

Optimización de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de sistemas sépticos

Proyecto aplicado

Por:

Antonio Jose Paez Lince

CODIGO: 1096034178

Pereira, Julio de 2018

Optimización de un sistema de tratamiento de lodos provenientes de sistemas sépticos

Proyecto presentado Por:

Antonio Jose Paez Lince

A

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA

PROGRAMA INGENIERIA AMBIENTAL

DOSQUEBRADAS, RISARALDA

Dirigido por:

Marcela Mejía Guarín

Pereira, Julio de 2018

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Contenido

1. Índice de tablas .....	7
2. Índice de figuras. ....	8
3. Agradecimientos .....	9
4. Resumen.....	10
5. Planteamiento del problema.....	12
6. Justificación.....	13
7. Objetivos .....	14
7.1 Objetivo General .....	14
7.2 Objetivos Específicos .....	14
8. Marco conceptual y teórico.....	15
8.1 Marco Conceptual .....	15
Aguas residuales .....	15
Tanque séptico .....	16
Lechos de secado .....	17
El compostaje.....	18
8.2 Marco teórico: .....	20
Generalidades.....	20
Aguas Residuales.....	23

8.3 Marco Legal: .....	31
9. Metodología .....	35
Población .....	36
Muestra .....	36
Recursos Disponibles .....	36
Recursos humanos: .....	36
Recursos físicos: .....	36
Recursos tecnológicos: .....	36
Proceso: .....	37
Revisión bibliográfica:.....	37
Recopilación normatividades para el desarrollo del Proyecto:.....	37
Recopilación de estudios: .....	37
Estudios Técnicos: .....	38
Conclusiones y Resultados: .....	38
10. Procedimiento .....	39
10.1 Características del Vertimiento.....	40
10.2 Modelo de predicción .....	44
10.3 Diseño sistema de tratamiento de lodos .....	45
10.4 Ensayo De Percolación.....	47

Conclusión .....	48
10.5 Cálculos del diseño .....	48
10.6 Presupuesto y cantidades De obra .....	53
10.7 Manual De Operaciones .....	56
10.8 Plan De Contingencia.....	60
En caso de Derrame .....	60
Rediseño del sistema de vertimiento .....	61
Primeros auxilios .....	61
11. Conclusiones y resultados .....	62
12. Anexos.....	63
13. Bibliografías .....	71

## 1. Índice de tablas

Tabla 1 <i>Parámetros</i> .....	25
Tabla 2. Marco Legal.....	32
Tabla 3. Cuadro de áreas.....	45
Tabla 4. Presupuesto de tratamiento de lodos.....	61

## 2. Índice de figuras.

*Figura 1:* Diagrama de un tanque séptico

*Figura 2:* lechos de secado

*Figura 3:* Sistema de compostaje: en pilas volteadas

*Figura 4* Agentes infecciosos presentes en el agua residual domestica bruta

*Figura 5.* Clasificaciones de los microorganismos

*Figura 6.* Ventajas y limitaciones de las procesos (URL-1, 2009)

*Figura 7.* Composición química de los lodos crudos y digeridos.

*Figura 8.* Concentración de metales pesados en los lodos

*Figura 9.* Localización geográfica

*Figura 10.* Red de distribución pozo séptico (Vista en planta)

*Figura 11.* Red de distribución pozo séptico (Vista en perfil)

*Figura 12.* Detalle trampa de grasas

*Figura 13.* Detalle caja de inspección

*Figura 14.* Detalle en planta pozo séptico Y FAFA

*Figura 15.* Detalle en perfil del pozo séptico y FAFA

*Figura 16.* Detalle pozo de absorción

*Figura 17.* Aportes Per Cápita

*Figura 18.* Aporte del sistema de trata

*Figura 19.* Topografía del área a invertir.

*Figura 20.* Tasa de percolación.

*Figura 21.* Calculo de diseño



### 3. Agradecimientos

Agradezco a cada una las personas que me ayudaron a que fuera posible la elaboración de este proyecto de grado:

- ING. DIEGO ALEJANDRO PEREZ. Ingeniero Ambiental, Profesor del Programa De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia

- ING. MARCELA MEJIA GUARIN. Ingeniera Ambiental, Profesora del Programa De Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia

- A las personas que me colaboraron con las actividades de campo y oficina para la ejecución del proyecto: YESSIKA MILENA RODRIGUEZ.

#### 4. Resumen

El proyecto busca implementar un sistema de tratamiento mediante el cual se puedan aprovechar los lodos que se extraen del tanque séptico de la finca La Plata, vereda La Argentina, municipio de La Tebaida Quindío, con el fin lograr utilidad funcional a partir de los mismos y a su vez reducir la carga de contaminantes. El proceso a implementar consiste en la generación de un tren de tratamiento que sugiere la construcción de un lecho de secado donde los lodos serán depositados directamente; así bien, al contar con un sistema de drenaje ayudara a separar los líquidos los cuales serán tratados de manera anaerobia por medio de un filtro anaeróbico de flujo ascendente FAFA o también denominado reactor anaerobio; reduciendo su materia orgánica según estudios llevados a cabo por Young Mccarty(1969) en un cerca del 80%, contando que el sistema séptico de donde proviene dichos lodos ya tiene un previo tratamiento, llegando de esta forma a una disposición final por medio de zanjas de infiltración o pozo de absorción, dependiendo el nivel de infiltración del suelo. El presente proyecto en su segunda instancia en el aprovechamiento de las condiciones medio ambientales de las características del municipio de La Tebaida donde su temperatura promedio es de 29°C, plantea la degradación biológica de los lodos extraídos durante la ejecución de la primera fase del proyecto hasta alcanzar un proceso final estable que permita lograr su utilidad. Sin embargo, aunque existen diferentes métodos o tecnologías para transformar a compost el método aquí tratado se hará sobre pilas volteadas el cual consiste en la realización de pilas paralelas donde se voltearan periódicamente con el fin de suministrar aire para llevar a cabo su proceso y de ser necesario el uso de cascarillas de arroz o aserrín con el fin de reducir su peso y a su vez lograr optimizar el proceso de aireación, es de resaltar que el resultado será utilizado como insumo de abono para la misma finca y sus cultivos.

Este proceso se pretende llevar a cabo en un periodo de 5 meses empezando por la fase uno denominada fase 1: estudios y diseños; con el fin de establecer la capacidad más óptima, continuando con una fase 2 de construcción de la planta que va a recibir los lodos extraídos del tanque séptico de la finca La Plata y a su vez haciendo un seguimiento continuo de su comportamiento y la caracterización final tanto del vertimiento como del compost con el fin de determinar si se logra reducir los niveles de DBO, DQO y establecer un compost apto para su uso agrícola.

## 5. Planteamiento del problema

La Tebaida se encuentra localizada al occidente del departamento del Quindío a una altura promedio de 1200 m.s.n.m, con una extensión territorial de 89 km; contando con una población de 43.000 habitantes, de los cuales 39.000 se encuentran en la cabecera municipal y 3.000 habitantes ocupan las zonas rurales del mismo. Las condiciones anteriormente expuestas ilustran de manera preliminar una actividad humana considerable en el área rural del municipio, lo que ocasiona de igual forma un alto impacto medio ambiental dentro del territorio; esto sumado a que no existe cobertura del servicio de alcantarillado (recolección y tratamiento de aguas residuales ) para el área rural de la Tebaida, y las aguas servidas son tratadas en la mayoría de los casos mediante sistemas sépticos, que disminuyen las cargas contaminantes al recurso hídrico antes de verter finalmente a una fuente hídrica o al suelo.

Lo anterior obedece al punto de partida para el desarrollo del trabajo de grado, fundamentado en la problemática ambiental que presentan las comunidades rurales de las seis (6) veredas de dicho municipio, generada a partir de la ausencia en lo opcional para el aprovechamiento de los subproductos derivados de los sistemas sépticos.

## 6. Justificación

El presente proyecto (Optimización De Un Tren De Tratamiento De Lodos Provenientes De Un Sistemas Sépticos Localizados En La finca La Plata, Vereda La Argentina municipio De La Tebaida, Quindío) tiene como objeto contribuir en la reducción de los impactos ambientales ocasionados a los recursos naturales , a partir de las actividades humanas (domésticas) de los habitantes de la finca la Plata, Vereda la Argentina del municipio de La Tebaida, departamento del Quindío; mediante la optimización de un tren de tratamiento de lodos de un sistemas sépticos. Así bien, se busca particularmente: 1. Reducir las cargas contaminantes a los recursos naturales suelo y agua, por actividades domésticas en la zona rural del municipio. 2. Ofrecer una alternativa de aprovechamiento a los lodos extraídos como subproducto obtenido a partir de la implementación de los sistemas sépticos objeto de este proyecto, con la finalidad de obtener un estado de compost.

Una de las mayores dificultades a la hora de hacer mantenimientos a los sistemas sépticos por parte de las comunidades, es el costo económico que esta acción implica; razón por la cual no se realizan dentro de los periodos reglamentarios, la que a su vez genera mayores impactos ambientales de carácter negativo, principalmente a los recursos hídricos y suelo, afectando a su vez la flora y fauna asociadas a los ecosistemas presentes. Con el desarrollo del actual proyecto aplicado se busca brindar una alternativa que desde lo ambiental y lo económico permitan hacer tangibles los beneficios implícitos en los mantenimientos reglamentarios para el correcto funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales producto de las actividades humanas de las comunidades rurales; logrando de esta forma beneficiar al territorio mediante la reducción de las afectaciones a estos recursos, en aras de lograr una oferta hídrica apta para surtir las distintas

## 7. Objetivos

### 7.1 Objetivo General

Optimizar un tren de tratamiento de lodos provenientes de un sistema séptico localizado en la finca La Plata, vereda La Argentina municipio de la Tebaida, Quindío que permita el aprovechamiento de los lodos extraídos a partir de un sistema séptico de uso doméstico.

### 7.2 Objetivos Específicos

- Instalar un lecho de secado que permitan el tratamiento de los lodos provenientes del tanque séptico de la finca La Plata, vereda La Argentina municipio de la Tebaida.
- Diseñar e implementar un Filtro Anaerobio de Flujo ascendente con el fin de dar un tratamiento al agua residual proveniente del lecho de secado.
- Implementar un pozo de infiltración que permita una disposición del agua residual resultante del Filtro anaerobio de flujo ascendente.
- Instalar una caseta de compostaje, de tal manera que los lodos provenientes del lecho de secado sean almacenados y compostados para su disposición final como abono orgánico.

