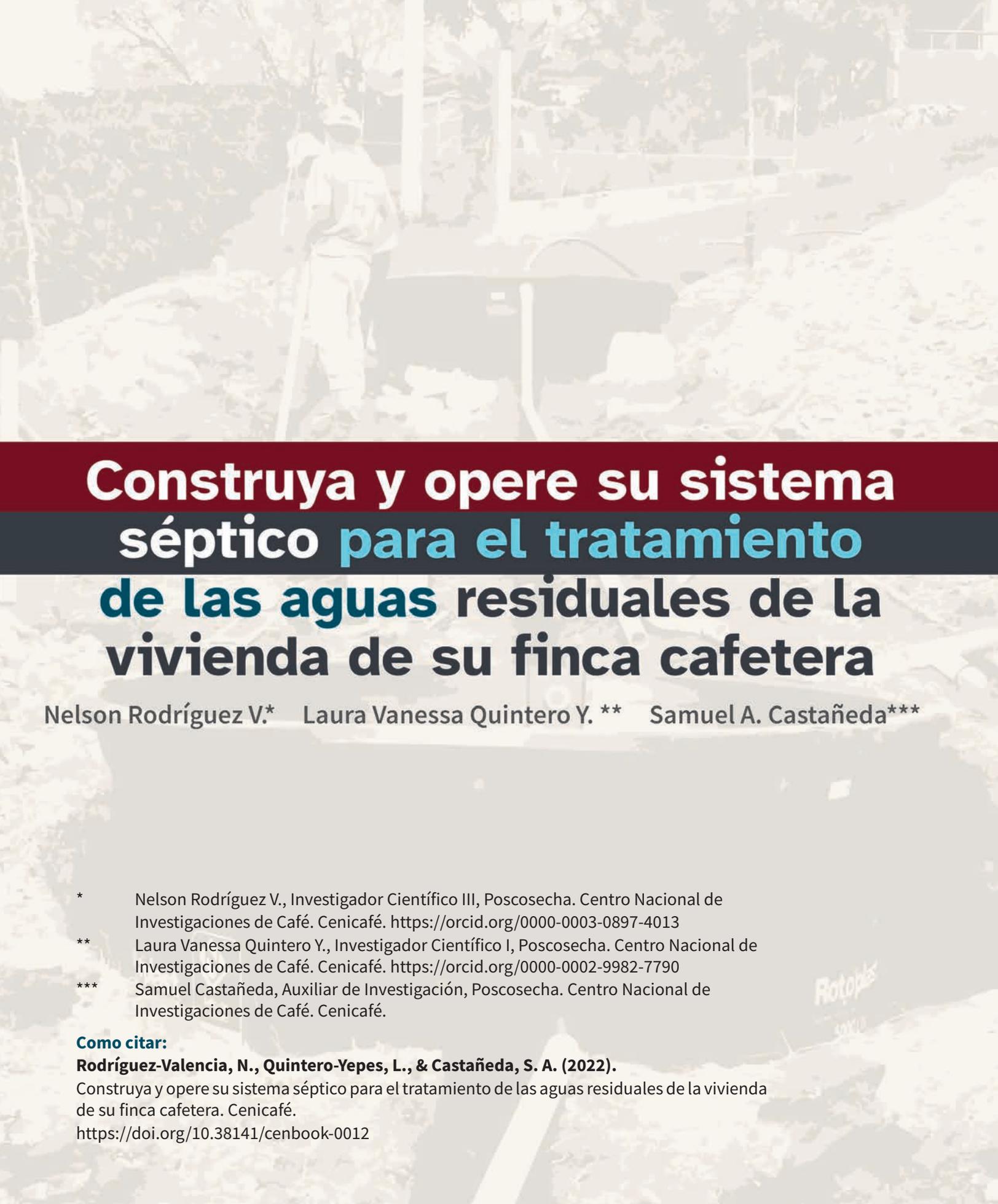




Construya y opere su sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda de su finca cafetera

▪ Nelson Rodríguez V. ▪ Laura Vanessa Quintero Y. ▪ Samuel A. Castañeda





Construya y opere su sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda de su finca cafetera

Nelson Rodríguez V.* Laura Vanessa Quintero Y. ** Samuel A. Castañeda***

* Nelson Rodríguez V., Investigador Científico III, Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

** Laura Vanessa Quintero Y., Investigador Científico I, Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9982-7790>

*** Samuel Castañeda, Auxiliar de Investigación, Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé.

Como citar:

Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L., & Castañeda, S. A. (2022).

Construya y opere su sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda de su finca cafetera. Cenicafé.

<https://doi.org/10.38141/cenbook-0012>



Comité Nacional

Ministro de Hacienda y Crédito Público
José Manuel Restrepo Abondano

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Rodolfo Enrique Zea Navarro

Ministro de Comercio, Industria y Turismo
María Ximena Lombana Villalba

Director del Departamento Nacional de Planeación
Luis Alberto Rodríguez Ospino

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Marcela Uruña Gómez

Período 1° enero/2019 - 31 diciembre/2022
José Eliecer Sierra Tejada (Antioquia)
José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)
Eugenio Vélez Uribe (Caldas)
Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)
Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)
Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)
Ruber Bustos Ramírez (Huila)
Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)
Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)
Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)
Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)
Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)
Héctor Santos Galvis (Santander)
Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)
Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General
Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo y Financiero
Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial
Juan Camilo Ramos Mejía

Gerente Técnico
Hernando Duque Orrego

Director Investigación Científica y Tecnológica
Álvaro León Gaitán Bustamante

Créditos

Comité Editorial

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.
Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina V.
Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Sandra Milena Marín L.
Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo M.Sc. Ing. Agrónoma. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

Diseño
Carmenza Bacca R.

Dibujos
Manuela Valencia Ramírez

Fotografías
Archivo Cenicafé

Impresión

ISBN 978-958-8490-54-0
ISBN 978-958-8490-55-7 (En línea)
DOI 10.38141/cenbook-0012

2022 - FNC - Cenicafé - FoNC



Contenido

Presentación	5
Introducción	7
Calidad del agua	9
Aguas residuales	15
Normativa nacional relacionada con el agua	21
Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas	31
Resultados del desempeño de los sistemas sépticos instalados en Cenicafé	95
Consideraciones finales	107
Glosario	112
Literatura citada	116

Agradecimientos

Al ingeniero Diego Zambrano Franco (Q. E. P. D) y al técnico Uriel López Posada por sus aportes que contribuyeron a la generación de soluciones oportunas y económicas para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las fincas cafeteras.

Presentación

En las fincas cafeteras se requiere agua potable para consumo y agua de buena calidad para el beneficio del café y principalmente, se presentan dos tipos de aguas residuales que ocasionan impacto negativo sobre los recursos naturales: agua, suelo, aire y biodiversidad, como son las aguas residuales de las viviendas (aguas residuales domésticas) y las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio del café (aguas mieles).

En Colombia se generan diariamente alrededor de seis millones de metros cúbicos de aguas residuales, las cuales, en la mayoría de los casos, no son tratadas y se disponen en cuerpos de agua superficiales, subterráneos, marinos o en el suelo, generando deterioro de los recursos naturales y afectando la oferta y calidad del recurso hídrico (Rodríguez et al., 2018b).

Para el caso de las microcuencas cafeteras, el deterioro en la calidad del agua superficial ocasionado por el inadecuado manejo y tratamiento de las aguas residuales de las viviendas y del beneficio del café, realizado por los productores que se encuentran en zonas más altas de la cuenca media, afecta la calidad del agua que requieren para su consumo y para el beneficio del café los productores que se encuentran aguas abajo.

La descarga de las aguas residuales de las viviendas se ha convertido en uno de los problemas ambientales más crítico y creciente, si se considera el incremento poblacional de nuestro país. El aumento de las descargas de aguas residuales de tipo doméstico y productivo deterioran cada vez más el estado de la calidad del recurso. La situación se hace más crítica cuando la corriente sobre la cual se realiza la descarga tiene un uso definido aguas abajo, pues se alteran las condiciones de calidad del agua requeridas para actividades específicas (doméstica, industrial, agrícola y pecuaria, entre otras) y la vida acuática (Ministerio de Ambiente [MA], 2002).

A través de la presente publicación se detallan las diferentes unidades que componen un sistema para el tratamiento de las aguas residuales de las viviendas rurales, conocido como sistema séptico, y se presentan herramientas para su diseño, instalación, construcción, operación y mantenimiento, presentando los tamaños y configuraciones más comunes de los sistemas sépticos, de forma que puedan ser implementados por los caficultores. Adicionalmente, se presentan valores de los parámetros relacionados con la calidad que debe tener el agua superficial, según el uso que se le pretenda dar al recurso, se presentan generalidades sobre la composición de las aguas residuales domésticas y sobre las normas de vertimientos vigentes

que es necesario cumplir respecto al manejo y tratamiento de las aguas residuales de las viviendas.

De acuerdo con la normativa ambiental vigente, las aguas residuales provenientes de las viviendas deben ser tratadas antes de realizar su descarga final al suelo o a cuerpos de agua superficial, y obtener un permiso de vertimientos por parte de la autoridad ambiental.

La Ley 1955 del 2019 por la cual se expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, establece en su artículo 279 *“Dotación de soluciones adecuadas de agua para consumo humano y doméstico, manejo de aguas residuales y residuos sólidos en áreas urbanas de difícil gestión y en zonas rurales”*, que las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de viviendas rurales dispersas, que sean diseñadas bajo los parámetros definidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), no requerirán permiso de vertimientos al suelo; no obstante, deberán ser registro de vertimientos al suelo que para tales efectos reglamente el Gobierno Nacional. Esta excepción no aplica para hacer vertimientos directos de aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales, subterráneas o marinas. El 6 de julio del 2021 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021, promulgó la Resolución 699 del 2021 *“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones”*, en la cual se revalida que los usuarios de vivienda rural dispersa no requerirán de permiso de vertimiento al suelo cuando las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas sean diseñadas bajo los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

Introducción

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas de abastecimiento que, después de ser utilizadas en las actividades domésticas (consumo humano, cocimiento de alimentos, aseo personal y de infraestructura), son descargadas a los alcantarillados domiciliarios o directamente al suelo o a cuerpos de agua superficial.

Las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual varían de acuerdo con factores externos como: localización, temperatura y origen del agua captada y factores internos como: la población, el desarrollo socioeconómico, el nivel industrial, la dieta en la alimentación, el tipo de aparatos sanitarios y las prácticas de uso eficiente de agua. Igualmente, los vertimientos varían en su caudal en el tiempo, presentando a nivel doméstico mayores volúmenes, especialmente en horas de comidas y de quehaceres (MA, 2002).

En el Estudio Nacional del Agua 2018, se establece que del total de las aguas residuales domésticas generadas en el país, sólo se eliminó el 10,0% de la carga orgánica, el 90,0% restante continuó generando contaminación tanto del recurso suelo como de los cuerpos de agua superficiales, subterráneos y marinos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam, 2019]).

De acuerdo con información base generada en la formulación del Proyecto Gestión Inteligente del Agua “Manos al Agua”, en el año 2012, apoyada en información del Sistema de Información Cafetero, Departamento Nacional de Planeación y el Sisbén, el porcentaje de la caficultura que cuenta con un servicio apropiado de alcantarillado es sólo del 2,0% (Rodríguez et al., 2018b), por lo que es necesario realizar el tratamiento a las aguas residuales generadas en las viviendas de las fincas cafeteras, con el fin de contribuir a conservar el recurso hídrico en la zona y de esta manera contribuir a la permanencia de la caficultura en la región.

Los resultados del diagnóstico realizado durante la ejecución del proyecto en mención, permitió establecer, después de realizar una encuesta en 1.111 fincas cafeteras de los departamentos de Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, una baja implementación de tratamiento en las aguas residuales de la vivienda, evidenciado en que el 21,6% de las fincas encuestadas vierten las aguas residuales domésticas, sin ningún tratamiento, a cuerpos de agua y que el 61,8% de las fincas encuestadas, vierten las aguas residuales domésticas, sin ningún tratamiento, al suelo (Calderón & Rodríguez, 2018). Del 16,6% de las fincas que realizan algún tipo de tratamiento a

las aguas residuales domésticas, el 21,5% tienen trampas de grasas y el 31% pozos o tanques sépticos (Calderón & Rodríguez, 2018).

En los estudios de calidad del agua realizados a través del Proyecto Gestión Inteligente del Agua (Rodríguez et al., 2018a), en la microcuenca la Frisolera, en Salamina, Caldas (entre los años 2016 y 2017), se evidenció que la quebrada La Palma (principal afluente de La Frisolera), recibía los vertimientos domésticos del área urbana del municipio de Salamina, y para los cinco monitoreos realizados presentó un valor promedio del índice global de calidad del agua de 0,46, deteriorando la calidad del agua de La Frisolera, la cual antes de la descarga de la quebrada La Palma presentaba un valor promedio del índice global de calidad de 0,62 y después de recibir la descarga, el índice disminuyó a 0,58 (entre más alto sea el valor del índice, mejor es la calidad del agua).

Lo anterior permite evidenciar un deterioro en la calidad de los cuerpos de agua superficial de la zona cafetera por efecto de la falta de tratamiento de las aguas residuales domésticas, impactando negativamente a los productores que se abastecen de estas fuentes hídricas y mostrando la necesidad de implementar sistemas de tratamiento económicos y eficientes, como lo son los sistemas sépticos.



Calidad del agua

La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua en estudio. En la determinación de la calidad del agua se utiliza el monitoreo de parámetros fisicoquímicos, la realización de bioensayos en el laboratorio y el monitoreo en el campo con bioindicadores.

Los indicadores de calidad del agua determinan condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y, en alguna medida, permiten reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Además, permiten representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y biológicas.

A través del Decreto 1594 de 1984, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio de Salud de Colombia establecieron los parámetros de calidad y sus valores máximos permisibles para el agua destinada al consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna y para la destinada al uso agrícola, pecuario, recreativo, industrial y transporte. De igual forma en el decreto único 1076 del 2015 se condensa esta información en los artículos 2.2.3.3.9.3 al 2.2.3.3.9.10 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2015b).

Parámetros utilizados con mayor frecuencia para caracterizar la calidad del agua

Los parámetros que se utilizan, con más frecuencia, para caracterizar la calidad físico-química del agua y evaluar la eficiencia de remoción de la contaminación presente en las aguas residuales, pueden clasificarse en parámetros relacionados con la presencia de materia orgánica, de sustancias nitrogenadas, de sustancias fosforadas y de enterobacterias.

Por lo general, las aguas naturales no contaminadas presentan cantidades mínimas de materia orgánica y de otros elementos, que pueden estar un poco por encima de los parámetros de calidad que se exigen para considerarla como potable, pero que, en la mayoría de los casos, está categorizada como agua segura.

Contenido de materia orgánica en el agua. La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la responsable del color, el olor y el sabor del agua, características que deben ser eliminadas durante el tratamiento a fin de hacerla apta para el consumo humano o para dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente sobre vertimientos. Como es muy complejo y costoso determinar analíticamente todas las sustancias orgánicas presentes en el agua residual, se han establecido métodos globales de determinación, a través de los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Carbono Orgánico Total (COT).

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es la cantidad de oxígeno que sustancias reductoras, como la materia orgánica, presentes en un agua residual, necesitan para descomponerse, sin la intervención de microorganismos. Entre mayor sea el valor de la DQO, mayor será la contaminación del agua. En el laboratorio se determina utilizando un oxidante fuerte que se adiciona a la muestra de agua residual, la cual se coloca en digestión en una plancha de calentamiento y luego, se realiza la lectura en un espectrofotómetro (Figura 1).

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅). Esta medida permite evaluar la cantidad de oxígeno que se debe proporcionar a un cultivo bacteriano natural para que consuma los contaminantes orgánicos en cinco días. Entre mayor sea el valor de la DBO₅, mayor será la contaminación del agua. En el laboratorio se determina adicionando nutrientes y un inóculo bacteriano a la muestra de agua residual, la cual se coloca en incubación durante cinco días y se le mide el contenido de oxígeno disuelto al inicio de la incubación y transcurridos los cinco días de proceso (Figura 2).



Figura 1. Determinación DQO.



Figura 2. Determinación de DBO₅.

Carbono Orgánico Total (COT). Mediante este análisis puede determinarse todo el carbono orgánico presente en una muestra de agua residual, el cual procede de todos los compuestos orgánicos que se encuentran formando parte de la muestra. A mayor contenido de COT mayor será la contaminación del agua. El COT puede relacionarse con la DQO, de acuerdo con la Ecuación <1> (Tolle, 2013, citado por Rodríguez et al., 2018b).

$$COT=0,2498(DQO)+4,6532 \quad <1>$$

Lo deseable es que las fuentes de agua no presenten una carga orgánica elevada. Por la naturaleza de estos parámetros, las normas de calidad de agua establecen que los causantes de la contaminación orgánica deben estar en cantidades por debajo de los 5 mg L⁻¹ como COT en las aguas para consumo humano (Ministerio de Protección Social, 2007).

Contenido de sólidos en el agua. Como materia sólida se clasifica toda la materia, excepto el agua, contenida en los materiales líquidos. En saneamiento básico es necesario medir la cantidad de materia sólida contenida en una gran cantidad de sustancias líquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas (aguas residuales domésticas e industriales). Valores altos de sólidos en las aguas residuales (mayores a 500 mg L⁻¹) pueden evidenciar problemas de contaminación (Ministerio de Protección Social, 2007).

Cuantificación de los sólidos presentes en aguas residuales. Para la cuantificación de los sólidos presentes en las aguas residuales, con frecuencia, se utilizan los siguientes parámetros: Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSed).

Sólidos Totales (ST). Son los que permanecen después de secar una muestra de agua residual a 105°C (Figura 3A). Están constituidos por los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos totales.

Sólidos Suspendedos Totales (SST). Son el residuo no filtrable o material no disuelto presente en el agua residual (Figura 3B).

Sólidos Sedimentables (SSed). Son el volumen de sólidos que sedimenta en una hora por cada litro de agua residual, en un cono de Imhoff (Figura 3C).

Contenido de nitrógeno en el agua. Las formas de nitrógeno de mayor importancia en las aguas residuales son nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. La eliminación de nitrógeno se hace en varias fases a través de procesos biológicos. En el laboratorio se determina adicionando reactivos específicos a las muestras de agua a evaluar, según la forma en que esté presente el nitrógeno y realizando la lectura en un espectrofotómetro, o realizando una digestión de la muestra, en plancha de calentamiento, seguida de una destilación y posterior titulación (Figura 4).

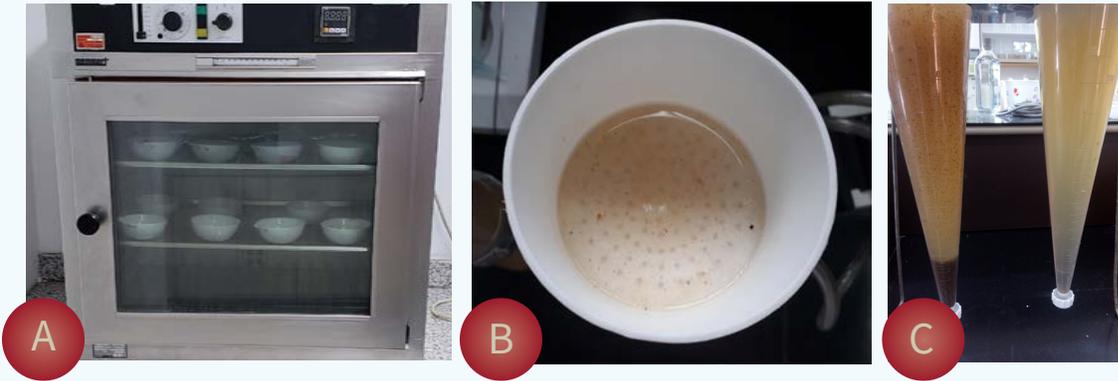


Figura 3. A. Determinación de Sólidos Totales. B. Determinación de Sólidos Suspendedos. C. Determinación de Sólidos Sedimentables.

Contenido de fósforo en el agua. El fósforo se encuentra en las aguas residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos y polifosfatos. La eliminación de fósforo del agua residual se realiza mediante tratamientos biológicos y químicos de precipitación. En el laboratorio se determina adicionando reactivos químicos específicos a las muestras de agua a evaluar (Figura 5), seguido de una digestión en plancha de calentamiento y una lectura en un espectrofotómetro.

Otros parámetros medibles en el agua con significado sanitario. Son el pH, las grasas y aceites, y los coliformes totales y fecales.



Figura 4. Determinación de nitrógeno.

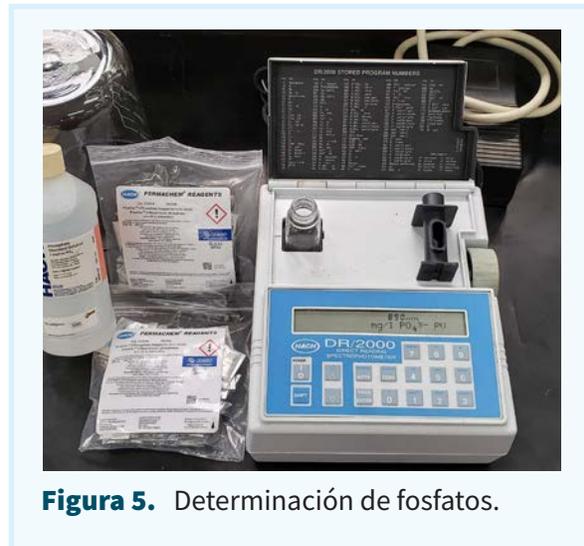


Figura 5. Determinación de fosfatos.

pH. Es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. La escala de medición cubre el rango de 0 hasta 14 (siendo 7 el valor que representa la neutralidad), valores de este parámetro por encima de 7, muestran condiciones de alcalinidad del agua y por debajo de 7, representan condiciones de acidez del agua, que en muchos casos pueden evidenciar la presencia de sustancias contaminantes.

Grasas y aceites. La presencia de aceites y grasas en el agua puede alterar su calidad estética (olor, sabor y apariencia). El contenido de aceites y grasas en el agua se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble con un solvente orgánico.

Coliformes totales y fecales. La evaluación de la calidad microbiológica del agua se efectúa mediante la determinación de indicadores. Los que comúnmente se utilizan son los coliformes totales, los coliformes termotolerantes (fecales), la *Escherichia coli* y las bacterias heterotróficas mesófilas aerobias viables (Aurazo, 2004).

Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprófitos en el ambiente, excepto la *E. coli*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación (Figura 6).



Figura 6. Determinación de coliformes.



Aguas **residuales**

Las aguas residuales son aquellas que se generan después de la utilización del recurso hídrico en actividades antrópicas, ya sean domésticas, comerciales, industriales, agrícolas o pecuarias, con una calidad inferior a la que tenía el agua antes de su uso.

La resolución colombiana 631 del 2015, define a las aguas residuales domésticas (ARD), como las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a: 1. Descarga de retretes y servicios sanitarios, y 2. Descarga de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (MADS, 2015a).

Las aguas residuales no domésticas (ARnD) son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas (MADS, 2015a).

Generalidades de las aguas residuales domésticas (MA, 2002)

El principal contaminante de las Aguas Residuales Domésticas (ARD) son las heces y la orina humana, seguido de los residuos orgánicos de la cocina. Presentan un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos que, por lo general, son patógenos. La composición típica de un agua residual doméstica se presenta en la Tabla 1 y las características visuales de la misma al ingreso a la planta de tratamiento se ilustran en la Figura 7.

Tabla 1. Características típicas de un agua residual doméstica. *Fuente: MA (2002).*

	Concentración (mg L ⁻¹)
Sólidos Totales (ST)	500
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	300
Sólidos Sedimentables (SSed)	8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	200
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	500
Nitrógeno Total (NT)	50
Fósforo Total (PT)	15
Grasas y aceites	20
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	1*10 ⁷



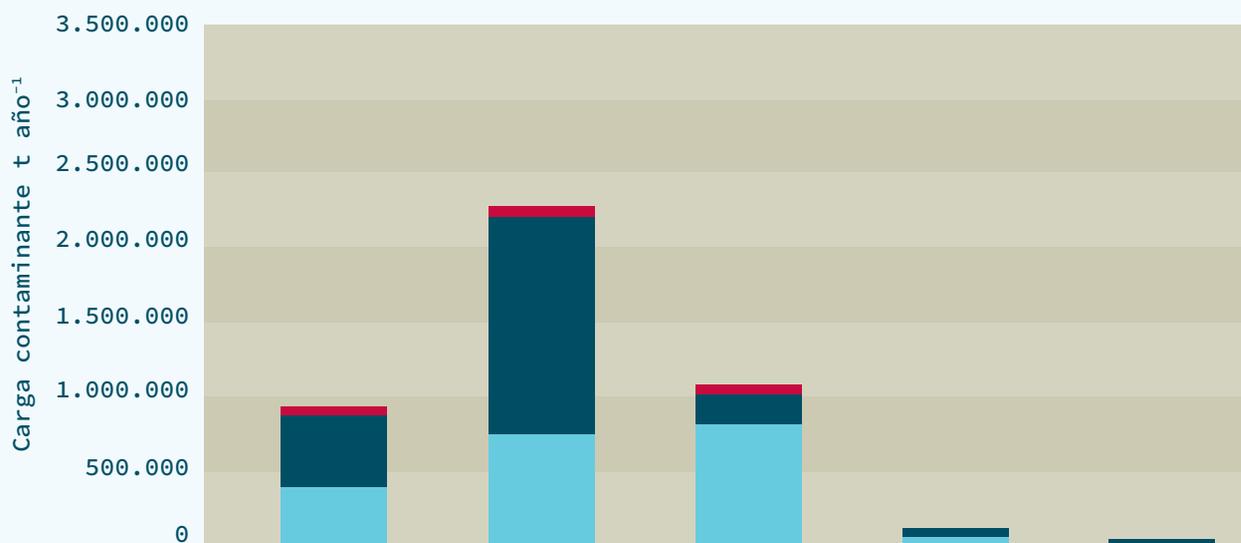
Figura 7. Aspecto de un agua residual doméstica.

La materia orgánica (grasas, proteínas, carbohidratos) presente en las aguas residuales domésticas es biodegradada por los microorganismos, en condiciones aeróbicas cuando los cuerpos de agua no están altamente contaminados, o en condiciones anaerobias cuando se superan los niveles de asimilación, agotando el oxígeno disuelto, limitando la vida acuática y generando malos olores producto de los procesos de descomposición.

Impacto ambiental de las aguas residuales domésticas

De acuerdo con los reportes del Estudio Nacional del Agua 2018 (Ideam, 2019) (Figura 8), las aguas residuales industriales son las que potencialmente generan los mayores impactos de contaminación hídrica por carga orgánica (DQO y DBO), en promedio, el 56,62% del total, seguidas de las aguas residuales domésticas con el 40,23% y de las aguas residuales del beneficio del café con el 3,15% del total. Las aguas residuales domésticas generan los mayores impactos de contaminación por SST (80,32%), Nitrógeno Total (74,03%) y Fósforo Total (90,58%).

De acuerdo con la normativa técnica actual, las tecnologías de tratamiento de agua residual pueden agruparse con base en el porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros de interés ambiental o sanitario, como son las grasas y aceites, una porción de sólidos sedimentables y suspendidos, entre otros (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2017).



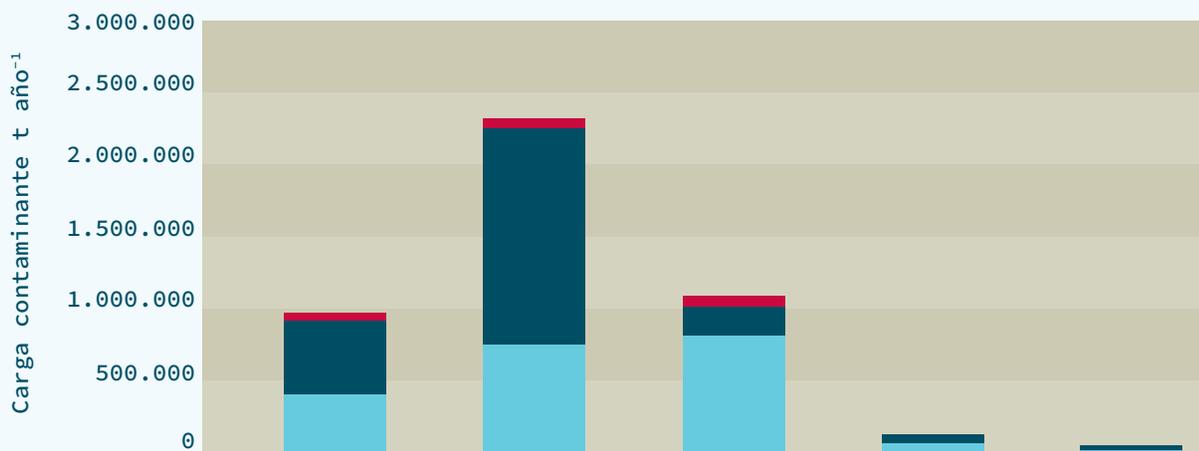
	DBO t año ⁻¹	DQO t año ⁻¹	SST t año ⁻¹	NT t año ⁻¹	PT t año ⁻¹
DOMÉSTICO	533.473	1.018.204	1.096.108	107.342	30.042
INDUSTRIA	600.610	1.804.974	217.551	37.647	3.123
CAFÉ	40.279	83.377	51.001		

Figura 8. Carga contaminante potencialmente vertida a las corrientes hídricas (t año⁻¹). 2016. Fuente: Ideam (2019).

En primer lugar, se establecen sistemas de pretratamiento y tratamiento primario que pueden remover hasta un 50,0% de la contaminación. El tratamiento secundario corresponde a tecnologías más específicas que contribuyen a la remoción de materia orgánica y a otros parámetros remanentes de unidades previas, con valores de remoción hasta del 80,0%. Por su parte, el tratamiento de tipo terciario tiene una remoción estimada cercana al 100% de patógenos y demás parámetros de interés ambiental, según lo establecido por la autoridad ambiental (SSPD, 2017).

