



**Estado del arte de los sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual
en zonas rurales**

Juan Fernando Campo Usuga

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Sanitario

Tutor

Diego Alejandro Chalarca Rodríguez, Magíster (MSc)

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Sanitaria

Medellín, Antioquia, Colombia

2022

Cita	(Campo, 2022)
Referencia	Campo Usuga, J. F. (2022). <i>Estado del arte de los sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual en zonas rurales</i>
Estilo APA 7 (2020)	[Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Centro de documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Cespedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	11
2.	Objetivos	13
	2.1 Objetivo general.....	13
	2.2 Objetivos específicos	13
3.	Marco Teórico.....	13
	3.1 Tratamientos Centralizados	14
	3.1.1 Tratamiento Preliminar	15
	3.1.2 Tratamiento Primario	15
	3.1.3 Tratamiento Secundario	16
	3.1.4 Tratamiento Terciario o Avanzado	16
	3.2 Letrinas	16
	3.2.1 Letrinas de Hoyo Seco (LHS).....	17
	3.2.2 Letrinas de Pozo Elevado (LHS elevado).....	18
	3.2.3 Letrinas de Sello Hidráulico (LSH)	18
	3.2.4 Letrinas Abonera Seca Familiar Con Desviación de Orina (LASF).....	19
	3.3 Trampa de grasas	19
	3.3.1 Unitario Domiciliar	20
	3.3.2 Colectiva	20

3.4 Tanque Séptico o Pozo Séptico.....	20
3.5 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	22
3.6 Tanque Imhoff	23
3.7 Campo de infiltración	24
3.8 Filtros Intermitentes	24
3.9 Humedales Artificiales.....	25
3.10 Sistemas Sépticos.....	26
4. Estado del Arte.....	27
4.1 Tanques sépticos	32
4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente - FAFA	37
4.3 Humedal artificial.	40
4.4 Campos de infiltración.....	46
4.5 Reactores UASB	48
5. Escogencia del mejor sistema.	52
5.1 Factor técnico.....	52
5.2 Factor geomorfológico.....	53
5.3 Factor social y cultural.....	53
5.4 Factor económico.....	54
6. Conclusiones.....	57

7. Referencias bibliográficas..... 60

Índice de figuras.

Figura 1. <i>Letrina de hoyo seco</i>	17
Figura 2. <i>Letrina de pozo Elevado</i>	18
Figura 3. <i>Letrina de sello hidráulico</i>	19
Figura 4. <i>Esquema de un tanque séptico</i>	22
Figura 5. <i>Componentes más usuales de un sistema séptico</i>	27
Figura 6. <i>Letrinas públicas usadas durante el imperio Romano</i>	28
Figura 7. <i>Pozo de Mouras</i>	30
Figura 8. <i>Tanque séptico de Donald Cameron</i>	31
Figura 9. <i>Ejemplo de un Tanque séptico con múltiples deflectores</i>	34
Figura 10. <i>Tanque séptico de 4 compartimentos propuesto por Singh.</i>	35
Figura 11. <i>Diagrama de la primera cámara del tanque séptico; y placa de orificio extraíble.</i>	36
Figura 12. <i>Esquema del sistema tanque sépticos de acción múltiple</i>	42
Figura 13. <i>Humedal artificial flotante propuesto por Saeed.</i>	44
Figura 14. <i>Tanque séptico de biorreactor y sus 7 compartimientos propuesto por Saeed.</i>	45
Figura 15. <i>Esquema de los tres sistemas sépticos propuesto por Globert.</i>	47
Figura 16. <i>Esquema del reactor UASB propuesto por Mendez.</i>	49

Figura 17. <i>Tanque séptico con un UASB propuesto por Santiago.</i>	50
Figura 18. <i>Esquema de un sistema séptico compuesto por un tanque séptico, un reactor UASB y un filtro de arena propuesto por Sunil.</i>	51
Figura 19. <i>Sistema séptico propuesto para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de las comunidades rurales</i>	57

Índice de tablas.

Tabla 1. <i>Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (solo pozo séptico)</i>	36
Tabla 2. <i>Características del agua residual combinada</i>	39
Tabla 3. <i>Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico y FAFA)</i>	40
Tabla 4. <i>Características del efluente en el pozo séptico y en el sistema integrado</i>	43
Tabla 5. <i>Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico, FAFA y humedales)</i>	46
Tabla 6. <i>Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico y UASB)</i>	51
Tabla 7. <i>Promedios de remoción de cada uno de los sistemas estudiados</i>	54

Resumen

La población rural dispersa ha sufrido a lo largo de los años problemas con respecto a su saneamiento básico, no cuentan con sistemas centralizados para tratar sus aguas residuales domésticas, en muchas ocasiones no hacen el debido tratamiento para sus descargas en las fuentes hídricas o al suelo ocasionando problemas ambientales. Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es proponer un sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que se ajuste a las condiciones sociales, técnicas, económicas y topográficas de las comunidades rurales.

De acuerdo con lo que se encontró en la literatura, existen diferentes trenes de tratamiento para ser complementados con el pozo séptico, pero el sistema que se ajusta mejor para las comunidades rurales dispersas, es un sistema que integre una trampa de grasas, tanque séptico con deflectores, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y un humedal elevado artificial.

Palabras claves: Pozo séptico, sistema séptico, agua residual doméstica, porcentaje de remoción, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).

Abstract

The dispersed rural population has suffered problems over the years with respect to its basic sanitation, they do not have centralized systems to treat their domestic wastewater, on many occasions they do not do the proper treatment for their discharges into water sources or to the ground. causing environmental problems. Due to the above, the objective of this work is to propose a septic system for the treatment of domestic wastewater that adjusts to the social, technical, economic and topographical conditions of rural communities.

According to what was found in the literature, there are different treatment trains to be complemented with the septic tank, but the system that is best suited for dispersed rural communities is a system that integrates a grease trap, septic tank with baffles, Up Flow Anaerobic Filler (UFAF) and an artificial raised wetland.

Key words: Septic tank, system septic, domestic wastewater, removal percentage, Up Flow Anaerobic Filler (UFAF).

1. Introducción

Los servicios de agua potable y saneamiento básico son elementos esenciales para el desarrollo de las personas y para la salud de los ecosistemas, pero la escasez de estos servicios o algunas malas prácticas por parte de los seres humanos, han contribuido significativamente a la degradación o pérdida de los ecosistemas, alterando drásticamente la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos. Como saneamiento básico se conoce a los sistemas de evacuación y tratamiento de agua residual y manejo adecuado de residuos sólidos. Para el año 2019 cerca de 2400 millones de personas carecían de instalaciones de saneamiento básico seguras (United Nations International Children's Emergency Fund [UNICEF], 2019).

A nivel nacional el panorama no es muy alentador, según cifras del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio cerca del 30% de la población rural no cuenta con servicios adecuados de saneamiento básico, lo que pone a esta población en condiciones de vulnerabilidad alta y abre una brecha de disparidad entre el sector rural y urbano, dado que el sector urbano cuenta con una cobertura por encima del 92% de los servicios de acueducto y alcantarillado (Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 2018).

El objetivo de tratar las aguas residuales es devolver al medio ambiente las aguas provenientes de uso doméstico, comercial e industrial en condiciones óptimas que no alteren la vida de los ecosistemas, ya que las masas receptoras tienen capacidad de asimilación limitada y no son capaces de absorber toda la carga contaminante, por lo que es prioritario tratar las aguas servidas para modificar sus condiciones iniciales. El tratamiento del agua residual consiste en una serie procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan las sustancias contaminantes. El Ministerio Ambiente y Desarrollo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) establece cuales son los valores máximos permisibles de los vertimientos de aguas residuales en

Colombia, indicando cuales son las condiciones que deben tener los efluentes al momento de ser descargados a los cuerpos de agua receptores.

Existen diferentes tipos de tratamiento, los convencionales y los no convencionales, los primeros se refieren a una planta de tratamiento de agua residual, que a través de diferentes trenes de tratamiento (primario, secundario y terciario) alteran las condiciones del agua contaminada de tal manera que se elimine la carga contaminante, tienen un costo elevado, un tiempo de retención hidráulico bajo y un gasto energético alto (IAGUA, 2016). Y los tratamientos no convencionales, son de bajo costo, no demandan un gasto energético, un tiempo de retención alto, necesitan un área superficial extensa, son sistemas a escala individual o para pequeñas poblaciones (Salas et al. 2014).

Para el año 2017 en el departamento de Antioquia el 63,65% de las viviendas rurales no contaban con servicio de alcantarillado (Departamento Administrativo de Planeación, 2017). Estas cifras en el departamento, muestran la necesidad de la comunidad rural de disponer las aguas residuales domésticas adecuadamente, se estima que anualmente mueren un millón de personas a causa de enfermedades relacionadas por el consumo de aguas contaminadas (Organización Mundial de la Salud [OMS],2019).

Este trabajo de grado busca hacer un aporte que permita mejorar las condiciones de salubridad de las poblaciones rurales dispersas, por medio de una búsqueda exhaustiva en las bases de datos, artículos, revistas científicas y trabajos de grado con el fin de lograr una contextualización de las condiciones de los sistemas sépticos rurales, que permita proponer mejoras de diseño de los sistemas sépticos rurales para el tratamiento del agua residual.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Proponer un sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas que se ajuste a las condiciones sociales, económicas y topográficas de las comunidades rurales.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar un estado del arte de los sistemas sépticos rurales para el tratamiento del agua residual.
- Analizar los sistemas sépticos existentes y reportados en la literatura que son usados en las zonas rurales.
- Comparar el funcionamiento de los sistemas sépticos en cuanto al porcentaje de degradación de materia contaminante presente en el agua residual doméstica.

3. Marco Teórico

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) define el saneamiento básico como las acciones mínimas que deben adoptarse en una localidad urbana o rural, para que las personas puedan vivir en un ambiente saludable; e incluye el abastecimiento de agua para consumo humano, el manejo y disposición final adecuada de las aguas residuales y excretas y el manejo y disposición final adecuada de los residuos sólidos municipales (OPS, 2009). En Colombia el saneamiento básico es definido como un conjunto de técnicas que permiten eliminar higiénicamente residuos sólidos, excretas y aguas residuales, para tener un medio ambiente limpio y sano (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015), que busca una disminución considerable de los contaminantes que puedan llegar a las fuentes hídricas naturales.

Según el Departamento Nacional de Planeación - DNP (Departamento Nacional de planeación, 2014) el sector rural es aquel que se define por varios aspectos importantes tales como

las características demográficas de la población, niveles de conectividad entre municipios, actividades económicas preponderantes, vocación y uso del suelo, y diversas formas de relación con la tierra (resguardos indígenas, territorios colectivos, entre otros). Otro aspecto que se debe tener en cuenta para establecer el concepto de rural es la densidad de población, como lo establece el DNP son aquellas poblaciones que cuenten entre 10 y 100 habitantes por kilómetro cuadrado, mientras que las poblaciones rurales dispersas, son aquellas que cuentan con una densidad de población por debajo de los 50 habitantes por kilómetro cuadrado. Las viviendas rurales dispersas, las define el decreto 1232 de 2020 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio como “unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida de campo y no hace parte de centros poblados rurales, ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre”. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio, 2020).

En las zonas rurales la disposición del agua residual se realiza generalmente en sistemas individuales y no colectivos, debido al difícil acceso a otros sistemas centralizados porque los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales requieren una alta inversión, tanto en la instalación como en su posterior operación y mantenimiento. Los sistemas para el tratamiento individual de desechos líquidos consisten en varias unidades sencillas o especializadas que, con etapas consecuentes, mejoran la calidad del agua antes de su disposición final, le retiran elementos contaminantes al agua residual doméstica. Entre los sistemas individuales para el tratamiento de las aguas residuales, entre estos sistemas individuales se encuentran las letrinas, la trampa de grasas, los pozos sépticos, los filtros anaerobios ascendentes, los humedales artificiales, reactor anaerobio de flujo ascendente de alta eficiencia, campo de infiltración, el pozo de absorción, y los sistemas Imhoff.

3.1 Tratamientos Centralizados

Para tratar el agua residual se cuenta con varios tratamientos, los centralizados como son las plantas de tratamiento y otros descentralizados o alternativos como los sistemas sépticos que se utilizan en zonas rurales o para poblaciones pequeñas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen como propósito principal remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará (Noyola et al. 2013). Cuenta con algunas etapas ya preestablecidas que funcionan de la siguiente manera:

3.1.1 Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar de un agua residual se refiere a la eliminación de aquellos componentes que puedan provocar problemas operacionales y de mantenimiento en el proceso de tratamiento o en los sistemas auxiliares. Ejemplo de ello, es la eliminación de componentes de gran y mediano volumen como ramas, piedras, animales muertos, plásticos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de cribas o rejillas, desarenadores, flotadores o trampas de grasas. En ciertas ocasiones se emplean trituradores para reducir el tamaño de ciertos desechos y reincorporarlos al tratamiento (Noyola et al. 2013).

3.1.2 Tratamiento Primario

En este nivel de tratamiento, una porción de sólidos y materia orgánica suspendida es removido del agua residual utilizando la fuerza de gravedad como principio. Las cifras de remoción comúnmente alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). Esta remoción generalmente se lleva a cabo por sedimentación y es considerada como la antesala para el tratamiento secundario (Noyola et al. 2013).

3.1.3 Tratamiento Secundario

En esta etapa de tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (soluble) principalmente por medio de sistemas biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción de DBO₅. Básicamente, los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua. En el caso del agua residual doméstica o municipal, el objetivo principal es reducir el contenido de materia orgánica y, en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo (Noyola et al. 2013).

