiro de lodos.....	57
Tabla 13. Indicadores de alerta y acciones correctivas	58
Tabla 14. Descripción del procedimiento	65
Tabla 15. Control de actualizaciones	70

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación mapa zonas de muestreo intervenidas en el proyecto.	34
Figura 2. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales para zonas rurales.	37
Figura 3. Flujograma.....	69

Resumen

Este proyecto evaluó una metodología para verificar el cumplimiento del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) en viviendas rurales dispersas de Popayán, Cauca. Se empleó un enfoque aplicado, diseño descriptivo-exploratorio y pasantía técnica, en colaboración con la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y la Alcaldía de Popayán. La investigación incluyó la caracterización de los sistemas existentes, el diseño de una herramienta de verificación normativa basada en listas de chequeo y su aplicación en campo para medir el grado de cumplimiento técnico. Los hallazgos revelaron brechas recurrentes en diseño, operación y mantenimiento, lo que evidencia la necesidad de ajustes regulatorios y técnicos específicos para contextos rurales. La metodología desarrollada fue validada como útil instrumento técnico y educativo, capaz de apoyar la mejora de la eficiencia, sostenibilidad y seguridad sanitaria de los STARD en zonas dispersas. Su implementación puede facilitar la fiscalización y orientar políticas públicas más efectivas en saneamiento rural.

Palabras clave: aguas residuales, saneamiento rural, RAS, viviendas dispersas, metodología de verificación.

Abstract

This project evaluated a methodology for verifying compliance with the Technical Regulations for the Drinking Water and Basic Sanitation Sector (RAS) in domestic wastewater treatment systems (DWTS) in dispersed rural homes in Popayán, Cauca. An applied approach, a descriptive-exploratory design, and a technical internship were employed, in collaboration with the Autonomous University Corporation of Cauca and the Popayán City Hall. The research included characterizing existing systems, designing a regulatory verification tool based on checklists, and applying it in the field to measure the degree of technical compliance. The findings revealed recurring gaps in design, operation, and maintenance, highlighting the need for specific regulatory and technical adjustments for rural contexts. The developed methodology was validated as a useful technical and educational tool, capable of supporting improvements in the efficiency, sustainability, and sanitary safety of DWTS in dispersed areas. Its implementation can facilitate oversight and guide more effective public policies in rural sanitation.

Key words: wastewater, rural sanitation, RAS, scattered households, verification methodology.

Introducción

El tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas es un pilar fundamental del saneamiento básico, la salud pública y la protección del entorno natural. No obstante, en zonas rurales dispersas como las veredas del municipio de Popayán, Cauca, su gestión se complica por la ausencia de redes centralizadas de alcantarillado. En estos contextos, las viviendas dependen de soluciones descentralizadas: tanques sépticos, letrinas mejoradas, biodigestores, filtros anaerobios o humedales construidos. Si bien son opciones accesibles y de bajo costo, su eficacia depende de un diseño cuidadoso, una operación constante y un mantenimiento oportuno. Solo así logran remover materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes, y evitan riesgos para la salud y el ambiente (Fernández del Castillo et al., 2022; Liu et al., 2024).

En Colombia, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) define los requisitos mínimos para estos sistemas, incluidas las instalaciones individuales en áreas rurales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MinVivienda], 2018). Normas complementarias como las resoluciones 330 de 2017, 844 de 2018, 699 de 2021 y 799 de 2021 detallan criterios técnicos sobre diseño, operación y condiciones de vertimiento, con el fin de asegurar sostenibilidad y seguridad sanitaria (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2021; MinVivienda, 2017, 2018, 2021). Sin embargo, su implementación efectiva en el campo se ve obstaculizada por la falta de herramientas estandarizadas que permitan verificar el cumplimiento técnico. Esta limitación dificulta tanto la identificación de deficiencias como la planificación de intervenciones priorizadas (Bustos Murillo et al., 2023). Ante este vacío, se hace necesario desarrollar metodologías claras y aplicables que evalúen de forma objetiva el grado de adherencia al RAS en sistemas domésticos dispersos.

Estas deben integrar variables técnicas volumen de tanques, tiempo de retención hidráulica, distancia a cuerpos de agua, así como aspectos operativos y de mantenimiento. Además, deben ser útiles para profesionales, técnicos locales y autoridades municipales. El uso de listas de verificación permite estandarizar diagnósticos, detectar brechas críticas, optimizar recursos y orientar políticas de saneamiento rural.

Este proyecto evaluó una herramienta de verificación diseñada específicamente para sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en viviendas rurales dispersas de Popayán.

El trabajo se organizó en tres etapas: caracterización de los sistemas existentes, elaboración de la herramienta y su aplicación piloto en campo. El objetivo fue generar evidencia técnica sobre el estado actual de los sistemas, validar la utilidad de la metodología propuesta y formular recomendaciones orientadas a mejorar su desempeño y cumplimiento normativo, contribuyendo así al fortalecimiento del saneamiento rural y a la protección ambiental; más allá de lo técnico, el proyecto propone un enfoque integrado que articula normativa, condiciones locales y realidades socioculturales. Busca no solo diagnosticar, sino también capacitar a actores territoriales, sentando las bases para intervenciones futuras más efectivas y sostenibles en el ámbito del saneamiento descentralizado.

Capítulo 1. Problema de Investigación

1.1. Planteamiento del Problema

En las zonas rurales dispersas, la evaluación del cumplimiento del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) enfrenta desafíos particulares. La dispersión geográfica de las viviendas obstaculiza la aplicación uniforme de estándares técnicos y la supervisión efectiva de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD). En este contexto, la falta de una metodología estandarizada para verificar el cumplimiento normativo impide tanto la certificación de estos sistemas como una evaluación objetiva de las condiciones reales de saneamiento (MinVivienda, 2018).

Según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2023), la ausencia de certificación en viviendas rurales dispersas limita la capacidad de las autoridades para garantizar la calidad del servicio, lo que puede derivar en riesgos sanitarios y ambientales. Entre los principales obstáculos se encuentran la dificultad para recopilar datos precisos, evaluar la conformidad con los requisitos del RAS y gestionar eficientemente la información en un entorno fragmentado. A esto se suma la escasez de personal técnico capacitado para llevar a cabo procesos de verificación y certificación en el territorio. En el municipio de Popayán (Cauca), esta problemática es especialmente relevante. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2019), de sus 318.059 habitantes, aproximadamente 51.498 (14–16 % del total) residen en zonas rurales, distribuidos en veredas y asentamientos dispersos. Esta configuración impide la instalación de redes centralizadas de alcantarillado, por lo que las viviendas dependen de sistemas autónomos como tanques sépticos, filtros anaerobios o humedales construidos. No obstante, múltiples estudios han documentado que muchos de estos sistemas no cumplen con los estándares del RAS debido a diseños inadecuados, deficiencias constructivas, ausencia de mantenimiento, baja capacitación de los usuarios y limitada supervisión institucional (Bernal Pedraza, 2021; Bustos Murillo et al., 2023).

Las consecuencias son graves: vertimientos de aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas contaminan suelos y fuentes hídricas, favorecen la proliferación de vectores y aumentan la incidencia de enfermedades gastrointestinales, además de constituir un incumplimiento de la normativa ambiental vigente; ante esta brecha entre la norma y la realidad local, se hace urgente

evaluar metodologías técnicas que permitan verificar de forma sistemática, eficiente y replicable el cumplimiento del RAS en STARD en zonas rurales dispersas. Tal herramienta no solo facilitaría la certificación de los sistemas existentes, sino que también contribuiría a orientar intervenciones técnicas, fortalecer la gestión local y proteger la salud pública y los ecosistemas.

1.2. Justificación

En Colombia, las comunidades rurales presentan importantes brechas en la prestación de servicios de saneamiento básico en comparación con las zonas urbanas. Mientras a nivel nacional alrededor del 75,1% de los hogares cuentan con alcantarillado, en las áreas rurales dispersas solo el 16,8% de las viviendas disponen de este servicio, esta carencia de infraestructura de alcantarillado implica que la mayoría de las viviendas rurales dispersas dependen de soluciones individuales de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD), como fosas sépticas, letrinas u otros sistemas locales, sin embargo, muchos de estos sistemas no cuentan con un diseño adecuado ni reciben mantenimiento, lo que conlleva vertimientos sin tratamiento eficaz. La falta de saneamiento seguro en las zonas rurales tiene un impacto directo en la salud pública y el medio ambiente, pues contribuye a la contaminación de fuentes de agua y a la propagación de enfermedades de origen hídrico. Diversos estudios han señalado que la ausencia de acceso a saneamiento de calidad afecta la calidad de vida de las comunidades rurales y genera riesgos significativos para la salud y el entorno natural (Bartram y Cairncross, 2010; Madera et al., 2005), en el municipio de Popayán (Cauca), estas problemáticas se evidencian con claridad.

El Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) establece los requisitos técnicos obligatorios que deben cumplir los diseños y obras de sistemas de acueducto, alcantarillado y tratamiento en todo el país (MinVivienda, 2021). Desde su adopción inicial en la Resolución 1096 de 2000 (RAS-2000), este reglamento ha servido como estándar de diseño para asegurar que las soluciones de agua y saneamiento sean seguras, eficientes y sostenibles.

En años más recientes, el RAS ha incorporado un enfoque diferencial para zonas rurales: mediante la *Resolución 0844 de 2018* (MinVivienda, 2018), se expidió el llamado RAS Rural, que define requisitos técnicos específicos para proyectos de agua potable y saneamiento básico en áreas rurales dispersas, este reglamento técnico con enfoque rural busca facilitar la planeación y el

diseño de soluciones tanto colectivas como individuales adecuadas a las condiciones particulares de cada comunidad, promoviendo la participación comunitaria en todas las etapas de los proyectos.

En términos de aguas residuales, el RAS Rural identifica las opciones tecnológicas aplicables en contextos rurales y sus parámetros de diseño mínimos. Por ejemplo, entre las soluciones individuales de saneamiento reconocidas en estas normativas se incluyen los sistemas sépticos (tanques sépticos con pozos de absorción) y las unidades sanitarias secas (letrinas compostables o de hoyo seco), siempre que cumplan con los criterios de diseño y desempeño establecidos (MinVivienda, 2017).

Adicionalmente, la normativa ambiental colombiana, específicamente la *Resolución 699 de 2021*, fija los parámetros y valores límite máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (como las descargadas por soluciones individuales) a fin de proteger los cuerpos de agua receptores (MinAmbiente, 2021).

A pesar de la existencia de este marco normativo, en la práctica no se cuenta con mecanismos eficientes para verificar el cumplimiento del RAS en las viviendas rurales dispersas, la entidad encargada por ley de velar por dicho cumplimiento es la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), que puede delegar esta función en autoridades departamentales o municipales (Congreso de Colombia, 1994), en contextos rurales dispersos la supervisión se complica debido a la limitada capacidad institucional y a la dispersión de las viviendas. En municipios con amplia ruralidad, las empresas de servicios públicos o autoridades locales enfrentan dificultades logísticas para revisar cada diseño y construcción de sistemas sépticos o similares, por ende, existe una brecha entre la normativa y su implementación efectiva en campo, quedando muchos sistemas sin evaluar ni certificar adecuadamente (SSPD, 2023). Esta brecha afecta la equidad y la calidad del servicio de saneamiento que reciben las comunidades rurales, perpetuando problemas ambientales y de salud pública en dichas poblaciones. Frente a este panorama, se justifica plenamente el desarrollo del presente proyecto de pasantía, cuyo objetivo general es evaluar una metodología que permita verificar el cumplimiento del RAS en los diseños de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) de viviendas rurales dispersas en Popayán, Cauca.

Este proyecto también se alinea con las políticas públicas nacionales de agua y saneamiento rural como la Política de Saneamiento Rural del CONPES 3810 de 2014– que promueven soluciones sostenibles para poblaciones dispersas (DNP, 2014).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar una metodología para verificar cumplimiento del RAS en diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas para viviendas rurales dispersas en Popayán, Cauca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer una línea base para identificar el tipo de STARD alternativo implementado en las viviendas rurales dispersas en el municipio de Popayán Cauca.
- Diseñar una herramienta técnica para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos establecidos en la resolución 844 de 2018, resolución 699 de 2021 y resolución 799 de 2021
- Plantear un procedimiento para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos en los diseños de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas (STARD) en viviendas rurales dispersas en el municipio de Popayán Cauca.

Capítulo 2. Estado del Arte

2.1. Marco Teórico

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

A nivel internacional, Liu et al. (2024) evaluó el desempeño operativo y la eficiencia de remoción de contaminantes en treinta instalaciones rurales descentralizadas de tratamiento de aguas residuales, comparando procesos AO y AAO. Para ello aplicó muestreos periódicos de campo y análisis estadísticos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados mostraron que la eficiencia depende no solo del tipo de proceso sino también de la gestión operacional: aquellas plantas con mantenimiento regular y monitoreo técnico lograron mayores reducciones de DBO, sólidos suspendidos y coliformes. El autor concluye que la viabilidad de los sistemas descentralizados está directamente ligada tanto al diseño como a la gestión local, y recomienda incluir listas de verificación técnicas como complemento a la evaluación de desempeño para garantizar el cumplimiento de los estándares de vertimiento.

Por su parte, Lindblom y Samuelsson (2023) compararon dos métodos de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales: uno basado en directrices normativas tradicionales y otro apoyado en modelos matemáticos que consideran la variabilidad de las concentraciones de contaminantes. La metodología consistió en la simulación de diseños bajo ambos enfoques, incorporando análisis de sensibilidad e incertidumbre. Los resultados evidenciaron que el diseño basado en modelos permite un dimensionamiento más preciso y un mejor manejo de la variabilidad del influente, mientras que el método de directrices es más sencillo, aunque tiende a sobredimensionar para cubrir incertidumbres. Los autores concluyen que es necesario complementar las normas con modelos de simulación y análisis de incertidumbre, lo cual es directamente aplicable a contextos donde se requiere verificar normativamente los diseños.

De manera similar, Domínguez-Solís et al. (2025) realizaron una revisión sistemática de estudios sobre humedales construidos descentralizados en países en desarrollo, con el fin de cuantificar su desempeño y comparar distintas configuraciones. La metodología consistió en un análisis comparativo de datos de remoción de DQO, DBO, sólidos suspendidos y nutrientes en humedales simples e híbridos. Los hallazgos muestran que los sistemas híbridos son más eficientes, aunque factores de diseño como el tipo de vegetación, el sustrato o el régimen de flujo

influyen significativamente en los resultados. Se concluye que los humedales construidos son una alternativa viable en contextos rurales, pero requieren diseños adaptados a condiciones locales y una normativa que considere dichas particularidades.