En Colombia, a nivel de los municipios, se han reportado 696 plantas de tratamiento en 541 municipios, es decir, que el 51% de los municipios no hacen tratamiento a las aguas residuales domésticas. De las plantas de tratamiento se han identificado 18 sistemas de pretratamiento, 51 sistemas de tipo primario, 465 de tipo secundario y 13 de tipo terciario. De los 149 sistemas restantes, no se reporta el tipo de tecnología utilizada (SSPD, 2017).

El Estudio Nacional del Agua 2018, reporta en el año 2016, para el área hidrográfica Magdalena-Cauca (en donde se concentra la mayor parte de la caficultura) (Figura 9), una carga



	DBO t año ⁻¹	DQO t año ⁻¹	SST t año ⁻¹	NT t año ⁻¹	PT t año ⁻¹
DOMÉSTICO	431.551	814.904	877.383	88.078	24.646
INDUSTRIA	564.379	1.590.065	198.675	24.956	3.021
CAFÉ	34.907	72.258	44.200		

Figura 9. Carga contaminante potencialmente vertida (cuenca Magdalena-Cauca) (t año⁻¹), 2016.
Fuente: Ideam (2019).

contaminante total de 2.477.227 toneladas de DQO al año (el 85,23% de la contaminación nacional), de las cuales 1.590.065 toneladas provienen de la descarga de aguas residuales industriales (representando el 88,09% de la contaminación industrial nacional), 814.904 toneladas provienen de la descarga de aguas residuales domésticas (representando el 80,03% de la contaminación doméstica nacional) y 72.258 toneladas provienen de la descarga de aguas residuales del beneficio del café (representando el 86,66% de la contaminación por beneficio de café que se genera en el país) (Ideam, 2019).

En lo relacionado con la DBO₅, el área hidrográfica Magdalena-Cauca presentó una carga contaminante total de 1.030.837 t año⁻¹ (el 87,78% de la contaminación nacional), de las cuales el 54,75% provienen de la descarga de aguas residuales industriales, el 41,86% provienen de la descarga de aguas residuales domésticas y el 3,39% provienen de la descarga de aguas residuales del beneficio del café (Ideam, 2019).

En lo relacionado con los SST, el área hidrográfica Magdalena-Cauca, presentó una carga contaminante total de 1.120.258 t año⁻¹ (el 82,09% de la contaminación total), de las cuales el 78,32% provienen de la descarga de aguas residuales domésticas, el 17,73% proviene de la descarga de aguas residuales industriales y el 3,95% proviene de la descarga de aguas residuales del beneficio del café (Ideam, 2019).



Aguas residuales domésticas vs aguas superficiales

De acuerdo con el índice de calidad del agua en corrientes superficiales, establecido por el Ideam (2013), una corriente de agua tiene excelentes características de calidad cuando su valor de DQO es igual o inferior a 20 mg L^{-1} (es decir, 25 veces menos que la DQO típica de un agua residual doméstica) y su contenido en Sólidos Suspendidos Totales menor o igual a $4,5 \text{ mg L}^{-1}$ (es decir, 67 veces menos que los SST típicos de un agua residual doméstica).



Aguas residuales domésticas vs aguas residuales del café

En promedio una familia caficultora consta de cuatro personas, las cuales generan en aguas residuales domésticas 400 g DQO/día , para un total contaminante de 146 kg DQO/año en la finca. En promedio, una finca cafetera tiene un área de $1,3 \text{ ha}$, una producción anual media de 124 @ de cps y una contaminación generada/ @ , en aguas residuales del beneficio del café, de $1,83 \text{ kg de DQO}$, para un total contaminante de 227 kg DQO/año , en la finca.

Nota

En una finca cafetera promedio, la contaminación generada por las aguas residuales domésticas, cuando no son tratadas, equivale al 64% de la contaminación generada por las aguas residuales del beneficio del café, sin tratar.



Normativa nacional relacionada con el agua

Con la promulgación de la Política Nacional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MINVIVIENDA], 2010), se actualizaron los instrumentos de planificación, comando y control, económicos, sancionatorios e informativos, con el fin de recuperar y conservar las diferentes fuentes hídricas, entre los más importantes se encuentran:

- El Sistema de Información Ambiental (SIA) y el Sistema Información del Recurso Hídrico (SIRH), como instrumentos informativos.
- La Ley 1333 del 2009 y el Decreto 3678 del 2010 que tratan sobre la tasación de multas ambientales, como instrumentos sancionatorios.
- El Decreto 3930 del 2010 que trata sobre disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, su ordenamiento y los vertimientos al agua, al suelo y a los alcantarillados, como instrumento de comando y control.
- El Decreto 2667 del 2012 que trata sobre el pago de tasas retributivas por la contaminación aún presente en los vertimientos generados, como instrumento económico.
- El Decreto 1640 del 2012 que trata sobre planes de ordenación para el manejo de cuencas hidrográficas, como instrumento de planificación.
- La Resolución 631 del 2015 que trata sobre parámetros y valores máximos admisibles que deben cumplir los vertimientos antes de descargarlos a cuerpos de aguas superficiales y el Decreto 50 del 2018 que trata sobre permiso de vertimientos al suelo, como instrumentos de comando y control.
- La Resolución 699 del 2021 que trata sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, como instrumento de comando y control.

Normativa aplicable a las aguas residuales domésticas

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, en la Resolución 1096 del año 2000, adopta el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) como el documento técnico que fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, de agua potable y saneamiento básico, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad.

El Decreto 1077 del 2015 expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, mediante el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio estableció

Ley 1753 del 2015. Artículo 99. Cumplimiento del reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico para vivienda rural. Para las viviendas dispersas, localizadas en áreas rurales con soluciones individuales de saneamiento básico para la gestión de sus aguas residuales domésticas definidos, tales como sistemas sépticos y que cumplan desde su diseño con los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, no requerirán de la obtención del permiso de vertimientos.

Ley 1955 del 2019. Artículo 279. Dotación de soluciones adecuadas de agua para consumo humano y doméstico, manejo de aguas residuales y residuos sólidos en áreas urbanas de difícil gestión y en zonas rurales. Las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de viviendas rurales dispersas, que sean diseñados bajo los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, no requerirán permiso de vertimientos al suelo; no obstante, deberán ser registro de vertimientos al suelo, que para tales efectos reglamente el Gobierno nacional. Esta excepción no aplica para hacer vertimientos directos de aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales, subterráneas o marinas.

que las soluciones individuales de saneamiento básico para la vivienda rural se regularán por lo dispuesto en el artículo 99 de la Ley 1753 de 2015 (Congreso de Colombia, 2015).

En la Resolución 0330 del año 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se ratifica la adopción del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones 1096 del 2000, 0424 del 2001, 0668 del 2003, 1459 del 2005, 1447 del 2005 y 2320 del 2009, con el fin de ajustar el RAS de acuerdo con la evolución y cambios en las necesidades del sector, las políticas y herramientas establecidas para responder a estas. En el capítulo 5 de la Resolución, se presentan los requisitos técnicos para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas y sus subproductos, que incluyen tanto a los tratamientos centralizados como descentralizados, estos últimos se refieren a tratamientos en el sitio de origen, que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado o no es posible construir un sistema integrado de alcantarillado, o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado.

En la Resolución 0844 del año 2018, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales, en la sección 5 de la Resolución, relacionada con las soluciones individuales de saneamiento de aguas residuales domésticas se establece que para descargas a cuerpos de agua superficiales y al suelo, aplican los

artículos 171 y 181 de la Resolución 0330 del 2017, y establece que de manera preferente se emplearán en la conformación de los sistemas sépticos, los tanques sépticos, acompañados de un filtro anaerobio y un sistema de tratamiento complementario.

La Ley 1955 del 2019 del Congreso de la República, mediante la cual se expidió el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, estableció en su artículo

279 los parámetros que deben cumplir las soluciones individuales de saneamiento básico de las viviendas rurales.

En el Decreto 1210 del 2020, expedido por el MADS, se ratifica que las viviendas rurales dispersas que incorporen sistemas sépticos para el tratamiento de sus aguas residuales domésticas, diseñados bajo los parámetros del RAS, no requerirán permiso de vertimiento si las aguas tratadas se disponen en el suelo.

En el Decreto 1232 del 2020, expedido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se define a la vivienda rural dispersa, como *"la unidad habitacional localizada en el suelo rural de manera aislada que se encuentra asociada a las formas de vida del campo y no hace parte de centros poblados rurales ni de parcelaciones destinadas a vivienda campestre"*. En la Resolución 699 del 2021 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones" (MADS, 2021), se detalla que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de ARD-T, establecidas en el ámbito de aplicación de la Resolución, para los Usuarios de Vivienda Rural Dispersa, teniendo en cuenta que no requerirán de permiso de vertimiento al suelo cuando las soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de estas aguas residuales domésticas sean diseñadas bajo los parámetros definidos en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, corresponde a las Autoridades Ambientales Competentes, en el ejercicio de sus funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental, conforme a la priorización de los Usuarios, realizar la caracterización de los vertimientos para verificar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de ARD-T al suelo.

Si en las viviendas rurales las aguas residuales domésticas tratadas se disponen directamente a cuerpos de agua superficial, se requiere la obtención de un permiso de vertimiento que es otorgado por la autoridad ambiental (Decreto 3930 del 2010), además del cumplimiento de la normativa relacionada con este tipo de descarga (Resolución 631 del 2015) y el pago de la respectiva tasa retributiva (Decreto 2667 del 2012). El no cumplimiento de los requisitos legales ambientales puede generar sanciones económicas, de acuerdo en lo previsto en la Ley 1333 del 2009.

A continuación, se ilustran en forma más amplia, las normas relacionadas con la obtención del permiso de vertimientos, la descarga de las aguas residuales domésticas tratadas a cuerpos de agua superficiales, al suelo y con reúso total.

Obtención de un permiso de vertimientos para las aguas residuales de las viviendas

El Decreto 3930 del 2010 del MINVIVIENDA define los vertimientos como “descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido”. El permiso de vertimientos es el derecho que otorga la autoridad ambiental para descargar aguas residuales a un cuerpo de agua, al suelo u otro medio, previo tratamiento de las mismas y cumpliendo con las normas de vertimientos puntuales, siendo importante para disminuir la contaminación del agua superficial, del suelo y de las aguas subterráneas, ayudando a conservar el recurso hídrico libre de contaminación.

Procedimiento para solicitar un permiso de vertimientos (Decreto 3930 del 2010)

- Presentar una solicitud a la autoridad ambiental, diligenciando el Formulario Único Nacional de Solicitud de Permiso de Vertimientos.
- Describir la actividad que genera el vertimiento, informar sobre la fuente de abastecimiento y la del vertimiento, las características de la descarga, incluida una evaluación ambiental del vertimiento cuando la actividad que lo genera sea de carácter industrial, comercial, de servicios o grandes conjuntos residenciales.
- Anexar los siguientes documentos: certificado de instrumentos públicos sobre la propiedad del inmueble (permiso del dueño del predio, en caso de no ser propietario), caracterización actual del vertimiento, plano donde se localice el punto de descarga del vertimiento, certificado de usos del suelo expedido por la autoridad municipal, evaluación ambiental del vertimiento y plan de gestión del riesgo en casos requeridos.
- La autoridad ambiental competente contará con diez días hábiles para verificar que la documentación esté completa, incluyendo el pago por concepto del servicio de evaluación y se expedirá el auto de iniciación del trámite, el cual se notifica y publica.
- Dentro de los 30 días hábiles siguientes a la publicación del auto de iniciación de trámite, la autoridad ambiental realizará el estudio de la solicitud de vertimientos y practicará las visitas técnicas necesarias.
- Dentro de los ocho días hábiles siguientes a las visitas técnicas deberá emitirse el correspondiente informe técnico y posteriormente, se expedirá el auto de trámite que declare reunida toda la información.
- En un término no mayor a 20 días hábiles contados a partir de la expedición del auto de trámite, la autoridad ambiental competente decidirá mediante resolución si otorga o niega el permiso de vertimientos.

- Contra la resolución, mediante la cual se otorga o se niega el permiso de vertimientos, procederá el recurso de reposición dentro de los cinco días hábiles siguientes a la fecha de notificación de la misma.
- En caso de ser una actividad que ya tiene el sistema de tratamiento de aguas residuales construido, se debe anexar su diseño, la eficiencia, caracterización del afluente y efluente del sistema de tratamiento implementado indicando el tiempo de retención.
- La actividad a desarrollar debe estar de acuerdo con los usos del suelo establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT- del municipio, en caso contrario, no se podrá otorgar permiso de vertimientos aun cumpliendo con los demás requisitos.
- El permiso de vertimientos se otorgará por un término no mayor a diez años. El trámite para otorgar el permiso de vertimientos tiene unos costos asociados a las visitas técnicas y a los estudios que la autoridad ambiental debe realizar, y estos costos los debe pagar quien solicita el servicio. Además, una vez otorgado el permiso se debe pagar a la autoridad ambiental la tasa retributiva, cuyo monto depende de la carga contaminante vertida por el usuario.

Características de calidad que deben cumplir las aguas residuales domésticas cuando son descargadas a fuentes hídricas superficiales

Aplica la Resolución 631 del 2015 del MADS que establece en el capítulo V, artículo 8, las normas de vertimiento que deben cumplirse para las aguas residuales domésticas de las soluciones individuales de saneamiento de viviendas unifamiliares o bifamiliares: pH (entre 6 y 9); DQO (hasta 200 mg L⁻¹); Sólidos Suspendidos Totales (hasta 100 mg L⁻¹), Sólidos Sedimentables (hasta 5 mL L⁻¹) y grasas y aceites (hasta 20 mg L⁻¹).

Además, el generador del vertimiento debe pagar una tasa retributiva (Decreto 2667 del 2012) por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, la cual aplica cuando se solicita un permiso de vertimientos a cuerpos de agua superficial. Para el cálculo de esta tasa se tiene en cuenta el volumen del vertimiento dispuesto en los cuerpos de agua superficial y su contenido de carga orgánica, aún presente, en términos de DBO₅ y SST. Para el año 2022 el cobro por cada kilogramo de DBO₅ es de \$ 165,97 y por cada kilogramo de SST de \$ 70,97.

Características de calidad que deben cumplir las aguas residuales domésticas cuando son descargadas al suelo

La autoridad ambiental fijará, en la resolución respectiva, la norma de vertimiento que debe cumplirse y las condiciones técnicas de la descarga (Decreto 1076 del 2015). Adicional, aplica el

Decreto 50 del 2018 que establece que, cuando se realice la descarga del vertimiento al suelo deben presentarse los resultados de pruebas de infiltración, sistema de disposición de los vertimientos, área de disposición de los vertimientos y plan de cierre y abandono del área de disposición del vertimiento.

Aplica la Resolución 699 del 2021 del MADS que establece en el capítulo II, artículo 3, que los usuarios de vivienda rural dispersa con soluciones individuales de saneamiento básico para el tratamiento de las aguas residuales, diseñadas conforme al RAS, no requieren permiso de vertimiento (MADS, 2021).

Para los usuarios equiparables a vivienda rural dispersa definidos como: "toda persona natural o jurídica de derecho público o privado que hace uso de infraestructura asociada a una actividad productiva o de uso de vivienda campestre, cuya generación de aguas residuales domésticas son semejantes en cantidad y calidad (expresado en carga de DBO_5), a las producidas por los usuarios de vivienda rural dispersa, con valores menores o iguales a $1,0 \text{ Kg } DBO_5/d$ ", las normas de vertimiento que deben cumplirse, para las aguas residuales domésticas, dependiendo de la velocidad de infiltración del suelo son: pH (entre 6,5 a 8,5), DQO (hasta 200 mg L^{-1}), Sólidos Suspendidos Totales (entre 50 y 100 mg L^{-1}), Sólidos Sedimentables (entre $1,5$ y $3,5 \text{ mL L}^{-1}$), grasas y aceites (hasta 20 mg L^{-1}), Sustancias activas al azul de metileno ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$), conductividad eléctrica (entre 700 y 1.000 uS/cm), Fósforo Total (entre 2 y 5 mg L^{-1}), Nitrógeno Total (entre 20 y 30 mg L^{-1}) y Cloruros (entre 140 y 250 mg L^{-1}) (MADS, 2021).

Los usuarios equiparables a vivienda rural dispersa, deberán realizar el análisis de los parámetros objeto de la resolución 699 del 2021, con una frecuencia de monitoreo bienal (MADS, 2021).

Características de calidad que deben cumplir las aguas residuales domésticas cuando son utilizadas para reúso

Para el reúso de las aguas tratadas aplica la Resolución 1256 del 23 de noviembre del 2021 (MADS, 2021) (que derogó a la Resolución 1207 del 2014), mediante la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones, teniendo como objeto establecer las disposiciones relacionadas con el uso de las aguas residuales y aplica a las autoridades ambientales y a los usuarios de dichas aguas. Lo establecido en esta resolución no aplica para el uso de las aguas residuales como fertilizante o acondicionador de suelos.

En la resolución se define la recirculación, como: "el uso de las aguas residuales en operaciones y procesos unitarios dentro de la misma actividad económica que las genera y por parte del mismo usuario generador, sin que exista contacto con el suelo al momento de su uso, salvo

cuando se trate de suelo de soporte de infraestructura” y el reúso, como “el uso de las aguas residuales por parte de un usuario receptor, para un uso distinto al que las generó”.

En el artículo 3, de la Resolución 1256 del 2021, se establece que: “siempre que sea técnica y económicamente viable, todo usuario del recurso hídrico podrá hacer la recirculación de sus aguas residuales, sin que se requiera autorización ambiental” y en el artículo 4 se expresa que para el reúso “se requerirá concesión de aguas para adquirir el derecho al uso de las aguas residuales como bien de uso público, salvo lo dispuesto en el artículo 148 del Decreto-Ley 2811 de 1974”.

En el artículo 5 se establece que las aguas residuales se podrán emplearse en los usos agrícola e industrial de que tratan los artículos 2.2.3.3.2.5 y 2.2.3.3.2.8 del Decreto 1076 de 2015 o la norma que modifique adiciona o sustituya. Los criterios de calidad del agua residual para el uso agrícola deberán cumplir con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.9.5 del Decreto 1076 de 2015 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, así como, con los criterios establecidos en la resolución 1256 del 2021.

En la Tabla 2 se condensan los parámetros y valores de calidad que deben tener las aguas tratadas para uso agrícola.

Tabla 2. Criterios de calidad de aguas residuales para uso agrícola. Fuente: Decreto Único 1076 del 2015 (MADS, 2015); Resolución 1256 del 2021 (MADS, 2021).

Variable	Unidad de medida	Valor límite máximo permisible
Físicos		
pH	Unidades	4,5 – 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500
Microbiológicos		
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	<1 x 10 ⁵
Enterococos fecales	NMP/100 mL	<1 x 10 ²
Químicos		
Fenoles totales	mg L ⁻¹	0,20
Hidrocarburos totales	mg L ⁻¹	1,0
Iones		
Cianuro libre	mg L ⁻¹	0,20
Cloruros	mg L ⁻¹	300,0
Fluoruros	mg L ⁻¹	1,0
Sulfatos	mg L ⁻¹	500,0
Metales		
Aluminio	mg L ⁻¹	5,0
Berilio	mg L ⁻¹	0,10

... continuación Tabla 2

Continúa...

Cadmio	mg L ⁻¹	0,01
Zinc	mg L ⁻¹	2,0
Cobalto	mg L ⁻¹	0,05
Cobre	mg L ⁻¹	0,20
Cromo	mg L ⁻¹	0,10
Hierro	mg L ⁻¹	5,0
Litio	mg L ⁻¹	2,5
Manganeso	mg L ⁻¹	0,2
Mercurio	mg L ⁻¹	0,001
Molibdeno	mg L ⁻¹	0,01
Níquel	mg L ⁻¹	0,20
Plomo	mg L ⁻¹	5,0
Sodio	mg L ⁻¹	200,0
Vanadio	mg L ⁻¹	0,10
Metaloides		
Antimonio	mg L ⁻¹	0,10
Arsénico	mg L ⁻¹	0,10
Boro	mg L ⁻¹	Entre 0,30 y 4,0
No metales		
Selenio	mg L ⁻¹	0,02
Otros parámetros		
Cloro total residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg L ⁻¹	< 1,0
Nitratos (expresado como N)	mg L ⁻¹	11,0
Relación de absorción de sodio (RAS)	Adimensional	Análisis y reporte
Porcentaje de sodio posible (PSP)	%	Análisis y reporte
Salinidad efectiva y potencial	meq/L	Análisis y reporte
Carbonato de sodio residual	meq/L	Análisis y reporte
Radionucleídos	Bq/kg	Análisis y reporte

En el Parágrafo 3, de la Resolución 1256 del 2021, se establece que: “*para el agua residual para el uso industrial, no se establecen criterios de calidad desde el punto de vista ambiental; lo anterior, sin perjuicio de las disposiciones establecidas en materia sanitaria y demás disposiciones que regula la actividad*”.

Para el uso agrícola se requiere un plan de monitoreo y seguimiento de la calidad y cantidad del agua residual empleada en el reúso, el cual identifique entre otros elementos el Punto de Control y el Punto de Entrega. La Autoridad Ambiental definirá la frecuencia del monitoreo de calidad en el acto administrativo mediante el cual se pronuncie. Para el uso industrial, un plan de monitoreo y seguimiento de la cantidad del agua residual empleada en el reúso, el

cual identifique entre otros elementos el Punto de Control y el Punto de Entrega. La Autoridad Ambiental definirá la frecuencia del monitoreo en el acto administrativo mediante el cual se pronuncie.

Para el uso agrícola, se deberá demostrar mediante mediciones in situ, la velocidad de infiltración en el suelo u otros procedimientos técnicamente establecidos por la ciencia y la técnica, que las cantidades de agua y los tiempos de aplicación en los diferentes períodos estacionales, satisfacen los requerimientos de agua del suelo y/o del cultivo y que no se generan cantidades excedentes de la misma como escorrentía o percolación.

En este sentido para el uso agrícola, las tasas de aplicación ($m^3/d\text{-ha}$) y el tiempo de aplicación (d/año) del agua residual no deben ocasionar cambios en la salinidad, sodicidad y toxicidad del suelo que limiten, restrinjan o impidan los usos agrícolas actuales y potenciales del área de aplicación, teniendo como directrices por tipo de cultivo las establecidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR o las de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO.

Procedimientos sancionatorios ambientales

Las sanciones administrativas en materia ambiental tienen una función preventiva, correctiva y compensatoria, para garantizar la efectividad de los principios y fines previstos en la Constitución, los tratados internacionales, la ley y el reglamento. Las medidas preventivas, por su parte, tienen como función prevenir, impedir o evitar la continuación de la ocurrencia de un hecho, la realización de una actividad o la existencia de una situación que atente contra el medio ambiente, los recursos naturales, el paisaje o la salud humana y están establecidas en la Ley 1333 del 2009 expedida por el Congreso de la República.

El MINVIVIENDA expidió la Resolución 2086 del 2010, mediante la cual se adopta la metodología para la tasación de multas ambientales consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la Ley 1333 del 2009. El valor de la multas tiene en consideración aspectos como el beneficio ilícito, factor de temporalidad, grado de afectación ambiental y evaluación del riesgo, circunstancias agravantes y atenuantes, costos asociados y capacidad socioeconómica del infractor.



Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas

Una vez conocidas las características físico-químicas y microbiológicas de las aguas residuales y teniendo muy presentes los objetivos de calidad que se persiguen en los efluentes tratados (dependiendo de las normativas vigentes o del uso posterior que se le quiera dar al recurso), es necesario seleccionar los tratamientos, que desde el punto de vista técnico y económico sean los apropiados para realizar la depuración. Por lo general, lo que se busca es reducir los contaminantes presentes en el agua para convertir el vertido en inocuo para el medio ambiente.

En el tratamiento de las aguas residuales, generalmente es necesario combinar varias operaciones unitarias, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas, y cuyo propósito es el de eliminar, en primer lugar, el material en suspensión, luego las sustancias coloidales y finalmente, las sustancias disueltas.

Los tratamientos de las aguas residuales pueden clasificarse según el medio de eliminación de los contaminantes en físicos, químicos y biológicos; según la fase de depuración en pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario; y según el costo en tecnologías de bajo costo y convencionales.

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, en la Resolución 1096 del año 2000, adopta el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento (RAS) como el documento técnico que fija los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, de agua potable y saneamiento básico, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en el sitio de origen

Son aquellos que se utilizan en lugares aislados, donde no existen redes de alcantarillado o donde se requiere remover la cantidad de sólidos suspendidos antes de verter el agua residual al sistema de alcantarillado (MinDesarrollo, 2000).

Antes de proceder a diseñar un sistema de tratamiento en el sitio, es necesario obtener, entre otra, la siguiente información:

- Cantidad y calidad del agua residual.
- Tipo de suelo y permeabilidad.
- Temperatura (media mensual y anual).

- Uso de la tierra, zonificación y prácticas agrícolas.
- Requerimientos de calidad para descargas superficiales y subsuperficiales.
- Pendiente del terreno, nivel freático e información de los cuerpos de agua de la zona.

Sistemas sépticos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas

Uno de los sistemas más eficientes y más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales domésticas son los sistemas sépticos, los cuales están constituidos por cinco unidades a saber: 1. Trampa de grasa, 2. Tanque séptico, 3. Filtro anaerobio, 4. Campo de infiltración y 5. Lecho de secado de lodos (Figura 10).

Para la eficiencia técnica y económica del sistema séptico es recomendable que se realice un manejo adecuado del agua en la vivienda, implementando comportamientos y dispositivos que permitan realizar un ahorro de agua, con lo cual, al tener un menor consumo de agua, el volumen de agua residual disminuye y, por consiguiente, el tamaño de las diferentes unidades que conforman el sistema séptico.

También es importante darle un manejo adecuado al agua usada, por ejemplo, el uso adecuado del aparato sanitario, evitando que allí sean arrojados productos químicos, excedentes de fumigación, hidrocarburos y solventes que eliminarían los microorganismos necesarios en el proceso de degradación. Los productos de aseo femenino, el papel de baño y los materiales no biodegradables, no deben llegar al sistema séptico, dado que colmatan el tanque séptico y obstruyen el filtro anaerobio (MINVIVIENDA, 2010).

La primera unidad del sistema séptico es la trampa de grasa, la cual permite realizar un pretratamiento al agua residual doméstica y puede ser construida en el sitio o adquirida en el comercio; la segunda unidad del sistema es el tanque séptico en el cual se hace un tratamiento primario al agua residual y que puede ser construido en el sitio o adquirido en el comercio; la tercera unidad es el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA), en el cual se hace un tratamiento secundario al agua residual y que puede ser construido en el sitio o adquirido en el comercio; la cuarta unidad está conformada por un campo de infiltración en el cual se hace un tratamiento terciario (postratamiento) al agua residual y debe ser construido en el sitio; la quinta unidad es el lecho de secado de lodos, en el cual se realiza la estabilización de los lodos generados en el tanque séptico y debe ser construido en el sitio.

Un sistema séptico completo garantizará que el agua efluente cumpla con los parámetros de calidad establecidos por la autoridad ambiental (MINVIVIENDA, 2010).

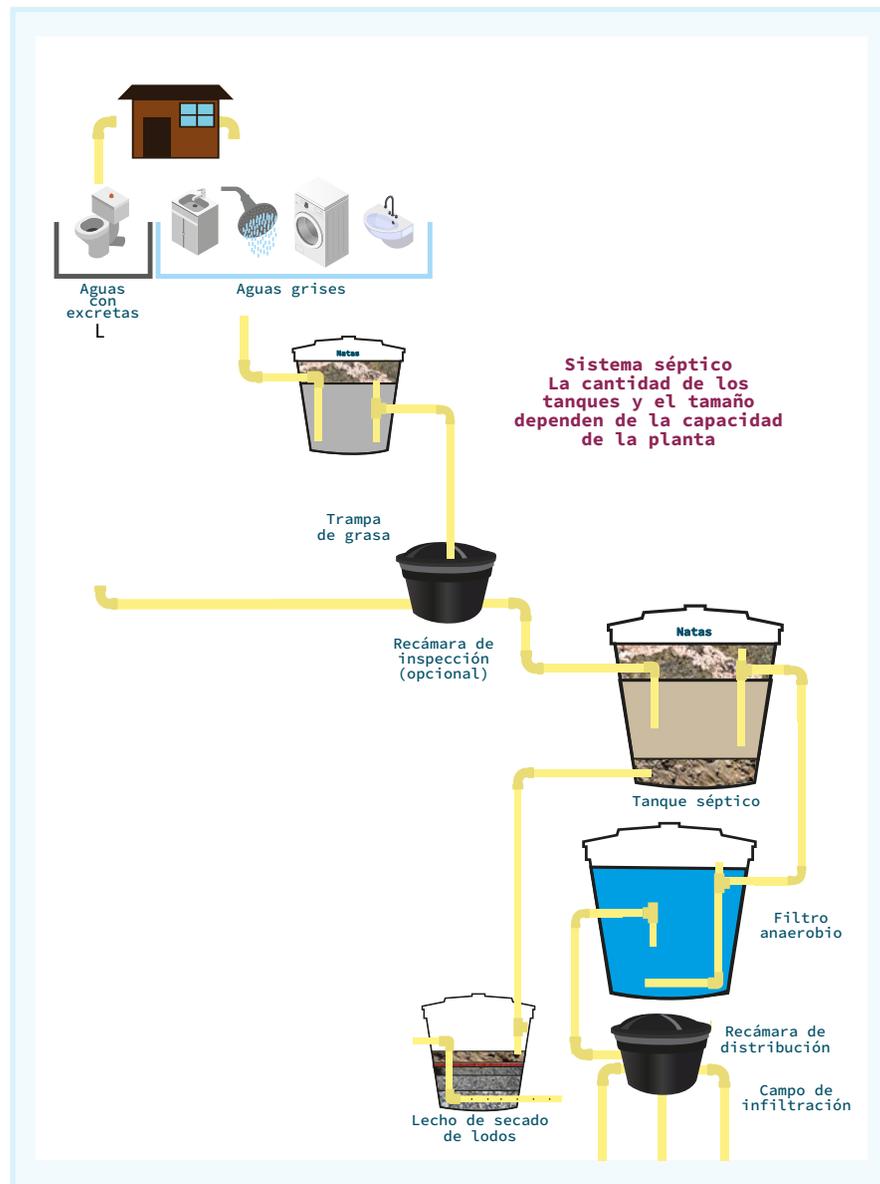


Figura 10. Esquema de un sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

La selección del lugar apropiado para instalar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, es una variable importante que debe estudiarse, algunas normas generales que deben seguirse son:

- Debe ubicarse en sitios donde no genere contaminación de cuerpos de agua.
- Debe instalarse en un sitio que permita el flujo por gravedad de las tuberías domiciliarias.