3.1.4 Tratamiento Terciario o Avanzado

Este tipo de tratamiento se refiere a todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario con el fin de eliminar compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica remanente no biodegradable. Por lo general, el tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas (remoción de nutrientes) o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico, el arreglo de tratamiento terciario debe ser el necesario para alcanzar esa calidad específica, lo cual implica una gran diversidad de posibles combinaciones de operaciones y procesos unitarios.

Entre los sistemas de tratamiento individual más comunes en las zonas rurales se encuentran:

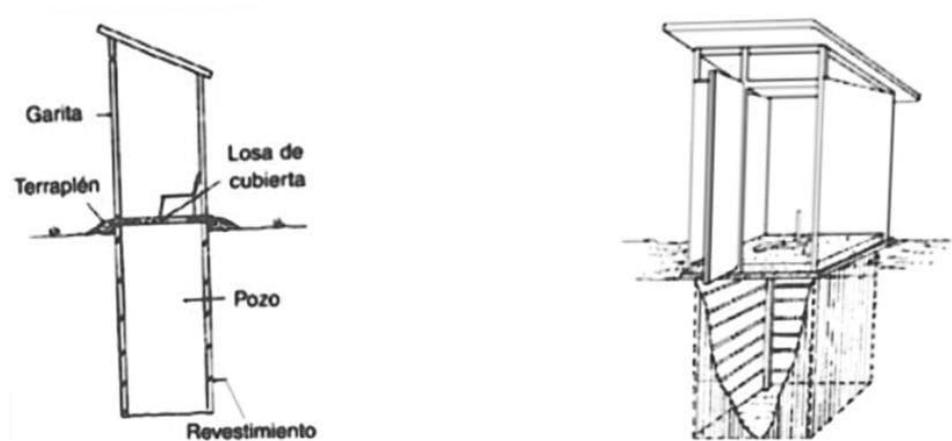
3.2 Letrinas

Las letrinas son estructura que se construye para disponer en pozos excavados las excretas o materia fecal, las cuales y según el manejo de las excretas se pueden dividir en cuatro tipos: Letrina de hoyo seco, letrina de pozo elevado, letrina de sello hidráulico y letrinas abonera familiar. A continuación, se presenta la definición de cada una de estas las cuales fueron tomadas del RAS Rural Titulo J (Minambiente, 2010).

3.2.1 *Letrinas de Hoyo Seco (LHS)*

Consiste en un retrete ubicado sobre un hoyo con una profundidad entre 2 o mas metros, el hoyo debe estar revestido para evitar hundimiento e infiltraciones. Las excretas se descomponen en el fondo produciendo gases, se sedimentan y compactan con el tiempo. Existe un ajuste a este tipo de letrinas, y consiste en la implementación de un tubo vertical de ventilación que conecta el pozo con la atmosfera, la cual sirve para eliminar los malos provenientes de los gases que escapan hacia el exterior de la letrina.

Figura 1. *Letrina de hoyo seco*

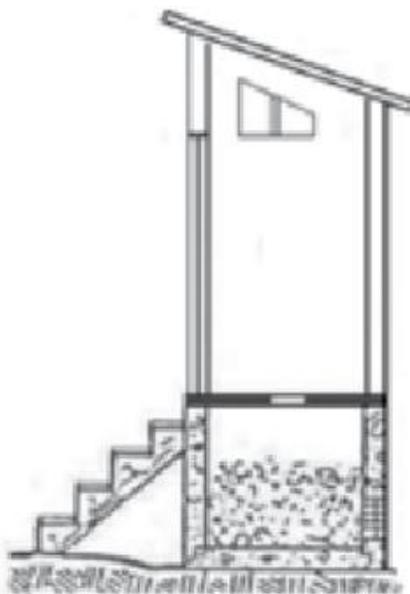


Fuente (OPS,2011).

3.2.2 *Letrinas de Pozo Elevado (LHS elevado)*

Se usan cuando el nivel freático está muy cerca de la superficie y se tiene alta probabilidad de inundaciones, consiste en un hoyo con un revestimiento prolongado sobre el nivel del suelo, es muy parecido al hoyo seco, con la diferencia de que la estructura del hoyo es semienterrada.

Figura 2. *Letrina de pozo Elevado*

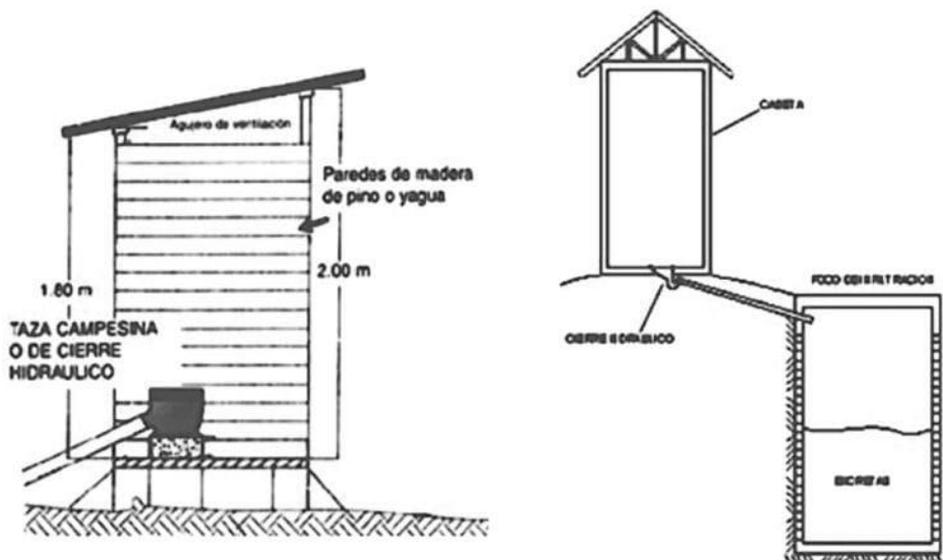


Fuente RAS Rural Título J (MinAmbiente, 2010).

3.2.3 *Letrinas de Sello Hidráulico (LSH)*

Tienen la particularidad de funcionar con agua, por lo que se eliminan los malos olores y los vectores característicos de las letrinas tradicionales. Son un sistema conectado por medio de tubería a un pozo donde llega la descarga.

Figura 3. *Letrina de sello hidráulico*



Fuente (OPS,2011).

3.2.4 *Letrinas Abonera Seca Familiar Con Desviación de Orina (LASF)*

Consiste en un sistema que transforma los excrementos sólidos en abono o tierra mejorada al igual que hace con la orina. El compartimento para almacenar las heces está dividido en dos, mientras uno se está llenando por un lapso de seis meses, el otro va descomponiendo la materia orgánica que se mezcla con papel, cenizo o cal, para mejorar la degradación.

3.3 **Trampa de grasas**

La trampa de grasas o interceptor de grasas son pequeños tanques donde la grasa sale a la superficie y evita que estos materiales ingresen a la red de alcantarillado público (MinAmbiente, 2000). Las grasas y aceites generan enormes trastornos al sistema de recolección de Aguas Servidas, razón por la cual se exige el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen

funcionamiento de la red de Alcantarillado, de igual forma a locales que manejen aguas residuales de lavado de pisos, equipos y maquinarias, así como de las descargas de lavanderías de ropas. El objetivo de una trampa de grasa es separar las grasas y los sólidos suspendidos del agua clarificada. (ISA,2016)

Las trampas de grasas reciben nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse:

3.3.1 Unitario Domiciliar

Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado (MinAmbiente,2000).

3.3.2 Colectiva

Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias (MinAmbiente,2000).

3.4 Tanque Séptico o Pozo Séptico

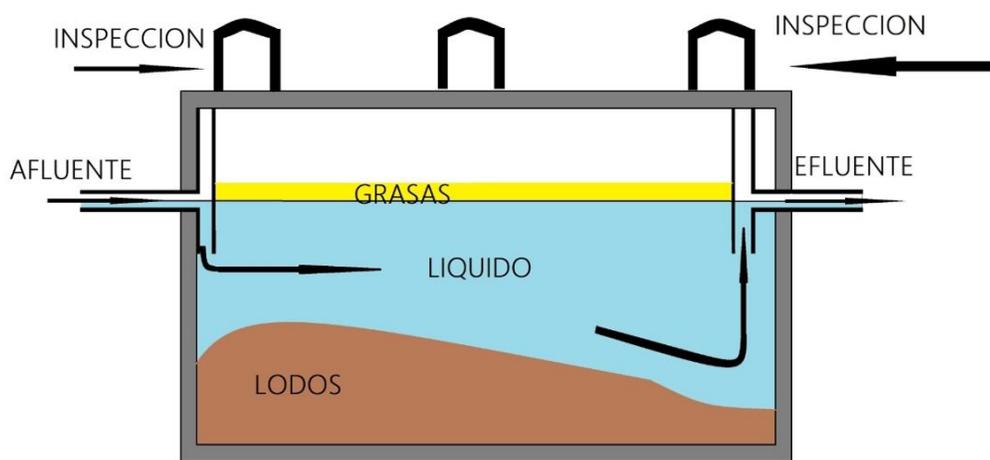
El tanque séptico es la unidad fundamental del sistema del sistema séptico ya que en este se separa la parte sólida de las aguas servidas por un proceso de sedimentación simple; además se realiza en su interior lo que se conoce como proceso séptico, que es la estabilización de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias, convirtiéndola entonces en lodo inofensivo (Corpoguajira, 2020).

Los tanques sépticos son dispositivos para realizar el tratamiento primario de aguas residuales domésticas procedentes de sectores con poca densidad de población o pequeños centros poblados donde no se cuenta ni con sistemas de alcantarillado ni con plantas de tratamiento de aguas residuales.

El principal objetivo de los tanques sépticos es la reducción y depuración de organismos patógenos y bacterias generadas por las actividades domésticas que afectan de forma directa la salud de la población cercana y en forma indirecta el medio ambiente, ya que al realizar una mala disposición de los residuos sólidos se pueden contaminar fuentes hídricas tanto superficiales como subterráneas. (Fibras y Normas de Colombia, 2019)

Los sólidos más densos que el agua se depositan en el fondo del tanque formando una capa de lodo. Esto deja una capa intermedia de aguas residuales parcialmente clarificadas. El tanque séptico trata las aguas residuales de forma natural al retener en el tanque el tiempo suficiente para que los sólidos y los líquidos se separen. El tratamiento comienza cuando las aguas residuales domésticas fluyen desde el hogar hasta el tanque séptico, a través de la tubería de alcantarillado. Una tubería en T en la entrada reduce la velocidad de flujo de las aguas residuales que ingresa al tanque y lo dirige hacia abajo, hacia el centro del tanque. Luego, el agua residual es retenida durante un periodo de tiempo para permitir que los sólidos de las aguas residuales se separen de los líquidos. Dentro del tanque, los sólidos más livianos que el agua, como grasas, aceites y, a veces, otros materiales sólidos como el papel higiénico, flotan hacia la parte superior formando una capa de nata. En la Figura 4 se ilustra un esquema de un tanque séptico convencional de una sola cámara.

Figura 4. Esquema de un tanque séptico



En el mercado se encuentran sistemas integrados o sistemas con tanque séptico de acción múltiple (TSAM) que integran diferentes componentes de un tren de tratamiento, un tratamiento primario que ocurre en el tanque sépticos y un tratamiento secundario que acontece en el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente – Fafa.

3.5 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Uno de los sistemas de postratamiento que se implementan para mejorar la calidad del efluente proveniente del tanque séptico, es el filtro anaerobio de flujo ascendente Fafa.

El Fafa es un proceso microbiológico ausente de aire, es decir, anaeróbico. El agua en tránsito por este reactor es filtrada en un medio de grava u otro material de soporte, lo que permite mejorar su calidad a unas condiciones que permitan poder utilizarla para riego, infiltrarla en el suelo si las condiciones de permeabilidad de éste lo permiten o finalmente verterlas en algunas fuentes de agua, cumpliendo con la normativa ambiental vigente para vertimientos.

La biomasa permanece como una biopelícula microbiana incrustada a un medio de soporte, conformando una matriz la cual remueve la materia orgánica, de esta forma a medida que el agua

residual pasa a través del FAFA entra en contacto con los microorganismos contenidos en él, logrando su tratamiento (Ramón & Maldonado, 2013).

En los FAFA, los compuestos orgánicos solubles son transformados por la biomasa en productos intermedios o finales, metano y dióxido de carbono, en estos filtros la biomasa se encuentra adherida a un relleno que se encuentra contenido dentro del reactor y ocupa la mayor parte del volumen del mismo. Los materiales empleados como medio filtrante son muy variables, en el FAFA se da una combinación entre el sistema con biomasa suspendida y biomasa fija, ya que en la superficie del medio filtrante se forma una película biológica mientras que en los espacios vacíos la biomasa puede quedar suspendida (Serrano, 2005).

3.6 Tanque Imhoff

El tanque imhoff es una unidad de tratamiento compacta generalmente hecha de hormigón, es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Los tanques imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas. El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos: Cámara de sedimentación, cámara de digestión de lodos y área de ventilación y acumulación de natas. Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación. (Rodríguez, 2008).

Como ocurre con todos los pretratamientos anaeróbicos, la eliminación de patógenos es baja. Las operaciones normales incluyen la verificación de los niveles de lodo de la cámara anaeróbica y de escoria. El lodo digerido debe eliminarse con los sólidos que se tratan en lechos de secado o compostaje, para garantizar la eliminación de patógenos. (Biological Waste Exper, 2017).

3.7 Campo de infiltración

El campo de infiltración consiste en una serie de trincheras angostas y relativamente superficiales rellenas con un medio poroso (normalmente grava). Tienen como objetivo promover el contacto entre un flujo no saturado de agua residual con la capa superficial del suelo, donde la actividad biótica es altamente activa, para oxidar y degradar la materia orgánica (Conagua,2013).