## 8. Marco conceptual y teórico

### 8.1 Marco Conceptual

Una vez realizada la consulta bibliográfica de los diferentes conceptos teóricos que fundamentan desde lo académico el rango de accionar de la presente propuesta de investigación, se pudo inferir que existen diversos conceptos que tienen cierto criterio pertinente dentro de la misma; sin embargo, se realizó una selección basada en la relevancia e influencia que presentan dentro del proyecto. Estos se describen a continuación:

#### **Aguas residuales**

El concepto de aguas residuales se entiende como todos aquellos líquidos resultantes de las actividades múltiples que se realizan a diario en el hogar, las cuales al ser un insumo para estas actividades al entrar en contacto con otros sólidos se contaminan y a su vez los parámetros fisicoquímicos cambian, por lo tanto surge la necesidad de ser tratadas y en lo posible ser reutilizadas.

Según Metcalf y Eddy, (1991) afirman que:

Podemos definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que se pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales (P.01).

De acuerdo a lo anterior se puede establecer que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del vertimiento se dan según la procedencia de su uso es decir, que las aguas de tipo doméstico contienen unos parámetros diferentes a aquellas provenientes de usos

industriales, actividades comerciales entre otros, las cuales son depositadas en una sistema de tratamiento, en esta ocasión haremos referencia a los tanques sépticos.

### **Tanque séptico**

Según Crites y Tchobanoglous, (2000) plantea que: "Un tanque séptico se usa para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado" (P.313). De acuerdo a lo anterior se puede afirmar que los tanques sépticos, son utilizados en puntos donde no es posible la recolección de las aguas servidas por medio de sistemas de alcantarillado que direccionen estas mismas a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), como su nombre lo indica este tipo de sistemas están diseñados para trabajar a menor escala con el fin de tratar las aguas residuales de unidades de viviendas aisladas independientes.

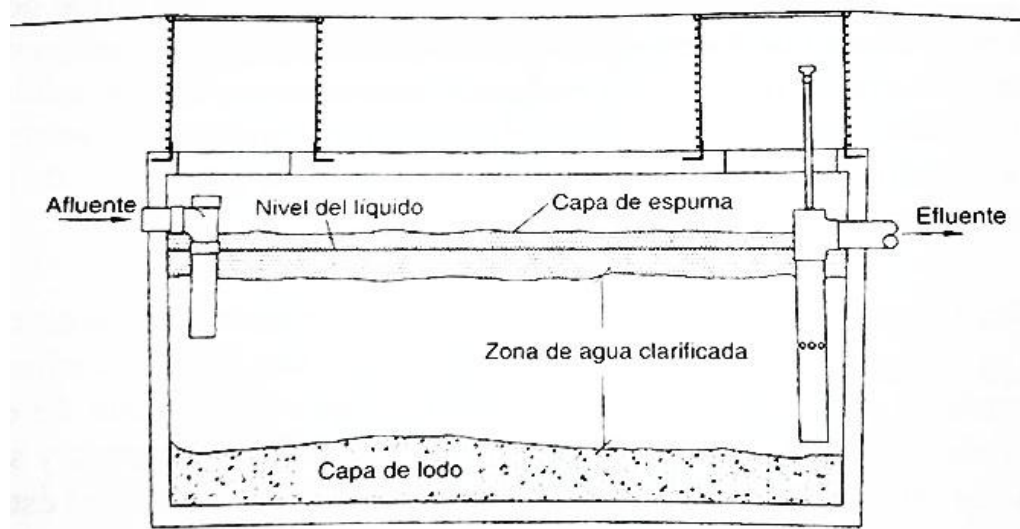
Crites y Tchobanoglous, plantea que:

Los sólidos removidos de las aguas residuales requieren estabilización antes de ser dispuestos o reutilizados. El material semilíquido bombeado de los tanques sépticos, denominado lodo de tanque séptico (septage) también requiere una estabilización adicional antes de ser dispuesto o reutilizado. El tratamiento y la reutilización con fines benéficos que se dé a los biosólidos y lodos de tanques sépticos, generalmente compostaje y aplicación en el suelo (P.9).

Dado lo anterior es de suma importancia llevar a cabo un tratamiento previo antes de la disposición final de estos lodos, pues dada su composición estos deben de ser estabilizados con el fin de reducir el nivel de contaminación generados por los mismos, cabe resaltar que el tratamiento se realizara acorde a su disposición final, en este caso a través de un proceso de



deshidratación mediante lechos de secado los cuales gracias a su sistema de drenado el cual se encarga de separar los sólidos de los líquidos depositados en él.



*Figura 1:* Diagrama de un tanque séptico  
(Fuente: libro tratamiento aguas residuales en pequeñas poblaciones P.318)

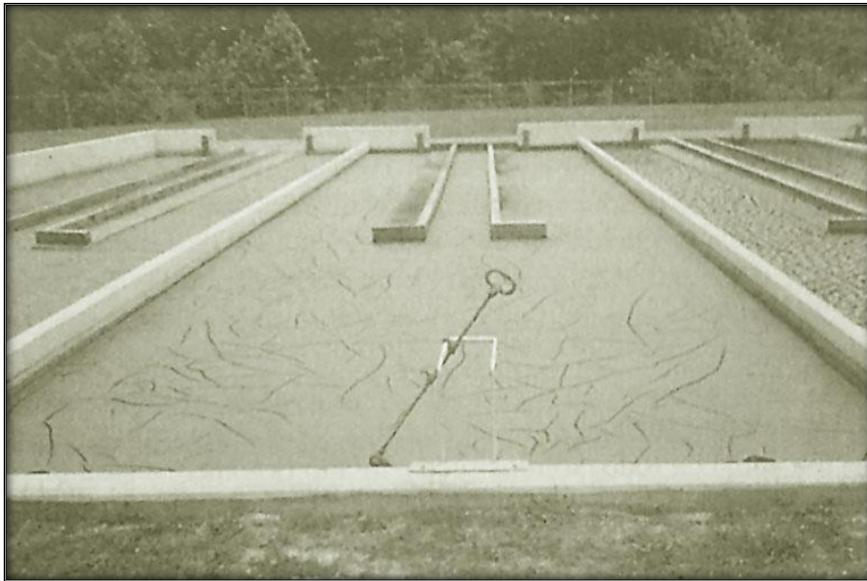
### **Lechos de secado**

Según Crites y Tchobanoglous, (2000) plantea que:

El método más común para secar lodos en sistemas pequeños de tratamiento de aguas residuales es el secado de lodo con aire en lechos de arena. Los lechos de secado de lodo son fáciles de manejar, producen un alto contenido de sólidos, son de bajo costo y requieren un mínimo de atención en su operación (P.680).

En este sentido, se puede exponer que el secado de lechos es el método más común y a su vez más económico para deshidratación de los lodos, es importante tener en cuenta el clima del sitio en donde va ser su instalación, ya que este va muy de la mano con las características físicas del medio ambiente, aunque es una muy buena alternativa y su costo en

relación a otros tipos de sistemas es más económico se debe prever situaciones como lo son las temperaturas ambiente, dado que la implementación de un sistema de tratamiento de lodos proveniente de pozos sépticos es un proceso que se lleva a menor escala, se puede afirmar que es la mejor opción para este proceso. Después de que los lodos se convierten en sólidos pasan a un proceso de recuperación denominado compostaje.



*Figura 2: lechos de secado*

(Fuente: libro tratamiento aguas residuales en pequeñas poblaciones P.681)

### **El compostaje**

Según Metcalf y Eddy, (1995) plantean que: “El compostaje es un proceso en el que la materia orgánica sufre una degradación biológica hasta alcanzar un producto final estable. El fango compostado adecuadamente es un material tipo humus, higiénico y libre de características desagradables” (P.953). Dado lo anterior el proceso de compostaje lo que busca es la recuperación, en este caso de los lodos provenientes de un sistema séptico de uso

doméstico con unos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos los cuales pasaran por diferentes etapas para llegar a la reutilización del lodo como un fertilizante de tipo agrícola. Según Metcalf y Eddy, (1995) afirman que: “Durante el proceso de compostaje, se observan tres fases de actividad diferentes con sus intervalos de temperaturas asociados: mesofílica, termofílica, y enfriamiento” (P.954). De acuerdo a lo anterior se puede decir que gracias a este método, el compost por medio de un proceso térmico natural generada por pilas pasa por tres etapas donde su temperatura es el principal influyente. Conforme aumenta la temperatura hasta aproximadamente 40°C surge la aparición de hongos y bacterias productoras de ácidos, llegando a una segunda etapa con temperaturas entre 40 a 70°C, en esta etapa es donde se produce la máxima degradación y su estabilización de su materia orgánica y una fase final de enfriamiento caracterizada por la reducción de actividad microbiana y por sustitución de los microorganismos termofílicos a mesofílicos (bacterias y hongos).



*Figura 3:* Sistema de compostaje: en pilas volteadas

(Fuente: libro ingeniería de aguas residuales volumen II Tratamiento, vertido y reutilización P.956)

Como segunda instancia los vertimientos resultantes serán tratados mediante un redactor biológico de flujo ascendente (FAFA), encargados mediante un proceso anaerobio bacteriano tratar los líquidos provenientes de lecho de secado con el fin de reducir en un 80% la carga bacteriana y que sea apto para su descarga al suelo. Según el Ministerio de desarrollo económico (2000), plantea que: “filtro anaerobio consiste en una columna llenada con varios tipos de medios solidos usadas para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales” (P. E.8). Dado lo anterior se puede afirmar que este tipo de sistemas es el adecuado para tratar sistemas sépticos y por consiguiente establecer la correcta forma de disposición final de los líquidos en esta unidad, ya sea por zanjas de infiltración, pozos de absorción, sistemas de riego o a una fuente hídrica, teniendo en cuenta una caracterización final de la misma para establecer si cumple con los parámetros establecidos por la norma tal como lo determina el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2015). En donde define: “Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo da gua, al alcantarillado o al suelo, decreto 1076 del 2015” (P.349).