- En lo posible, deben buscarse terrenos planos que permitan realizar la menor excavación posible; lejos de árboles y arbustos, cuyas raíces puedan desnivelar y romper las unidades del sistema.

Componentes del sistema séptico

A continuación, se describen cada una de las unidades del sistema séptico y se indica cómo se realiza el diseño, dimensionamiento y mantenimiento de las mismas.

Trampa de grasa. Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados, cuando se prevean aportes de grasas y aceites, debe considerarse el empleo de sistemas de remoción de los mismos, con el fin de proteger los procesos de tratamiento subsiguientes, tales como: tanques sépticos, filtros anaerobios y campos de infiltración, entre otros (Resolución 0330 del 2017).

La trampa de grasa tiene como propósito separar físicamente la grasa de las aguas residuales de la cocina, la ducha y el lavadero. Las aguas residuales se mueven más despacio al entrar en la trampa, permitiendo que las partículas de grasa, que son más ligeras que el agua, se enfríen y solidifiquen, flotando hacia arriba, permitiendo que el agua sin grasa ingrese al tanque séptico.

Se construyen con tanques pequeños de flotación, generalmente de material plástico resistente, donde la grasa se localiza en la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas. También pueden ser construidas en sitio con mampostería de ladrillo.

La función más importante de la trampa de grasa es evitar que las grasas y jabones disminuyan la eficiencia de las etapas siguientes del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Localización. Deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (cocina, lavadero, ducha) y aguas arriba del tanque séptico, para prevenir problemas de obstrucción y malos olores en las unidades siguientes del sistema de tratamiento.

Parámetros de diseño. El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, teniendo en cuenta que la capacidad de almacenamiento mínimo, expresada en kilogramos de grasa, debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto (MINVIVIENDA, 2010). La determinación del caudal de diseño se realiza a partir de las unidades de gasto, de los diferentes dispositivos instalados en la vivienda (Tabla 3).

Para tener en cuenta

- A la trampa de grasa no debe llegar flujo de agua caliente, pues el calor funde las grasas y facilita que atraviesen la trampa sin ser retenidas en la misma, disminuyendo los rendimientos de eliminación de contaminación del sistema séptico.
- A la trampa de grasa no deben llegar, por ningún motivo, aguas provenientes de los aparatos sanitarios.
- El sitio seleccionado para la instalación de la trampa de grasa debe ser de fácil acceso de forma que permita su limpieza y la extracción de las grasas acumuladas.
- No coloque ningún objeto encima o inmediato a la trampa de grasa porque puede interferir en su adecuado mantenimiento.

Tabla 3. Unidades de gasto de los dispositivos que descargan a la trampa de grasa. Fuente: Adaptado*, Organización Panamericana de la Salud (OPS) – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (UNATSABAR, 2003).*

Dispositivo de descarga	Unidad de gasto(**)
Lavamanos	1
Lavaplatos	2
Ducha	3
Lavadero	3

* La adaptación se realizó considerando los datos reportados por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA, 2015).

** Debe asumirse este número de unidades de gasto por cada grifo instalado

El caudal máximo se calcula mediante la Ecuación <2>.

$$Q=0,3\sqrt{\sum p} \quad <2>$$

Donde:

Q = Caudal máximo en L s⁻¹.

$\sum p$ = Suma de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa.

El volumen de la trampa de grasa debe calcularse para un período de retención mínimo de 2,5 minutos. La relación largo-ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendida entre 1:1 a 3:1, dependiendo de su geometría. La profundidad útil deberá ser acorde con el volumen calculado, partiendo de una altura mínima de 0,35 m (Resolución 0330 del 2017).

En las Tablas 4 y 5 pueden consultarse los caudales, capacidades de retención y tiempos de retención hidráulica típicos, que deben usarse para la trampa de grasa.

Tabla 4. Capacidades de retención de grasa. *Fuente: Adaptado, MinDesarrollo, 2000.*

Tipo de afluente	Caudal (L min ⁻¹)	Capacidad de retención de grasa (kg)	Capacidad recomendada (L)
Cocina de restaurante	56	14	190
Habitación sencilla	72	18	190
Habitación doble	92	23	240
Dos habitaciones sencillas	92	23	240
Dos habitaciones dobles	128	32	330
Lavaplatos con volumen de agua mayor de 115 L	56	14	190
Lavaplatos con volumen de agua mayor de 190 L	92	23	240
Lavaplatos con volumen entre 190 y 378 L	144	36	378

Tabla 5. Tiempos de retención hidráulicos. *Fuente: Adaptado, MinDesarrollo, 2000.*

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L s ⁻¹)
Entre 2,5 y 3	2 - 9
4	10 - 19
5	20 o más

Entradas y salidas. La entrada (afluente) a la trampa de grasas debe realizarse por medio de un codo de 90° y un diámetro mínimo de 3". La salida (efluente) debe realizarse por medio de una Tee con un diámetro mínimo de 3" (MINVIVIENDA, 2010).

Otros aspectos a tener en cuenta en la instalación de la trampa de grasas son (MINVIVIENDA, 2010). Ver Figura 11:

- La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel del líquido.
- La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y la tubería de salida deberá de ser no menor a 0,05 m.
- La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la tapa.
- La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos de 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo.

- El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo de 0,30 m.
- La trampa de grasa deberá ser de forma tronco cónica o piramidal invertida con la pared del lado de la salida (efluente) vertical.
- El área horizontal de la base deberá ser de por lo menos 0,25 x 0,25 m por lado o de 0,25 m de diámetro. El lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal.

Las trampas de grasas pueden construirse, entre otros materiales, en mampostería (Figura 11) y en polietileno (Figura 12).

Ejemplo del cálculo del volumen de una trampa de grasa

Si en la vivienda de la finca se tiene instalada grifería (un grifo por sitio), en la ducha, el lavamanos, el lavaplatos y el lavadero ¿Cuál sería el tamaño de la trampa de grasa que debe instalarse?

Considerando la información de la Tabla 3, el valor del caudal máximo se calcula con la suma del número de unidades de gasto, así:

$$\sum p = 1(\text{del grifo del lavamanos}) + 2(\text{del grifo del lavaplatos}) + 3(\text{del grifo de la ducha}) + 3(\text{del grifo del lavadero}).$$

$$\sum p = 9$$

$$Q = 0,3 \sqrt{9} = 0,3 \times 3 = 0,9$$

$$V_{\text{trampa de grasa}} = Q(\text{Caudal}) * TRH \text{ tiempo de retención hidráulica} = 0,9 \text{ L s}^{-1} \times 2,5 \text{ min} \times 60 \text{ s min}^{-1}$$

$$V_{\text{trampa de grasa}} = 135 \text{ L}$$

Se requiere instalar una trampa de grasa, con una capacidad mínima de 135 L. En el comercio se consiguen tanques de polietileno de 150 L que pueden ser utilizados con este fin, teniendo en cuenta que el tanque adquirido tenga una altura superior a los 0,35 m.

Materiales y herramientas necesarios para la instalación de la trampa de grasa

- Un tanque de polietileno (Figura 12) o construido en mampostería en ladrillo y cemento (Figura 11), con el volumen apropiado, de acuerdo con el número de unidades de gasto presentes en la vivienda, con su respectiva tapa y una altura útil mínima de 0,35 m.
- Un codo interno de PVC-S de 3" para la entrada.
- Una Tee interna de PVC-S de 3" para la salida.

- Tubería interna PVC-S de 3" para la entrada y la salida.

Si la trampa de grasa se instala utilizando un tanque comercial en polietileno, es posible que no tenga los agujeros para el ingreso y la salida del agua residual o que sus perforaciones sean inferiores a 3", por lo tanto, se requiere:

- Taladro eléctrico o inalámbrico.
- Broca sierra de 3".
- Masilla epóxica ultrafuerte para sellar los bordes de los agujeros de ingreso y salida del agua residual.
- Soldadura y limpiador PVC.

Materiales complementarios para la instalación de la trampa de grasa

Si la trampa de grasa se instala enterrada en el terreno, se requiere:

Realizar una excavación en un sitio de fácil acceso, teniendo en cuenta la posición de los orificios de entrada (más alto) y salida (más bajo del tanque). Sobre el fondo de la misma, debe vaciarse una cama de arena libre de piedras angulares, de aproximadamente 5,0 cm, nivelada y compactada sobre la cual se apoyará el tanque, asegurando que no se presenten filtraciones de agua, lo que podría ocasionar contaminación del suelo o del agua superficial o subterránea o movimientos masales. Para el caso de las trampas de grasa construidas en mampostería es indispensable aplicar un revoque en las paredes internas de la misma.

Para equilibrar presiones en las paredes del tanque plástico y evitar su deformación, debe llenarse el tanque con agua hasta el nivel inferior de la tubería de salida y luego entre el espacio comprendido por las paredes del tanque y las paredes de la excavación, se dispondrán sucesivamente capas de arena compactadas, una a una, con pisón.

Operación y mantenimiento. Las trampas de grasa deben operarse y limpiarse regularmente para prevenir el escape de cantidades apreciables de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de limpieza debe determinarse con base en la observación. Generalmente, la limpieza debe hacerse cada vez que se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa como mínimo (MINVIVIENDA, 2010). Se recomienda una frecuencia de mantenimiento no mayor a tres meses, aplicando el siguiente protocolo:

- Levante la tapa de la trampa de grasa con cuidado.
- Elimine los residuos de la trampa de grasa con ayuda de un recipiente.

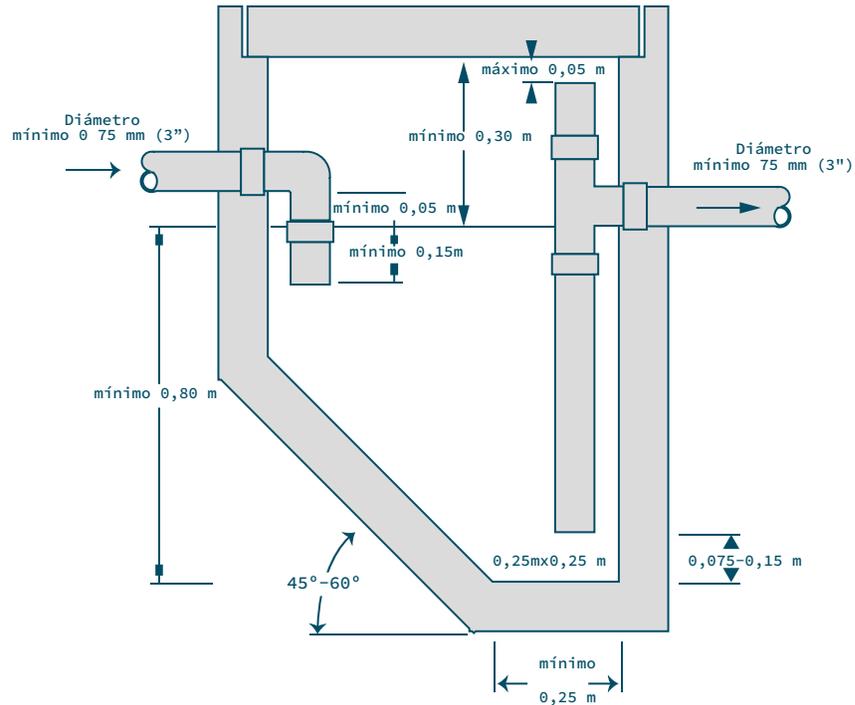


Figura 11. Esquema de una trampa de grasas construida en mampostería. "UNATSABAR (2003)"

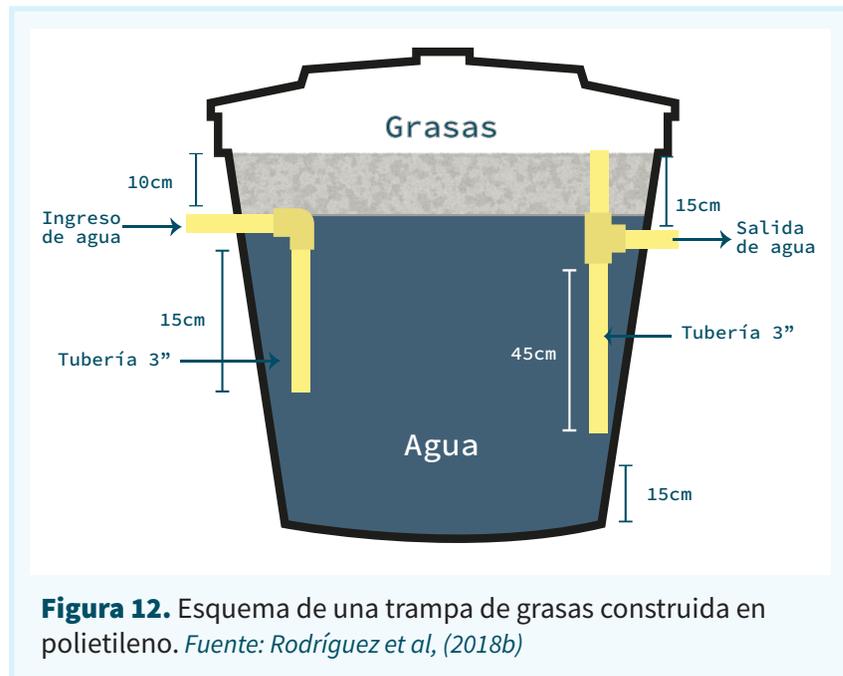


Figura 12. Esquema de una trampa de grasas construida en polietileno. Fuente: Rodríguez et al, (2018b)

- Raspe la tapa y los lados de la trampa con una espátula. Retire los depósitos (trozos) grandes de grasa o aceites que se acumulan en la trampa y colóquelos en un recipiente.
- Coloque, de nuevo, y cierre la tapa de la trampa.
- Mezcle las grasas retiradas de la trampa con cal apagada, en relación 1:1, (con el fin de neutralizarlas) y disponga la mezcla en los procesadores de pulpa de café, para su compostaje y obtención de abono orgánico o en los lechos de secado construidos para el manejo de los lodos provenientes del tanque séptico.

Tanque o pozo séptico. El tanque séptico es el componente principal de un sistema séptico para el tratamiento de las aguas residuales de viviendas rurales dispersas, vivienda rural nucleada o establecimientos ubicados en zonas rurales o suburbanas que no cuentan con servicio de alcantarillado. Estas aguas residuales pueden provenir exclusivamente de los inodoros con descarga hidráulica o incluir también las aguas grises generadas en duchas, lavamanos, lavaderos de ropa y lavaplatos, después de que estas últimas hayan pasado por la trampa de grasa (MINVIVIENDA, 2010).

El tanque séptico tiene las siguientes funciones:

Separar los sólidos de la parte líquida, actuando como un sedimentador; los sólidos más pesados se precipitan como lodo en el fondo del tanque y parte de la grasa que puede provenir de los servicios sanitarios y las partículas de menor densidad que el agua ascienden a la superficie, formando una capa de nata.

Permitir una degradación inicial de la materia orgánica, el ambiente al interior del tanque contiene cantidades bajas de oxígeno, permitiendo el desarrollo de microorganismos anaerobios que descomponen la materia orgánica en gases (CO_2 y CH_4 , principalmente).

Almacenamiento de lodos y natas, el tanque se diseña considerando unos tiempos de limpieza y evacuación de lodos. Los sólidos sedimentados acumulados y las natas deben removerse periódicamente y deben descargarse en una instalación de tratamiento (MinDesarrollo, 2000).

Permitir que el agua residual que llega al filtro anaerobio (siguiente unidad del sistema séptico) esté clarificada, en el tercio medio del tanque; el líquido queda clarificado, pues en la parte superior se depositan las natas y en la parte inferior del tanque se depositan los lodos.

Debe tenerse en cuenta que únicamente pueden llegar al tanque séptico las aguas con excretas provenientes de la vivienda, las aguas lluvias deberán ser separadas para evitar que ingresen al sistema de tratamiento.

Los tanques sépticos pueden estar completamente enterrados, semienterrados o instalados sobre la superficie del suelo. Todas estas instalaciones presentan ventajas y desventajas a saber:

- Los tanques completamente enterrados presentan como ventaja, que existe un menor riesgo de daño del tanque por efecto de las condiciones ambientales y menores riesgos de daño por algún tipo de impacto. Como desventaja, se tiene que su mantenimiento puede ser menos práctico y que no se aprovecha la energía solar que favorece la actividad de los microorganismos responsables del tratamiento del agua.
- Los tanques instalados sobre el suelo presentan como ventaja, el aprovechamiento de la energía solar que favorece la actividad de los microorganismos responsables del tratamiento del agua y hace más práctico el mantenimiento del sistema. Como desventaja, se tiene el mayor riesgo de daño del tanque por efecto de las condiciones ambientales y por algún tipo de impacto.
- Los tanques semienterrados (hasta la mitad) disminuyen los riesgos de daños por impacto, y por condiciones ambientales aprovechan en parte de su superficie la energía solar que favorece la actividad de los microorganismos responsables del tratamiento del agua y facilitan las labores de mantenimiento.
- Según su geometría, los tanques sépticos pueden ser prismáticos-rectangulares, cilíndricos o tronco-cónicos. Los cilíndricos se utilizan cuando se quiere minimizar el área útil aumentando la profundidad, y los prismáticos-rectangulares en los casos en que se requiera mayor área horizontal o mayor profundidad. Pueden construirse en el sitio con mampostería de piedra o ladrillo, asegurando que no se presenten filtraciones de agua, lo que podría ocasionar contaminación del suelo o del agua superficial o subterránea o movimientos masales, también pueden construirse en concreto simple o reforzado, o pueden adquirirse en el comercio fabricados en diferentes materiales plásticos como polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U) o poliéster reforzado con fibra de vidrio (MINVIVIENDA, 2010).
- El efluente de los tanques sépticos, por hacer parte de un sistema de tratamiento, no debe ser dispuesto directamente en el suelo y mucho menos en un cuerpo de agua. Por eso debe realizarse un tratamiento complementario para mejorar su calidad, de acuerdo a las disposiciones de las autoridades sanitaria y ambiental, con el propósito de disminuir los riesgos de contaminación que afecten la salud pública. Ese tratamiento complementario se realiza con un filtro anaerobio de flujo ascendente y disponiendo el efluente directamente a un campo de infiltración (MINVIVIENDA, 2010).

Requisitos previos para la utilización del tanque séptico (MINVIVIENDA, 2010).

Se recomienda solamente para:

- Áreas desprovistas de redes públicas de alcantarillado.
- Vivienda rural dispersa con suficiente área de contorno para acomodar el tanque con sus procesos de postratamiento (filtros anaerobios y campos de infiltración).

- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en áreas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando hace parte de los alcantarillados sin arrastre de sólidos.
- Deberán ubicarse aguas abajo de cualquier pozo o manantial destinado al abastecimiento de agua para consumo humano.

No se recomienda:

- Ser construidos en áreas pantanosas o fácilmente inundables.
- Ser operados en condiciones en donde les ingresen aguas lluvias y desechos capaces de causar interferencia negativa o inhibición en cualquier fase del proceso de tratamiento, el cual es exclusivamente biológico.

Ventajas y desventajas de los tanques sépticos

Ventajas de su aplicación

Los tanques sépticos son apropiados para tratar sanitariamente las aguas residuales domésticas de:

- La vivienda rural dispersa.
- Vivienda rural nucleada o condominios campestres, con un máximo de diez viviendas (50 habitantes) por cada tanque séptico.
- Establecimientos como restaurantes rurales o de borde de carretera, hostales, escuelas rurales, cuarteles e instalaciones agroindustriales.

Tienen un bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, sobre todo si se cuenta con infraestructura o facilidades para la remoción mecánica de lodos.

Desventajas de su aplicación

- De uso limitado, para un máximo de 50 habitantes por cada tanque séptico.
- Uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno para disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
- Requiere de espacio y facilidades para la remoción y disposición de los lodos.

Localización del tanque séptico (MINVIVIENDA, 2010).

Deben conservarse las siguientes distancias mínimas:

- 1,5 m distantes de construcciones, límites de propiedad, sumideros y caminos peatonales.
- 3,0 m distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.
- 25,0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.
- 8,0 m distante de cortes o terraplenes.
- 3,0 m distante de piscinas.

Dimensionamiento del tanque séptico

En el dimensionamiento debe seleccionarse una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios (MinDesarrollo, 2000):

- Rendimiento del proceso de tratamiento.
- Almacenamiento de lodos.
- Amortiguamiento de caudales pico.

Para ello se debe (MINVIVIENDA, 2010):

- Considerar un tiempo suficiente de detención de las aguas residuales a tratar, para que ocurra la separación de los sólidos y la estabilización de los líquidos.
- Prever condiciones de estabilidad hidráulica para una eficiente sedimentación y flotación de sólidos.
- Asegurar que el tanque tenga el volumen suficiente para la acomodación de lodos y natas dentro del tiempo previsto entre las operaciones de limpieza.
- Prevenir las obstrucciones y asegurar la adecuada ventilación de los gases.

Dimensionamiento del tanque séptico (MINVIVIENDA, 2010)

Para determinar las dimensiones internas de un tanque séptico rectangular deben emplearse los siguientes criterios:

- La relación entre el largo y el ancho del tanque séptico será como mínimo de 2 a 1 y como máximo de 5 a 1.

- El ancho del tanque séptico no deberá ser menor a 0,60 m, ya que es el espacio más pequeño en el que puede trabajar una persona durante la construcción o para las operaciones de limpieza.
- La profundidad útil debe estar entre los valores mínimos y máximos establecidos en la Tabla 6, de acuerdo con el volumen útil obtenido (MVCT, 2017).

Tabla 6. Valores de profundidad útil del tanque séptico. *Fuente: Resolución 0330 del 2017 (MVCT, 2017).*

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

Para tanques cilíndricos el diámetro interno mínimo debe ser de 1,1 m y el largo interno mínimo de 0,80 m (MinDesarrollo, 2000).

Determinación del volumen útil del tanque séptico

A través del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico se presentan dos metodologías para la determinación del volumen útil de tanque séptico.

Metodología establecida en el Título E del RAS -2000

Para el cálculo del volumen útil (Vu) del tanque séptico se utiliza la **Ecuación <3>**:

$$V_u = 1.000 + N_c \times (C \times T + K \times L_f) \quad <3>$$

Los términos N_c , C , T , K y L_f y sus unidades son:

- **Número de contribuyentes (N_c):** se refiere al número de personas en la vivienda, tanto permanentes como temporales.
- **Contribución de aguas residuales por habitante (C):** expresada en L/hab-día, se refiere a la cantidad de agua residual que generan las personas en la vivienda. Dependiendo si son temporales o permanentes, el valor puede ser consultado en la Tabla 7.
- **Contribución de lodo fresco por habitante (L_f):** expresado en L/hab-día, se refiere a la cantidad de lodos que generan las personas en la vivienda, dependiendo si son temporales o permanentes, el valor puede ser consultado en la Tabla 7.

- **Tasa de acumulación de lodos digeridos (K):** expresado en días, se refiere a la cantidad de lodos almacenados en el tanque y depende del intervalo de limpieza y de la temperatura ambiental de la zona. Con el intervalo de limpieza, en años, y la temperatura en °C, el valor puede ser consultado en la Tabla 8.
- **Tiempo de retención (T):** expresado en días (d), se refiere al tiempo de permanencia del agua residual en el tanque, su valor, dependiendo de la contribución total de las personas de la vivienda (permanentes y temporales) puede ser consultado en la Tabla 9.

Tabla 7. Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco (L_f) para ocupantes permanentes y temporales. Fuente: MinDesarrollo, 2000.

Tipo Ocupantes	Predio	Unidad	Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco L_f (L/hab-día)	
			C (L/hab-día)	L_f (L/hab-día)
Ocupantes permanentes	Clase alta	persona	160	1,0
	Clase media	persona	130	1,0
	Clase baja	persona	100	1,0
	Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1,0
	Alojamiento provisional	persona	80	1,0
Ocupantes temporales	Fábrica en general	persona	70	0,3
	Oficinas temporales	persona	50	0,2
	Edificios públicos o comerciales	persona	50	0,2
	Escuelas	persona	50	0,2
	Bares	persona	6	0,1
	Restaurantes	comida	25	0,01
	Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0,02
	Baños públicos	tasa sanitaria	480	4,0

Tabla 8. Tasa de acumulación de lodos digeridos (K) de acuerdo al intervalo de limpieza.

Fuente: MinDesarrollo, 2000.

Intervalo de limpieza (años)	Valores de K por intervalo de temperatura ambiente (T) en °C		
	$T \leq 10$	$10 \leq T \leq 20$	$T > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Tabla 9. Tiempo de retención (T) de acuerdo a la contribución de aguas residuales. *Fuente:* MinDesarrollo, 2000.

Contribución diaria (L)	Tiempo de retención (T)	
	días	Horas
Hasta 1.500	1	24
De 1.501 a 3.000	0,92	22
De 3.001 a 4.500	0,83	20
De 4.501 a 6.000	0,75	18
De 6.001 a 7.500	0,67	16
De 7.501 a 9.000	0,58	14
> 9.000	0,50	12

Ejemplo del cálculo del volumen de un tanque séptico (Aplicando Título E, RAS - 2000)

Si en la vivienda de la finca viven cinco personas permanentes y en época de cosecha trabajan tres recolectores (sin pernoctar en la finca) ¿Cuál sería el tamaño del tanque séptico que debe instalarse si la temperatura media de la finca es de 21°C?

Número de contribuyentes (N_c): cinco personas permanentes + tres personas temporales (los recolectores).

Contribución de aguas residuales (C): 100 L/hab-día para las personas permanentes (clase baja, por referirse a un predio rural) y 50 L/hab-día para las personas temporales (se toma el valor de oficinas temporales, por el horario de trabajo). Si las personas pernoctaran en la finca, el valor a tomar sería de 80 L/hab-día (alojamiento provisional), ver Tabla 7.

Contribución de lodo fresco (L_f): 1,0 L/hab-día para los permanentes y 0,2 L/hab-día para los temporales sin pernoctar. Si los recolectores pernoctaran en la finca, el valor a tomar sería de 1,0 L/hab-día (alojamiento provisional), ver Tabla 7.

Intervalo de limpieza: Se fija, por facilidad, un tiempo de limpieza de un año para la remoción del material sedimentado (lodos) del tanque séptico.

Tasa de acumulación de lodos digeridos (K): 57 días, valor tomado de la Tabla 8, para un intervalo de limpieza de un año y una temperatura superior a 20°C.

Tiempo de retención (T): Dado que las cinco personas permanentes generan $(5 \times 100) = 500$ L de agua residual/día y las tres personas temporales generan $(3 \times 50) = 150$ L de agua residual/día. La contribución total diaria sería de $500 \text{ L} + 150 \text{ L} = 650 \text{ L}$. En la Tabla 9, para una contribución menor a 1.500 L/d , el tiempo de retención es de un día.

$$V_U = 1.000 + (N_{C_{\text{permanentes}}} \times (C \times T + K \times L_F)) + N_{C_{\text{temporales}}} \times (C \times T + K \times L_F)$$

$$V_U = 1.000 + [5 \text{ hab} \times (100 \text{ L} / (\text{hab} - \text{día}) \times 1 \text{ día} + 57 \text{ día} \times 1,0 \text{ L} / (\text{hab} - \text{día})) + 3 \text{ hab} \times (50 \text{ L} / (\text{hab} - \text{día}) \times 1 \text{ día} + 57 \text{ día} \times 0,2 \text{ L} / (\text{hab} - \text{día}))] = 1.969 \text{ L} = 1,97 \text{ m}^3$$

$$V_U \text{ del tanque séptico: } 1,97 \text{ m}^3$$

Se requiere instalar un tanque séptico, con una capacidad mínima de $1,97 \text{ m}^3$. En el comercio se consiguen tanques de polietileno de $2,0 \text{ m}^3$ con una altura de $1,75 \text{ m}$, que pueden ser utilizados con este fin; teniendo en cuenta que el tanque adquirido debe tener una altura entre $1,2 \text{ m}$ y $2,2 \text{ m}$ para volúmenes útiles hasta de 6 m^3 (Tabla 6).

Metodología establecida en el Título J del RAS -2010

Para el cálculo del volumen útil (V_U) del tanque séptico (ver Figura 13) se utilizan los siguientes parámetros:

- **Volumen requerido para la sedimentación (V_{rs}):** volumen determinante del rendimiento del proceso de tratamiento, el cual a su vez es función del tiempo de retención hidráulica. Se expresa en metros cúbicos (m^3) y se calcula a partir de la Ecuación <4>.

$$V_{rs} = \frac{P \times Q \times t_d}{1.000} \quad \text{<4>}$$

Donde, P (número de personas aportantes), Q (aporte de aguas residuales L/hab-día), para este caso debe tomarse como valor el dato de la dotación adoptada por el RAS, según el nivel de complejidad del sistema (Tabla 9), con un coeficiente de retorno del 85%, es decir que, del total de agua usada en la vivienda, el 85% se genera como agua residual; y t_d el tiempo de retención hidráulica para los tanques sépticos, expresado en días y varía comúnmente entre 10 y 20 horas. En cualquier caso, el tiempo de retención hidráulica no deberá ser menor de 8 horas. Se calcula a partir de la Ecuación <5>.

$$t_d = 1,5 - 0,3 \log(P \times Q) \quad \text{<5>}$$

La altura de sedimentación (h_{rs}) se calcula a partir de la Ecuación <6>.

$$h_{rs} = \frac{V_{rs}}{A} \quad \text{<6>}$$

Siendo A = el área del tanque en (m^2). Esta altura requerida de sedimentación deberá ser como mínimo de $37,5 \text{ cm}$, de los cuales $7,5 \text{ cm}$ serán la distancia mínima entre la parte inferior de la

espuma sumergida y la parte inferior del dispositivo de salida. Los restantes 300 mm serán la distancia mínima entre la parte superior de los lodos y la misma parte inferior del dispositivo de salida.