Deben localizarse aguas abajo de los tanques sépticos y deben ubicarse en suelos cuyas características permitan una absorción del agua residual que sale de los tanques sépticos a fin de no contaminar las aguas subterráneas. Debe evitarse la proximidad de árboles, para prevenir la entrada de raíces. El área de absorción necesaria debe obtenerse con base en las características del suelo, que se determinan en los ensayos de infiltración (MinAmbiente, 2000).

3.8 Filtros Intermitentes

Los filtros intermitentes pueden definirse como la aplicación intermitente de agua residual previamente sedimentada, como el efluente de un pozo séptico, en un lecho de material granular (arena, grava, etc) que es drenado para recoger y descargar el efluente final. Se deben localizarse aguas abajo del tanque séptico (RAS 2000 Título A, 2000).

Los Filtros intermitentes remueven contaminantes del agua residual mediante procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos. Si bien los procesos fisicoquímicos juegan un papel importante en la remoción de muchas partículas, los procesos biológicos desempeñan el papel más significativo en los filtros de arena.

Los Filtros intermitentes generalmente se construyen debajo del nivel del terreno, en excavaciones de 3 a 4 pies de profundidad (1m aproximadamente) que están recubiertas por una membrana impermeable, en donde esto sea requerido. El desagüe está rodeado por una capa de grava de tamaño seleccionado y roca triturada cuyo extremo aguas arriba es ventilado y sobresale a la superficie. Sobre la capa de grava y roca se coloca grava de grano (de tamaño de arveja), y encima de esta se deposita la capa de arena. A continuación, se coloca otra capa de grava de tamaño seleccionado en donde se encuentran las tuberías de distribución. Una válvula de lavado se encuentra en el extremo de cada tubería lateral de distribución. Una tela de filtro de baja densidad se coloca sobre la capa final de roca, la cual evita que los limos se entremezclen con la arena al mismo tiempo que permite el paso del agua y el aire. La capa superior del filtro se rellena finalmente con arena gredosa que puede contener vegetación herbácea (Environmental Protection Agency [EPA], 1999).

3.9 Humedales Artificiales

El humedal artificial es una obra construida por el hombre que consiste en la utilización de procesos naturales que involucran vegetación de humedales, suelos, y sus conjuntos microbianos para mejorar la calidad del agua (Environmental Protection Agency, 2017). Los humedales artificiales son una alternativa para tratar el agua, usan diferentes tipos de plantas, y microorganismos adaptados a las condiciones del agua a tratar. Esta condición favorece que se

pueda depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos en suspensión, nitrógeno, fosforo e incluso productos tóxicos.

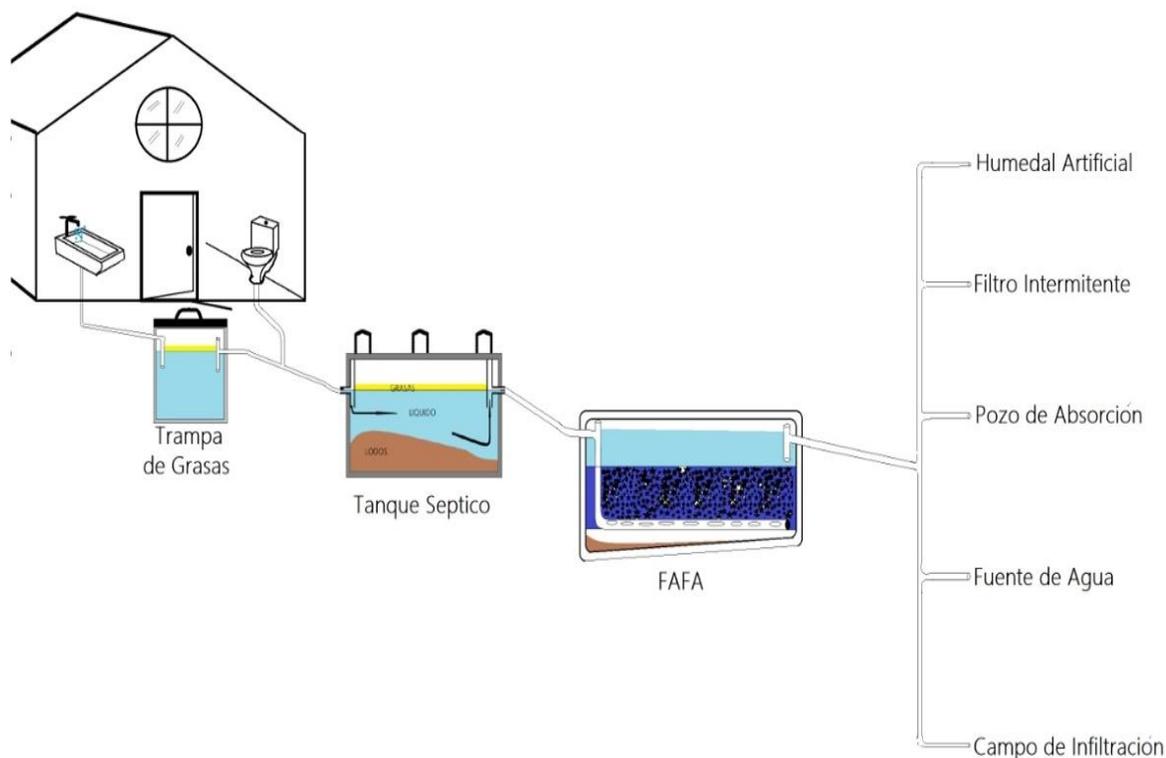
En el RAS Rural Título J (MinAmbiente,2010) explican el funcionamiento del humedal artificial, que consisten en jardineras impermeables donde se siembran plantas de pantano las cuales se nutren de los fosfatos presentes en los detergentes y de la materia orgánica, permitiendo la recuperación de un 70% del agua que puede ser utilizada para irrigación.

3.10 Sistemas Sépticos

Una de las alternativas para tratar las aguas residuales son los sistemas sépticos, los cuales son una solución eficiente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zonas rurales. Los sistemas sépticos se componen en general de un sistema de pretratamiento el cual se realiza habitualmente con un una trampa de grasas, un tratamiento central realizado por un tanque séptico y un sistema de postratamiento el cual se puede realizar por diferentes sistemas, los cuales pueden ser anaerobios o aerobios, entre los primeros se encuentra el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) y entre los aerobios se encuentran sistemas como: los campos de infiltración, los pozos de infiltración, los filtros intermitentes, los humedales artificiales y los filtros sumergidos aireados.

Funcionan mediante un proceso de degradación anaerobia que remueve la carga orgánica de los microorganismos con el fin de cumplir la normativa de cada país en cuanto a sus parámetros de vertimiento. Con la implementación de estos sistemas sépticos en las poblaciones rurales dispersas, se busca garantizar que el agua del efluente cumpla con los parámetros de calidad que determina la normatividad colombiana, la cual establece cuales son los parámetros y los valores máximos permisibles que deben tener los efluentes al momento de ser descargados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,2015).

Figura 5. Componentes más usuales de un sistema séptico



Fuente (Rotoplast, 2012).

4. Estado del Arte

Los sistemas sépticos son una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, se usan en gran medida en sectores con poca densidad de población o en lugares donde no se cuenta con sistemas de alcantarillado ni plantas de tratamiento de aguas residuales. Puede tener diferentes componentes, entre los que se encuentran la trampa de grasas, el tanque séptico, filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), caja de distribución, campo de infiltración, filtros intermitentes, humedales; sus componentes dependen del nivel de tratamiento que se quiera usar o el nivel de materia orgánica que se quiera degradar.

Los primeros intentos de creación de los sistemas sépticos modernos se dieron en las primeras civilizaciones, los griegos, los chinos y los romanos idearon pozos negros en los cuales disponían sus aguas residuales, a medida que se llenaba el pozo los sellaban y creaban el siguiente para reemplazar el que completaba su vida útil. Los griegos conectaron sus casas a letrinas que drenaban en tuberías que conducían las aguas residuales a un recipiente de recolección fuera de la ciudad. Desde ahí, conductos revestidos de ladrillos transportaban el agua a los campos donde se utilizaba para el riego. Los romanos usaron la letrina y la ubicaron en zonas comunes, es decir, eran baños públicos de uso exclusivo del hombre, debido a que las mujeres tenían que hacer sus deposiciones en vasijas que luego lanzaban a la calle. En la Figura 6 se muestra una imagen de las letrinas usados por los romanos.

Figura 6. *Letrinas públicas usadas durante el imperio Romano*



Fuente: (El Español, 2018).

Las letrinas que se muestran en la Figura 6 funcionaban con agua que circulaba al interior de los asientos, lo que posibilitaba mantener los espacios libres de olores y llevar los residuos orgánicos hasta las alcantarillas, que depositaban en una canal central el cual hacía la descarga a

un río o un arroyo cercano. Este sistema se parece mucho a las letrinas de sello hidráulico que se conocen hoy en día.

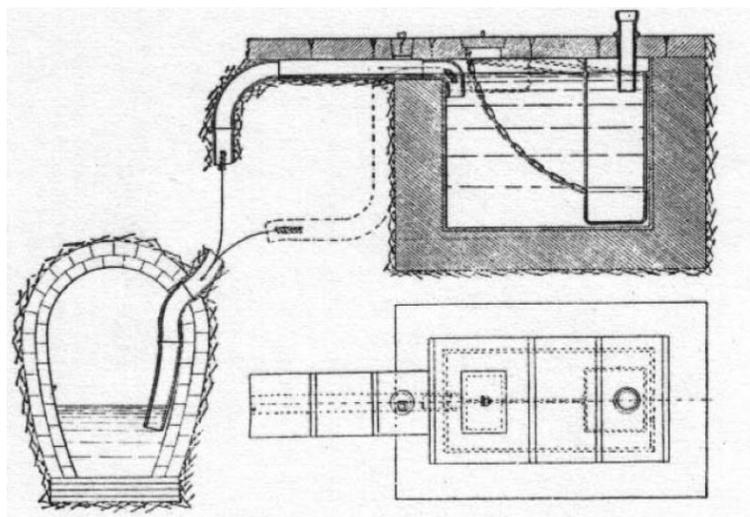
En la década de 1530, la población del continente europeo experimentó un aumento considerable de plagas, lo que afloró la necesidad de mejorar las condiciones higiénicas de las personas. Uno de los reyes más importante de esa época, El rey Francois I ordenó a todos los propietarios de París que construyeran pozos sépticos (pozos negros) para sus propiedades. Estos pozos negros se utilizaron hasta el siglo XVIII. La construcción de pozos negros en cada propiedad ayudó a reducir los casos de contaminación del agua.

La construcción de pozos negros en Londres se remonta a 1189, allí las aguas residuales domésticas se recogieron en los pozos donde se trataron con bacterias, lo que ayudó considerablemente a la disminución de los contaminantes presentes en el agua residual doméstica, los lodos presentes en estos pozos se transportaron al campo para la agricultura. Los “rastrillos” o “gongfermors” eran los encargados de retirar y limpiar los pozos negros retirando los lodos para venderlos a los agricultores fuera de las murallas de la ciudad como fertilizantes. Los pozos negros continuaron utilizándose para la eliminación de desechos domésticos hasta 1880. Estas instalaciones las conocemos hoy en día como las letrinas de hoyo seco.

El precursor del sistema séptico fue el francés Jean-Louis Mouras quien en 1860 inventó el primer tanque séptico. En este pozo séptico combinó el concepto griego del inodoro con cisterna, el cual utilizaba tuberías de arcilla para transportar las aguas residuales fuera las viviendas, con el concepto del pozo negro, que recogía y almacenaba lo desechos y se vaciaban manualmente una vez el pozo negro se llenaba. Sin embargo, Mouras agregó una característica adicional que llamó pozo de Mouras que consistía en un tanque sellado que contendría las aguas residuales, permitiendo que el desbordamiento del agua residual llegara al pozo negro.

Mouras tenía curiosidad por ver qué sucedía dentro del tanque, cuando abrió la tapa y miró dentro se sorprendió al encontrar el tanque casi vacío, con solo una fina capa de escoria restante, había descubierto que las bacterias anaerobias estaban degradando la materia orgánica cuando se encontraban en un ambiente séptico. En los años siguientes, contó con la ayuda de un científico, Abbe Moigno, para desarrollar un prototipo. En 1881, Mouras patentó el limpiador automático Mouras y en dos años su diseño llegó a los Estados Unidos, donde no pasó mucho tiempo para que proliferara la invención (Supeck Septick ,2021).

Figura 7. *Pozo de Mouras*

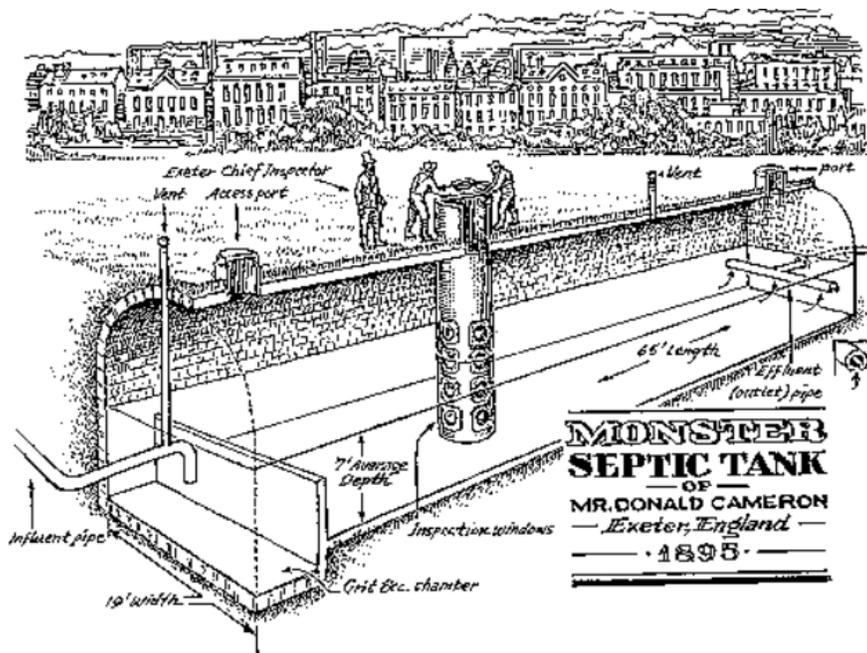


Fuente: (Wikipedia, 2020).