## **8.2 Marco teórico:**

### **Generalidades**

El agua es uno de los recursos naturales más importantes para la sobrevivencia y bienestar del ser humano; haciendo parte de todos los procesos biológicos asociados a la especie humana, esto enaltece aún más su posición, ya que es objeto de diversas acciones tendientes a la protección y la conservación. Sin embargo, las numerosas afectaciones, sobrepoblación, demanda y contaminación excesiva a la que se ve de manera permanente

expuesta, ha ocasionado que este invaluable recurso comience a escasear y dejar un huella enorme en las necesidades que como sociedad demandamos para nuestro desarrollo. La protección de la salud pública es el propósito fundamental del tratamiento de residuos tanto solidos como líquidos y le sigue en orden de importancia la protección del ambiente. Por tanto, es responsabilidad de los ingenieros proyectistas, investigadores y gestores públicos involucrados, asegurar que los sistemas de tratamiento logren esta meta (Gijzen, 2001).

La incidencia de la contaminación del agua en enfermedades que afectan la salud humana es causada por la incorrecta disposición de los desechos humanos, los cuales son descargados a las fuentes hídricas sin tratamiento alguno generando una acumulación de cargas orgánicas que generan microbios que causan las enfermedades hídricas, afectando la salud humana, y generando enfermedades como el tifo, la fiebre tifoidea, el cólera asiático, la amibiasis, entre otras. Dichas enfermedades son generadas por una serie de microorganismos como lo son, la *salmonella typhosa*, la *shigella dysenterial* y la *entamoeba histolytica* etc. Adicional a otros microorganismos como lo son los parásitos intestinales – *oxyuris vermicularis*, *áscaris lumbricoides* entre otros (Orozco y Salazar, 1985).

Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta <sup>a</sup>		
Organismo	Enfermedad	Comentario
<b>Bacteria</b>		
<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
<i>Leptospira</i> (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de Weil)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
<i>Salmonella</i> (~ 1.700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
<i>Shigella</i> (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersinosis	Diarrea
<b>Virus</b>		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
Enterovirus (67 tipos, p.e. polio, eco y virus Cocksackie)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Reovirus	Gastroenteritis	
Rotavirus	Gastroenteritis	
<b>Protozoos</b>		
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis	Diarrea
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amébrica)	Diarreas prolongadas con sangre, abscesos en el hígado y en el intestino delgado
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea, náuseas, indigestión
<b>Helmintos<sup>b</sup></b>		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Infestación de gusanos
<i>Enterobius vericularis</i>	Enterobiasis	Gusanos
<i>Fasciola hepatica</i>	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
<i>Hymenolepis nana</i>	Hymenlepiasis	Tenia enana
<i>Taenia saginata</i>	Teniasis	Tenia (buey)
<i>T. solium</i>	Teniasis	Tenia (cerdo)
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis	Gusanos

Figura 4 Agentes infecciosos presentes en el agua residual doméstica bruta

Así las cosas, se puede decir que es de interés público la adopción de sistemas sostenibles que contribuyan a la transformación y reducción de los agentes constituyentes de las aguas contaminadas, no únicamente en centros poblados urbanos sino también en sectores rurales como es el objeto del presente trabajo, en donde una gran mayoría de la población que allí reside no trata sus residuos líquidos, vertiendo directamente al fuentes hídricas superficiales y/o al suelo. Es así, que en el territorio Colombiano los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV- están diseñados para las zonas urbanas, dejando por fuera

las áreas rurales; lo que evidencia la necesidad de establecer acciones que permitan intervenirlas, para lograr reducir los impactos negativos al recurso hídrico a partir de las los vertimientos producto de actividades humanas.

### **Aguas Residuales**

Las aguas residuales son aquellas que se generan a partir de actividades que se realizan en una vivienda, como el lavado de ropa, bañarse, preparación de alimentos, producción de heces, entre otras los cuales al mezclarse con el agua potable altera los parámetros físico- químicos (Metcalf y Eddy, 1991).

### **Composición típica de agua residual domestica**

Las aguas residuales están compuestas de materiales minerales que se presentan originalmente en el agua de consumo, a la cual se le agrega materia fecal, restos de alimentos, jabón, detergentes, y algunas otras sustancias. Parte de los residuos quedan en suspensión y otros quedan finalmente divididos.

La clasificación de las aguas residuales se puede clasificar según la procedencia de su uso como lo son hoteles, restaurantes centros comerciales, usos residenciales entre otros, en esta ocasión se muestran cuáles son los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos más comunes en las aguas residuales de tipo doméstico (Orozco y Salazar, 1985).

Parámetro
DBO <sub>5</sub> (mg/l)
DQO (mg/l)
Solidos totales ST (mg/l)
Solidos suspendidos SS (mg/l)
SS volátiles (mg/l)
Nitrógeno total (mg/l)
Fosforo total (mg/l)
Detergentes (mg/l)
Temperatura (°C)
pH
Carga (DBO <sub>5</sub> /hab/día)

Tabla 1 Parámetros

### Características microbiológicas de las aguas residuales

Entre los principales grupos de microorganismos tanto en las aguas residuales como superficiales se pueden clasificar en organismo eucariota, eubacterias y arqueobacterias, aunque la mayor parte de los organismos se encuentran en el grupo de las eubacterias. Dentro de la categoría protista, dentro de los microorganismos de tipo cariota se encuentran los hongos, algas y protozoos. A continuación se relaciona una tabla con la clasificación de los microorganismos (Metcalf y Eddy, 1991).



Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota <sup>b</sup>	Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido.	Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos.	Protistas (algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota <sup>c</sup>	Química celular parecida a las eucariotas.	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota <sup>c</sup>	Química celular distintiva.	Metanógenos, halófilos, termacidófilos.

Figura 5. Clasificaciones de los microorganismos

### Tratamiento de aguas residuales

Se puede establecer fases o etapas para el tratamiento de las aguas residuales clasificándose en las siguientes categorías:

#### *Tratamientos primarios*

Busca la eliminación de cualquier elemento que pueda entorpecer algunas de las etapas siguientes del tratamiento. Los principales elementos objetivos de esta fase son los sólidos gruesos aceites y grasas

#### *Tratamientos secundarios*

El objetivo de esta etapa es la remoción de la materia orgánica disuelta, típicamente medida como la fracción soluble de DBO. Esta es vista quizás como uno de los tratamientos más importantes de un sistema, y la que define como biológico aquellos procesos que utilizan organismos biológicos para la remoción de la materia.

Este a diferencia del tratamiento primario contiene un tratamiento biológico encargado de la degradación de la materia orgánica y convirtiéndolos parcialmente en gases inoocuos y material celular que se extrae como lodos de sedimentación

#### *Tratamientos terciarios o avanzados*

Busca remover cualquier elemento no deseado. Esta etapa del tratamiento está enfocada a la remoción de nutrientes (Nitrógeno y fosforo), siendo empleada cuando los contaminantes no han disminuido a los niveles requeridos o cuando se encuentran contaminantes específicos que no se removieron en la etapa anterior (Orozco y Salazar, 1985).

En esta ocasión se hace necesario establecer los tratamientos necesarios para llevar a cabo la implementación del tren de tratamiento de lodos provenientes de un sistema séptico, localizado en la finca la plata, Vereda la Argentina, municipio de la Tebaida Quindío. Donde se contara con un FAFA perteneciente al tratamiento secundario por medio de un tratamiento aerobio encargado de recibir los líquidos provenientes de los lechos de secado, por otro lado el uso de un tratamiento terciario cuya unidad es un lecho de secado encargado de transformar los fangos en sólidos.

#### **Objetivos del tratamiento de aguas residuales**

Reducir las cargas contaminantes a través de sistemas de tratamiento capaces de llevar a cabo procesos de estabilización y si es posible la reutilización de estos líquidos (Crites y Tchobanoglous, 2000). Lo cual direccionado al proyecto implementación de un tren de tratamiento de lodos provenientes de un sistema séptico, localizado en la finca la plata, Vereda la Argentina, municipio de la Tebaida Quindío, es reducir los niveles de

contaminación en un 80% a partir de la extracción de los lodos provenientes de este tanque séptico, sin que se vea afectado el subsuelo al ser vertido directamente, después de su Pos tratamiento

### **Procesos biológicos o combinados (Anaerobio + Aerobio) Fafa**

El proceso anaerobio se define como el proceso de degradación de toda la materia orgánica por la acción efectuada de microorganismos, en la ausencia de oxígeno u otros parámetros antioxidantes. Como subproducto de ella se obtiene un gas denominado biogás. Gracias al sistema Fafa y a su proceso microbiológico ausente de aire, puede llevar a cabo el proceso de estabilización de los líquidos provenientes de los lodos drenados a partir de los lechos de secado, los cuales son descargados inicialmente desde el pozo séptico (Ministerio de desarrollo económico, 2000).

### **Principales procesos de tratamiento biológico en aguas residuales**

Existen diferentes procesos encargados de la remoción de sustancias orgánicas,

Entre los procesos biológicos más usados se encuentran:

- procesos de lodos activados
- lagunas aireadas
- filtros percoladores
- biodiscos
- lagunas de estabilización (MinDesarrollo, 2000).

## Niveles de tratamiento de aguas residuales a partir del sistema utilizado –

### sistemas sépticos- FAFA

Se puede establecer que este tipo de sistemas gracias a su proceso biológico puede poseer un alto grado de remoción de SS y DBO hasta en un 85%, aunque no remueven grandes cantidades de metales pesados nitrógeno, fosforo u organismos patógenos.

(MinDesarrollo, 2000).

### *Ventajas y limitaciones de los procesos*

Aerobio	Anaerobio
$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CO_2 + 3 CH_4$
Mayor producción de lodos	Menor producción de lodos
Operatividad comprobada	Menores costos de operación
50% de C es convertido en $CO_2$ , 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana	95% de C es convertido en biogas; 5% es transformado en biomasa microbiana
60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor	90% de la energía es retenida como $CH_4$ , 3-5% es perdido como calor, 5-7% es almacenada en la biomasa
Ingreso de elevada energía para aireación	No requiere de energía
Limitación de cargas orgánicas	Acepta altas cargas orgánicas
Se requiere adición de nutrientes	Requerimiento bajo de nutrientes
Requerimiento de grandes áreas	Se requiere pequeña área superficial
Periodos de arranque cortos	Largos periodos de arranque
Baja generación de olores	Generación de olores molestos

Figura 6. Ventajas y limitaciones de las procesos (URL-1, 2009)

De acuerdo con diferentes investigaciones a nivel mundial, reportan que las experiencias abordadas en distintos en países, arrojan resultados altamente satisfactorios al articular procesos anaerobios y aerobios.