Volumen para el almacenamiento de lodos (V_l). Se expresa en metros cúbicos (m^3) y se calcula a partir de la Ecuación <7>.

$$V_l = \frac{Tl \times P \times N}{1.000} \quad <7>$$

Tl = Tasa de acumulación de lodos en L/hab-año. La cantidad de lodos producidos por habitante por año depende de la temperatura ambiental y si al tanque séptico se descargan residuos de cocina. Los valores a considerar son: para clima cálido 40 L/hab-año y de 50 L/hab-año para clima frío. En caso de que al tanque séptico se lleven las descargas de las aguas grises, a los valores anteriores se les adicionará un valor de 20 L/hab-año.

P = Población aportante (número de personas aportantes).

N = Número asumido de años entre operaciones de limpieza. Se recomienda como mínimo dos años y como máximo seis años.

La altura de lodos (h_l) se calcula a partir de la Ecuación <8>.

$$h_l = \frac{V_l}{A} \quad <8>$$

Siendo A = el área del tanque en (m^2).

Volumen para el almacenamiento de natas y espumas no sumergidas (V_n). Se expresa en metros cúbicos (m^3) y se calcula a partir de la Ecuación <9>.

$$V_n = \frac{Tn \times P \times N}{1.000} \quad <9>$$

Donde

Tn = tasa de acumulación de natas en L/hab-año. El RAS establece como referencia un valor de 3,51 L/hab-año.

P = población aportante (número de personas aportantes).

N = número asumido de años entre operaciones de limpieza.

La altura de natas (h_n) se calcula a partir de la Ecuación <10>.

$$h_n = \frac{V_n}{A} \quad <10>$$

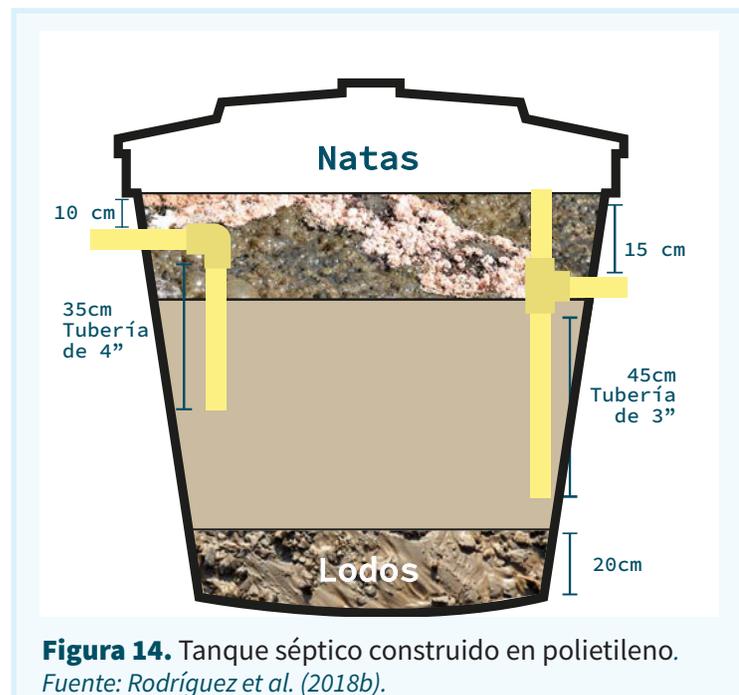
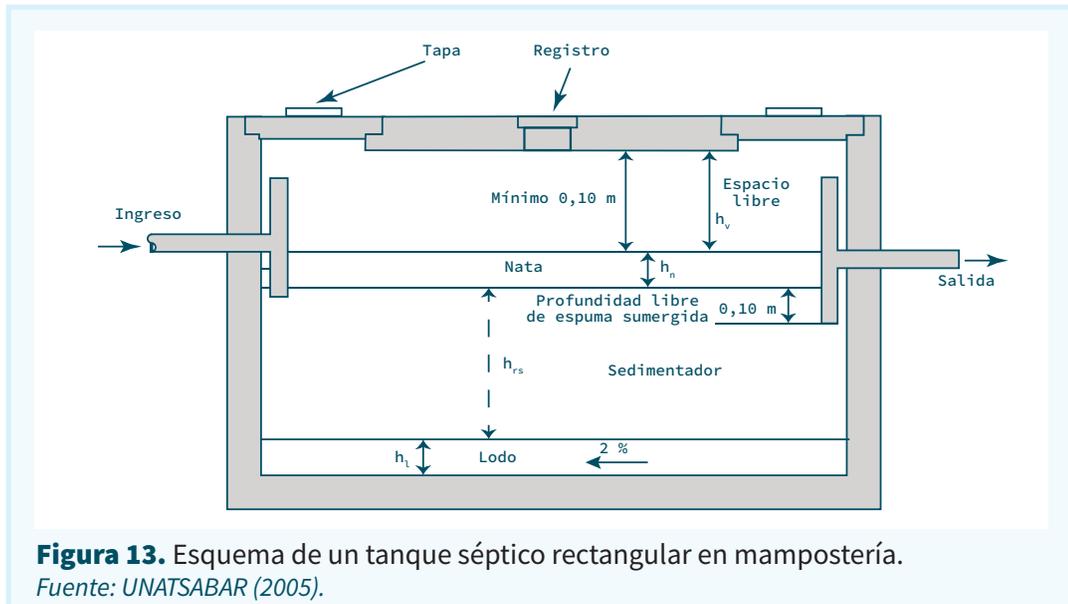
Siendo A = el área del tanque en (m^2).

Volumen para ventilación (V_v). Es el espacio sobre el nivel de líquido para almacenamiento de espumas y el techo del tanque séptico, o borde libre. Se recomienda que este borde libre tenga una altura entre 0,10 m y 0,15 m.

Volumen útil (V_u). Volumen resultante de sumar el volumen requerido para la sedimentación, el requerido para el almacenamiento de lodos, natas y espumas, y para ventilación. Se calcula a partir de la Ecuación <11>.

$$V_u = V_{rs} + V_l + V_n + V_v \quad <11>$$

Los tanques sépticos pueden construirse, entre otros materiales, en mampostería (Figura 13) y en polietileno (Figura 14).



Ejemplo del cálculo del volumen de un tanque séptico (Aplicando Título J, RAS - 2010).

Si en la vivienda de la finca, viven cinco personas permanentes y en época de cosecha trabajan tres recolectores (sin pernoctar en la finca) ¿Cuál sería el tamaño del tanque séptico que debe instalarse, si la temperatura media de la finca es de 21°C?

Número de aportantes (P): cinco personas permanentes + tres personas temporales = ocho personas.

Aporte de aguas residuales (Q): 90 L/hab-día (Tabla 10) para sitios ubicados por encima de los 1.000 m de altitud (caso de las fincas cafeteras) y para un nivel de complejidad del sistema de abastecimiento bajo (que aplica para las zonas rurales) y como debe considerarse un retorno como agua residual del 85% (es decir que, del agua utilizada en la vivienda, el 85% se genera como agua residual), el aporte de agua residual sería de $90 \times 0,85 = 76,5$ L/hab-día.

Tiempo de retención hidráulica (t_d): Se calcula a partir de la Ecuación <5>.

$$t_d = 1,5 - 0,3 \log(P \times Q) = 1,5 - 0,3 \log(8 \times 76,5) = 0,66 \text{ d}$$

Volumen requerido para la sedimentación (V_{rs}): Se calcula a partir de la Ecuación <4>.

$$V_{rs} = (P \times Q \times t_d) / 1.000 = (8 \times 76,5 \times 0,66) / 1.000 = 0,40 \text{ m}^3$$

Volumen para el almacenamiento de lodos (V_l): se calcula a partir de la Ecuación <7>.

$$V_l = (T_l \times P \times N) / 1.000$$

$T_l = 50 \text{ L/hab-año}$ (vivienda ubicada por encima de los 1.000 m de altitud) + 20 L/hab-año (ingresan al tanque séptico las aguas grises) = 70 L/hab-año .

$N = 2$. Para realizar mantenimiento al tanque séptico, cada 2 años (valor mínimo), según Título J, RAS-2010.

$$V_l = (T_l \times P \times N) / 1.000 = (70 \times 8 \times 2) / 1.000 = 1,12 \text{ m}^3$$

Volumen para el almacenamiento de natas y espumas no sumergidas (V_n): se calcula a partir de la Ecuación <9>.

$$V_n = (T_n \times P \times N) / 1.000$$

$T_n = 3,51 \text{ L/hab-año}$ según Título J, RAS-2010

$$V_n = (T_n \times P \times N) / 1.000 = (3,51 \times 8 \times 2) / 1.000 = 0,056 \text{ m}^3$$

Volumen para ventilación (V_v): El Título J, RAS - 2010, recomienda una altura mínima (h_v) de 0,10 m. El área promedio (A_v) de tanques cilíndricos en el mercado, para volúmenes entre 1,0 m³ y 2,0 m³ es de 1,0 m².

$$V_v = A_v \times h_v = 1 \times 0,10 = 0,10 \text{ m}^3$$

Volumen útil (V_u): Se calcula a partir de la Ecuación <11>.

$$V_u = V_{rs} + V_l + V_n + V_v = 0,40 + 1,12 + 0,056 + 0,10 = 1,68 m^3$$

Altura útil (h_u): se calcula sumando la altura del volumen requerido para sedimentación (Ecuación <6>), la altura del volumen de almacenamiento de lodos (Ecuación <8>), la altura del volumen para el almacenamiento de natas y espumas (Ecuación <10>) y la altura mínima para ventilación, establecida en 0,10 m. El área promedio (A) de tanques cilíndricos en el mercado, para volúmenes entre 1,0 m³ y 2,0 m³ es de 1,0 m².

Tabla 10. Dotación por habitante según el nivel de complejidad del sistema. *Fuente: Título B, RAS -2010*

Nivel de complejidad* del sistema	Dotación neta (L/hab-día) Clima templado y frío	Dotación neta (L/hab-día) Clima cálido**
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

(*) El nivel de complejidad del sistema se define con base en la población y su capacidad económica (ver Tabla 11).

(**) Se considera como clima cálido aquella zona del territorio nacional que se encuentre por debajo de los 1.000 m de altitud.

Tabla 11. Nivel de complejidad. *Fuente: MA (2000).*

Nivel de complejidad del sistema	Población zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2.500	Baja
Medio	2.501 a 12.500	Baja
Medio alto	12.501 a 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Instalación del tanque séptico

Para la instalación del tanque séptico se hace una excavación en un sitio de fácil acceso, si el tanque se va a enterrar parcial o completamente, teniendo en cuenta la posición de los orificios de entrada (más alto) y salida (más bajo del tanque). Sobre el fondo de la misma, debe vaciarse una cama de arena libre de rocas angulares, nivelada y compactada sobre la cual se apoyará el tanque. Se procede a realizar las conexiones entre los accesorios de PVC. Para equilibrar presiones, en las paredes del tanque plástico y evitar su deformación, debe llenarse el tanque con agua hasta el nivel inferior de la tubería de salida y seguidamente en el espacio comprendido entre las paredes del tanque y las de la excavación, deben adicionarse sucesivamente capas de arena compactadas una a una con un pisón.

El diámetro de la tubería de entrada debe ser mínimo de 4", a través de un codo, y el diámetro de la tubería de salida de por lo menos de 3", a través de una "T". El extremo final del tubo de entrada debe estar sumergido, por lo menos, 0,35 m. El tubo de salida debe estar sumergido por lo menos 0,45 m. La distancia entre los dispositivos de entrada y salida debe ser lo suficiente para retener la grasa y evitar que este material sea arrastrado con el efluente, con la mínima turbulencia, para permitir la flotación de la grasa y su diferencia de nivel de por lo menos de 5,0 cm.

El tamaño, la forma y la disposición de los tubos de entrada y salida del tanque séptico están diseñados para que las aguas con excretas permanezcan en el tanque entre 12 y 24 horas, con el fin de que se efectúen procesos bioquímicos y físicos que permitan el apropiado tratamiento de las aguas residuales.

Para los tanques sépticos semienterrados o instalados sobre la superficie del suelo se recomienda que sean negros para aprovechar de forma eficiente la energía solar que reciben.

Resultados experimentales de evaluación de tanques de polietileno negro con aditivo UV (que los protege de los rayos ultravioleta), semienterrados o instalados sobre la superficie, han mostrado una vida útil superior a 25 años, sin que se evidencien daños por condiciones ambientales.

En caso de que, por economía, se instalen varios tanques sépticos para cubrir el volumen total de la unidad séptica (por ejemplo, utilizar dos tanques de 1,0 m³, en lugar de un tanque de 2,0 m³), debe asegurarse que los tanques utilizados tengan la altura y el área exigidos por el RAS, y deben de instalarse en paralelo (Figura 15), es decir, debe procurarse que a todos ellos les ingrese, a la vez, el mismo caudal de agua residual. Para lograr este aspecto será necesario instalar una recámara de distribución previa, a la cual llegaría el agua residual de las unidades sanitarias y las aguas grises provenientes de la trampa de grasa.



Figura 15. Tanques sépticos semienterrados, instalados en paralelo, en la Estación Experimental Naranjal. *Fuente: Rodríguez et al. (2018b).*

Materiales y herramientas necesarios para la instalación del tanque séptico

- Un tanque de polietileno o construido en mampostería en ladrillo y cemento, con el volumen apropiado, de acuerdo con el número de personas permanentes y temporales de la vivienda, con su respectiva tapa y una altura mínima de acuerdo a lo establecido en la Tabla 6.
- Un codo interno de PVC-S de 4" para la entrada.
- Una Tee interna de PVC-S de 3" para la salida.
- Un tubo interno de PVC-S de 4" y 0,35 m de largo, para la entrada.
- Un tubo interno de PVC-S de 3" y 0,45 m de largo, para la salida.

Si el tanque séptico se instala utilizando un tanque comercial en polietileno, es posible que no tenga los agujeros para el ingreso y la salida del agua residual o que sus perforaciones sean inferiores a 3", por lo tanto, se requiere:

- Taladro eléctrico o inalámbrico.
- Broca sierra de 3" y 4".
- Masilla epóxica ultrafuerte para sellar los bordes de los agujeros de ingreso y salida del agua residual.
- Soldadura y limpiador PVC.

Materiales complementarios para la instalación del tanque séptico

Si el tanque séptico se instala enterrado o semienterrado en el terreno, se requiere:

- Realizar una excavación en un sitio de fácil acceso, teniendo en cuenta la posición de los orificios de entrada (más alto) y salida (más bajo del tanque). Sobre el fondo de la misma, debe vaciarse una cama de arena libre de piedras angulares, de aproximadamente 5,0 cm, nivelada y compactada sobre la cual se apoyará el tanque.
- Para equilibrar presiones en las paredes del tanque plástico y evitar su deformación, debe llenarse el tanque con agua hasta el nivel inferior de la tubería de salida y luego, entre el espacio comprendido por las paredes del tanque y las paredes de la excavación, se dispondrán sucesivamente capas de arena compactadas una a una con pisón.

Los tanques sépticos no pueden instalarse en serie, es decir, que toda el agua residual llegue a un tanque y de allí pase al siguiente, pues el primer tanque colapsaría rápidamente porque allí sedimentaría la mayoría de los lodos.

Operación y mantenimiento (MinDesarrollo, 2000).

Los lodos y las espumas acumuladas deben ser removidos en intervalos equivalentes al período de limpieza del proyecto, el cual con frecuencia se establece en un año. Estos intervalos pueden ampliarse o disminuirse, siempre que las alteraciones sean justificadas y no afecten los rendimientos de operación ni se presenten olores indeseables.

Debe realizarse una remoción periódica de lodos por personal capacitado, que disponga del equipo adecuado, para garantizar que no haya contacto entre el lodo y las personas. Antes de cualquier operación en el interior del tanque, la cubierta debe mantenerse abierta durante un tiempo suficiente (>15 min.) para la remoción de gases tóxicos o explosivos.

En ningún caso los lodos removidos pueden arrojarse a cuerpos de agua. En zonas aisladas, los lodos pueden disponerse en lechos de secado (que se describen más adelante). Los lodos secos pueden disponerse en rellenos sanitarios o en campos agrícolas, cuando estos últimos no estén dedicados al cultivo de hortalizas, frutas o legumbres que se consuman crudas.

Es recomendable retirar anualmente las natas y el lodo en exceso acumulado en el tanque séptico; para retirar los lodos se aconseja utilizar un dispositivo de sifón invertido, como el que se detalla más adelante.

Las natas retiradas deben mezclarse con cal apagada en relación 1:1 y disponer la mezcla en los procesadores de pulpa de café, para su compostaje y obtención de abono orgánico.

Eliminación de lodos (Rodríguez et al., 2018).

La eliminación de los lodos sedimentados en el tanque séptico es una de las labores de mantenimiento más importantes para el buen funcionamiento del sistema séptico, pues la oportuna eliminación de los mismos contribuye a disminuir la colmatación del filtro anaerobio que se instala a continuación del tanque séptico, disminuye la generación de malos olores en el tanque séptico y permite mantener la capacidad de almacenamiento y el tiempo de retención del agua residual en el tanque séptico.

Para facilitar esta práctica, Cenicafé ha evaluado, la eliminación de lodos con el principio del sifón invertido (Figura 16).



Figura 16. Dispositivo de sifón invertido para la eliminación de lodos del tanque séptico. *Fuente: Rodríguez et al. (2018b).*

En la parte interna del tanque séptico, junto a una de las paredes se ubica un tubo en PVC-P de 1½” que llegue desde el borde superior del tanque hasta 20 cm antes del fondo y con un corte a 45° en el extremo inferior (Figura 17A).

En el extremo superior se acopla un codo de PVC-P de 1½” seguido de un tubo de 8,0 cm de longitud PVC-P de 1½”, de un adaptador hembra de PVC-P de 1½” y de una arandela de neolite con perforación interna de 1½”, cuya parte lisa se coloca en contacto con la pared interna del tanque, a la cual se le realiza una perforación interna de 1½”. Hacia la pared externa del tanque, junto al orificio realizado, se coloca otro empaque de neolite (de las mismas características anteriores), con la parte lisa en contacto con la pared externa del tanque, un adaptador macho de PVC-P de 1½” seguido de un tubo de 12,0 cm de longitud de PVC-P de 1½” y un tapón liso de PVC-P de 1½”. Este dispositivo de salida permanece así hasta el momento de realizar la evacuación de lodos.

Aparte, se construye el dispositivo externo de eliminación de lodos (Figura 17B) que se acoplará al tapón liso que se encuentra ubicado en la parte externa del tanque séptico, el cual consta de una Tee de PVC-P de 1½” y un tubo de 15,0 cm de longitud de PVC-P de 1½” colocado en la parte central de la Tee. A continuación, en uno de los extremos de la Tee se acopla un tubo de 8,0 cm de longitud de PVC-P de 1½”, un codo de PVC-P de 1½”, un tubo de PVC-P de 1½” que llegue hasta el suelo, un codo de PVC-P de 1½” y un tubo de PVC-P de 1½” de 20 cm de longitud, al cual se acopla un adaptador hembra de PVC-P de 1½”, seguido de un adaptador macho de polietileno de 1½” y una manguera de polietileno de 1½”, cuya longitud depende del sitio final de disposición de lodos.



Figura 17. Dispositivo de eliminación de lodos del tanque séptico A. Tubo interno 20 cm por encima del fondo del tanque. B. Acople del dispositivo externo de conducción de lodos. C. Purga del dispositivo utilizando agua. D. Aspecto de los lodos extraídos. *Fuente: Rodríguez et al. (2018b).*

En el extremo final de la manguera se acopla un adaptador macho de polietileno de 1½”, un adaptador hembra de PVC-P de 1½”, un tubo de 20 cm de longitud de PVC-P de 1½” y una llave de paso lisa de PVC-P de 1 ½” para controlar la salida del lodo.

Para la eliminación de los lodos se retira el tapón liso ubicado en la parte externa del tanque séptico, se acopla el dispositivo externo descrito anteriormente, acoplando el tapón liso, retirado, sobre la tubería ubicada en la parte central de la Tee, como se muestra en la Figura 17C. Luego se retira el tapón liso ubicado encima de la “T” y se adiciona agua para purgar el sistema (Figura 17C), teniendo la precaución de tener cerrada la llave de paso. Cuando el agua llene toda la tubería se coloca de nuevo el tapón y se abre la llave de paso para retirar los lodos (Figura 17D).

Materiales necesarios para la construcción del dispositivo de sifón invertido

- Tres codos de PVC-P de 1½”
- Un adaptador macho de PVC-P de 1½”
- Tres adaptadores hembra de PVC-P de 1½”
- Una Tee de PVC-P de 1½”
- Dos adaptadores machos de polietileno de 1½”
- Manguera de polietileno de 1½” que llegue desde el tanque séptico hasta los lechos de secado de lodos.
- Un tapón liso de PVC-P de 1½”
- Una llave de paso lisa de 1½”
- Tubería de PVC-P de 1½”
- Cinta de teflón
- Dos empaques en neolite con perforación interna de 1½”

Para el manejo de los lodos extraídos del tanque séptico se recomienda la construcción de lechos de secado de lodos.

Lechos de secado de lodos (MinDesarrollo, 2000). Son construcciones que permiten eliminar una cantidad suficiente de agua de los lodos retirados del tanque séptico, para que estos puedan ser manejados como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70%. Es necesario construirlos aguas abajo del tanque séptico, con el fin de poder conducir los lodos por gravedad desde el tanque séptico hasta el lecho de secado de lodos.

Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo removido del tanque séptico. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros.

Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0,5 y 0,9 m por encima de la arena o del ladrillo. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores. En la Tabla 12 aparecen los valores de área requerida en metros cuadrados (m²) por habitante, según el tipo de lodo a secar, y en la Tabla 13 los valores de carga superficial que se deben usar.

Se recomienda utilizar como medios de drenaje, capas de grava con espesores entre 20 y 46 cm, y capas de arena con espesores entre 30 y 46 cm. Las partículas de grava deben presentar un

Tabla 12. Área requerida según la fuente del lodo y el cubrimiento del lecho. *Fuente: MinDesarrollo, 2000.*

Fuente inicial de lodos	Área (m ² /hab) (lecho sin cobertura)	Área (m ² /hab) (lecho con cobertura)
Primario	0,07 – 0,14	0,05 – 0,09
Primario más químicos	0,14 – 0,23	0,09 – 0,173
Primario más filtros percoladores de tasa baja	0,12 – 0,17	0,086 – 0,145
Primario más lodos activados de desecho	0,16 – 0,51	0,094 – 0,156

Tabla 13. Valores de tasa de carga másica superficial. *Fuente: MinDesarrollo, 2000.*

Fuente inicial de lodos	kg m ² -año ⁻¹
Primario	134
Primario más químicos	110
Primario más filtros percoladores de baja tasa	110
Primario más lodos activados de desecho	73

diámetro entre 3 y 25 mm. La arena debe tener partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño, con un tamaño de partícula entre 0,30 y 0,75 mm.

Una vez determinada el área necesaria para el secado de los lodos, se determina el ancho y largo de los lechos (de acuerdo con el área disponible en el terreno). Se realiza la excavación de 1,0 m de profundidad, se impermeabiliza el fondo y las paredes con plástico calibre 8 o geomembrana de 20 mils (0,50 mm), se ubica un tubo de aireación de PVC-S de 4" y se adiciona, al lecho, 22,5 cm de capa de grava, 22,5 cm de capa de arena y una capa de ladrillo de 5 cm de espesor, quedando 50 cm libres para la disposición y secado de los lodos.

Al tubo de PVC-S de 4", que se coloca en la parte inferior de la excavación, se le realizan perforaciones de 3/16", separados cada centímetro, hasta cubrir la mitad del diámetro, por el largo total del tubo. Las perforaciones deben quedar orientadas hacia la parte de arriba, para capturar el agua que drena de los lodos, la parte del tubo sin perforar queda orientada hacia abajo, sirviendo de canal de conducción del agua drenada para conducirla afuera del lecho de secado, con una pendiente del 1,0%. El agua drenada de los lechos de secado, debe ser recolectada en un tanque y recirculada a los lechos hasta su agotamiento total, o llevarla a un filtro verde para su tratamiento y agotamiento, o disponerla de nuevo en el sistema séptico para su tratamiento.

Con el fin de permitir el ingreso de aire al lecho de secado y favorecer el proceso de deshidratación de los lodos, al tubo de drenaje se le coloca, un semicodo en el extremo inicial,

y a este se acopla un tubo PVC-S, de forma que llegue hasta el nivel superior de la excavación. La cubierta proporciona un techo al lecho de secado. La necesidad de utilizarla depende de las condiciones ambientales de la zona. Su uso se recomienda en zonas de alta precipitación, siendo conveniente mantener las ventilaciones cerradas durante la etapa de escurrimiento, para mantener la temperatura, y abrirlas durante la etapa de evaporación para que se renueve el aire.

En la Figura 18 se presenta la secuencia de construcción de los lechos de secado. Debe realizarse una operación y mantenimiento a los lechos, que contemple, entre otros, los siguientes aspectos:



Figura 18. Construcción de un lecho de secado de lodos. Fuente: Rodríguez et al. (2018b).

1. Control de olores,
2. Control de las dosificaciones,
3. Operación bajo condiciones de carga mínima y máxima,
4. Programa de inspección periódico,
5. Control de insectos y crecimiento de plantas y
6. Manejo de la torta de lodos seca.

La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros ya secos o parcialmente secos.

La torta que tenga un contenido de humedad de 60% a 70%, puede retirarse con palas o rastrillos, utilizando carretilla de mano, cuando sea necesario, tendiendo tablones sobre el lecho, a modo de andén. Después de retirar los lodos, el lecho debe prepararse para la siguiente carga. Debe reponerse la arena que se haya perdido en limpiezas anteriores.

Ejemplo del cálculo del área de secado de lodos (Aplicando Título E, RAS - 2000).

Si en la vivienda de la finca, viven cinco personas permanentes y en época de cosecha trabajan tres recolectores (sin pernoctar en la finca) ¿Cuál sería el área para secado de lodos que debe instalarse, si la temperatura media de la finca es de 21°C?

Número de contribuyentes (N_c): cinco personas permanentes + tres personas temporales (los recolectores).

Para zonas con alta pluviosidad que requieran la construcción de una cubierta

Área requerida por persona: de la Tabla 12, para el manejo de lodos provenientes de un tratamiento primario, más lodos activados de desecho (que es lo que ocurre en un tanque séptico) y con lechos con cobertura, se toma el mayor valor asignado, es decir, 0,156 m²/hab.

Área requerida total = personas aportantes al tanque séptico x Área requerida por persona.

Área requerida total = 8 Personas aportantes al tanque séptico x 0,156 m²/persona = 1,25 m².

El área total requerida para el manejo y secado de los lodos del tanque séptico en una finca en la cual se requiera cubierta es de 1,25 m².

Para zonas que no requieran la construcción de una cubierta

Área requerida por persona: de la Tabla 12, para el manejo de lodos provenientes de un tratamiento primario, más lodos activados de desecho (que es lo que ocurre en un tanque séptico) y con lechos sin cobertura, se toma el mayor valor asignado, es decir, 0,51 m²/hab.

Área requerida total = Personas aportantes al tanque séptico x Área requerida por persona.

Área requerida Total = 8 Personas aportantes al tanque séptico x 0,51 m²/persona = 4,1 m².

El área total requerida para el manejo y secado de los lodos del tanque séptico en una finca en la cual no se requiera de cubierta es de 4,1 m².

Nota: Cuando el área requerida para el secado de los lodos sea menor a 1 m², se pueden adaptar tanques comerciales en polietileno de 750 L de capacidad, con diámetros, en la parte superior, de 1,25 m y en la base de 0,92 m y una altura de 1,02 m, para que operen como lechos de secado (Figura 19).

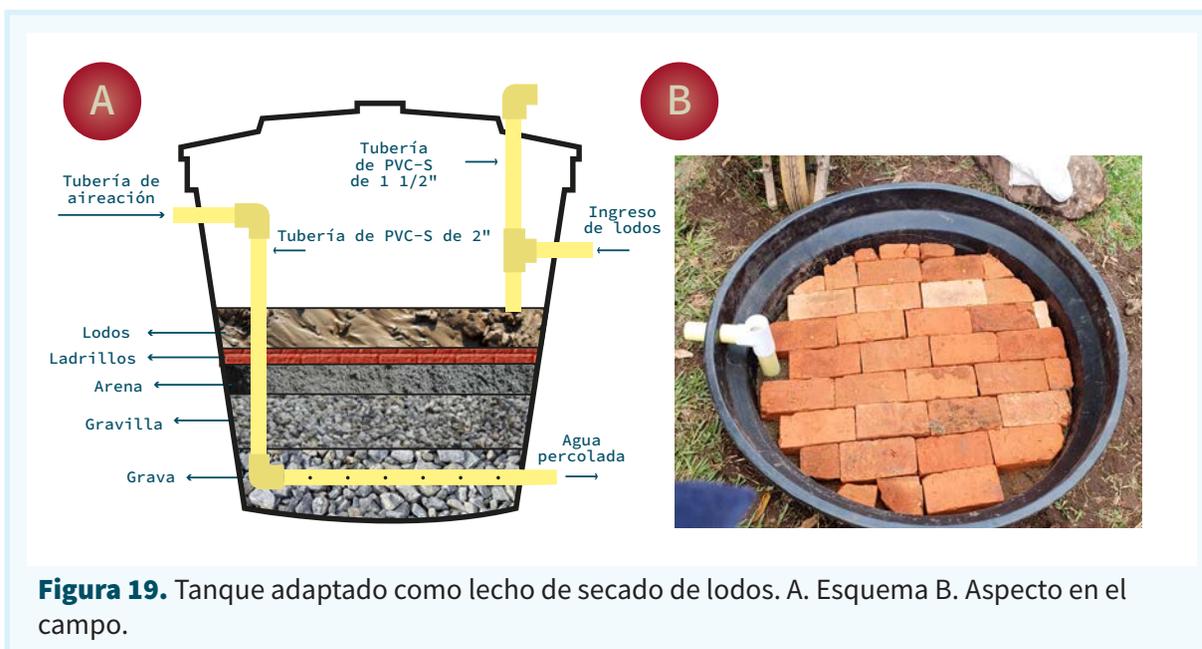


Figura 19. Tanque adaptado como lecho de secado de lodos. A. Esquema B. Aspecto en el campo.