En la misma línea, Pérez et al. (2023) realizaron un análisis de riesgo operacional en un sistema de humedales construidos para identificar factores críticos que pueden comprometer su rendimiento. Mediante una matriz de riesgos evaluaron peligros como la obstrucción del sustrato, deficiencias de mantenimiento y variaciones estacionales del influente. Entre los principales hallazgos se identificó que estos factores afectan directamente la eficiencia en la remoción de nutrientes y materia orgánica. En conclusión, los autores proponen integrar los estudios de riesgo dentro de las fases de diseño y verificación normativa, de manera que las guías técnicas incluyan criterios de robustez operativa frente a condiciones locales.

Un aporte similar lo presenta Hendy et al. (2023), quienes evaluaron humedales construidos de flujo vertical en zonas rurales semiáridas, comparando unidades con diferentes especies vegetales y otras sin vegetación. A través del monitoreo de parámetros como DBO y COD se demostró que las unidades con plantas alcanzaron remociones superiores (60–98%), mientras que los controles sin vegetación presentaron mayor variabilidad y menor eficiencia. Los autores concluyen que la selección adecuada de especies vegetales es determinante para cumplir con estándares de calidad de agua y recomiendan realizar pruebas piloto antes de implementar diseños a gran escala.

Finalmente, Massoud et al. (2009) desarrollaron una revisión sistemática sobre tecnologías descentralizadas de tratamiento de aguas residuales (DEWATS), enfocándose en la eficiencia, retos de implementación y aspectos de gobernanza. El autor encontró una marcada heterogeneidad en los resultados de desempeño y una ausencia de herramientas estandarizadas para verificar el cumplimiento en etapas de diseño y operación, lo que genera discrepancias entre lo proyectado y lo ejecutado. Se concluye que es prioritario establecer matrices de verificación técnica y protocolos de validación previos a la construcción para garantizar la adherencia normativa y la sostenibilidad en la operación de los sistemas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el contexto nacional, Bustos Murillo et al. (2023) realizó un análisis sobre el tratamiento de aguas residuales en Colombia, en el cual se planteó como objetivo examinar la cobertura existente, las tecnologías empleadas en zonas rurales y los principales desafíos regulatorios. Para ello, combinó una revisión documental exhaustiva con el análisis de casos regionales. Entre los resultados más relevantes, el autor documenta que la cobertura de plantas de tratamiento sigue siendo baja y que predomina la dependencia de soluciones individuales como tanques sépticos, filtros y humedales. Sin embargo, estos sistemas presentan problemas recurrentes tanto en su operación como en la adecuación de los diseños a las condiciones locales. En conclusión, los autores subrayan la urgencia de estandarizar criterios técnicos y procedimientos de verificación, especialmente en los proyectos rurales donde, a pesar de la existencia de normativa (RAS y resoluciones sectoriales), la implementación y el control aún resultan débiles. Finalmente, propone la incorporación de listas de chequeo y procedimientos de auditoría técnica desde las etapas iniciales de diseño como herramientas para mejorar la sostenibilidad de los sistemas.

Además, Cardona Zapata (2022) llevó a cabo el ***Diagnóstico y evaluación del estado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas – PTARD Central del municipio de Guadalupe, Antioquia***. El objetivo fue identificar, a partir de datos existentes, las condiciones de operación, mantenimiento y funcionamiento de la planta con respecto a la eficiencia de remoción de contaminantes y verificar el cumplimiento de los valores límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 631 de 2015. Para ello, la autora realizó un diagnóstico cualitativo y cuantitativo, evaluando cada unidad del sistema de tratamiento, revisando registros históricos de operación entre los años 2017-2019, así como la correspondencia entre los parámetros de efluente y los estándares. Los resultados mostraron que la mayoría de los parámetros evaluados no cumplían con los límites legales en los vertimientos al cuerpo de agua receptor “Los Chorros”; además, se encontraron deficiencias en la operación de los reactores, el monitoreo, el mantenimiento preventivo y correctivo, así como en la disponibilidad de personal y documentación técnica. En conclusión, Cardona Zapata sugiere que es urgente fortalecer el seguimiento técnico, mejorar los procedimientos de operación y mantenimiento, y elaborar documentos técnicos claros, de modo que la PTARD pueda operar conforme a las normas, mitigando su impacto ambiental.

En la misma línea, Franco Henao (2023) realizó el *Estudio del funcionamiento de dos sistemas de tratamiento anaerobio comerciales para aguas residuales domésticas en áreas rurales del municipio de Manizales (sector Tablazo)*. Su objetivo fue verificar si estos sistemas comerciales, prefabricados, operaban con la eficiencia de remoción esperada y si cumplían con estándares mínimos para descarga o reutilización, especialmente en lo que respecta al diseño hidráulico, funcionamiento constructivo y cumplimiento de guías técnicas. En la metodología se evaluaron dos sistemas anaerobios comerciales desde su arranque, puesta en marcha y estabilización, en poblaciones con condiciones locales similares (vereda Tablazo), midiendo los contaminantes habituales y comparando los resultados reales con lo proyectado en los diseños. Entre los resultados relevantes, se encontró que las eficiencias de remoción variaron considerablemente, algunas muy por debajo de lo que se espera normativamente, especialmente en cargas orgánicas y sólidos suspendidos; también se observaron fallas en la puesta en marcha, en la capacidad de retener variaciones de caudal y en mantenimiento operativo. Como conclusión, Franco Henao propone que el diseño e implementación de estos sistemas comerciales debe revisarse técnicamente para adaptarse a variaciones locales y que las autoridades ambientales deberían exigir verificación del diseño y desempeño previo a la aprobación, incluyendo pruebas piloto cuando sea posible.

Finalmente, Blanco-Corredor et al. (2021) en su estudio *Gestión de aguas residuales: Un estudio de caso en los municipios de Puerto Wilches y Yondó, Colombia* tuvieron como objetivo analizar cómo se gestiona el sistema de aguas residuales en dichos municipios, identificar los principales retos operativos, institucionales y técnicos, y proponer mejoras. La metodología incluyó levantamiento de información de campo, revisión de infraestructura disponible, entrevistas con actores locales, análisis de efluentes donde aplicaba, así como revisión normativa aplicable. En los resultados se detectaron insuficiencias en la cobertura, fallas en mantenimiento, baja capacidad técnica institucional para la operación, y en algunos casos, descargas con niveles de contaminación por encima de los valores máximos permitidos. En sus conclusiones, los autores enfatizan que para mejorar la gestión se requiere tanto fortalecimiento institucional como instrumentos concretos de verificación técnica por ejemplo, seguimiento normativo, control operativo, inspección de diseños y una coordinación más estrecha entre entidades locales y ambientales.

2.1.3. Antecedentes Locales

En el Cauca, se encontraron una diversidad de investigaciones, en primer lugar, Zambrano Rodríguez (2022) planteó un estudio sobre los vertimientos de aguas servidas en un tramo de la quebrada Pubús, con el objetivo de identificar el impacto ambiental generado por descargas domésticas no tratadas en el cuerpo receptor. La metodología consistió en la toma de muestras de agua en diferentes puntos, analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, además de la inspección de las viviendas que realizaban vertimientos directos. Los resultados evidenciaron aumentos significativos de contaminantes, sobrepasando los valores normativos y demostrando una afectación directa en la calidad del agua. En conclusión, el estudio resalta la necesidad de fortalecer los mecanismos de control y la implementación de sistemas adecuados de tratamiento que permitan cumplir con la normatividad ambiental.

Asimismo, Osorio Manzano (2021) realizó un trabajo enfocado en la evaluación y seguimiento de vertimientos de aguas residuales domésticas en la quebrada Garrochal, Popayán (Cauca). El objetivo fue caracterizar los impactos de los vertimientos domiciliarios sobre la calidad del agua. La metodología incluyó monitoreo seriados de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y su comparación con la normativa nacional de vertimientos. Los resultados revelaron altos niveles de materia orgánica y coliformes, lo cual evidencia un déficit en el cumplimiento normativo y una afectación directa en la fuente hídrica. Como conclusión, el autor señala que existe una brecha entre los diseños de tratamiento esperados y la realidad en la operación, lo que pone en riesgo la salud pública y la sostenibilidad ambiental del área rural de Popayán.

Del mismo modo, Escobar Gordillo (2022) elaboró un diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en veredas rurales de Corinto, Cauca. El objetivo fue identificar el estado real de operación y eficacia de estas infraestructuras. La metodología se basó en visitas técnicas, revisión documental, entrevistas a los operadores y análisis de la calidad de los efluentes. Los resultados demostraron que muchas de las PTAR no cumplen con las eficiencias mínimas establecidas por la normativa, debido a deficiencias en el diseño, falta de mantenimiento y ausencia de capacitación de los operarios. En conclusión, el estudio resalta que, si bien existen diseños implementados, estos no están siendo verificados ni ajustados a las realidades locales, lo que genera una baja eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

También, se encontró la investigación de Segura Caicedo (2020) realizó un diagnóstico de la operación de los sistemas de tratamiento domésticos y de disposición final de aguas residuales en la vereda Real Palacé, municipio de Popayán. La investigación incluyó visitas técnicas e inspección de la infraestructura con el fin de evaluar el estado y funcionamiento de los sistemas asociados al ramal de distribución de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán. Los resultados permitieron identificar condiciones operativas y necesidades de mejora en la gestión y mantenimiento de los sistemas instalados.

Por último, Palta Prado y Morales Velasco (2013) evaluaron la Fito depuración de aguas residuales domésticas utilizando gramíneas (*Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum*) en Popayán, Cauca. El objetivo fue medir la capacidad de remoción de contaminantes de estas especies en condiciones locales. La metodología se centró en ensayos experimentales de campo, construyendo lechos vegetados y midiendo parámetros de materia orgánica y sólidos suspendidos. Los resultados mostraron que las gramíneas tuvieron un desempeño notable en la reducción de contaminantes, lo que demuestra su potencial para sistemas descentralizados en zonas rurales. Como conclusión, aunque no se trató directamente de la verificación normativa, el estudio aporta evidencia de alternativas viables y adaptadas al contexto local de Popayán.

2.2. Marco Conceptual

El tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales dispersas constituye uno de los principales retos en materia de saneamiento básico en países en desarrollo. A diferencia de los entornos urbanos, donde prevalece la infraestructura centralizada, las viviendas rurales suelen carecer de acceso a sistemas colectivos, lo que obliga a implementar soluciones descentralizadas (Liu et al., 2024). Estas tecnologías incluyen tanques sépticos, letrinas mejoradas, biodigestores, filtros anaerobios y humedales construidos, que, si bien son más adaptables a las condiciones locales, presentan dificultades tanto en su diseño como en su operación y en la verificación de cumplimiento normativo.

Dentro de estas opciones, los tanques sépticos constituyen la alternativa más utilizada. Su correcto desempeño depende de un dimensionamiento acorde al número de usuarios, la inclusión de cámaras de sedimentación, ventilación y dispositivos que faciliten la remoción periódica de lodos. Cuando no existe disponibilidad suficiente de agua, se emplean letrinas secas o

compostables, las cuales deben diseñarse bajo criterios sanitarios rigurosos (profundidad, ventilación, ubicación) con el fin de evitar la contaminación de aguas subterráneas y del suelo. Por otro lado, los biodigestores han cobrado importancia en comunidades rurales, ya que permiten el tratamiento anaerobio de las aguas residuales al tiempo que generan biogás como subproducto útil para la cocción de alimentos, favoreciendo así la sostenibilidad energética.

De manera complementaria, tecnologías como los filtros anaerobios de flujo ascendente y los humedales artificiales ofrecen mayores eficiencias en la remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes. Estos sistemas, al requerir bajo nivel de mecanización y gran disponibilidad de espacio, se consideran apropiados para contextos rurales, aunque su desempeño depende de criterios específicos de diseño, como la selección del sustrato, la carga hidráulica y, en el caso de los humedales, la elección de especies vegetales adaptadas al entorno.

Cada una de estas soluciones requiere cumplir con parámetros técnicos definidos por la normatividad vigente, particularmente el RAS en el contexto colombiano, para asegurar su correcto funcionamiento y prevenir fallas que deriven en impactos sanitarios y ambientales. Sin embargo, Lindblom y Samuelsson (2023) advierten que los métodos tradicionales de diseño, al basarse únicamente en guías normativas sin incorporar herramientas de simulación o análisis de variabilidad, tienden a sobredimensionar los sistemas y a no reflejar adecuadamente las condiciones reales de los afluentes. Este hallazgo refuerza la necesidad de complementar el marco normativo con metodologías de verificación más robustas —listas de chequeo, auditorías técnicas y simulaciones hidráulicas— que permitan validar los diseños con mayor precisión, especialmente en zonas rurales dispersas donde los caudales y las cargas contaminantes fluctúan significativamente.

2.3. Marco Referencial

El tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales ha sido objeto de interés creciente en la literatura científica y en políticas públicas, dado que se reconoce como un elemento central para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 6 sobre agua limpia y saneamiento (Naciones Unidas, s.f.). A nivel internacional, se ha demostrado que las soluciones descentralizadas constituyen la alternativa más viable para viviendas dispersas que no pueden conectarse a sistemas convencionales de alcantarillado. Estudios como el de Liu et

al. (2024) han evidenciado que la eficacia de estos sistemas no depende únicamente del diseño, sino también de la gestión local, el mantenimiento periódico y la verificación de parámetros normativos.

Por su parte, Lindblom y Samuelsson (2023) han resaltado que las metodologías tradicionales de diseño tienden a sobredimensionar los sistemas y no logran prever adecuadamente la variabilidad de los afluentes en entornos rurales. Estos hallazgos abren la discusión sobre la necesidad de combinar normas técnicas con herramientas de modelación, simulación y listas de chequeo que permitan validar de manera rigurosa los diseños. De igual modo, investigaciones como las de Domínguez-Solís et al. (2023) y Hendy et al. (2023) han mostrado la eficiencia de tecnologías como humedales construidos y biodigestores, pero coinciden en señalar que el éxito depende de la adaptación del diseño a las condiciones locales y de esquemas de operación sostenibles.

En el contexto nacional, diversos trabajos han puesto en evidencia limitaciones similares. Bustos Murillo et al. (2023) documenta la baja cobertura de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales de Colombia y enfatiza en la dependencia de soluciones individuales como tanques sépticos y humedales, muchas veces contruidos sin criterios estandarizados de diseño. Escobar Gordillo (2022), en un diagnóstico regional, identificó la carencia de protocolos claros de verificación en la etapa de diseño y recomendó desarrollar herramientas técnicas de control previo. De manera complementaria, Segura Caicedo (2020) resaltó la necesidad de listas de chequeo y programas de formación para operadores locales, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado de los sistemas descentralizados.

Finalmente, en el ámbito local, estudios realizados en el suroccidente colombiano han mostrado que las viviendas rurales dispersas, como ocurre en el municipio de Popayán (Cauca), enfrentan problemáticas similares: limitaciones en recursos técnicos, ausencia de herramientas prácticas para verificar diseños y dificultades en la implementación de lo establecido en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y en resoluciones específicas como la 844 de 2018, 699 y 799 de 2021 (MinAmbiente, 2021; MinVivienda, 2018, 2021). En este escenario, se hace evidente la pertinencia de proponer metodologías que permitan verificar el cumplimiento normativo de manera clara, práctica y ajustada a las particularidades del contexto rural disperso.