### Pos-tratamiento en aguas residuales

Pozo de absorción se puede determinar como la disposición final proveniente del sistema FAFA sobre un tanque cilíndrico o rectangular con alto nivel de infiltración sobre la capa del suelo. Se recomienda su uso en un lugar con poca cobertura y con tasas de absorción de gran rapidez (MinDesarrollo, 2000).

### Secado y características de los Lodos

Entre los sistemas más comunes para el secado de los lodos se encuentran los lechos encargados de la deshidratación por medio de la evaporación y drenado de los líquidos extendidos en un lecho de arena y grava (Orozco y Salazar, 1985).

**TABLA 9-2**  
**COMPOSICION QUIMICA DE LODOS CRUDOS Y DIGERIDOS**

Parámetro	Lodo Primario crudo	Lodo Digerido
ST- Sólidos secos totales (%o)	2.0 – 7.0	6.0 – 12.0
SV- Sólidos volátiles (%o ST)	60.0 – 80.0	30.0 – 60.0
Proteínas (%o ST)	20.0 – 30.0	15.0 – 20.0
Nitrógeno (N, %o ST)	1.5 – 4.0	1.6 – 6.0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %o ST)	0.8 – 2.8	1.5 – 4.0
Potasa (K <sub>2</sub> O, %o ST)	0.0 – 1.0	0.0 – 3.0
Celulosa (%o ST)	8.0 – 15.0	8.0 – 15.0
Sílica (SiO <sub>2</sub> , %o ST)	15.0 – 20.0	10.0 – 20.0
pH	5.0 – 8.0	6.5 – 7.5
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	5000 – 1500	2500 – 3500
Contenido térmico (BTU/lb)	6800 – 10000	2700 – 6800

*Figura 7.* Composición química de los lodos crudos y digeridos.

Los valores de la capacidad fertilizante de los lodos tienden hacer bajos. Estos contienen una relación NPK (Nitrógeno, fosforo, potasio) (porcentaje en peso) de 2.5: 1.6:

0.4. Para que los lodos cumplan la función de fertilizantes deberán tener una proporción de NPK de 10:10:10. También los metales cumplen un papel importante para la utilización de los lodos y su disposición (Crites y Tchobanoglous, 2000).

**TABLA 11.5**  
**Concentración de metales pesados en los lodos\***  
 Unidades: mg/L.kg

Componente	Característico	Media EPA
Arsénico	10	10
Boro	33	
Cadmio	16	10
Cobalto	4	30
Cromo	890	500
Cobre	850	800
Mercurio	5	6
Manganeso	260	260
Molibdeno	30	4
Níquel	82	80
Plomo	500	50
Zinc	1740	1700

\* Tomado de U.S. EPA (1987) y Sommers (1980).

Figura 8. Concentración de metales pesados en los lodos

### Usos de los lodos en la agricultura

Los lodos provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se recomienda después de llevar a cabo un buen tratamiento del mismo aprovechar su composición para fines agrícolas. Es de resaltar que la utilización de estos depende de su contenido de nutrientes y metales pesados. Los lodos digeridos son una fuente de amonio pero su parte sólida contiene nutrientes, se estima que aproximadamente un 60% del nitrógeno contenida en los sólidos es liberado ante el primer año y un 15% y 5% en el segundo tercer año respectivamente. Se establece que estos lodos con un bajo nivel de nitrógeno más la

ayuda de algunos componentes líquidos podrán mejorar sustancialmente su valor,

como el acondicionamiento para usarlo en suelo como fertilizante (Orozco y Salazar, 1985).

### 8.3 Marco Legal:

<b>norma</b>	<b>entidad</b>	<b>marco</b>
Ley 23 de 1973	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por medio de esta ley se establece el control de la contaminación del medio ambiente y se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales, para la salud y el bienestar de la población.
Decreto Ley 2811 de 1974	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 09 de 1979	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Código Sanitario Nacional, donde se establecen los procedimientos y medidas para legislar, regular y controlar las descargas de los residuos y materiales. Indica, además los parámetros para controlar las actividades que afecten el medio ambiente.
Ley 99 de 1993	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	mediante esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios que antes de esta ley carecían de coherencia en el control y formulación de políticas ambientales a nivel nacional. En ella se destacan los siguientes aspectos:

		<p>a. Define los fundamentos de la política ambiental colombiana</p> <p>b. Establece los fundamentos de la política ambiental</p> <p>c. Define la obligatoriedad de obtener Licencia Ambiental para ejecutar proyectos, obras o actividades que puedan causar daño al medio ambiente.</p> <p>d. Crea el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MMA, organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y reorganiza las Corporaciones Autónomas Regionales CAR's, creando otras.</p> <p>e. Permite la participación ciudadana en el proceso de otorgamiento de la Licencia ambiental.</p>
--	--	---

En relación con el recurso hídrico objeto de interés del presente trabajo de grado

<b>Norma</b>	<b>Entidad</b>	<b>Marco</b>
Decreto 2811/1974.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Es el reglamento sobre aguas no marítimas, de recursos hidrobiológicos, de cuencas hidrográficas y de áreas de manejo especial.
Decreto 1541/1978.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamenta las concesiones de aguas superficiales y subterráneas exploraciones de materia de



		arrastre y ocupaciones de cauce.
Decreto 1681/1978	Ministerio De Agricultura	Reglamento sobre los recursos hidrobiológicos.
Ley 09 de 1979	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Conocida como Código Sanitario Nacional.
Decreto 2105/1983.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Potabilización del agua. Reglamenta su potabilización y su suministro para consumo humano.
Decreto 3930 DE 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	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
Ley 373 de 1997.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el uso eficiente y ahorro del agua. Reglamenta el uso y ahorro del agua.
Decreto 901 de 1997.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece las tasas retributivas por vertimiento líquidos puntuales a cuerpos de agua. Reglamenta el vertimiento para DBO y SST.
Decreto 605 de 1996.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Sobre la potabilización del agua y su suministro para consumo

		humano.
Decreto 1594/1984.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamenta los usos del agua y los vertimientos líquidos además del control sobre los residuos líquidos.
Decreto 1076 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Compilación de todo el ordenamiento jurídico en materia ambiental, regida en el territorio colombiano, con relevancia al ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos.
Decreto 50 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	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 Macro cuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones
Resolución 2087 de 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos
Resolución 1541 de 2013	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico Ras –	Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua	Tratamiento de aguas residuales.

2000, sección II, Título E	Potable y Saneamiento Básico	
----------------------------	------------------------------	--

Tabla 2. Marco legal

## 9. Metodología

El diseño del presente proyecto obedece a un proyecto de tipo aplicado, que consiste según: “Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad” (p. 159). Este tipo de proyecto permite llevar a la práctica los conocimientos adquiridos, y a su vez las teorías las cuales fueron objeto de estudio, demostrando mediante la “optimización de tratamiento de lodos provenientes del pozo séptico localizado en la finca la Plata, vereda la Argentina, municipio de la Tebaida Quindío”, que dichos sistemas son capaces de reducir mediante procesos de tipo anaerobio los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales, alcanzando los niveles permisibles establecido por la norma para ser depositada en el suelo mediante un pozo de absorción. Por otro lado, los lodos extraídos de este sistema de tratamiento descentralizado cuyo uso es de carácter doméstico, se llevara a cabo un proceso de deshidratación el cual será apto para su reutilización como abono orgánico, sin que se vaya haber afectado los recursos naturales, buscando un equilibrio en la naturaleza y a su vez mitigar aquellos impactos negativos generados por la incorrecta disposición de los lodos.

### **Población.**

La población del presente estudio, son los residentes que se encuentran localizados en la finca la Plata, vereda la Argentina, municipio de la Tebaida, departamento del Quindío.

### **Muestra.**

Para el presente proyecto no se cuenta con muestra de estudio dado a que es un proyecto aplicado.

### **Recursos Disponibles**

Para realizar el proyecto se cuenta con los siguientes recursos disponibles:

**Recursos humanos:** son las personas disponibles, adecuadas y capacitadas para realizar las diferentes tareas, actividades que se lleven a cabo en el proyecto en este caso un obrero de construcción, el cual se encargara de ayudar a construir el tren de tratamiento de lodos, un soldador y un ingeniero ambiental.

**Recursos físicos:** este tipo de recursos comprende terrenos, maquinaria, medios de transporte, etc. Para este proyecto aplicado se dispone de una pequeña porción de lote de la finca la plata, herramientas (baldes para transportar los lodos extraídos del pozo séptico, palas, palin, palustre, taladro), equipo para soldar, equipo de seguridad (tapabocas, gafas, guantes, y delantal de laboratorio), vehículo en el que se transportaran las muestras al laboratorio, y papelería.

**Recursos tecnológicos:** son los que se valen de la tecnología para llevar a cabo su propósito, estos recursos pueden ser tangibles o intangibles, para el caso de este proyecto aplicado son tangibles los computadores, la impresora, cámara fotográfica,

plotter, GPS, y USB, e intangibles como los software de uso libre (Qgis, AutoCAD versión educativa, y google heart).

**Proceso:**

**Revisión bibliográfica:**

A través de diversas experiencias evaluar cuáles han sido los mejores diseños en temas de tratamiento de lodos de este tipo que se ajusten a la normatividad vigente, para identificar las unidades de tratamiento necesarias y así llevar a cabo el diseño en condiciones idóneas del sistema de tratamiento con sus pertinentes estudios ambientales requeridos,

**Recopilación normatividades para el desarrollo del Proyecto:**

Se tendrá en cuenta el PBOT (Plan Básico de Ordenamiento Territorial) de Municipio de La Tebaida, departamento del Quindío, el cual fue aprobado mediante acuerdo 026 del 2000, de igual manera se estudiarán todas las determinantes Ambientales expedidas por CRQ (Corporación Autónoma Regional Quindío), Las cuales fueron aprobadas mediante Resolución 720 de 2010, esto con el fin de conocer la viabilidad del proyecto y que no vaya en detrimento del ordenamiento jurídico, Decreto 1076 del 2015 , Resolución 2087 de 2014, Resolución 1541 de 2013, Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico Ras – 2000, sección II, título E , y demás normativa referente al tema.

**Recopilación de estudios:**

Recopilar documentos técnicos relacionados con proyectos de este tipo, con el fin de conocer los parámetros fisicoquímicos desencadenados de esta extracción de estos lodos para generar un compostaje de calidad, igualmente establecer los posibles planes de: contingencia, y su manual de operaciones.