Materiales y herramientas necesarios para la instalación de un lecho de secado de lodos que incluya una excavación

- Dos codos de PVC-P de 1½”.
- Un semicodo de PVC-S de 4”.
- Un adaptador macho de PVC-P de 1½”.
- Un adaptador hembra de PVC-P de 1½”y una unión PVC-S de 4”.
- Tubería de PVC-S de 1½”.
- Una reducción de 4” a 1½”.
- Tubería de PVC-S de 4”.
- Cinta de teflón.
- Dos empaques en neolite con perforación interna de 1½”.
- Plástico agrolene negro calibre 8 o geomembrana de 20 mils (0,50 mm) de espesor
- Grava con diámetro entre 12 mm y 25 mm.
- Gravilla con diámetro entre 3 mm y 12 mm.
- Arena con diámetro entre 0,3 mm y 0,75 mm.
- Opcional, ladrillo macizo de 20 cm x 10 cm x 6 cm.
- Tanque en polietileno para recolección de drenados.
- Plástico, guadua, lata de guadua, amarras y puntilla para la construcción del techo.
- Taladro eléctrico o inalámbrico.
- Broca sierra para perforaciones de 1 ½”.
- Llaves cadena o llaves para agua.
- Broca de 3/16”.

Materiales para la instalación de un lecho de secado de lodos utilizando un tanque de polietileno

Si el lecho de secado de lodos se instala utilizando un tanque comercial en polietileno, es posible que no tenga los agujeros para el ingreso de lodos y la salida de los drenados o que sus perforaciones sean inferiores a 2”, por lo tanto, se requiere:

- Broca sierra para perforación de 2”.
- Tubería PVC-S de 2”
- Tubería PVC-S de 1 ½”
- 2 codos PVC-S de 2”
- 1 codo PVC-S de 1 ½”
- Una reducción PVC-S de 2” a 1 ½”
- 2 adaptadores macho PVC-P de 1 ½”
- 2 adaptadores hembra PVC-P de 1 ½”
- 4 arandelas de neolite con perforación interna de 1 ½”
- 1 Tee de PVC-S de 1 ½”
- Grava, Gravilla, Arena, Ladrillo

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Dado que en el tanque séptico ocurre, principalmente, una separación líquido-sólido, su eficiencia de eliminación de la carga orgánica contaminante de las aguas residuales domésticas está alrededor del 30%-40% (MinDesarrollo, 2000), siendo necesario realizarle un tratamiento posterior al agua de salida del tanque séptico, con el fin de lograr el cumplimiento de los valores máximos admisibles permitidos en los diversos parámetros establecidos por la normativa colombiana para descargas al suelo y a cuerpos de agua superficiales.

Una de las opciones técnicas y económicas para realizar este tratamiento es el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) que consiste en un tanque de polietileno o construido en ladrillo y mampostería, empacado con material filtrante, el cual puede, al igual que el tanque séptico, estar enterrado, semienterrado o sobre la superficie. El agua residual proveniente del tanque séptico ingresa por el fondo del tanque y asciende a través del medio filtrante, sobre el cual se establecen microorganismos anaerobios, encargados de realizar un tratamiento biológico al agua residual pre-tratada en el tanque séptico, eliminando entre el 60%-80% de la carga orgánica contaminante que ingresa a la unidad (MinDesarrollo, 2000). El agua tratada sale hacia el exterior por la parte alta del FAFA. El efluente podrá ser dirigido a un humedal artificial (cuando sea necesario para dar cumplimiento a una normativa local más restrictiva) y luego a un campo de infiltración. El filtro anaerobio se instala recibiendo las aguas provenientes del tanque séptico.

La tubería de salida del FAFA debe estar localizada a una distancia máxima de 0,20 m por debajo del nivel del filtro. La tubería efluente del tanque séptico, entra al filtro y mediante una Tee con tapón roscado en la salida superior, desciende verticalmente hasta entrar en el fondo del FAFA. El agua descargada allí se distribuye uniformemente en el fondo y sube filtrándose a través del medio filtrante, creando un flujo ascendente a través del lecho para finalmente salir en dirección al campo de infiltración para cumplir el grado de tratamiento exigido (MINVIVIENDA, 2010).

Los diámetros mínimos de entrada y salida para un filtro anaerobio de flujo ascendente son de 3". Al igual que los tanques sépticos, el filtro FAFA deberá estar dotado de por lo menos una tapa de inspección, ubicado lo más cercano posible al tapón colocado en la Tee, con el fin de facilitar la limpieza de la tubería que desciende al fondo y también para cuando sea necesario introducir por allí agua limpia a presión para lavar el lecho filtrante (MINVIVIENDA, 2010).

Diseño del filtro anaerobio

El volumen útil del filtro anaerobio se calcula de acuerdo a la [Ecuación <12>](#), recomendada en el MinDesarrollo (2000).

$$V_f = 1,60 \times N_c \times C \times T \quad <12>$$

Donde:

V_f : volumen útil, m³.

N_c : número de contribuyentes.

C : contribución de aguas residuales por habitante (L día⁻¹).

T : tiempo de retención en días.

De acuerdo con el artículo 175 de la Resolución 0330 del 2017, el lecho filtrante del FAFA puede estar constituido por un lecho de grava, con un volumen de 0,02 a 0,04 m³ por cada 0,1 m³/día de aguas residuales que se van a tratar o también puede emplearse material filtrante plástico, utilizando la mitad del volumen anterior.

Se recomienda llenar el filtro anaerobio con cualquiera de los siguientes medios filtrantes:

- Trozos de manguera de polietileno reciclado de baja densidad de 1" a 2" de diámetro y de 10 cm de longitud (Figura 20A).
- Botellas plásticas no retornables entre 2,0 y 2,5 L de capacidad, partidas en tercios. Al tercio final se le realiza una perforación de 2,5 cm para evitar el estancamiento del líquido en su interior (Figura 20B).
- Grava, con un diámetro comprendido entre los 5,0 y los 6,0 cm (Título J, RAS 2010) (Figura 20C).
- Rosetones plásticos filtrantes. Anillos de polipropileno con 20 cavidades, 78 g/unidad, con un diámetro exterior de 185 mm por una cara y de 175 mm por la otra cara, con una altura de 50 mm (Figura 20D).

Para el diseño del FAFA se requiere conocer los datos de porosidad y la superficie específica de los medios filtrantes, los cuales se presentan en la Tabla 14.

Con el valor de la porosidad del medio filtrante se calcula el volumen efectivo del filtro anaerobio (FAFA), dividiendo el volumen útil (V_f) entre el valor de la porosidad como fracción (Ecuación <13>).

$$V_{(total\ FAFA)} = \frac{V_f}{\text{Porosidad como fracción}} \quad <13>$$

La ventaja que muestran los medios filtrantes plásticos respecto a la grava, es que por tener una mayor porosidad, el volumen total del tanque anaerobio (FAFA) es menor, a la vez que muchos de los medios filtrantes plásticos presentan un área superficial mayor a la grava (áreas superficiales mayores a 100 m²m⁻³), ofreciendo una gran superficie para la colonización por parte de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales domésticas, aumentando la eficiencia del sistema de tratamiento.

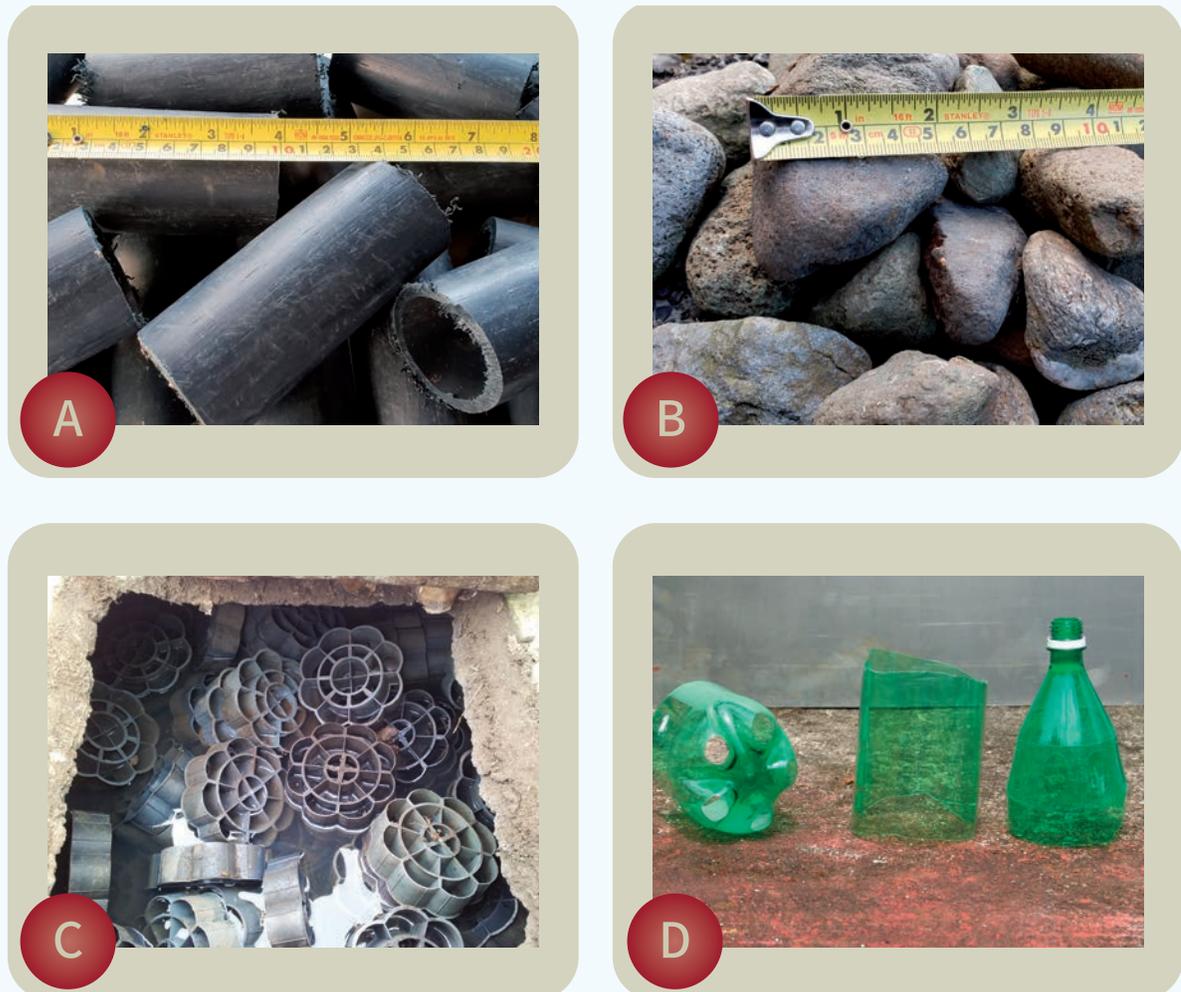


Figura 20. Medios filtrantes utilizados en los FAFA. A. Trozos de manguera de polietileno reciclado de baja densidad. B. Grava de 5 a 6 cm de diámetro. C. Rosetón plástico filtrante. D. Trozos de botellas plásticas no retornables.

Tabla 14. Características de algunos medios filtrantes usados en los FAFA.

Material filtrante	Porosidad (%)	Área superficial ($m^2 m^{-3}$)	Referencia
Trozos de botellas plásticas no retornables	98,7	51,7	Zambrano et al. (2015)
Trozos de manguera de polietileno reciclado de baja densidad	78,0	170,8	Rodríguez (1994)
Grava entre 5,0 cm y 6,0 cm de diámetro	45,0	98-130	Rodríguez (2009)
Rosetones plásticos filtrantes	95,0	102,0	MADS (2020)

Otra ventaja adicional es que el material filtrante, por su menor peso y mayor porosidad, ejercerá una menor carga sobre el tanque utilizado como filtro, incrementando su vida útil y facilitando su operación y mantenimiento, y disminuyendo la probabilidad de taponamientos, colmatación y cortocircuitos hidráulicos.

En caso de que, por economía, se instalen varios filtros anaerobios de flujo ascendente para cubrir el volumen total de esta unidad (por ejemplo, utilizar dos tanques de 1,0 m³, en lugar de un tanque de 2,0 m³), debe asegurarse que los tanques utilizados tengan la altura y el área exigidos por el RAS y deben de instalarse en paralelo (Figura 21), es decir, se debe procurar que a todos ellos les ingrese, a la vez, el mismo caudal de agua residual. Para lograr este aspecto será necesario instalar una recámara de distribución previa, a la cual llegaría el agua residual del tanque séptico.

Los filtros anaerobios de flujo ascendente no deben instalarse en serie, es decir, que toda el agua residual llegue a un tanque y de allí pase al siguiente, pues el primer tanque se colmataría primero que los siguientes, porque allí quedarían retenidos la mayoría de los sólidos suspendidos.

Investigaciones realizadas en Cenicafé, evaluando varios tipos de material de empaque para filtros anaerobios de flujo ascendente de 5,0 m³ de capacidad, tales como trozos de guadua de 10,0 cm de diámetro y 15,0 cm de longitud, tercios de botellas PET (polietileno tereftalato) de 2,0 L y tusas de maíz, operando con aguas residuales domésticas en la Estación Experimental Naranjal, mostraron el desempeño condensado en la Tabla 15, en la remoción de la carga orgánica expresada como DQO y SST.

Los resultados condensados en la Tabla 15, muestran que los medios filtrantes plásticos, como en este caso los tercios de botellas plásticas no retornables, mostraron los mejores rendimientos



Figura 21. FAFAs semienterrados, instalados en paralelo, en la Estación Experimental Naranjal.
Fuente: Rodríguez et al. (2018b).

Ejemplo del cálculo del volumen de un filtro anaerobio (FAFA) (Aplicando MINVIVIENDA, 2000).

Si en la vivienda de la finca, viven cinco personas permanentes y en época de cosecha trabajan tres recolectores (sin pernoctar en la finca) ¿Cuál sería el tamaño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) que debe instalarse, si la temperatura media de la finca es de 21°C?

Número de contribuyentes (N_c): cinco personas permanentes + tres personas temporales (los recolectores).

Contribución de aguas residuales (C): 100 L/hab-día para las personas permanentes (clase baja, por referirse a un predio rural) y 50 L/hab-día para las personas temporales (se toma el valor de oficinas temporales, por el horario de trabajo). Si las personas pernoctaran en la finca, el valor a tomar sería de 80 L/hab-día (alojamiento provisional), ver Tabla 7.

Tiempo de retención (T): Dado que las cinco personas permanentes generan $(5 \times 100) = 500$ L de agua residual/día y las tres personas temporales generan $(3 \times 50) = 150$ L de agua residual/día. La contribución total diaria sería de $500 \text{ L} + 150 \text{ L} = 650 \text{ L}$. En la Tabla 9, para una contribución menor a 1.500 L/día, el tiempo de retención es de un día.

$V_f =$ Volumen útil del filtro anaerobio.

$V_f = 1,6 \times (5 \times 100 + 3 \times 50) \times 1$ Para su cálculo se utiliza la Ecuación <12>.

$$V_f = 1,6 \times (N_{C \text{ permanentes}} \times C_{\text{ permanentes}} + N_{C \text{ temporales}} \times C_{\text{ temporales}}) \times T$$

$$V_f = 1,04 \text{ m}^3$$

El volumen útil del filtro anaerobio sería de $1,04 \text{ m}^3$

Volumen total del FAFA si se utiliza como medio filtrante grava.

$V_{\text{totalFAFA}} =$ volumen efectivo del filtro anaerobio / porosidad de la grava, como fracción

Para su cálculo se utiliza la Ecuación <13>.

De la Tabla 14 se tiene que la porosidad de la grava es del 45%, para expresarla como fracción se divide entre 100, es decir $45/100$ y se obtiene 0,45

$$V_{\text{totalFAFA}} = 1,04 \text{ m}^3 / 0,45 = 2,3 \text{ m}^3 \text{ El volumen total del filtro anaerobio sería de } 2,3 \text{ m}^3$$

Se requiere instalar un filtro anaerobio, con una capacidad mínima de $2,3 \text{ m}^3$. En el comercio no se consiguen tanques de polietileno de $2,3 \text{ m}^3$ y, por lo tanto, sería necesario instalar un tanque de $3,0 \text{ m}^3$.

Volumen total del FAFA si se utiliza como medio filtrante trozos de manguera de polietileno

De la Tabla 14 se tiene que, la porosidad de los trozos de manguera de polietileno es del 78%, para expresarla como fracción se divide entre 100, es decir 78/100 y se obtiene 0,78

$$V_{totalFAFA} = 1,04 \text{ m}^3 / 0,78 = 1,3 \text{ m}^3$$

El volumen total del filtro anaerobio sería de 1,3 m³

Se requiere instalar un filtro anaerobio, con una capacidad mínima de 1,3 m³. En el comercio no se consiguen tanques de polietileno de 1,3 m³ y, por lo tanto, sería necesario instalar un tanque de 2,0 m³.

Tabla 15. Eficiencia de FAFA con diferentes medios filtrantes en la remoción de carga orgánica. Fuente: Adaptado de Rendón (2014).

Muestra	Trozos de guadua	Trozos de botellas PET	Tusas de maíz	Trozos de guadua	Trozos de botellas PET	Tusas de maíz
	Remoción DQO (%)			Remoción SST (%)		
1	68,59	82,95	31,48	52,31	96,10	61,11
2	81,40	85,63	80,90	58,33	92,86	40,82
3	51,06	93,40	77,65	87,65	84,95	66,67
4	90,63	59,71	92,24	87,67	56,67	94,36
5	77,29	95,16	33,82	78,31	97,08	15,38
6	64,31	65,13	75,53	94,87	57,14	84,00
7	86,52	80,75	84,67	92,94	88,24	94,44
Promedio	74,26	80,39	68,04	78,87	81,86	65,25

en la eliminación de carga orgánica expresada como DQO (porcentaje de remoción del 80,39%) y como SST (porcentaje de remoción del 81,86%).

De acuerdo con lo establecido en el Título E del RAS (Minvivienda, 2000), los filtros anaerobios de flujo ascendente empacados con grava, permitieron una eliminación de la carga orgánica entre el 60% y el 80%. En la presente evaluación, los filtros anaerobios de flujo ascendente empacados con trozos de guadua y tusas de maíz, tuvieron eficiencias de remoción en el rango de la grava, con la ventaja de ejercer una menor carga sobre el tanque utilizado como filtro.

El filtro anaerobio de flujo ascendente empacado con tercios de botellas plásticas no retornables tuvo eficiencias de remoción de carga orgánica por encima del rango de la grava. En la Figura 22 se presenta las características que debe tener un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).

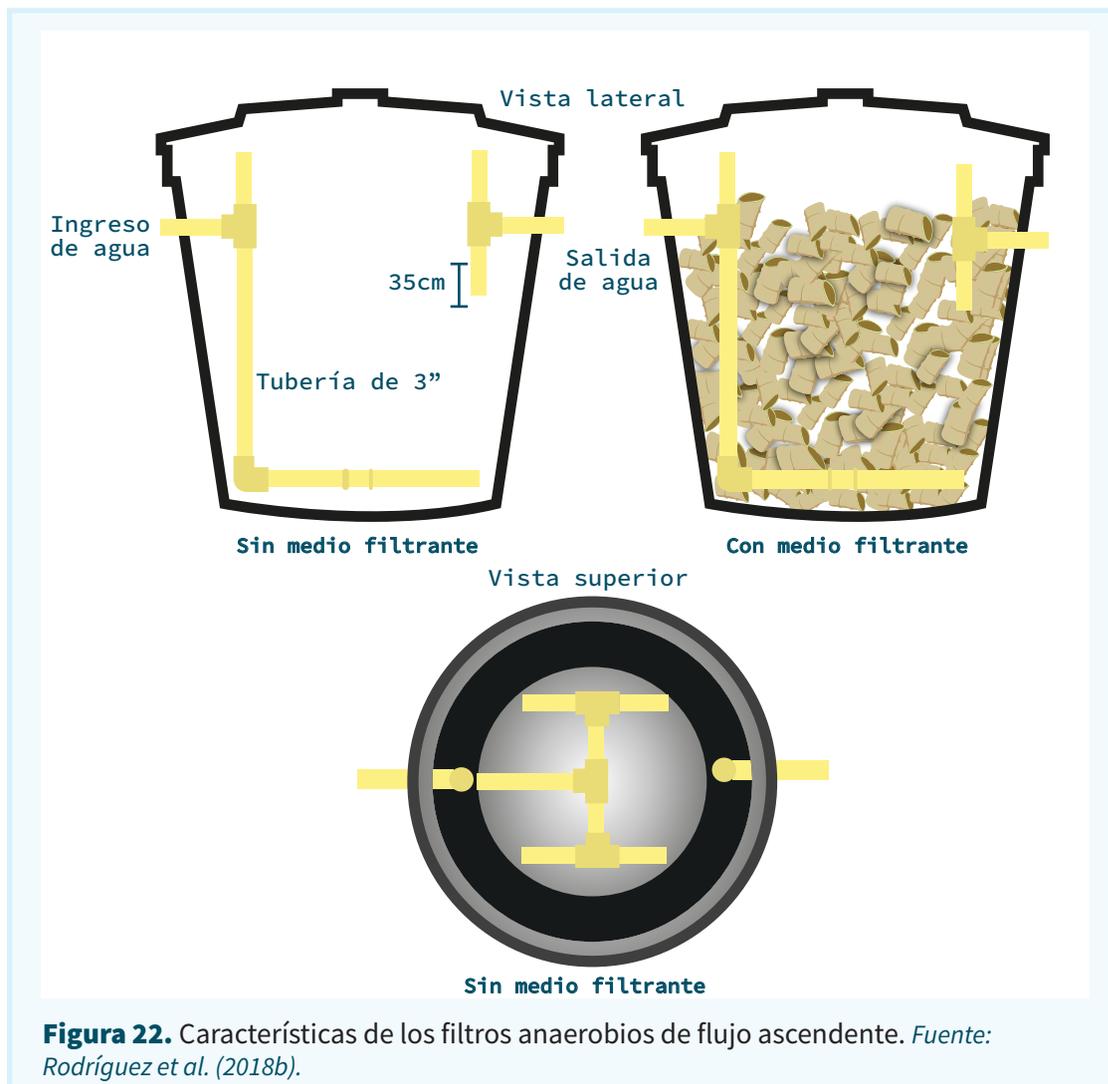
Instalación del filtro anaerobio.

El filtro anaerobio de flujo ascendente se instala de la misma manera que el tanque séptico. Para filtros que se vayan a enterrar total o parcialmente, una vez que esté lista la excavación, se coloca el tanque y se instala la tubería y demás accesorios, teniendo presente que la tubería de entrada de 3", llega hasta 10,0 cm antes del fondo del tanque. Se deposita el material filtrante de manera aleatoria y se llena con agua hasta 5,0 cm por debajo del tubo de salida, el cual también debe ser de 3". El flujo a través del filtro anaerobio, que es ascendente, pasa por todo el medio filtrante, colocando en contacto el agua residual con los microorganismos adheridos al medio filtrante.

Para la instalación de este tanque debe tenerse en cuenta el nivel de caída entre la salida del tanque séptico y la entrada del FAFA que debe ser de 30 cm, como mínimo, para lograr el flujo adecuado.

Operación y mantenimiento. Se recomienda, de forma semestral, hacer la inspección del filtro anaerobio de la siguiente forma:

- Destapar el tanque séptico y observar su nivel de agua.
- Si la tubería de salida del agua del tanque séptico está sumergida en el agua es porque el filtro FAFA esta colmatado (taponado) y requiere mantenimiento.
- Destapar el FAFA. Introducir una barra metálica en el medio filtrante hasta el 90% de la profundidad del tanque. Sacudir el medio filtrante realizando movimientos circulares con la barra, de manera que la biocapa de bacterias se desprenda y pueda flotar.
- Introducir por la tubería de entrada del filtro anaerobio, una manguera con agua a presión hasta el fondo del tanque, para realizar un flujo ascendente de agua limpia a través del tanque.



- Retirar la capa de biomasa flotante de la superficie y disponerla en el procesador de pulpa o en el lecho de secado de lodos.

El efluente del filtro anaerobio, si el sistema séptico ha sido bien diseñado, permite cumplir con la normativa nacional actual para vertimientos al suelo y a cuerpos de agua superficial. Si la descarga del efluente del FAFA se realiza al suelo, la autoridad ambiental exige que se realice a través de un campo de infiltración, cuyo diseño se tratará más adelante.

En caso de descargas a cuerpos de agua superficial, además de la normativa nacional, las autoridades ambientales locales pueden generar normas de calidad más restrictivas para la descarga de los efluentes de los FAFA, si esta descarga se realiza sobre cuerpos de agua priorizados en los planes de ordenamiento en el manejo de cuencas hidrográficas (POMCAS)

y sobre todo si el recurso hídrico de estas cuencas se destina para el abastecimiento humano. En estos casos es posible que un postratamiento en un humedal artificial permita alcanzar los estándares de calidad que exige la norma.

Materiales y herramientas necesarios para la instalación de un filtro anaerobio de flujo ascendente

- Tanque de polietileno o construido en mampostería en ladrillo y cemento con el volumen apropiado de acuerdo con el número de personas permanentes y temporales de la vivienda, con su respectiva tapa y una altura mínima (Tabla 6).
- Una Tee interna de PVC-S de 3" para la entrada.
- Una Tee interna de PVC-S de 3" para la salida.
- Un tapón de prueba PVC-S de 3".
- Un codo PVC-S de 3" para elaborar el dispositivo de distribución del agua que ingresa al FAFA.
- Tres Tee de PVC-S de 3".
- Tubería de PVC-S de 3".
- Soldadura y limpiador de PVC.
- Masilla epóxica ultrafuerte para sellar los bordes de los agujeros de ingreso y salida de agua residual.
- Material de empaque: 270 trozos de botellas plásticas no retornables/m³.

Si el FAFA se instala utilizando un tanque comercial en polietileno, es posible que no tenga los agujeros para el ingreso y la salida del agua residual o que sus perforaciones sean inferiores a 3", por lo tanto, se requiere:

- Taladro eléctrico o inalámbrico.
- Broca sierra de 3".
- Masilla epóxica ultrafuerte para sellar los bordes de los agujeros de ingreso y salida del agua residual.

Recuerde: Algunos tanques comerciales tienen una perforación en la parte inferior, el cual debe ser sellado con un adaptador macho y un tapón roscado PVC-P y arandelas en neolite, recordando que la parte lisa de las arandelas se ubica en contacto con la pared del tanque.

Materiales complementarios para la instalación de un filtro anaerobio de flujo ascendente

Si el filtro anaerobio de flujo ascendente se instala enterrado o semienterrado en el terreno, se requiere:

- Realizar una excavación en un sitio de fácil acceso, teniendo en cuenta la posición de los orificios de entrada (más alto) y salida (más bajo del tanque). Sobre el fondo de la misma, debe vaciarse una cama de arena libre de piedras angulares, de aproximadamente 5,0 cm, nivelada y compactada sobre la cual se apoyará el tanque.
- Para equilibrar presiones en las paredes del tanque plástico y evitar su deformación, debe llenarse el tanque con agua hasta el nivel inferior de la tubería de salida y luego entre el espacio comprendido por las paredes del tanque y las paredes de la excavación, se dispondrán sucesivamente capas de arena compactadas una a una, con pisón.

Campos de infiltración.

Los campos o zanjas de infiltración consisten en una serie de zanjas angostas y relativamente superficiales que se disponen en paralelo como lo indica la Figura 23, en forma de espina de pescado u otras configuraciones geométricas dependiendo de la topografía del terreno. En el fondo de estas zanjas se coloca una capa de grava limpia. Sobre esta base se instala un sistema de tubería tipo drenaje colocadas a junta perdida (para el caso de la tubería PVC se logra cuando no se utiliza pegante al incorporar una unión para el acoplamiento de dos tubos), la cual se atraca hasta la parte superior de la tubería con la misma grava y, a continuación, se cubre con una capa de grava fina (MINVIVIENDA, 2010).

Sobre la capa de grava fina y para evitar la alteración de la capacidad filtrante de la grava, se coloca papel grueso o una capa de paja o cualquier otro tipo de material permeable que facilite la evapotranspiración del agua residual aplicada en la zanja de infiltración (MINVIVIENDA, 2010).

Las zanjas de infiltración reciben el efluente del FAFA o del humedal artificial y lo distribuyen en el terreno a través de las perforaciones de las tuberías y de sus uniones. Normalmente, la tubería se coloca con las perforaciones dirigidas hacia el fondo de las zanjas y se utilizan para la disposición final de los vertimientos en el suelo (MINVIVIENDA, 2010).