En síntesis, tanto la evidencia internacional como nacional y local coinciden en señalar que la problemática no radica únicamente en la existencia de normativas, sino en la ausencia de metodologías de verificación en las etapas de diseño y puesta en marcha. De allí surge la relevancia de investigaciones como la presente, cuyo objetivo es evaluar una metodología que garantice el cumplimiento del RAS en diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) en viviendas rurales dispersas de Popayán, Cauca.

2.4. Marco Legal

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) establece los estándares técnicos que deben cumplir los sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo las soluciones individuales en contextos rurales (MinVivienda, 2018). Particularmente, la *Resolución 844 de 2018* define los requisitos específicos para proyectos rurales, incorporando criterios de eficiencia, sostenibilidad y protección sanitaria y ambiental.

Complementariamente, otras normas fortalecen el marco regulatorio, entre ellas: la *Resolución 330 de 2017*, actualizada por la *Resolución 799 de 2021*, y la *Resolución 699 de 2021*, que establece parámetros de calidad de efluentes domésticos tratados (MinAmbiente, 2021; MinVivienda, 2017, 2021). El RAS Rural contempla la flexibilidad necesaria para adaptarse a las particularidades del entorno rural, permitiendo soluciones de bajo costo y alternativas tecnológicas, siempre que cumplan con los valores límites de diseño y operación.

Sin embargo, en la práctica, las autoridades locales enfrentan limitaciones para verificar el cumplimiento de manera sistemática y objetiva, lo que resalta la necesidad de desarrollar metodologías estructuradas de evaluación técnica. Esto justifica la propuesta de herramientas de verificación basadas en listas de chequeo y criterios técnicos claros.

La verificación del cumplimiento normativo se realiza mediante metodologías estructuradas, como listas de chequeo, guías técnicas y protocolos de auditoría, derivadas del articulado normativo y adaptadas al lenguaje técnico-operativo (Bustos Murillo et al., 2023).

En zonas rurales, donde los sistemas no siempre cuentan con planos detallados ni supervisión formal, estas herramientas permiten estandarizar evaluaciones, identificar brechas críticas, priorizar intervenciones y mejorar el diseño e implementación de los sistemas.

En este contexto, el presente proyecto propone diseñar y validar una herramienta de verificación técnica basada en los parámetros obligatorios del RAS y de normativas complementarias, aplicable a sistemas domésticos de tratamiento de aguas residuales en viviendas rurales dispersas de Popayán, Cauca. Dentro de la Normatividad Colombiana en Saneamiento Rural se encuentra lo siguiente:

2.4.1 Leyes

- **Ley 99 de 1993:** Crea el Ministerio del Medio Ambiente, reorganiza el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA) (Congreso de Colombia, 1993).
- **Ley 388 de 1997:** Modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 2 de 1991, estableciendo la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, con disposiciones para la planificación y regulación del uso del suelo (Congreso de Colombia, 1997).
- **Ley 1437 de 2011:** Expide el Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo (Congreso de Colombia, 2011).
- **Ley 1955 de 2019:** Expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” (Congreso de Colombia, 2019).
- **Ley 2294 de 2023:** Establece el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida” (Congreso de Colombia, 2023).

2.4.2. Decretos

- **Decreto 3600 de 2007:** Reglamenta las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997, relativas al ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación (Presidencia de la República, 2007).
- **Decreto 1076 de 2015:** Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible (Presidencia de la República, 2015a).
- **Decreto 1077 de 2015:** Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio (Presidencia de la República, 2015b).

- **Decreto 1210 de 2020:** Modifica y adiciona parcialmente el Decreto 1076 de 2015 en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico y reglamenta parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 (Presidencia de la República, 2020a).
- **Decreto 1232 de 2020:** Adiciona y modifica artículos del Decreto 1077 de 2015 en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial (Presidencia de la República, 2020b).
- **Decreto 1688 de 2020:** Modifica artículos y adiciona una sección al Decreto 1077 de 2015 para reglamentar la dotación de infraestructura de agua para consumo humano y saneamiento básico en zonas rurales, considerando esquemas diferenciales de entrega a comunidades organizadas (Presidencia de la República, 2020c).

2.4.3. Resoluciones

- **Resolución 330 de 2017:** Adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y deroga resoluciones anteriores (MinVivienda, 2017).
- **Resolución 844 de 2018:** Establece los requisitos técnicos para proyectos de agua y saneamiento básico en zonas rurales bajo esquemas diferenciales (MinVivienda, 2018).
- **Resolución 699 de 2021:** Define los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas al suelo (MinAmbiente, 2021).
- **Resolución 799 de 2021:** Modifica la Resolución 330 de 2017, ajustando requisitos técnicos del RAS (MinVivienda, 2021).

2.4.4. Normativa Local

- **Acuerdo 06 de 2002:** Adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán (Concejo Municipal de Popayán, 2002).
- **Circular 20242100002136 de 2024:** Establece instrucciones para el trámite de certificados de soluciones de agua para consumo humano y saneamiento básico en Popayán, permitiendo evaluar la conformidad técnica y emitir recomendaciones para su mejora o certificación (Alcaldía de Popayán, 2024).

Capítulo 3. Metodología

El proyecto se desarrolló siguiendo un enfoque metodológico aplicado, estructurado en tres fases principales, cada una con actividades específicas, de acuerdo con lo planteado en la síntesis del proyecto. La ejecución se realizó bajo la modalidad de pasantía técnica, en coordinación con la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, en convenio con la Alcaldía de Popayán (Secretaría DAFE), contando con acompañamiento académico e institucional. A continuación, se describen las fases, los procedimientos, técnicas de recolección de información y análisis aplicados.

3.1. Fase 1. Diagnóstico y línea base

En esta fase inicial se caracterizaron los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) existentes en viviendas rurales dispersas seleccionadas de Popayán, siguiendo un diseño descriptivo-exploratorio.

3.1.1. Selección del área de estudio y muestra

Se identificaron veredas y sectores representativos en diferentes corregimientos de Popayán en concertación con autoridades locales y juntas de acción comunal. Posteriormente, se seleccionaron intencionalmente entre 15 y 20 viviendas que contaran con sistemas de tratamiento construidos previamente o cuyos propietarios aceptaron voluntariamente la visita. La muestra fue suficiente para obtener información variada, pero manejable dentro del tiempo de pasantía.

3.1.2. Recolección de datos en campo

Se elaboró un formato de levantamiento de información en forma de cuestionario semiestructurado que incluyó: localización de la vivienda, número de habitantes, descripción del sistema de disposición de excretas y aguas residuales, dimensiones aproximadas, antigüedad y estado del sistema, frecuencia de mantenimiento, problemas observados y percepción de los usuarios. Además, se tomaron fotografías respetando la privacidad y se georreferenciaron las viviendas.

3.1.3. Técnicas de entrevista y observación

Durante las visitas, se realizaron entrevistas breves a los residentes, utilizando preguntas abiertas para indagar sobre el manejo de aguas servidas, construcción y mantenimiento de los sistemas, y experiencias de funcionamiento. Simultáneamente, se efectuó una inspección visual para identificar filtraciones, descargas inadecuadas y verificar la existencia de componentes esenciales como trampas de grasa, ventilaciones y pozos de registro.

3.1.4. Tratamiento de la información

Los datos obtenidos se sistematizaron en una base de datos. Se clasificaron las viviendas según el tipo de solución de saneamiento y se resumieron las características y observaciones relevantes, incluyendo incumplimientos normativos evidentes de forma cualitativa. Esta fase generó un informe de diagnóstico que estableció la línea base de los STARD en la muestra, cumpliendo con el primer objetivo específico del proyecto.

3.2. Fase 2: Diseño de la herramienta de verificación normativa

Con base en los resultados del diagnóstico y la revisión normativa, se elaboró una herramienta de evaluación de carácter investigativo-desarrollo.

3.2.1. Revisión normativa detallada

Se analizaron los documentos normativos aplicables, incluyendo las resoluciones 0330/17, 844/18, 699/21 y 799/21. De cada documento se extrajeron los criterios relevantes para sistemas rurales individuales, tales como requisitos de tanques sépticos, unidades sanitarias, tratamiento de efluentes y condiciones de vertimiento.

3.2.2. Definición de ítems de verificación

Se establecieron los ítems de la lista de chequeo, organizados por categorías: características generales del sistema, tratamiento primario, tratamiento secundario/terciario, disposición final y aspectos operacionales y de seguridad. Cada ítem se redactó como pregunta o afirmación verificable. Se estimó un total de 20 a 30 ítems principales, con posibles subdivisiones según la existencia de sistemas secundarios.

3.2.3. Formato de la herramienta

Se definió un formulario inicial en papel, con campos para identificadores, ítems de cumplimiento (Sí/No/N.A.), observaciones y conclusiones generales. Se consideró la posibilidad de digitalización posterior.

3.2.4. Validación experta

La lista de chequeo se sometió a revisión por expertos, incluyendo el tutor académico y profesionales con experiencia en saneamiento rural, para asegurar validez de contenido, claridad y completitud.

Al finalizar esta fase, se obtuvo la herramienta de verificación lista para su aplicación, cumpliendo con el segundo objetivo específico. Se elaboró además un manual de uso que definió instrucciones operativas para cada ítem.

3.3. Fase 3: Implementación de la herramienta y valoración de resultados

En la fase final se aplicó la herramienta desarrollada en las viviendas seleccionadas, realizando la verificación estructurada de cada sistema.

3.3.1. Aplicación de la herramienta

Se realizaron visitas a cada vivienda, con registro de cumplimiento de cada criterio y anotación de observaciones detalladas en caso de no conformidades. Se tomaron mediciones sencillas in situ cuando fue posible.

3.3.2. Procesamiento de resultados

Los datos recopilados se ingresaron en una planilla electrónica para calcular índices de cumplimiento por vivienda, identificar criterios con mayor tasa de incumplimiento y comparar resultados con observaciones cualitativas de la fase 1.

3.3.3. Eficacia y usabilidad

Se valoró la experiencia de uso de la herramienta mediante registros reflexivos del pasante y retroalimentación de un evaluador secundario para determinar confiabilidad inter-evaluador y recoger observaciones sobre claridad y aplicabilidad de los ítems.

3.3.4. Análisis de cumplimiento y recomendaciones técnicas

Se elaboró un análisis de cumplimiento frente a la normativa RAS y se emitieron recomendaciones de mejora basadas en hallazgos recurrentes, tales como optimización de tanques sépticos, adición de sistemas de tratamiento secundario y reubicación de unidades sanitarias según normatividad.

3.3.5. Validación final de la metodología

Se contrastaron los resultados con la realidad de campo y se consultó nuevamente a expertos para verificar la sensibilidad y especificidad de la herramienta, proponiendo ajustes finales según fuera necesario.

3.4. Consideraciones éticas y logísticas

Durante todo el trabajo de campo se respetó la voluntad de participación de las comunidades; se explicó que la evaluación tenía fines académicos y de mejora, y no constituía una inspección sancionatoria, con el fin de evitar recelos por parte de los habitantes. Se garantizó la confidencialidad de los datos personales de los participantes. En cuanto a la logística, se coordinaron las visitas con los líderes comunitarios para optimizar los tiempos y asegurar la seguridad del equipo en zonas rurales. Cuando alguna vivienda se ubicó en zonas de difícil acceso, se tomaron las precauciones necesarias, tales como el uso de vehículos adecuados y programación de visitas en horarios diurnos. Asimismo, se buscó la asesoría del tutor de la entidad de pasantía para facilitar todas las gestiones institucionales requeridas, incluyendo la entrega de cartas de presentación a las veredas.

Finalmente, se resaltó que el enfoque metodológico fue flexible y adaptativo. Dado que se trató de un proyecto de pasantía con duración limitada, cada fase tuvo objetivos claros, pero cuando surgieron necesidades de ajuste, como la reducción de la muestra por condiciones climáticas o la

extensión de la fase de diseño para mejorar la herramienta, se realizaron las adaptaciones correspondientes con la debida justificación, siempre orientadas a alcanzar el mejor resultado posible.

Con base en el mapa presentado en la Figura 1, se identifican las zonas o áreas donde se llevó a cabo el respectivo diagnóstico de muestreo. El sistema fue diseñado para atender una vivienda rural, considerando una población actual por vivienda de 5

- **Vivienda 1:** 5 habitantes.

A continuación, se presenta tabla de número de visitas realizadas por cada vereda o zona de intervención.

Tabla 1

Visitas técnicas y verificación en campo.

Veredas	Número de visitas	Cumplimiento
San Antonio	20	Verificación en campo
La Tetilla	20	Verificación en campo
San Rafael	20	Verificación en campo
La Mota	20	Verificación en campo
Santa Rosa	20	Verificación en campo
Los tendidos	20	Verificación en campo
Julumito	20	Verificación en campo
Julumito Alto	20	Verificación en campo
Cajete	20	Verificación en campo
Santa Ana	20	Verificación en campo
Las Chozas	20	Verificación en campo
La Laja	20	Verificación en campo
Villanueva	20	Verificación en campo
San Bernardino	20	Verificación en campo
Morinda	20	Verificación en campo
Rejoya	20	Verificación en campo
La Sabana	20	Verificación en campo
Calibío	20	Verificación en campo
Real Palace	20	Verificación en campo
La Cabuyera	20	Verificación en campo
Río blanco	20	Verificación en campo
Clarete	20	Verificación en campo
Lame	20	Verificación en campo
El paraíso	20	Verificación en campo
Los llanos	20	Verificación en campo
El Cabuyo	20	Verificación en campo
Las Huacas	20	Verificación en campo
El Hogar	20	Verificación en campo
Pisaje Alto	20	Verificación en campo

Dada la baja probabilidad de crecimiento demográfico en el área rural específica donde se desarrolló el proyecto, así como la disposición dispersa de las viviendas, se definió un horizonte de diseño de **25 años**, manteniendo constante el número de habitantes por unidad habitacional durante dicho período.

Durante las visitas a las zonas de intervención se identificó que más del 90% de las viviendas rurales no cuentan con acceso a sistemas convencionales de alcantarillado, lo cual coincide con lo reportado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2021), que señala que más del 70 % de los hogares rurales en Colombia carecen de este servicio. En consecuencia, las familias recurren a soluciones individuales como tanques sépticos artesanales, pozos de infiltración o descargas directas, muchas veces sin criterios técnicos.

Se observó que factores como la falta de mantenimiento, el desconocimiento de los parámetros normativos del RAS y las limitaciones económicas condicionan la implementación de sistemas adecuados. De igual manera, se evidenció que las condiciones topográficas y la disponibilidad de espacio determinan la elección de tecnologías apropiadas, como biodigestores o humedales subsuperficiales, recomendadas para zonas rurales dispersas por su bajo costo y facilidad de operación (Chen et al., 2022; Massoud et al., 2009).