Para el año de 1883 el pozo séptico llegó a los Estados Unidos y tuvo una rápida expansión debido a su fácil instalación y a lo bajo de los costos, el material con lo que los fabricaban era de hormigón o acero. En 1896 tomó el nombre de “fosa séptica” o tanque séptico cuando fue patentada en Gran Bretaña por el ingeniero Donald Cameron. Este sistema consistía en un tanque subterráneo de casi 20 m de largo, 5.79 m de ancho, una profundidad de 2.13 m para un volumen total de casi 200 m³, era impermeable y hermético para que no entrara ni la luz ni el aire, tenía un

agujero en la parte superior para la limpieza y una válvula que se abría de adentro hacia afuera para la salida de los gases, con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de aproximadamente 24h para garantizar que las bacterias degraden la materia orgánica en suspensión (Revista quincenal ilustrada, 1906). La invención de Cameron en esencia son los tanques sépticos que hoy en día utilizamos, a pesar de sus modificaciones y su tamaño, conservan la función que en su momento el británico Donald Cameron creó para tratar las aguas residuales domésticas.

Figura 8. *Tanque séptico de Donald Cameron*



Fuente: University of Leeds

En la década de 1940 los tanques sépticos tienen una mejor acogida en todo el territorio de los Estados Unidos, esto debido a que su instalación era cada vez más barata debido al debacle económica que se vivió posterior a la segunda guerra mundial, por lo que era muy común que los hogares americanos contaran con estos tanques para tratar sus aguas residuales domésticas. El problema con este tipo de sistemas descentralizados llegó en el año 1960 aproximadamente, debido

a que los tanques comenzaron a fallar, las fallas se dieron por la rápida expansión de las ciudades y los tanques sépticos no estaban en la capacidad de tratar toda el agua residual doméstica que se estaba produciendo en estas nuevas grandes urbes, el problema también radicó en el poco mantenimiento que le daban, pero las dificultades con los sistemas alternativos permitió hacer mejoras significativas en el diseño general, entre ellas la implementación de campos de infiltración que recogía el efluente proveniente del tanque séptico.

Los sistemas sépticos han tenido varias invenciones y cambios en sus componentes a lo largo de los años, con lo que han alcanzado algunas mejoras en los contaminantes que pueden degradar de acuerdo a su tren de tratamiento, para conocer más a fondo cada uno de los componentes y la manera en que han contribuido a mejorar la calidad de las fuentes hídricas, se debe comenzar con el sistema más básico, que se compone solamente del tanque séptico.

4.1 Tanques sépticos

Los tanques sépticos han ayudado a poblaciones rurales y urbanas que no cuentan con un sistema de alcantarillado a tratar las aguas residuales, se trata de un tratamiento primario que sirve para mejorar la calidad del agua que proviene de las viviendas. Según Aguirre et al. (2018) se pueden tener reducciones significativas con la implementación de estos sistemas descentralizados analizando algunos parámetros como son los sólidos suspendidos, DQO, DBO₅ y fosfatos. Este autor realizó un estudio con un tanque séptico en 2018 en el cual se trató un caudal de $4.624 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$. y un TRH de 48 horas, al finalizar el estudio se encontró que los sólidos suspendidos se redujeron en un 72.4%, la DQO disminuyó en un 50%, la DBO₅ se redujo en un 45% y los fosfatos tuvieron una disminución del 32.7%. Para la construcción del tanque propuesto por Aguirre, se excavó un área de 0.88 m^2 con una profundidad de 1.7m, en las paredes y las cámaras se usó ladrillos, para las conexiones provenientes de cocina y servicios, se instalaron tuberías de 2" y 4"

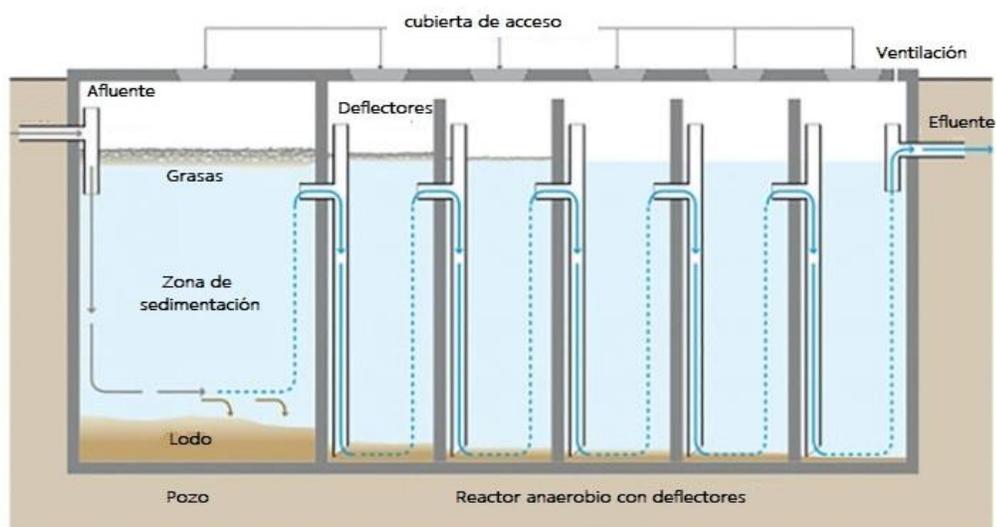
de diámetro y, por último, al tanque, se le recubrió con una capa de plástico y una plancha de Tecnopor (poliestireno expandido EPS).

Una manera de mejorar la eficiencia de un tanque séptico en cuanto a lo que se refiere a la degradación de la materia orgánica, es la implementación de un mezclador hidráulico, esto se debe a que se mejora la reacción microbiana, debido a que se garantiza el contacto del sustrato con las colonias bacterianas encargadas de la descomposición de la materia orgánica y a su vez, se evita que se formen capas duras flotantes en el tanque (CYTED, 2017). Según Almomani (2016) con la implementación de este dispositivo se pueden tener mejoras en la remoción de la DBO₅ hasta de un 75%; este autor hizo la comparación entre un tanque séptico estándar y otro al que se le implantó el mezclador hidráulico, este último arrojó una disminución considerable en los sólidos suspendidos totales, debido a que al contar con la mezcla hidráulica se redujo la tasa de acumulación de lodos hasta un 42%.

Otros autores que hablaron de las bondades de usar modificaciones en los tanques sépticos fueron Nasr y Mikhaeil (2013), su estudio consistió en la implementación de deflectores dentro del tanque séptico, encontraron mejoras en algunos parámetros como la DBO₅, DQO y los sólidos suspendidos totales (SST) en comparación a los tanques sépticos convencionales, en su estudio tomaron tres tiempos de retención hidráulica distintos de 24, 48 y 72h, alcanzando los mejores resultados a las 72h, los SST tuvieron un porcentaje de reducción del 62.5% en el tanque convencional mientras con los deflectores tuvo una remoción del 76%, para la DBO₅ la remoción en los tanques convencionales fue de 68.4% mientras en el tanque séptico con el deflector estuvo del orden 76.5%, para la DQO tuvo una variación del 65.3% en los tanques convencionales y para el que tenía instalado el deflector fue de 74%.

Otro autor que vio mejoría en los tanques sépticos con la implementación de deflectores fue Anil (2015), instaló deflectores verticales acoplados con un filtro de zeolofita de 15 cm, encontró al final de su estudio una eliminación del 99% de los coliformes totales, 99,57% de SST, 46,83% de nitrógeno amoniacal, 31,08% de nitrógeno nitrato, 48,39% del nitrógeno kjeldahl total, 94,4% de DBO y 71,74% de fosfatos, para diferentes TRH entre 1 y 7 días y el agua residual que se usó fue sintética.

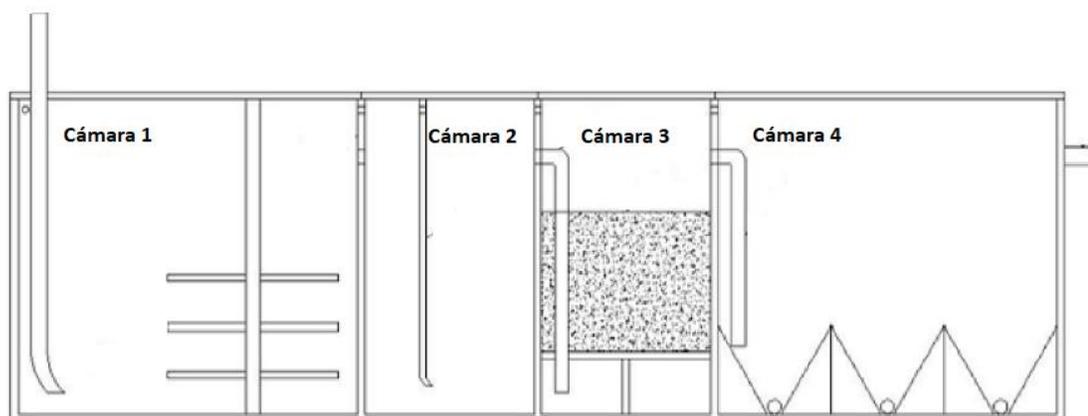
Figura 9. Ejemplo de un Tanque séptico con múltiples deflectores.



Fuente: (Adegoke y Stenstrom. 2019)

Singh et al. (2019) desarrolló un tanque séptico con varios compartimentos, el cual tenía 4 cámaras Figura 9, implementando en el primer tanque una placa de orificios de tres capas en dirección hacia arriba, efectuando un deflector en el segundo compartimento del tanque y colocando un filtro en el tercer compartimento, se arrojan buenos resultados en cuanto a la alta degradación de la DQO y la DBO₅ del efluente del sistema séptico los cuales son mencionados más adelante.

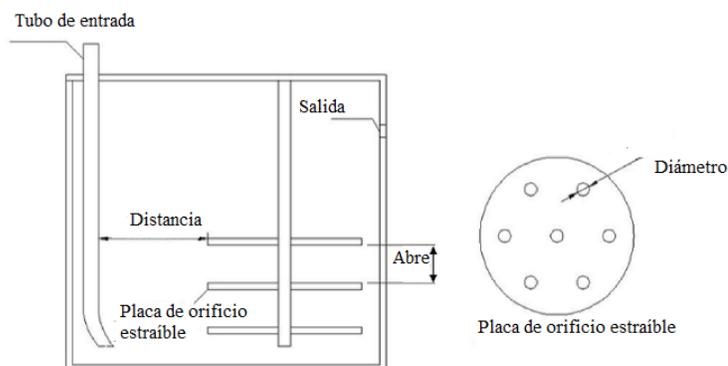
Figura 10. *Tanque séptico de 4 compartimentos propuesto por Singh.*



Fuente: (Singh et al. 2019)

Como se puede observar en la Figura 10 en la primera cámara se encuentra el tubo de entrada y la placa de orificios múltiples la cual se presenta en detalle en la Figura 11, en la segunda cámara (Figura 10) está localizado el orificio de paso del agua y el deflector, en la tercera cámara está la tubería de paso de agua y un filtro y en la última cámara, se localiza otra tubería de paso de agua y la tubería de salida. Con la implementación de este tanque séptico modificado, se encontraron tasas de eliminación de la DQO y DBO₅ del orden de 76-84% y 80-92% respectivamente (Singh et al. 2019).

Figura 11. Diagrama de la primera cámara del tanque séptico; y placa de orificio extraíble.



Fuente: (Singh et al., 2019)

Tabla 1. Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (solo pozo séptico)

Autor/es	% de remoción					Coliformes totales
	DBO ₅	DQO	SST	Fosfatos	Nitrógeno total-kjeldahl	
Aguirre et al. (2018)	45	50	72,4	32,7	n/m	n/m
Almomani (2016)	75	n/m	n/m	n/m	n/m	n/m
Nasr y Mikhaeil (2013)	68,4 y 76,5	65,3 y 74	62,5 y 76	n/m	n/m	n/m
Anil (2015)	94,4	n/m	99,57	71,74	48,39	99
Singh et al. (2019)	80-92	76-84	n/m	n/m	n/m	n/m

*n/m no medido

A pesar del amplio uso del tanque séptico como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas este no remueve la suficiente DBO₅ para el cumplimiento de la normatividad (Hogjian et al, 2017), cabe aclarar que respecto a la normatividad colombiana referente a los vertimientos esta se rige por la Resolución 0631 de 2015, que define los parámetros y sus valores máximos

permisibles para los vertimientos a cuerpo de agua superficial de viviendas unifamiliares o bifamiliares con soluciones individuales de tratamiento, pero la DBO_5 no es un parámetro que se exige directamente, sino que está incluida en la DQO que incluye la materia orgánica degradable y la no degradable. Hay que hacer la salvedad que algunas fuentes de agua superficial que reciben descargas de ARD y ARnD se encuentran en estos momentos en planes de ordenamiento del recurso hídrico PORH, y en estos planes se pueden incluir otros parámetros diferentes a los que exige la Resolución 0631 de 2015 como por ejemplo la DBO_5 , para una mejor remoción de este parámetro se hace necesario la implementación de un sistema complementario al tanque séptico, algunos autores recomiendan por ejemplo el uso de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente - FAFA

Uno de los autores que evaluó la eficiencia de los tanques sépticos con el FAFA fue Hegg en el 2018, en el instituto Tecnológico de Costa Rica, Ubicado en Cartago, instaló un sistema de Tanque Séptico con FAFA con modificaciones en el tanque séptico, incluyendo cuatro deflectores con una inclinación de 60° optimizando la sedimentación, seguido de un FAFA con medio filtrante de tapas de botellas. Los resultados mostraron que el tanque séptico modificado presentó una eficiencia del 39% en la remoción DBO_5 y 73% en sólidos suspendidos totales (SST). El sistema integrado con el FAFA arroja una eficiencia de 51% en la eliminación de la DBO_5 y 88% e SST (Hegg, 2018).