### **Estudios Técnicos:**

Después de tener el pleno conocimiento de las diferentes normativas y sus diseños se realizará un trabajo de campo donde se harán ensayos de percolación para conocer el nivel de infiltración del suelo con el fin de determinar qué tan apto para la instalación de un pozo de absorción y el levantamiento altimétrico del terreno sobre el cual se construirá el sistema de tratamiento con el fin de determinar la ubicación correcta de los diseños del tren de tratamiento y generar los perfiles necesarios para conocer como quedara implantado el proyecto.

Es de exaltar que la planta se ubicara en zonas con pendientes aptas para construir, para que el sistema funcione por gravedad y así reducir costos en sistemas de bombeo.

Se trazará el diseño del tren de tratamiento con las diferentes unidades con sus respectivos cálculos para establecer la capacidad de almacenamiento de lodos.

Posterior a la obtención del diseño, se realizarán los respectivos estudios ambientales para determinar si la planta es óptima y cumple a cabalidad con la normatividad expuesta.

### **Conclusiones y Resultados:**

Se sintetizan los resultados obtenidos, cumpliendo a cabalidad con los objetivos establecidos, para este caso se ilustrará el diseño más óptimo y ajustado al ordenamiento jurídico en materia ambiental.

## 10. Procedimiento

**Localización:** El proyecto se encuentra localizado en la finca la plata, vereda la argentina municipio de la tebaida en las coordenadas N 4° 26' 19,1" W 75° 46' 32,12"



*Figura 9. Localización geográfica*



*Foto 1. Ingreso a la Finca La Plata*

### **Contribuyentes:**

La finca La Plata cuenta con seis habitantes permanentes y tiene un área total construida de 154.02 m<sup>2</sup> tal como se discrimina a continuación:

**Espacios:**

<b>Cuadro de áreas</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Área M2</b>
<b>Bloque A</b>	habitación 2	18,00
	baño	2,59
	salón comedor	9,00
	corredor	25,00
<b>Bloque B</b>	baño	2,53
	lavadero de ropa	1,52
	cocina	1,96
	cuarto de herramientas	24,68
	bodega	18,25
	cuartel	50,49
<b>Área Total</b>		<b>154,02</b>

Tabla 3. Cuadro de áreas.

### 10.1 Características del Vertimiento

Los vertimientos de la finca La Plata que son de tipo doméstico, son tratados con un sistemas de tratamiento anaeróbico de agua residual calculados según RAS 2000, el cual cuenta con suficiente capacidad para tratar los vertimientos producidos por la actividad domesticas del predio en mención, este está compuesto por trampa de grasas, tanque séptico, filtro anaeróbico de flujo ascendente y la disposición final que se hace a través de pozos de absorción.



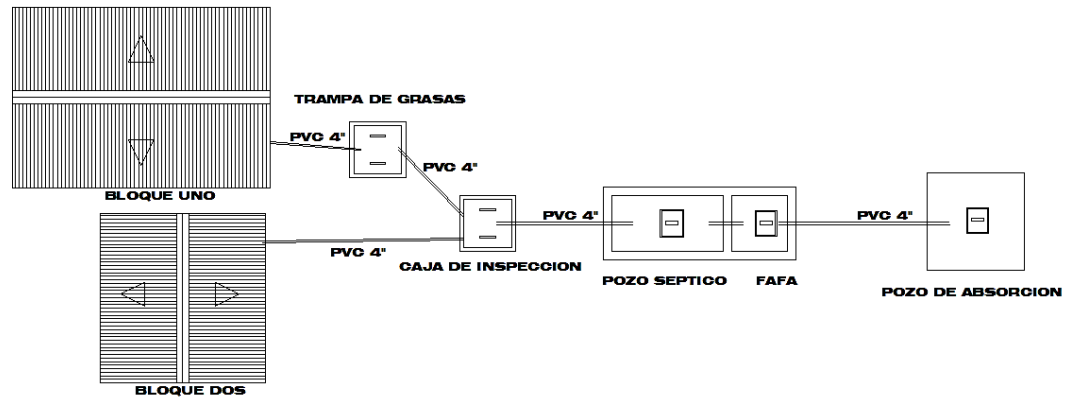


Figura 10. Red de distribución pozo séptico (Vista en planta)

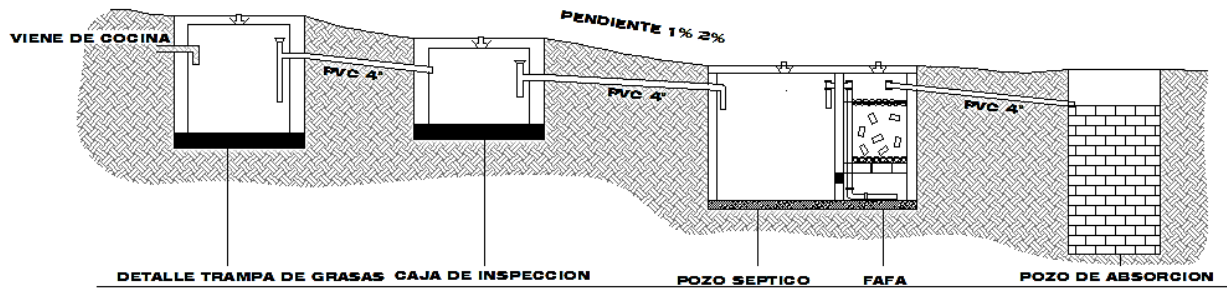


Figura 11. Red de distribución pozo séptico (Vista en perfil)