4.1.2. Visitas técnicas y verificación en campo

Las visitas de campo permitieron observar directamente las condiciones de las instalaciones sanitarias y el funcionamiento de los sistemas de tratamiento existentes. Las actividades incluyeron levantamientos fotográficos, registro de coordenadas GPS, entrevistas con los habitantes y verificación de parámetros básicos de diseño como pendientes de conducción, dimensiones de las unidades y disposición final del efluente. Especificar visitas.

El uso de herramientas digitales, como formularios móviles para la toma de datos, permitió un registro estructurado de la información y redujo el margen de error. Cada visita se planificó considerando la logística de acceso, las condiciones del terreno y la participación voluntaria de las familias.

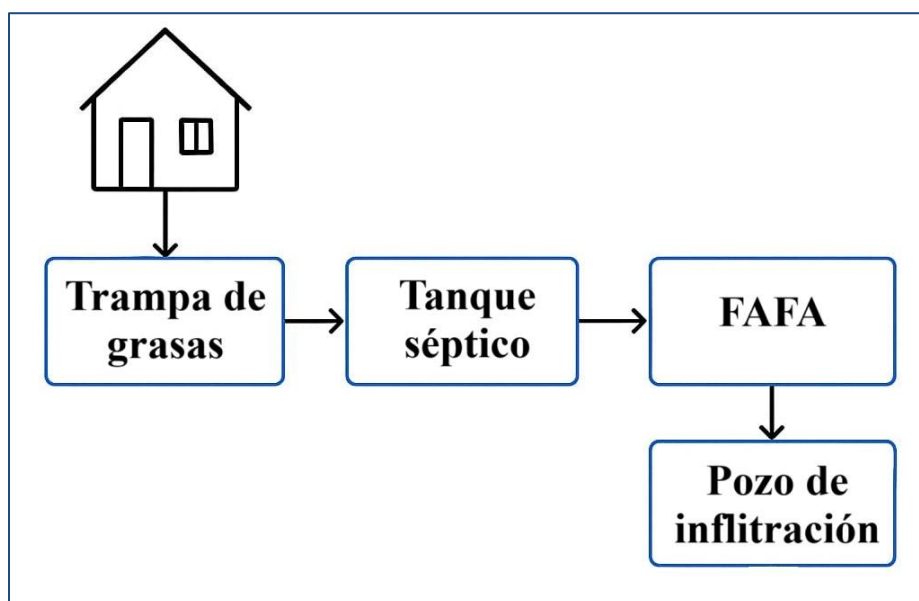
Entre los hallazgos más relevantes se encontró que una gran parte de las viviendas poseían sistemas incompletos o contruidos de manera empírica. En varios casos, los tanques sépticos no

cumplían con los volúmenes de retención hidráulica mínimos establecidos por la *Resolución 844 de 2018*. Asimismo, se identificaron conexiones inadecuadas de aguas grises directamente al terreno o a cuerpos hídricos, lo cual genera riesgos de contaminación.

Estos resultados son consistentes con estudios desarrollados en otras regiones del país, donde se ha evidenciado que la falta de asistencia técnica y la baja cultura de mantenimiento reducen la eficiencia de los sistemas individuales (Campo Usuga., 2022).

Figura 2

Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales para zonas rurales.



4.2. Caracterización del agua residual

4.2.1. Parámetros físicoquímicos y microbiológicos esperados

La caracterización del agua residual en este proyecto se realiza a partir de valores típicos de aguas residuales domésticas en zonas rurales, según referencias de MinVivienda (2017, 2021) sobre el RAS - *Resolución 330 de 2017* y la *Resolución 799 de 2021*. Dado que no se cuenta con análisis de laboratorio específicos del sitio, se adoptan los siguientes valores estimados como base de diseño.

Tabla 2*Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos esperados*

Parámetro	Valor Estimado	Unidad	Fuente Referencial
DBO ₅	300	mg/L	Resolución 330 de 2017 / Resolución 799 de 2021
DQO	600	mg/L	Resolución 330 de 2017
Sólidos suspendidos totales (SST)	250	mg/L	Resolución 330 de 2017
Nitrógeno total (N)	40	mg/L	Resolución 799 de 2021
Fósforo total (P)	10	mg/L	Resolución 799 de 2021
Coliformes fecales	10 ⁶ – 10 ⁷	NMP/100 mL	Resolución 799 de 2021 / OMS
pH	6.5 – 8.0	-	Resolución 330 de 2017 / OMS
Temperatura	18 – 25	°C	Estimada para clima templado

Nota. Elaboración propia a partir de MinVivienda (2017, 2021)

4.2.2. Caudales de diseño

Cada sistema de tratamiento ha sido dimensionado de forma individual, de acuerdo con el número de habitantes y la generación de aguas residuales por vivienda:

- **Caudal Per Cápita**

$$D = (130L/hab/día) \times 0.85 = 110.5 L/hab/día$$

D, Caudal per cápita corregido

4.2.3. Vivienda 1 (5 habitantes)

- **Caudal diario (Q)**

$$Q = N \times D$$

$$Q = 5 \times 110.5 = 552.5 \frac{L}{día} = 0.5525 \frac{m^3}{d}$$

4.2.4. Vivienda 2 (10 habitantes):

- Caudal diario (Q)

$$Q = 10 \times 110.5 = \frac{1105L}{\text{día}} = 1.105 \frac{m^3}{d}$$

Estos caudales han sido utilizados para dimensionar todos los componentes del sistema en cada vivienda de forma autónoma, asegurando su correcto funcionamiento y eficiencia.

4.2.5. Valores guía de vertimiento o reúso

La Resolución 699 de 2021 establece los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y los valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas (ARD-T) al suelo, en viviendas rurales dispersas como las consideradas en este proyecto (MinAmbiente, 2021).

Dado que la disposición final de las aguas tratadas se realizará mediante pozos de infiltración en suelo no saturado, se comparan los valores estimados del efluente con los límites establecidos para la Categoría I, correspondiente a suelos con velocidad de infiltración entre 16 y 27 mm/h (valor intermedio y frecuente en zonas rurales con suelos franco-arenosos o franco-limosos) (Ver Tabla 3).

Tabla 3

Parámetros para Usuarios equiparables a Usuarios de vivienda rural dispersa

Parámetros	Unidad de medida	Velocidad de infiltración básica		
		CATEGORÍA I	CATEGORÍA II	CATEGORÍA III
		Velocidad de infiltración entre 16 a 27 mm/h	Velocidad de infiltración entre 2,6 a 15 mm/h o entre 28 a 52 mm/h	Velocidad de infiltración: menor a 2,5 mm/h o mayor a 53 mm/h
Generales				
Temperatura	Grados centígrados	± 5°C que el rango de temperatura media anual multianual del lugar		
pH	Unidades de pH	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,0	200,0	200,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,0	70,0	50,0
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	3,5	2,5	1,5
Grasas y Aceites	mg/L	20,0	20,0	20,0
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	0,5
Conductividad eléctrica	(uS/cm)	1.000,0	700,0	700,0
Fósforo Total (P)	mg/L	5,0	5,0	2,0
Compuestos de Nitrógeno				
Nitrógeno Total (N)	mg/L	30,0	20,0	20,0
Iones				
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250,0	250,0	140,0

4.3. Selección del sistema de tratamiento

4.3.1. Alternativas evaluadas

En el contexto rural donde se desarrollará el presente proyecto, se evaluaron distintas opciones de sistemas de tratamiento de aguas residuales, priorizando criterios como eficiencia, simplicidad constructiva, bajo costo de operación, posibilidad de mantenimiento por usuarios locales y capacidad de adaptación al terreno.

A continuación, se presenta una comparación entre las alternativas consideradas.

Tabla 4

Comparación entre las alternativas consideradas.

Sistema	Ventajas	Desventajas
Tanque séptico + pozo de infiltración	Bajo costo, fácil mantenimiento, construcción sencilla	Menor eficiencia en remoción de carga orgánica, riesgo de saturación
Tanque séptico + humedal artificial	Alta eficiencia, natural, estética favorable	Requiere mayor área, mantenimiento periódico de vegetación
Biodigestor anaerobio compacto	Producción de biogás, tratamiento primario y secundario simultáneo	Costo inicial elevado, requiere mayor control técnico
Tanque séptico + FAFA + pozo de infiltración	Alta eficiencia, menor área requerida, tecnología probada y adaptable	Mayor complejidad constructiva que un sistema básico

4.4 Justificación de la alternativa seleccionada

El sistema seleccionado para ambas viviendas consiste en un tratamiento individual que combina:

- **Trampa de grasas:** para interceptar grasas y aceites provenientes del uso de la cocina, evitando su paso al sistema posterior.
- **Tanque séptico:** como unidad de tratamiento primario, para sedimentación de sólidos y digestión parcial de materia orgánica.

- **Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA):** como unidad de tratamiento secundario, que mejora significativamente la remoción de DBO₅, SST y coliformes.
- **Pozo de infiltración:** como sistema de disposición final en el subsuelo, que actúa como tratamiento terciario natural.

Este sistema fue elegido por las siguientes razones:

- Alta eficiencia en remoción de contaminantes orgánicos y patógenos.
- Bajo requerimiento de área superficial comparado con otras alternativas (como humedales).
- Tecnología apropiada para zonas rurales con recursos limitados, bajo costo de operación y facilidad de construcción.
- Cumple con los requisitos técnicos del RAS 2017 y permite la disposición al suelo conforme a la Resolución 699 de 2021, sin requerir permiso de vertimiento.
- Autonomía entre viviendas, evitando problemas de interdependencia hidráulica o sanitaria.

Adicionalmente, el uso del FAFA permite una mayor protección del suelo y aguas subterráneas, garantizando una infiltración segura y sostenible.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo del sistema de tratamiento (trampa de grasas → tanque séptico → FAFA → pozo de infiltración).

4.5. Diseño de los sistemas

4.5.1 Cálculo del volumen y área de los sistemas

En la tabla 5 se presenta un resumen de las ecuaciones usadas para desarrollar los cálculos de los volúmenes de las unidades que componen el sistema de tratamiento, y posteriormente se presenta el desarrollo de los cálculos tipo tomando como ejemplo la vivienda 1.

Tabla 5*Resumen de Fórmulas*

Unidad del sistema	Parámetro calculado	Fórmula aplicada	Variables
Trampa de grasas	Volumen hidráulico (V)	$V = Q \times \frac{t}{24}$	Q: caudal diario (m³/día) t: tiempo (h)
Tanque séptico	Volumen útil (V)	$V = V_{rs} + V_l + V_n + V_v$	P: número de habitantes Q: consumo de agua (L/hab·día) t _T : tiempo de detención hidráulica (día)
	Volumen para sedimentación (V _{rs})	$V_{rs} = \frac{P \times Q \times t_T}{1000}$	
	Volumen para almacenar lodos (V _l)	$V_l = \frac{T_l \times P \times N}{1000}$	
	Volumen para almacenar natas (V _n)	$V_n = \frac{T_n \times P \times N}{1000}$	
	Volumen de ventilación (V _v):	$V_v = A_s \times B_l$	
FAFA (Filtro Anaerobio)	Volumen útil (V)	$V = \frac{Q \times TRH}{n}$	n: porosidad (0.35–0.50)
	Área del filtro (A)	$A = \frac{V}{h}$	h: altura del lecho filtrante (m)
Pozo de infiltración	Área lateral de infiltración (A)	$A = \frac{Q}{k}$	k: coef. de infiltración del suelo (m/día)
	Diámetro del pozo (D)	$D = \frac{A}{\pi h}$	A: área lateral deseada h: altura (m)
	Volumen útil del pozo (V)	$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h$	D: diámetro (m) h: profundidad (m)

Para el desarrollo de los cálculos que se presentan a continuación, se adopta como marco de referencia técnico la normativa vigente establecida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Los procedimientos se ilustran mediante el caso de la vivienda de 5 habitantes. Posteriormente, se presenta una tabla de resumen con los resultados obtenidos para ambas viviendas objeto de estudio.

Tabla 6*Datos generales*

Vivienda	Habitantes	Caudal Diario (m ³ /día)
1	5	0.5525 m ³ /día
2	10	1.105 m ³ /día

- **Volumen de la Trampa de grasas**

Criterio de diseño: Tiempo de retención hidráulica mínimo de 60 minutos (RAS 2020).

$$V_{TG,1} = Q \times t$$

$$V_{TG,1} = 0.5525 \text{ m}^3/\text{día} \times \frac{1 \text{ h}}{\left(\frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}\right)} = 0.023 \text{ m}^3 (\approx 23 \text{ L})$$

Donde,

$V_{TG,1}$, Volumen de la trampa de grasas (m³)

t, Tiempo de retención (h)

Q, Caudal diario (m³/día)

Nota: Se recomienda un valor mínimo de 0.2 – 0.3 m³ para evitar subdimensionamiento. Para este caso en particular se adoptará un volumen de 0.3 m³

- **Volumen del Tanque séptico**

Criterio de diseño: El tiempo de retención hidráulica debe estar entre 12 a 24 horas, para este caso se trabaja con un TRH de 12 horas (0.5 día).

$$V_{Ts,1} = V_{rs} + V_l + V_n + V_v$$

Donde:

V_{rs} , Volumen para sedimentación (función del tiempo de detención hidráulica)

V_l , Volumen para almacenamiento de lodos

V_n , Volumen para natas/espumas no sumergidas

V_v, Volumen de ventilación o borde libre

- **Volumen para sedimentación (V_{rs}):**

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

$$t_T = 1.5 - 0.3 \times \log(P \times Q) = 1.5 - 0.3 \times \log(5 \times 130) = 0.656 \text{ día}$$

$$V_{rs} = \frac{5 \times 130 \times 0.656}{1000} = 0.4264 m^3$$

Donde:

P, número de habitantes

Q, consumo de agua en L/hab·día (por defecto 120 L/hab·día)

t_T, tiempo de detención hidráulica (día)

Nota: La fórmula normativa definida en la RAS 2020 – Título J, artículo 166 y Tabla J.3, exige expresamente usar el producto P·Q (número de habitantes por dotación neta) sin corrección. Esto se debe a que el valor de t_T fue establecido con base en estudios estadísticos que relacionan el consumo de agua y el comportamiento de las unidades de tratamiento, y no exclusivamente en el volumen de aguas residuales generadas.