Otro estudio que incluyó el tanque séptico con el FAFA se estudió en la Ciudad de Santa Cruz de la Sierra (Bol), dado que las viviendas no cuentan con el servicio de alcantarillado sanitario, debido a esta necesidad se implementó un sistema adicional al tanque séptico, incluyendo un sistema FAFA, con lecho de grava para mejorar su eficiencia. El tanque séptico presentaba unas

eficiencias de remoción de 24.1% de DBO₅ y 68.6% en SST. Con la unidad complementaria al tanque séptico se alcanzaron eficiencias de remoción para DBO₅ del 72.4% y SST del 91.9%, con remoción de grasas y aceites, pero se generaron aumentos en la concentración de fosfatos y nitrógeno amoniacal en el efluente final. (Ríos, 2009)

Los sistemas sépticos no solo son importantes para el tratamiento de aguas residuales domésticas sino también de los residuos líquidos de actividades industriales. Colombia es uno de los países más importantes en cuanto a la producción de café, donde esta actividad genera un consumo de agua para el procesamiento de este que posteriormente son descargados al medio ambiente. Sanchez (1997) formuló un sistema de tratamiento que pudiera solucionar los problemas relacionado con el vertimiento sin tratamiento de agua residuales no domésticas. El sitio de estudio se hizo en la finca “La Aguada” situada en la vereda Aguas Frías del municipio de Medellín, donde estimaron que el gasto de agua para el beneficio del café estaría entre 700 y 1500 litros de agua residual diariamente por hectárea en épocas de cosecha, esta cantidad de agua se propuso por el procesamiento del Café cereza que es despulpado generando miel de café, además del lavado del café que posteriormente es secado, para la obtención del Café pergamino seco, el cual es la presentación bajo el cual es comercializado. El sistema que implementaron estaba constituido por un tanque de mezcla y homogenización porque se combinaron las aguas residuales provenientes de la vivienda, seguido de un tanque de control provisto de una válvula para alimentar los reactores a un caudal constante, pero este sistema no funcionó por los residuos de colmaron rápidamente por la cantidad de sólidos del efluente por lo que utilizaron el sistema de alimentación en forma de cochadas (tipo bach). Posteriormente se encontraban el sistema de reactores conformados por un tanque séptico seguido de un FAFa con medio de soporte para las baterías de guadua. en la Tabla 2 se presentan las características del agua residual combinadas. La combinación permitió tener

mejores relación de DQO:N:P, donde se obtuvieron eficiencias de remoción superiores al 80%. La conclusión más importante de esta investigación afirma que este tipo de sistema puede ser utilizado para el tratamiento de las aguas residuales de fincas Cafeteras, pero su arranque debe ser dirigido o asesorado por personal experto porque este fue el aspecto fundamental para el buen funcionamiento de este sistema (Sanchez,1997).

Tabla 2. *Características del agua residual combinada*

Parámetro	Valor promedio
DQOt (mg/l)	6.197
DQOf (mg/l)	4.880
DBO ₅ (mg/l)	3.857
SS (mg/l)	2.206
SSV (mg/l)	1.160
ST (mg/l)	5.237
Ntotal (mg/l)	446
Ptotal (mg/l)	9.3
pH	5.1

Fuente (Sanchez,1997).

Según Oliveira en 2015, el uso de filtros anaerobio con diferentes medios de soporte mejora la calidad del efluente al salir del sistema séptico. Hizo su estudio en la ciudad de Rio de Janeiro (Brasil), su investigación consistía en el seguimiento durante seis meses de tres sistemas con diferentes tipos de medio de soporte para el filtro anaerobio uno de anillos de plástico, espuma y grava # 4, con el fin de evaluar el comportamiento y comparar el funcionamiento de los 3 sistemas. Se analizaron algunos parámetros fisicoquímicos arrojando que para la remoción de la DQO se tuvo una remoción del 69%, 73% y 68% para cada uno de los filtros, la DBO5 tuvo remoción de 68%, 67% y 62 %, finalmente para la remoción de Sólidos Suspendidos totales se tuvo una remoción del 90%, 93% y 90 % respectivamente. Se evidencia que el desempeño de los tres filtros

fue muy similar, lo que demostró la viabilidad técnica del medio de soporte hecho de los cubos de espuma que ha sido poco probada en este tipo de sistemas (Oliveira,2005).

Tabla 3. *Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico y FAFA)*

Autor/es	% de remoción					Coliformes totales
	DBO5	DQO	SST	Fosfatos	Nitrógeno total-Kjeldahl	
Hegg (2018)	39 y 51	n/m	73 y 88	n/m	n/m	n/m
Ríos (2009)	72,4	n/m	91,9	n/m	n/m	n/m
Sánchez (1997)	n/m	> 80	n/m	> 80	> 80	n/m
Oliveira (2005)	68, 67 y 62	69, 73 y 68	90, 93 y 90	n/m	n/m	n/m

*n/m: no medido

4.3 Humedal artificial.

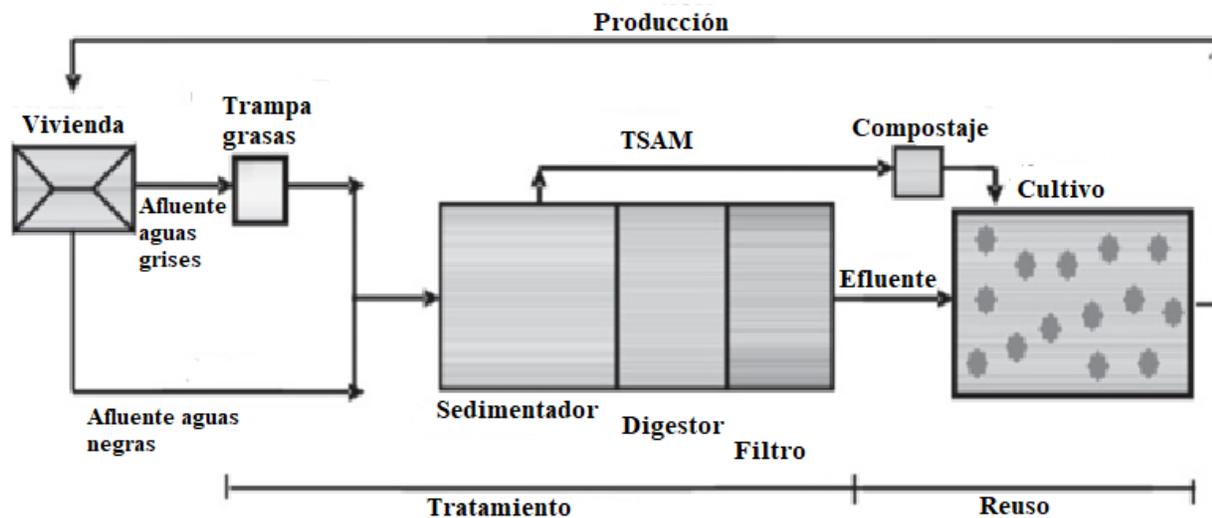
Algunos autores han incorporado al tanque séptico y FAFA un humedal artificial arrojando buenos resultados a lo que se refiere a la mejora en el efluente final del sistema séptico. Según indica Madera et al, (2005) se puede usar un sistema combinado de pozo séptico, un FAFA y un humedal de flujo subsuperficial para mejorar la calidad de las aguas residuales domésticas, su estudio se trató de evaluar dos sistemas uno a escala de laboratorio y el otro a escala real implementando el tren de tratamiento antes mencionado. Analizando el comportamiento de los componentes del sistema se tiene que, en el FAFA, la eficiencia de remoción de DQO es afectada por la variación de caudal, disminuyendo la eficiencia cuando este parámetro se incrementa, situación que puede estar asociada a menor tiempo de contacto entre la fase líquida y sólida, conllevando esto a un menor grado de conversión de la materia orgánica afluente. El humedal entre tanto, contribuyó a pulir el efluente del FAFA a pesar de que la remoción de materia orgánica es

menor, esto se puede explicar por el bajo tiempo de retención hidráulico con que trabajó el sistema y la baja carga orgánica aplicada al mismo. Esta condición en el humedal fue igual para los dos sistemas, mostrando que esta unidad cuando opera a valores pequeños de TRH sufre reducciones considerables en la eficiencia de remoción de materia orgánica. En el sistema estudiado en el laboratorio, para un caudal Q de $2.7 \text{ m}^3/\text{d}$ se obtuvo porcentajes de remoción para DBO_5 , DQO, SST, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fosfatos y coliformes fecales de 68%, 78%, 87%, 18%, 15% y 71% respectivamente. Para el caso a escala real, se usó un caudal de $104 \text{ m}^3/\text{d}$ y los parámetros que se midieron fueron DQO, SST, NTK y coliformes fecales, arrojando como porcentaje de remoción valores de 84%, 96%, 29% y 98% respectivamente (Madera et al, 2005).

Otro autor que estudio el sistema séptico compuesto por tanque séptico, FAFA y humedal artificial fue Gómez et al. (2006) usó un sistema combinado provisto de un tanque séptico, un filtro anaerobio y un humedal de flujo subterráneo. Lo primero que él hizo fue evaluar la eficiencia variando el TRH y utilizando dos filtros diferentes, uno de grava y otro de bambú, porcentajes de eliminación 49,6% de DQO, 56,6% de DBO_5 y 62,4% de TSS. No se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Para evaluar la eficiencia del humedal, se usaron especies vegetales de la región *Typha sp*, *Juncus sp* y *Renealmia alpina*, se sembraron en medios de grava y arena. El sistema completo tuvo remoción de DBO_5 del 80% (Gómez et al, 2006).

En el departamento del Huila (Col) se realizó un estudio por Valencia et al, (2010) que consistía en proponer sistemas que fueran descentralizados, integrados y sostenibles. Presentó tres prototipos de sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas los cuales funcionan (1) con un tratamiento provisto de un humedal, (2) con albercas biológicas y (3) un tanque séptico de acción múltiple.

Figura 12. Esquema del sistema tanque sépticos de acción múltiple



Fuente: (Valencia et al, 2010).

El estudio se hizo a partir de los datos recolectados en visitas a sistemas de tratamiento a lo largo del departamento del Huila. Al finalizar del estudio se encontró la siguiente información para cada uno de los sistemas:

El sistema 1 tuvo eficiencias teóricas de remoción de contaminantes del 83% de DBO₅, 92% en SST, 92% en grasas y aceites, 60% en nitrógeno total, 46% en fósforo total y 99% en coliformes fecales. El sistema 2 tuvo eficiencias de 95% en DBO₅, 98% en SST, 92% en grasas y aceites, 85% en nitrógeno total, 54% en fósforo total y 99% en coliformes fecales. Para el sistema 3, las eficiencias fueron de 80% en DBO₅, 94% en SST, 92% en grasas y aceites, 62% en nitrógeno total, 58% en fósforo total y 99% en coliformes fecales.

Naranjo (2019) propone un sistema integrado por un tanque séptico convencional y un humedal subsuperficial, un sistema parecido al que usó Madera et al en el 2015, según su análisis un sistema que cuente solo con el tanque sépticos su porcentaje de remoción de contaminantes es

muy bajo, en cambio al integrarse su porcentaje de remoción aumenta considerablemente, como se muestra en la Tabla 4.

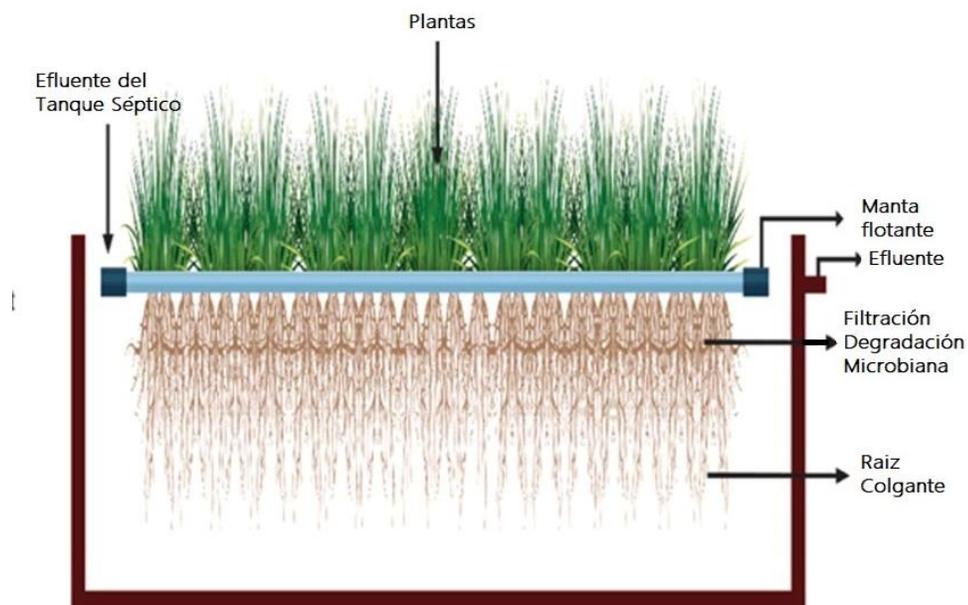
Tabla 4. *Características del efluente en el pozo séptico y en el sistema integrado*

	% de remoción	
	Solo pozo séptico	Sistema integrado
DQO	33	71
DBO ₅	32	69
ST	29	61
NT	5	78
FT	13	72
Nitratos	40	80

Fuente: Naranjo (2019)

Saeed et al. (2021) estudió el comportamiento de dos diferentes sistemas sépticos in situ para la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, el primero es un tanque séptico de biorreactor a escala de campo Figura 14 y el segundo sistema, es un tanque séptico de biorreactor integrado a un humedal flotante dosificado. Un humedal flotante dosificado (Figura 13) funciona con un manto flotante en la superficie del agua donde crecen las plantas y se garantiza el contacto entre las raíces de las plantas y el agua residual y a su vez, en este manto ocurre una dosificación uniforme del efluente proveniente del tanque séptico. Las plantas filtran y degradan los contaminantes presentes ya que en las raíces se encuentra la población microbiana.