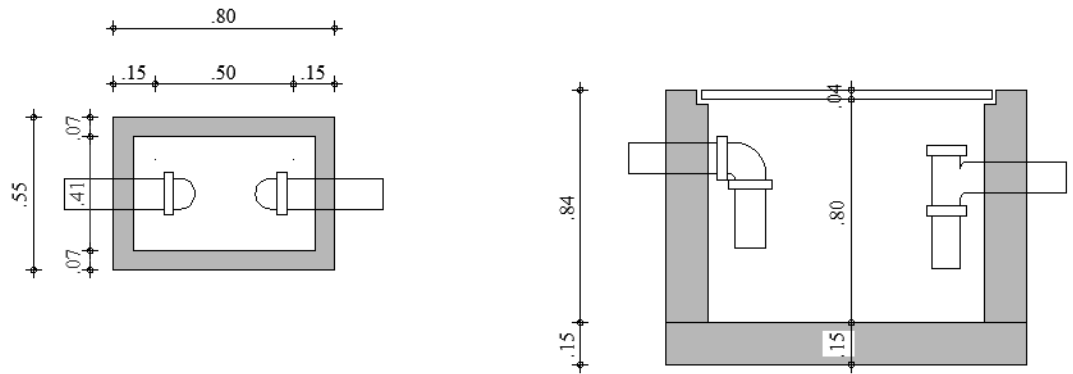


Figura 12. Detalle trampa de grasas

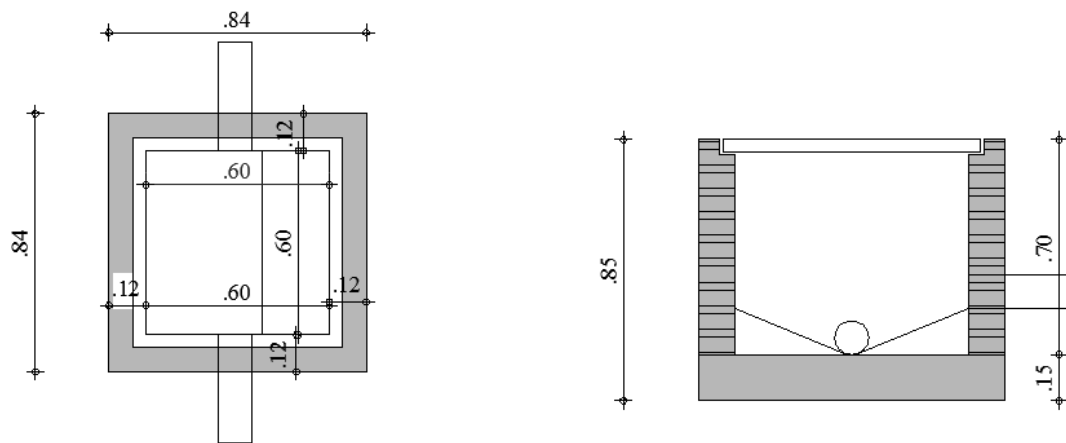


Figura 13. Detalle caja de inspección

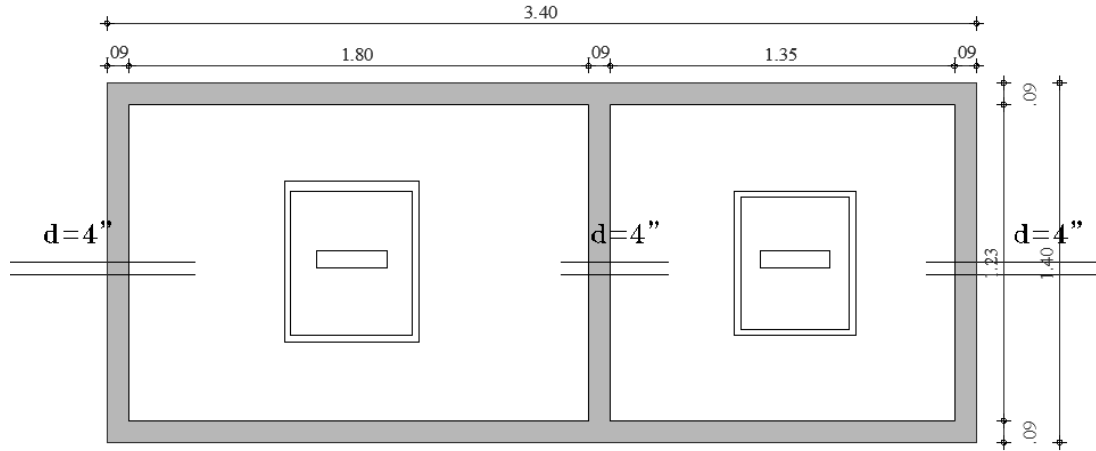


Figura 14. Detalle en planta del Pozo séptico y FAFA

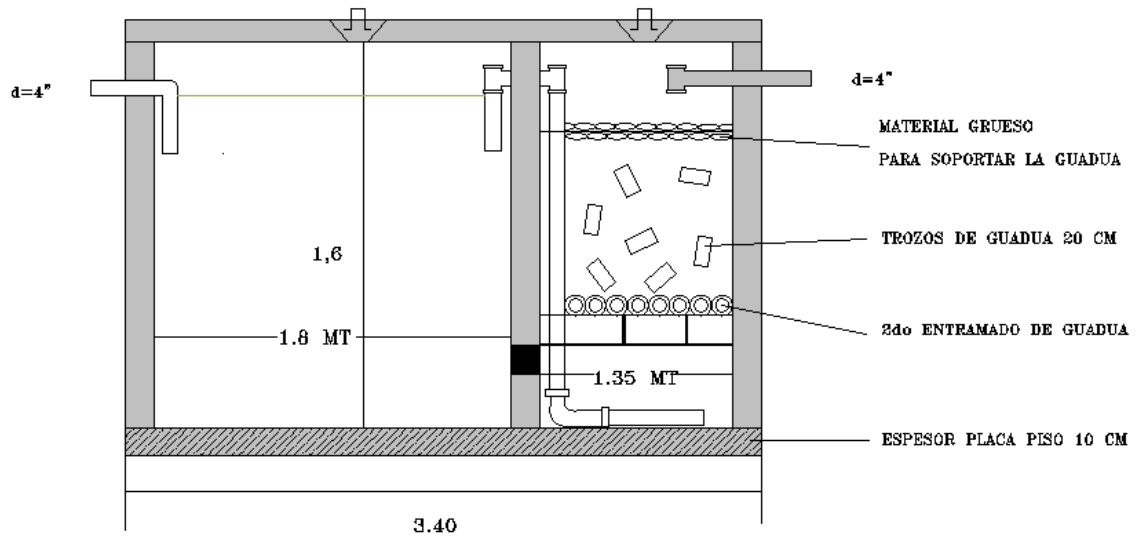


Figura 15. Detalle en perfil del pozo séptico y FAFA

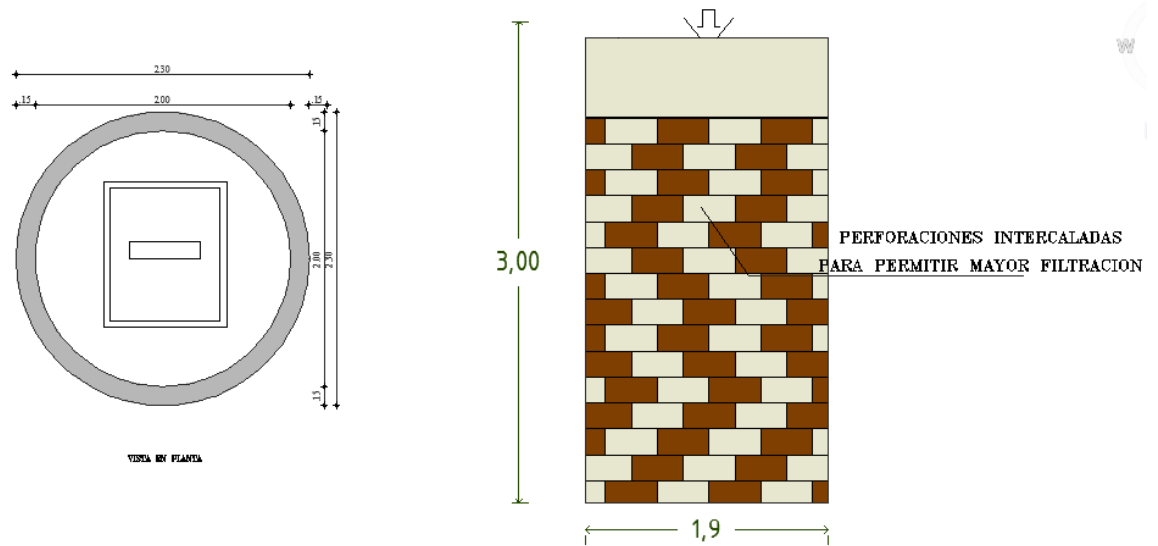


Figura 16. Detalle pozo de absorción

## 10.2 Modelo de predicción

**Predicción a través de modelos de simulación de los impactos que cause el vertimiento en el cuerpo de agua y/o al suelo, en función de la capacidad de asimilación y dilución del cuerpo de agua receptor y de los usos y criterios de calidad establecidos en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico.**

Se desconoce la existencia del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico para el área en la cual se pretende desarrollar el proyecto, asimismo el sistema de tratamiento de La Finca La Plata se encuentra actualmente en construcción y por ende no se puede tener una caracterización actual del vertimiento y tampoco se puede aplicar un modelo de simulación de impactos, adicionalmente la disposición final se realizará sobre el suelo y no sobre una fuente hídrica superficial. Por lo tanto, tendremos en cuenta la tabla E.2.6 del RAS 2000 Aporte per cápita para aguas residuales domésticas.

TABLA E.2.6  
**Aportes per cápita para aguas residuales domésticas**

Parámetro	Intervalo	Valor sugerido
DBO 5 días, 20°C, g/hab/día	25 – 80	50
Sólidos en suspensión, g/hab/día	30 – 100	50
NH <sub>3</sub> -N como N, g/hab/día	7.4 – 11	8.4
N Kjeldahl total como N, g/hab/día	9.3 - 13.7	12.0
Coliformes totales, #/hab/día	2x10 <sup>8</sup> - 2x10 <sup>11</sup>	2 x10 <sup>11</sup>
Salmonella Sp., #/hab/día		1 x10 <sup>11</sup>
Nematodos intes., #/hab/día		4 x10 <sup>11</sup>

Figura 17. Aportes Per Cápita

Teniendo en cuenta estos datos, el aporte que tendría el sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para una ocupación máxima de 6 personas sería el siguiente:

Parámetro	Intervalo	Valor Sugerido	Valor total (6P)
DBO 5 días, 20°C, g/hab/día	25 – 80	50	300
Sólidos en suspensión, g/hab/día	30 – 100	50	300
NH <sub>3</sub> -N como N, g/hab/día	7.4 – 11	8,4	50,4
N Kjeldahl total como N, g/hab/día	9.3 - 13.7	12	72
Coliformes totales, #/hab/día	2 * 10 <sup>8</sup> – 2 * 10 <sup>11</sup>	2 * 10 <sup>11</sup>	1,2E+12
Salmonella Sp., #/hab/día		1 * 10 <sup>11</sup>	6E+11
Nematodos intes., #/hab/día		4 * 10 <sup>11</sup>	2,4E+12

Figura 18. Aporte del sistema de trata

### 10.3 Diseño sistema de tratamiento de lodos

El tren de tratamiento de lodos se ubicara en las coordenadas N 4° 26' 19,4" W 75° 46' 35,1".



Foto 2 Área localización del proyecto

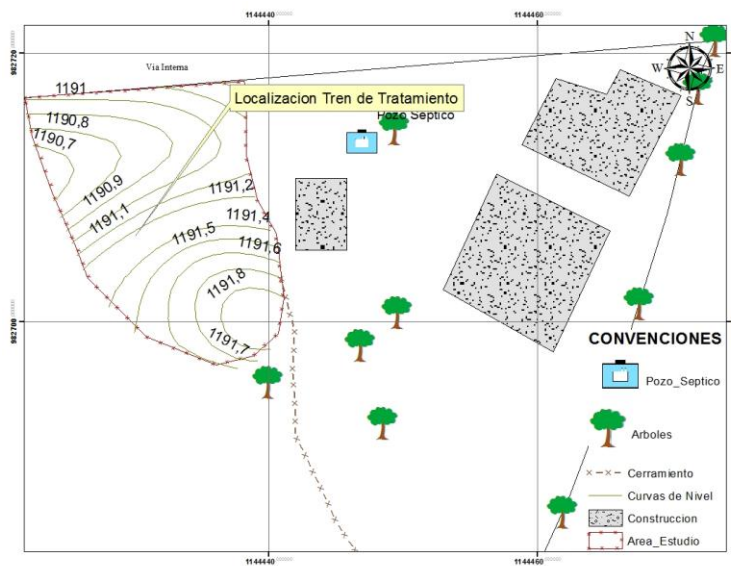


Figura 19. Topografía del área a invertir.

Como se puede evidenciar el terreno cuenta con una topografía apta para la construcción del tren de tratamiento de lodos para que funcione por gravedad, manejando en la cota máxima los lechos de secado, seguido por un FABA y finalmente un pozo de absorción encargado de verter las aguas tratadas directamente al suelo no a menos de 5 metros de sus cafetales, también se implementará una caseta la cual servirá para depositar los lodos tratados para llevar a cabo el proceso de compost.

El sistema de tratamiento de lodos se encuentra conforme a lo establecido en el Título E del RASS 2000, el cual contara con unos lechos de secado, Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), pozo de absorción y una caseta para procesar el compostaje

#### **10.4 Ensayo De Percolación**

**Objetivo.** - Determinar si el suelo es apropiado para la absorción de las aguas efluentes del STAR y presentar el resultado del ensayo de percolación

**Localización.** El ensayo de percolación fue realizado en la zona Este de la finca la plata en las siguientes coordenadas tomadas con GPS N 4° 26' 19,4", W 75° 46' 34,2" con una altura aproximada de 1218 m.s.n.m.

**Desarrollo De La Prueba:** Teniendo en cuenta que el receptor del vertimiento será el terreno a través de un pozo de absorción, fue necesario realizar el ensayo de percolación siguiendo las indicaciones dadas en el Manual de Sistemas Sépticos. El procedimiento de la prueba se realizó excavando un hoyo de 0.30 m x 0.30 m de área y una profundidad de 0.6 m, aproximadamente. Se logró la saturación del terreno durante una hora, llenándose nuevamente el hoyo hasta una altura de 15 cm, y tomándose el tiempo en minutos que demoraba en bajar 2.5 cm, siendo este tiempo de 3 minutos y 14 segundos.

La tasa de percolación se calcula como el tiempo que tarda en bajar el agua los 2.5 cm y se expresa en min/cm.

Tasa de infiltración (min/2.5cm)	Porosidad del terreno Absorción del terreno	Tipo de suelo
1		
2	Absorción rápida	Arena gruesa o grava
3		
4	Absorción media	Arena fina – Franco arenoso
5		
10		
15	Absorción lenta	Franco arcilloso
30		
45		
50	Terreno semipermeable	Arcilla compacta
60		

Figura 20. Tasa de percolación.