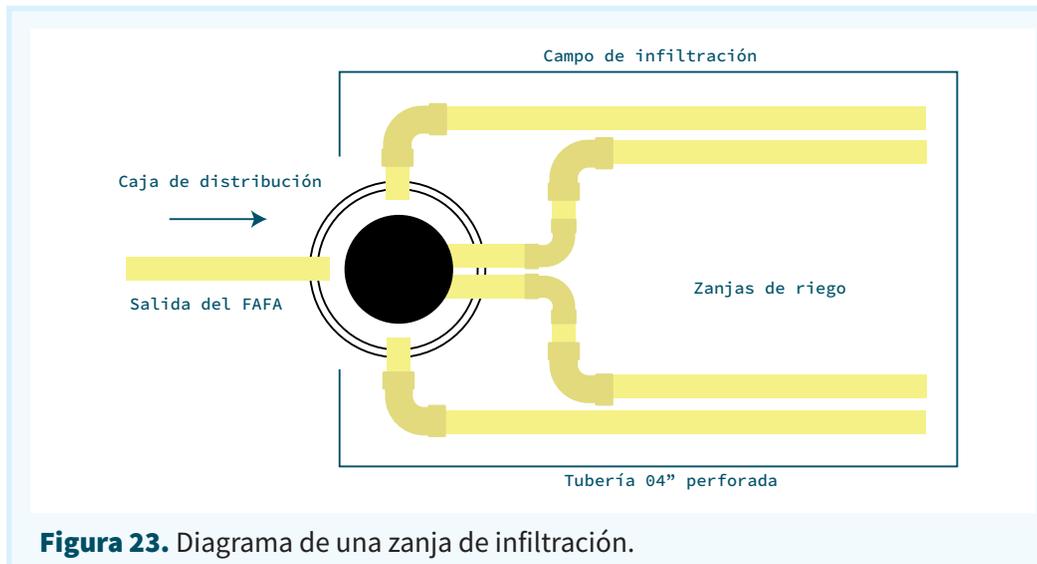


Figura 23. Diagrama de una zanja de infiltración.

Localización (MINVIVIENDA, 2010). Estos campos o zanjas de infiltración deben localizarse aguas abajo de los filtros anaerobios o de los humedales artificiales de acuerdo al diseño del sistema séptico, y su propósito es continuar con el tratamiento del efluente proveniente de estas unidades. Deben ubicarse en suelos cuyas características de permeabilidad permitan la absorción del agua residual que sale del sistema de tratamiento a fin de no contaminar las aguas subterráneas y su diseño se hará con base en los resultados de las pruebas de infiltración del terreno. Deben tenerse en cuenta, las siguientes consideraciones:

- El fondo de la zanja debe quedar por lo menos a 2,0 m por encima del nivel freático.
- El ancho de la zanja podrá variar entre 45 cm y 75 cm y su profundidad mínima será de 60 cm.
- Los canales de infiltración deben localizarse en un lecho de piedras limpias, cuyo diámetro debe estar comprendido entre 10,0 y 60,0 mm.
- Debe evitarse la proximidad de árboles, para evitar la entrada de raíces.
- La distancia mínima entre la zanja y cualquier árbol debe ser mayor a 3,0 m.

Determinación de la capacidad de infiltración del suelo

Mientras más poroso sea el suelo mayor será la efectividad que se consigue en la infiltración del agua residual tratada; sin embargo, los terrenos que contienen poros grandes no son eficientes como filtros de las partículas pequeñas y los que contienen poros muy pequeños son muy poco permeables (Salazar, 1988).

El área de absorción necesaria debe obtenerse con base en las características del suelo, que se determinan en ensayos de infiltración. Para ello se realizan los siguientes pasos (Salazar, 1988):

- Realizar una excavación de 30 cm x 30 cm de lado y de la profundidad a la cual se va a construir el campo de infiltración (60 cm, aproximadamente) (Figura 24A). Una vez realizada la excavación, deben rasparse sus paredes con un elemento filoso, para eliminar la superficie compactada que deja la pala y luego se remueve todo el material suelto de la excavación, para proveer así una superficie de contacto de suelo natural a través de la cual se infiltre el agua.
- Llenar la excavación con agua, saturándola. La saturación deberá hacerse llenando con agua la excavación cuantas veces sea necesario, por espacio de una hora (Figura 24B).
- Drenar el agua completamente e inmediatamente se vuelve a llenar con agua limpia hasta una altura de 30 cm (12 pulgadas) (Figura 24C), se anota el tiempo que tarda en bajar cada 2,5 cm (1,0 pulgada), para lo cual debe disponerse de una regla graduada, el tiempo se toma hasta que el nivel de agua disminuya por lo menos 25,0 cm (diez datos) o puede tomarse un promedio del tiempo que tardó el agua en bajar de nivel 25 cm.

Por ejemplo, si durante 30 min. el nivel del agua desciende 5,0 cm, la tasa de percolación será de $30 \text{ min}/5,0 \text{ cm} = 15 \text{ min}/2,5 \text{ cm} = 15 \text{ min/pulgada}$. Esta tasa de percolación se expresa en min/pulgada.

La permeabilidad o absorción del suelo es determinante para la escogencia del tipo de tratamiento para la disposición final del agua residual doméstica tratada, como solución descentralizada en la zona rural. Según los resultados de la prueba de infiltración, se puede clasificar el suelo, de acuerdo a su grado de permeabilidad, en tres categorías: rápida, media o lenta. En la Tabla 16 se clasifica el tipo de permeabilidad del suelo en función de la tasa de infiltración (MINVIVIENDA, 2010).

Cuando el terreno presenta resultados de la prueba de infiltración con tiempos mayores a 30 minutos para disminuir el nivel de agua en una pulgada (bastante impermeable), no se considera apto para la disposición final de los efluentes de los sistemas sépticos en el terreno, debiéndose proyectar un sistema de letrinas secas o haciendo la disposición del efluente final a una fuente superficial, siempre y cuando la autoridad ambiental correspondiente otorgue el respectivo permiso de vertimientos (MINVIVIENDA, 2010).

Después de haber realizado la evaluación de la tasa de infiltración del terreno, se toman muestras de suelo de la excavación y se les determina la textura (propiedad física que está ligada al tamaño, distribución y continuidad de los poros) (Salazar, 1988).

La apreciación de la textura en el campo se realiza al tacto, para lo cual se evalúa tomando una masa de suelo, previamente humedecida, no en exceso, y frotándola entre los dedos índice y pulgar (IGAC, 1985). La textura puede ser:

- Áspera: cuando el suelo está compuesto principalmente por arenas.
- Sedosa: cuando el suelo está compuesto principalmente por limos y tierras arcillosas ligeras.
- Pegajosa: cuando el suelo está compuesto principalmente por arcillas.

Como una guía que facilite estimar el tipo de textura del suelo, durante su evaluación en el campo, se utiliza la Figura 27 en la cual se describe la metodología y las diversas manifestaciones o sensaciones más características de las diferentes texturas del suelo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 1985).

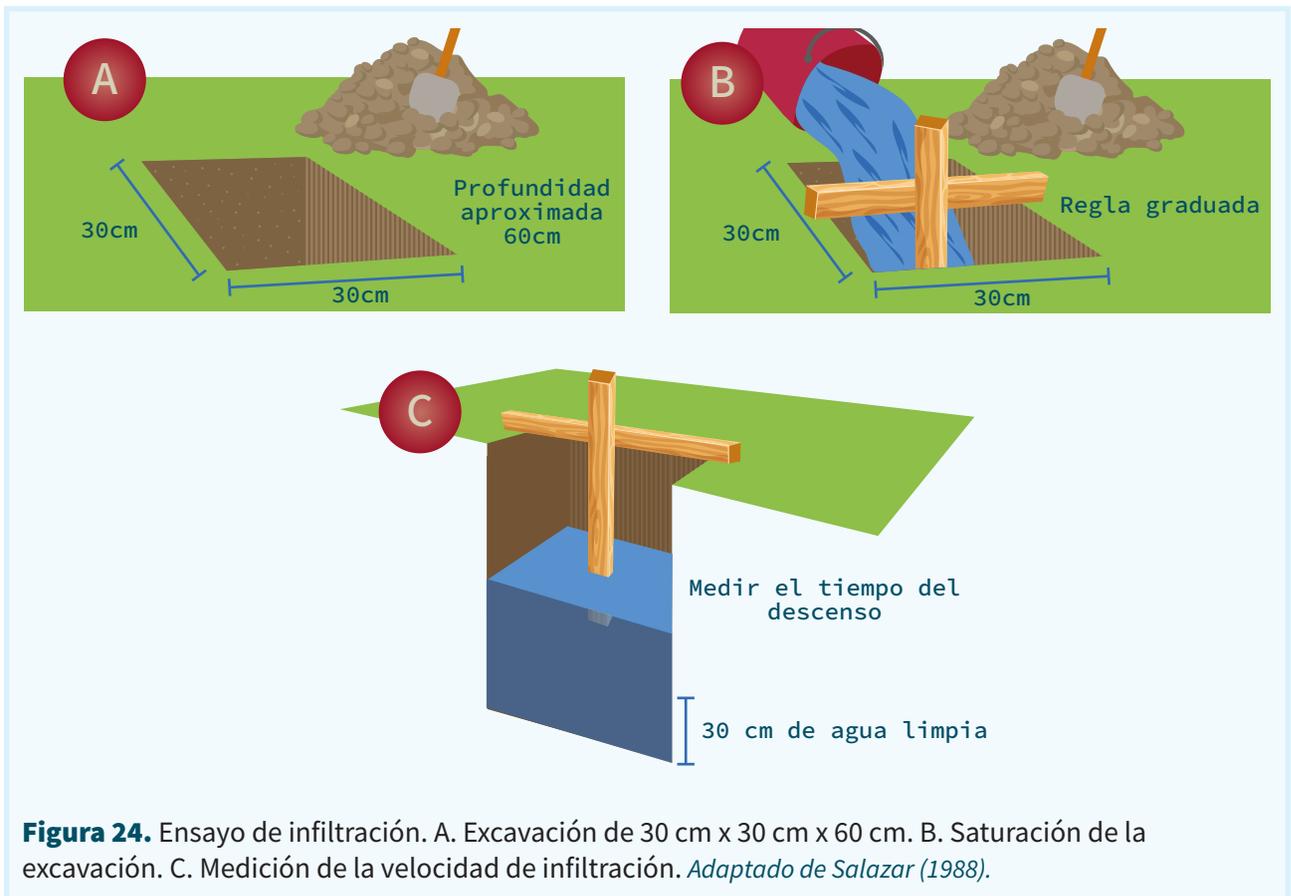


Figura 24. Ensayo de infiltración. A. Excavación de 30 cm x 30 cm x 60 cm. B. Saturación de la excavación. C. Medición de la velocidad de infiltración. *Adaptado de Salazar (1988).*

Tabla 16. Clasificación de la permeabilidad del suelo según la tasa de infiltración. *Fuente: Adaptado de MINVIENDA, 2010.*

Tasa de infiltración (min/pulgada)	Tipo de permeabilidad del terreno
Hasta 10	Rápida
Entre 11 y 20	Media
Entre 21 y 30	Lenta

Ejemplo de la determinación de la tasa de infiltración en el campo

En una de las Estaciones Experimentales de Cenicafé, se realizó una excavación de 30 cm x 30 cm y 60 cm de profundidad, para realizar la prueba de infiltración en el suelo y determinar si podía utilizarse para la disposición final de las aguas residuales tratadas de la vivienda de la estación (Figura 25A). A la excavación se le retiró todo el material suelto (Figura 25B), y se llenó con agua, durante una hora para saturar el suelo (Figura 25C), y luego se dejó drenar, para iniciar con la evaluación de la tasa de infiltración del suelo. Una vez drenada la excavación se adicionó agua, hasta la mitad (30 cm) (Figura 25D), y con una regla graduada se determinó el tiempo que tardaba en bajar el nivel una pulgada (2,5 cm). Se tomaron diez valores, los cuales se condensan en la Tabla 17 y se representan en la Figura 26.

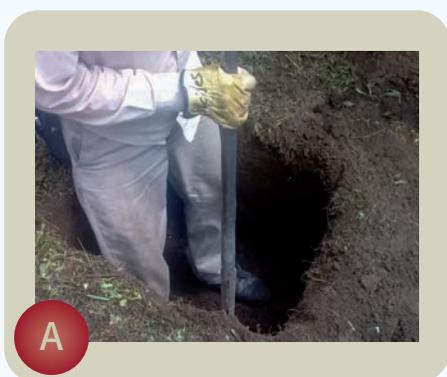


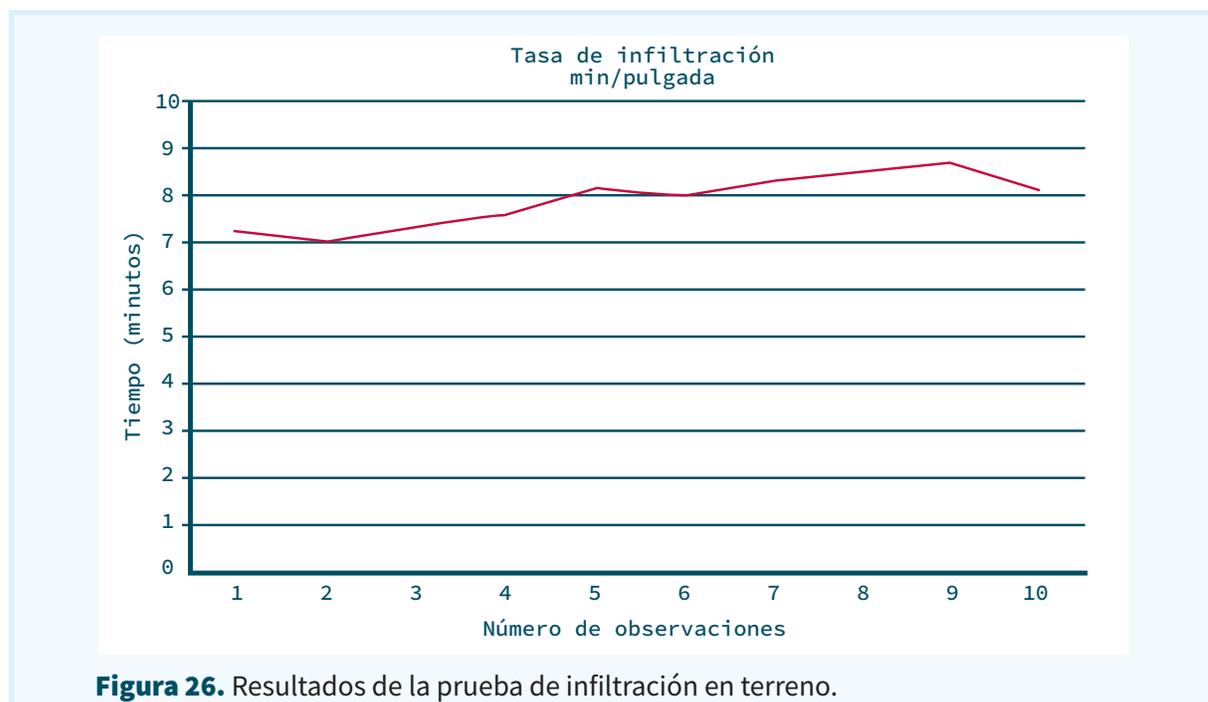
Figura 25.

Preparación del suelo para determinar su tasa de infiltración.

A. Realización de la excavación. B. Limpieza de la excavación. C. Adición de agua, durante 1 hora, para saturar el suelo. D. Adición de agua limpia hasta la mitad de la excavación para iniciar con la medición.

Tabla 17. Resultados de la prueba de infiltración.

Registro	Altura (cm)	Tiempo (min)	Registro	Altura (cm)	Tiempo (min)	Registro	Altura (cm)	Tiempo (min)
1	27,5	7,2	5	17,5	8,1	9	7,5	8,7
2	25,0	7,0	6	15,0	8,0	10	5,0	8,1
3	22,5	7,3	7	12,5	8,3			
4	20,0	7,6	8	10,0	8,5			



El valor de la tasa de infiltración es el promedio de los diez datos obtenidos, para el caso del ejemplo presentado es de 7,88 min/pulgada, que de acuerdo con la Tabla 16 clasifica al suelo como de infiltración rápida y cumple con los requerimientos del RAS, que establece que la tasa de infiltración por pulgada no puede superar los 30 min.

El área de absorción necesaria debe obtenerse con base en las características del suelo, que se determinan en los ensayos de infiltración. En la Tabla 18 se presentan valores típicos que se pueden usar para el diseño.

Tabla 18. Áreas de absorción típicas de acuerdo con los tiempos de infiltración. *Fuente: MinDesarrollo, 2000.*

Tiempo de infiltración	Área de absorción necesaria en el fondo del campo (m ²)	
	Habitaciones	Escuelas
Minutos/pulgada	Por cuarto	Por salón
2	4,50	0,8
3	5,50	1,0
4	6,50	1,1
5	7,50	1,2
10	9,0	1,7
15	12,0	2,0
30	16,5	2,8
60*	22,0	3,5

(*): Por encima de 60 min no se recomienda esta solución.

Nota: En el Título J del RAS - 2010, no se recomienda la solución para tiempos de infiltración por encima de los 30 min/pulgada

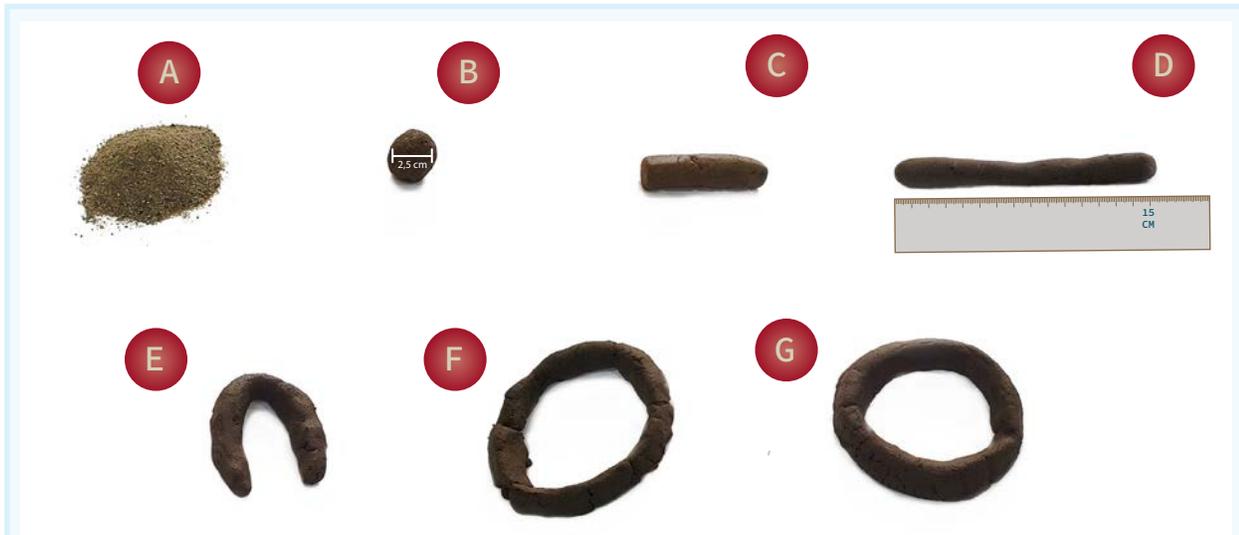


Figura 27. Ensayo para determinar la textura del suelo. A. Textura arenosa. B. Textura franco - arenosa. C. Textura franco - limosa. D. Textura franca. E. Textura franco - arcillosa. F. Textura arcillosa (arcilla liviana). G. Textura arcillosa (arcilla compacta). Adaptado de Salazar (1988).

Para hacer el ensayo de textura debe colocarse una cucharada de suelo en la palma de la mano y adicionarle un poco de agua; posteriormente, escurrir y amasar el suelo hasta que se adhiera a la mano. La humedad debe ser tal, que la consistencia sea como de masilla. Si la muestra se humedece mucho el material será muy pegajoso y difícil de trabajar. Una vez la muestra esté húmeda debe aplastarse y pasarse entre los dedos, de manera que se vaya formando una cinta de aproximadamente 5,0 mm de espesor (Figura 27).

La textura es arenosa (gruesa o fina), cuando los granos individuales pueden ser fácilmente vistos o sentidos como un crujir o chasquido al oído. El suelo permanece suelto y en granos simples y puede ser amontonado, pero no moldeado (Figura 27A).

La textura es arenosa franca y franco - arenosa, cuando el suelo contiene predominio de arena sobre el limo y la arcilla. Los granos individuales de arena pueden ser fácilmente vistos y sentidos. El suelo puede ser moldeado en forma esférica y se desgrana fácilmente (Figura 27B).

La textura es franco - limosa, cuando el suelo contiene predominio de limo sobre la arena y la arcilla. El suelo puede enrollarse en cilindros y amasarse en cilindros cortos (Figura 27C).

La textura es franca, cuando el suelo contiene cantidades suficientes de arena, limo y arcilla. El suelo puede enrollarse en cilindros y amasarse en una trenza gruesa de 15 cm de largo, que se rompe al doblarse (Figura 27D).

La textura es franco-arcillosa, cuando el suelo contiene cantidades suficientes de arena, limo y arcilla. El suelo húmedo se adelgaza entre el pulgar y el índice y se forma una “cinta” delgada de

15 cm, que puede ser doblada en “U” sin romperse, pero que se rompe fácilmente si se dobla en círculo. Cuando el suelo está seco se quiebra en terrones duros (Figura 27E).

La textura es arcillosa, cuando el suelo húmedo se adelgaza entre el pulgar y el índice y se forma una “cinta” delgada de 15 cm (que se maneja como plastilina), que puede ser manipulada en círculo, generalmente es muy plástica y pegajosa, que no se rompe fácilmente. Cuando el suelo está seco generalmente forma terrones muy duros. Si el suelo al doblarse en círculo se agrieta un poco, se tiene una arcilla liviana (Figura 27F). Si el suelo al doblarse en círculo no se agrieta, se tiene una arcilla compacta (Figura 27G).

Las posibilidades de utilización del suelo para la disposición final de las aguas residuales provenientes de los sistemas sépticos, en función de la tasa de infiltración y su textura se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Potencial del suelo para la disposición final de los efluentes de los sistemas sépticos, de acuerdo con la tasa de infiltración y su textura. *Fuente: Adaptado de Empresas Públicas de Medellín, 1988.*

Textura del suelo	Tasa de infiltración (min/pulgada)	Observación
Arenosa	< 10	Muy permeables para tratar aguas residuales.
Franco-arenosa	Entre 10 y 30	Adecuados para tratar aguas residuales.
Franco-limosa		
Franco-arcillo-limosa		
Franco-limosa	> 30	Poco permeables para tratar aguas residuales.
Franco-arcillo-limosa		
Arcillosa		

Dimensionamiento

En la Tabla 20 aparecen las dimensiones que se deben usar en la construcción de los campos de infiltración.

Tabla 20. Dimensiones a utilizar en los campos de infiltración. *Fuente: Resolución 0330 del 2017 (MVCT, 2017).*

Parámetro	Dimensión
Diámetro de las tuberías	0,10 – 0,15 m
Pendiente	0,3 – 0,5%
Largo máximo	30 m
Ancho de la zanja	0,45 a 0,75 m

En la Tabla 21 se presentan las tasas de aplicación recomendadas de acuerdo al tiempo de infiltración y a la textura del suelo.

Tabla 21. Tasas de aplicación según tiempo de infiltración y textura del suelo. *Fuente: Adaptado de Environmental Protection Agency United States (Office of Water Program Operations, 1980).*

Tasa de percolación (min/pulgada)	Textura del suelo	Permeabilidad del suelo	Tasa de aplicación (m ³ m ⁻² -d ⁻¹)
< 1	Grava, arena gruesa	Rápida	No apropiado
Entre 1 y 5	Arena gruesa a media	Rápida	0,049
Entre 6 y 15	Arena fina	Rápida a media	0,033
	Arenosa-franca		
	Franco-arenosa		
Entre 16 y 30	Franco-limosa	Media a lenta	0,024
	Franco-limosa		
	Franca		
Entre 31 y 60	Franco-arcillosa-arenosa	Lenta a muy poco permeable	No apropiado*
	Franco-arcillosa		
	Franco-arcillosa-limosa		
>60	Arcilla liviana	Muy poco permeable	No apropiado
	Arcilla compacta		

(*): Según lo dispuesto en el Título J del RAS 2010.

Determinación del área del campo de infiltración

Con el valor de la tasa de aplicación, obtenida de la Tabla 21, y el caudal diario del agua a infiltrar, se determina el área del campo de infiltración, según la Ecuación <14>.

$$A_{(ci)} = \frac{Q}{T_a} \quad <14>$$

Donde,

A_{ci} = área del campo de infiltración (m²)

Q = caudal de agua residual generado (m³/d)

T_a = tasa de aplicación m³m⁻²d⁻¹

Determinación del largo y del ancho del área del campo de infiltración

El valor del largo del campo de infiltración (l_{ci}) puede fijarse con base en el terreno disponible en la finca para la construcción del mismo, teniendo en cuenta que no puede exceder de 30 m, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 20.

Con el valor del área del campo de infiltración (A_{ci}) y el largo establecido conforme a la disponibilidad del terreno (l_{ci}), puede calcularse el ancho (a_{ci}), según la **Ecuación <15>**.

$$a_{(ci)} = \frac{A_{ci}}{l_{ci}} \quad <15>$$

Donde,

A_{ci} = área del campo de infiltración (m^2).

l_{ci} = largo del campo de infiltración (m). Puede fijarse según la disponibilidad del terreno y sin exceder de los 30 m.

a_{ci} = ancho del campo de infiltración (m).

Número de zanjas del campo de infiltración

De acuerdo con UNATSABAR (2003) “Todo campo de infiltración debe tener como mínimo dos líneas de distribución. Las líneas de distribución deben ser de igual longitud y la separación de eje a eje no debe ser menor a 2,1 m”.

Para hallar el número de zanjas se utiliza la **Ecuación <16>**.

$$N_z = \frac{A_{ci}}{B * l_{ci}} \quad <16>$$

Siendo,

N_z = Número de zanjas.

A_{ci} = Área del campo de infiltración (m^2).

B = Ancho entre zanjas. Su valor de acuerdo con UNATSABAR (2003) es de 2,1 m.

l_{ci} = largo de la zanja (m). Según la Resolución 0330 del 2017, el máximo valor es de 30 m.

Operación y mantenimiento

Debe instalarse una caja de distribución que tiene como objetivo recibir el agua proveniente del filtro anaerobio o del humedal artificial y repartir el efluente hacia las zanjas del campo de infiltración. Para lograr una buena distribución del agua proveniente del FAFA hacia el campo de infiltración, se recomienda adecuar un tanque de 250 L en polietileno, tipo bebedero, al cual le ingresa el agua proveniente del FAFA por encima, y para ello debe realizarse una perforación para ubicar un adaptador macho y un adaptador hembra en PVC-P de 1½” con sus respectivos empaques en neolite, utilizando una broca sierra de 1½”, y otra de 4” para realizar los agujeros de salida hacia el campo de infiltración, ubicados en la parte inferior del tanque y a la misma

altura para garantizar el mismo caudal por cada salida; en las perforaciones se acopla tubería de PVC-S de 4" y se aplica masilla epóxica ultra fuerte para evitar filtraciones por los bordes de las perforaciones de 4".

Las zanjas deben diseñarse con base en las condiciones del terreno, caudal y el área disponible. Se construyen zanjas de 0,6 m de profundidad, cuya longitud depende del poder de absorción del terreno. El objeto de este sistema es repartir las aguas efluentes en el subsuelo, el cual al filtrar las mismas por sus poros y disminuye el impacto ambiental negativo sobre las aguas subterráneas. Este sistema no es apropiado cuando el terreno es pantanoso, arcilloso, posee nivel freático alto o cuando no se dispone de área suficiente.

El agujero superior de la caja de distribución es la entrada y se conecta al efluente del filtro anaerobio o del humedal. Los tres huecos restantes son la salida y se conectan a la tubería perforada de irrigación (Figura 28), la cual debe ser de 4" de diámetro. En caso de no utilizarse alguno de los tres huecos, deberá reemplazarse por un tubo corto provisto de un tapón. Deben operarse en condiciones aerobias. Para esto deben proveerse tubos de ventilación protegidos contra el ingreso de insectos (MinDesarrollo, 2000).

Cuando esté instalada la caja de distribución debe prepararse la tubería. Para tal fin, debe realizarse una serie de perforaciones en dos líneas, con broca de 3/16", separadas 10,0 cm entre cada una (Figura 29).