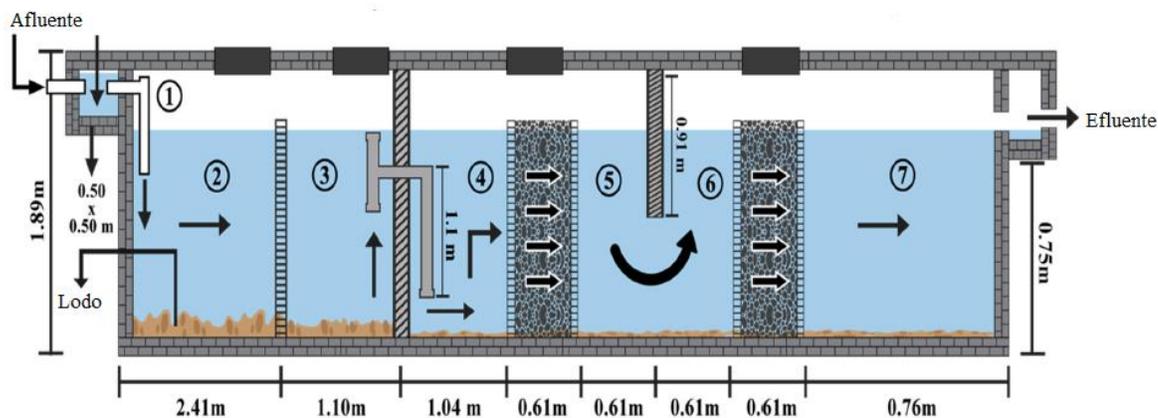
Figura 13. *Humedal artificial flotante propuesto por Saeed.*



Fuente: (Saeed et al. 2021)

El tanque séptico del biorreactor estaba dividido en 7 compartimientos: dos cámaras de sedimentación, dos reactores anaerobios deflectores, dos bio-muros llenos de piedra y una cámara de recolección. El TRH que se usó en el primer sistema fue de 24h y en el segundo de 72h. Los parámetros que se midieron fueron el porcentaje de eliminación de Nitrógeno, Fósforo, materia orgánica y coliformes fecales, y los valores encontrados fueron para el primer sistema 56 %, 76 %, 84 % y 88 %, respectivamente; mientras que, para el segundo sistema, los porcentajes obtenidos fueron 93 %, 100 %, 99,6 % y 99,9 % respectivamente.

Figura 14. Tanque séptico de biorreactor y sus 7 compartimientos propuesto por Saeed.



Fuente: (Saeed et al. 2021)

Stewart (2005) estudió dos sistemas sépticos iguales instalados en dos escuelas diferentes, uno se abastecía del agua lluvia (Escuela Pisgah Condado de Cornwall-Jamaica), mientras que la otra del acueducto municipal (Escuela Retrieve Condado de Cornwall-Jamaica). El sistema funcionaba con un pozo séptico de dos cámaras y un humedal, al finalizar la toma de muestra y el análisis posterior, encontraron que el porcentaje de remoción para la DBO_5 fue de 78 % en Pisgah y en un 50 % en Retrieve; SST se redujo en un 85% en Pisgah, pero aumentó en Retrieve; el nitrógeno total se redujo en un 95 % en Pisgah y en un 68 % en Retrieve; el amoníaco se redujo en un 99 % en Pisgah y en un 97 % en Retrieve; el fósforo total se redujo en un 97 % en Pisgah y en un 64 % en Retrieve; y las bacterias coliformes fecales se redujeron en un 99,99 % en Pisgah y Retrieve (Stewart, 2005).

Tabla 5. Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico, FFAFA y humedales)

Autor/es	% de remoción					
	DBO ₅	DQO	SST	Fósforo	N-kjeldahl	Coliformes fecales
Madera et al, (2005)	68	78 y 84	87 y 96	n/m	18 y 29	71 y 98
Gómez et al, (2006)	80	49,6	62,4	n/m	n/m	n/m
Valencia et al, (2010)	83, 95 y 80		92, 98, y 94	54 y 58	60, 85 y 62	99, 99 y 99
Naranjo (2019)	69	71	n/m	n/m	78	n/m
Saeed et al. (2021)	n/m	n/m	n/m	76 y 100	n/m	n/m
Stewart, (2005)	78 y 50	n/m	85 y n/m	n/m	n/m	99 y 99

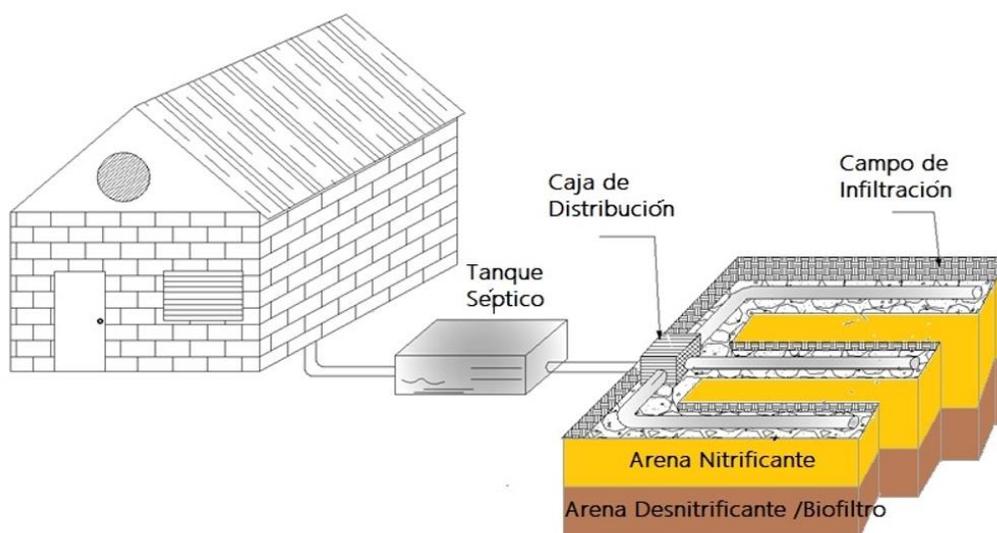
*n/m: no medido

4.4 Campos de infiltración.

Los sistemas sépticos también se usan para la eliminación in situ del nitrógeno. Glover et al. (2021) realizó tres diseños diferentes de sistemas sépticos para determinar cuál era más eficiente en la eliminación del nitrógeno. Los sistemas están diseñados como se muestra en la Figura 15, los sistemas constaban todos de un tanque séptico, una cámara de bombeo desde donde se entrega a un sistema de distribución subterráneo, el cual lo descarga a un lecho de arena acoplado, el material con que se acopla el lecho de arena es diferente en cada uno de los sistemas; el primero consiste en un biofiltro de desnitrificación saturado revestido el cual está formado de 15 cm de suelo, una capa nitrificante de 46 cm, debajo del lecho de arena se encuentra otra capa desnitrificante compuesta por arena y astillas de madera en partes iguales de 46 cm. El segundo sistema está compuesto por una capa de arena de 46 cm que se superpone a un lecho de grava hasta llegar a un tanque plástico lleno de astillas de madera desnitrificante (robles y pinos) y un tercer sistema, que es similar al primer sistema con la diferencia de que no hay revestimiento de plástico alrededor de

la capa de desnitrificación. Los dos primeros sistemas su efluente fue llevado a un sistema de disposición final, en cambio el tercer sistema sin revestimiento se descarga directamente al agua subterránea. La eliminación del Nitrógeno ocurre cuando se filtra los vertimientos del tanque séptico a través de un lecho de arena no saturado, donde el NH_4^+ se convierte en NO_3^- , y en el biofiltro NO_3^- se convierte en N_2 bajo unas condiciones de bajo oxígeno que se crean gracias a que las astillas de madera se remineralizan.

Figura 15. Esquema de los tres sistemas sépticos propuesto por Globber.



Fuente: (Globber et al. 2021).

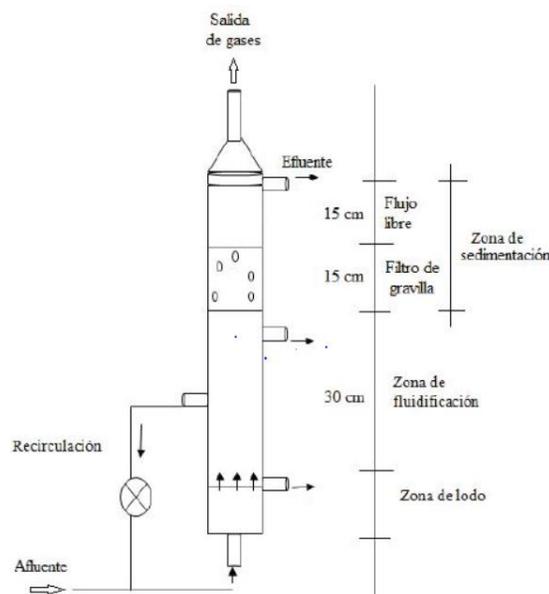
Finalizado el estudio, se encontró reducciones del nitrógeno total (NT) del 90 %, 94% y 88% en los tres sistemas implementados (sistema revestido, de caja de astillas de madera y sin revestimiento), la DBO_5 se redujo entre un 76%, 90% y 44%, la alcalinidad disminuyó entre un 32%, 75% y 30% respectivamente.

4.5 Reactores UASB

Para mejorar la calidad de los vertimientos provenientes de los pozos sépticos antes de ser vertidos al medio ambiente, algunos autores han optado por usar un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) complementario al tanque séptico, que funciona como un tratamiento secundario permitiendo tener vertimientos que se ajustan a los establecidos por la normatividad vigente, en este caso la colombiana de acuerdo a lo que establece la Resolución 0631 de 2015. Algunos de los autores que estudiaron la implementación de los UASB con los tanque sépticos fueron Mendez (2009), Santiago (2021), Sunil (2021), Luostarinen y Rintala (2004).

Mendez et al. (2009) estudio el uso de un reactor UASB para tratar los efluentes de un tanque séptico que trataba un agua residual doméstica pero que requería mejorar la calidad del agua residual tratada. Usaron un TRH de 24h y el reactor tenía un volumen total de 24L; se evaluaron dos sistemas, al sistema 1 se le agregó un filtro de gravilla en la parte superior del tanque antes de la salida del efluente y al sistema 2, se alteró la metodología de arranque, inoculando el reactor con un exceso de biomasa, se usó líquido ruminal y se hizo recircular desde la parte media del reactor, cuando se estabilizó la eficiencia de remoción de DQO total y soluble, los valores encontrados fueron una remoción del 56% en el sistema 1 y un 72% sistema 2.

Figura 16. Esquema del reactor UASB propuesto por Mendez.

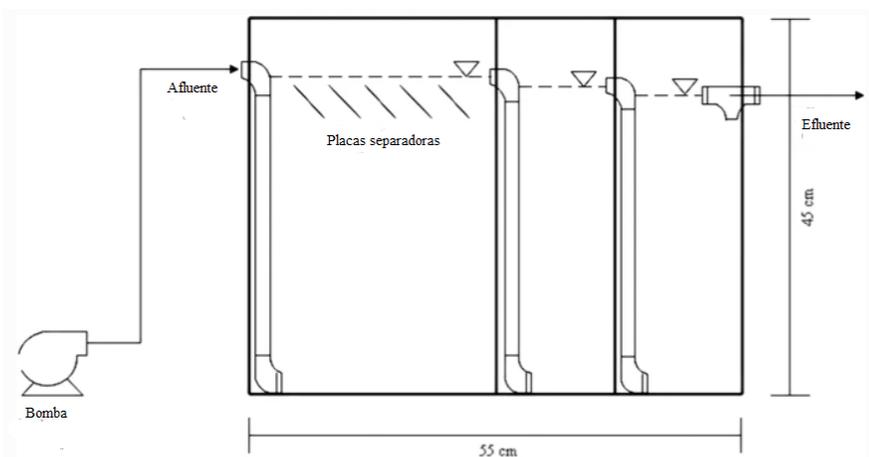


Fuente: (Méndez et al. 2009)

Para Santiago et al. (2021) el objetivo de su trabajo fue evaluar el desempeño de un tanque séptico con un UASB como tratamiento descentralizado para el tratamiento de ARD, bajo 5 TRH diferentes (48h, 36h, 24h, 18h y 12h). Se operó un tanque séptico con un reactor UASB a escala de laboratorio de 52,5L tratando agua residual sintética similar al ARD, estaba constituida por tres compartimentos, en el primer tanque ocurría una primera sedimentación anaerobia y en la parte superior de esa primera cámara estaban puestos 5 placas; en los dos últimos compartimentos se situaban los UASB (Figura 17). En el primer compartimento se llevó a cabo la mayor parte de la eliminación de materia orgánica, mientras que los otros dos compartimentos sirvieron de pulido. El sistema alcanzó una remoción de materia orgánica y sólidos de 45% para los sólidos totales, de un 70% y 68% para DQO total y soluble, y de un 85% para SST, lo que refleja un buen desempeño y confiabilidad para tratar las ARD; pero la eficiencia del tratamiento disminuyó notablemente cuando el reactor operó bajo TRH por debajo de las 24 h. Según el análisis estadístico, se

recomendó que el tanque séptico UASB trabaje con un TRH de 24 h, con lo que se logró una eliminación de contaminantes orgánicos.