- **Volumen para almacenamiento de lodos (V_l):**

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

$$V_l = \frac{50 \times 5 \times 4}{1000} = 1 m^3$$

Donde:

T_l, Tasa de acumulación de lodos (50 L/hab·año en clima frío como Popayán)

N, Años entre limpiezas (usualmente entre 2 y 6)

- **Volumen para almacenamiento de natas (V_n):**

$$V_n = \frac{T_n \times P \times N}{1000}$$

$$V_n = \frac{3.51 \times 5 \times 4}{1000} = 0.0702m^3$$

Donde:

Tn: tasa de acumulación de natas (3.51 L/hab·año como valor de referencia)

- **Volumen de ventilación (Vv):**

Normalmente se considera como un espacio libre de 0.10 a 0.30 m sobre el nivel del líquido. Para este caso se asumen un borde libre de 0.15m, y se asume un área de 0.9 m².

$$V_v = A_s \times B_l$$

$$V_v = 0.9 \times 0.15 = 0.135m^3$$

Donde:

As, Área superficial sugerida(m²)

Bl, Borde libre (m)

Finalmente,

$$V_{Ts,1} = V_{rs} + V_l + V_n + V_v$$

$$V_{Ts,1} = 0.4264m^3 + 1m^3 + 0.0702m^3 + 0.135m^3 = 1.632m^3$$

- **Volumen del Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)**

Criterio de diseño: Tiempo de retención hidráulico entre 1 y 2 días; porosidad del medio:
n = 0.35 – 0.50

$$V_{FAFA,1} = \frac{Q \times TRH}{n}$$

$$V_{FAFA,1} = \frac{0.5525 \times 1}{0.4} = 1.38m^3$$

Donde,

TRH, Tiempo de retencion hidraulico (día);

n, Porosidad del medio filtrante

V, Volumen útil del FAFA (m³)

Q, Caudal diario (m³/día)

- **Volumen del Pozo de infiltración**

$$A_{total} = (\pi \times D \times h) + \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A_{lateral} = (\pi \times D \times h)$$

$$A_{fondo} = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Donde,

A, Área lateral de infiltración (m²)

D, Diámetro (m)

h, profundidad (m)

Criterio de diseño: Se dimensiona a partir de la capacidad de infiltración del suelo (k), típicamente 0.05–0.1 m/día para suelos medios.

$$A_{requerida} = \frac{Q}{k}$$

$$A_{requerida} = \frac{0.5525}{0.1} = 5.525 \text{ m}^2$$

Donde,

A, Área lateral de infiltración (m²)

k, Coeficiente de infiltración (m/día)

Nota: La profundidad máxima permitida es de 5m, se trabaja con 2m. Se recomienda verificar k en campo.

En este diseño se ha asumido que el pozo de infiltración permite el paso del efluente tanto a través de sus paredes laterales como de su fondo, dada la presencia de suelos de textura media con buena aireación en profundidad. Por lo tanto, la superficie efectiva de infiltración se calcula

como la suma del área lateral y la base inferior del pozo: Igualando esta área a la superficie total efectiva del pozo:

$$\frac{Q}{k} = (\pi \times D \times h) + \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$5.525 = (\pi \times D \times h) + \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Iterando,

$$D = 0.8 \text{ m}$$

Ahora,

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 h$$

$$V = \pi \left(\frac{0.8}{2}\right)^2 \times 2 = 1.005 \text{ m}^3$$

Donde,

V, Volumen útil del pozo

D: diámetro (m)

h: profundidad (m)

Tabla 7

Datos de diseño por vivienda

Vivienda	Habitantes	Caudal Diario (m ³ /día)	Volumen Trampa de Grasa (m ³)	Volumen Tanque Séptico (m ³)	Volumen FAFA (m ²)	Volumen del pozo de infiltración (m ³)
1	5	0.5525	0.30	1.62	1.4	1.005
2	10	1.105	0.60	3.10	2.76	3.534

4.6. Cálculo hidráulico y volumétrico por unidad de tratamiento

A continuación, se presenta el cálculo de las dimensiones físicas (largo, ancho, altura/diámetro) de cada unidad del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, partiendo de los volúmenes y áreas ya calculados. Nuevamente usando como ejemplo la vivienda 1.

4.6.1. Trampa de grasas

Datos conocidos:

- Volumen requerido (V_{TG}) → por fórmula:

$$V_{TG} = Q \times t$$

Suposiciones para diseño físico:

- Altura (h): sugerida mínima por la normativa es de 0.35 m para facilitar limpieza, para este caso particular se decidió una altura de 0.6 m
- Usamos un tanque rectangular para facilidad de construcción y mantenimiento.

Queremos:

$$V = L \times W \times h$$

Ahora, despejando los valores conocidos se obtiene:

$$L \times W = \frac{V}{h} = \frac{0.3}{0.6} = 0.5 \text{ m}^2$$

Usando la relación $L:W = 2:1$

$$L = 2W \rightarrow 2W \times W = 0.5 \rightarrow W^2 = 0.25 \rightarrow W = 0.5 \text{ m}$$

Entonces $L = 1 \text{ m}$.

4.6.2. Tanque séptico

Para el diseño de un tanque séptico los valores normales de altura útil varían en un rango de 1.2 m – 1.8 m; en este caso se trabaja con una altura de 1.2m. Por otro lado, Para tanques sépticos rectangulares, la relación entre el largo-ancho será como mínimo de 2:1 y como máximo de 5:1. Se opta por trabajar con una relación 3:1.

La profundidad útil debe estar entre los valores mínimos y máximos dados en la tabla 8, de acuerdo con el volumen útil obtenido.

Tabla 8*Valores tanque séptico*

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

Nuevamente,

$$V = L \times W \times h$$

$$\text{Si } h = 1.2 \text{ m y } V = 1.62 \text{ m}^3$$

$$L \times W = \frac{1.62}{1.2} = 1.35 \text{ m}^2$$

Luego, usando la proporción $L : W = 3 : 1$

$$L = 3 W$$

Entonces:

$$3W \times W = 1.35 \rightarrow W^2 = 0.45 \rightarrow W = 0.67 \text{ m} \rightarrow L = 2.01 \text{ m}$$

4.6.3. Fafa

De la fórmula base, Área superficial del filtro (cuando se fija la altura):

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

$$A = \frac{1.38}{2.0} = 0.69 \text{ m}^2$$

Donde,

h , Altura útil del lecho (m), generalmente entre 1.5–2.0 m.

Asumimos la relación $L:W = 2:1$ $L = 2W$

Entonces

$$A = L \times W = 0.69 \rightarrow 2W \times W = 0.69 \rightarrow W^2 = 0.345 \rightarrow W = 0.59m \rightarrow L = 1.17m$$

4.6.4. Tuberías

Datos de los diámetros adoptados según normativa (diámetros mínimos normativos)

$$D_{\text{principal}} = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

$$D_{\text{interna}} = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

$$D_{\text{TG}} = 4'' = 0.1016 \text{ m}$$

Asumiendo una velocidad de 0.6 m/s

- **Área de la tubería principal**

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{8.68 \times 10^{-6}}{0.6} = 1.45 \times 10^{-5} m^2$$

- **Diámetro de tubería**

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times (1.45 \times 10^{-5})}{\pi}} \approx 0.0043 = 4.3mm$$

Nota: El diámetro calculado es el teórico hidráulico, sin embargo, no se usará en la práctica por mantenimiento e higiene. Por lo que de acuerdo con las normas se adoptan los diámetros mencionados anteriormente.

A continuación, se presentan los datos de las dimensiones para cada una de las unidades que componen el sistema de tratamiento para cada una de las viviendas:

Tabla 9

Dimensiones sistema de tratamiento

Vivienda	Componente	Dimensiones (m)	Volumen / Área	Forma
1 (5 hab.)	Trampa de grasas	$1.0 \times 0.5 \times 0.6$	0.3 m ³	Rectangular
	Tanque séptico	$2 \times 0.7 \times 1.2$	1.62 m ³	Rectangular
	FAFA	$1.2 \times 0.6 \times 2.0$	1.4 m ³ (Área: 5.525 m ²)	Rectangular
	Pozo de infiltración	$\varnothing 0.8 \times 2.0$	1.005 m ³	Cilíndrica

(Área: 5.53 m ²)				
2 (10 hab.)	Trampa de grasas	$1.4 \times 0.7 \times 0.6$	0.6 m ³	Rectangular
	Tanque séptico	$2.8 \times 0.9 \times 1.2$	3.10 m ³	Rectangular
	FAFA	$1.7 \times 0.8 \times 2.0$	2.76 m ³ (Área: 1.38 m ²)	Rectangular
	Pozo de infiltración	$\varnothing 1.5 \times 2.0$	3.53 m ³ (Área: 11.19 m ²)	Cilíndrica

4.7. Observaciones sobre el material de las unidades

Con base en las condiciones del sitio, las normativas técnicas aplicables y los criterios de operación y mantenimiento en zonas rurales, se establecen las siguientes observaciones respecto a los materiales sugeridos para la construcción de cada componente del sistema de tratamiento:

- **Trampa de grasas**

Material recomendado: mampostería en bloque de concreto con recubrimiento impermeable (mortero con aditivo).

Justificación: de fácil ejecución, bajo costo, buena resistencia química y mecánica, especialmente frente a residuos grasos y jabonosos.

Alternativa: tanques plásticos o en fibra pueden utilizarse como trampas prefabricadas si se garantiza su resistencia y facilidad de limpieza.

Consideraciones: es fundamental contar con una tapa de inspección hermética y acceso adecuado para mantenimiento frecuente.

- **Tanque séptico**

Material base recomendado: concreto armado fundido in situ o prefabricado, impermeabilizado internamente.

Justificación: garantiza cumplimiento de las exigencias de impermeabilidad, durabilidad estructural y facilidad de inspección, como lo establece la RAS 2020 – Título J.

Uso de tanques prefabricados: Es válido el uso de tanques sépticos prefabricados en plástico o concreto, siempre y cuando:

- Estén certificados para uso sanitario,
- Cumplan con los volúmenes mínimos exigidos en el diseño,
- Tengan tapas, conexiones y ventilación conforme a la norma,
- Se asegure su correcta instalación en el terreno, con cama de apoyo estable y protección lateral contra empujes del suelo.

Esta opción suele ser atractiva por su rapidez de instalación y menor necesidad de obra civil, especialmente en zonas donde la construcción tradicional representa mayores costos o riesgos constructivos.

- **FAFA (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente)**

Estructura recomendada: concreto armado, in situ o prefabricado.

Medio filtrante: grava lavada (1" a 2"), anillos plásticos o piedra bola. Debe garantizar una porosidad ≥ 0.35 .

Consideraciones: el medio debe ser estable, no colapsar con el flujo, y permitir flujo ascendente sin obstrucción.

- **Pozo de infiltración**

Paredes: se recomienda uso de mampostería en piedra o bloque perforado, sin impermeabilización, para permitir infiltración lateral.

Fondo: debe permanecer abierto y en contacto con suelo natural, permitiendo también infiltración vertical.

Material filtrante: puede colocarse grava o arena lavada en el perímetro y en el fondo para mejorar la dispersión y evitar colmatación.

- **Accesibilidad:** la parte superior debe tener una tapa removible con espacio libre y ventilación adecuada.
- **Conclusiones sobre materiales**

El uso de tanques prefabricados es perfectamente viable en este tipo de sistemas, siempre que se valide su desempeño estructural, hidráulico y sanitario.

La selección entre construcción in situ o prefabricados debe hacerse considerando factores como: disponibilidad de mano de obra, acceso vehicular, tiempo de instalación, presupuesto, y criterios de mantenimiento.

En todos los casos, debe garantizarse que las unidades cumplan con los volúmenes, dimensiones y condiciones funcionales exigidas por el diseño normativo.

4.8. Cálculo de eficiencia por unidad de tratamiento

Se estimó la eficiencia de remoción de los contaminantes principales (DBO_s, SST, N total) a lo largo del sistema de tratamiento propuesto. Se asumieron valores medios de eficiencia por unidad, con base en el RAS 2020 y la Resolución 799 de 2021.

Las fórmulas generales empleadas son:

- **Carga contaminante diaria (g/día):**

$$Carga = C_{afluente} \times Q \times 1000$$

- **Remoción por unidad:**

$$C_{efluente} = Carga_{anterior} \times (1 - eficiencia)$$

- **Concentración en el efluente final (mg/L):**

$$C_{efluente} = \frac{Carga_{final}}{Q \times 1000}$$

Donde,

$C_{afluente}$, concentración en mg/L

Q, Caudal diario en m³/día

Eficiencia, remoción como valor decimal

La Tabla 10 presenta los rangos de eficiencia que se deben lograr en los procesos de tratamiento de acuerdo con la Resolución 0799 del 2021.

Tabla 10*Rangos de eficiencia*

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO ₅	DQO	SST	SSed	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Remociones con militamices y microcribas
	Desarenadores	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	N/A	N/A	N/A	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	-80	
Tratamiento Secundario	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90	
	Filtros percoladores De alta tasa, roca De alta tasa, plástico	65-90 75-95	55-70 60-80	60-85 65-85	N/A N/A	N/A N/A	80-90 80-90	
Desinfección	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99	

A continuación, se presentan los cálculos para la vivienda 1 (5 habitantes), considerando el caudal $Q = 0.5525 \text{ m}^3/\text{día}$; y posteriormente se compilan los resultados para ambas viviendas.

DBO₅

- Carga contaminante diaria

$$Carga_{afluente} = 300 \times 0.5525 \times 1000 = 165.75 \text{ g/día}$$

- Remoción por unidad

$$C_{efluente} = 165.75 \times (1 - 0.15) = 140.89 \text{ g/día}$$

Remanente:

Tanque (50%) → 70.45 g/día

FAFA (40%) → 28.18 g/día

Pozo (80%) → 22.54 g/día

- Concentración en el efluente final (mg/L)

$$C_{efluente} = \frac{22.54}{552.5} = 40.8 \text{ mg/L}$$

SST

- Carga contaminante diaria

$$Carga_{afluente} = 250 \times 0.5525 \times 1000 = 138.13 \text{ g/día}$$

- Remoción por unidad

$$C_{efluente} = 138.13 \times (1 - 0.15) = 117.41 \text{ g/día}$$

Remanente:

Tanque (50%) → 58.70

FAFA (40%) → 23.48

Pozo (80%) → 18.78 g/día

- Concentración en el efluente final (mg/L)

$$C_{efluente} = \frac{18.78}{552.5} = 34.0 \text{ mg/L}$$

Nitrógeno total (N)

- Carga contaminante diaria

$$Carga_{afluente} = 40 \times 0.5525 \times 1000 = 22.1 \text{ g/día}$$

- Remoción por unidad

$$C_{efluente} = 22.1 \times (1 - 0.15) = 18.79 \text{ g/día}$$

Remanente:

FAFA (80%) → 15.03

Pozo (80%) → 12.02 g/día

- Concentración en el efluente final (mg/L)

$$C_{efluente} = \frac{12.02}{552.5} = 21.8 \text{ mg/L}$$

5.3.1 Fosforo total (P)

- Carga contaminante diaria

$$Carga_{afluente} = 10 \times 0.5525 \times 1000 = 5.53 \text{ g/día}$$

- Remoción por unidad

$$C_{efluente} = 5.52 \times (1 - 0.15) = 4.98 \text{ g/día}$$

Remanente:

FAFA (80%) $\rightarrow$ 3.98

Pozo (80%) $\rightarrow$ 3.19 g/día

- Concentración en el efluente final (mg/L)

$$C_{efluente} = \frac{3.19}{552.5} = 5.76 \text{ mg/L}$$

Coliformes fecales

Reducción estimada: $10^7 \rightarrow 10^3$ NMP/100 mL. **Cumple con reducción esperada** para infiltración sin contacto humano directo.