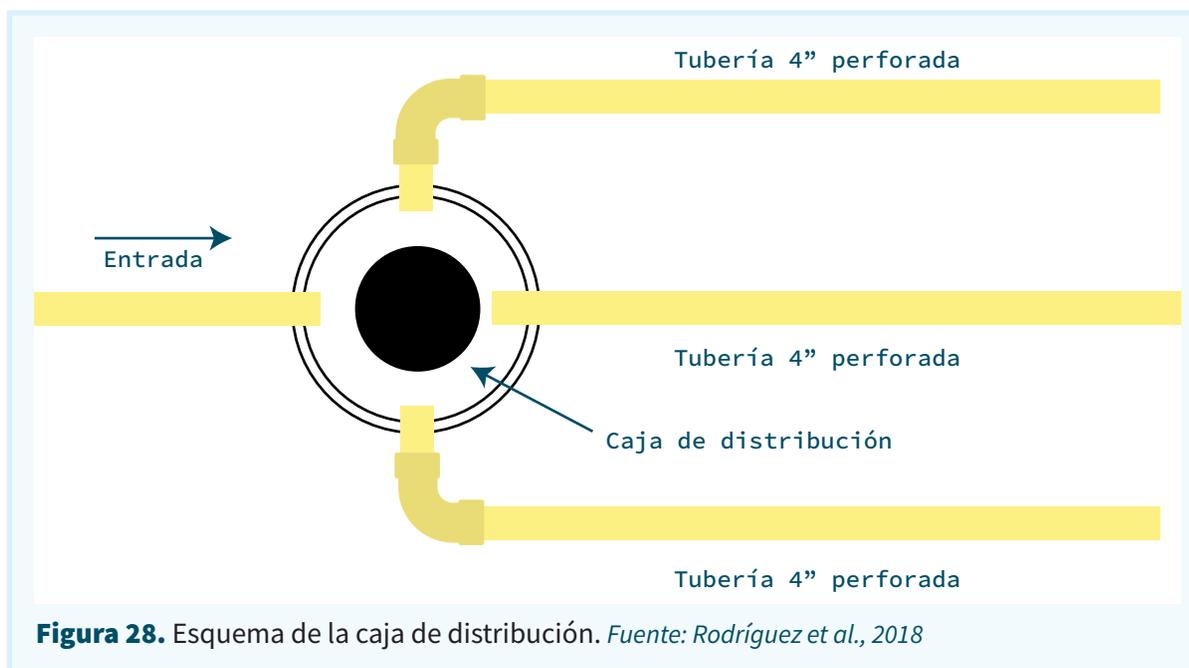


Figura 28. Esquema de la caja de distribución. Fuente: Rodríguez et al., 2018

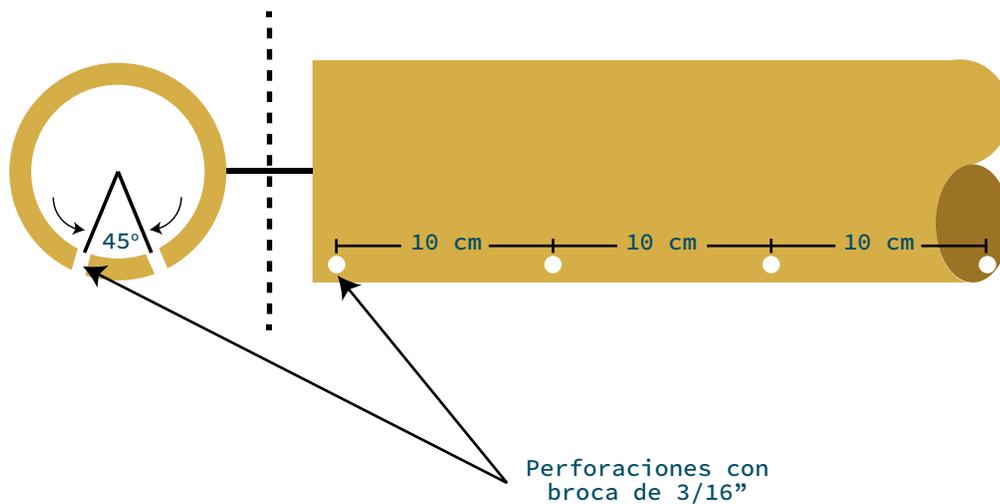


Figura 29. Esquema de las perforaciones en la caja de distribución. Fuente: Rodríguez et al., 2018

Posteriormente se realiza una excavación de entre 45 cm y 75 cm de ancho, por una profundidad mínima de 60 cm. Sobre la base de dicha excavación, se dispone de una cama de 0,15 m de altura con grava limpia con una granulometría entre 1" a 2" de diámetro. Sobre esta, se disponen los tubos con sus perforaciones orientadas hacia abajo, se completa el relleno con otros 0,15 m de grava y a continuación con 0,1 m de espesor de grava fina, con una granulometría entre 1,0 a 2,5 cm. Sobre la capa de grava fina y para evitar la alteración de la capacidad filtrante de la grava, se coloca papel grueso o una capa de 5,0 cm de espesor de paja o cualquier otro tipo de material permeable que facilite la evapotranspiración del agua residual aplicada en la zanja de infiltración. Finalmente se completa el relleno con el material común sobrante de la excavación (MINVIDENDA, 2010) (Figura 30). Es importante asegurar que la cantidad de agua que se repartirá por cada uno de los ramales sea la misma, de manera que haya una absorción homogénea por parte del subsuelo.

Para favorecer la vida útil del sistema se recomienda lo siguiente: 1) todos los canales deben tener el mismo largo; 2) en terrenos planos, las líneas deben ubicarse paralelas a las curvas de nivel; 3) para permitir una buena ventilación las líneas pueden terminar en pequeños pozos de 90,0 cm de diámetro, preferiblemente hechos con cascajo; 4) se recomienda sembrar grama en

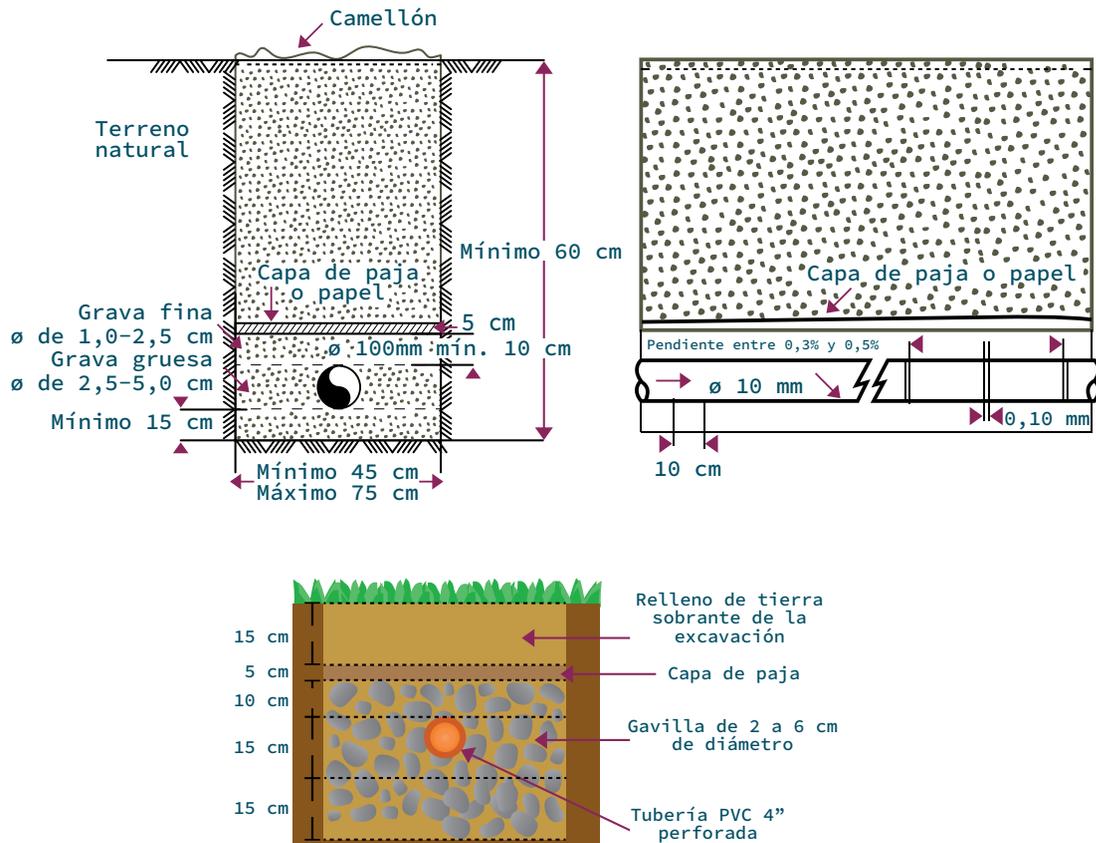


Figura 30. Esquema de las zanjas de infiltración. Fuente UNATSABAR (2003).

Materiales y herramientas necesarios para la instalación de un campo de infiltración

- Un tanque comercial en polietileno, tipo bebedero, de 250 L.
- Un adaptador macho de PVC-P de 1 ½”.
- Un adaptador hembra de PVC-P de 1 ½”
- Dos arandelas de neolite con perforación interna de 1 ½”.
- Tubería de PVC-S de 4”.
- Codos PVC-S de 4”.
- Uniones PVC-S de 4”.
- Taladro eléctrico o inalámbrico.
- Broca sierra de 1 ½” y 4”.

- Broca 3/16”.
- Masilla epóxica ultrafuerte para sellar los bordes de los agujeros de ingreso y salida del agua residual.
- Grava con diámetros entre 1” y 2”.
- Grava con diámetros entre 10 y 25 mm.
- Paja.
- Maní forrajero.

Ejemplo del cálculo del área del campo de infiltración

Si en la vivienda de la finca, viven cinco personas permanentes y en época de cosecha trabajan tres recolectores (sin pernoctar en la finca) ¿Cuál sería el área del campo de infiltración que se debe instalar, si la temperatura media de la finca es de 21°C?

El primer paso consiste en determinar el caudal diario de agua residual tratada que se requiere infiltrar.

Caudal de agua residual (Q): 100 L/hab-día para las personas permanentes (clase baja, por referirse a un predio rural) y 50 L/hab-día para las personas temporales (se toma el valor de oficinas temporales, por el horario de trabajo). Dado que las cinco personas permanentes generan $(5 \times 100) = 500$ L de agua residual/día y las tres personas temporales generan $(3 \times 50) = 150$ L de agua residual/día, el caudal diario sería de $500 \text{ L} + 150 \text{ L} = 650 \text{ L}$, se divide entre 1.000, para expresarlo en m^3 , y se obtiene $Q = 0,65 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$.

El segundo paso consiste en determinar la tasa de aplicación al terreno ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), con base en los resultados de la prueba de infiltración y la textura del suelo.

Supongamos que, al realizar la prueba de infiltración en el terreno, se obtuvo una tasa de infiltración de 8 min/pulgada y una textura franco-arenosa; dado que la tasa de percolación o infiltración está por debajo de 30 min/pulgada (valor máximo admisible por el RAS), el terreno es apto para la construcción del campo de infiltración.

De la Tabla 21 se obtiene, para una tasa de percolación entre 6 y 15 min/pulgada (intervalo en el cual se ubica el valor hallado de 8 min/pulgada) y una textura del suelo franco arenosa, una tasa de aplicación $T_a = 0,033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que clasifica al suelo con unas características de permeabilidad entre rápida a media.

El tercer paso consiste en determinar el área del campo de infiltración. Para ello se utiliza la Ecuación <14>.

$$A_{ci} = Q/T_a = (0,65 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1})/(0,033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = 19,7 \text{ m}^2, \text{ puede aproximarse a } 20 \text{ m}^2.$$

El área necesaria del campo de infiltración para realizar la disposición final al terreno del agua residual doméstica tratada es de 20 m².

El cuarto paso consiste en determinar el ancho del campo de infiltración. Para ello se utiliza la Ecuación <15>.

Puede considerarse una longitud (l_{ci}) de las zanjas de 6,0 m, que es la máxima longitud comercial de los tubos de PVC, sin realizar uniones.

$$a_{ci} = A_{ci} / l_{ci} = 20 \text{ m}^2 / 6,0 \text{ m} = 3,33 \text{ m}.$$

El ancho del campo de infiltración para realizar la disposición final al terreno del agua residual doméstica tratada es de 3,33 m.

El quinto y último paso consiste en determinar el número de zanjas. Para ello se utiliza la Ecuación <16>. La longitud de las zanjas (l_{ci}) ya se había fijado en 6 m, y el valor de B , según OPS-CEPAL (2003), $B = 2,1 \text{ m}$.

$$N_z = A_{ci} / (B * l_{ci}) = 20,0 \text{ m}^2 / (2,1 \text{ m} * 6,0 \text{ m}) = 1,6 \text{ y debe aproximarse al número entero siguiente, es decir, 2.}$$

El número de zanjas necesarias del campo de infiltración para realizar la disposición final al terreno del agua residual doméstica tratada es de 2.

el campo para ayudar a la absorción del líquido efluente; 5) se recomienda el uso de cámaras dosificadoras con sifones para tener una buena distribución del agua residual en el tanque de infiltración (MinDesarrollo, 2000).

En la Figura 31, se presenta el paso a paso en la construcción de un campo de infiltración en Cenicafé, sede La Granja, el cual tiene un área de 67 m², un ancho de 4,5 m y consta de tres zanjas de 0,75 m de ancho, 0,6 m de profundidad y 15,0 m de largo.

En la Figura 32 se presenta el esquema integral del sistema séptico recomendado para el manejo y tratamiento de las aguas residuales domésticas de una vivienda rural en la que habitan cinco personas permanentes y tres personas temporales, diseñado con base en las directrices del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS.



Figura 31. Aspectos de la construcción de un campo de infiltración.

En la Tabla 22 se resumen las actividades de mantenimiento que deben realizarse a las diferentes unidades del sistema séptico para mantener su eficiencia en la eliminación de la contaminación de las aguas residuales de la vivienda y evitar que se presenten malos olores. En la Tabla 23 se presentan las recomendaciones básicas que deben seguirse para el buen desempeño de los sistemas sépticos utilizados en el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda. En la Tabla 24 se presentan algunas configuraciones de sistemas sépticos que pueden instalarse con tanques de polietileno comerciales, en fincas con temperaturas medias iguales o inferiores a 20°C y el número de personas a las que cubriría la solución.

Distancia mínima de la casa al tanque séptico

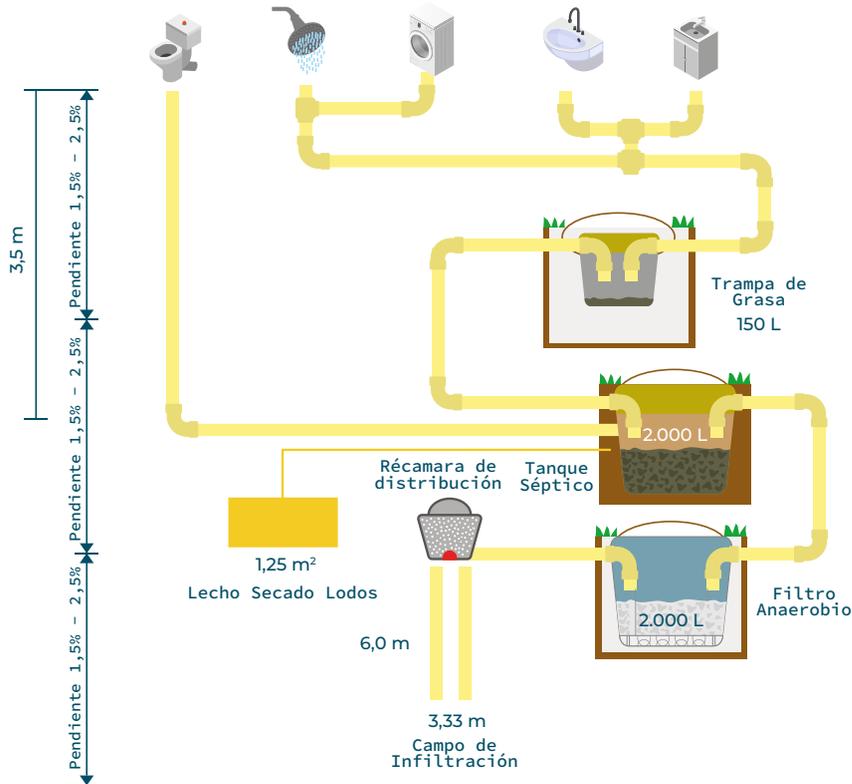


Figura 32. Esquema del sistema séptico recomendado para el manejo y tratamiento de las aguas residuales domésticas de una vivienda rural en la que habitan cinco personas permanentes y tres personas temporales.

Tabla 22. Actividades de mantenimiento para las diferentes unidades del sistema séptico.

Actividad	Observaciones
Mantenimiento y limpieza de la trampa de grasa	<p>La trampa de grasa debe ser inspeccionada con la mayor frecuencia posible, se recomienda que la frecuencia de inspección no sea mayor a los tres meses. En la inspección retire el material extraño que esté junto o sobre la trampa de grasa, y que dificulte su inspección y mantenimiento. Si la tapa de la trampa de grasa o alguno de sus accesorios internos están deteriorados, realice el cambio por uno nuevo. La trampa de grasa debe conservar una cubierta hermética para prevenir olores molestos y para excluir insectos y roedores.</p> <p>Durante la inspección, retire el material flotante de la trampa de grasa y el material sedimentado (lodos), utilizando elementos de bioseguridad (guantes, tapabocas, gafas), y realice la mezcla con cal apagada y disponga el material final en los procesadores de pulpa de café, para su compostaje y obtención de abono orgánico o en los lechos de secado construidos para el manejo de los lodos provenientes del tanque séptico.</p>
Mantenimiento y limpieza del tanque séptico	<p>Se recomienda inspeccionar semestralmente el tanque séptico, para verificar que no se presente goteo o daño en las tuberías de acceso y de descarga de esta unidad, y para retirar el material extraño que esté junto o sobre el tanque séptico y que dificulte su inspección y mantenimiento.</p> <p>Anualmente deben retirarse las natas (material flotante) y el lodo en exceso acumulado en el tanque séptico. Para el caso de las natas realice el mismo procedimiento descrito para la trampa de grasa, utilizando elementos de bioseguridad, mezclando las natas con cal apagada y llevando el material final al procesador de pulpa o al lecho de secado de lodos.</p> <p>Anualmente deben retirarse los lodos en exceso, a través del dispositivo de sifón invertido, instalado en el tanque y llevar el material extraído a los lechos de secado de lodos.</p>
Mantenimiento y limpieza del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	<p>Se recomienda inspeccionar el FAFA semestralmente, para verificar que no se presente goteo o daño en las tuberías de acceso y de descarga de esta unidad y para retirar el material extraño que esté junto o sobre el FAFA y que dificulte su inspección y mantenimiento.</p> <p>Anualmente, retire la bio-capa adherida al medio de empaque. Para ello, introduzca una barra metálica hasta el 90% de la profundidad del tanque y realice movimientos circulares que permitan mover el empaque y desprender la bio-capa de bacterias adherida y lograr que flote. Retírela, con elementos de bioseguridad y dispóngala en el procesador de pulpa o en el lecho de secado de lodos.</p>

Continúa...

Actividad	Observaciones
Mantenimiento y limpieza del lecho de secado de lodos	<p>Se recomienda inspeccionar semestralmente los lechos de secado de lodos para retirar el material extraño que esté junto o sobre ellos, y que dificulte su inspección y mantenimiento. La vegetación invasora debe eliminarse de forma manual o mecánica, sin el uso de herbicidas. Para los lechos con cubierta debe verificarse el buen estado del techo y, en caso de encontrarse algún daño o deterioro, debe repararse para mantenerlo en óptimas condiciones. De igual manera, debe inspeccionarse el estado del material impermeable y de los accesorios que forman parte de los lechos y realizar las reparaciones o cambios por otros nuevos, cuando sea necesario.</p> <p>La superficie del lecho debe mantenerse limpia y libre de todos los lodos que se hayan descargado anteriormente. Nunca deben descargarse los lodos sobre otros secos o parcialmente secos. Después de retirar los lodos, el lecho debe prepararse para la siguiente carga. Debe reponerse la arena que se haya perdido en limpiezas anteriores.</p>
Mantenimiento y limpieza del campo de infiltración	<p>Se recomienda inspeccionar trimestralmente los campos de infiltración, incluida la caja de distribución, para retirar el material extraño que esté junto o sobre ellos, y que dificulte su inspección y mantenimiento. La vegetación invasora debe eliminarse de forma manual o mecánica, sin el uso de herbicidas, con el fin de mantener la prevalencia de la grama sembrada. En caso de presentarse goteo o deterioro en la caja de distribución y sus accesorios, realizar las reparaciones respectivas.</p>

Tabla 23. Recomendaciones para el buen desempeño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Fuente: Adaptado de Office of Water Program Operations (2005).*

Lo que se debe hacer	Lo que no se debe hacer
<p>Use el agua eficientemente para prevenir la sobrecarga del sistema séptico. Repare llaves o inodoros que gotean. Utilice accesorios de alto rendimiento. Cierre el grifo mientras se afeita y se cepilla los dientes. Asegúrese que todas las llaves estén cerradas, cuando no estén en uso.</p>	<p>El sistema séptico no es un bote de basura. No tire hilo dental, productos de aseo femeninos, condones, pañales, hisopos, colillas de cigarrillo, borra de café, toallas de papel, arenilla de gato, pinturas, sustancias químicas peligrosas y otros artículos de la cocina y baño que puedan atascar, y potencialmente dañar, los componentes del sistema séptico.</p>
<p>Evite verter, en el sistema séptico, sustancias químicas caseras como gasolina, aceite, pesticidas, pintura, acetona, disolventes y alcohol, entre otros, ya que pueden destruir el tratamiento biológico del sistema y contaminar el suelo y las fuentes hídricas superficiales y subterráneas.</p>	<p>No use destapadores de drenajes cáusticos para un desagüe tapado. En su lugar, use un tubo flexible para destapar tuberías.</p>

Continúa...

... continuación Tabla 23

Lo que se debe hacer	Lo que no se debe hacer
Entérese de la ubicación del sistema séptico. Cuando haga la limpieza no extraiga la totalidad de los lodos.	No lave ni desinfecte el tanque séptico después de la extracción de lodos.
Cuando destape cualquier parte del sistema séptico deje pasar un tiempo que garantice una adecuada ventilación, porque los gases acumulados pueden causar explosiones.	Nunca utilice cerillas o antorchas para inspeccionar un tanque séptico.
Inspeccione periódicamente su sistema séptico. Mantenga registros de reparaciones, bombeos, inspecciones, permisos emitidos, y otras actividades del mantenimiento del sistema.	No maneje o estacione carros sobre cualquier parte del sistema séptico, pueden compactar el suelo y dañar las cañerías, tanque u otros componentes del sistema.
Siembre solamente césped en las áreas cercanas y sobre su sistema séptico. Las raíces de árboles y otras plantas pueden atascar y dañar el campo de infiltración.	No exceda, sin importar el producto, las cantidades recomendadas en las instrucciones de la etiqueta y disminuya la cantidad descargada en su sistema séptico.
Use limpiadores de baño y detergentes de ropa comerciales con moderación. Limpie los inodoros, lavabos, regaderas, y duchas con detergentes suaves y bicarbonato de soda.	Los aditivos comerciales para tanques sépticos no eliminan la necesidad del bombeo periódico de lodos y podrían ser dañinos a su sistema.

Tabla 24. Algunas configuraciones de sistemas sépticos que pueden instalarse con tanques de polietileno comerciales y número de personas a las que cubriría la solución*.

Unidad del sistema	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3
Trampa de grasa (L)**	150-250	150-250	150-250
Tanque séptico (m ³)	2,0	3,0	5,0
FAFA (m ³)	2,0	3,0	5,0
Lecho de secado de lodos (m ²)	Hasta 2,0	Hasta 5,0	Hasta 7,0
Campos de infiltración (m ²)***	Hasta 22	43 a 47	79
Habitantes de la vivienda	3 permanentes y 8 temporales.	3 permanentes y 25 temporales.	10 permanentes y 32 temporales.
	4 permanentes y 5 temporales	4 permanentes y 20 temporales	12 permanentes y 28 temporales
	5 permanentes y 3 temporales.	5 permanentes y 18 temporales.	14 permanentes y 24 temporales.
	6 permanentes y 1 temporales.	6 permanentes y 16 temporales.	16 permanentes y 20 temporales.

(*) Para fincas con temperaturas medias iguales o inferiores a 20°C y el personal temporal sin pernoctar en la finca. El personal que pernocta en la finca se ha considerado como permanente, pues su contribución en lodos, así estén por temporadas, es igual al generado por las personas que permanecen en la vivienda durante la mayoría del tiempo.

(**) El volumen inferior de la trampa de grasa es considerando una cocina, un lavadero, una ducha y un lavamanos, y el volumen superior es considerando una cocina, un lavadero, dos duchas y dos lavamanos.

(***) Considerando una tasa de aplicación de 0,033 m³ m⁻² d⁻¹, correspondiente a una permeabilidad del suelo entre rápida a media

Para tener en cuenta

Si su sistema séptico está bien diseñado, construido y con un mantenimiento correcto, podría proveer el tratamiento efectivo de las aguas residuales de la vivienda a un largo plazo. Si su sistema no recibe el mantenimiento correcto, tendría que ser reemplazado, lo cual le podría generar un gasto económico importante. Un sistema que está funcionando mal podría contaminar el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales, las cuales, en muchos casos, son la fuente de abastecimiento para otras viviendas de la vereda.



Resultados **del** **desempeño** **de los** **sistemas** **sépticos** **instalados** **en Cenicafé**

Metodología utilizada para evaluar el desempeño de los sistemas sépticos.

Dependiendo de los requerimientos realizados por la autoridad ambiental, en la resolución mediante la cual se otorga el permiso de vertimientos, y de la normativa que aplique, si el vertimiento se realiza a cuerpos de agua superficial o al suelo, se realizan muestreos del agua residual que ingresa y que sale del sistema séptico para evaluar parámetros físico-químicos y microbiológicos (Decreto 1584 de 1984) o sólo del agua que sale del sistema séptico (Resolución 631 del 2015, Resolución 699 del 2021).

El muestreo de las aguas residuales se realiza durante un período continuo de ocho horas (desde las 8:00 am hasta las 4:00 pm), para obtener una muestra compuesta de agua a la cual se le realiza las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas requeridas por la normativa que aplique al vertimiento. La metodología para obtener la muestra compuesta de agua consiste en conformar una única muestra con alícuotas tomadas de las submuestras en el campo. La muestra compuesta es una combinación de muestras individuales de agua tomadas a intervalos de 30 minutos, a fin de minimizar el efecto de las variaciones puntuales de la concentración de los elementos que se están analizando (Figura 33).



Figura 33. Aspecto de las submuestras de agua residual tomadas durante el proceso de muestreo de los sistemas sépticos.

Las muestras de agua recolectadas se preservan en neveras con refrigerantes, y en cada uno de los recipientes se adicionan reactivos para su preservación, antes de su análisis, acorde a los requerimientos del Standard Methods. En la Tabla 25 se relacionan las variables caracterizadoras, sus unidades, la técnica analítica empleada, y el límite de detección de las variables analizadas.

Tabla 25. Variables caracterizadoras del agua proveniente de los sistemas sépticos.

Variable	Unidades	Técnica analítica	Límite de cuantificación
Caudal	L s ⁻¹	Volumétrica	N/A
pH	Unidad	Potenciométrica	N/A
Temperatura	°C	Termométrica	N/A
Conductividad eléctrica	µs cm ⁻¹	Electrométrica	N/A
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	mg L ⁻¹	Winkler y electrodo de membrana	2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg L ⁻¹	Reflujo cerrado. Colorimétrica	12
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg L ⁻¹	Gravimétrica	7
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL L ⁻¹	Volumétrica	0,1
Aceites y Grasas	mg L ⁻¹	Espectrofotométrica infrarrojo	0,2
Coliformes Totales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	N/A
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	N/A

N/A: No Aplica

Sistema séptico. Estación Experimental Naranjal. Cenicafé.

La Estación Naranjal está ubicada en la Vereda La Quebra, Municipio de Chinchiná, Departamento de Caldas. Las coordenadas son 04°58' latitud Norte y 75°39' longitud Oeste, lo cual corresponde geográficamente a la cordillera Central – vertiente Occidental, a una altitud de 1.381 m. y una temperatura media de 20,7°C. El sistema séptico se diseñó para 115 contribuyentes, distribuidos de la siguiente manera: cinco habitantes permanentes con una contribución diaria de aguas residuales de 130 L/hab-día, 40 personas permanentes con un horario de 8:00 am a 5:30 pm, de lunes a viernes, con una contribución de aguas residuales por habitante de 70 L d⁻¹ y 70 trabajadores frecuentes para actividades de cosecha con un 30% del tiempo en el año, pernoctando en la Estación, con una contribución de aguas residuales por habitante de 130 L d⁻¹.

El sistema séptico, al cual no llegan las aguas lluvias, consta de dos trampas de grasas, en polietileno, de 250 L cada una, tres tanques sépticos, en polietileno, de 5 m³ de capacidad cada uno, dispuestos en paralelo, tres filtros anaerobios de flujo ascendente, en polietileno, de 5 m³ de capacidad cada uno, empacados con trozos de botellas no retornables (Figura 34), dispuestos en paralelo y dos humedales de flujo subsuperficial de 15,0 m de largo x 2,0 m de ancho x 0,5 m de profundidad, sembrados con heliconias (Figura 35).



Figura 34. Sistema séptico instalado en la Estación Experimental Naranjal, conformado por tres tanques sépticos de 5 m³ y tres filtros anaerobios de flujo ascendente de 5 m³.



Figura 35. Humedales artificiales para el postratamiento de las aguas residuales domésticas, instalados en la Estación Experimental Naranjal.

En la Tabla 26 se presentan los resultados del desempeño del sistema séptico de la Estación Naranjal, en el tratamiento de las aguas residuales domésticas durante el período 2012-2017 y en la Tabla 27 se presenta el valor promedio de los parámetros más importantes en el agua de salida del sistema séptico y los valores de referencia que deben ser cumplidos cuando el agua se descarga a una fuente de agua superficial (Resolución 631 del 2015) o al suelo (Resolución 699 del 2021).

De los resultados presentados en las Tablas 26 y 27 se puede concluir que, para todas las caracterizaciones realizadas al agua de salida del sistema séptico instalado en la Estación Naranjal, esta cumple con todos los parámetros de calidad exigidos por la normativa colombiana para realizar la descarga a cuerpos de agua superficial o al suelo, comprobándose la eficiencia de este tipo de sistema para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. De otra parte, la remoción promedio de la DBO, DQO y SST fue superior al 95%, 96% y 97% respectivamente, al comparar el agua de ingreso al sistema séptico con el agua de salida del mismo.

Tabla 26. Parámetros caracterizadores del desempeño del sistema séptico en la Estación Central Naranjal de Cenicafé para el período 2012-2017.

Año Tipo de muestra	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (L s ⁻¹)	0,070	0,024	0,033	0,033	0,021	0,021	0,013	0,013	sd	0,041	0,070	0,060
pH (unidades)	6,31	6,80	6,23	7,03	6,47	6,84	6,72	7,00	6,42	6,86	8,27	7,01
T (°C)	24,10	23,00	23,30	23,30	22,10	20,40	24,70	22,60	25,04	21,36	18,82	18,65
Conductividad Eléctrica (µs cm ⁻¹)	481	370	662	516	450	422	657	360	148	77	sd	sd
DBO (mg L ⁻¹)	618	8	684	71	3.080	13	1.116	72	2.634	17	110	7
DQO (mg L ⁻¹)	806	42	2.785	88	8.925	19	2.890	92	4.049	36	200	<20
SST(mg L ⁻¹)	443	17	2.030	16	6.560	<6	1.400	8	943	6	86	9
SSED (mL L ⁻¹)	9	nd	40	<0,1	100	<0,1	70	<0,1	4	<0,1	5	<0,1
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	58	10	3	<0,5	37	2	30	<0,5	73	3	5	<0,5
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	4x10 ⁷	4x10 ⁶	3x10 ⁸	4x10 ⁶	2x10 ¹⁰	2x10 ⁵	2x10 ⁶	2x10 ⁴	sd	sd	4x10 ³	2x10 ³
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	1x10 ⁷	1x10 ⁶	2x10 ⁸	2x10 ⁵	3x10 ⁷	1x10 ⁴	2x10 ⁶	7x10 ²	sd	sd	25	2

sd: sin determinación

Tabla 27. Valor promedio de los principales parámetros en el agua de salida del sistema séptico en la Estación Naranjal de Cenicafé y valores que deben cumplirse si el vertimiento se realiza a un cuerpo de agua superficial o al suelo.