*Fuente:* Empresas Públicas de Medellín – División Proyectos Acueducto y alcantarillado. Mayo 1997

**Conclusión:** Acorde con la tabla anterior la utilización de pozos de absorción es recomendable cuando se tiene una absorción rápida a media con tasa de filtración hasta 10 min/2.5cm, por lo que podemos concluir que en el caso que nos ocupa se cumple con dicha especificación.

## 10.5 Cálculos del diseño

### Caseta de Operaciones

Altura Libre (m):	2
Largo (m):	1,5
Ancho (m):	1,2
Pend: Cubierta	27%

m2

1,8

**Importante:** La caseta se construya con estructura en guadua y su cubierta en teja de fibrocemento con dos hiladas de ladrillo farol rodeando el perímetro de la caseta con el fin de que no se derrame por fuera de la zona de operación.



### Cálculo Lechos de Secado

#### Datos Generales:

Temperatura (°c) = 23,0

No. De personas = 6

Nc= numero de personas (Rf.tabla E.4.46 RAS 2000)

Tc= Tasa de Carga Superficial (Rf.tabla E.4.47 RAS 2000)

Área (m<sup>2</sup>/cap) (lecho con cobertura)= 0,05

#### Parametros

BL(Borde Libre)= 0,5

Tc= 0,3

CG (Capa de Grava) 200mm

CA (Capa de Arena) 300mm

TD (Tuberia de Drenaje)= 4" PVC

Tc= 134

**Importante:** Las partículas de grava deben presentar un diámetro entre 3 y 25 mm. La arena debe presentar las siguientes especificaciones: 1) partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño 2) el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3.5 y 4.0, 3) el tamaño efectivo de los granos de arena debe estar entre 0.3 y 0.75 mm. En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm.(MINDESARROLLO 2000)

### Características Geométricas de la Estructura de Sedimentación

La profundidad útil (Hu) se estima de acuerdo a la tabla E.3.3 del RAS 2000:

$$Hu = 1,20$$

La Expresión de Cálculo para el area superficial, está dada por:

$$A_s = \frac{Vol}{Hu}$$

Donde

As = Area Superficial

Vol = Volumen

Hu = Profundidad util

Entonces

$$Vol = 0,30 \text{ como se van a tratar aprox. } 0,3\text{m}^3 \text{ de lodos estimando un porcentaje de humedad máxima del } 70\%$$

$$Hu = 1,2$$

$$A_s = 0,3$$

Entonces con la Relación Largo: Ancho, establecida, calculamos las dimensiones del Tanque mediante la Ecuación:

$$B(m) = \sqrt{\frac{A_s}{2.0}}$$

Entonces:

L : B	2:1
<b>B (m) =</b>	<b>0,4</b>
<b>L (m) =</b>	<b>0,7</b>
<b>H útil (m) =</b>	<b>1,20</b>
Borde Libre (m) =	0,15

### Cálculo del Área de Absorción.

Se realiza la prueba de percolación sobre el terreno saturado a una profundidad de 0.60m y el tiempo de infiltración de 2,5cm de agua es de 4 min y 43 seg. En un hoyo de 0,3m x0,3m.

Para calcular el área, tomamos como base la siguiente tabla, según la porosidad de terreno:

#### Area de absorcion para sistemas filtrantes al suelo

Tasa de infiltración (min/2.5cm)	Porosidad del terreno Absorción del terreno	Tipo de suelo
1		
2	Absorción rápida	Arena gruesa o grava
3		
4	Absorción media	Arena fina – Franco arenoso
5		
10		
15	Absorción lenta	Franco arcilloso
30		
45		
50	Terreno semipermeable	Arcilla compacta
60		

Fuente: Empresas Públicas de Medellín – División Proyectos Acueducto y alcantarillado.

El tiempo de percolación del terreno es de 3 min y 14 seg

Entonces

Dadas las características del Terreno, este para la zona tiene una Absorción media, por lo cual el Coeficiente de Absorción es de 1,30 m<sup>2</sup> por persona.

la profundidad de infiltración o Absorción Requerida, esta dada por:

$$Hu = \frac{K1 * N}{\pi * D}$$

Donde:

K1=	1,3	Tabla
N=	6	Numero Personas
D=	1,2	Diametro

Entonces

$$HU = 2,1$$

### 3. Cálculo Lechos de Secado

#### Datos Generales:

Temperatura (°c) =		23,0
No. De personas =		6
Nc=	numero de personas	(Rf.tabla E.4.46 RAS 2000)
Tc=	Tasa de Carga Superficial	(Rf.tabla E.4.47 RAS 2000)
Área (m <sup>2</sup> /cap) (lecho con cobertura)=		0,05

#### Parametros

BL(Borde Libre)=	0,5
Tc=	0,3
CG (Capa de Grava)	200mm
CA (Capa de Arena)	300mm
TD (Tuberia de Drenaje)=	4" PVC
Tc=	134

**Importante:** Las partículas de grava deben presentar un diámetro entre 3 y 25 mm. La arena debe presentar las siguientes especificaciones: 1) partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño 2) el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3.5 y 4.0, 3) el tamaño efectivo de los granos de arena debe estar entre 0.3 y 0.75 mm. En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm.(MINDESARROLLO 2000)

#### 4.Caseta de Operaciones

Altura Libre (m):	2
Largo (m):	1,5
Ancho (m):	1,2
Pend: Cubierta	27%

m2

1,8

**Importante:** La caseta se construya con estructura en guadua y su cubierta en teja de fibrocemento con dos hiladas de ladrillo farol rodeando el perímetro de la caseta con el fin de que no se derrame por fuera de la zona de operación.

Figura 21. Calculo del diseño

### 10.6 Presupuesto y cantidades De obra

Ítem	Descripción	Und	Cant	Vlr Unit	Vlr Total
<b>1</b>	<b>lechos de secado</b>				
<b>1.1</b>	<b>material filtrante</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
1.1.2	Material filtrante (grava 200mm) diámetro entre 3 y 25 mm	m3	0,20	\$ 21.000	\$ 21.000
1.1.3	Material filtrante (arena fina 300mm) partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño 2) el coeficiente de uniformidad debe estar entre 3.5 y 4.0, 3) el tamaño efectivo de los granos de arena debe estar entre 0.3 y 0.75 mm. En algunos casos, en vez de arena se puede usar antracita o grava fina con tamaño efectivo de 0.4 mm	m3	0,30	\$ 23.000	\$ 23.000
	<b>total material filtrante</b>				<b>\$ 44.000</b>
<b>1.2</b>	<b>Materiales en Lecho</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
1.2.1	Membrana Plástica Negra Ancho 1mt	ml	3,00	\$ 3.000	\$ 9.000
1.2.2	Tubería PVC sanitaria 2"	MI	2,00	\$ 4.000	\$ 8.000
1.2.3	Tubería PVC sanitaria 4"	MI	1,50	\$ 8.000	\$ 12.000
1.2.4	Tapón PVC 2"	Und	4,00	\$ 4.000	\$ 16.000
1.2.5	Codo en Y de 4" a 2"	Und	4,00	\$ 12.000	\$ 48.000
	<b>Total materiales en lecho</b>				<b>\$ 20.000</b>
<b>1.3</b>	<b>Estructuras</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
1.3.1	Formaleta	Und	20,00	\$ 4.000	
1.3.2	Mortero 1:10	m3	0,60	\$ 300.000	\$ 180.000
1.3.3	Teja Zinc 0,80mtrs x 3,04mtrs	Und	2,00	\$ 19.000	\$ 38.000
1.3.4	Amarras	Und	14,00	\$ 100	\$ 1.400

1.3.5	Angulo Metálico x 6.00	Und	1,00	\$ 18.500	\$ 18.500
1.3.6	perfil cuadrado x 6.00	Und	2,00	\$ 13.500	\$ 27.000
1.3.7	Bolinera	Und	4,00	\$ 1.500	\$ 6.000
1.3.8	Disco de Corte	Und	3,00	\$ 2.000	\$ 6.000
1.3.9	Soldadura	MI	1,00	\$ 7.000	\$ 7.000
	<b>total estructuras</b>				<b>\$ 283.900</b>
	<b>total ejecución lechos de secado</b>				<b>\$ 347.900</b>
<b>2</b>	<b>filtro anaerobio</b>				
<b>2.1</b>	<b>Estructuras</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
2.1.2	Formaleta madera	Und	4,00	\$ 4.000	\$ 16.000
2.1.3	Mortero 1:10	m3	0,20	\$ 300.000	\$ 60.000
2.1.4	Falso Fondo Guadua 0,70mtrs	MI	7,00	\$ 500	\$ 3.500
2.1.5	Falso Fondo Guadua 0,40mtrs	MI	4,00	\$ 1.000	\$ 4.000
2.1.6	Esterilla	M2	0,28	\$ 2.000	\$ 560
2.1.7	Tapa Metálica 0,40mtrs x 0,70mtrs	Und	1,00	\$ 35.000	\$ 35.000
	<b>total estructuras</b>				<b>\$ 103.060</b>
<b>2.2</b>	<b>Suministro</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
2.2.1	Codo 90° PVC sanit 4"	Und	1,00	\$ 9.000	\$ 9.000
2.2.2	T PVC sanit 4"	Und	1,00	\$ 43.000	\$ 43.000
2.2.3	Tubería PVC sanitaria 4"	MI	2,50	\$ 5.250	\$ 13.125
2.2.4	Pegante	Und	1,00	\$ 8.500	\$ 8.500

	<b>total suministro</b>				<b>\$ 65.125</b>
	<b>total ejecución filtro anaerobio</b>				<b>\$ 168.185</b>
<b>3</b>	<b>pozo de absorción</b>				
<b>3.1</b>	<b>Estructuras</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
3.1.1	Ladrillo Farol	Und	85,00	\$ 650	\$ 55.250
	<b>total estructuras</b>				<b>\$ 55.250</b>
<b>3.2</b>	<b>Suministro</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
3.2.1	Codo 4"	Und	1,00	\$ 9.000	\$ 9.000
3.2.2	Tubería PVC 4"	Ml	2,00	\$ 9.000	\$ 18.000
3.2.3	Tapa Metálica Circular $\phi$ 0,80mtrs	Und	1,00	\$ 25.000	\$ 25.000
	<b>total suministro</b>				<b>\$ 27.000</b>
	<b>total ejecución descarga</b>				<b>\$ 82.250</b>
<b>4</b>	<b>Caseta de compostaje</b>				
<b>4.1</b>	<b>Excavaciones y Llenos</b>	<b>Und</b>	<b>Cant</b>	<b>Vlr Unit</b>	<b>Vlr Total</b>
4.1.1	Guadua 1,70mtrs	Und	2,00	\$ 4.000	\$ 8.000
4.1.2	Guadua 1,40mtrs	Und	3,00	\$ 3.000	\$ 9.000
4.1.3	Guadua 2,1mtrs	Und	4,00	\$ 4.000	\$ 16.000
4.1.4	Teja F.C No 6	Und	2,00	\$ 22.200	\$ 44.400
4.1.5	Amarras	Und	12,00	\$ 100	\$ 1.200