Se presenta un resumen de los valores obtenidos para ambas viviendas.

Tabla 11

Parámetros

Parámetro	Vivienda 1 (mg/L)	Vivienda 2 (mg/L)	Límite Res. 699/2021 (Cat. I)	¿Cumple? (ambas)
DBO ₅	40.8	40.8	No definido, estimado indirecto	Si
SST	34.0	34.0	100	Si
N total	21.8	21.8	30	Si
P total	5.76	5.75	5.0	No (levemente)
Coliformes fecales	≈10 ³	≈10 ³	Análisis y reporte	Si

4.9. Criterios de operación y mantenimiento

4.9.1. Consideraciones generales

Los sistemas de tratamiento descentralizados, como los propuestos para las viviendas rurales de este proyecto, tienen como ventaja su bajo requerimiento energético y su operatividad sencilla. Sin embargo, su buen desempeño depende del cumplimiento de ciertas rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como de la concientización de los usuarios sobre el uso adecuado del sistema.

Tabla 12

Frecuencias de limpieza y retiro de lodos

Componente	Mantenimiento requerido	Frecuencia recomendada
Trampa de grasas	Retiro manual de grasas y residuos flotantes	Cada 2–4 semanas
Tanque séptico	Extracción de lodos sedimentados	Cada 4 años (según acumulación)
FAFA	Inspección de flujo, revisión de obstrucciones	Cada 6 meses
Pozo de infiltración	Evaluar velocidad de percolación y saturación	Anualmente
Tuberías	Lavado con agua a presión o desobstrucción manual	Cada 6–12 meses

Nota. La frecuencia puede ajustarse según el uso real del sistema y la aparición de olores, obstrucciones o reboses.

Tabla 13

Indicadores de alerta y acciones correctivas

Síntoma observado	Posible causa	Acción correctiva recomendada
Olores fuertes en el área del tanque	Exceso de lodos o grasa acumulada	Vaciado del tanque / limpieza de la trampa
Rebose del pozo de infiltración	Saturación del suelo	Incrementar área de infiltración o excavación
Agua estancada entre unidades	Tubería obstruida	Limpieza de tuberías o rediseño de pendiente
Presencia de insectos o roedores	Mal sellado o residuos expuestos	Sellar tapas y eliminar residuos visibles

4.10. Procesamiento y análisis de información

La información recolectada fue sistematizada en una base de datos digital, lo que permitió realizar un análisis descriptivo de los tipos de STARD observados. Los más comunes fueron:

- Tanques sépticos simples, sin tratamiento secundario ni disposición adecuada del efluente.
- Biodigestores de flujo continuo, empleados en algunas veredas con apoyo institucional.
- Humedales subsuperficiales, utilizados como sistemas complementarios, aunque con escaso mantenimiento.
- Pozos de absorción o zanjas de infiltración, frecuentemente sobredimensionados o sin material filtrante.

Se identificó que el 65 % de los sistemas de saneamiento evaluados presentan deficiencias significativas tanto en su diseño como en su operación y mantenimiento. Estas falencias se relacionan principalmente con el subdimensionamiento de los tanques sépticos, lo cual limita su capacidad para tratar adecuadamente las aguas residuales generadas por las viviendas.

Adicionalmente, se evidenció la ubicación inadecuada de estas infraestructuras, encontrándose en varios casos a distancias inferiores a los 30 metros de fuentes hídricas superficiales o subterráneas, lo que incrementa el riesgo de contaminación ambiental y afectación a la salud pública. En algunos sistemas, además, se observó el vertimiento directo de las aguas

residuales al suelo, práctica que contraviene los lineamientos técnicos y normativos vigentes y agrava los impactos negativos sobre el entorno.

A partir de las visitas de campo y de las entrevistas realizadas a los habitantes, se concluye que la totalidad de las viviendas evaluadas carece de un sistema de tratamiento de aguas residuales que pueda considerarse óptimo o técnicamente adecuado. Si bien todas las viviendas cuentan con pozos sépticos, estos sistemas no cumplen con los criterios mínimos de diseño, localización, operación y mantenimiento requeridos para garantizar un tratamiento eficiente y seguro de las aguas residuales domésticas. Esta situación evidencia la necesidad de implementar acciones de mejoramiento, rediseño o sustitución de los sistemas existentes, así como de fortalecer los procesos de asistencia técnica y sensibilización comunitaria, con el fin de reducir los riesgos sanitarios y ambientales y contribuir a una gestión sostenible del saneamiento básico en la zona de estudio.

4.11. Evaluación de los aspectos ambientales y sociales

Desde el punto de vista ambiental, la implementación de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales tiene un impacto positivo directo en la reducción de la carga contaminante vertida al entorno. Sin embargo, su sostenibilidad depende del acompañamiento social y de la educación ambiental.

Durante la pasantía se evidenció que las familias que comprendían el funcionamiento del sistema mostraban mayor disposición al mantenimiento y cuidado. Por ello, la educación ambiental comunitaria se reconoció como un eje transversal que garantiza la permanencia de los beneficios del proyecto (Massoud et al., 2009).

4.12. Herramienta Técnica para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos establecidos en la Resolución 844 de 2018, Resolución 699 de 2021 y Resolución 799 de 2021.

Este segundo objetivo tuvo como propósito desarrollar una herramienta técnica que permita verificar la aplicabilidad y cumplimiento de los requisitos normativos vigentes que regulan los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) en viviendas rurales dispersas del municipio de Popayán, Cauca. Para lograrlo, se aplicó una metodología basada en la comparación entre los lineamientos técnicos de las resoluciones mencionadas y las características de los diseños evaluados en campo. La presentación de los resultados comprende la descripción

de la herramienta elaborada, su estructura, los criterios de evaluación considerados y la validación realizada con ejemplos prácticos de diseños STARD existentes en el área de estudio.

1. Objetivo.

Verificar el cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) para certificar soluciones alternativas de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico para vivienda rural dispersa en el municipio de Popayán.

2. Responsable.

Es responsabilidad del Secretario de Desarrollo Agroambiental y Fomento Económico DAFE de Popayán y del personal funcionario o contratista del grupo de trabajo de Gestión Ambiental la aplicación del presente procedimiento.

3. Alcance.

El procedimiento inicia con la recepción del oficio de solicitud por parte del propietario del predio con los respectivos soportes, para obtener el certificado de cumplimiento técnico de las soluciones alternativas de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico para vivienda rural dispersa y finaliza con la expedición realizada y proyectada por el funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental de la secretaria de Desarrollo Agroambiental y Fomento Económico - DAFE y aprobada por el Secretario de DAFE. Este procedimiento aplica a viviendas rurales dispersas ubicadas en el municipio de Popayán con deficiencias en el suministro de agua potable y saneamiento básico, que cumplan con los requisitos establecidos en el RAS, según el Decreto 1688 de 2020, el Decreto 1232 de 2020, la Resolución 330 de 2017 y la Resolución 799 de 2021.

4. Términos y definiciones

Aguas residuales: Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, locales comerciales, instituciones, fábricas o industrias.

Aguas residuales domésticas - ARD: Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios.

Aguas residuales no domesticas: Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas - ARD.

Carga contaminante. Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio, en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (Kg/d).

Certificado de cumplimiento técnico de soluciones alternativas de agua para consumo humano y domestico o de saneamiento básico: Es un documento oficial que avala el cumplimiento de los requisitos técnicos de los STARD establecidos en el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

Lodo. Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares.

Lote para vivienda campesina: Es el área de terreno aislado destinado para la construcción de vivienda para una familia campesina que deriva su sustento del trabajo en el campo y donde se permite la construcción de una sola vivienda unifamiliar destinada a una familia campesina.

Parámetro: Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Regulaciones ambientales: Son las leyes y normativas que regulan el tratamiento y manejo de las aguas residuales para proteger el medio ambiente y la salud pública.

Saneamiento básico: según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo para las Naciones Unidas (UNICEF), afirman que es la tecnología de más bajo costo que permite eliminar higiénicamente las excretas y aguas residuales y tener un medio limpio y sano, tanto en la vivienda como en las proximidades de los usuarios.

sistema de tratamiento de aguas residuales (stard): Es un conjunto de equipos y procesos diseñados para tratar las aguas residuales domésticas y eliminar contaminantes antes de su descarga al medio ambiente o su reutilización. Esto puede incluir sistemas de tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento biológico.

Tipo de vivienda: Vivienda rural dispersa, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 326 del Acuerdo 06 del 05 de agosto de 2002 (POT) y en el Decreto 1232 de 2020.

Usos del suelo: Usos propios del suelo rural como la agricultura o la minería según el Decreto 1232 de 2020. Además, debe ajustarse a las normativas de uso del suelo establecidas en el Artículo 326 del Acuerdo 06 del 5 de agosto de 2002 (POT).

Unidad agrícola familiar. Estas áreas son exclusivas para explotación agrícola, ganadera, explotación de recursos naturales y actividades análogas. Unidad Agrícola Familiar para el Municipio de Popayán es de 9,23 hectáreas (92.300 metros cuadrados). En la unidad agrícola familiar se permitirá una vivienda unifamiliar con las construcciones complementarias requeridas para el uso de la explotación a desarrollar.

Unidad productiva concentrada (UPC): Es un conjunto de soluciones de vivienda rural, que comprende además de las unidades privadas de alojamiento, un área comunitaria para el desarrollo de actividades productivas. El número máximo de familias participantes en una UPC, será de seis (6). El Área por familia deberá ser de dos (2) hectáreas como mínimo de la cual deben destinarse 500 m² como área máxima privada de lote para la construcción de la vivienda unifamiliar con un Índice de ocupación del 40% estas áreas podrán concentrarse formando un globo máximo de 3000 m², el área restante formará parte de las áreas comunes que conformen la unidad productiva concentrada del conjunto de familias agrupadas. Las viviendas deben estar aisladas entre fachadas por una distancia de 10.00 m. Las UPC, no podrán subdividirse.

Vertimiento. Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vertimiento puntual. El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Vertimiento no puntual. Aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

Visita de verificación de requisitos técnicos: Procedimiento formal llevado a cabo por la secretaria DAFE para evaluar el cumplimiento de normas, estándares, o lineamientos técnicos aplicables a un STARD implementado en viviendas rurales dispersas.

Vivienda rural dispersa. Es la unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida del campo y no hace parte de centros poblados rurales ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre.

Vivienda productiva: Es la solución de vivienda rural o urbana, que entrega una edificación que además de servir de habitación, cuenta con un espacio adicional para el desarrollo y explotación de las actividades económicas del hogar.

5. Aspectos generales

Normatividad

Ley 99 de 1993 "Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones".

Ley 388 de 1997 Ley Orgánica del Ordenamiento Territorial "Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones".

Ley 1437 de 2001 "Por la cual se expide of Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo".

Ley 1955 de 2019 'Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 'Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad'".

Ley 2294 de 2023 "Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 'Colombia Potencia Mundial de la Vida'".

Decreto 3600 de 2007 "Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones".

Decreto 1076 de 2015 "Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible".

Decreto 1077 de 2015 "Decreto único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio".

Decreto 1210 de 2020 "Por el cual se modifica y adiciona parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, se reglamenta parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 y se dictan otras disposiciones".

Decreto 1232 de 2020 "Por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2. 1.1 del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial".

Decreto 1688 de 2020 "Por el cual se modifican unos artículos y se adiciona una Sección al Capítulo 1, del Título 7, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 de 2015, reglamentando parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 en lo relacionado con la dotación de infraestructura de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico en zonas rurales y su entrega directa a las comunidades organizadas beneficiarias, de acuerdo con los esquemas diferenciales definidos por el Gobierno nacional".

Resolución 330 de 2017 "Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009".

Resolución 844 de 2018 "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. parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015".

Resolución 699 de 2021 "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones".

Resolución 799 de 2021 "Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017"

Acuerdo 06 de 2002 'Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Popayán'.

Circular 20242100002136 del 10 de octubre de 2024 mediante la cual se imparten "instrucciones para el trámite de certificado de solución de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico" en el municipio de Popayán (Ver Tabla 1).