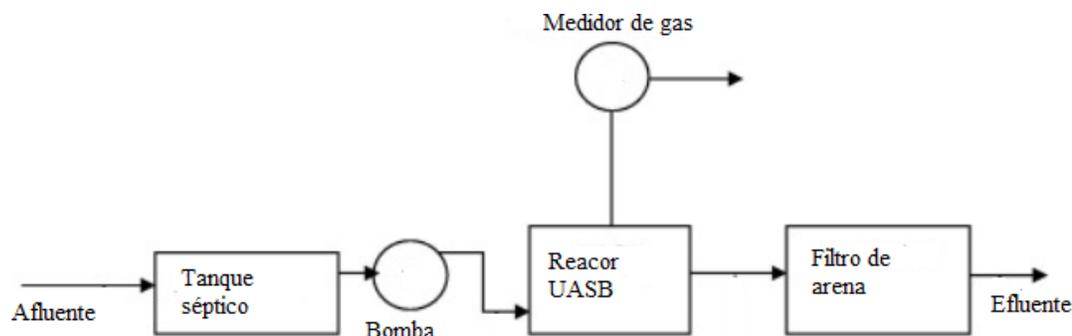
Figura 17. *Tanque séptico con un UASB propuesto por Santiago.*



Fuente: Santiago et al. (2021)

Sunil et al. (2021) sugiere un sistema combinado simple de tanque séptico, un UASB y un filtro de arena (Figura 18), el cual tiene buenos resultados para la remoción de los contaminantes presentes en un agua residual doméstica. En su estudio se encontró remoción de SST de 93%, DQO de 87% y coliformes fecales de 93%.

Figura 18. Esquema de un sistema séptico compuesto por un tanque séptico, un reactor UASB y un filtro de arena propuesto por Sunil.



Fuente: Sunil et al. (2021)

Luostarinen y Rintala (2004) estudiaron el comportamiento de un sistema descentralizado anaerobio in situ compuesto de un tanque séptico con un UASB, variando la temperatura entre los 10-20 °C, y con dos aguas residuales diferentes, una sintética y la otra proveniente de unas salas de ordeño. En ese rango de temperatura, el porcentaje de remoción de la DQO se mantuvo superior del 90% y del 80% para el agua sintética y para el agua proveniente del ordeño respectivamente, los SST por encima del 90% en ambas aguas y por último, la eliminación de carbono orgánico disuelto (COD) fue de 70% para las dos aguas estudiadas.

Tabla 6. Porcentajes de remoción de algunos parámetros y los autores de los estudios (pozo séptico y UASB)

Autor/es	% de remoción					
	DBO ₅	DQO	SST	Fósforo	N-Total	Coliformes fecales
Méndez et al. (2009)	n/m	56 y 72	n/m	n/m	n/m	n/m
Santiago et al. (2021)	80	69	85	n/m	n/m	n/m
Sunil et al. (2021)	n/m	87	93	n/m	n/m	93
Luostarinen y Rintala (2004)	n/m	>90 y >80	90	n/m	n/m	n/m

5. Escogencia del mejor sistema.

Para determinar cuál de los sistemas sépticos es más eficiente, óptimo y fácil de aplicar en una zona rural dispersa, primero hay que determinar cuáles son los parámetros que se van a tener en cuenta al momento de la escogencia. El fin de este estudio es mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales en cuanto al saneamiento se refiere, dado que están desprovistas de sistemas de alcantarillado; en ese orden de ideas, la intención de este trabajo de grado fue determinar a partir de múltiples factores cual es el tren de tratamiento más apropiado a nivel social, técnico, económico y geomorfológico para tratar las ARD de las comunidades desprovistas de tecnologías de saneamiento. Las viviendas rurales dispersas en su mayoría no cuentan con un sistema adecuado para tratar sus ARD in situ, al ser soluciones individuales se espera tener caudales menores pues este parámetro depende del número de pobladores, ya que el caudal de ingreso al sistema de tratamiento tiene una correlación directa con la dotación de agua por número de personas y de acuerdo a la región a la cual se esté implementando el sistema individual.

5.1 Factor técnico

Este factor se refiere a que el sistema séptico tiene que cumplir ciertos parámetros máximos permisibles definidos por la normatividad vigente para el país donde se deseen implementar, para el caso de Colombia es la Resolución 0631 de 2015 estable estos valores. También es importante definir cuál va hacer el punto de vertimiento de las aguas residuales tratadas (suelo, fuentes superficiales, acuíferos o reúso) ya que, de acuerdo a esto, se debe implementar un sistema complementario o no.

También debe ser rápida su puesta en marcha, es decir, un rápido arranque. Otra característica importante, es que debe ser fácil su mantenimiento y que no deba tener una vigilancia constante por parte de un profesional.

5.2 Factor geomorfológico.

Define cual es punto final de vertimiento de las aguas residuales, porque de acuerdo a la composición del suelo se puede establecer si el suelo tiene las condiciones idóneas para disponer el efluente de los sistemas sépticos; si la composición geológica del suelo es rocoso, arcilloso o limoso no son suelos aptos porque no permiten la filtración del agua residual tratada. Otra consideración a tener en cuenta son las condiciones de saturación del suelo, ya que si el suelo se encuentra muy saturado de agua al realizar la descarga se puede sobresaturar generando posibles movimientos de tierra. Si el nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie, no se pueden hacer descargas a suelo porque se pueden contaminar los acuíferos.

5.3 Factor social y cultural

La participación de las comunidades en la elección de la tecnología apropiada es fundamental para el buen funcionamiento, porque es la población la encargada de la vigilancia y manejo de los sistemas seleccionados, por lo que se deben abrir espacio comunitarios que generen un sentido de pertenencia frente a la tecnología y transmitir los saberes apropiados para empoderar a los beneficiarios de las soluciones de saneamiento, teniendo en cuenta las relaciones de disponibilidad de materiales y mano de obra calificadas que puedan ejecutar los diferentes sistemas (Caicedo,2014).

En lo que a lo cultural se refiere, es que su socialización maneje un lenguaje muy coloquial y poco técnico, con el fin de llegar al entendimiento de todos los que hacen parte de las comunidades rurales dispersas. Además, no deber haber una generación de malos olores, para que los que no tienen implementados los sistemas sépticos, no se haga ideas erradas de este tipo de sistemas de tratamiento del ARD.

Hay comunidades que tienen sus creencias, por lo que no se debe imponer la implementación de estos sistemas in situ, a pesar de que tienen un sustento científico para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

5.4 Factor económico

Se trata de hacer una escogencia de un sistema que sea de bajo costo y a su vez, que cumpla con la remoción de la materia orgánica, también que sean de larga duración, que no tenga gastos energéticos y que, para su mantenimiento, puedan ser operados por los mismos dueños de los sistemas sin necesidad de contratar algún profesional. Para la disposición de los lodos, se requiere que los sistemas no dependan de un vehículo que los disponga, sino que los mismos usuarios los puedan retirar para evitar los gastos asociados al retiro y la buena disposición de los lodos.

Después de analizar todos los factores antes mencionados, se debe analizar a fondo los datos recogidos en la literatura (Tabla 7), para determinar cuál de los diferentes sistemas estudiados, tuvo mejor porcentaje de remoción de materia orgánica.

Tabla 7. *Promedios de remoción de cada uno de los sistemas estudiados*

Tren de tratamiento	DBO ₅ (%)	DQO (%)	SST (%)
Tanque séptico TS	68,8	62,7	71,2
Tanque séptico + FAFA	60,8	75	86,3
TS+ FAFA + Humedales	76,8	76	83,6
Tanque séptico + UASB	80	74	91,5

El sistema que tuvo mejor comportamiento en cuanto a la eliminación de la materia contaminante fue el que está provisto de un tanque séptico y un UASB, pero tiene como desventaja

tienen un costo elevado para su implementación, la puesta en marcha puede durar varios meses debido a que se debe garantizar que se formen los lodos granulares que son los encargados de que ocurra la degradación de la materia orgánica, y se requiere de un profesional para que haga un seguimiento de las etapas iniciales, los mantenimientos para este sistema los debe realizar un experto lo que conlleva a otro gasto, necesita un tiempo de retención hidráulico elevado, requiere un operario capacitado y una fuente constante de agua y electricidad. El sistema que está compuesto por el tanque séptico, el FAFA y un humedal superficial tuvo una remoción alta de la materia orgánica (Tabla 7) y desde el punto económico y manejo es mucho más viable que el sistema que tiene en su tren de tratamiento el UASB.

La escogencia del sistema más adecuado para tratar las ARD de las comunidades rurales no es una tarea fácil, dado que como se observa son varios factores a tener en cuenta pasando desde los costos hasta que sean ambientalmente sostenibles y perdurables en el tiempo, lo que se puede hacer es dar una recomendación de acuerdo a los factores antes mencionados y de acuerdo a la literatura estudiada.

El sistema propuesto debe estar compuesto de un tanque séptico de 4 compartimentos para mejorar la separación entre el interfaz sólido y líquido, al contar con varias cámaras se garantiza la remoción de sólidos suspendidos para evitar problemas de colmatación en las siguientes unidades de tratamiento.

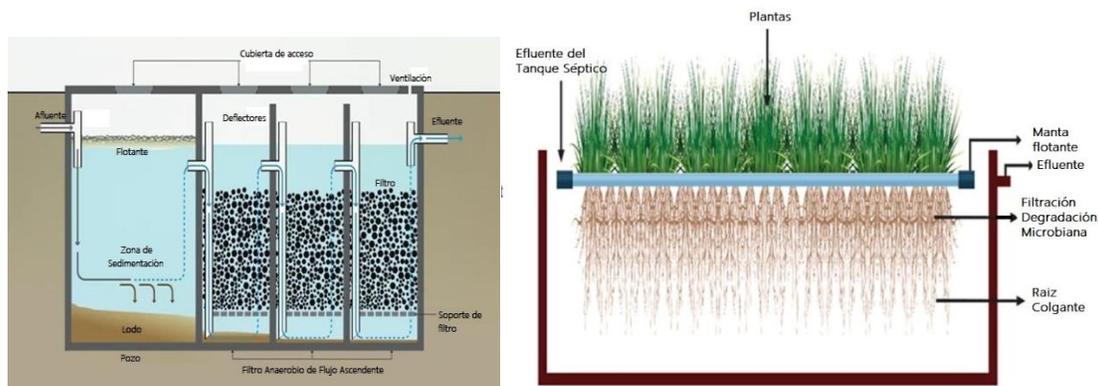
De acuerdo a los diferentes autores consultados se propone que el tanque séptico este provisto de 3 deflectores formando varias cámaras anaerobias para remover y degradar la materia orgánica mejorando la calidad del tratamiento. El primer tanque hace las veces de sedimentador natural, por lo que no es necesario que tenga los deflectores, mientras que en los otros compartimentos se pueden ubicar los deflectores. El diseño de los deflectores puede ser por medio

de tubos que ayudan al mejoramiento de las condiciones hidráulicas dentro sistema. Estas modificaciones garantizan que el agua residual se vea obligada a pasar a través de los lodos por la disposición de los deflectores evitando la resuspensión de los microorganismos, las bacterias anaerobias presentes en el lodo degradan parte de la materia orgánica suspendida presente en el agua residual, otra de sus bondades es que mejoran la calidad de los lodos, ya que al tener un tiempo de retención largo de hasta varios años, al momento de retirar los lodos estos ya se encuentran estabilizados y no requieren un tratamiento adicional para ser aprovechados como un enriquecedor del suelo y por lo tanto no representan un riesgo para la salud.

El primer sistema (tanque séptico con deflectores) no garantiza la remoción de toda la materia orgánica, se debe implementar un tratamiento adicional. De acuerdo a lo autores consultados el FAFA es una unidad que permite pulimiento del efluente, removiendo y atrapando los sólidos suspendidos que no se sedimentan y aumentan el crecimiento microbiano al aportar una mayor superficie de agarre. Los FAFAS se van agregar a las 3 cámaras finales del tanque séptico (Figura 19, a).

Para el efluente proveniente del tanque séptico modificado y el FAFA, se debe instalar una unidad de pulimiento que garantice la remoción de patógenos y nutrientes, esta unidad consiste en un humedal artificial flotante, la cual está diseñada de tal manera que las raíces de las plantas al entrar en contacto con el ARD la tratan por medio de la población microbiana que está adherida a las raíces. Se escoge este tipo de humedales flotantes por encima de los humedales artificiales superiores debido a que al no contar con un manto de piedra se evita que no tenga que haber un mantenimiento constante, los que tienen lecho de piedra se colmatan y para su lavado se debe retirar todo el material de soporte (Figura 19, b)

Figura 19. Sistema séptico propuesto para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de las comunidades rurales



Fuente: (Adegoke y Stenstrom. 2019)

Fuente: (Saeed et al. 2021)

(a) Tanque séptico con deflectores y FAFAS

(b) Humedal artificial flotante

6. Conclusiones

Este estudio permite conocer algunos de los sistemas sépticos con lo que se ha tratado el agua residual a lo largo de los años, ofrece alternativas para tratar las ARD de las comunidades rurales dispersas, teniendo en cuenta que son sistemas autónomos y sostenibles, y que mejoran la calidad de los vertimientos que llegan a las fuentes hídricas.

El buen funcionamiento del sistema séptico también va a depender la buena disposición de los residuos sólidos contaminados con materia orgánica, ya que estos pueden generar colmatación en el sistema de tratamiento generando un tratamiento deficiente del ARD.