4.1.6	Piso Ccreto 1:10	m3	0,14	\$ 300.000	\$ 43.200
4.1.7	Varilla 1/4 x 6.00mtrs	Und	3,00	\$ 8.900	\$ 26.700
4.1.8	Ladrillo Farol	Und	32,00	\$ 650	\$ 20.800
<b>TOTAL EJECUCION CASETA DE COMPOSTAJE</b>					<b>\$ 169.300</b>
<b>Cuadro resumen presupuesto por capítulos</b>					
<b>CAP</b>	<b>Descripción</b>				<b>VALOR</b>
1	Total ejecución filtro anaerobio				\$ 168.185
2	Total ejecución lechos de secado				\$ 347.900
3	Total ejecución pozo de absorción				\$ 82.250
4	Total ejecución caseta de compostaje				\$ 169.300
<b>Total Costo Directo Ejecución</b>					<b>\$ 767.635</b>
<b>Total ejecución</b>					<b>\$ 1.535.270</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>\$ 100.000</b>
<b>Gastos indirectos</b>					<b>\$ 200.000</b>
<b>Total Ejecución</b>					<b>\$ 1.835.270</b>

Tabla 4. Presupuesto de tratamiento de lodos.

## 10.7 Manual De Operaciones

### 10.7.1 Lechos De Secado Para Lodos

- Remover todo el lodo antiguo tan pronto como se haya alcanzado el nivel de deshidratación que permita su manejo. El lodo deshidratado con un contenido de



humedad no más del 70% es quebradizo, de apariencia esponjosa y se puede retirar fácilmente con un rastrillo.

- Nunca añadir lodo a un lecho que contenga lodo.
- Remover todas las malas hierbas u otros restos vegetales.
- Hacer cortes en la superficie de arena con rastrillos o cualquier otro dispositivo antes de la adición de lodo. Esto reduce la compactación de la capa superficial de arena mejorando la capacidad de filtración.

**Reemplazo de la capa de arena:** Periódicamente debe ser reemplazado la capa de arena hasta alcanzar su espesor original. Una parte de la capa de arena se pierde cada vez que se remueve el lodo seco. La arena que se utilice para reponer el espesor original debe ser de la misma característica que la especificada en su construcción.

**Calidad del lodo digerido:** El lodo a ser descargado a los lechos de secado debe estar adecuadamente digerido. Lodos pobremente digeridos son ofensivos a los sentidos especialmente al olfato y el proceso de secado es sumamente lento. Así mismo, el lodo que presenta un mayor tiempo de digestión del requerido tiene un proceso de secado muy lento. Es decir, que los dos extremos, la pobre digestión o un tiempo de digestión mayor al necesario son perjudiciales.

**Características físicas:** El lodo debe ser examinado para determinar su color, textura y olor. Estos son excelentes indicadores del estado de digestión de los lodos.

**Volumen a remover:** El volumen removido debe ser calculado y registrado para determinar la capacidad de digestión y evaluar la cantidad de sólidos fijos y volátiles removidos del sistema. El volumen removido puede ser calculado rápidamente a través de la determinación del volumen ocupado por el lodo en el lecho de secado.

**Sólidos totales.** La concentración de sólidos como medida del contenido de sólidos totales, indica la capacidad de retención de agua por parte del lodo y el grado de compactación.

**Valor de pH.** El valor de pH del lodo digerido debe ser próximo a 7.0, mientras que lodos con valores de pH menor a 7.0 indica que requiere mayor tiempo de digestión y que no está listo para ser secado.

**Profundidad del lodo:** El espesor de la capa lodo a ser depositado sobre el lecho de secado no debe ser mayor a 0,30 m e idealmente de 0,25 m. Con buenas condiciones ambientales, un lodo bien digerido, deberá deshidratarse satisfactoriamente y estar listo para ser removido del lecho de secado entre una a dos semanas. Lodos con alto contenido de sólidos puede requerir hasta tres semanas o más a menos que se descargue capas de lodo menos profundas. Normalmente, el volumen de lodos se reduce un 60% o más por medio de este método de deshidratación.

### 10.7.2 Filtro Anaerobio De Flujo Ascendente

El Filtro Anaerobio debe ser sometido a limpieza general. Es por lo tanto se hace necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones al efectuar la inspección y limpieza del filtro:

- Es necesario inspeccionar el pozo de absorción con frecuencia con el fin de establecer el correcto flujo del agua.
- Dado que el sistema realiza su funcionamiento cada que el lecho de secado se pone en funcionamiento se debe de generar el cultivo de bacterias con el fin de reducir la carga contaminante del agua que drena del lecho de secado
- En ningún caso el agua evacuada del sistema o el agua utilizada en el mantenimiento deben ser descargadas a un cuerpo de agua.

### 10.7.3 Caseta De Compostaje

#### Operación

La caseta debe de encontrarse totalmente limpia en el momento de depositar los lodos extraídos del lecho de secado, esto con el fin de evitar cambios fisicoquímicos de los lodos.

Los lodos se deben de depositar en la caseta de compostaje después de ser secados mediante el lecho, de igual manera se utilizaran pilas volteadas con el fin de que pueda aumentar su temperatura con el fin de que las bacterias se desaparezcan, se recomienda usar aserrín o cascarillas de arroz con el fin de ayudar a airear el lodo.

Volteo de pilas para el control de suministro de aireación, con el fin de evitar el exceso calentamiento o enfriamiento de la pila (Algunos autores recomiendan 2 veces al día, durante los primeros cinco días)

### **Mantenimiento:**

Dado que sus materiales son susceptibles al deterioro por factores como la lluvia y el sol, se debe de utilizar una capa de pintura esmaltada con el fin de generar una protección al mismo.

## **10.8 Plan De Contingencia**

### **En caso de Derrame**

- Utilizar material absorbente (arena, tierra o sintético) para recoger el derrame, aplicar el absorbente desde el borde hacia el centro, **NO UTILIZAR AGUA**. La disposición final de este material (Absorbente + material derramado) es transportado en bolsas plásticas y tratado en el área de lechos de secado.
- El momento de la disposición al Lecho de Secado se debe de tratar inmediatamente con Cal hidratada el área afectada.
- Utilizar equipo de protección personal adecuado para evitar el contacto directo con los lodos

- No caminar, ni pararse sobre el líquido o material derramado.

### **Rediseño del sistema de vertimiento**

- En el caso de que el sistema séptico sufra un daño o falla o se requiera aumentar su capacidad, se debe contactar un ingeniero ambiental y/o sanitario o una empresa especializada en el menor tiempo posible, para ejecutar los correctivos necesarios y lograr el tratamiento adecuado del vertimiento.

### **Primeros auxilios**

- Ingestión de sustancias nocivas: No induzca al vómito
- Exposición a humos o vapores (Inhalación): Traslade la persona afectada hacia un sitio fresco, manténgalo abrigado y en reposo. Sumínístrele oxígeno si hay pérdida de conciencia. Si se detiene la función respiratoria proporciónale respiración artificial.
- Contacto con ojos: Lavar con abundante agua por 15 minutos.
- Contacto con la piel: lave la piel con agua y jabón. En caso de alguna quemadura, lavar también la piel.

## 11. Conclusiones y resultados

- Por medio de la implementación del lecho de secado se pudo determinar que aproximadamente un 60% de los lodos provenientes del sistema séptico son líquidos que drenan al FAFA y que el porcentaje restante equivalente al 40% se puede usar para la producción de abono orgánico.
- Se lograron recuperar los lodos provenientes del sistema séptico los cuales mediante un proceso biológico sirvieron como abono orgánico (Compost), para las huertas y siembras del interior de la finca.

## 12. Anexos



*Foto 3.* Reconocimiento sistema de tratamiento de aguas residuales (pozo séptico)



*Foto 4 y 5* Reconocimiento sistema de tratamiento de aguas residuales (pozo séptico)



*Foto 6 y 7. Medición cantidad de lodos a tratar*







*Foto 8,9,10 y 11 Ensayo de Percolación*









Foto 15, 15, 17, 18, 19,20, 21,22 y 23. Construcción Tren de tratamiento de Lodos





Foto 24, 25,26 y 27. Limpieza Pozo Séptico y Disposición en Tren de Tratamiento de Lodos





*Foto 28, 29, 30, 31,32 y33. Fase de Compostaje*

### 13. Bibliografías

Alvaro Orozco Jaramillo, A. S. (1985). *TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES*. Medellín.

Crites, T. (2000). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES*. Santafé de Bogotá, Colombia : McGraw-Hill Interamericana, S.A.

Económico, M. d. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS - 2000*. Recuperado el 13 de Febrero de 2018, de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf)

EPM. (26 de Septiembre de 2013). Recuperado el 15 de Abril de 2018, de [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4nBHUSsD0\\_MJ:https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Capitulo%25204/NEGC%2520418-01%2520Tanques\\_septicos\\_prefabricados\\_GRP%2520\(V2013-09-26\).doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co&client=opera](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4nBHUSsD0_MJ:https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Capitulo%25204/NEGC%2520418-01%2520Tanques_septicos_prefabricados_GRP%2520(V2013-09-26).doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co&client=opera)

Metcalf, E. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES volumen 1 Tratamiento, vertido y reutilización*. Aravaca(Madrid): McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.

Metcalf, E. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES volumen 2 Tratamiento, vertido y reutilización*. Aravaca (Madrid): McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.

Ministerio de Ambiente, V. y. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO J. Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*. Recuperado el 26 de Febrero de 2018, de [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/100811\\_titulo\\_j\\_ras%20\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/100811_titulo_j_ras%20_.pdf)