Tabla 14

Descripción del procedimiento

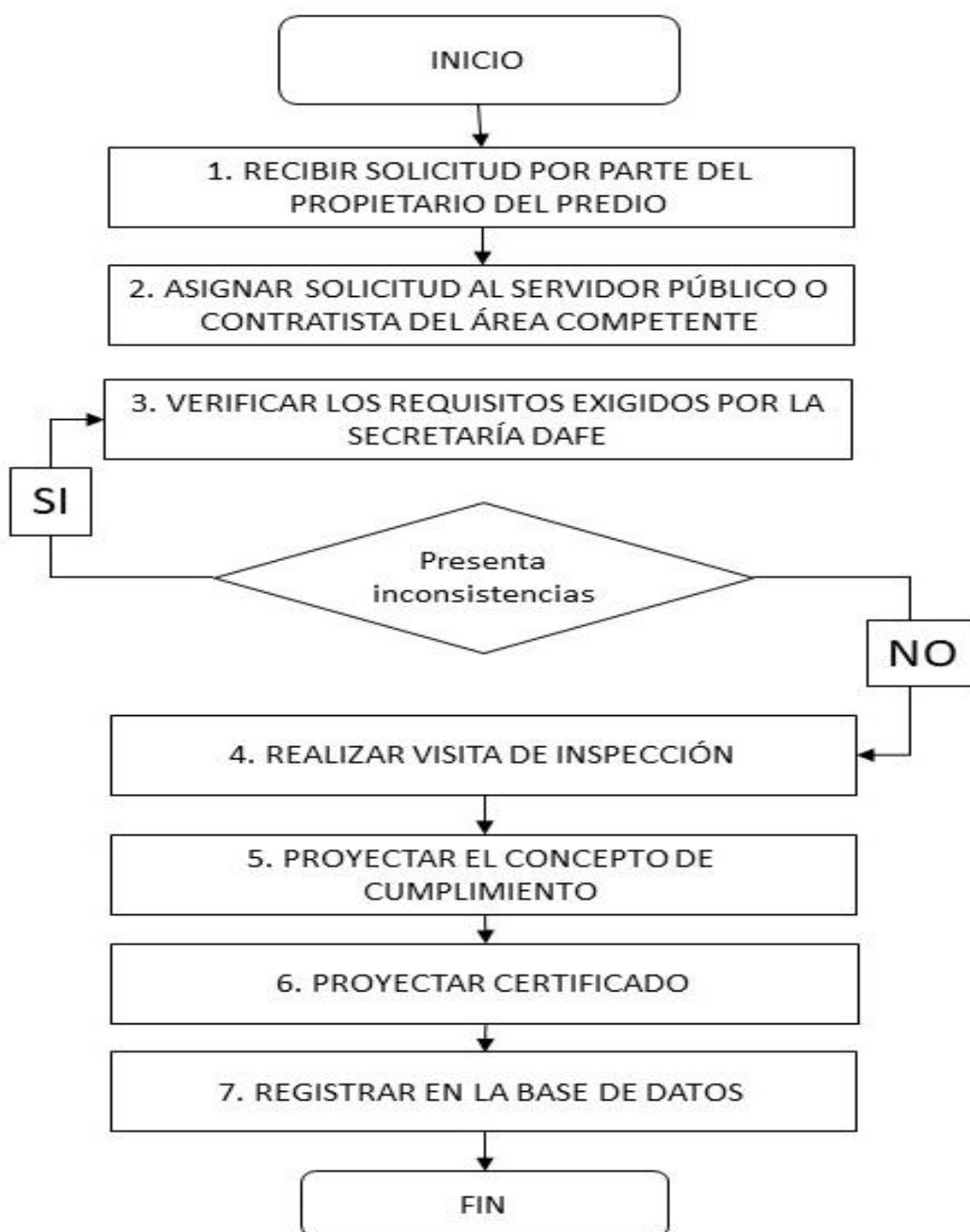
No	Actividad	Descripción	Responsable	Registro
1	Recibir solicitud por parte del propietario del predio	El funcionario de apoyo de la secretaria DAFE del grupo de gestión ambiental, recibe la solicitud del propietario del predio a través de los diferentes canales dispuestos por la entidad: Canal virtual. Sitio Web https://oars.oonavan.aov.cohndex Canal Presencial. Radicado Oficina de Archivo	Servidor Público o contratista.	Oficio solicitud Documentación física y/o digital adjunta
2	Asignar Solicitud al Servidor público o contratista Del área Competente	El funcionario de apoyo de la secretaria DAFE, posterior a la recepción de la solicitud lo asigna al coordinador del área competente en este caso al área ambiental y lo reasigna al profesional de apoyo de la secretaria DAFE, Gestión Ambiental, para iniciar la revisión documental.	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	Correo electrónico Sistema Gestión Documental ORFEO Documentación física y/o digital adjunta
3	Verificar los Requisitos Exigidos por la Secretaria DAFE	El funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental deberá revisar la documentación legal y técnica presentada por el usuario, con la finalidad de verificar la procedencia y cumplimiento de los requisitos documentales exigidos por la secretaria DAFE para expedir los certificados de los STARD. En este paso se evalúan los siguientes documentos: 1. Solicitud firmada por el propietario del predio (original). Debe incluir: Nombre del representante legal o propietario, Dirección del predio,	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	Lista de Chequeo F-GDAFE-C-10 Versión: 01 Oficio solicitud Documentación física y/o digital adjunta

		dirección de notificaciones, correo electrónico, teléfono de contacto. 2. Fotocopia de la cédula para la persona natural o documento de identificación de la razón social, Si se trata de Una persona jurídica propietaria del predio. 3. Poder debidamente otorgado cuando se actúe mediante abogado. con reconocimiento de firmas ante notario. 4. Certificado existencia con fecha de expedición no mayor a 3 meses (Si es persona jurídica). 5. Concepto de use del suelo expedido por la secretaria de planeación municipal (Expedición no mayor a 3 meses), conforme a la normatividad vigente. 6. Certificado de Tradición con expedición no mayor a 3 meses o Escritura Pública. 7. Memorias de diseño del sistema a implementar o existente conforme a la normatividad vigente, en medio físico y digital editable (formato .doc, .xls original). 8. Planos en planta y perfil del sistema Firmados por el Ingeniero diseñador y la tarjeta profesional con certificación del COPNIA En caso de encontrar inconsistencias en los documentos, el funcionarlo y/o profesional de apoyo contratista de gestión ambiental, proyecta respuesta por escrito. con radicado del sistema de gestión documental (ORFEO), explicando y solicitando los documentos faltantes y/o a corregir. El usuario cuenta con 16 días hábiles para subsanar y enviar información, según lo contemplado en la Ley 1437 de 2011. Si el usuario no envía la información requerida, se entenderá que desiste de continuar con el proceso.		
4	Realizar visita de inspección	Una vez surtido el proceso de Verificación y Revisión de la documentación legal y técnica presentada por el usuario, el funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental precede a programar las vistas técnicas de acuerdo con el orden de ingreso de las solicitudes. El funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental realiza la	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	(F-GDAFE-01 versión 5). Formato visita de verificación técnica versión.05

		visita técnica al predio del solicitante, con el fin de verificar que la documentación entregada por el usuario sea legítima. Al finalizar se diligencia Formato de acta de visita técnica con la situación encontrada por medio del documento (F-GDAFE-01 versión 5).		
5	Proyectar el Concepto de Cumplimiento	Al verificar los requisitos documentales (legales) y técnicos mediante visita de campo, el funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental Proyectará el concepto de cumplimiento de los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental legal vigente, evaluando cede uno de los requisitos exigidos en el Ítem 3, en concordancia con la Circular. 20242100002136 del 10 de octubre de 2024. En situaciones donde no se cumple con la documentación legal y/o técnica, se realizará la emisión de un Plan de Cumplimiento para las certificaciones del STARD, mediante oficio radicado en el sistema de gestión documental (ORFEO). Este plan de cumplimiento debe estar Ligado a cada uno de los Requisitos exigidos por la Circular 20242100002136 del 10 de octubre de 2024. El concepto de cumplimiento deberá ser radicado en el sistema de gestión documental (ORFEO) indicando Como asunto "Concepto de cumplimiento de requisitos para certificar STARD para vivienda rural dispersa" y anexando los datos de la solicitud o del predio. En los casos en que se presenten solicitudes donde no se ha efectuado la construcción del STARD, y se radiquen documentos relacionados con planes y diseños, se realizará la verificación del cumplimiento de la documentación legal y la conformidad del diseño del sistema con lo establecido en la Resolución 330 de 2017 y la Resolución 799 de 2021. Si se cumple con estos requisitos, se emitirá un documento, radicado en el sistema de gestión documental (ORFEO), que constate la conformidad del diseño según la normatividad ambiental legal vigente.	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	Oficio de concepto de requisitos Técnicos documentales. (Formato GDAFE-210)

		No obstante, este documento no sustituye ni reemplaza la certificación del STARD. Por lo tanto, Una vez construido el sistema, el usuario deberá presentar las evidencias de construcción correspondientes, ajustadas a los planos y diseños aprobados, con el fin de continuar con el trámite.		
6	Proyectar el Certificado	Cuando se realiza la verificación de los requisitos exigidos por la normatividad ambiental legal vigente el funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental expide el certificado de las soluciones alternativas de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico para vivienda rural dispersa, documento radicado en el sistema de gestión documental (ORFEO).	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	Oficio de Certificado del STARD en Cumplimiento del RAS (Formato GDAFE-210)
7	Registrar en la base de datos de Certificaciones de soluciones alternativas de Agua para consumo humano Y domestico o Saneamiento	Una vez emitido el certificado, el funcionario y/o personal de apoyo contratista de gestión ambiental realizará el registro en una base de datos de certificaciones de soluciones alternativas para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico emitidas. La base de datos contará con la siguiente información. • Datos del solicitante • Ubicación del predio • Coordenadas del STARD • Descripción del STARD • Número o radicado del certificado • Fecha de emisión del certificado. La base de datos diligenciada por el funcionario y/o personal de apoyo contratista de gestión ambiental, respecto a las certificaciones de los STARD para la vivienda rural dispersa, será enviada trimestralmente a la corporación autónoma regional del Cauca (CRC), con oficio radicado en el sistema de gestión documental (ORFEO), para que, como autoridad ambiental del departamento del Cauca realice el seguimiento respectivo según sus competencias.	Funcionario y/o personal de apoyo contratista de Gestión Ambiental	Base de datos de certificaciones de STARD (formato .xls) Correo electrónico Oficio de envío de información (formato GDAFE-210).

Figura 3
Flujograma



Fuente: Elaboración propia presente estudio. Año 2025.

7. Flujograma

8. Anexos

- Circular 20242100002136 del 10 de octubre de 2024.
- Lista de chequeo expedición de certificados de soluciones alternativas de agua para consumo humano doméstico o de saneamiento básico para vivienda rural dispersa. (Formato F-GDAFE-C-10 versión 01).
- Acta de visita de verificación técnica (Formato F-GDAFE-01)

Tabla 15

Control de actualizaciones

Versión	Fecha de aprobación	Descripción del cambio
02	25 de febrero de 2025	Se realizó cambios al hombre del procedimiento, en el marco de las competencias de las entidades territoriales municipales (Decreto 1210 de 2020, Decreto 1232 de 2020 y Decreto 1688 de 2020).
		Se modificó el objetivo, en el marco del cumplimiento del Decreto 1232 de 2020.
		Se ajustaron las definiciones según los requerimientos del procedimiento, en el marco de la
		Circular 20242100002136 del 10 de octubre de 2024.
		Se ajustó la normatividad en función de las competencias de las entidades territoriales para emitir certificados de las soluciones alternativas de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico.
		Se incluyeron las condiciones generales que permiten verificar los requisitos para obtener el certificado de las soluciones alternativas de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico, teniendo en cuenta

lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial de Popayán.

Se ajustaron las actividades del procedimiento en el marco de las competencias de las entidades territoriales municipales (Decreto 1210 de 2020, Decreto 1232 de 2020 y Decreto 1688 de 2020) y para verificar el cumplimiento del Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS (Resolución 330 de 2017 y Resolución 799 de 2021).

4.13. Procedimiento para verificar el cumplimiento de los requisitos normativos en los diseños de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (STARD) en viviendas rurales dispersas en el municipio de Popayán, Cauca.

El desarrollo del tercer objetivo se centró en la formulación de un procedimiento metodológico que permita verificar de manera sistemática el cumplimiento de los criterios técnicos exigidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y las resoluciones 844 de 2018, 699 y 799 de 2021. Para demostrar la aplicabilidad del procedimiento se realizó un cálculo de diseño para un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, orientado a una vivienda rural dispersa con una dotación promedio y características típicas del municipio de Popayán.

Describir el paso a paso del cumplimiento del proceso normativo. Envía RAS

Tabla paso a paso los requisitos

4.13.1. Desarrollo y resultados de los cálculos

Los cálculos se realizaron con base en una población de diseño de 5 habitantes y una dotación de agua de 150 L/hab/día, valores acordes a las condiciones rurales de la zona. A partir de estos parámetros, se obtuvo un caudal de diseño equivalente a 0,75 m³/día, el cual permitió definir las dimensiones básicas de las unidades de tratamiento.

Las concentraciones iniciales consideradas fueron 500 mg/L para la DBO₅ y 250 mg/L para los Sólidos Suspendidos Totales (SST), de acuerdo con los rangos establecidos en el RAS para

aguas residuales domésticas sin tratamiento previo. Con base en estos valores, se determinó una eficiencia de remoción del 80% para ambas variables, lo cual representa concentraciones estimadas de salida de 100 mg/L de DBO₅ y 50 mg/L de SST, garantizando el cumplimiento de los estándares de descarga rural.

El diseño preliminar arrojó un área de 2,0 m² para la trampa de grasas, un tanque séptico de similares características con volumen estimado de 2,0 m³, y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con un volumen y área equivalentes de 2,0 m³ y 2,0 m², respectivamente. Estos resultados demuestran la coherencia entre el procedimiento propuesto y los parámetros técnicos requeridos para garantizar una disposición segura y eficiente de las aguas residuales domésticas.

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió avanzar de manera significativa en la comprensión, evaluación y fortalecimiento del diseño de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (STARD) implementados en viviendas rurales dispersas del municipio de Popayán, Cauca, aportando elementos técnicos, metodológicos y operativos relevantes para el mejoramiento del saneamiento básico rural.

En primer lugar, el cumplimiento del primer objetivo específico hizo posible la construcción de una línea base detallada y confiable sobre las condiciones actuales de saneamiento en la zona de estudio. Los resultados obtenidos evidenciaron que una proporción considerable de los sistemas existentes no cumple de manera integral con los criterios técnicos y normativos establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), así como en la normativa complementaria vigente (Resoluciones 844 de 2018, 699 de 2021 y 799 de 2021). Estas deficiencias se asocian, principalmente, a la falta de acompañamiento técnico especializado durante las etapas de diseño y construcción, así como a la ausencia de procesos sistemáticos de seguimiento, control y verificación una vez los sistemas entran en operación.

De igual forma, el análisis de las condiciones físicas, sociales y económicas de las viviendas rurales dispersas permitió identificar limitaciones estructurales que inciden directamente en la selección y viabilidad de las tecnologías de tratamiento. En este sentido, se concluye que las soluciones de saneamiento deben responder al contexto territorial, priorizando alternativas tecnológicamente apropiadas, de bajo costo, operación sencilla y mantenimiento mínimo, sin menoscabo de la eficiencia sanitaria y del cumplimiento de los criterios de protección ambiental.

La incorporación de herramientas digitales para el levantamiento, registro y sistematización de la información representó un avance sustancial en el proceso de diagnóstico. Estas herramientas permitieron mejorar la calidad y trazabilidad de los datos, minimizar errores asociados a la recolección manual de información y disponer de insumos georreferenciados, lo cual facilitó una toma de decisiones técnicas más precisa y fundamentada.

En relación con el segundo objetivo específico, el diseño y la aplicación de una herramienta técnica de verificación normativa constituyeron un aporte metodológico de alto valor. Dicha herramienta demostró ser eficaz para evaluar los diseños de los sistemas STARD frente a los requerimientos del marco regulatorio vigente, permitiendo una identificación clara, ordenada y objetiva de los criterios de cumplimiento e incumplimiento. Su aplicación práctica puso de manifiesto la necesidad de fortalecer los procesos de control, supervisión y aseguramiento de la calidad en los proyectos de saneamiento rural, promoviendo la estandarización de los diseños y el cumplimiento normativo desde las etapas iniciales.

Asimismo, la validación en campo de la herramienta permitió comprobar su funcionalidad, pertinencia y aplicabilidad en contextos rurales reales, destacando su potencial para ser utilizada por entidades territoriales, autoridades ambientales y universidades como un instrumento de apoyo técnico, de gestión y de formación académica. Este resultado contribuye de manera directa al fortalecimiento de la gestión ambiental municipal y al cumplimiento de los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo en materia de saneamiento rural sostenible.