Los sistemas sépticos estudiados tuvieron eficiencias de remoción de contaminantes y materia orgánica, pero de acuerdo a los resultados encontrados el sistema integrado por un tanque séptico y un reactor UASB, es el que tiene mejor comportamiento en cuanto a la degradación de

los contaminantes presentes en el ARD. A pesar de los resultados obtenidos, el sistema más fácil de aplicar en las zonas rurales dispersas es el que se integra entre un pozo séptico con deflectores, un FAFA y un humedal artificial flotante, esta afirmación se da porque se comporta adecuadamente para tratar las ARD y a su vez, su costo y mantenimiento no son tan elevados como el sistema que se integra con un UASB.

A pesar de que los sistemas convencionales son los que mejor comportamiento tienen para la degradación de los contaminantes de los vertimientos de las ARD, los sistemas sépticos son una alternativa importante para implementar in situ en las poblaciones rurales dispersas, debido a que por sus condiciones topográficas y económicas no tiene más alternativas para tratar sus aguas residuales, pero la opción de los sistemas sépticos es viable desde la parte económica y por los resultados encontrados, cumple con la normatividad a lo que se refiere a los vertimiento.

El sistema recomendado no solo es válido para poblaciones rurales dispersas, sino que puede ser aplicado para un suelo periurbano que no cuenten con alcantarillado, poblaciones vulnerables que ocupen invasiones o poblaciones urbanas pequeñas que no dispongan de un sistema centralizado para tratar sus ARD.

El TRH es un parámetro a considerar para el buen funcionamiento de los sistemas sépticos, para el estudio realizado se encontró que los mejores resultados, en cuanto a la degradación de la materia orgánica, se obtuvieron a TRH entre 24-48 horas.

Si las condiciones del suelo no permiten hacer las descargas del efluente del sistema séptico, porque no es lo suficiente permeable o se encuentra saturado el suelo, es necesario llevar a través de tuberías el efluente hasta un suelo que si cumpla las condiciones de permeabilidad o hasta una fuente hídrica superficial.

Los tanques sépticos que tienen implementados deflectores en su interior no son sistemas que se encuentran en el mercado, por lo que se pueden construir con mampostería de concreto generando un buen revestimiento de las paredes para evitar filtraciones.

Para retirar los lodos de los sistemas sépticos en algunos lugares optan por usar vehículos extractores de lodos, pero el inconveniente para el uso de estos vehículos radica en el costo asociado y por el difícil acceso a algunos lugares, pero sino es posible la recolección de los lodos por este medio, el lodo puede ser aprovechando para enriquecer el suelo, debido a que el tiempo de retención hidráulico garantiza que se encuentre estabilizados, libres de patógenos, lo que no representa peligros para la disposiciones en suelo y cultivos.

7. Referencias bibliográficas

- Adegoke, A. A., Stenstrom, T. A. (2019). *Septic Systems*, tomado de: https://www.researchgate.net/publication/331460346_Septic_Systems
- Aguirre Solis, S ., Vargas Urbano, M ., Cruz Huaranga, M ., Flores Gómez, S. (2018). *Tratamiento primario de aguas servidas mediante tanque séptico en urbanización de Lurigancho, Lima*, tomado de: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1095
- Almonani, F. (2015). *Field study comparing the effect of hydraulic mixing on septic tank performance and sludge accumulation*, tomado de: https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1003642671?search_mode=content&search_text=Septic%20tank%20&search_type=kws&search_field=full_search&or_facet_for=2209
- Biological Waste Treatment Expert. (2017). *Imhoff or Emscher Tank - a classic wastewater treatment technology that should still be considered for on-site and low flow treatment*, tomado de: <https://www.biologicalwasteexpert.com/blog/imhoff-or-emscher-tank-a-classic-wastewater-treatment-technology-that-should-still-be-considered-for-on-site-and-low-flow-treatment>
- Caicedo Villada, J. L. (2014). *Aspectos claves para la selección de esquemas descentralizados en el manejo de aguas residuales municipales en Colombia*, tomado de: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7812/CB-0509056.pdf?sequence=1>
- Conagua, (2013). *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón*, tomado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135609/SGAPDS-3-13.pdf>

Corpoguajira. (2020) *Resolución 0352 de 2020*, tomado de: <https://corpoguajira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2020/02/Resoluci%C3%B3n-No.-0352-de-2020.-Exp.-523-de-2019.-Empresa-Puerto-Seco-del-Norte.pdf>

Ciencia Y Tecnología Para El Desarrollo (CYTED), (2017). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales*, tomado de:

https://www.cyted.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf

DANE. (2018). *Manual de Conceptos*, tomado de: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/cnpv-2018-glosario.pdf>

Departamento Administrativo de Planeación. (2017) *Anuario estadístico de Antioquia*, tomado de: <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/descargar-2018>

Departamento Nacional de planeación. (2014). *Planeación para el desarrollo integral en las entidades territoriales*, tomado de: https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/desarrollo%20territorial/planesdesarrollo_dnp_web.pdf

Environmental Protection Agency, (1999). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Filtros intermitentes de arena*, tomado de: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/septic_fs_intermittent_sp.pdf

Environmental Protection Agency. (2017). *Constructed Wetlands*. Tomado de: <https://www.epa.gov/wetlands/constructed-wetlands>

EPA. (2021). *Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales. División de Manejo de Aguas Rama de instalaciones municipales sección técnica*. Tomado de: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/40001CXS.PDF?Dockey=40001CXS.PDF>

Fibras y Normas de Colombia. (2019). *Pozos sépticos: definición, estructura y tipos*, tomado de:

<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/pozos-septicos-estructura-y-tipos/>

Glober J G., Waugh, S ., Asato C ., Clyde P M., Nyer S C., Graffam M., Brownawell B .,

Venkatesan A ., Goleski J ., Price R C ., Mao X ., Russo F M ., Heufelder G ., Walker H

W. (2021). *Removing 80%–90% of nitrogen and organic contaminants with three distinct*

passive, lignocellulose-based on-site septic systems receiving municipal and residential

wastewater,

tomado

de:

[https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.udea.lookproxy.com/science/article/pii/S0925857421000112#f0010)

[com.udea.lookproxy.com/science/article/pii/S0925857421000112#f0010](https://www-sciencedirect-com.udea.lookproxy.com/science/article/pii/S0925857421000112#f0010)

Gómez Villegas, J D., Erazo J G., Castaño Rojas J M. (2006), *Septic Tank (ST)-Up Flow*

Anaerobic Filter (UFAF)-Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) systems

aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia, tomado de:

<https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/6031/6019>

Hegg Sánchez, S.S. (2018). *Evaluación de optimizaciones de sistemas individuales de*

tratamiento de aguas residuales [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

Tomado

de:

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10296/Evaluaci%c3%b3n%20de%20>

[Optimizaciones%20de%20sistemas%20individuales tratamiento aguas residuales.pdf?](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10296/Evaluaci%c3%b3n%20de%20)

[sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10296/Evaluaci%c3%b3n%20de%20)

Hogjian, L., Weiwei, L., Zang, X., Williams, N., & Bo, H. (2017). *Microbial electrochemical*

septic tanks (MESTs): An alternative configuration with improved performance and

minimal modifications on conventional septic systems. Biochemical Engineering Journal,

146–156.

Tomado

de:

<https://ezproxy.itcr.ac.cr:2476/science/article/pii/S1369703X17300104>

- IAGUA. (2016) *Conocimientos básicos sobre plantas de tratamiento de agua residual*. tomado de: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- ISA. (2016). “*Trampas de grasa. Un pre tratamiento de aguas residuales,*” *Ingeniería y Servicios Ambientales*. Tomado de: <http://www.isa.ec/index.php/vaviene/entry/trampas-de-grasa-un-pre-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Luostarinen, S. A., y Rintala, J. A. (2004). *Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB-septic tanks at low temperatures*, tomado de: https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1015887842?search_mode=content&search_text=Septic%20tank%20%2B%20uasb&search_type=kws&search_field=full_search
- Madera, C., Silva, J P., y Peña M M R. (2005), *Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico – filtro anaerobio y humedales subsuperficiales*, tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478001.pdf>
- Méndez-Novelo R.I., Chan-Gutiérrez E.A., Castillo-Borges E.R., Vázquez-Borges E.R., Espadas-Solís A E. (2012). *Digestión anaerobia de efluentes de fosas sépticas*, tomado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000300008#f3
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución 0631*, tomado de: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental, RAS RURAL. (2010). *TITULO J*, tomado de:

https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/100811_titulo_j_ras-.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. (2000). *Titulo A*, tomado de: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_a.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Ambiental. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000, (2000). *Titulo E*, tomado de: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). *Abecé del agua y saneamiento básico*, tomado de: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-agua.pdf>

Ministerio de vivienda, Ciudad y territorio. (2018). *Plan director de agua y saneamiento básico*, tomado de: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/plan-director.pdf>

Ministerio de vivienda, Ciudad y territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017*. Tomado de: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

University of Leeds, *The “Monster septic tank”*, tomado de: <https://sleigh-munoz.co.uk/wash/Mara/MonsterSepticTank.html>

Naranjo Agudelo, D C. (2019). *Pozos sépticos en el departamento del Quindío y solución alternativa con humedales subsuperficiales*, tomado de: [https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44484/u830600.pdf?sequence=](https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44484/u830600.pdf?sequence=1)

- Nasr Aly, F. y Mikhaeil, B. (2013). *Treatment of domestic wastewater using conventional and baffled septic tanks*, tomado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2013.767285>
- Noyola, A., Morgan Sagastume, J.M., Guereca, L.P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*, Instituto de Tecnología UNAM. Tomado de: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- Oliveira de Ávila. (2005). *Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio*, tomado de: <http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/teses/RenataOliveiradeAvila.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua*, tomado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2020). *Rural well-being: Geography of opportunities*, tomado de: <https://www.oecd.org/regional/Rural-WellBeing-Chile.pdf>
- Organización Panamericana de la salud. (2009). *Sanearamiento Rural y Salud*, tomado de: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52823>
- Pedrozo Martínez, H. (2011). Evaluación para la construcción de sistemas sépticos caso: Campo casabe, Universidad Pontificia Bolivariana, tomado de: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1666/digital_21071.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramón, A. J., & Maldonado, J. I. (2013). *Sistema de tratamiento para aguas residuales industriales en mataderos*. REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO

Revista quincenal ilustrada (15 de diciembre de 1906). *Tanques sépticos*, tomado de:

<http://hemerotecadigital.bne.es/issue.vm?id=0001889618>

Ríos Montes, R. (2009), *Disminución de la carga contaminante orgánica del efluente de las cámaras sépticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra*, tomado de:

<https://es.scribd.com/document/423161413/Disminucion-de-la-carga-contaminante-organica-del-efluente-de-las-camaras-septicas-utilizadas-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-en-la-c>

Rodríguez Serrano, J A. (2008). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades*, tomado de: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=19117>

Rotoplast. (2020). *Beneficios de un biodigestor vs una cámara séptica*, tomado de:

<https://rotoplas.com.ar/beneficios-de-un-biodigestor-vs-una-camara-septica/>

Rrtu Anila, Anand Lali Neera. (2015), *Modified septic tank treatment system*, tomado de:

<https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2062/science/article/pii/S2212017316301165>

Saeed, T., Afrin, R ., Al-Muyeed, A., Miah, M., y Hasin Jahan, H. (2021) *Bioreactor septic tank for on-site wastewater treatment: Floating constructed wetland integration*, tomado de:

<https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2062/science/article/abs/pii/S2213343721005832>

Salas Rodríguez, J ., Pidre Bocado, J. y Cuenca Fernández, I., Andalucía. (2014). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*.

Sanchez-Cadavid, J. A. (1997). Evaluación de un sistema de tratamiento tipo tanque séptico-Filtro anaerobio de flujo ascendente para las aguas residuales del Beneficio Ecológico del café.

- Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*, (14), 30–50. Tomado de:
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325674>
- Sánchez Rojas, J.A. (2016). *Eficiencia de remoción de nitrógeno en un sistema unifamiliar de tanque séptico más filtro percolador* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Tomado de:
https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1759/Tesis_Antoni_Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santiago Díaz, A L., Mugica Álvarez, V ., De Los Cobos Vasconcelos, D ., Vaca Mier, M ., y Salazar-Peláez, M L . (2021). *Performance evaluation and kinetic modeling of an upflow anaerobic sludge blanket septic tank for domestic wastewater treatment*. Tomado de:
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85110589395&doi=10.1007%2fs11356-021-15141-5&origin=inward&txGid=4e5140babfc3828f16ca35d3ebbc0260>
- Santos Rey, D N. (2013). *Lecciones aprendidas durante la construcción de sistemas sépticos: Caso de estudio microcuena La Angula parte media del municipio de Lebrija Santander*, tomado de:
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5783/digital_24308.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Serrano Salas, H. A. (2005). *Evaluación ambiental y sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante la construcción de prototipos a escala natural*. Costa Rica. Tomado de:
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/929/1/26180.pdf>

- Singh Prasad, R., Wei Kun, W. y Fu, D. (2019). *Designing process and operational effect of modified septic tank for the pretreatment of rural domestic sewage*, tomado de: <https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2062/science/article/pii/S0301479719312708>
- Sunil P. L., Sanjay N. L., y Rune B. (2020). *A simple anaerobic and filtration combined system for domestic wastewater treatment*, tomado de: <https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2062/science/article/pii/S2588912520300163>
- Supeck Septic. (2021). *The history of the septic system*, tomado de: <https://supeckseptic.com/blog/the-history-of-the-septic-system/>
- Stewart, E. (2005). *Evaluation of Septic Tank and Subsurface Flow Wetland for Jamaican Public School Wastewater Treatment*, tomado de: <http://cee.eng.usf.edu/PeaceCorps/5%20-%20Resources/Theses/Sanitation/2005Stewart.pdf>
- United Nations International Children's Emergency Fund [UNICEF]. (2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua*, tomado de: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>
- Valencia G, E., Silva G, I J ., y Narváes R, C P. (2010). *Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas*, tomado de: <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/download/801/1540?inline=1#>