Variable	Valor promedio en el efluente del sistema séptico	Resolución 631 del 2015 Vertimientos a cuerpos de agua superficial		Resolución 699 del 2021 Vertimientos al suelo	
		Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico	Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico
Caudal (L s ⁻¹)	0,032	N/A	N/A	N/A	N/A
pH (unidades)	6,92	Entre 6,0 y 9,0	Sí	Entre 6,5 y 8,5	Sí
T (°C)	21,55	≤40	Sí	≤40	Sí
Conductividad eléctrica (μs cm ⁻¹)	349	N/A	N/A	≤ 700 y 1.000*	Sí
DBO (mg L ⁻¹)	32	N/A	N/A	N/A	N/A
DQO (mg L ⁻¹)	50	≤200	Sí	≤200	Sí
SST(mg L ⁻¹)	11	≤100	Sí	≤ 50 y 100*	Sí
SSED (mL L ⁻¹)	<0,1	≤5	Sí	≤ 1,5 y 3,5*	Sí
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	3	≤20	Sí	≤20	Sí

N/A: No aplica

(*) El valor a cumplir depende del valor de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Sistema séptico. Estación La Granja. Cenicafé.

La Sede La Granja de Cenicafé se encuentra ubicada en el Municipio de Manizales, Departamento de Caldas. Las coordenadas son 05°00' latitud Norte y 75°36' longitud Oeste, lo cual corresponde geográficamente a la cordillera Central – vertiente Occidental, a una altitud de 1.310 m. y una temperatura media de 20,8°C. El sistema séptico se diseñó para 50 contribuyentes permanentes con un horario de 8:00 am a 5:30 pm, de lunes a viernes, con una contribución de aguas residuales por habitante de 70 L d⁻¹.

El sistema séptico, consta de una trampa de grasas, en polietileno, de 250 L, un tanque séptico, en polietileno, de 5 m³ de capacidad, un filtro anaerobio de flujo ascendente, en polietileno, de 5 m³ de capacidad, empacado con trozos de botellas no retornables (Figura 36).

En la Tabla 28 se presentan los resultados del desempeño del sistema séptico de la Estación La Granja, en el tratamiento de las aguas residuales domésticas durante el período 2012-2017 y



Figura 36. Sistema séptico instalado en la Estación La Granja, conformado por un tanque séptico de 5 m³ y un filtro anaerobio de flujo ascendente de 5 m³.

en la Tabla 29 se presenta el valor promedio de los parámetros más importantes en el agua de salida del sistema séptico y los valores de referencia que deben ser cumplidos cuando el agua se descarga a una fuente de agua superficial (Resolución 631 del 2015) o al suelo (Resolución 699 del 2021).

De los resultados presentados en las Tablas 28 y 29 se puede concluir que, para todas las caracterizaciones realizadas al agua de salida del sistema séptico instalado en la Estación La Granja, esta cumple con todos los parámetros de calidad exigidos por la normativa colombiana para realizar la descarga a cuerpos de agua superficial o al suelo, comprobándose la eficiencia de este tipo de sistema para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. De otra parte, la remoción promedio de la DBO, DQO y SST fue superior al 88%, 84% y 96% respectivamente, al comparar el agua de ingreso al sistema séptico con el agua de salida del mismo. Los resultados de remoción de la carga orgánica son un poco inferiores en este sistema, respecto al evaluado en la Estación Experimental Naranjal, dado que para esta estación se instaló un sistema de postratamiento a base de humedales artificiales sembrados con heliconias.

Tabla 28. Parámetros caracterizadores del desempeño del sistema séptico en la Estación La Granja de Cenicafé para el período 2012-2017.

Año	2012		2013		2014		2015		2016		2017	
Tipo de muestra	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (L s ⁻¹)	0,080	0,023	0,027	0,020	0,045	0,025	0,043	0,025	0,017	0,018	0,036	0,012
pH (unidades)	8,13	7,47	7,70	7,12	7,29	7,19	7,45	7,47	7,64	7,68	7,69	7,55
T (°C)	29,40	22,05	23,50	23,70	24,80	23,40	23,70	24,10	22,48	22,89	22,00	21,90
Conductividad eléctrica (μs cm ⁻¹)	sd	sd	822	647	886	905	639	602	608	516	sd	sd
DBO (mg L ⁻¹)	173	22	714	66	1.686	15	966	42	43	9	41	8
DQO (mg L ⁻¹)	312	121	1.270	182	3.145	48	3.600	108	74	13	85	15
SST(mg L ⁻¹)	190	26	2.330	12	4.160	14	1.208	21	15	<0,6	41	<0,6
SSED (mL L ⁻¹)	8	sd	10	<0,1	20	<0,1	0,2	<0,1	2	<0,1	1	<0,1
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	17	10	3	<0,5	34	2	12	<0,5	3	<0,5	3	<0,5
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	sd	50	3x10 ⁸	2x10 ⁶	2x10 ⁵	2x10 ⁵	2x10 ⁴	2x10 ⁴	2x10 ⁴	2x10 ³	4x10 ³	3x10 ³
Coliformes Fecales (UFC/100mL)	sd	30	2x10 ⁸	4x10 ⁵	2x10 ⁵	2x10 ⁵	1x10 ⁴	2x10 ⁴	1x10 ³	1x10 ³	1x10 ³	1x10 ³

sd: sin determinación

Tabla 29. Valor promedio de los principales parámetros en el agua de salida del sistema séptico en la Estación La Granja de Cenicafé y valores que deben cumplirse si el vertimiento se realiza a un cuerpo de agua superficial o al suelo.

Variable	Valor promedio en el efluente del sistema séptico	Resolución 631 del 2015 Vertimientos a cuerpos de agua superficial		Resolución 699 del 2021 Vertimientos al suelo	
		Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico	Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico
Caudal (L s ⁻¹)	0,0205	N/A	N/A	N/A	N/A
pH (unidades)	7,41	Entre 6,0 y 9,0	Sí	Entre 6,5 y 8,5	Sí
T (°C)	23,01	≤40	Sí	≤40	Sí
Conductividad eléctrica (μs cm ⁻¹)	668	N/A	N/A	≤ 700 y 1.000*	Sí
DBO (mg L ⁻¹)	27	N/A	N/A	N/A	N/A
DQO (mg L ⁻¹)	82	≤200	Sí	≤200	Sí
SST(mg L ⁻¹)	13	≤100	Sí	≤ 50 y 100*	Sí
SSED (mL L ⁻¹)	<0,1	≤5	Sí	≤ 1,5 y 3,5*	Sí
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	3	≤20	Sí	≤20	Sí

N/A: No aplica

(*) El valor a cumplir depende del valor de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Sistema séptico. Estación Experimental El Rosario. Cenicafé.

La Estación Experimental El Rosario está ubicada en la Vereda El Cerro, Municipio de Venecia; Departamento de Antioquia. Las coordenadas son 05°58' latitud Norte y 75°42' longitud Oeste, lo cual corresponde geográficamente a la cordillera Central – vertiente Occidental a una altitud de 1.635 m. y una temperatura media de 19,5 °C. El sistema séptico se diseñó para 44 contribuyentes distribuidos de la siguiente manera: cuatro habitantes permanentes con una contribución diaria de aguas residuales de 130 L/hab-día y 40 personas frecuentes en la Estación con una contribución de aguas residuales por habitante de 70 L d⁻¹.

El sistema séptico, consta de una trampa de grasas, en polietileno, de 250 L, un tanque séptico, en polietileno, de 5 m³ de capacidad, un filtro anaerobio de flujo ascendente, en polietileno, de 5 m³ de capacidad, empacado con trozos de botellas no retornables (Figura 37).

En la Tabla 30 se presentan los resultados del desempeño del sistema séptico de la Estación El Rosario, en el tratamiento de las aguas residuales domésticas durante el período 2017-2021 y en la Tabla 31 se presenta el valor promedio de los parámetros más importantes en el agua de salida del sistema séptico y los valores de referencia que deben ser cumplidos cuando el agua se descarga a una fuente de agua superficial (Resolución 631 del 2015) o al suelo (Resolución 699 del 2021).



Figura 37. Sistema séptico instalado en la Estación El Rosario, conformado por un tanque séptico de 5 m³ y un filtro anaerobio de flujo ascendente de 5 m³.

Tabla 30. Parámetros caracterizadores del desempeño del sistema séptico en la Estación El Rosario de Cenicafé para el período 2017-2021.

Año	2017	2018	2019	2020	2021
Tipo de muestra	Salida	Salida	Salida	Salida	Salida
Caudal (L s ⁻¹)	0,618	sd	0,113	0,035	0,052
pH (unidades)	7,90	8,20	6,87	7,52	7,23
T (°C)	20,90	24,80	21,40	23,50	21,60
DBO (mg L ⁻¹)	45	16	12	52	9
DQO (mg L ⁻¹)	138	63	36	170	35
SST(mg L ⁻¹)	28	14	17	14	22
SSED (mL L ⁻¹)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,1
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	<10	<10	<10	17	3

sd: sin determinación

Tabla 31. Valor promedio de los principales parámetros en el agua de salida del sistema séptico en la Estación El Rosario de Cenicafé y valores que deben cumplirse si el vertimiento se realiza a un cuerpo de agua superficial o al suelo.

Variable	Valor promedio en el efluente del sistema séptico	Resolución 631 del 2015 Vertimientos a cuerpos de agua superficial		Resolución 699 del 2021 Vertimientos al suelo	
		Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico	Valores a cumplir	Cumplimiento del efluente del sistema séptico
Caudal (L/s)	0,2045	N/A	N/A	N/A	N/A
pH (unidades)	7,54	Entre 6,0 y 9,0	Sí	Entre 6,5 y 8,5	Sí
T (°C)	22,44	≤40	Sí	≤40	Sí
DBO (mg L ⁻¹)	27	N/A	N/A	N/A	N/A
DQO (mg L ⁻¹)	89	≤200	Sí	≤200	Sí
SST (mg L ⁻¹)	19	≤100	Sí	≤ 50 y 100*	Sí
SSED (mL L ⁻¹)	<0,1	≤5	Sí	≤ 1,5 y 3,5*	Sí
Aceites y Grasas (mg L ⁻¹)	10	≤20	Sí	≤20	Sí

N/A: No aplica

() El valor a cumplir depende del valor de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.*

De los resultados presentados en las Tablas 30 y 31 se puede concluir que, para todas las caracterizaciones realizadas al agua de salida del sistema séptico instalado en la Estación El Rosario, esta cumple con todos los parámetros de calidad exigidos por la normativa colombiana para realizar la descarga a cuerpos de agua superficial o al suelo, comprobándose la eficiencia de este tipo de sistema para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Caracterización de los lodos secos generados en los sistemas sépticos.

Tal como está previsto en el diseño, es necesario retirar anualmente los lodos en exceso de los sistemas sépticos. Para esta actividad se recomienda la utilización del dispositivo de sifón invertido y disponer los lodos en un lecho de secado (Figura 38). Los resultados muestran para tanques sépticos de 5 m³, un volumen promedio de lodos retirados de 1.000 L, con una concentración de sólidos sedimentables de 550 mL L⁻¹ (Figura 39) y una concentración de sólidos totales de 36.296 mg L⁻¹, es decir que se generan, en promedio, 36,30 kg de material seco por año.

En la Tabla 32 se presentan los resultados de la caracterización de los lodos secos provenientes de los tanques sépticos y en la Figura 40 su aspecto.



Figura 38. Aspecto de los lodos retirados del tanque séptico y dispuestos en los lechos de secado.

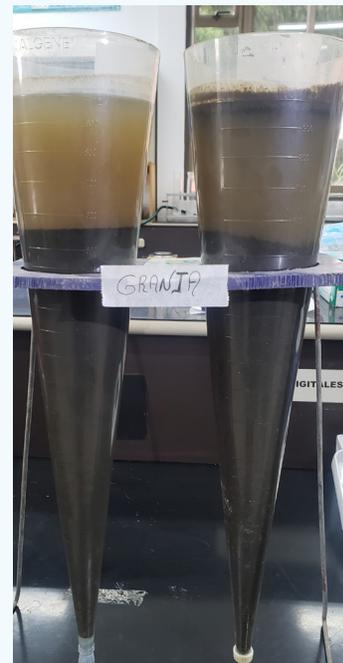


Figura 39. Sólidos sedimentables en los lodos frescos generados en el tanque séptico.

La composición de los lodos secos los hace aptos para ser utilizados como acondicionadores de suelos o mezclados con otros abonos orgánicos, como el lombricompost o el compost estabilizado de la pulpa de café, para ser utilizados en programas de fertilización orgánica.

Tabla 32. Caracterización físico-química de los lodos secos provenientes de los tanques sépticos.

Variable	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH (unidades)	5,48	5,39	5,62
Conductividad Eléctrica (mS cm ⁻¹)	2,83	2,94	2,58
Cenizas (%)	50,45	43,47	54,69
NTotal (%)	3,12	3,20	2,73
P (%)	0,49	0,50	0,46
K (%)	1,01	1,25	0,98
Ca (%)	0,85	0,97	0,87
Mg (%)	0,24	0,26	0,27
Fe (mg kg ⁻¹)	11.994	8.949	14.490
Mn (mg kg ⁻¹)	144	138	146
Zn (mg kg ⁻¹)	493	585	491
Cu (mg kg ⁻¹)	156	162	144



Figura 40. Aspecto de los lodos resultantes de los lechos de secado.



Consideraciones finales

En una finca cafetera promedio, la contaminación generada por las aguas residuales domésticas, cuando no son tratadas, equivale al 64% de la contaminación generada por las aguas residuales del beneficio del café, sin tratar.

Los vertimientos sin tratar procedentes de las viviendas cafeteras tienen un impacto importante en el deterioro de los recursos suelo y agua, principalmente en épocas de cosecha, cuando la producción de aguas residuales aumenta significativamente como consecuencia de los trabajadores temporales.

La mala disposición de las aguas residuales domésticas (sin tratamiento o parcialmente tratadas) de las fincas cafeteras, genera un impacto negativo sobre el suelo (cuando son infiltradas) o sobre los recursos hídricos superficiales, cuando son descargadas directamente en estos.

Para el tratamiento de las aguas residuales de las viviendas cafeteras, los sistemas sépticos constituidos por una trampa de grasas, un tanque séptico, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) empacado con tusas de maíz o con trozos de botellas no retornables o trozos de guadua que permitan la colonización y adherencia de un biofilm microbiano, y su posterior disposición en el suelo por medio de un campo de infiltración, se constituye en una de las soluciones más acertadas para cumplir con la normativa colombiana para vertimientos de aguas residuales domésticas.

El adecuado dimensionamiento de los sistemas sépticos, basado en el número de personas permanentes y temporales, la dotación de agua usada, el tiempo de retención hidráulico, junto a la implementación de sistemas de tratamiento completos que involucre trampa de grasas, tanque séptico, filtro anaerobio, humedal artificial (cuando los vertimientos se dispongan en cuerpos de agua superficial) y campos de infiltración (cuando los vertimientos se dispongan al suelo), acompañados de un mantenimiento frecuente de cada una de las unidades que conforman el sistema de tratamiento, aseguran que se logre cumplir con las normativas ambientales vigentes y se contribuya a la conservación de los recursos naturales.

Es imprescindible que el diseño y cálculo de la capacidad de las unidades que forman parte del sistema séptico se realicen de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento de Colombia (RAS) y que se realice una eliminación periódica de los lodos del tanque séptico, para favorecer su desempeño, los cuales deben ser llevados para su manejo y tratamiento a un lecho de secado de lodos.

La eliminación de los lodos del tanque séptico es una labor indispensable en la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento e influye en la eficiencia y desempeño del sistema séptico en la eliminación de la carga orgánica. No obstante, esta labor no se realiza con la frecuencia debida por parte de los usuarios de la tecnología, dado que deben destapar el tanque séptico, eliminar de forma manual el exceso de lodos y estar expuestos a los gases

que se generan en el tanque. Para facilitar la labor de eliminación de los lodos generados en el tanque séptico, en Cenicafé se desarrolló un dispositivo de sifón invertido, con el cual no es necesario destapar el tanque séptico para eliminar el exceso de lodos.

Si el agua tratada proveniente de los sistemas sépticos, diseñados de acuerdo con los lineamientos del RAS, se dispone en el suelo, a través de un campo de infiltración, no se requiere de la obtención de un permiso de vertimientos, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 1210 del 2020 expedido por el MADS y ratificado, para vivienda rural dispersa, en la Resolución 699 del 2021 del MADS.

Si el agua tratada proveniente de los sistemas sépticos se dispone en cuerpos de agua superficial, se requiere de la obtención de un permiso de vertimientos, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 3930 del 2010, y cumplir con lo establecido en la Resolución 631 del 2015 del MADS que establece las normas de vertimiento que deben cumplirse para las aguas residuales domésticas: pH (entre 6 y 9); DQO (hasta 200 mg L⁻¹); Sólidos Suspendedos Totales (hasta 100 mg L⁻¹), Sólidos Sedimentables (hasta 5 mL L⁻¹) y grasas y aceites (hasta 20 mg L⁻¹). Requiriéndose, en algunos casos, la incorporación de sistemas de postratamiento, tales como humedales artificiales, a continuación del sistema séptico, para lograr que el agua tratada tenga las características de calidad exigidas para su descarga a cuerpos de agua superficial.

En la línea base del Proyecto Gestión Inteligente del Agua (GIA) “Manos al Agua”, desarrollado en 25 microcuencas cafeteras de los departamentos de Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, se encontró que muy pocos caficultores tenían sistemas de tratamiento para el agua residual doméstica, lo cual genera un impacto ambiental negativo en el suelo y el agua. En el monitoreo dinámico realizado a los cuerpos de agua en las microcuencas del proyecto se demostró que los efluentes domésticos tienen un impacto más alto en la contaminación del agua de lo que se esperaba, por lo tanto, es necesario realizar un tratamiento a estos efluentes (Rodríguez et al., 2018b).

A través del Proyecto GIA, mediante un total de 1.708 implementaciones entre trampas de grasas y sistemas sépticos de tratamiento, se evitó el 37% de la contaminación generada por los vertimientos domésticos del 50% de las fincas, en las 25 microcuencas seleccionadas, ubicadas a menos de 200 m de los cuerpos de agua. Lo que representó evitar una contaminación, en las microcuencas, de 107 t año⁻¹ de carga contaminante expresada como DQO, lo que es de gran importancia, por estar situada la caficultura, en su mayor parte, en el área hidrográfica Magdalena-Cauca, en donde se genera el 87% de la carga contaminante del país (Rodríguez et al., 2018b).

Lo anterior coloca en evidencia la importancia de la implementación de sistemas de tratamiento para las aguas residuales domésticas como estrategia para reducir la contaminación orgánica presente en suelos y cuerpos de agua de la zona cafetera colombiana.

Los sistemas sépticos diseñados conforme a los lineamientos del RAS, bien operados, de forma que a los mismos sólo ingresen aguas residuales provenientes de la vivienda, con mantenimiento periódico y con eliminación anual de los lodos generados en el tanque séptico, permiten generar un agua tratada que cumple con los requerimientos de calidad exigidos por la normativa colombiana para vertimientos a cuerpos de agua superficial y al suelo, tal como se evidencia en los resultados presentados en esta publicación.

Tomado de MINVIVIENDA

Agua cruda. Es el agua natural, superficial o subterránea, que no ha sido sometida a procesos de tratamiento para su potabilización.

Agua potable o agua para consumo humano. Es aquella que cumple características físicas, químicas y microbiológicas, que la hacen apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal y no produce efectos adversos en la salud humana.

Agua para uso doméstico. Es aquella que reúne requisitos de calidad que la hacen apta para diferentes usos en el hogar.

Agua para usos productivos en el campo. Es el agua cruda o residual doméstica tratada, que reúne características físicas, químicas y microbiológicas, para ser utilizada en actividades agrícolas y/o pecuarias, de acuerdo a los estándares de calidad del Decreto 1594 de 1984 y Decreto Único 1076 del 2015.

Aguas grises. Son los desechos líquidos generados en el lavamanos, la ducha, el lavaplatos y el lavadero de la vivienda. Son llamadas también aguas jabonosas y, por principio, contienen muy pocos microorganismos patógenos.

Aguas residuales domésticas. Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en viviendas. Contienen excretas, agua de lavado de cocina, entre otras. Son la combinación de aguas grises y aguas con excretas.

Agua segura. Es aquella que sin cumplir algunas de las normas de potabilidad puede ser consumida sin riesgo para la salud humana.

Alcantarillado sanitario. Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales domésticas.

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

Cono de Imhoff. Es un recipiente graduado, en forma de cono, con paredes transparentes y una capacidad para contener un litro de agua residual. Se utiliza para determinar el contenido de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua residual.

Cuerpo de agua. Sistema de origen natural o artificial, localizado sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento.

Filtración. Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua, al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Consiste en un tanque de polietileno o construido en ladrillo y mampostería, empacado con material filtrante, en el cual se realiza la depuración de las aguas residuales provenientes del tanque séptico, las cuales ingresan por el fondo del tanque y ascienden a través del medio filtrante, sobre el cual se establecen microorganismos anaerobios, encargados de realizar un tratamiento biológico al agua residual pre-tratada en el tanque séptico, eliminando entre el 60%-80% de la carga orgánica contaminante que ingresa a la unidad.

Fuente de abastecimiento. Depósito o curso de agua superficial o subterránea utilizada por la población ya sea proveniente de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas para atender sus necesidades de agua.

Humedal. Zona de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan.

Inodoro. Aparato sanitario utilizado para recoger y evacuar los excrementos humanos y animales hacia la instalación de saneamiento y que mediante un cierre de sifón de agua limpia impide la salida de los olores del desagüe hacia los espacios habitados.

Letrina. Estructura que se construye para disponer las excretas o materia fecal, con la finalidad de proteger la salud de la población y evitar la contaminación del suelo, aire y agua.

Lodos. Subproductos sólidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Mampostería. Sistema constructivo realizado con ladrillos o piedras, adheridos o unidos a base de mortero de cemento.

Mantenimiento. Conjunto de acciones que se ejecutan en las estructuras, instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

Nata. Sustancia espesa que se forma sobre el agua almacenada en el tanque séptico, compuesto por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes.

Nivel freático. Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

Norma de vertimiento. Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga.

Operación. Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.

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

Patógenos. Microorganismos que pueden causar enfermedades en el ser humano.

Pozo de percolación o de absorción. Hoyo profundo realizado en la tierra para infiltrar el agua residual sedimentada, proveniente del tanque séptico o para infiltrar aguas grises.

Pozo o cámara de inspección. Estructura de ladrillo o concreto, de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco – cónico, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores.

Pretratamiento. Procesos que acondicionan las aguas residuales o el agua cruda proveniente de una fuente superficial o subterránea para su tratamiento posterior.

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

Sedimentación simple. Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.

Sólidos sedimentables. Fracción del total de sólidos en el agua que se separan de la misma por acción de la gravedad, durante un período determinado.

Soluciones individuales de saneamiento. Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen.

Tanque Imhoff. Dispositivo que permite el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas mediante la acumulación de la materia sedimentable y de los flotantes, y la digestión anaerobia de los lodos.

Tanque séptico (o pozo séptico). Sistema individual de tratamiento de aguas residuales domésticas para una vivienda o conjunto de viviendas, que combina la sedimentación y la digestión anaerobia de los lodos.

Trampa de grasa. Recipiente que tiene como propósito separar físicamente la grasa de las aguas residuales de la cocina, la ducha y el lavadero. Las aguas residuales se mueven más despacio al entrar en la trampa, permitiendo que las partículas de grasa, que son más ligeras que el agua se enfríen y solidifiquen, flotando hacia arriba, permitiendo que el agua sin grasa ingrese al tanque séptico.

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

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

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

Zanja de infiltración. Excavación larga y angosta realizada en el suelo para acomodar las tuberías de distribución del agua residual decantada en el tanque séptico, y para su siguiente infiltración en el suelo permeable.

Literatura citada

Aurazo, M. (2004). *Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <http://elaguapotable.com/manual%20 analisis%20basicos%20CA.pdf>

Calderón, R., & Rodríguez-Valencia, N. (2018). *Modelo integral de manejo de microcuencas cafeteras en Colombia, experiencia “Manos al Agua”*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua/modelo_integrado_de_manejo_de_microcuencas_cafeteras

Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico [CRA]. Rango de consumo básico. Bogotá, D.C., Colombia, 2015. 66 p.

Congreso de la Republica de Colombia. (2009). *Ley 1333 de 2009 por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36879>

Congreso de la Republica de Colombia. (2015a). *Ley 1753 del 2015 por la cual se expide el Plan de Nacional de Desarrollo 2014-2018: “Todos por un nuevo país”*. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1753_2015.html

Congreso de la Republica de Colombia. (2015b). *Ley 1955 del 2019 por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=93970>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2013). *Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua: Sistema de indicadores ambientales de Colombia, indicadores de calidad del agua superficial*. http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2019). *Estudio Nacional del Agua 2018*. IDEAM. <https://cta.org.co/descargables-biblionet/agua-y-medio-ambiente/Estudio-Nacional-del-Agua-2018.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. Examen y descripción de los suelos en el campo. Subdirección de Agrología. Bogotá (COLOMBIA). 1985. p. 47-58.

Ministerio de Agricultura (1984). *Decreto número 1594 de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.* https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1594_de_1984.pdf

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2000). *Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural.* (Título J.; Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS., p. 282). https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Decreto Número 2667 de 2012 la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.* <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Decreto2667.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Resolución 1207 del 2014. Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.* https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_1207_2014.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015a). *Decreto Número 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015b). *Resolución 631 del 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Decreto Número 50 de 2018. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuenca (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones.* <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85084>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Decreto Número 1210 de 2020. Por el cual se modifica y adiciona parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico, se reglamenta parcialmente el artículo 279 de la Ley 1955 de 2019 y se dictan otras disposiciones.* <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=141359>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 699 del 2021 Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas Tratadas al suelo, y se dictan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/cb-Res%200699%20de%202021%20-%20Establecen%20par%C3%A1metros%20aguas%20residuales.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Resolución 1256 del 2021 Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010a). *Decreto Número 3930 de 2010 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.* <https://www.habitatbogota.gov.co/decreto-3930-2010>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010b). *Política Nacional para la gestión integral del Recurso hídrico.* Imprenta Nacional de Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010c). *Resolución Número 2086 Por el cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1° del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones.* https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Regimen-Sancionatorio-Ambiental/res_2086_251010.pdf

Ministerio de Desarrollo Económico, & Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales.* (Sección II Título E.; Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000., p. 144). https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf

Ministerio de Protección Social (2007). *Decreto 1575 de 2007 Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.* <https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>

Ministerio de Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf

Ministerio de Salud. (1998). *Decreto número 475 de 1998 por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1327>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Sistemas de acueducto*. (Título B.; Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS., p. 480). <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). Decreto 1232 de 2020 por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2.1.1. del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo relacionado con la planeación del ordenamiento territorial. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=142020>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017 por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *Resolución 0844 de 2018. por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0844-2018.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18911>

Office of Water Program Operations. (1980). *Onsite Wastewater Treatment and Disposal Systems. Design Manual*. (p. 391). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/septic/onsite-wastewater-treatment-and-disposal-systems>

Office of Water Program Operations. (2005). *Guía del dueño de hogar para sistema sépticos* (p. 19). U.S. Environmental Protection Agency. <https://iucat.iu.edu/iupui/6761697>

Rendón, J. R. (2014). *Implementación y evaluación de estrategias para el manejo integrado del agua en la Estación Central Naranjal “Cenicafé”* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/1695>

Rodríguez-Valencia, N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/4342>

Rodríguez-Valencia, N. (1994). *Experimento QIN-02-03. Metanogénesis de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café*. Cenicafé

Rodríguez-Valencia, N., & Quintero-Yepes, L. (2018). *Módulo 1. Manejo y tratamiento de las aguas residuales del beneficio de las empresas cafeteras* (p. 47) [Curso e-Learning]. Fundación Manuel Mejía.

Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L., Gómez Zuluaga, G. A., Bohórquez Zapata, V. L., González Durán, C. M., Osorio Ocampo, A. F., Miguel García, Á. de, & Harmsen, J. (2018). *Guía para la evaluación de la calidad del agua superficial en microcuencas cafeteras de Colombia*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua/publicaciones_calidad_del_agua_en_microcuencas_cafeteras

Rodríguez-Valencia, N., Quintero-Yepes, L., Osorio Ocampo, A. F., Castañeda, S. A., García, M., Harmsen, J., & Bisschops, I. (2018). *Tecnología apropiadas para el tratamiento de aguas en fincas cafeteras*. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua/publicaciones_tecnologias_apropiadas_para_el_tratamiento_de_aguas_en_fincas

Salazar, A. (1988). Sistemas elementales para el manejo de aguas residuales, sector rural y semi-rural. *Revista Empresas Públicas de Medellín*, 10(2), 11–167. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/341.0-6821.pdf>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017). *Estudio Sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2016* (p. 64). Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

T.L. Ingeambiente. (2021). *Rosetón Plástico Filtrante. Especificaciones*. Rosetón para tratamiento de aguas residuales. <https://tlingeambiente.com/servicios/roseton-para-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural [UNATSABAR]. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xv.pdf>

Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural [UNATSABAR]. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/x.pdf>

Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural [UNATSABAR]. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://sswm.info/es/node/11903>

Zambrano, D. A., Rodríguez-Valencia, N., Orozco, P. A., & López, U. (2015). Evaluación de un reactor metanogénico tipo filtro anaerobio de flujo ascendente para tratar aguas mieles del café. *Revista Cenicafé*, 66(1), 32–45. <http://hdl.handle.net/10778/607>



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

www.cenicafe.org



ISBN: 978-958-8490-54-0