Finalmente, los resultados alcanzados confirman que el procedimiento propuesto facilita una evaluación objetiva y técnica de los diseños STARD, fortaleciendo los procesos de revisión, aprobación y seguimiento por parte de las autoridades ambientales competentes. En su conjunto, el proyecto aporta una base sólida para futuras investigaciones, así como para la formulación de políticas, programas y proyectos orientados a la implementación de soluciones sostenibles y contextualizadas de tratamiento de aguas residuales domésticas en las zonas rurales.

5.2 Recomendaciones

Fortalecer la asistencia técnica y la capacitación comunitaria: Es fundamental que las entidades territoriales y ambientales brinden acompañamiento continuo a las comunidades rurales para garantizar el correcto diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas STARD.

Adoptar la herramienta de verificación normativa: Se recomienda que la Alcaldía de Popayán, en coordinación con la CRC y las universidades locales, adopten la herramienta desarrollada como guía técnica de evaluación en proyectos de saneamiento rural.

Actualizar y socializar los criterios del RAS Rural: Es necesario generar espacios de formación y divulgación sobre los requisitos normativos del RAS y sus resoluciones asociadas, de modo que los profesionales y constructores locales los apliquen correctamente en campo.

Promover soluciones tecnológicas apropiadas: Se deben priorizar sistemas descentralizados de bajo costo, fáciles de operar y con materiales disponibles localmente, considerando las particularidades geográficas y socioeconómicas de las veredas.

Desarrollar estrategias de seguimiento y monitoreo: Implementar un sistema de seguimiento técnico y ambiental que permita evaluar periódicamente la eficiencia de los STARD instalados, garantizando su sostenibilidad y funcionamiento a largo plazo.

Integrar la educación ambiental como eje transversal: Fomentar la sensibilización y apropiación de las familias beneficiarias sobre la importancia del manejo adecuado de las aguas residuales para la salud pública y la conservación de las fuentes hídricas.

Fomentar la articulación interinstitucional: La cooperación entre universidades, entidades gubernamentales, corporaciones ambientales y comunidades rurales es esencial para consolidar un modelo sostenible y replicable de saneamiento rural en Popayán y el Cauca.

Referencias

- Alcaldía de Popayán. (2024). Circular 20242100002136: Instrucciones para el trámite de certificado de solución de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico en el municipio de Popayán.
- Bartram, J., & Cairncross, S. (2010). Hygiene, sanitation, and water: Forgotten foundations of health. *PLoS Medicine*, 7(11), e1000367. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367>
- Bernal Pedraza, A. Y., & Licona Calpe, W. (2023). Transformaciones en el espacio urbano-rural en Colombia y su impacto en el suministro de agua. *Territorios*, (50), 1-28. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.12222>
- Blanco-Corredor, D. C., Bustos-López, L. A., & Arrieta-Loyo, D. (2021). Gestión de aguas residuales: Un estudio de caso en los municipios de Puerto Wilches y Yondó – Colombia. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 1–17. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.92749>
- Bustos Murillo, F. A., Pulido Aponte, Á. E., & Rivera Escobar, H. M. (2023). Tratamiento de aguas residuales en Colombia y sistemas bioelectroquímicos: Usos y perspectivas. *Tecnura*, 27(76), 111-143. <https://doi.org/10.14483/22487638.19390>
- Campo Usuga, J. F. (2022). *Estado del arte de los sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual en zonas rurales* [Trabajo de grado pregrado, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional UDEA. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/869c432a-01b0-4f78-96fe-8fa83e321879>
- Cardona Zapata, L. M. (2022). *Diagnóstico y evaluación del estado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas – PTARD Central del municipio de Guadalupe, Antioquia* [Trabajo de grado pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/48988>
- Chen, P., Zhao, W., Chen, D., Huang, Z., Zhang, C., & Zheng, X. (2022). Research progress on integrated treatment technologies of rural domestic sewage: A review. *Water*, 14(15), 2439. <https://doi.org/10.3390/w14152439>

Concejo Municipal de Popayán. (2002). Acuerdo 06 de 2002. Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Popayán. Municipio de Popayán.

Congreso de Colombia. (1993, diciembre 2022). Ley 99 de 1993. *por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.*

Congreso de Colombia. (1994, julio 11). Ley 142 de 1994. *Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.*

Congreso de Colombia. (1997, julio 18). Ley 388 de 1997. *Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.*

Congreso de Colombia. (2011, enero 18). Ley 1437 de 2011. *Por la cual se expide el Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo.*

Congreso de Colombia. (2019, mayo 25). Ley 1955 de 2019. *Por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2018-2022 pacto por Colombia, pacto por la equidad.*

Congreso de Colombia. (2023, mayo 19). Ley 2294 de 2023. *Por el cual se expide el plan nacional de desarrollo 2022- 2026 “Colombia potencia mundial de la vida.*

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2019). *Información capital.* <https://www.dane.gov.co/files/varios/informacion-capital-DANE-2019.pdf>

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2014). Documento Conpes 3810. *Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural.*

Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2021). *Informe anual de avance en la implementación de los ODS en Colombia.* https://colaboracion.dnp.gov.co/sites/CDDNP/Sinergia/ODS/2021-12-29_Informe_final%202021.pdf

Domínguez-Solís, D., Martínez-Rodríguez, M. C., Ramírez-Escamilla, H. G., Campos-Villegas, L. E., & Domínguez-Solís, R. (2025). Constructed wetlands as a decentralized treatment

- option for domestic wastewater: A systematic review (2015–2024). *Water*, 17(10), 1451. <https://doi.org/10.3390/w17101451>
- Escobar Gordillo, M. J. (2022). *Elaboración del diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en veredas rurales del municipio de Corinto, Cauca* [Trabajo de grado pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/jspui/handle/10596/48945>
- Fernández Del Castillo, A., Garibay, M. V., Senés-Guerrero, C., Orozco-Nunnelly, D. A., De Anda, J., & Gradilla-Hernández, M. S. (2022). A review of the sustainability of anaerobic reactors combined with constructed wetlands for decentralized wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133428>
- Franco Henao, A. (2023). *Estudio del funcionamiento de dos sistemas de tratamiento anaerobio comerciales para aguas residuales domésticas en áreas rurales del municipio de Manizales (sector Tablazo)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84408>
- Hendy, I., Zelenakova, M., Pietrucha-Urbanik, K., Salama, Y., & Abu-hashim, M. (2023). Decentralized constructed wetlands for wastewater treatment in rural and remote areas of semi-arid regions. *Water*, 15(12), 2281. <https://doi.org/10.3390/w15122281>
- Lindblom, E. U., & Samuelsson, O. (2023). Comparison of guideline- and model-based WWTP design for uncertain influent conditions. *Water Science and Technology*, 87(1), 218-227. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.426>
- Liu, M., Lin, Z., Li, J., Zhu, M., Tang, Z., & Li, K. (2024). Performance assessment of rural decentralized domestic wastewater treatment facilities in Foshan, China. *Water*, 16(13), 1901. <https://doi.org/10.3390/w16131901>
- Madera, C. A., Silva, J. P., & Peña, M. R. (2005). Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico—Filtro anaerobio y humedales subsuperficiales. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2), 5-10. <https://doi.org/10.25100/iyc.v7i2.2512>

- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente]. (2021). Resolución 699 de 2021. *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones.*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MinVivienda]. (2017). Resolución 330 de 2017. *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MinVivienda]. (2018). Resolución 844 de 2018. *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 del Libro 2 del Decreto número 1077 de 2015.*
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio [MinVivienda]. (2021). Resolución 799 de 2021. *Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017.*
- Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Osorio Manzano, C. M. (2021). *Evaluación ambiental de la contaminación generada por vertimientos de aguas residuales domesticas en el tramo conjunto residencial Bariloche-parcelación quintas del bosque de la microcuenca Garrochal sub cuenca del rio sate de la ciudad de Popayán-Cauca* [Trabajo de grado pregrado, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca].
- Palta Prado, G. H., & Morales Velasco, S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: brachiaria mutica, pennisetum purpureum y panicum maximun en el

municipio de Popayán, Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 57–65.

<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/298>

Pérez, Y., García-Cortes, D., Torres-Valle, A., & Jáuregui-Haza, U. (2023). Risk assessment of domestic wastewater treatment system based on constructed wetlands. *Sustainability*, 15(22), 15850. <https://doi.org/10.3390/su152215850>

Presidencia de la República de Colombia. (2007, septiembre 20). Decreto 3600 de 2007. *Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.*

Presidencia de la República de Colombia. (2015a, mayo 26). Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Presidencia de la República de Colombia. (2015b, mayo 26). Decreto 1077 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

Presidencia de la República de Colombia. (2020a, septiembre 2). Decreto 1210 de 2020. *Por el cual se modifica y adiciona parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, se reglamenta parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 y se dictan otras disposiciones.*

Presidencia de la República de Colombia. (2020b, septiembre 14). Decreto 1232 de 2020. *Por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2. 1.1 del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial.*

Presidencia de la República de Colombia. (2020c, diciembre 17). Decreto 1688 de 2020. *Por el cual se modifican unos artículos y se adiciona una Sección al Capítulo 1, del Título 7, de*

la Parte 3, del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 de 2015, reglamentando parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 en lo relacionado con la dotación de infraestructura de agua para consumo humano y doméstico o de saneamiento básico en zonas rurales y su entrega directa a las comunidades organizadas beneficiarias, de acuerdo con los esquemas diferenciales definidos por el Gobierno nacional.

Segura Caicedo, L. C. (2020). *Apoyo en el diagnóstico de operación de los sistemas de tratamiento domésticos y de disposición final de aguas residuales, pertenecientes al ramal de distribución de la empresa de acueducto y alcantarillado de Popayán, en la vereda real Palacé, municipio de Popayán-Cauca* [Trabajo de grado pregrado, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca].

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD]. (2023). *Informe Nacional de coberturas de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo – Vigencia 2023.*

Zambrano Rodríguez, L. M. (2022). *Vertimiento de aguas servidas en un tramo de la quebrada Pubús, Popayán-Cauca. Causa y solución* [Trabajo de grado pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional UMNG.
<https://repository.umng.edu.co/items/b39f09f7-7ef7-4144-ab5a-cfa29080b6a9>

Anexos

Anexo. A. Pantallazo aplicación formato encuesta

7:28 87%

SANEAMIENTO DAFE

< REGRESAR ELIMINAR

¿ESTÁ INFORMADO SOBRE LA IMPORTANCIA DE UN SISTEMA ADECUADO DE SANEAMIENTO BÁSICO?

NO

¿HA RECIBIDO ALGÚN TIPO DE EDUCACIÓN O CAPACITACIÓN SOBRE EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES?

NO

¿HA RECIBIDO INFORMACIÓN O CAPACITACIÓN SOBRE EL MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS SÓLIDOS?

NO

EN SU OPINIÓN, ¿CUÁL ES EL PRINCIPAL DESAFÍO PARA TENER UN SISTEMA DE SANEAMIENTO ADECUADO EN SU VIVIENDA?

COSTO DE INSTALACIÓN Y/O MANTENIMIENTO, FALTA DE INFORMACIÓN O CAPACITACIÓN, FALTA DE OFERTA DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO EN LA COMUNIDAD

¿CREE QUE SU COMUNIDAD NECESITA MÁS INFORMACIÓN SOBRE CÓMO MANEJAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE MANERA RESPONSABLE?

SI

7:28

   87%

 SANEAMIENTO DAFE

 REGRESAR

 ELIMINAR

EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CUMPLE CON EL REGLAMENTO TÉCNICO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (RAS)

NO

SI LA VIVIENDA CUENTA CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STARD), INDICAR LAS DIMENSIONES Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN DE CADA UNO DE LOS COMPONENTES

LA VIVIENDA CUENTA CON UN STARD

NO

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA VIVIENDA

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

QUEMA DE RESIDUOS, COMPOSTAJE

FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

SEMANAL

EXISTEN BASUREROS O VERTEDEROS DE

7:28

 SANEAMIENTO DAFE



 REGRESAR

 ELIMINAR

SI LA VIVIENDA CUENTA CON UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STARD) ¿CÓMO SE COMPONE?

SIN STARD

DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS RESIDUALES

AGUA

DISTANCIA ENTRE LA VIVINDA Y EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (SI TIENE)

1 - 5 m

ESTADO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (SI TIENE)

NO TIENE STARD

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (SI TIENE)

NO TIENE STARD

PROBLEMAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (SI TEIENE)

7:27

    87%

  SANEAMIENTO DAFE

 REGRESAR  ELIMINAR

DATOS DE LA VIVIENDA 

UBICACIÓN (COORDENADAS)

LATITUD2.447314

LONGITUD-76.439567

PRECISIÓN4

UBICACIÓN DE LA VIVIENDA

ZONA RURAL DISPERSA

NOMBRE DE LA VEREDA

Quintana

NOMBRE DEL PREDIO

San Antonio

ÁREA DEL PREDIO (m2)

108

TITULARIDAD DEL PREDIO

7:27    87%

  SANEAMIENTO DAFE

 REGRESAR  ELIMINAR

TIPO DE VIVIENDA

VIVIENDA CAMPESINA

NÚMERO DE HABITANTES DE LA VIVIENDA

1 - 3 HABITANTES

LA VIVIENDA CUENTA CON VÍAS DE ACCESO

NO

CUENTA CON SISTEMAS PRODUCTIVOS

AGRÍCOLAS, OTRO

SERVICIOS BÁSICOS DE LA VIVIENDA 

¿CON CUÁL DE LOS SIGUIENTES SERVICIOS PÚBLICOS CUENTA LA VIVIENDA?

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, ENERGÍA ELÉCTRICA, INTERNET

CONTINUIDAD DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO (AGUA POTABLE)

7:27

    87%

  SANEAMIENTO DAFE

 REGRESAR  ELIMINAR

CONTINUIDAD DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO
(AGUA POTABLE)

SIN SERVICIO

CONTINUIDAD DEL SERVICIO DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA

CONTÍNUA (24 HORAS)

EN CASO DE NO CONTAR CON SERVICIO DE
ACUEDUCTO O ABASTECIMIENTO DE AGUA
¿CÓMO OBTIENE AGUA PARA EL CONSUMO?

RÍO O QUEBRADA

MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN LA VIVIENDA 

SI LA VIVIENDA NO CUENTA CON UN SISTEMA
DE ALCANTARILLADO ¿CÓMO SE GESTIONAN
LAS AGUAS RESIDUALES?

POZO SÉPTICO ARTESANAL

SI LA VIVIENDA CUENTA CON UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (STARD)
¿CÓMO SE COMPONE?

SIN STARD

7:27

    87%



 SANEAMIENTO DAFE

 REGRESAR

 ELIMINAR

DATOS DEL ENCUESTADOR

NOMBRE DEL ENCUESTADOR

Jose Luis Bravo Delgado

FECHA DE LA VISITA

26/09/2025

DATOS PERSONALES DEL ENCUESTADO

NOMBRE DEL ENCUESTADO

Francisco Ortega

CÉDULA

10305050

EDAD

65

SEXO

Anexos B. Evidencias fotográficas









